



Fabrikasi Servo Valve Sebagai Aktuaktor Untuk Sistem Kontrol DCS Berbasis Arduino Nano

Proyek Akhir

**Oleh:
Mikael Josua Hutagalung (3232311029)**

**Program Studi Instrumentasi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Pernyataan Keaslian Proyek Akhir

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan proyek akhir saya yang berjudul:

“Fabrikasi servo Valve Sebagai Aktuator untuk sistem kontrol pada DCS Berbasis Arduino Nano”, adalah hasil karya saya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima konsekuensi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam 05 Agustus 2025



Mikael Josua Hutagalung
Nim:3232311029

Lembaran Pengesahan

**Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar
Ahli madya Teknik (Amd.T.)
di
Politeknik Negeri Batam**

**Oleh:
Mikael Josua Hutagalung (3232311029)
Tanggal Sidang: 05 Agustus 2025
Disetujui Oleh:**

1. Penguji I



**Ahmad Syafi'i S.P.d.,M.T
NIK:12431**

1. Pembimbing I



**Aditya Gautama Darmoyono S.T.,M.T
NIK:117180**

2. Penguji II



Rahmi Mahdaliza, S.Si.,M.Si
NIK:117195

Fabrikasi Servo Valve Sebagai Aktuaktor Untuk Sistem Kontrol DCS Berbasis Arduino Nano

Abstrak

Fabrikasi servo valve menggunakan rotary encoder yaitu untuk mengontrol atau membuka dan menutup atau membuka setengah gerbang penahan suatu aliran, namun saat ini kontrol valve sudah banyak di lengkapi dengan komponen *elektrik pneumatic* atau *hydraulic*. Pada aliran dengan kapasitas yang besar dan tekanan yang tinggi biasanya dilakukan untuk alasan kriteria maka di perlukan suatu sistem pengendalian terhadap variable tersebut. Karna alasan tersebut dibuatnya tugas akhir mengenai Fabrikasi servo valve sebagai akuator untuk sistem kontrol pada DCS berbasis Arduino nano, dengan tujuan alat ini adalah untuk mengontrol, membuka, menutup dan membaca posisi gerakan pada valve tersebut. Komponen-komponen yang akan digunakan antara lain motor DC yaitu untuk menggerakkan valve, Arduino nano untuk valve mikrokontroler, dan rotary encoder untuk mengontrol, membuka, menutup valve dan membaca posisi gerakan valve, kemudian stepdown sebagai penurun tegangan dari power supply ke Arduino nano, dan terakhir ada motor driver untuk mengatur motor DC. Metode-metode yang digunakan antara lain adalah studi literatur untuk mengetahui komponen-komponen yang dipakai untuk mendesain *software* dan *hardware* kemudian melakukan pengujian dan pengambilan data pada alat yang akan diuji.

Kata kunci : *Sistem control, Distributed Control System (DCS), Arduino nano*

Fabrication of Servo Valve as Actuator for Arduino Nano Based DCS Control System

Abstract

Fabrication of servo valves using rotary encoders, namely it controls or opens and closes or opens half the gate holding a flow, but currently control valves have been widely equipped with electric, pneumatic or hydraulic components. In flows with large capacities and high pressures usually carried out for criteria reasons, a control system is needed for these variables. For this reason, the final project was made regarding the fabrication of a servo valve using a rotary encoder as a DCS actuator, with the aim of this tool being to control, open, close and read the position of the movement on the valve. The components that will be used include a DC motor, which is to drive the valve, Arduino nano for the microcontroller valve, and a rotary encoder to control, open, close the valve and read the position of the valve movement, then stepdown as a voltage drop from the power supply to Arduino nano, and finally there is a motor driver to adjust the DC motor. The methods used include literature studies to find out the components used to design software and hardware then testing and taking data on the tools to be tested.

Keywords: Control System, Distributed Control System, Arduino nano

Kata Pengantar

Puji dan syukur yang tidak terhingga penulis hanturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir yang berjudul “Fabrikasi servo valve sebagai aktuator untuk sistem kontrol pada DCS Berbasis Arduino Nano”. Penulis menyelesaikan laporan tugas akhir untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (Amd.T.) kelulusan di Politeknik Negeri Batam Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Instrumentasi. Penulisan laporan tugas akhir ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik berkat dukungan dan bantuan dosen, rekan mahasiswa dan dukungan dari banyak pihak yang ikut dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Puji Syukur Kita panjatkan kepada tuhan yang maha esa, yang selalu memberkati dalam keadaan terbaik hingga keadaan terburuk penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
2. Kepada kedua orang tua, yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan kebutuhan hidup kepada penulis.
3. Bapak Muhammad Jaka Wimbang Wicaksono, S.T.,M.T., selaku Kepala Program Studi Jurusan Teknik Instrumentasi
4. Bapak Aditya Gautama Darmayono,S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir yang telah mendampingi dan memberikan berbagai masukan dalam penulisan buku Proyek Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro atas ilmu yang diberikan selama penulis melaksanakan studi, baik materi akademik maupun teladan dan motivasi untuk masa yang akan datang.
6. Kepada semua pihak yang tidak disebutkan yang telah membantu saya selama rentang hidup saya hingga saat ini.

Akhir kata, semoga proyek akhir dan laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat yang berarti dalam pengembangan ilmu Teknik. Saya berharap agar karya ini dapat menjadi pijakan bagi pengembangan lebih lanjut dan memberikan inspirasi bagi teman-teman mahasiswa yang akan melanjutkan perjalanan studi mereka.

Batam, 05 Agustus 2025



Mikael Josua Hutagalung

Daftar Isi

Abstrak.....	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Gambar.....	viii
Daftar Tabel	ix
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Solusi Pengembangan	1
1.3. Tujuan	1
1.4. Rumusan Masalah	2
1.5. Batasan	2
1.6. Manfaat	2
1.6. Struktur Pembagian Kerja	2
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	3
2.1. Rotary encoder	3
2.2. Motor DC	4
2.3. Arduino Nano	5
2.4. DCS (<i>Distributed Control System</i>)	5
2.5. Motor Driver BTS9760	6
Gambar 5. Motor Driver BTS9760	7
2.6. Dasar Teori Kontrol PID	7
3.1. Perancangan	8
3.2. Diagram Blok Sistem	9
3.3. Perancangan Software menggunakan Rotary Encoder	9
3.4. Perancangan PID	10
3.5. Perancangan Elektrikal.....	11
3.6. Perancangan Mekanikal.....	12

3.7. Alat dan Bahan	13
3.8. Perancangan Program.....	13
3.9. Pengujian Pada Alat Pada Kontrol PID	15
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	16
Bab 5. Kesimpulan dan Saran.....	21
Daftar Pustaka	22
Lampiran	23
Lampiran 1. Etiket Mekanikal	23

Daftar Gambar

Gambar 1. Rotary Encoder.....	3
Gambar 2. Motor DC	4
Gambar 3. Arduino Nano	5
Gambar 4. DCS (<i>Distributed Control System</i>)	6
Gambar 5. Motor Driver.....	6
Gambar 6. Flowchart Proses Pelaksanaan Project.....	8
Gambar 7. Blok Diagram Sistem.....	9
Gambar 8. Perancangan Software menggunakan Rotary Encoder	9
Gambar 9. Perancangan PID	10
Gambar 10. Perancangan Elektrikal	11
Gambar 11. Perancangan Mekanikal.....	12
Gambar 12. Perancangan Program	14
Gambar 13. Pengujian Alat Pada Kotrol PID.....	15
Gambar 14. Konektor DCS to Servo	19

Daftar Tabel

Tabel 1. Struktur Pembagian Kerja	2
Tabel 2. <i>Wiring Schedule</i>	11
Tabel 3. Alat dan Bahan	13
Tabel 4. Hasil Pengujian <i>Rotary Encoder</i>	16
Tabel 5. Pengujian Logika Servo	17
Tabel 6. Hasil Data Pengujian Alat	18

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sistem kontrol adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengendalikan, memberikan perintah, dan mengatur keadaan suatu sistem sesuai dengan keluaran yang di inginkan. Sistem kontrol merupakan sistem pengaturan otomatis yang dapat secara langsung atau jarak jauh. Teknologi pengontrolan alat ini telah berkembang pesat. Penggunaan kontrol moderen dalam berbagai bidang industri di sebabkan karena sistem semakin kompleks dan memerlukan ketelitian yang tinggi. Perangkat pengontrolan telah berkembang dari relay, kontrol PLC, hingga DCS.

DCS(*Distributed Control System*) berfungsi sebagai alat untuk mengontrol suatu sistem *loop* dimana dalam satu *loop* dapat terjadi beberapa proses kontrol. Berfungsi sebagai pengganti alat kontrol manual dan otomatis yang di pisahkan menjadi satu kesatuan sehingga lebih mudah dalam perawatan dan penggunaannya. Selain itu DCS (*Distributed Control System*) ketika terjadi sebuah kesalahan dalam sistem, sistem lain tidak terpengaruh.

Tujuan dari proyek ini untuk mengganti servo valve dari DCS sebelumnya yang telah rusak atau menggantinya dengan yang baru. Maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan alat yang akan digunakan untuk mempermudah mahasiswa ketika mengoperasikan valve dengan judul “*Fabrikasi Servo Valve sebagai Aktuator untuk Sistem Kontrol Pada DCS Berbasis Arduino Nano*”, yang berfungsi untuk mengatur atau mengontrol buka tutup dari valve tersebut dengan menggunakan operasi dari sistem DCS yang dilengkapi dengan menggunakan motor DC sebagai pembantu supaya valve bisa bergerak dan rotary encoder untuk mengontrol lalu membuka tutup valve dan membaca posisi gerakan dari valve.

1.2. Solusi Pengembangan

Maka dari itu perancangan pembuatan sistem alat ini tentang sebuah alat sistem yang berguna untuk membuka, menutup atau membuka setengah gerbang penahan suatu aliran, namun saat ini *control valve* sudah banyak dilengkapi dengan komponen elektrik. Berdasarkan uraian diatas maka perancang akan membuat sebuah proyek yang berjudul “*Fabrikasi Servo Valve sebagai Aktuator untuk Sistem Kontrol pada DCS berbasis Arduino Nano*” dengan tujuan dari alat ini adalah untuk mengontrol, membuka, membaca posisi dan menutup suatu *valve* dengan harapan dapat mempermudah kinerja manusia dalam dunia industri.

1.3. Tujuan

Tujuan dalam kegiatan ini adalah membuat Servo Valve menggunakan Rotary encoder sebagai aktuator DCS yang berfungsi untuk membuka dan menutup Valve serta mengontrol aliran *fluida* atau tekanan pada pipa yang bermanfaat untuk meringankan dan mempermudah proses pengontrolan aliran.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang di kemukakan di atas, maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat servo valve sebagai aktuator dalam sistem kontrol DCS?
2. Bagaimana membuat program Arduino nano agar dapat mengontrol servo valve?

1.5. Batasan

Dalam penyusunan proposal ini Adapun pembatasan masalah yang di kaji antara lain:

1. Hanya menggunakan rotary ecoder sebagai acuan bukaan tutup valve.
2. Hanya dapat di operasikan oleh DCS.

1.6. Manfaat

Adapun manfaat pembuatan alat ini adalah:

1. Mempermudah pengoperasian dari suatu valve.
2. Dapat memonitor pergerakan katup dan bukaan valve.
3. Dapat di operasikan lewat DCS Pada Kontrol PID.

1.6. Struktur Pembagian Kerja

Struktur rincian kerja biasanya memuat pekerjaan yang akan dilakukan dalam mengerjakan suatu proyek. Dibawah ini merupakan struktur yang telah ditetapkan sistem oleh seluruh anggota tim dan telah disetujui oleh manajer proyek.

Tabel 1. Struktur Pembagian Kerja

No	Nama	Tugas dan Tanggung Jawab dalam Tim
1	Mikael Josua Hutagalung	Fokus pada perancangan <i>wiring</i> elektrikl, Mekanikal dan program

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Rotary encoder

Rotary encoder umumnya menggunakan sensor optik untuk menghasilkan serial pulsa yang dapat diartikan menjadi gerakan, posisi, dan arah. Sehingga posisi sudut suatu poros benda berputar dapat diolah menjadi informasi berupa kode digital oleh rotary encoder untuk diteruskan oleh rangkaian kendali. Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. LED ditempatkan pada salah satu sisi piringan sehingga cahaya akan menuju ke piringan. Di sisi yang lain suatu photo transistor diletakkan sehingga photo transistor ini dapat mendeteksi cahaya dari LED yang berseberangan. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya dari LED dapat mencapai photo-transistor melalui lubang-lubang yang ada, maka photo transistor akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi.

Rotary encoder juga digunakan pada berfungsi sebagai pengendali motor driver dan sebagainya. Rotary encoder tersusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada bagian lingkaran piringan. Piringan tipis tadi dikopel dengan poros motor, atau perangkat berputar lainnya yang ingin kita ketahui posisinya, sehingga ketika motor berputar piringan juga akan ikut berputar. Apabila posisi piringan mengakibatkan cahaya pada LED dapat mencapai photo transistor melalui lubang-lubang yang ada, maka photo transistor akan mengalami saturasi dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi. Rotary Encoder memiliki jumlah posisi yg tetap per revolusi. Jika rotary encoder diputar maka akan terasa perpindahan porosnya. Rotary Encoder memiliki tiga pin, biasanya disebut A,B,dan C.

Gambar 2.1 menunjukkan skematik sederhana dari rotary encoder. Semakin banyak deretan pulsa yang dihasilkan pada satu putaran menentukan akurasi rotary encoder tersebut, akibatnya semakin banyak jumlah lubang yang dapat dibuat pada piringan menentukan akurasi rotary encoder tersebut.

Karakteristik Rotary Encoder:

Suplai tegangan

- Dapat bervariasi dari 5V hingga 24V

Konsumsi saat ini

- Untuk jenis keluaran tegangan dan arus, konsumsi arus tipikal kurang dari 60mA. Jenis driver dapat mengkonsumsi hingga 100mA.

Tegangan keluaran (untuk jenis tegangan keluaran)

- Tegangan level TINGGI: $\geq 3.5V$
- Tegangan level RENDAH: $\leq 0.5V$

Waktu naik dan turun

- Menjelaskan waktu yang dibutuhkan sensor untuk mengubah output dari tinggi ke rendah (turun) atau rendah ke tinggi (naik)
- Waktu naik khas untuk jenis keluaran tegangan: $\leq 500ns$
- Waktu jatuh tipikal untuk tipe keluaran tegangan: $\leq 100ns$

Frekuensi respon

- Frekuensi maksimum sensor dapat mengganti outputnya
- Biasanya jatuh di bawah 300kHz

tetapi pada proyek ini kami menggunakan rotary encoder dengan jenis HW-040. Secara struktur, potensiometer jenis ini terdiri dari 5 kaki

terminal yaitu output A(CLK), output B(DT), Switch(SW), +(CC(+5V)) dan Ground(GND)



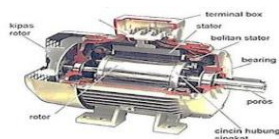
Gambar 1. Rotary encoder HW-040
(Sumber: www.robotchbdn.com)

2.2. Motor DC

Motor arus searah merupakan salah satu mesin listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor arus searah banyak sekali digunakan, motor-motor kecil untuk aplikasi elektronik menggunakan motor arus searah seperti pemutar kaset, pemutar piringan magnetik di hardisk komputer, kipas pendingin komputer dll. Gerak atau putaran yang dihasilkan oleh motor arus searah diperoleh dari interaksi dua buah medan yang dihasilkan oleh bagian *armature* dan bagian *field* dari motor arus searah. Pada proyek ini kami menggunakan motor DC untuk penggerak yang dapat menggerakkan sebuah valve yang bertujuan untuk membuka dan menutup katup valve.

Bagian lain yang tidak kalah penting pada motor arus searah adalah adanya *comutator*. Berdasarkan sumber dayanya, motor listrik DC dibedakan menjadi dua, yaitu sumber daya terpisah (*Separately Excited*) dan sumber daya sendiri (*Self Excited*). Keuntungan dari motor DC ini adalah dapat menjaga pasokan daya dengan cara mengendalikan kecepatan. Pengendalian ini dapat dilakukan dengan cara :

- (1) Mengubah tegangan dinamo, bila dinaikkan maka akan meningkatkan kecepatan, sedangkan bila diturunkan maka akan menurunkan kecepatan.
- (2) Mengubah arus medan, kenaikan arus medan sebanding dengan kenaikan kecepatan (Muhammad Arfan P. 2013).



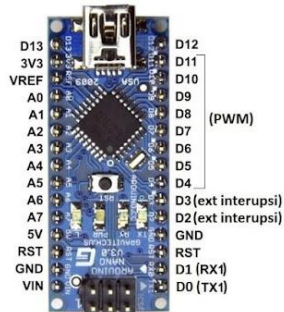
Gambar 2. Motor DC

2.3. Arduino Nano

Arduino nano adalah salah satu jenis papan mikrokontroler yang menggunakan mikrokontroler Atmega328p (untuk versi lama) atau Atmega328 (untuk versi terbaru). Papan ini merupakan versi yang lebih kecil dan ringkas dari Arduino nano, tetapi memiliki fungsi yang hampir sama. Arduino nano sering digunakan proyek elektronik kecil karena ukurannya yang kompak dan portabilitasnya yang tinggi.

Spesifikasi Teknis:

- Mikrokontroler: ATMEGA328
- Tegangan Kerja: 5V
- Tegangan Input (Rekomendasi): 7-12V
- Tegangan Input (Rentang): 6-20V
- Pin I/O Digital: 14 (termasuk 6 pin PWM) (D0 ~ D13)
- Pin Input Analog: 6 (A0 ~ A5)
- Arus DC per Pin I/O: 40mA
- Memori Flash: 32KB (2KB digunakan untuk bootloader)
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1KB
- Chip USB to Serial: CH340 (memudahkan koneksi ke komputer)
- Kecepatan Clock: 16MHz
- Antarmuka USB: Type-C USB



Gambar 3. Arduino nano

2.4. DCS (*Distributed Control System*)

DCS (*Distributed Control System*) adalah suatu pengembangan sistem kontrol dengan menggunakan komputer dan alat elektronik lainnya agar didapat suatu pengontrol suatu *loop system* lebih terpadu dan dapat dilakukan oleh semua orang dengan cepat dan mudah. DCS juga merupakan suatu jaringan komputer kontrol yang dikembangkan untuk tujuan monitoring dan pengontrolan proses variable

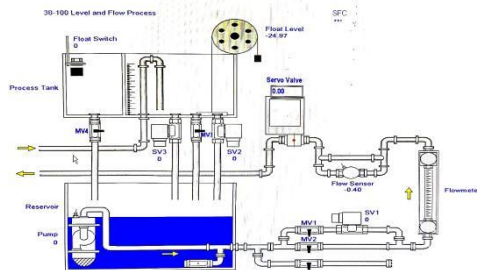
pada industri proses. Sistem ini dikembangkan melalui penerapan teknologi *microcomputer*, *software* dan *network*. Sistem *hardware* dan *software* mampu menerima sinyal input berupa sinyal analog, digital maupun pulsa dari peralatan instrument di lapangan. Kemudian melalui fungsi *feedback control* sesuai *algorithm control* (P, PI, PID, dll) maupun *sequence* program yang telah ditentukan, sistem akan menghasilkan sinyal output analog maupun digital yang selanjutnya digunakan untuk mengendalikan *final control element* (*control valve*) maupun untuk tujuan monitoring, reporting, dan alarm. Perlu diperhatikan disini bahwa fungsi kontrol tidak dilakukan secara terpusat, melainkan ditempatkan di dalam *satelite room* (*out station*) yang terdistribusi dilapangan (*field*).

Untuk memahami suatu sistem kontrol dengan DCS kita harus mengerti dulu apa yang disebut dengan *loop system* dimana pada suatu *loop system* terdiri dari :

1. Alat pengukur (*Sensor Equipment*)
2. Alat kontrol untuk penganturan proses (*Controler*)
3. Alat untuk aktualisasi (*Aktuator*)

Sistem kontrol otomatis pada mulanya berawal dari sitem kontrol manual yang berasal dari kontrol menggunakan *system pneumatic*. Penggunaan *system pneumatic* pada saat ini sangat memerlukan biaya yang cukup besar karena

pada saat instalasi *system control pneumatic* cenderung lebih rumit dan memerlukan jalur pipa *pneumatic* untuk satu kontrol *loop*.



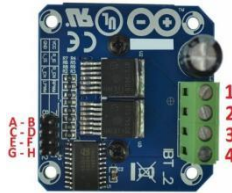
Gambar 4. DCS (Distributed Control System)

2.5. Motor Driver BTS9760

Motor driver adalah rangkaian driver yang berfungsi untuk mengendalikan motor DC yang dioperasikan secara listrik, komponen utama dari *driver motor* ini adalah menggunakan *transistor* dan *relay*, motor driver ini dapat mengeluarkan arus hingga 43A, dengan memiliki fungsi *Pulse Width Modulation*. Motor DC memang dapat berputar hanya dengan daya DC tetapi tidak bisa diatur arah putarannya maka dari itu motor driver dapat difungsikan untuk mengatur arah putaran dari motor DC dengan arah putaran *clockwise* (CW) dan *counter clockwise* (CCW).

Spesifikasi:

- Double BTS7960 high current (43A) H-bridge drivers
- Input voltage: 6V-27V
- Model: IBT-2
- Maximum current: 43A
- Input level: 3.3-5V
- Control mode: PWM or level



Gambar 5. Motor Driver BTS9760

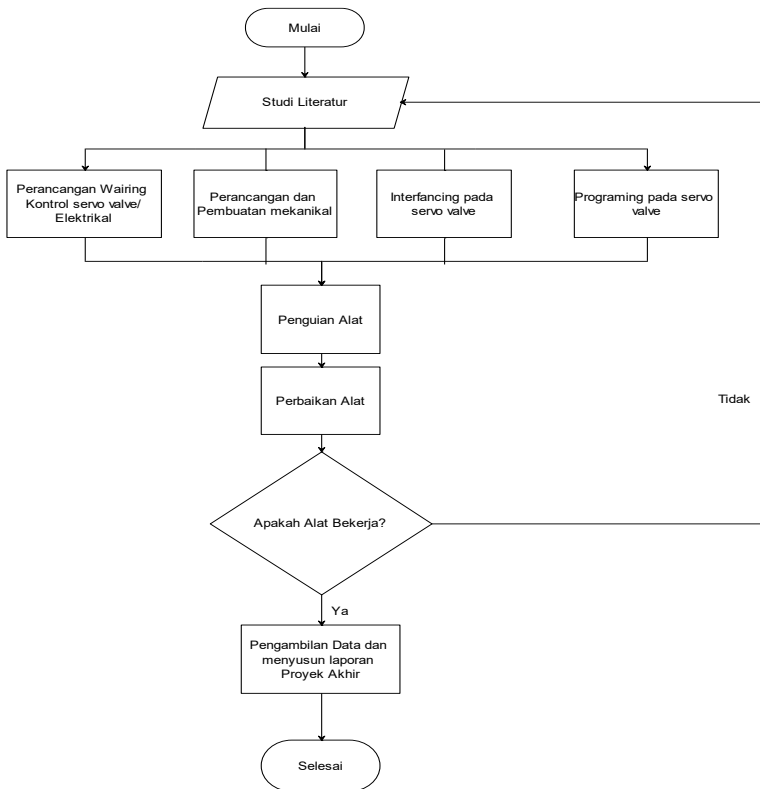
2.6. Dasar Teori Kontrol PID

Kontrol PID merupakan pendekatan praktis untuk mengontrol proses secara otomatis dengan memanfaatkan blok PID pada sistem DCS, diharapkan mampu meminimalkan error dan menjaga proses berjalan sesuai target set point. penggunaan kontrol PID dalam sistem DCS (Distributed Control System) DeltaV untuk mengatur proses pada Area RIG38-100. Kontrol PID adalah metode pengendalian yang menggunakan tiga komponen utama, yaitu Proportional (P), Integral (I), dan Derivative (D) untuk mengatur variabel proses (Process Variable, PV) agar mendekati nilai set point yang diinginkan. Langkah dasar yang dilakukan adalah memilih strategi kontrol yang sesuai, memasukkan blok PID ke dalam daftar kontrol sebagai PID_LOOP_1, menghubungkan output analog ke blok PID, kemudian meng-upload dan mengunduh kontrol tersebut ke kontroler DCS agar proses pengendalian dapat berjalan.

Bab 3. Metode Pelaksanaan

3.1. Perancangan

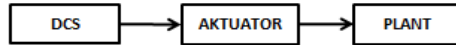
Dalam merancang suatu sistem diperlukan suatu metode pelaksanaan agar perancangan yang akan dibuat terstruktur dan jelas. Berikut merupakan flowchart pelaksanaan pembuatan sistem.



Gambar 6. Flowchart Proses Pelaksanaan project

3.2. Diagram Blok Sistem

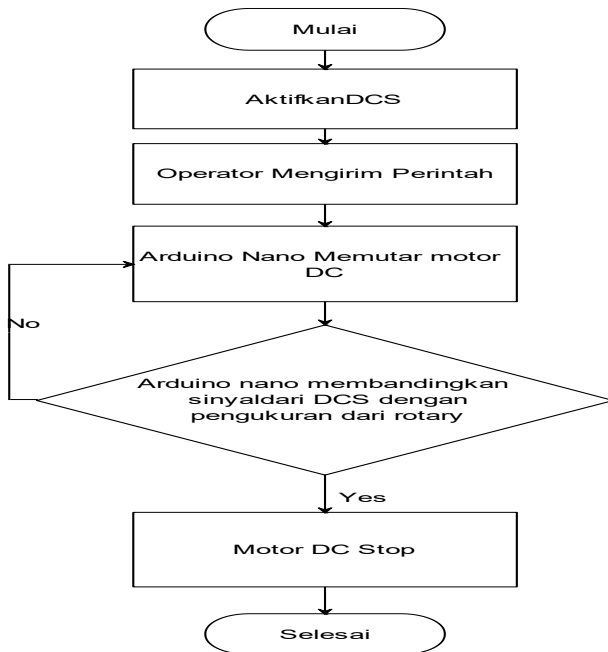
Perancangan diagram blok sistem ditunjukkan akan mempermudah penulis untuk memahami cara kerja pada alat yang akan dibuat. Diagram blok sistem secara sistematis.



Gambar 7. Diagram Blok Sistem

3.3. Perancangan Software menggunakan Rotary Encoder

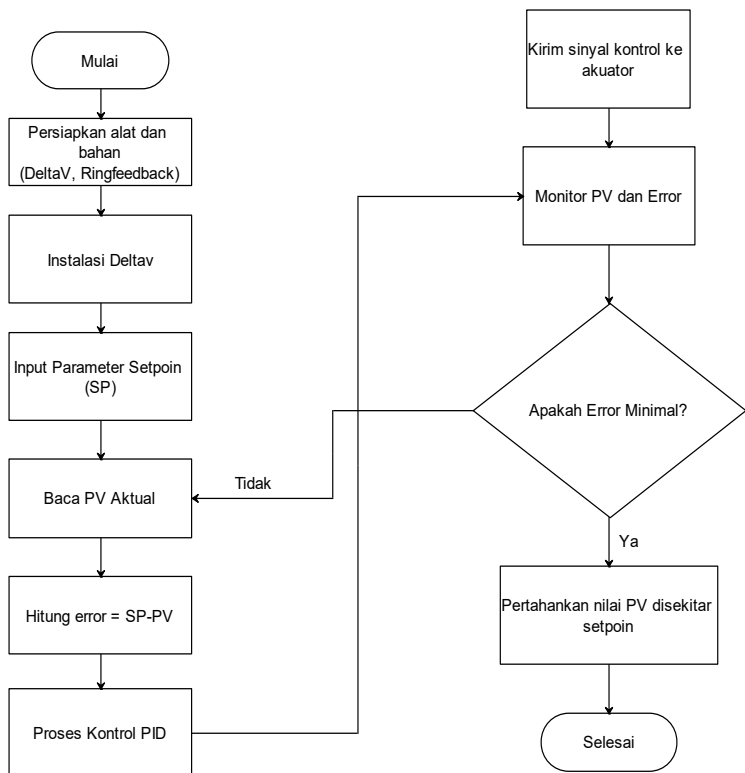
Pada perancangan software terdapat tahapan-tahapan yang sistematis pada alat. Perancangan ini dibuat agar penulis memahami alur kerja alat. Software yang digunakan pada proyek akhir ini adalah Arduino nano.



Gambar 8. Perancangan Flowchart Logika Program

3.4. Perancangan PID

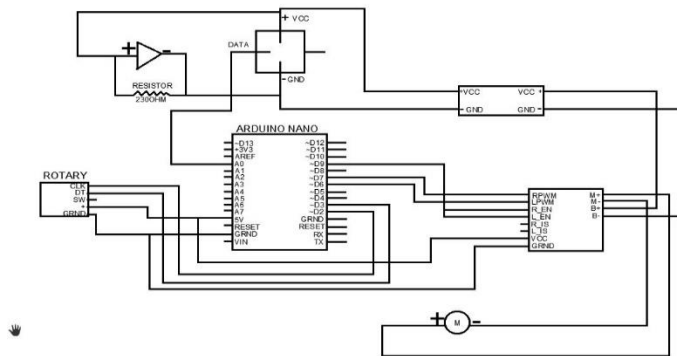
Pada perancangan ini akan menggambarkan suatu sistem kendali otomatis untuk pengoperasian buka dan tutup katup (valve) yang akan di kendalikan melalui sinyal dari *Distributed Control System* (DCS). Sinyal dari DCS diterima oleh mikrokontroler (Arduino Nano) yang berfungsi sebagai pemusat pemrosesan. Mikrokontroler tersebut juga menerima umpan balik dari rotary encoder guna mengetahui posisi aktual katup. Berdasarkan data masukan dan umpan balik tersebut, mikrokontroler memberikan sinyal kendali kepada motor driver yang selanjutnya menggerakkan servo motor. Servo motor kemudian menjalankan mekanisme buka atau tutup pada katup sesuai intruksi yang telah di proses, sehingga sistem dapat mengatur posisi katup secara presisi dan terkontrol.



Gambar 9. Perancangan Flowchart Logika Program PID

3.5. Perancangan Elektrikal

Perancangan elektrikal pada alat ini menggunakan software autocad 2D. Pada rangkaian desain elektrikal DCS (*Distributed Control System*) sebagai pengendali yang dihubungkan dengan beberapa komponen lainnya antara lain Rotary encoder, Motor DC, Motor Driver, Soket sasismidi 7pin, Step dwon, Arduino Nano, Resistor. Desain elektrikal di jadikan acuan dalam melakukan wiring rangkaian elektrikal agar mencegahnya terjadinya kerusakan komponen atau kesalahan ketika berjalannya sistem.



Gambar 10. Perancangan Elektrikal

Pengujian pada alat dilakukan pada salah satu sensor yaitu rotary encoder yang digunakan sebagai sensor feedback. Pada pengujian rotary encoder ini menggunakan metode pengolahan data arduino nano ke PC/Komputer terkoneksi melalui port usb dengan software arduino.

Konfigurasi pin yang terhubung secara lengkap dari arduino nano ke rotary encoder dapat dilihat melalui wiring schedule. Wiring Schedule dijadikan panduan untuk pengaturan kabel dan konektor untuk mencegah kesalahan dalam merangkai elektrikal. Tabel wiring schedule disajikan dibawah:

Tabel 2. Tabel Wiring Schedule

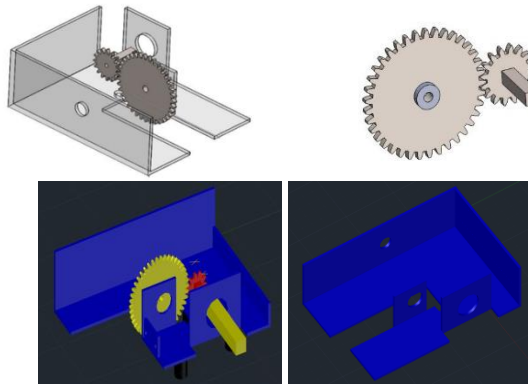
Arduino Nano	Rotary Encoder
Ground	Ground
3.3V	+
D3	DT
D2	CLK

3.6. Perancangan Mekanikal

Perancangan mekanikal pada alat ini menggunakan *software autocad 3D*. Setiap versi dari *software* ini biasanya mengalami peningkatan fitur sehingga otomatis perlu menambahkan spesifikasi pada komputer/labtop. Bahan yang digunakan sebagai alat casing, dari alat-alat yang digunakan yaitu *filament pla*. Penggunaan bahan tersebut dikarenakan memiliki sifat kekuatannya yang sangat tinggi, dan material ini lebih ramah lingkungan. Perancangan mekanikal dilakukan secara luring dengan menerapkan protokol kesehatan yang ada.

Tahapan pertama untuk melakukan *3D printing* tentu dimulai dengan mempersiapkan desain digital tiga dimensi. Pembuatan desain objek bisa menggunakan aplikasi *software autocad*. Pastikan untuk memeriksa setiap sudut objek agar setiap detailnya sesuai harapan.

Perancangan mekanikal terdiri dari atas rangka dan komponen yang disusun. Untuk casingnya memiliki ukuran dengan tinggi 6-7cm, lebar 10cm, ketebalan 0,5cm, dan panjangnya 12cm. Untuk tiga kakipenyangga menggunakan 3D *filament PLA* yang berfungsi sebagai penahan casing di valvenya. Ketiga kaki penyangga tersebut di tempel atau dibor. Untuk alat sebelumnya *Case/rangka luar* alat memiliki dimensi tinggi 6 cm, lebar 15,26 cm, ketebalan 0,4 mm, dan panjang 18,94 cm.



Gambar 11. Perancangan mekanikal

3.7. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan antra lain adalah:

Tabel 3. Tabel Alat dan Bahan

NO	Alat/Bahan	Jumlah	Harga satuan (Rp)	Nilai (Rp)
1	Arduino Nano	1	100.000	100.000
2	Motor Driver	1	60.000	60.000
3	Rotary Encoder	1	10.000	10.000
4	Motor DC 12V	1	60.000	60.000
5	Step Down	1	30.000	30.000
6	Resistor	3	3.000	9.000
7	Soket Sasismidi 7 Pin	1	30.000	30.000
8	Kabel Jumper	5	12.000	60.000
9	Timah Solder	1	21.000	21.000
10	Solder	1	20.000	20.000
11	Flament PLA	1	208.000	208.000
12	Sekrup dan Mur	7	6.000	42.000
13	Lem/Perekat	1	12.000	12.000

3.8. Perancangan Program

Pada perencanaan pembuatan program pada kontrol servo valve menggunakan *software Arduino* untuk menjalankan perangkat yang akan dikontrol dengan coding yang akan ditentukan. Untuk menghubungkan sistem DCS ke perangkat elektronik maka digunakan Arduino nano sebagai *interface* agar dapat mengontrol perangkat yang akan beroperasi.

Pada saat memulai dilakukan setup terlebih dahulu, setelah itu proses dimulai dilanjutkan dengan inisialisasi sistem, sistem melakukan beberapa pengaturan awal yaitu:

1. Serial menginisialisasi komunikasi serial.
2. Pin Mode menentukan mode input/output pin pada mikrokontroler.
3. Baca EEPROM yaitu membaca nilai awal encoder yang disimpan di EEPROM.
4. Set Interrupt Encoder yaitu mengatur interupsi untuk pembacaan encoder.

Setelah itu program masuk ke Loop dan membaca data analog dari sensor rotary encoder kemudian mengonversi nilai analog menjadi nilai target untuk pergerakan motor (dalam bentuk jumlah langkah encoder). Lalu dihitung selisih antara nilai yang terbaca dari encoder, mengecek apakah error cukup kecil (dalam batas toleransi jika benar maka motor dimatikan karena posisi sudah mendekati target),

jika nilai encoder yang sekarang berbeda dari yang disimpan, maka nilai baru disimpan ke EEPROM. Apabila error maka menentukan arah gerakan motor:

Yes : Motor maju mengaktifkan motor untuk bergerak maju

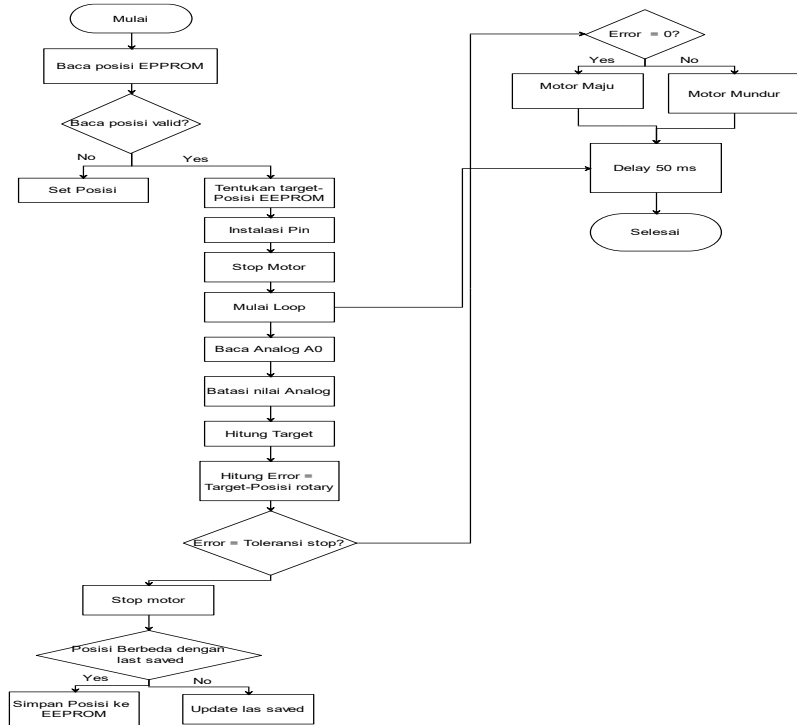
- IN1 = LOW
- IN2 = HIGH

No : Motor Mundur mengaktifkan motor untuk bergerak mundur

- IN1 = HIGH
- IN2 = LOW

Setelah itu menampilkan info serial (Kemungkinan error, nilai data encoder atau target) ke serial monitor dengan delay 50ms sebelum loop di ulang. Dan terakhir loop berakhir meskipun dalam sistem embedded, biasanya loop akan terus berulang. Flowchart ini menggambarkan sebuah sistem kontrol motor berbasis posisi dengan feedback dari encoder. Tujuannya adalah agar motor bergerak hingga mencapai posisi target berdasarkan input analog, dan berhenti secara otomatis bila mendekati target dalam batas toleransi tertentu.

Berikut perancangan flowchart pada arduino nano:

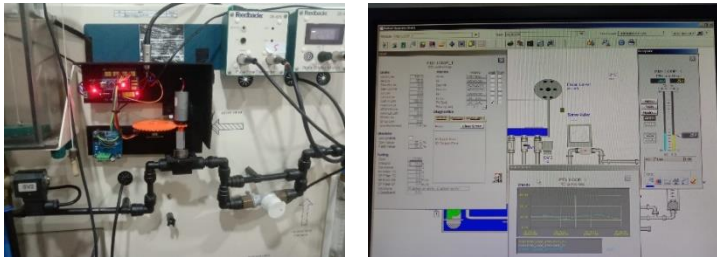


Gambar 12. Perancangan program

3.9. Pengujian Pada Alat Pada Kontrol PID

Pada percobaan pada alat ini akan menggambarkan suatu sistem kendali otomatis untuk pengoperasian buka dan tutup katup (valve) yang akan di kendalikan melalui sinyal dari *Distributed Control System* (DCS). Sinyal dari DCS diterima oleh mikrokontroler (Arduino Nano) yang berfungsi sebagai pemusat pemrosesan. Mikrokontroler tersebut juga menerima umpan balik dari rotary encoder guna mengetahui posisi aktual katup. Berdasarkan data masukan dan umpan balik tersebut, mikrokontroler memberikan sinyal kendali kepada motor driver yang selanjutnya menggerakkan servo motor. Servo motor kemudian menjalankan mekanisme buka atau tutup pada katup sesuai intruksi yang telah di proses, sehingga sistem dapat mengatur posisi katup secara presisi dan terkontrol. Untuk percobaan pada kontrol PID, jika setpoint level yang kita inginkan 10% maka kita atur KC dan TI di 25, maka error pada float switch 12% maka errornya adalah $12\% - 10 = 2\%$, dan jika set poin level yang kita inginkan 20% maka kita atur KC dan TI di 10, maka nilai pada float switch nya 21% maka errornya adalah $21\% - 20\% = 1\%$.

Berikut Gambar pengujian alat menggunakan Kontrol PID:



Gambar 13. Pengujian Alat Pada Kontrol PID

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengujian Pada Rotary Encoder

Pada data yang di tampilkan adalah data yang didapat dari rotary encoder yang digunakan sebagai sensor feedback untuk motor DC dengan pembacaan target putaran dan posisi rotary encoder, untuk motor dc dengan pembacaan target putaran dan posisi rotary encoder menggunakan serial monitor dari arduino nano

Tabel dibawah menunjukkan hasil pengujian sistem kendali motor menggunakan rotary encoder. Rotary encoder digunakan untuk mendeteksi posisi atau jumlah putaran motor. Terget putaran motor adalah nilai yang diinginkan atau diperintahkan oleh sistem kontrol agar motor berputar hingga titik tertentu. Posisi rotary encoder adalah nilai aktual atau hasil pembacaan dari sensor rotary encoder setelah motor bergerak. Nilai target dan posisi aktual sama persis untuk semua data, ini akan menunjukkan bahwa sistem kendali motor sangat akurat, motor berhasil mencapai target posisi yang di inginkan tanpa kesalahan.

Berikut Tabel hasil pengujian pada sensor Rotary encoder:

Tabel 4. Tabel Hasil Pengujian Sensor Rotary Encoder

No	Target Putaran Rotary Encoder	Posisi Rotary Encoder	Flow Meter (L/min)
1	0	0	0.0
2	14	16	0.2
3	28	32	0.4
4	42	45	0.6
5	56	58	0.8
6	70	72	1.0
7	85	86	1.2
8	98	100	1.4
9	112	114	1.6
10	126	128	1.8
11	141	143	2.0
12	155	157	2.2
13	170	172	2.4
14	184	186	2.6
15	198	200	2.8
16	213	215	3.0
17	227	230	3.2
18	240	243	3.4
19	254	256	3.6
20	267	269	3.8
21	280	281	4.0

4.2. Hasil Pengujian Motor Driver dan Motor DC

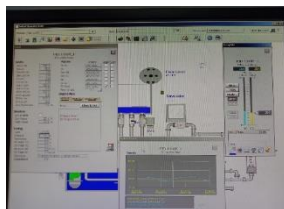
Pegujian Motor Driver dan motor dc adalah proses penting dalam pengembangan sistem kontrol motor. Hasil pengujian ini memberikan pemahaman mendalam tentang kinerja motor dan kemampuan motor driver dalam mengendalikan motor tersebut. Berikut adalah hasil pengujian driver motor dan motor dc tersebut. Sinyal *LOW* di *input* pertama dan *HIGH* di input kedua membuat arus mengalir dari satu arah tertentu ke motor dan menghasilkan putaran maju (*forward*). Sinyal *HIGH* di input pertama dan *LOW* di input kedua membuat arus mengalir dari arah sebaliknya sehingga menghasilkan putaran mundur (*reverse*). Yang terakhir kedua sinyal *LOW* artinya tidak ada arus yang mengalir ke motor, motor berhenti (tidak berputar).

Tabel 5. Hasil Pengujian Motor Driver dan Motor DC

Logika Keluaran		Arah Putaran Motor DC
LOW	HIGH	Forward
HIGH	LOW	Reverse
Low	Low	Motor Stop

4.3. Hasil Dari Pengujian Kontrol PID Pada DCS

Pada pengujian selanjutnya hasil dan pembahasan yang si sampaikan pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar dibawah, nilai yang didapat dalam Fabrikasi Servo Valve menggunakan Rotary encoder Sebagai Akuator DCS, nilai yang di tampilkan adalah nilai persentase pada pergerakan atau perputaran sebuah valve dengan jumlah maksimal 100% Putaran.



Tabel 6. Data Tabel Hasil Pengujian Alat

No	Set Poin DCS	Tegangan DCS (V)	Input AO	Target Putaran	Posisi Encoder	Flow Meter (L/min)	Error
1	0%	0.86	194	0	0	0.0	0
2	5%	1.03	233	14	16	0.2	-2
3	10%	1.20	272	28	32	0.4	-4
4	15%	1.38	311	42	45	0.6	-3
5	20%	1.55	351	56	58	0.8	-2
6	25%	1.73	390	70	72	1.0	-2
7	30%	1.91	430	85	86	1.2	-1
8	35%	2.09	470	98	100	1.4	-2
9	40%	2.27	509	112	114	1.6	-2
10	45%	2.46	548	126	128	1.8	-2
11	50%	2.64	587	141	143	2.0	-2
12	55%	2.80	626	155	157	2.2	-2
13	60%	2.96	665	170	172	2.4	-2
14	65%	3.16	704	184	186	2.6	-2
15	70%	3.36	744	198	200	2.8	-2
16	75%	3.53	782	213	215	3.0	-2
17	80%	3.69	821	227	230	3.2	-3
18	85%	3.87	890	240	243	3.4	-3
19	90%	4.04	896	254	256	3.6	-2
20	95%	4.22	965	267	269	3.8	-2
21	100%	4.39	970	280	281	4.0	-1

Kontrol PID ini menjelaskan implementasi dan pengamatan kontrol PID pada sistem DCS DeltaV di Area RIG38-100 dengan menggunakan blok PID yang terhubung ke input dan output analog. Dalam pengujian teori, pengaturan parameter seperti gain sebesar 8 dan waktu integral 10 detik diaplikasikan untuk mengamati respon sistem terhadap perubahan set point. Variabel proses (PV) berusaha mengikuti set point dengan error sebagai selisih antara keduanya. Gain yang tinggi mempercepat respon sistem sehingga PV lebih cepat mendekati set point, sementara waktu integral berfungsi menghilangkan error jangka panjang dengan melakukan integrasi kesalahan. Pengaturan ini menunjukkan bagaimana parameter PID memengaruhi kestabilan dan performa kontrol, di mana gain yang terlalu besar dapat menyebabkan sistem overshoot dan tidak stabil, sedangkan integral yang

tidak tepat dapat menimbulkan osilasi atau meninggalkan error steady-state. Dengan demikian, modul ini memberikan gambaran praktis dan teoretis pentingnya penyesuaian parameter PID untuk mengoptimalkan kinerja sistem kontrol dalam mencapai kestabilan proses dan set point yang diinginkan.

4.4. Hasil Data Pengujian Kontrol PID

Pengambilan data PID ini dilakukan dengan menghubungkan input analog dari sensor ke PID block dalam DCS DeltaV, mengatur alamat I/O output kontrol, dan memilih ring sistem yang akan dikontrol. PID menggunakan data KC, TI, dan menghitung error sebagai masukan untuk proses kontrol otomatis. Berikut tabel pengambilan data pada kontrol PID:

Tabel 7. Data Tabel Hasil Pengujian PID

No	Gain(KC)	Integral(TI)	Target/Float Switch	Posisi Float Switch	Error
1	0	0	0	0	0
2	25	25	10	12	-2
3	10	10	20	22	-2
4	10	10	30	32	-2
5	10	10	40	41	-1
6	10	10	50	53	-3
7	10	10	60	62	-2
8	10	10	70	73	-3
9	6	6	80	84	-4
10	6	6	90	92	-2
11	6	6	100	102	-2

Pada pengambilan data ini dilakukan secara bertahap sehingga kita dapat mengatur nilai target dan nilai posisi secara bersamaan dan kita dapat memperbaiki posisi target yang kita inginkan melalui Gain(KC), Integral(TI) secara manual sehingga kita dapat melihat hasil nilai error pada target yang kita inginkan.

4.5. Konektor DCS TO Servo

Pada gambar dibawah adalah tampilan servo adalah tampilan dcs, untuk koneksi servo ke dcs terhubung ke dcs menggunakan kabel soket 7 pin, untuk pin yang digunakan ialah pin 1, pin 5 dan pin ground, pin 1 digunakan untuk sinyal dcs yang berupa tegangan dengan nilai 24V yang terhubung ke analog arduino nano, sebelum ke arduino nano pin satu tersebut dihubungkan ke resistor 230 ohm, setelah melalui resistor tegangan tersebut bernilai maksimal 4.39V dan nilai tersebut berubah sesuai sinyal diberikan dari sistem dcs, dan pin 5 digunakan untuk power ke arduino nano dan motor dc dan pin *ground* ke *ground*.



Gambar 14. Konektor DCS TO Servo

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. Perancangan Alat

Merancang dan merealisasikan servo valve menggunakan rotary encoder sebagai aktuator dalam sistem kontrol DCS, maka dapat disimpulkan bahwa proyek ini berhasil mencapai sasaran yang telah ditetapkan. Sistem yang dibangun mampu membuka dan menutup *valve* secara otomatis serta membaca posisi pergerakan katup menggunakan rotary encoder sebagai umpan balik. Mikrokontroler Arduino digunakan untuk mengendalikan motor DC sebagai penggerak *valve*, yang arah putarannya diatur melalui *motor driver*. Integrasi Arduino dengan sistem DCS juga berhasil dilakukan, di mana sinyal analog dari DCS mampu diterjemahkan menjadi target posisi putaran secara *real-time*. Dengan demikian, rumusan masalah mengenai cara membuat penggerak *valve* berbasis motor DC dan Arduino, menghubungkan program ke DCS, serta memanfaatkan rotary encoder sebagai acuan posisi buka tutup *valve* telah terjawab melalui perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang menunjukkan hasil akurat dan stabil. Sistem ini terbukti mampu memberikan kontrol aliran *fluida* secara efektif, dan dapat diaplikasikan dalam otomasi industri berbasis DCS.

2. Pengujian

Dengan menggunakan blok PID yang terhubung ke input dan output analog, serta pengaturan parameter seperti gain dan integral, dapat dilihat bagaimana parameter tersebut memengaruhi respon sistem terhadap perubahan set point. Pengaturan gain sebesar 8 dan integral waktu 10 detik memberikan gambaran perubahan proses variabel (PV) dan error yang terjadi saat sistem menyesuaikan diridengan referensi. Pengamatan terhadap data PV aktual dan error memungkinkan pemahaman tentang kinerja kontrol PID dalam menjaga kestabilan proses dan mencapai nilai set point secara efektif.

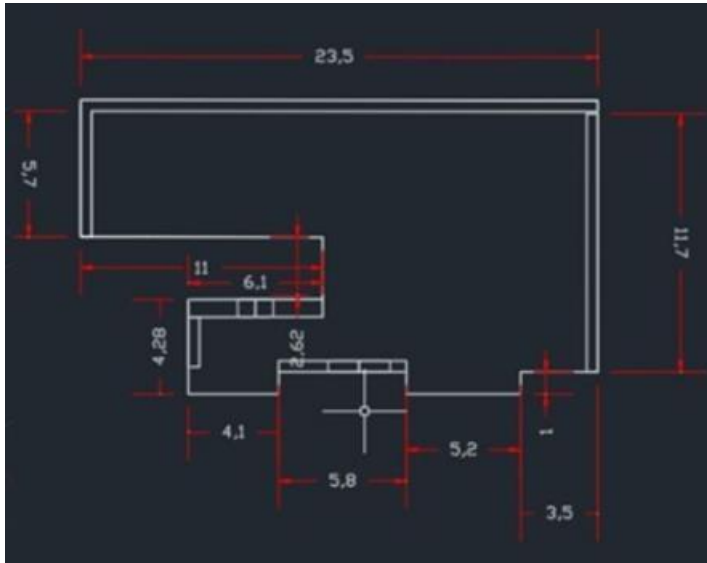
5.2. Saran

Berdasarkan hasil tugas akhir dari pembuatan alat yang sudah dilakukan penulis berharap pada pengembangan alat selanjutnya agar lebih diperhatikan lagi untuk ukuran gear pada motor dc dan rotary encoder karena akan berpengaruh pada jumlah putaran rotary encoder. Penulis juga ingin case nya agar ditambahkan fitur seperti penutup pada case sehingga dapat melindungi semua komponen dari percikan atau tetesan air.

Daftar Pustaka

- [1] Faisal Irsan Pasaribu, Zulfikar, (2024). Rancang Bangun Sistem Kontrol Buka Tutup Valve Pada Proses Pemanasan Air Jacket.
- [2] Rizal Maulavi. (2017). Rancang bangun aktuator *servo valve operating valve* pada *prototype* dan simulator boiler di *workshop* Instrumentasi.
- [3] Aditya Prasetyo. (2021). Rancang Bangun Pengontrolan Selenoid Valve oleh Arduino pada alat peraga *Fresh Water Generator*.
- [4] Harris Zenal. (2014). Konsep Desain Alat Uji Kinerja *Servo-Valve Design Concept of Testing Machine of Servo Valve-Valve Performances*.
- [5] Muhammad Fachrudin Al Fadani. (2018). Perancangan dan Penerapan *Driver Servo Valve* pada Modul *Elektro Hidrolik Servo mechanism EHS 160*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Tengku Khamzah Fauzi. (2023). *Datasheet* Arduino Uno Lengkap Dengan Fungsinya.
- [7] Muhammad Habib AL Khairi. (2023). Mengenal Fungsi map () pada Arduino.
- [8] Nizbah, F. (2013). H. Zeenal. (2014). Pengertian dan Prinsip Kerja Motor Sinkron. Konsep Desain Alat Uji Kinerja Servo Valve. Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur. 2014. bppt 14 (1): 9 – 18.
- [9] Ashar Arifin. (2023). Sistem Kontrol Open Loop dan Close Loop Serta contohnya.
- [10] Automation Jaya Elektrik. (2023). Prinsip dan Pengertian Kerja Motor Servo. <https://aje.co.id/prinsip-dan-pengertian-kerja-motor>.
- [11] Faisal Irsan Pasaribu, Zulfikar. (2023). Rancang Bangun Sistem Kontrol Buka Tutup Valve Pada Proses Pemanasan Air Jacket. <https://aje.co.id/prinsip-dan-pengertian-motor-servo>.
- [12] Aspina. (3023). Apa itu motor DC? – Jenis-jenis motor DC, cara kerjanya,dancarapengendaliannya”:URL:https://eu.aspina-group.com/en/learning_zone/columns/what-is/030/.
- [13] Kurniawati, Mahgarita Tri., Tarmukan., dan Muhammad Rifai. (2019). Implementasi DCS (Distributed Control System) Sebagai Pengontrol Suhu Pada Proses Pemanasan Air Dengan Metode MPC (Model Predictive Control). Jurnal ELKOLIND. Vol 06. No 3.
- [14] Syarif, Muhammad & A. Firdauliah. (2009). Sistem Pembacaan Kecepatan Putaran Motor Berbasis Rotary Encoder.
- [15] Revidho Yusuf Demanigha. (2019). Rancang Bangun Sistem Deteksi Kerusakan Pola Batik Menggunakan Metode First Order. Jurnal

Lampiran



Lampiran 1. Etiket Mekanikal

Lampiran 1. Biodata Ketua dan Anggota serta Dosen Pendamping



Nama	Mikael Josua Hutagalung
TTL	21 Mei 2004
Agama	Kristen
Alamat	Perum Glory Tanjung Riau Blok B2 NO 09
Email	Mikaelhutagalung574@gmail.com

Riwayat Pendidikan	SMK Negeri1 Batang Angkola
--------------------	----------------------------

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di

kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan,
saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan.

	Batam, 2 Juni 2025
--	--------------------

2. Dosen Pembimbing

No	Nama Lengkap (Dengan Gelar)	Aditya Gautama Darmayono S.T, M.T
1	Jenis Kelamin	Laki-Laki
2	Program Studi	Teknik Instrumentasi
3	NIP/NIDN	
4	Tempat dan Tanggal Lahir	
5	Alamat E-mail	
6	Nomor Telepon/HP	

A. Riwayat Pendidikan

No	Jenjang	Bidang Ilmu	Institusi	Tahun Lulus
1	Sarjana (S1)			
2	Magister (S2)			
3	Doktor (S3)			

Lampran 2

1.Codingan Program

FINAL_CODING.ino

```
1  #include <EEPROM.h>
2
3  // === PIN ROTARY ENCODER ===
4  const int pinCLK = 2;
5  const int pinDT  = 3;
6
7  // === PIN MOTOR DRIVER ===
8  const int IN1 = 7;
9  const int IN2 = 6;
10 const int PWM = 9;
11
12 // === PIN ANALOG INPUT ===
13 const int analogInputPin = A0;
14
15 // === VARIABEL ENCODER ===
16 volatile int encoderCount = 0;
17 int lastCLK = 0;
18
19 // === TARGET & EEPROM ===
20 int targetCount = 0;
21 const int encoderMax = 300;      // hasil kalibrasi maksimal
22 const int stopThreshold = 2;    // toleransi berhenti
23 #define EEPROM_ADDR 0
24 int lastSaved = -1;
25
```

```

26 void setup() {
27     Serial.begin(9600);
28
29     // Baca posisi terakhir dari EEPROM
30     EEPROM.get(EEPROM_ADDR, encoderCount);
31     if (encoderCount < 0) encoderCount = 0;
32     if (encoderCount > encoderMax) encoderCount = encoderMax;
33     targetCount = encoderCount;
34
35     // Rotary Encoder setup
36     pinMode(pinCLK, INPUT);
37     pinMode(pinDT, INPUT);
38     lastCLK = digitalRead(pinCLK);
39
40     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinCLK), readEncoder, CHANGE);
41     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinDT), readEncoder, CHANGE);
42
43     // Motor setup
44     pinMode(IN1, OUTPUT);
45     pinMode(IN2, OUTPUT);
46     pinMode(PWM, OUTPUT);
47
48     // Analog input pin
49     pinMode(analogInputPin, INPUT);
50
51     stopMotor();
52
53     Serial.print("Posisi terakhir dari EEPROM: ");
54     Serial.println(encoderCount);
55 }
56
57 void loop() {
58     // === Baca nilai dari analog pin A0 ===
59     int analogValue = analogRead(analogInputPin); // 0-1023
60
61     analogValue = constrain(analogValue, 188, 966); // sesuai data
62     targetCount = round(0.2661 * analogValue + 37.92); // hasil pemetaan data real
63
64     int error = targetCount - encoderCount;
65
66     if (abs(error) <= stopThreshold) {
67         stopMotor();
68
69         // Simpan posisi terakhir
70         if (encoderCount != lastSaved) {
71             EEPROM.put(EEPROM_ADDR, encoderCount);
72             lastSaved = encoderCount;
73             Serial.print("Posisi disimpan ke EEPROM: ");
74             Serial.println(encoderCount);
75         }
76     }

```