

**PURWARUPA ROBOT LENGAN BERBASIS PNEUMATIK DAN MOTOR
DC SEBAGAI PENGANGKAT ANAK TIMBANGAN**

TUGAS AKHIR



Oleh:

Cenneth Paolo Anderson Bai Adoe / A021001

**PROGRAM STUDI D-III METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
AKADEMI METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
KEMENTERIAN PERDAGANGAN**

2024

**PURWARUPA ROBOT LENGAN BERBASIS PNEUMATIK DAN MOTOR
DC SEBAGAI PENGANGKAT ANAK TIMBANGAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan tahap pendidikan D-III pada
Program Studi D-III Metrologi dan Instrumentasi
Akademi Metrologi dan Instrumentasi



Oleh:

Cenneth Paolo Anderson Bai Adoe / A021001

AKMET | Akademi
Metrologi dan
Instrumentasi

**PROGRAM STUDI D-III METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
AKADEMI METROLOGI DAN INSTRUMENTASI
KEMENTERIAN PERDAGANGAN**

2024

HALAMAN PERSETUJUAN

Laporan Tugas Akhir berjudul :

**PURWARUPA ROBOT LENGAN BERBASIS PNEUMATIK DAN MOTOR
DC SEBAGAI PENGANGKAT ANAK TIMBANGAN** yang disusun oleh
Cenneth Paolo Anderson Bai Adoe (NIM A021001) telah disetujui dosen
pembimbing untuk dipertahankan dalam **Ujian Tugas Akhir**



Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 26 Juli 2024

Pembimbing 1

Irawati Dewi Syahwir, M.T.

NIP. 19810829 200901 2 002

HALAMAN PERSETUJUAN

Laporan Tugas Akhir berjudul :

**PURWARUPA ROBOT LENGAN BERBASIS PNEUMATIK DAN MOTOR
DC SEBAGAI PENGANGKAT ANAK TIMBANGAN** yang disusun oleh
Cenneth Paolo Anderson Bai Adoe (NIM A021001) telah disetujui dosen
pembimbing untuk dipertahankan dalam **Ujian Tugas Akhir**



Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 26 Juli 2024

Pembimbing 2

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Muhammad Wahyudi, A.Md.', is positioned above the printed name.

Muhammad Wahyudi, A.Md.

NIP. 19710917 199903 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul ”Purwarupa Robot Lengan Berbasis Pneumatik dan Motor DC Sebagai Pengangkat Anak Timbangan”. Penulisan laporan Tugas Akhir dilakukan dalam rangka memenuhi syarat kelulusan program D3 Metrologi dan Instrumentasi. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak/Ibu:

1. Vera Firmansyah M.Si. selaku Direktur Akademi Metrologi dan Instrumentasi yang telah memfasilitasi beasiswa pendidikan pada program studi D3 Metrologi dan Instrumentasi;
2. Willi Sutanto, S.Si., M.A., M.S.E., M.T. selaku Ketua Program Studi yang telah membantu dan memberikan kemudahan kepada penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir ini;
3. Irawati Dewi Syahwir, M.T. selaku dosen pembimbing 1 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini;
4. Muhammad Wahyudi, A.Md. selaku dosen pembimbing 2 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini;
5. Johanis Ricard Bai Adoe, Sance Yuliana Ndolu, Yohana Teddy Sabuna selaku orang tua dan keluarga penulis yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
6. Sahabat yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga laporan Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu. Akhir kata penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar laporan Tugas Akhir ini dapat disempurnakan.

Cenneth Paolo Anderson Bai Adoe

ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang sangat pesat memungkinkan semua pekerjaan manusia digantikan oleh teknologi robot. Jenis robot yang paling sering digunakan dalam industri adalah robot lengan. Robot lengan mampu meniru karakteristik lengan manusia sehingga sering kali digunakan untuk membantu manusia dalam mengangkat serta memindahkan barang. Dengan prinsip tersebut, memungkinkan robot lengan dimanfaatkan sebagai robot pengangkat anak timbangan untuk alat bantu dalam kalibrasi timbangan elektronik. Robot lengan dapat meminimalkan pengaruh suhu yang mengganggu proses penimbangan serta mengefisienkan tenaga pada proses kalibrasi timbangan elektronik dalam skala besar. Pada penelitian ini dibuat purwarupa robot lengan sebagai pengangkat anak timbangan. Robot lengan dikembangkan menggunakan sistem pneumatik dan motor DC untuk pengangkatan beban yang cukup berat, namun pengoperasian masih secara manual. Hasil pengujian robot lengan pada silinder hasta gaya *extend* mencapai 106,76 N dan gaya *retract* 81,77 N. Pada silinder *wrist* gaya *extend* mencapai 100,48 N dan gaya *retract* 89,68 N. Putaran pada motor DC stabil pada 100 rpm dengan *steady state error* 0%. Respons sistem pada motor DC diperoleh *rise time* 0,72s; *settling time* 6s dan *overshoot* 2%. Hasil pengujian unjuk kerja yang dilakukan menunjukkan bahwa robot lengan mampu mengangkat, memindahkan, serta meletakkan anak timbangan 1 kg dan 2 kg dari landasan anak timbangan ke timbangan elektronik dengan lima kali percobaan.

Kata Kunci: Robot Lengan, Sistem Pneumatik, Motor DC, Kontrol PID Anak Timbangan

ABSTRACT

The rapid development of technology has allowed all human jobs to be replaced by robot technology. The most commonly used type of robot in industry is the arm robot. Arm robots are able to mimic the characteristics of human arms so they are often used to assist humans in lifting and moving objects. With this principle, it allows the robot arm to be used as a robot to lift weights for aids in calibrating electronic scales. Robot arms can minimize the influence of temperature that interferes with the weighing process and streamline the power of the calibration process of electronic scales on a large scale. In this study, a prototype of an arm robot was made as a weight lifter. The robot arm was developed using a pneumatic system and a DC motor for heavy load lifting, but the operation was still manual. The test results of the arm robot on the extend force cubit cylinder reached 106.76 N and the retract force was 81.77 N. In the wrist cylinder the extend force reached 100.48 N and the retract force was 89.68 N. The rotation on the DC motor was stable at 100 rpm with a steady state error of 0%. The system response on the DC motor obtained a rise time of 0.72s; settling time 6s and overshoot 2%. The results of the demonstration test carried out showed that the arm robot was able to lift, move, and place 1 kg and 2 kg weights from the weight platform to the electronic scale with five attempts.

Keywords: Robot Arm, Pneumatic System, DC Motor, PID Control, Weigh Ladder

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian Pembatasan Masalah	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Pembatasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 5
2.1 Robot Lengan	5
2.2 Sistem Pneumatik	6
2.2.1 Hukum Pascal	7
2.2.2 Gaya Piston	8
2.2.3 Gaya Vacuum Suction	9
2.2.4 Komponen Sistem Pneumatik	10
2.3 Sistem Kontrol PID	15
2.4 Komponen Elektronik	17
2.4.1 Arduino Uno	17
2.4.2 Joystick	18
2.4.3 Relay	18
2.4.4 Motor DC	19
2.4.5 Rotary Encoder	20
2.4.6 Motor Driver	20
2.4.7 Konverter AC-DC	21
2.4.8 DC Step Down	22
2.5 Anak Timbangan	23
 BAB III RANCANG BANGUN	 24
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	24
3.2 Metode Penelitian	24
3.3 Deskripsi Purwarupa	24
3.4 Perancangan Sistem	25
3.5 Perancangan Komponen Elektronik	28
3.5.1 Rangkaian Power Supply	28
3.5.2 Rangkaian Joystick	29
3.5.3 Rangkaian Motor DC	30
3.5.4 Rangkaian Modul Relay	31
3.5.5 Rangkaian 5/3-Way Solenoid Valve	32
3.5.6 Rangkaian 2/2-Way Solenoid Valve	33

3.6 Perancangan Komponen Mekanik	34
3.6.1 Skema Diagram Pneumatik	34
3.6.2 Desain Rangka Robot Lengan	36
3.6.3 Desain <i>Enclosure</i> Rangkaian	37
3.6.4 Perhitungan Komponen Mekanik.....	38
3.7 Prosedur Kalibrasi <i>Pressure Gauge</i>	43
3.8 Prosedur Pengujian Fungsi <i>Joystick</i>	45
3.9 Prosedur Pengujian <i>Tuning</i> PID Motor DC	45
3.10 Prosedur Pengujian Gaya Silinder	46
3.11 Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Purwarupa	46
3.12 Prosedur penggunaan Purwarupa.....	47
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 49
4.1 Hasil Purwarupa.....	49
4.2 Hasil Kalibrasi <i>Pressure Gauge</i>	53
4.3 Hasil Pengujian Fungsi Joystick	54
4.4 Hasil Pengujian <i>Tuning</i> PID Motor DC.....	54
4.5 Hasil Pengujian Gaya Silinder Pneumatik	58
4.6 Hasil Pengujian Unjuk Kerja Purwarupa	61
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	 64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
 DAFTAR PUSTAKA	 66
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Kompresor Lakoni Basic 9S.....	10
Tabel 2.2 Spesifikasi 5/3-way solenoid valve 4V230C.....	11
Tabel 2.3 Spesifikasi Vakum Ejektor STNC ZK-08.....	13
Tabel 2.4 Spesifikasi Mini Cylinder MA 20×50.....	13
Tabel 2.5 Spesifikasi Vacuum Suction VASB-40-1/4-SI-B.....	14
Tabel 2.6 Spesifikasi Pressure Gauge Doziro	15
Tabel 2.7 Spesifikasi Arduino Uno R3	17
Tabel 2.8 Spesifikasi Motor DC JGY-370	19
Tabel 2.9 Spesifikasi Motor Driver L298N	21
Tabel 2.10 Spesifikasi Konverter AC-DC WX-DC212.....	22
Tabel 2.11 Spesifikasi Step Down LM2596.....	23
Tabel 3.1 Berat Komponen Pneumatik	38
Tabel 4.1 Hasil Kalibrasi Pressure Gauge.....	53
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fungsi Joystick	54
Tabel 4.3 Respons Sistem Pengendali Proportional (P).....	55
Tabel 4.4 Respons Sistem Pengendali Proportional Integral (PI)	56
Tabel 4.5 Respons Sistem Pengendali Proportional Integral Derivative (PID).....	57
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Gaya Silinder Hasta	58
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Gaya Silinder Wrist	60
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Unjuk Kerja Robot Lengan.....	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Robot lengan	5
Gambar 2.2 Sistem Pneumatik	7
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Hukum Pascal	8
Gambar 2.4 Penampang Silinder Pneumatik	9
Gambar 2.5 Kompresor Lakoni Basic 9S	10
Gambar 2.6 5/3-way solenoid valve 4V230C	11
Gambar 2.7 Prinsip Kerja Vakum Ejektor	12
Gambar 2.8 Vakum Ejektor	12
Gambar 2.9 Silinder Pneumatik	13
Gambar 2.10 Vacuum Suction	14
Gambar 2.11 Pressure Gauge	15
Gambar 2.12 Rumus Kontrol PID	16
Gambar 2.13 Arduino Uno	17
Gambar 2.14 Module Joystick KY-023	18
Gambar 2.15 Relay	19
Gambar 2.16 Motor DC JGY-370	19
Gambar 2.17 Rotary Magnetic Encoder Module	20
Gambar 2.18 Motor Driver L298N	21
Gambar 2.19 Konverter AC-DC WX-DC212	22
Gambar 2.20 DC Step Down LM2596	22
Gambar 2.21 Anak Timbangan	23
Gambar 3.1 Diagram Blok Alur Penelitian	24
Gambar 3.2 Purwarupa Robot Lengan pada Meja Kerja	25
Gambar 3.3 Diagram Blok Purwarupa	25
Gambar 3.4 Flowchart Alur Kerja Purwarupa	27
Gambar 3.5 Rangkaian Robot Lengan	28
Gambar 3.6 Rangkaian Power Supply	29
Gambar 3.7 Rangkaian Joystick	30
Gambar 3.8 Rangkaian Motor DC	31
Gambar 3.9 Rangkaian Modul Relay	32
Gambar 3.10 Rangkaian 5/3-way solenoid valve	33
Gambar 3.11 Rangkaian 2/2-way solenoid valve	33
Gambar 3.12 Skema Diagram Pneumatik Robot Lengan	34
Gambar 3.13 Skema Diagram Pneumatik Pengujian Gaya pada Silinder	35
Gambar 3.14 Desain Rangka Robot Lengan	36
Gambar 3.15 Bagian-bagian Rangka Robot Lengan	36
Gambar 3.16 Desain Enclosure Rangkaian Elektronik	37
Gambar 3.17 Desain Enclosure Solenoid Valve	38
Gambar 4.1 Hasil Pembuatan Purwarupa Robot Lengan	49
Gambar 4.2 Boks Rangkaian Elektronik	50
Gambar 4.3 Boks Rangkaian Solenoid	51
Gambar 4.4 Rangka Robot Lengan	52
Gambar 4.5 Grafik Hasil Kalibrasi Pressure Gauge	53
Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Motor DC pada Pengendali Proportional (P)	55
Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Motor DC pada Pengendali Proportional Integral (PI)	56
Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Motor DC pada Pengendali Proportional Integral Derivative (PID)	57
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Gaya Silinder Hasta	59

Gambar 4.10 Grafik Pengujian Gaya Silinder Wrist.....	61
---	----



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kode Program Pengujian Fungsi <i>Joystick</i>	71
Lampiran 2 Kode Program <i>tuning</i> PID	72
Lampiran 3 Kode Program Robot Lengan	74
Lampiran 4 Data Pengujian Kalibrasi <i>Pressure Gauge</i>	77
Lampiran 5 Data Pengujian Nilai Kp.....	78
Lampiran 6 Data Pengujian Nilai Ki.....	80
Lampiran 7 Data Pengujian Nilai Kd.....	82
Lampiran 8 Tabel Konversi Jumlah Data ke Waktu Respons Sistem PID	84
Lampiran 9 Data Pengujian Gaya Silinder Hasta	85
Lampiran 10 Data Pengujian Gaya Silinder <i>Wrist</i>	86
Lampiran 11 Dokumentasi Kalibrasi <i>Pressure Gauge</i>	87
Lampiran 12 Dokumentasi Pengujian Purwarupa.....	88
Lampiran 13 Video Unjuk Kerja Purwarupa	90
Lampiran 14 <i>Log Book</i> Tugas Akhir.....	91



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi di era globalisasi ini menjadi sangat pesat. Teknologi robot merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan modern (Munawir dkk. 2023). Alat-alat manual yang memerlukan banyak tenaga manusia untuk beroperasi, kini telah diganti oleh teknologi robot (Lesmana dkk, 2020). Terdapat banyak sekali jenis robot yang dikembangkan dengan berbagai macam kemampuan, model serta bentuk karakteristiknya (Lasmono dkk, 2019). Salah satu jenis robot yang paling sering digunakan dalam industri adalah robot lengan atau robot manipulator (Syam, 2015). Robot lengan atau robot manipulator ini dibuat dengan meniru karakteristik lengan manusia, dengan menerapkan *Degree of Freedom* (DoF) pada gerakannya serta menggunakan berbagai komponen elektronika (Kurniawan, 2023). Fungsi utama dari robot lengan ini adalah untuk membantu manusia dalam mengangkat serta memindahkan barang dari suatu tempat ke tempat yang ditentukan. Kemampuan pengangkatan beban oleh robot dapat melebihi kemampuan manusia normal tergantung dari spesifikasi robot lengan itu sendiri (Utomo dkk. 2020).

Anak Timbangan (AT) merupakan benda ukur massa yang diatur berdasarkan karakteristik fisik dan kemetologiannya yang meliputi harga nominal, bahan, konstruksi, dimensi, massa jenis, kondisi permukaan, penandaan dan kesalahan maksimumnya (SK Dirjen PDN No.40, 2010). Salah satu peran AT dalam kegiatan kemetrologian adalah sebagai alat standar dalam kalibrasi timbangan elektronik. Kalibrasi timbangan elektronik kelas tinggi membutuhkan AT kelas tinggi juga. Namun, penggunaan AT kelas tinggi membutuhkan perhatian yang lebih, sehingga umumnya teknisi kalibrasi menggunakan sarung tangan ketika memegang AT. Hal ini dikarenakan sarung tangan mampu meminimalkan pengaruh suhu yang dapat mengganggu proses penimbangan saat meletakkan anak timbangan (SNSU PK.M-04, 2022). Kemudian, kalibrasi dalam skala yang besar membutuhkan waktu dan tenaga yang lebih. Oleh sebab itu diperlukan suatu alat yang dapat mengangkat, memindahkan serta meletakkan AT sebagai alat bantu dalam proses kalibrasi timbangan elektronik. Salah satu alat yang dapat membantu pengangkatan, pemindahan, dan peletakan AT adalah robot lengan. Robot lengan dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu pengangkat AT untuk keperluan kalibrasi timbangan elektronik. Dengan pengangkatan AT oleh robot lengan, memungkinkan untuk tidak adanya

kontak fisik antara manusia dengan AT sehingga mampu mengatasi pengaruh suhu yang dapat mengganggu proses penimbangan. Selain itu robot lengan juga mampu bekerja secara berulang, sehingga dapat mengefisiensikan dan tenaga serta mengoptimalkan pekerjaan dalam skala besar. Pada penelitian ini dirancang suatu purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan untuk mempermudah dalam kegiatan kemetrolagian.

Pembuatan Tugas Akhir dengan judul “Purwarupa Robot Lengan Berbasis Pneumatik dan Motor DC Sebagai Pengangkat Anak Timbangan” merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya. Pada tahun 2017 terdapat penelitian yang berjudul “Pengembangan Lengan Robot Menggunakan Sistem Pneumatik Untuk Mengambil Benda”(Cesar, 2017). Pada penelitian tersebut digunakan sistem pneumatik dan motor servo sebagai penggerak utama robot lengan. Hasil robot lengan yang dibuat hanya mampu mengangkat beban sebesar 675 g. Kemudian pada tahun 2021, terdapat penelitian yang berjudul “Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan Menggunakan Tampilan Antarmuka Pengguna Berbasis Arduino Uno”(Anggi dan Iklima, 2021). Pada penelitian ini digunakan motor servo sebagai penggerak robot lengan. Beban yang mampu diangkat oleh robot ini hanya mencapai 22 g. Pada tahun yang sama terdapat juga penelitian oleh mahasiswa Akademi Metrologi dan Instrumentasi yang berjudul “Prototipe Robot Lengan Otomatis Pengangkat Anak Timbangan Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO”(Priyatna dan Ratnasari, 2021). Pada penelitian tersebut penggerak utama robot lengan menggunakan motor servo. Namun hasil pembuatan robot tersebut belum maksimal, di mana pergerakan robot masih sangat kasar dan hanya bisa mengangkat anak timbangan berkapasitas 100 g.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, pada hasil pembuatan robot lengan hanya dapat mengangkat beban ringan dan terdapat pergerakan robot yang kasar, maka dari itu peneliti mengembangkan penelitian berupa purwarupa robot lengan dengan menggunakan sistem pneumatik dan motor DC yang berfokus pada beban dan pergerakan robot agar robot mampu mengangkat beban yang lebih berat dan pergerakan robot dapat lebih halus, namun proses operasional robot lengan masih dilakukan secara manual.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahan dalam pembuatan tugas akhir adalah:

1. Bagaimana membuat purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan?
2. Bagaimana prinsip kerja dari purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan?
3. Bagaimana unjuk kerja purwarupa lengan robot berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan?

1.3 Tujuan Penelitian Pembatasan Masalah

Adapun tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat serta merealisasikan purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan.
2. Memanfaatkan sistem pneumatik dan motor DC sebagai basis penggerak robot lengan.
3. Robot lengan dapat mengangkat serta memindahkan anak timbangan untuk proses penimbangan.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Membantu perusahaan kalibrasi mengoptimalkan kegiatan kalibrasi timbangan elektronik.
2. Membantu teknisi kalibrasi dalam melaksanakan kalibrasi timbangan elektronik.
3. Membantu teknisi kalibrasi dalam pengangkatan anak timbangan.

1.5 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dalam pembuatan tugas akhir ini yaitu:

1. Proses kendali purwarupa dilakukan secara manual menggunakan *joystick*;
2. Purwarupa menggunakan kompresor dengan tekanan 7 bar;
3. Purwarupa menggunakan 2 buah silinder pneumatik dengan tekanan operasi 0,1~1,0 MPa;
4. Transmisi perputaran *base* menggunakan motor DC dengan bantuan *pulley* dan *belt*;

5. Tidak dilakukan kalibrasi sensor *encoder* pada motor DC;
6. *Tuning* PID Motor DC menggunakan metode *trial & error*;
7. Purwarupa menggunakan 1 buah *vacuum suction* berukuran 40 mm dengan bahan VMQ (*silicone*);
8. Massa anak timbangan yang diangkat adalah 1 kg dan 2 kg untuk menyesuaikan kemampuan *vacuum suction*;
9. Tidak dilakukan pengujian suhu pada *vacuum suction*;
10. Proses penimbangan anak timbangan menggunakan timbangan elektronik;
11. Konstruksi rangka robot lengan menggunakan bahan aluminium.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan laporan proyek akhir ini dibagi menjadi lima bagian. Rincian sistematika penulisan disajikan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN
Bab I memuat tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA
Bab II memuat tentang tinjauan pustaka yang membahas mengenai teori-teori umum serta konsep dasar sebagai penunjang dalam pembuatan purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan.
3. BAB III RANCANG BANGUN
Bab III membahas mengenai perancangan dan pembuatan alat yang memuat waktu dan lokasi penelitian, metode penelitian, deskripsi purwarupa, perancangan sistem, perancangan komponen elektronik, perancangan komponen mekanik, prosedur kalibrasi, prosedur pengujian purwarupa, dan prosedur penggunaan purwarupa.
4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN
Bab IV membahas mengenai hasil pembuatan purwarupa, hasil kalibrasi, hasil pengujian purwarupa, dan analisis hasil pengujian.
5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN
Bab V memuat tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran sebagai acuan perbaikan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Robot Lengan

Robot lengan atau robot manipulator merupakan salah satu jenis robot paling sering digunakan di bidang industri. Robot lengan ini memiliki sistem mekanik yang tersusun atas rangka (*link*) dan sendi (*joint*). Robot manipulator biasanya digunakan untuk meningkatkan efisiensi proses produksi sebagai pemindah barang. Robot lengan memiliki bentuk lengan-lengan kaku yang terhubung secara seri dan memiliki sendi yang dapat bergerak berotasi (berputar) atau translasi/prismatik (memanjang atau memendek). Robot ini mampu bergerak dengan kecepatan dan ketepatan yang akurat, dengan pengendaliannya dapat secara otomatis atau manual (Anandya, 2017). Kelebihan dari robot lengan adalah penerapan derajat kebebasan atau *Degree of Freedom* (DOF) pada sendi robot sehingga robot mampu bergerak secara bebas. Hal tersebut yang membuat pergerakan robot lengan lebih bebas dibanding pergerakan lengan manusia. Bentuk robot lengan dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Robot lengan
Sumber: thinkrobotics.com

Umumnya robot lengan berfungsi untuk mengambil suatu benda, kemudian memindahkan serta meletakkan benda tersebut pada tempat lain yang bisa dilakukan secara manual maupun otomatis sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Robot lengan tersebut terdiri dari komponen-komponen pembentuk seperti rangka dan sendi. Selain itu robot lengan juga memiliki beberapa istilah yang digunakan pada robot lengan, antara lain:

1. *Link*

Link adalah bagian dari kerangka robot lengan yang dihubungkan secara bersamaan untuk membentuk sebuah rangkaian kinematik.

2. *Joint* (Sendi)

Joint atau sendi adalah bagian yang menghubungkan link sehingga dapat menentukan pergerakan relatif yang terbatas.

3. *End-effector*

End-effector adalah komponen yang terletak pada bagian ujung lengan robot yang berfungsi sebagai penghubung antara lengan robot dan objek yang akan dijadikan kerja dari robot. *End-effector* yang sering digunakan adalah *gripper* dan *tools*.

4. *Work Space*

Work Space merupakan daerah yang dapat dijangkau oleh *end-effector* ketika lengan robot melakukan semua gerakan.

5. Akurasi

Akurasi merupakan pengukuran atas seberapa dekat sebuah robot lengan dapat mencapai titik tujuan yang diinginkan pada daerah kerjanya.

6. *Repeatability*

Repeatability merupakan pengukuran atas seberapa dekat sebuah robot lengan dapat bekerja mencapai titik tujuan secara berulang kali.

7. *Degree of Freedom* (DoF)

Degree of Freedom (DoF) atau derajat kebebasan adalah jumlah gerakan yang dapat dibuat oleh robot lengan terhadap sistem koordinat sehingga dapat menyebabkan perubahan posisi.

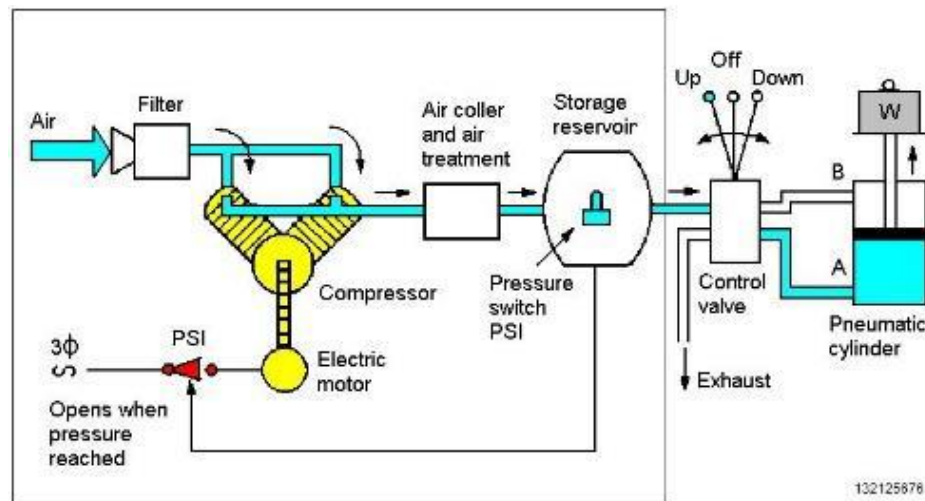
8. Poros Gerakan

Poros gerakan adalah mekanisme yang memungkinkan robot dapat bergerak secara translasi atau berotasi.

2.2 Sistem Pneumatik

Pneumatik merupakan suatu sistem otomasi yang menggunakan udara terkompresi sebagai media perantara. Sistem ini mengacu pada udara yang terisi atau bergerak melalui udara. Udara terkompresi yang diperlukan dari tangki penyimpanan diperoleh dari kompresor. Setelah diperoleh udara dari kompresor, udara tersebut didistribusikan ke sistem yang ada untuk memenuhi kapasitas dari sistem tersebut

(Ismoyo dan Cahyono, 2021). Skematis sistem pneumatik dapat dilihat pada Gambar 2.2 Sistem Pneumatik.



Gambar 2.2 Sistem Pneumatik
Sumber: (Putra dan Haris, 2017)

Dalam sistem pneumatik, terdapat beberapa komponen penunjang dalam rangkaian sistem antara lain: sumber energi, sistem penggerak, elemen kontrol dan elemen *input*. Dalam sistem pneumatik, sumber energi yang dapat digunakan adalah kompresor, tangki penyimpanan udara (Reservoir), perangkat layanan udara (*Air Service Unit*), perangkat distribusi atau penyalur udara (*Air Distribution Unit*) dan sebagainya. Kemudian pada sistem penggerak dapat digunakan aktuator silinder kerja tunggal, silinder kerja ganda, dan sebagainya. Pada elemen kontrol, dapat digunakan katup atau *solenoid valve* jenis 3/2, 5/2, 5/3, *flow regulator*, dan sebagainya. Pada elemen *input* dapat digunakan *push button*, sensor, pedal, *roller*, dan sebagainya.

2.2.1 Hukum Pascal

Pernyataan hukum Pascal dapat dijelaskan dengan meneliti perilaku zat cair dalam suatu bejana berhubungan. Apabila pada penampang I diberi gaya tekan F_1 maka tekanan yang didapat akan diteruskan ke penampang II dengan sama besar sehingga berlaku:

$$p_1 = p_2 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

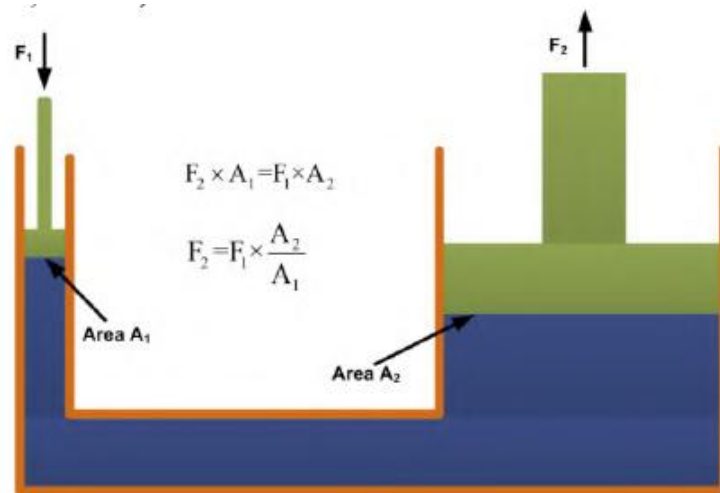
F_1 = gaya di penampang I (N)

F_2 = gaya di penampang II (N)

A_1 = luas penampang I (m^2)

A_2 = luas penampang II (m^2)

Prinsip kerja hukum Pascal dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja Hukum Pascal
Sumber: (Ferdian, 2016)

Berdasarkan rumus tersebut maka dapat disimpulkan gaya F_2 dipengaruhi oleh masing-masing permukaan bejana. Sehingga apabila permukaan bejana lebih besar, maka gaya yang didapatkan juga akan lebih besar.

2.2.2 Gaya Piston

Gaya piston pada pneumatik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Rosyidin, 2018).

1. Gaya efektif piston saat maju

$$F_{maju} = P \times A_1 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan:

F_{maju} = Gaya efektif piston saat maju (N)

A_1 = Luas penampang silinder saat maju (m^2)

Luas penampang silinder saat maju

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D_2)^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dengan:

D_2 = Diameter dalam silinder (m^2)

2. Gaya efektif piston saat mundur

$$F_{mundur} = P \times A_1 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan:

F_{mundur} = Gaya efektif piston saat mundur (N)

A_1 = Luas penampang silinder saat mundur (m²)

Luas penampang silinder saat mundur

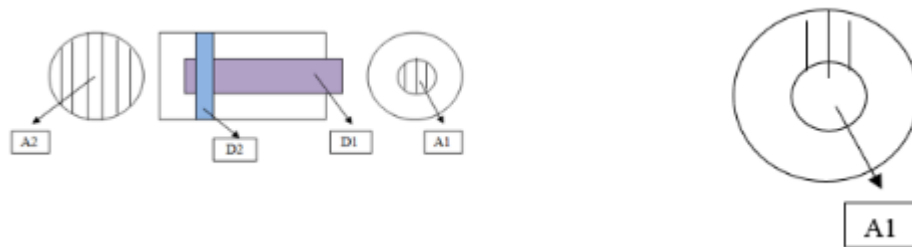
$$A_2 = \frac{\pi}{4} \times (D_2^2 - D_1^2) \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

D_1 = Diameter piston silinder (m²)

D_2 = Diameter dalam silinder (m²)

Bentuk penampang silinder pneumatik dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Penampang Silinder Pneumatik
Sumber: (Mulyo Sugeng dkk, 2020)

2.2.3 Gaya Vacuum Suction

Gaya *vacuum suction* pada sistem pneumatik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Uzma, 2019).

$$Tlf = P \times A \times 0,1 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

Tlf = *Theoretical lifting force* / kekuatan *vacuum suction* (N)

P = Tekanan vakum (kPa)

A = Luas efektif penampang (cm²)

Luas Penampang *vacuum suction*

$$A = \frac{\pi}{4} (d)^2 \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan:

d = Diameter *vacuum suction* (m²)

2.2.4 Komponen Sistem Pneumatik

1. Kompresor

Kompresor merupakan suatu alat untuk membangkitkan udara bertekanan yang bekerja dengan cara menghisap dan memampatkan udara kemudian menyimpannya dalam tangki udara sampai udara mencapai tekanan yang diperlukan (Darto, 2015). Prinsip kerja kompresor adalah dengan menggunakan energi luar kemudian diubah menjadi energi fluida. Pada kompresor terdapat katup di mana katup tersebut keluar udara mampat yang mempunyai energi tekanan yang besar. Berdasarkan tekanannya, kompresor dibagi menjadi tiga yaitu kompresor untuk pemampat (tekanan tinggi), blower untuk peniup (tekanan sedang) dan *fan* untuk kipas (tekanan rendah) (ADIBA, 2016). Bentuk dan spesifikasi kompresor dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan pada Tabel 2.1.



Gambar 2.5 Kompresor Lakoni Basic 9S
Sumber : shopee.co.id

Tabel 2.1 Spesifikasi Kompresor Lakoni Basic 9S

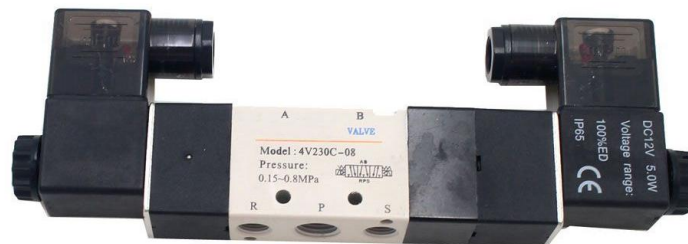
Spesifikasi	
HP	0,75 HP – 550W
V / Hz	180-220 V / 50 Hz
P maks	8 bar (115 psi)
V maks	80 liter/menit
Tank	8 liter

Sumber: Lakoni Basic

2. Solenoid Valve

Solenoid valve merupakan keran atau katup yang memanfaatkan elektromagnetik dalam proses pembukaan atau penutupannya. *Solenoid valve* bekerja dengan

mengombinasikan magnet dan pegas untuk pengaturan posisi batang (*plunger*), yang kemudian berimplikasi pada pembukaan atau penutupan aliran fluida dari *port input* ke *port output*, dan dari *port output* ke *port silencer*. Dalam sistem pneumatik terdapat beberapa jenis *solenoid valve*, antara lain : *3/2-way solenoid valve*, *5/2-way solenoid valve*, dan *5/3-way solenoid valve*. Karakteristik jenis *solenoid valve* berbeda-beda sesuai dengan namanya. Pada *3/2-way solenoid valve* memiliki tiga lubang dengan konfigurasi satu lubang ke sumber udara, satu lubang untuk pembuangan dan lubang lainnya menuju aktuator. Pada *5/2-way solenoid valve* memiliki lima lubang dengan konfigurasi satu lubang ke sumber udara, dua lubang untuk pembuangan dan dua lubang lainnya menuju aktuator. Pada *5/3-way solenoid valve* memiliki lima lubang dengan konfigurasi satu lubang ke sumber udara, dua lubang untuk pembuangan dan dua lubang lainnya menuju aktuator (Cesar, 2017). Bentuk dan spesifikasi *5/3-way solenoid valve* dapat dilihat pada Gambar 2.6 dan pada Tabel 2.2.



Gambar 2.6 5/3-way *solenoid valve* 4V230C

Sumber: makerb2c.com

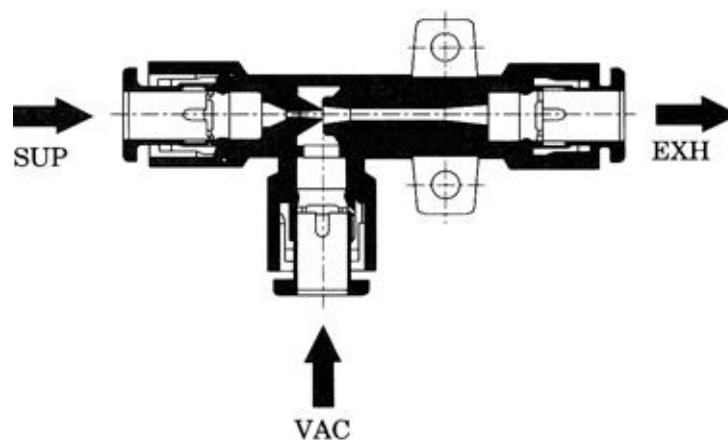
Tabel 2.2 Spesifikasi 5/3-way *solenoid valve* 4V230C

Spesifikasi	
<i>Fluid</i>	<i>Air (to be filtered by 40 µm filter element)</i>
<i>Acting</i>	<i>Internal pilot or external pilot</i>
<i>Port Size</i>	<i>IN=OUT=1/4" EXHAUST=1/8"</i>
<i>Orifice Size (CV)</i>	<i>13,6 mm²(C=08)</i>
<i>Valve type</i>	<i>5 Port 3 Position</i>
<i>Operating Pressure</i>	<i>0,15~0,8 MPa (21~114 Psi)</i>
<i>Operating Pressure</i>	<i>1,2 MPa (175 Psi)</i>
<i>Temperature</i>	<i>-20~70°C</i>
<i>Material of body</i>	<i>Aluminum alloy</i>
<i>Lubrication</i>	<i>Not required</i>

Sumber: Dokumen 4V230C

3. Vakum Ejektor

Dalam proses mengangkat dan memindahkan benda kerja dapat digunakan suatu sistem yang menggunakan daya dari beda tekanan yaitu dari tekanan vakum ke tekanan atmosfer. Vakum ejektor yang menggunakan udara bertekanan dapat menjadi sumber vakum. Prinsip kerja dari vakum ejektor adalah ketika diberikan udara bertekanan, akan menghasilkan aliran berkecepatan tinggi dari nosel ke *diffuser*, kemudian udara di sekitarnya akan dihisap lalu dikeluarkan ke atmosfer melalui *diffuser* (Kostukov dkk, 2019). Prinsip kerja vakum ejektor dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Prinsip Kerja Vakum Ejektor
Sumber: (Kostukov dkk, 2019)

Dalam pembuatan purwarupa, digunakan vakum ejektor sebagai suplai tekanan vakum untuk mengangkat anak timbangan. Adapun jenis vakum yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan spesifikasi pada Tabel 2.3 di bawah.



Gambar 2.8 Vakum Ejektor
Sumber: google.com

Tabel 2.3 Spesifikasi Vakum Ejektor STNC ZK-08

Spesifikasi	
<i>Pipe Size</i>	G1/4
<i>Nozzle Diameter</i>	1,5 mm
<i>Applicable Medium</i>	Air
<i>Air Displacement</i>	27 L/Min
<i>Up-o Vacuum Degree</i>	-91,8 kps
	-690 mmHg
<i>Air Consumption</i>	100 L/Min
<i>Applicable pressure</i>	-0,5 MPa
	5 kgf/cm ²
<i>Medium Temperature</i>	0~60 °C

Sumber: STNC Pneumatik

4. Silinder Pneumatik

Silinder Pneumatik atau *Air Cylinder* merupakan alat mekanik yang bekerja dengan kekuatan udara bertekanan untuk menghasilkan gerakan maju mundur secara linier. Udara bertekanan yang masuk, akan menghasilkan gaya untuk menggerakkan *piston* dalam silinder sehingga *piston rod* atau *stroke* akan ikut bergerak ke arah tekanan udara yang lebih rendah. Jenis silinder pneumatik yang digunakan pada purwarupa adalah *double acting cylinder*, di mana silinder ini menggunakan tekanan udara untuk bergerak maju dan mundur (Suwito dkk. 2014). Silinder pneumatik yang digunakan pada purwarupa dapat dilihat pada Gambar 2.9 dan spesifikasinya pada Tabel 2.4 sebagai berikut.



Gambar 2.9 Silinder Pneumatik

Sumber: amazon.eg

Tabel 2.4 Spesifikasi Mini Cylinder MA 20×50

Spesifikasi	
<i>Acting Type</i>	<i>Double Acting Type</i>
<i>Fluid</i>	<i>Air (to be filtered by 40μm filter element)</i>
<i>Operating Pressure</i>	0,1~1,0 MPa (15~145 Psi)
<i>Proof Pressure</i>	1,5 MPa (28~145 Psi)

<i>Temperature</i>	-20~70 °C
<i>Speed Range</i>	30~800 mm/s
<i>Port Size</i>	1/8"
<i>Bore</i>	20 mm
<i>Stroke</i>	50 mm
<i>Rod Diameter</i>	8 mm

Sumber: Airtac MA Series

5. Vacuum Suction

Vacuum Suction merupakan salah satu *gripper* dalam *Watch Case Press Production* (WCPP) dan merupakan mekanisme dalam meningkatkan efisiensi prosedur manufaktur. *Vacuum Suction* ini dapat melakukan pengambilan dan penempatan benda melalui tekanan vakum (Jamaludin dkk, 2020). *Vacuum Suction* yang digunakan pada purwarupa dapat dilihat pada Gambar 2.10 beserta spesifikasinya pada Tabel 2.5 di bawah.



Gambar 2.10 *Vacuum Suction*

Sumber: aliexpress.com

Tabel 2.5 Spesifikasi *Vacuum Suction* VASB-40-1/4-SI-B

Spesifikasi	
<i>Suction Cup Diameter</i>	40 mm
<i>Suction Cup Volume</i>	11.11 cm ³
<i>Operating Pressure</i>	-0.95 bar ... 0 bar
<i>Nominal Operating Pressure</i>	-0,7 bar
<i>Ambient Temperature</i>	-40 °C ... 200 °C
<i>Holding Force at Nominal Operating Pressure</i>	58 N
<i>Vacuum Connection</i>	G1/4
<i>Material Suction Cup</i>	VMQ (silicone)

Sumber: Dokumen VASB-40-1/4-SI-B

6. Pressure Gauge

Pressure gauge merupakan alat yang berfungsi untuk mengukur tekanan. *Pressure gauge* dibagi menjadi dua jenis yaitu *Technical Pressure Gauge* dan *Absolute Pressure Gauge*. Pada *technical pressure gauge*, ketika terkena tekanan atmosfer penunjukan meter adalah 0 bar. *Pressure gauge* jenis ini hanya menunjukkan nilai tekanan dari suatu zat tanpa mempertimbangkan tekanan atmosfer. Berbeda dengan *technical pressure gauge*, pada *absolute pressure gauge* akan menunjukkan nilai 1,013 bar ketika terkena tekanan atmosfer. *Pressure gauge* yang digunakan pada purwarupa dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut.



Gambar 2.11 *Pressure Gauge*
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Tabel 2.6 Spesifikasi *Pressure Gauge* Doziri

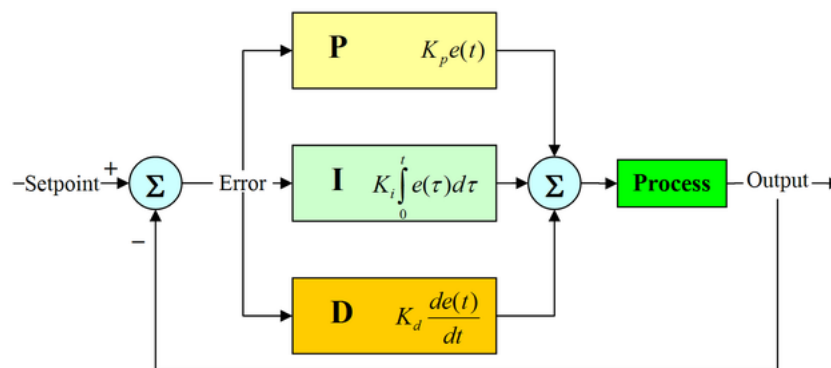
Spesifikasi	
Tekanan Maksimum	10 Bar 140 Psi
Ukuran Gauge	1/2"
Ukuran Drat	1/4"

Sumber: tokopedia.com

2.3 Sistem Kontrol PID

Sistem Kontrol PID atau *Propotional-Inegral-Derivative* ada suatu sistem kontrol yang digunakan untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik (*feedback*) pada sistem tersebut. Pengendalian PID terdiri dari tiga jenis kontrol yaitu *propotional*, *integral*, *derivative*. *Propotional* (P)

berbanding lurus dengan kesalahan saat ini, sehingga pengendali ini akan bertindak sebagai penguat yang mampu mengubah *output* dari sistem secara proporsional tanpa memberikan efek dinamik pada kinerja pengendali tersebut. *Integral* (I) bergantung pada kesalahan kumulatif selama jangka waktu (t) tertentu. Pengendali ini berperan untuk memperbaiki respons tunak atau *steady state* dari sistem sehingga pengendali ini dapat memperkecil nilai *error* sistem. *Derivative* (D) bergantung pada laju perubahan kesalahan. Pengendali ini berperan untuk memperbaiki respons transien dari sistem (Rokhmah 2018). Rumus kontrol PID dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Rumus Kontrol PID

Sumber: wikipedia.org

Sistem kerja pada pengontrol PID akan memberikan aksi pada masukan berupa K_p , K_i , K_d , dan set poin sesuai dengan nilai masukan yang diberikan untuk menggerakkan motor agar dapat bergerak sesuai dengan set poin. K_p (Konstanta *Proportional*) berperan sebagai penguat saat motor akan berputar. Efek dari K_p yang tidak sesuai akan mengakibatkan *overshoot*. K_i (Konstanta *Integral*) berperan untuk mengontrol osilasi atau respons *steady state* pada saat motor bergerak. K_d (Konstanta *Derivative*) berperan sebagai penahan agar motor bergerak tetap pada set poin. Set poin merupakan *output* kecepatan yang ingin dicapai. Pada Gambar 2.12 sistem umpan balik (*feedback*) terletak pada hasil keluaran. Umpan balik tersebut berperan sebagai sistem yang mempertahankan keadaan tertentu dari sistem yang dikendalikan, sehingga kecepatan motor dapat dipertahankan (Alanro dan Supriyono, 2023).

Berdasarkan Gambar 2.12 kontrol PID dapat ditulis dengan persamaan (Reza dkk, 2022):

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan:

K_p = Konstanta *Proportional*

K_i = Konstanta Integral

K_d = Konstanta *Derivative*

$e(t)$ = Kesalahan dari selisih antara set poin dengan nilai keluaran sistem

2.4 Komponen Elektronik

2.4.1 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan sebuah platform komputasi fisik *open source* berbasis rangkaian *input/output* sederhana (I/O) dan lingkungan pengembangan yang mengimplementasikan bahasa *processing* (Sokop dkk, 2016). Arduino dapat dihubungkan ke perangkat lunak pada komputer dengan kabel USB. Karena bersifat *open source*, Arduino Uno memungkinkan siapa saja dapat mengunduh skema *hardware* Arduino dan mengembangkannya. Untuk fleksibilitas penggunaan, program dimasukkan melalui *bootloader* walaupun terdapat opsi untuk melangkahi (*by pass*) *bootloader* dan menggunakan *downloader* untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui port ISP (*In System Programming*)(Cesar, 2017). Bentuk dan spesifikasi Arduino Uno dapat dilihat pada Gambar 2.13 dan pada Tabel 2.7.



Gambar 2.13 Arduino Uno
Sumber: ptsolns.com

Tabel 2.7 Spesifikasi Arduino Uno R3

Spesifikasi	
Mikrokontroler	ATmega328P – 8bit AVR <i>family microcontroller</i>
Tegangan pengoperasian	5 V
Tegangan <i>input</i> yang disarankan	7-12 V
Batas tegangan <i>input</i>	6-20 V
Jumlah pin <i>input</i> analog	6 (A0 – A5)
Jumlah pin I/O digital	14 (<i>Out of which 6 provide PWM output</i>)

Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3 V	50 mA
Memori	32 KB (0.5 KB is used for Bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Frequency (Clock Speed)	16 MHz

Sumber : (Sokop dkk, 2016)

2.4.2 Joystick

Joystick merupakan suatu alat *input* komputer yang berbentuk tuas sebagai alat untuk memainkan *games* yang dilengkapi dengan tombol yang dapat bergerak ke segala arah (Febiyanti dkk, 2020). Umumnya *joystick* memiliki 2 *axis* yaitu *axis X* dan *axis Y* dan satu *push button*. *Joystick* ini dapat mentransmisikan arah gerak 2D dan 3D di komputer. Bentuk *Joystick* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Module Joystick KY-023
Sumber: az-delivery.de

2.4.3 Relay

Relay merupakan suatu saklar yang beroperasi secara elektrik. Komponen elektromekanis ini terdiri dari dua bagian utama yaitu elektromagnet (koil) dan saklar mekanis. Prinsip kerja dari komponen relay ini menggunakan prinsip elektromagnetik untuk bergerak saklar dengan tegangan daya rendah untuk menghantarkan listrik tegangan tinggi. Sebagai contoh relay yang menggunakan 5 V dan 50 mA dapat memindahkan *Amature Relay* sebagai saklar untuk menghantarkan listrik 220 dan 2A (Lesmana dkk, 2020). Bentuk relay dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Relay
Sumber: ubuy.co.id

2.4.4 Motor DC

Motor DC merupakan suatu motor yang mengubah tenaga listrik arus searah menjadi tenaga gerak atau tenaga mekanik. Motor DC digunakan untuk penerapan yang membutuhkan penyalan torsi yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas. Motor DC merupakan suatu motor listrik yang membutuhkan pasokan tegangan searah pada kumparan jangkar dan kumparan medannya untuk dikonversikan menjadi energi mekanik.

Motor DC memiliki kumparan medan yang ketika dialiri arus listrik akan menghasilkan medan magnet yang melingkupi kumparan jangkar dengan arah tertentu. Proses pengkonversian energi listrik menjadi energi mekanik berlangsung melalui media medan magnet (Hartanto, 2022). Bentuk dan spesifikasi motor DC dapat dilihat pada Gambar 2.16 dan pada Tabel 2.8.



Gambar 2.16 Motor DC JGY-370
Sumber: amazon.ca

Tabel 2.8 Spesifikasi Motor DC JGY-370

Spesifikasi	
Rated Volt Motor DC	24 VDC
Reduction Ratio	40
No Load Speed	150 RPM

<i>No Load Current</i>	60 mA
<i>AT Load Torque</i>	1,1 kg.cm
<i>AT Load Speed</i>	100 RPM
<i>AT Load Current</i>	0,2 A
<i>STALL Torque</i>	1,8 kg.cm
<i>STALL Current</i>	0,6 A
<i>Rated Volt Encoder</i>	5-12 V
ENC A	11 signals per motor turns a circle
ENC B	11 signals per motor turns a circle
<i>Gear Material</i>	Metal
<i>Motor Shaft</i>	D Shape
<i>Operation</i>	CW/CCW

Sumber: Datasheet JGY-370

2.4.5 Rotary Encoder

Rotary encoder merupakan suatu sensor yang memberikan *feedback* berupa perubahan gerakan menjadi sinyal listrik yang dapat dibaca oleh perangkat kontrol dalam sistem kontrol gerakan. Sensor ini dapat mengirimkan sinyal *feedback* yang dapat digunakan untuk menentukan posisi, hitungan, kecepatan atau arah (Rizki Romadhon dkk, 2023). Prinsip kerja *rotary encoder* adalah dengan membaca pulsa yang dihasilkan oleh *photo-transistor*, sehingga ketika poros berputar pulsa akan muncul pada masing-masing pin *output* (Heryanto Surya dan Kartadinata, 2017). Bentuk *encoder* dapat dilihat pada Gambar 2.17.

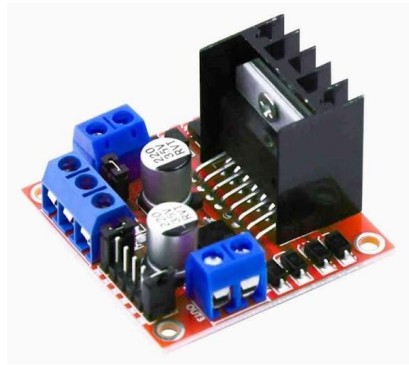


Gambar 2.17 Rotary Magnetic Encoder Module

Sumber: rls.si

2.4.6 Motor Driver

Motor driver merupakan suatu komponen yang berfungsi sebagai penyediaan listrik untuk motor listrik. Motor listrik dengan ukuran yang besar memerlukan tenaga yang besar untuk mengoperasikannya, hal ini ditandai dengan arus atau tegangan yang tinggi. Karakteristik listrik tersebut tidak disediakan oleh mikrokontroler sehingga diperlukan *motor driver* sebagai penyuplai tegangan. Bentuk dan spesifikasi *motor driver* dapat dilihat pada Gambar 2.18 dan pada Tabel 2.9.



Gambar 2.18 *Motor Driver L298N*
Sumber: mahirelektro.com

Tabel 2.9 Spesifikasi *Motor Driver L298N*

Spesifikasi	
Tegangan <i>Input Driver</i>	3,24-40 V
Catu Daya	5 V
Arus Puncak	2 A
Kisaran Operasi	0-36 mA
Konsumsi Daya Maksimum	20W (Ketika suhu 75 °C)
Suhu Kerja	-25-130 °C

Sumber: tokopedia.com

2.4.7 Konverter AC-DC

Konverter AC-DC atau disebut sebagai penyearah (*rectifier*) merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengubah sumber arus bolak-balik atau *Alternating Current* menjadi sinyal sumber arus searah atau *Direct Current*. Konverter AC-DC memiliki diode yang dikonfigurasi secara *forward* bias. Diode berperan sebagai penyearah karena memiliki sifat yang hanya memperbolehkan arus listrik yang melewatinya dalam satu arah saja. Ada tiga komponen penyusun dalam konverter AC-DC pada *power supply* antara lain penurun tegangan (*transformer*), penyearah gelombang/*rectifier* (diode), dan filter (kapasitor)(Pasaribu, 2018). Bentuk konverter AC-DC dan spesifikasinya dapat dilihat pada Gambar 2.19 dan Tabel 2.10.



Gambar 2.19 Konverter AC-DC WX-DC212
Sumber: flipkart.com

Tabel 2.10 Spesifikasi Konverter AC-DC WX-DC212

Spesifikasi	
Tegangan <i>Input</i>	AC 100-260V 50/60 Hz
Tegangan <i>Output</i>	DC 24 V
Arus <i>Output</i>	4-6 A
Daya	144 W
<i>Ripple Noise</i>	200 mV
Dimensi	106,5×57×28 mm

Sumber: tokopedia.com

2.4.8 DC Step Down

DC *step down* merupakan konverter penurun tegangan yang mengonveksikan tegangan *input* DC menjadi tegangan DC lainnya yang lebih rendah. DC *step down* ini menggunakan rangkaian dasar *buck* konverter dalam mengubah suatu tegangan DC menjadi tegangan DC dengan magnitudo yang lebih kecil seperti pada transformator tegangan AC yang dikenal dengan transformator *step down*. Prinsip kerja dari konverter *buck* ini adalah dengan menggunakan *switch* yang bekerja secara terus menerus (*on-off*) atau dikenal sebagai PWM (*Pulse Width Mudulation*) dan *Duty Cycle* untuk mengendalikan frekuensi kerja *switch* (Saputra dkk, 2022). Bentuk dan spesifikasi DC *step down* dapat dilihat pada Gambar 2.20 dan pada Tabel 2.11.



Gambar 2.20 DC Step Down LM2596
Sumber: flyrobo.in

Tabel 2.11 Spesifikasi *Step Down* LM2596

Spesifikasi	
<i>The Voltmeter Resolution</i>	0,1 V
<i>The Voltmeter Digital Display Range</i>	0-45 V
<i>The Voltmeter Input Voltage Range</i>	4-40 V
<i>Output Voltage Continuous Adjustable</i>	1,3-37 V
<i>Output Current</i>	2 A
<i>Size</i>	65×35 mm

Sumber: tokopedia.com

2.5 Anak Timbangan



Gambar 2.21 Anak Timbangan

Sumber: intitek.co.id

Menurut SK Dirjen PDN No.40 Tahun 2010 tentang Syarat Teknis Anak Timbangan, Anak Timbangan (AT) merupakan benda ukur massa yang diatur berdasarkan karakteristik fisik dan metrologisnya yaitu meliputi harga nominal, bahan, konstruksi, dimensi, massa jenis, kondisi permukaan, penandaan dan kesalahan maksimumnya. Anak timbangan menjadi salah satu besaran massa yang digunakan dalam pelayanan tera/tera ulang. Karakteristik fisik dan sifat kemetrologian dari anak timbangan diatur oleh peraturan (SK Dirjen PKTN No.23, 2020). Anak timbangan memiliki kelas ketelitian di mana kelas tersebut dibuat untuk anak timbangan yang memenuhi persyaratan kemetrologian dengan maksud untuk membatasi nilai massanya pada batas kesalahan yang diizinkan. Salah satu persyaratan kelengkapan standar dalam laboratorium adalah anak timbangan dengan ketelitian yang tinggi (Lestari dkk, 2021). Bentuk anak timbangan dapat dilihat pada Gambar 2.21 di atas.

BAB III

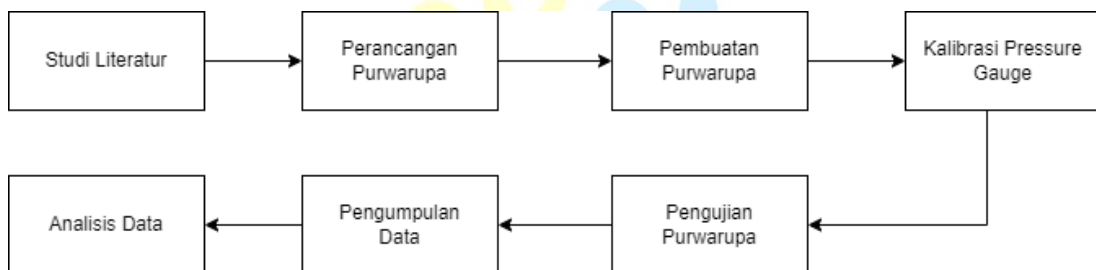
RANCANG BANGUN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Januari sampai dengan bulan Juni 2024. Adapun lokasi pengambilan data dilakukan di laboratorium massa Akademi Metrologi dan Instrumentasi yang bertempat di Jl. Raya Bandung - Sumedang Km 25, RW. No 28, Kutamandiri, Kec. Tanjungsari, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literatur, perancangan purwarupa, pembuatan purwarupa, kalibrasi *pressure gauge*, pengujian purwarupa, pengumpulan data dan analisis data. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.

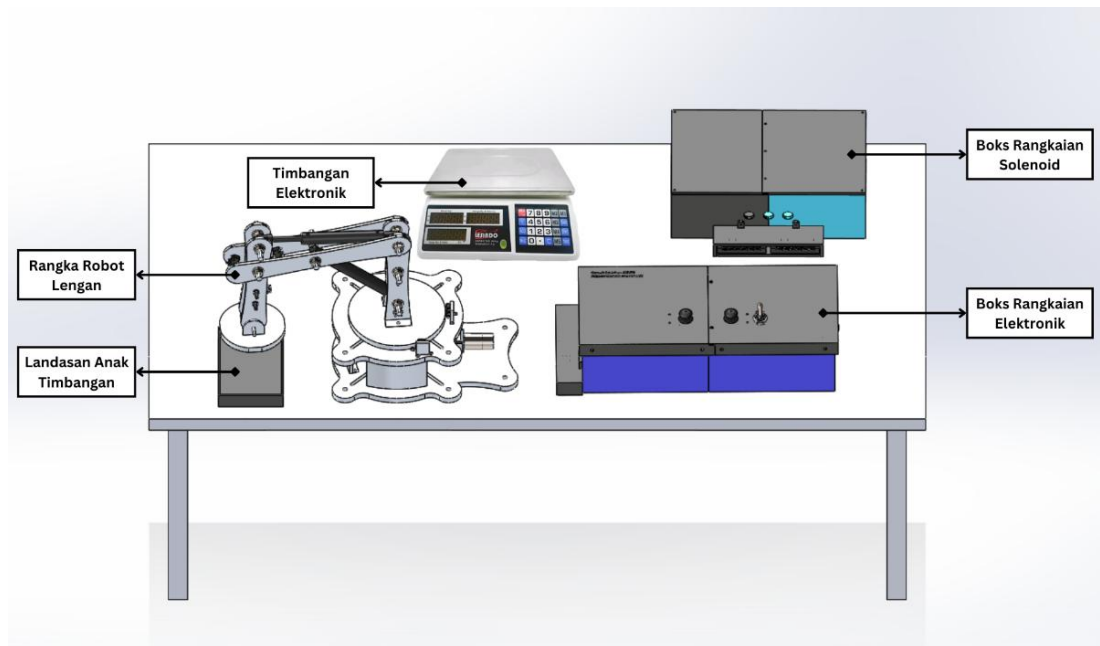


Gambar 3.1 Diagram Blok Alur Penelitian
Sumber: *dokumentasi pribadi*, 2024

3.3 Deskripsi Purwarupa

Robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC dibuat sebagai alat bantu dalam kegiatan kemetrologian, dalam hal ini adalah pengangkat anak timbangan. Purwarupa ini memungkinkan agar proses pengangkatan anak timbangan dapat dilakukan tanpa adanya kontak fisik antara tangan manusia dengan anak timbangan standar. Sehingga meminimalkan pengaruh suhu yang dapat mengganggu proses penimbangan. Purwarupa robot lengan ini berfokus pada kemampuan robot mengangkat beban dan pergerakan robot yang halus.

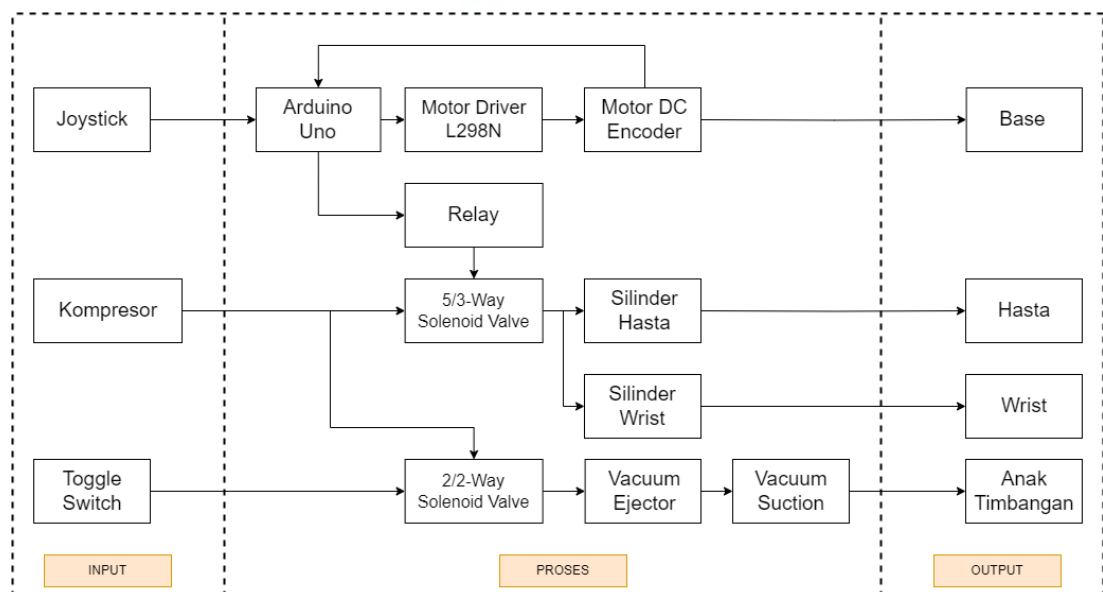
Purwarupa dirancang untuk diletakkan pada meja kerja dengan posisi yang tetap. Ilustrasi penempatan purwarupa pada meja kerja dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Purwarupa Robot Lengan pada Meja Kerja
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

3.4 Perancangan Sistem

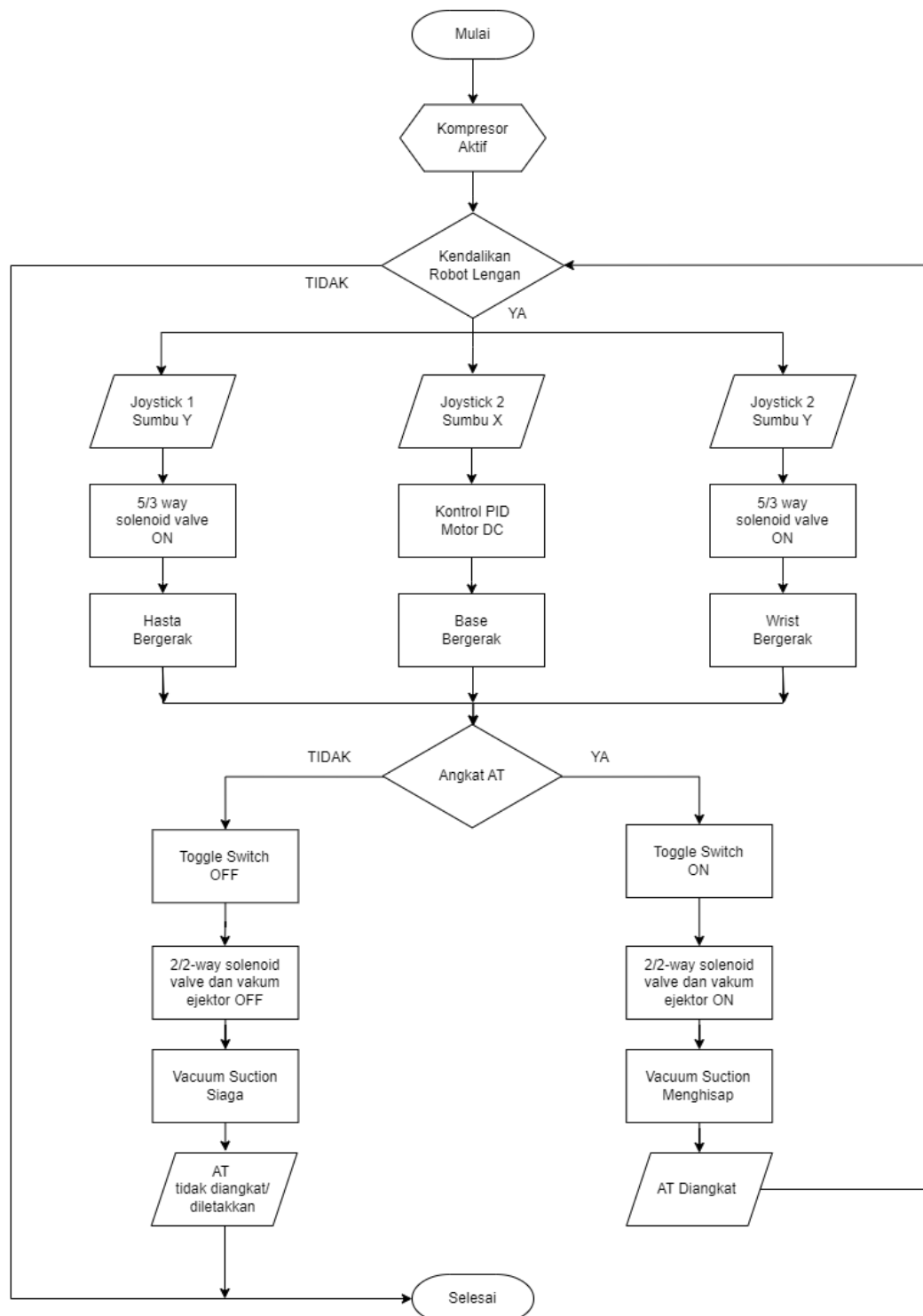
Pada perancangan sistem dari purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dilakukan pendekatan yang sistematis untuk memastikan semua komponen dan alur kerja terdefinisi dengan baik. Pendekatan tersebut dibuat melalui diagram blok dan *flowchart*. Prinsip kerja dari purwarupa robot lengan dalam diagram blok dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Blok Purwarupa
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Berdasarkan diagram blok tersebut digunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler untuk memproses data serta melakukan fungsi pemrograman. Ada pula terdapat *joystick* yang berfungsi sebagai *input* analog ke Arduino Uno. *Input* analog yang diterima Arduino Uno akan diproses kemudian memberi perintah kepada komponen yang terhubung yaitu modul L298N dan relay. Sehingga modul L298N dan relay dapat dikendalikan saat *joystick* digerakkan. Modul L298N digunakan untuk mengatur arah perputaran pada motor DC. Perintah yang diberikan pada modul L298N akan menggerakkan motor DC kemudian gerakan akan diteruskan pada bagian *base* robot lengan. *Base* dapat berputar searah jarum jam (*clock wise*) dan berlawanan jarum jam (*counter clock wise*). Motor DC yang digunakan terintegrasi dengan sensor *encoder*. Sensor ini akan memberikan umpan balik dari hasil keluaran kontrol PID untuk dikirimkan ke Arduino Uno. Di sisi lain relay digunakan untuk mengontrol buka tutupnya katup pada 5/3-way *solenoid valve*. Sehingga ketika diberi *input* oleh *joystick* maka relay akan mengaktifkan 5/3-*solenoid valve* untuk membuka katup. Selain itu *toggle switch* digunakan sebagai *input* untuk pengontrolan 2/2-way *solenoid valve*. Pada saat *solenoid valve* diberi *input*, udara yang tersedia pada kompresor akan disalurkan ke *solenoid valve*, kemudian udara diteruskan pada aktuator pneumatik. Aktuator pneumatik pada purwarupa robot lengan ini terdiri dari silinder pneumatik *hasta*, silinder pneumatik *wrist*, dan vakum ejektor. Udara yang diteruskan pada silinder pneumatik *hasta* akan menggerakkan bagian *hasta* pada robot lengan. Udara yang diteruskan pada silinder pneumatik *wrist* akan menggerakkan bagian *wrist* pada robot lengan. Sedangkan udara yang diteruskan pada vakum ejektor akan disalurkan ke *vacuum suction* untuk menghisap anak timbangan.

Proses alur kerja dari purwarupa dinyatakan dalam *flowchart* untuk mendeskripsikan langkah-langkah dari inisiasi sistem hingga eksekusi perintah operasional. *Flowchart* purwarupa dapat dilihat pada Gambar 3.4.



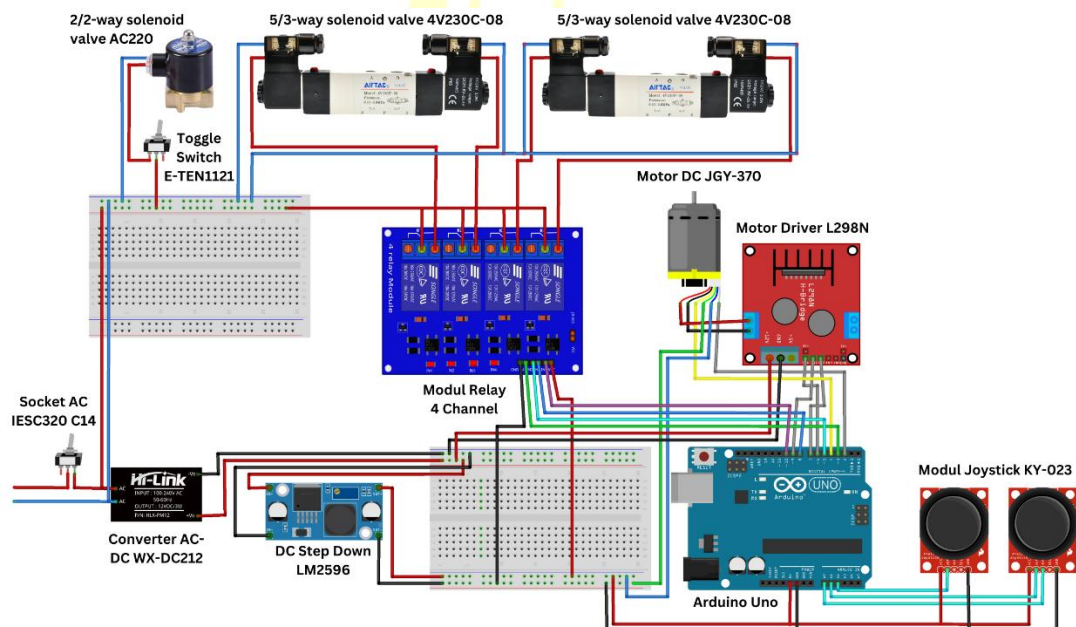
Gambar 3.4 Flowchart Alur Kerja Purwarupa
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Pada *flowchart* di atas, sebelum proses pengendalian robot, perlu dilakukan persiapan pengaktifan kompresor. Pengendalian robot lengan dilakukan dengan kendali *joystick*. Setelah proses pengendalian posisi robot lengan selesai, pengguna dapat mengangkat anak timbangan dan meletakkan anak timbangan. Jika pengguna

ingin mengangkat anak timbangan maka, vakum ejektor akan *on*, *vacuum suction* dalam keadaan menghisap dan akan mengangkat anak timbangan. Selanjutnya program akan kembali mengikuti rangkaian proses pengendalian robot lengan. Sedangkan apabila pengguna ingin meletakkan atau tidak mengangkat anak timbangan maka vakum ejektor *off* dan *vacuum suction* dalam posisi siaga.

3.5 Perancangan Komponen Elektronik

Purwarupa terdiri dari beberapa komponen antara lain: Soket AC IES320 C14, konverter AC-DC WX-DC212, DC *step down* LM2596, Arduino Uno, Modul *Joystick* KY-023, *Motor Driver* L298N, motor DC JGY-370, modul relay 4 *channel*, 5/3-way *solenoid valve*, 2/2-way *solenoid valve*, dan *toggle switch* E-TEN1121. Perancangan komponen elektronik robot lengan secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.5.

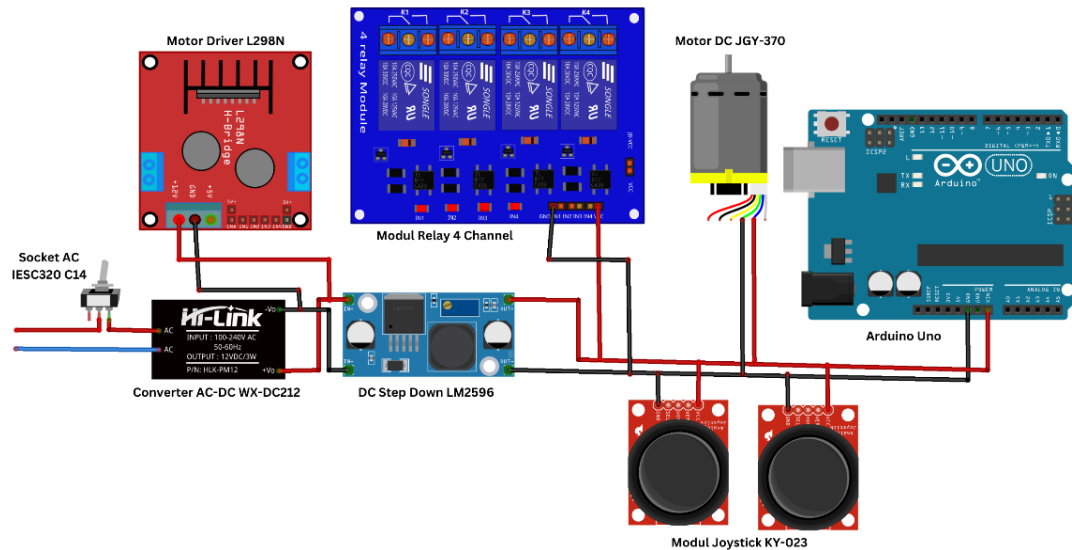


Gambar 3.5 Rangkaian Robot Lengan
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

3.5.1 Rangkaian Power Supply

Perancangan rangkaian pada purwarupa digunakan konverter AC-DC WX-DC212 sebagai suplai listrik utama. Konverter ini mengubah listrik AC 220 V menjadi DC 24 V. Konverter terhubung dengan Soket AC IES320 C14 sebagai pengaturan untuk membuka-tutup aliran listrik. Listrik AC digunakan untuk menyuplai komponen yang membutuhkan suplai tegangan AC seperti 5/3-way *solenoid valve* dan 2/2-way *solenoid valve* AC220. Konverter AC-DC kemudian terhubung dengan DC *step down*

untuk menurunkan tegangan 24 V menjadi 5 V agar tegangan bisa didistribusikan ke komponen lainnya yang membutuhkan tegangan 5 V. Pengkabelan pada rangkaian *power supply* dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian *Power Supply*
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Berdasarkan Gambar 3.6 di atas, skema pengkabelan rangkaian *power supply* adalah sebagai berikut:

1. Pin COM soket AC ke jalur L;
2. Pin NO soket AC ke pin *input* L konverter AC-DC;
3. Pin *input* N konverter AC-DC ke jalur N;
4. Pin *output* positif konverter AC-DC ke pin *input* positif LM2596 dan pin 12V L298N;
5. Pin *output* negatif konverter AC-DC ke pin *input* negatif LM2596 dan pin GND L298N;
6. Pin *output* positif LM2596 ke pin Vin Arduino Uno, pin VCC modul relay, pin 5V+ KY-023, dan pin VCC *encoder* motor DC;
7. Pin *output* negatif LM2596 ke pin GND Arduino Uno, pin GND modul relay, pin GND KY-023, dan pin GND *encoder* motor DC.

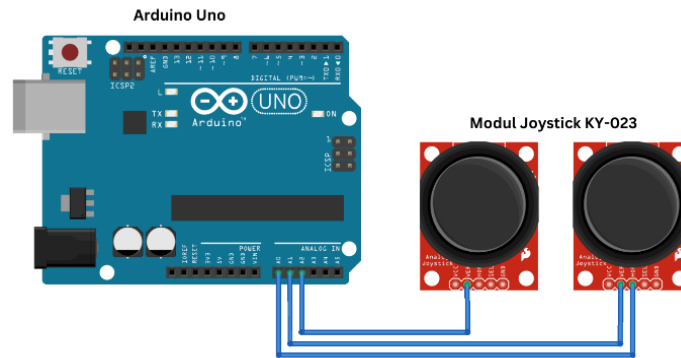
3.5.2 Rangkaian *Joystick*

Pada purwarupa, digunakan modul *joystick* KY-023 sebagai pengontrol gerakan robot lengan. *Joystick* berfungsi memberikan *input* analog yang nantinya akan

diproses oleh Arduino Uno. Adapun konfigurasi pin *joystick* KY-023 adalah sebagai berikut:

1. Pin VRX *joystick* 1 ke pin A2 Arduino Uno;
2. Pin VRY *joystick* 2 ke pin A1 Arduino Uno;
3. Pin VRX *joystick* 3 ke pin A0 Arduino Uno.

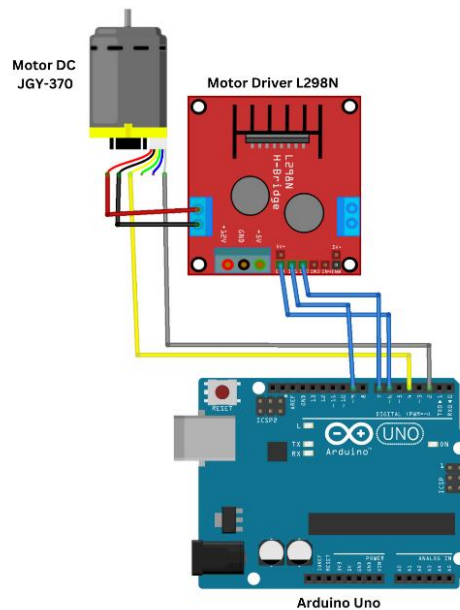
Konfigurasi pin *joystick* dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian *Joystick*
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

3.5.3 Rangkaian Motor DC

Penggunaan motor DC pada purwarupa adalah sebagai penggerak bagian *base* rangka robot lengan. Adapun motor DC yang digunakan adalah JGY-370 yang sudah terintegrasi sensor *encoder* untuk mengirimkan sinyal *feedback*. Motor DC terhubung dengan *motor driver* L298N yang berperan sebagai pengontrol motor DC. Adapun skema pengkabelan rangkaian motor DC dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian Motor DC
Sumber: *dokumentasi pribadi*, 2024

Skematik pengkabelan rangkaian motor DC dapat dijabarkan sebagai berikut:

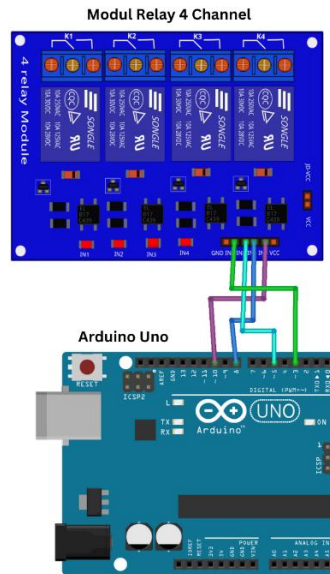
1. Pin VCC Motor DC ke pin OUT 1 L298N;
2. Pin GND Motor DC ke pin OUT 2 L298N;
3. Pin ENC A Motor DC ke pin D2 Arduino Uno;
4. Pin ENC B Motor DC ke pin D4 Arduino Uno;
5. Pin ENA L298N ke pin D6 Arduino Uno;
6. Pin In1 L298N ke pin D7 Arduino Uno;
7. Pin In2 L298N ke pin D9 Arduino Uno.

3.5.4 Rangkaian Modul Relay

Modul relay 4 *channel* digunakan untuk mengontrol 5/3-way *solenoid valve*. Adapun modul relay yang digunakan memiliki tegangan *input* 5V dengan maksimum beban 250 VAC/10 A dan 30 VDC/ 10 A. Konfigurasi pin pada modul relay adalah sebagai berikut:

1. Pin In1 modul relay ke pin D3 Arduino Uno;
2. Pin In2 modul relay ke pin D5 Arduino Uno;
3. Pin In3 modul relay ke pin D8 Arduino Uno;
4. Pin In4 modul relay ke pin D10 Arduino Uno.

Skema pengkabelan rangkaian modul relay dapat dilihat pada Gambar 3.9.



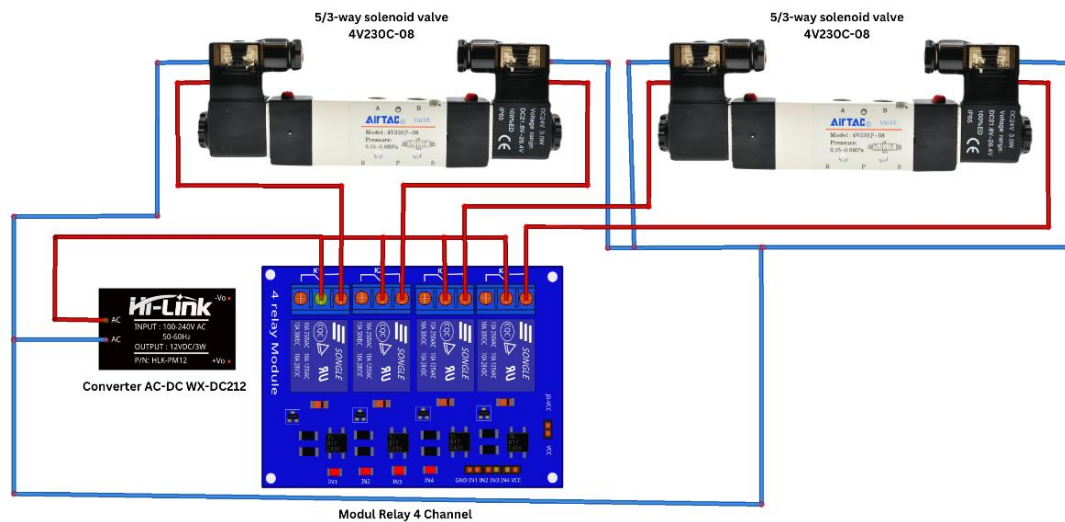
Gambar 3.9 Rangkaian Modul Relay
Sumber: *dokumentasi pribadi*, 2024

3.5.5 Rangkaian 5/3-Way Solenoid Valve

Perancangan rangkaian *5/3-way solenoid valve* pada purwarupa, digunakan relay sebagai pengontrol buka-tutup *solenoid valve*. Penggunaan *5/3-way solenoid valve* adalah untuk menyalurkan angin yang disuplai oleh kompresor ke silinder pneumatik. *5/3-way solenoid valve* yang digunakan adalah 4V230C-08 dengan tegangan *input* AC 220V dan bekerja pada tekanan 1,5-8 bar. Adapun skema pengkabelan rangkaian *5/3-way solenoid valve* adalah sebagai berikut:

1. Pin *input* L pada 4V230C-08 1 ke pin *out-1* NO modul relay;
2. Pin *input* L pada 4V230C-08 2 ke pin *out-2* NO modul relay;
3. Pin *input* L pada 4V230C-08 3 ke pin *out-3* NO modul relay;
4. Pin *input* L pada 4V230C-08 4 ke pin *out-4* NO modul relay;
5. Pin *input* N pada 4V230C-08 1,2,3 dan 4 ke jalur N konverter AC-DC;
6. Pin *out-1,2,3* dan 4 COM modul relay ke jalur L konverter AC-DC.

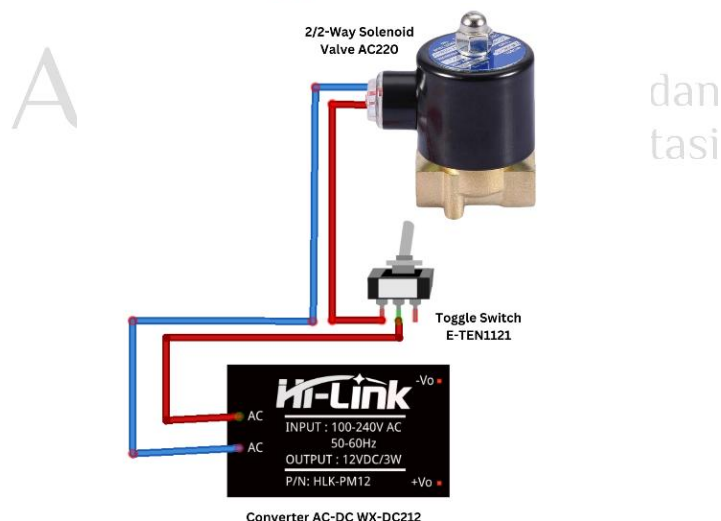
Skema pengkabelan rangkaian *5/3-way solenoid valve* dapat dilihat pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Rangkaian 5/3-way solenoid valve
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

3.5.6 Rangkaian 2/2-Way Solenoid Valve

2/2-way solenoid valve yang digunakan pada purwarupa adalah *solenoid valve* AC220. Penggunaan *solenoid valve* AC220 pada purwarupa adalah sebagai penyaluran suplai angin dari kompresor ke vakum ejektor. *Solenoid valve* AC220 menggunakan tegangan *input* AC 220 volt dengan maksimal tekanan kerja 10 bar. *Solenoid valve* dihubungkan dengan *toggle switch* yang berfungsi sebagai pengontrol *on/off* *solenoid valve*. Pengkabelan pada *solenoid valve* AC220 dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Rangkaian 2/2-way solenoid valve
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

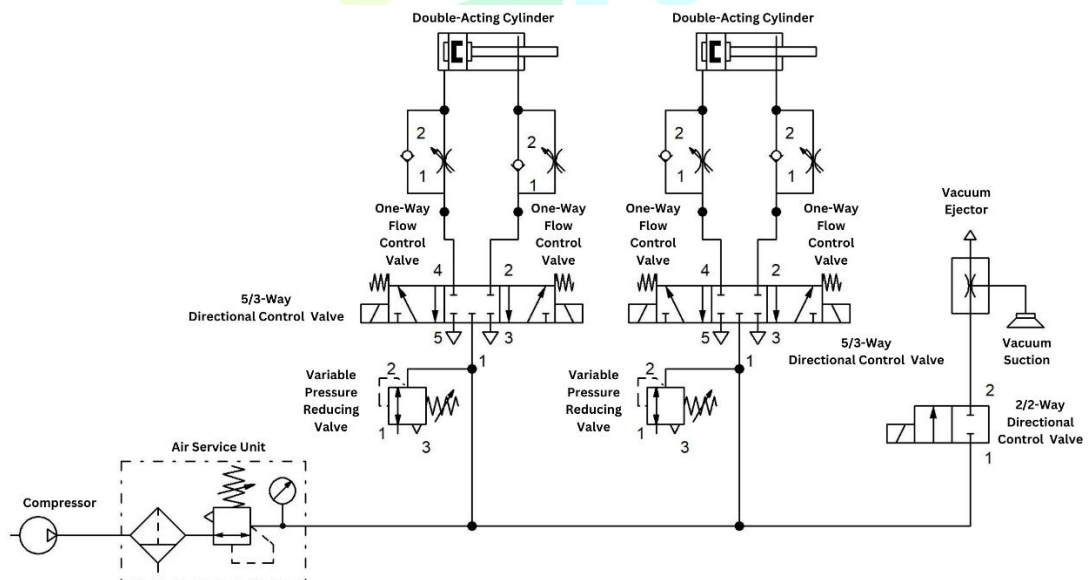
Berdasarkan Gambar 3.11 di atas, skematik pengkabelan rangkaian dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Pin *input* L *solenoid valve* ke pin NO *toggle switch*;
2. Pin *input* N *solenoid valve* ke jalur N konverter AC-DC;
3. Pin COM *toggle switch* ke jalur L konverter AC-DC.

3.6 Perancangan Komponen Mekanik

3.6.1 Skema Diagram Pneumatik

Pada purwarupa, digunakan sistem udara terkompresi untuk mentransmisikan dan mengontrol energi. Sistem ini dikenal sebagai sistem pneumatik. Perancangan komponen mekanik, dimulai dari pembuatan skema diagram pneumatik. Adapun beberapa komponen sistem pneumatik yang diimplementasikan dalam pembuatan purwarupa yaitu kompresor, *air service unit*, *variable pressure reducing valve*, *5/3-way directional control valve*, *2/2-way directional control valve*, *one-way flow control valve*, *double-acting cylinder*, vakum ejektor, dan *vacuum suction*. Skema diagram pneumatik dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Skema Diagram Pneumatik Robot Lengan

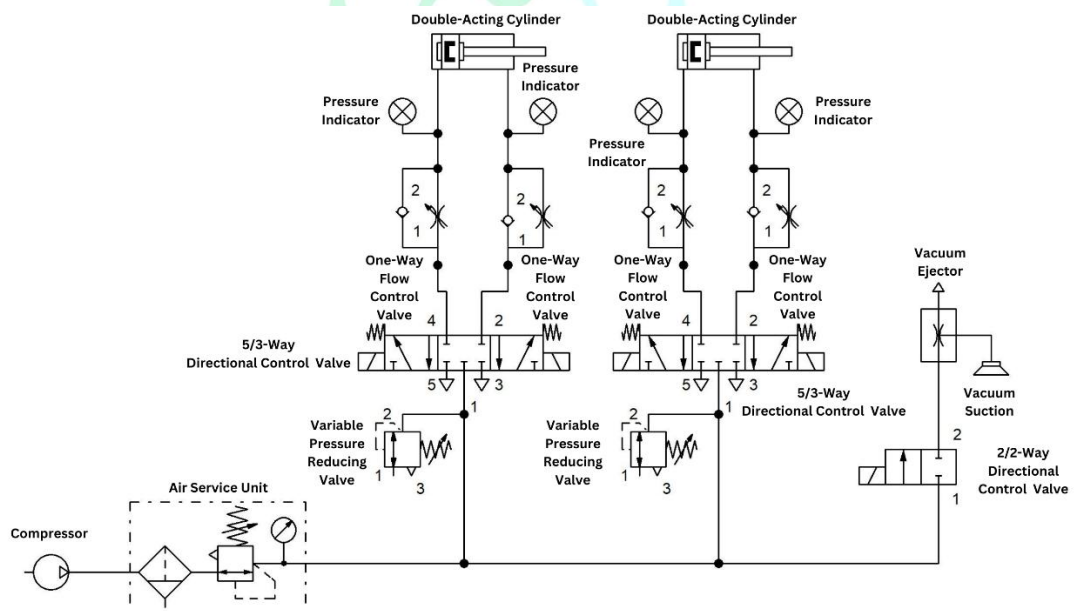
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Fungsi komponen-komponen pneumatik yang digunakan pada purwarupa adalah sebagai berikut:

1. Kompresor berfungsi sebagai penyedia udara terkompresi untuk seluruh sistem;

2. *Air Service Unit* berfungsi sebagai perangkat yang mempersiapkan, mengatur dan memelihara kualitas udara terkompresi pada kompresor;
3. *Variable Pressure Reducing Valve* berfungsi untuk mengurangi tekanan angin yang diberikan oleh kompresor;
4. *5/3-way solenoid valve* sebagai pengontrol aliran udara untuk menggerakkan silinder pneumatik yang mengatur robot lengan;
5. *2/2-way solenoid valve* sebagai pengontrol aliran udara untuk vakum ejektor;
6. *One-way flow control valve* sebagai pengaturan kecepatan gerakan robot lengan dengan mengontrol aliran udara yang masuk ke silinder pneumatik.
7. *Double-Acting Cylinder* merupakan silinder pneumatik yang berfungsi menggerakkan robot lengan maju dan mundur;
8. Vakum ejektor berfungsi mengubah tekanan positif dari kompresor menjadi tekanan vakum yang diperlukan *vacuum suction*;
9. *Vacuum suction* berfungsi untuk mengangkat anak timbangan dengan cara menghisap dan menempel anak timbangan yang terisap dengan tekanan vakum.

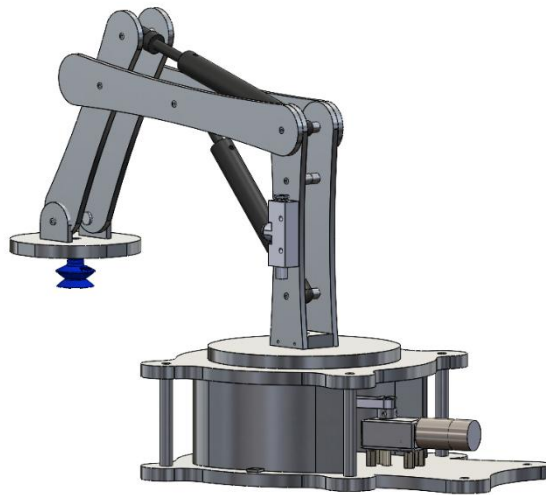
Untuk melakukan pengujian gaya pada silinder diperlukan *pressure gauge* sebagai alat ukur tekanan. *Pressure gauge* akan dihubungkan di antara silinder dan *one-way flow control valve*. Skema diagram pneumatik untuk pengujian gaya pada silinder dapat dilihat pada Gambar 3.13 berikut.



Gambar 3.13 Skema Diagram Pneumatik Pengujian Gaya pada Silinder
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

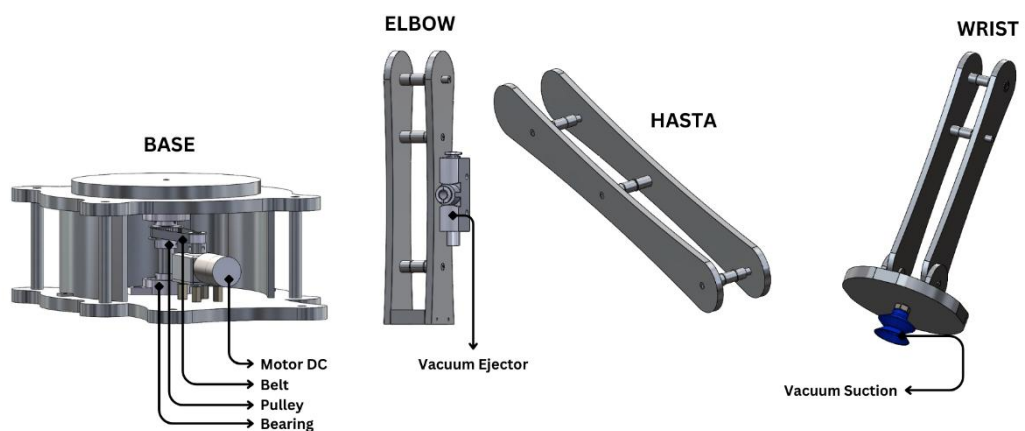
3.6.2 Desain Rangka Robot Lengan

Perancangan rangka robot lengan, dilakukan dengan pemodelan 3D sebagai representasi visual untuk memberikan informasi secara rinci mengenai desain, konstruksi, dan fungsi. Pemodelan 3D yang dibuat kemudian dijadikan dalam bentuk 2D sebagai media komunikasi dalam proses produksi dan manufaktur. Perancangan desain rangka robot lengan dapat dilihat pada Gambar 3.14 di bawah.



Gambar 3.14 Desain Rangka Robot Lengan
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

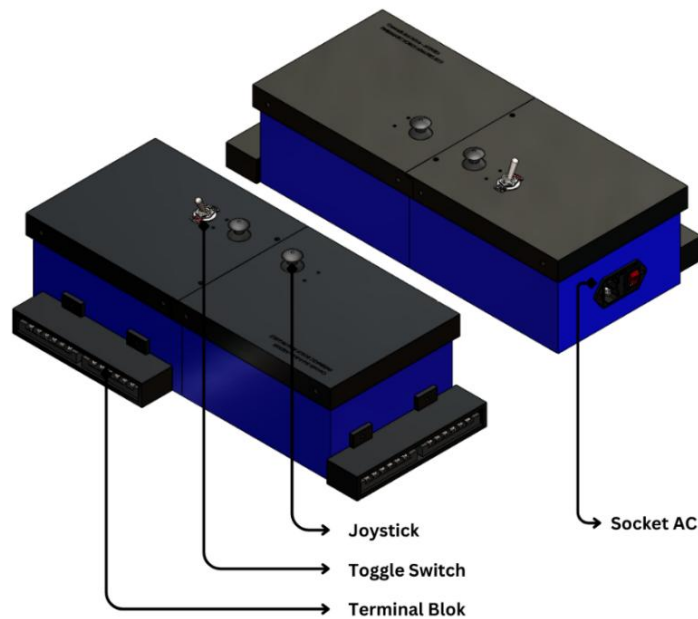
Rangka robot lengan terdiri dari beberapa bagian antara lain *base*, *elbow*, *hasta*, dan *wrist*. Secara detail bagian-bagian robot lengan dapat dilihat pada Gambar 3.15 berikut.



Gambar 3.15 Bagian-bagian Rangka Robot Lengan
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

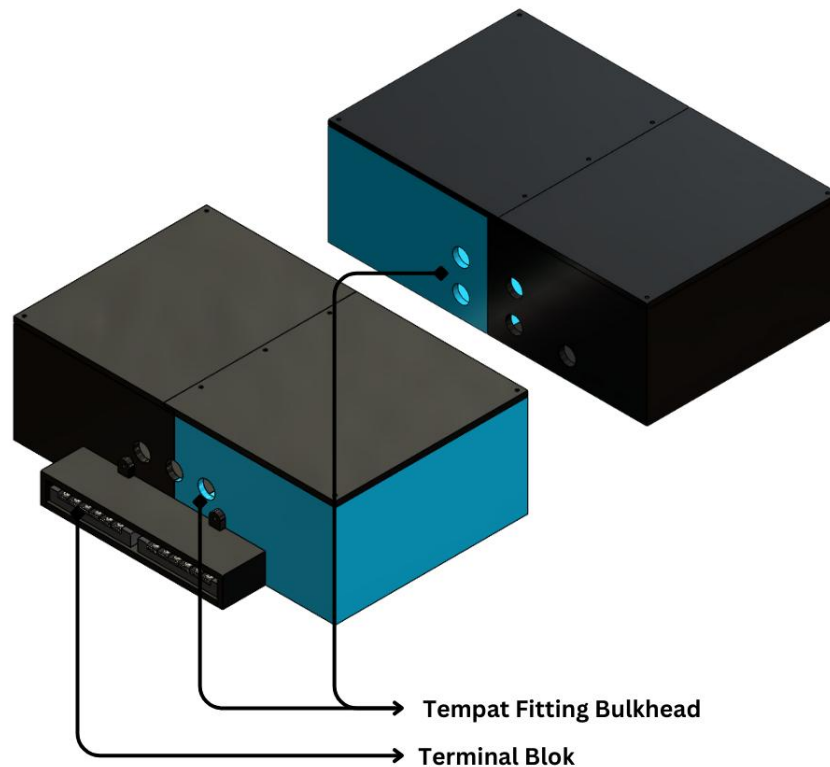
3.6.3 Desain *Enclosure* Rangkaian

Pada purwarupa, posisi rangka robot lengan dan rangkaian terpisah, sehingga diperlukan *enclosure* untuk rangkaian. Adapun pada perancangan *enclosure*, dibuat dua buah *enclosure* dengan fungsi yang berbeda. *Enclosure* pertama dibuat sebagai penempatan rangkaian elektronik, sedangkan *enclosure* kedua dibuat untuk penempatan rangkaian solenoid. Perancangan desain *enclosure* rangkaian elektronik dapat dilihat pada Gambar 3.16 di bawah.



Gambar 3.16 Desain *Enclosure* Rangkaian Elektronik
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Perancangan desain rangkaian solenoid dapat dilihat pada Gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3.17 Desain *Enclosure Solenoid Valve*
 Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

3.6.4 Perhitungan Komponen Mekanik

Dalam pembuatan komponen mekanik purwarupa diperlukan perhitungan untuk memastikan bahwa komponen tersebut memenuhi spesifikasi dan dapat berfungsi dengan baik. Adapun data berat komponen pneumatik dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Berat Komponen Pneumatik

Komponen	Massa	Gaya
Silinder <i>Hasta</i>	0,241 kg	$0,241 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 2,361 \text{ N}$
Silinder <i>Wrist</i>	0,241 kg	$0,241 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 2,361 \text{ N}$
<i>Hasta</i>	0,268 kg	$0,268 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 2,626 \text{ N}$
<i>Wrist</i>	0,503 kg	$0,503 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 4,929 \text{ N}$
<i>Vacuum Suction</i>	0,017 kg	$0,017 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 0,167 \text{ N}$

Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

1. Perhitungan Silinder *Hasta*

Diketahui:

- Massa Silinder *Wrist* : 0,241 kg
- Massa *Hasta* : 0,268 kg

- c. Massa *Wrist* : 0,503 kg
- d. Massa *Vacuum Suction* : 0,017 kg
- e. Percepatan gravitasi : 9,8 m/s²
- f. Diameter piston silinder (D1) : 8 mm
- g. Diameter dalam silinder (D2) : 20 mm
- h. Panjang *Stroke* : 50 mm
- i. Tekanan : 7 bar
- j. Koreksi tekanan pada 7 bar : -0,07 bar
- k. Tekanan + Koreksi : 6,93 bar = 0,693 N/mm²

Luas Penampang Silinder *Hasta*

- a. Luas penampang silinder saat maju

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (D2)^2 \dots\dots\dots(3.1)$$

$$A_2 = 0,785(20 \text{ mm})^2$$

$$A_2 = 314 \text{ mm}^2$$

- b. Luas penampang piston silinder

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D1)^2 \dots\dots\dots(3.2)$$

$$A_1 = 0,785(8 \text{ mm})^2$$

$$A_1 = 50,24 \text{ mm}^2$$

- c. Luas Penampang silinder saat mundur

$$A = \frac{\pi}{4} (D2)^2 - \frac{\pi}{4} (D1)^2 \dots\dots\dots(3.3)$$

$$A = 314 \text{ mm}^2 - 50,24 \text{ mm}^2$$

$$A = 263,76 \text{ mm}^2$$

Gaya Silinder *Hasta* ketika diberi tekanan 7 bar

- a. Gaya Maju

$$F = P \times A_2 \dots\dots\dots(3.4)$$

$$F = 0,693 \text{ N/mm}^2 \times 314 \text{ mm}^2$$

$$F = 217,602 \text{ N}$$

- b. Gaya Mundur

$$F = P \times A \dots\dots\dots(3.5)$$

$$F = 0,693 \text{ N/mm}^2 \times 263,76 \text{ mm}^2$$

$$F = 182,786 \text{ N}$$

Beban Silinder *Hasta*

a. Tanpa Beban

$$F_{beban} = (Massa\ Silinder\ Wrist + Massa\ Hasta + Massa\ Wrist + Massa\ Vacuum\ Suction) \times Percepatan\ gravitasi \dots\dots\dots(3.6)$$

$$F_{beban} = (0,241\ kg + 0,268\ kg + 0,503\ kg + 0,017\ kg) \times 9,8\ m/s^2$$

$$F_{beban} = (1,029\ kg) \times 9,8\ m/s^2$$

$$F_{beban} = 10,0842\ N$$

b. Beban AT 1 kg

$$F_{beban} = (Massa\ Silinder\ Wrist + Massa\ Hasta + Massa\ Wrist + Massa\ Vacuum\ Suction + AT) \times Percepatan\ gravitasi$$

$$F_{beban} = (0,241\ kg + 0,268\ kg + 0,503\ kg + 0,017\ kg + 1\ kg) \times 9,8\ m/s^2$$

$$F_{beban} = (2,029\ kg) \times 9,8\ m/s^2$$

$$F_{beban} = 19,8842\ N$$

c. Beban AT 2 kg

$$F_{beban} = (Massa\ Silinder\ Wrist + Massa\ Hasta + Massa\ Wrist + Massa\ Vacuum\ Suction + AT) \times Percepatan\ gravitasi$$

$$F_{beban} = (0,212\ kg + 0,268\ kg + 0,503\ kg + 0,017\ kg + 2\ kg) \times 9,8\ m/s^2$$

$$F_{beban} = (3,029\ kg) \times 9,8\ m/s^2$$

$$F_{beban} = 29,6842\ N$$

2. Perhitungan Silinder *Wrist*

Diketahui:

- a. Massa *Wrist* : 0,503 kg
- b. Massa *Vacuum Suction* : 0,017 kg
- c. Percepatan gravitasi : 9,8 m/s²
- d. Diameter piston silinder (D1) : 8 mm
- e. Diameter dalam silinder (D2) : 20 mm
- f. Panjang *Stroke* : 50 mm
- g. Tekanan : 7 bar
- h. Koreksi tekanan pada 7 bar : -0,07 bars

i. Tekanan + Koreksi : $6,93 \text{ bar} = 0,693 \text{ N/mm}^2$

Luas Penampang Silinder *Wrist*

a. Luas penampang silinder saat maju

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (D_2)^2$$

$$A_2 = 0,785 (20 \text{ mm})^2$$

$$A_2 = 314 \text{ mm}^2$$

b. Luas penampang piston silinder

$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D_1)^2$$

$$A_1 = 0,785 (8 \text{ mm})^2$$

$$A_1 = 50,24 \text{ mm}^2$$

c. Luas Penampang silinder saat mundur

$$A = \frac{\pi}{4} (D_2)^2 - \frac{\pi}{4} (D_1)^2$$

$$A = 314 \text{ mm}^2 - 50,24 \text{ mm}^2$$

$$A = 263,76 \text{ mm}^2$$

Gaya Silinder *Wrist* ketika diberi tekanan 7 bar

a. Gaya Maju

$$F = P \times A_2$$

$$F = 0,693 \text{ N/mm}^2 \times 314 \text{ mm}^2$$

$$F = 217,602 \text{ N}$$

b. Gaya Mundur

$$F = P \times A$$

$$F = 0,693 \text{ N/mm}^2 \times 263,76 \text{ mm}^2$$

$$F = 182,786 \text{ N}$$

Beban Silinder *Wrist*

a. Tanpa Beban

$$F_{\text{beban}} = (\text{Massa Wrist} + \text{Massa Vacuum Suction}) \times \text{Percepatan gravitasi}$$

$$F_{\text{beban}} = (0,503 \text{ kg} + 0,017 \text{ kg}) \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{beban}} = (0,52 \text{ kg}) \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{\text{beban}} = 5,096 \text{ N}$$

b. Beban AT 1 kg

$$F_{beban} = (Massa Wrist + Massa Vacuum Suction + AT) \times \text{Percepatan gravitasi}$$

$$F_{beban} = (0,503 \text{ kg} + 0,017 \text{ kg} + 1 \text{ kg}) \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{beban} = (1,52 \text{ kg}) \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{beban} = 14,896 \text{ N}$$

c. Beban AT 2 kg

$$F_{beban} = (Massa Wrist + Massa Vacuum Suction + AT) \times \text{Percepatan gravitasi}$$

$$F_{beban} = (0,503 \text{ kg} + 0,017 \text{ kg} + 2 \text{ kg}) \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{beban} = (2,52 \text{ kg}) \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{beban} = 24,696 \text{ N}$$

3. Perhitungan Vacuum Suction

a. Diameter vacuum suction : 40 mm

b. Percepatan gravitasi : 9,8 m/s²

c. Nominal Operating Pressure : 0,7 bar = 0,07 N/mm²

Luas Penampang

$$A = \frac{\pi}{4} (d)^2 \dots\dots\dots(3.7)$$

$$A = 0,785(40 \text{ mm})^2$$

$$A = 1256 \text{ mm}^2$$

Gaya vacuum suction ketika diberi tekanan 0,7 bar

$$Tl_f = P \times A \dots\dots\dots(3.8)$$

$$Tl_f = 0,07 \text{ N/mm}^2 \times 1256 \text{ mm}^2$$

$$Tl_f = 87,92 \text{ N}$$

Beban vacuum suction

a. Beban AT 1 kg

$$F_{beban} = \text{Massa AT} \times \text{Percepatan gravitasi}$$

$$F_{beban} = 1 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{beban} = 9,8 \text{ N}$$

b. Beban AT 2 kg

$$F_{beban} = \text{Massa AT} \times \text{Percepatan gravitasi}$$

$$F_{beban} = 2 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{beban} = 19,6 \text{ N}$$

4. Perhitungan Roda Gigi

Diketahui:

- a. Jumlah gigi *driver gear* (T_1) : 20
- b. Jumlah gigi *driven gear* (T_2) : 40
- c. Kecepatan *driver gear* (n_1) : 100 rpm
- d. Torsi *driver gear* (τ) : 2,9 kgcm

Perhitungan *Gear Ratio*

$$\text{Gear Ratio} = \frac{T_2}{T_1} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\text{Gear Ratio} = \frac{40}{20} = 2$$

Perhitungan Kecepatan Roda Gigi

$$\text{Gear Ratio} = \frac{\text{Kecepatan Driver Gear } (n_1)}{\text{Kecepatan Driven Gear } (n_2)} \dots\dots\dots(3.8)$$

$$n_2 = \frac{n_1}{\text{Gear Ratio}} = \frac{100 \text{ rpm}}{2} = 50 \text{ rpm}$$

Perhitungan Torsi Roda Gigi

$$\text{Gear Ratio} = \frac{\text{Torsi Output } (\tau_2)}{\text{Torsi Input } (\tau_1)} \dots\dots\dots(3.9)$$

$$\text{Torsi Output } (\tau_2) = \text{Gear Ratio} \times \text{Torsi Input } (\tau_1)$$

$$\text{Torsi Output } (\tau_2) = 2 \times 2,9 \text{ kgcm} = 5,8 \text{ kgcm}$$

3.7 Prosedur Kalibrasi *Pressure Gauge*

Prosedur kalibrasi *pressure gauge* dilakukan berdasarkan acuan standar. EURAMET Calibration Guide No. 17 Version 4.1 (04/2022) : “Guidelines on The Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometer”. Sebelum pelaksanaan kalibrasi, dilakukan persiapan peralatan dan dokumen. Adapun peralatan yang diperlukan antara lain: *dead weight tester* (DWT), *thermometer digital*, *thermohygrometer*, jangka sorong, *stopwatch*, *seal tape*, kertas tisu, kunci-kunci, konektor, cerapan dan alat tulis. Selanjutnya persiapan dokumen meliputi: Sertifikat kalibrasi *dead weight tester* dan cerapan kalibrasi. Setelah persiapan peralatan dan dokumen, perlu dilakukan persiapan kalibrasi. Persiapan kalibrasi yang perlu dilakukan adalah:

1. Kalibrasi dilakukan pada ruangan laboratorium yang terkondisi;
2. Peralatan standar yang digunakan sudah terkalibrasi dan tertelusur;

3. Peralatan dikondisikan sehingga tercapai keseragaman suhu yaitu suhu ($23 \pm 5^{\circ}\text{C}$) dan *humidity* ($60 \pm 20\%$);
4. *Dead weight tester* diposisikan pada posisi yang rata dan tegak lurus;
5. Disiapkan termometer digital sebagai pengukur suhu piston;
6. Selang-selang dan konektor dipastikan bahwa dapat bekerja dengan baik atau tidak ada kebocoran.

Prosedur kalibrasi *pressure gauge* adalah sebagai berikut:

1. Kondisi ruangan laboratorium dicatat pada cerapan;
2. Data teknis *pressure gauge* yang dikalibrasi dicatat pada cerapan kalibrasi;
3. Titik uji ditentukan untuk pengukuran serta kombinasi lemping ditentukan sesuai dengan titik uji tersebut;
4. Ditentukan *connector* yang sesuai lalu dipasangkan pada *pressure gauge* yang dikalibrasi pada *connecting head* DWT;
5. Pengoperasian DWT dioperasikan sesuai *manual book* DWT;
6. Beda Ketinggian atau level antara piston (*reference line level*) dan *pressure gauge* diukur dan dicatat pada cerapan;
7. *Reservoir valve* ditutup;
8. Diletakkan lemping pada piston DWT sesuai dengan titik uji maksimum untuk proses pembebanan maksimum. Diberikan tekanan pada DWT sampai piston terangkat dan *pressure gauge* menunjuk skala maksimum selama ± 3 menit, kemudian dilakukan pemeriksaan apakah ada kebocoran atau tidak. Setelah itu lemping diturunkan satu per satu hingga lemping semua dan tekanan dibuang dengan cara membuka *reservoir valve*;
9. *Reservoir valve* ditutup;
10. Diletakkan lemping pada piston DWT yang sesuai dengan titik uji, kemudian diberikan tekanan sampai piston terangkat. Lemping pada piston diputar. Pada saat putaran stabil, dilakukan pembacaan penunjukan *pressure gauge* yang dikalibrasi;
11. Lemping ditambahkan untuk pengamatan pada titik uji lainnya. Langkah ini disebut sebagai pengujian naik. Pengujian naik merupakan pengujian dari titik uji atau skala terkecil ke skala terbesar;
12. Setelah mencapai titik maksimum (*full scale*) diberi waktu tunggu selama 5 menit, kemudian lemping diturunkan sampai pada titik uji berikutnya;

13. Lemping dikurangi untuk pengamatan pada titik-titik uji yang lainnya. Langkah disebut sebagai pengujian turun. Pengujian turun merupakan pengujian dari titik uji atau skala terbesar ke skala terkecil. Setelah lemping diturunkan semua, tekanan dibuang dengan cara membuka *reservoir valve*;
14. Langkah 9 sampai 13 diulangi sebanyak 3 kali:
 - a. Pengujian dilakukan minimal 5 titik uji untuk $0,05 \leq \text{kelas ketelitian} \leq 0,2$.
 - b. Pengujian dilakukan semua titik pengujian untuk kelas ketelitian $< 0,05$;
15. Suhu piston yang terbaca pada *thermometer* digital dicatat selama proses pengujian;
16. Kondisi ruangan laboratorium dicatat pada cerapan;
17. Setelah selesai proses kalibrasi, *pressure gauge* yang diuji dilepaskan.

3.8 Prosedur Pengujian Fungsi Joystick

Pengujian fungsi *joystick* bertujuan untuk mengetahui nilai sinyal analog pada *joystick* untuk dijadikan sebagai nilai *input* purwarupa. Prosedur pengujian *joystick* adalah sebagai berikut:

1. Komponen elektronik dirangkai sesuai Gambar 3.7;
2. Rangkaian dihubungkan pada *power supply*;
3. Arduino IDE dibuka, kemudian kode program pengujian *joystick* diunggah pada Arduino Uno;
4. Serial monitor Arduino IDE dibuka untuk melihat sinyal analog *joystick*;
5. Sinyal analog yang diberikan *joystick* dicatat pada kondisi normal atau kondisi *joystick* tidak digerakkan;
6. Sinyal analog yang diberikan *joystick* dicatat pada kondisi *joystick* digerakkan ke atas maksimal, ke bawah maksimal, ke kiri maksimal dan ke kanan maksimal.

3.9 Prosedur Pengujian Tuning PID Motor DC

Pengujian *tuning* PID bertujuan untuk mengatur kecepatan pada motor DC sehingga dapat stabil dan mengurangi kesalahan *steady state*. Prosedur pengujian PID Motor DC dapat dilakukan dengan cara:

1. Komponen dirangkai sesuai Gambar 3.8;
2. Rangkaian dihubungkan pada *power supply*;
3. Arduino IDE dibuka, kemudian kode program pengujian *Tuning* PID diunggah pada Arduino Uno;

4. Pada kode program, nilai set poin yang diatur pada 100 rpm;
5. Nilai K_p , K_i , dan K_d diatur hingga putaran motor DC mencapai kondisi yang stabil;
6. Serial *plotter* pada Arduino IDE dibuka untuk melihat kurva hasil *tuning* PID;
7. Serial monitor pada Arduino IDE dibuka untuk melihat respons kecepatan motor DC;
8. Nilai K_p , K_i , dan K_d dicatat pada saat putaran motor DC mencapai kondisi ideal;
9. Kurva hasil *tuning* PID yang ideal didokumentasikan sebagai hasil pengujian.

3.10 Prosedur Pengujian Gaya Silinder

Pengujian gaya silinder bertujuan untuk memastikan gaya di dalam silinder memenuhi gaya yang dibutuhkan untuk mengangkat benda. Prosedur pengujian waktu silinder adalah sebagai berikut:

1. Purwarupa diletakkan pada meja kerja;
2. Komponen pneumatik dirangkai sesuai Gambar 3.13;
3. Kompresor diaktifkan;
4. Digunakan *joystick* untuk mengontrol silinder;
5. *Joystick* digerakkan ke atas maksimal untuk memanjangkan (*extend*) silinder pneumatik;
6. *Joystick* digerakkan ke bawah maksimal untuk memendekkan (*retract*) silinder pneumatik;
7. Nilai tekanan pada *pressure gauge* saat silinder pneumatik memanjang dan memendek diamati lalu dicatat pada cerapan;
8. Pengujian diulangi pada kondisi robot lengan tanpa beban, robot lengan pada saat mengangkat anak timbangan 1kg, dan robot lengan pada saat mengangkat anak timbangan 2kg. Satu kondisi dilakukan sebanyak 5 kali pengulangan.

3.11 Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Purwarupa

Pengujian unjuk kerja purwarupa bertujuan untuk memastikan robot lengan mampu mengangkat, memindahkan dan meletakkan anak timbangan. Pengujian unjuk kerja purwarupa dilakukan dengan cara:

1. Purwarupa diletakkan pada meja kerja seperti Gambar 3.2;
2. Kompresor diaktifkan;
3. Digunakan *joystick* untuk mengontrol gerakan robot lengan;

4. Robot lengan diposisikan hingga *vacuum suction* menyentuh anak timbangan;
5. *Toggle switch* diaktifkan untuk mengangkat anak timbangan.
6. Robot lengan diposisikan hingga anak timbangan berada di atas timbangan elektronik;
7. Anak timbangan diletakkan dengan cara menonaktifkan *toggle switch*;
8. Hasil penimbangan dapat dilihat pada display timbangan elektronik;
9. Anak timbangan diangkat kembali lalu diletakkan pada landasan anak timbangan;
10. Robot lengan diposisikan hingga anak timbangan berada pada landasan anak timbangan;
11. Dilakukan pengamatan pada pengujian apakah robot lengan mampu mengangkat, memindahkan serta meletakkan anak timbangan atau tidak. Kemudian hasil pengujian dicatat pada cerapan;
12. Pengujian diulangi sebanyak 5 kali untuk satu jenis anak timbangan.

3.12 Prosedur penggunaan Purwarupa

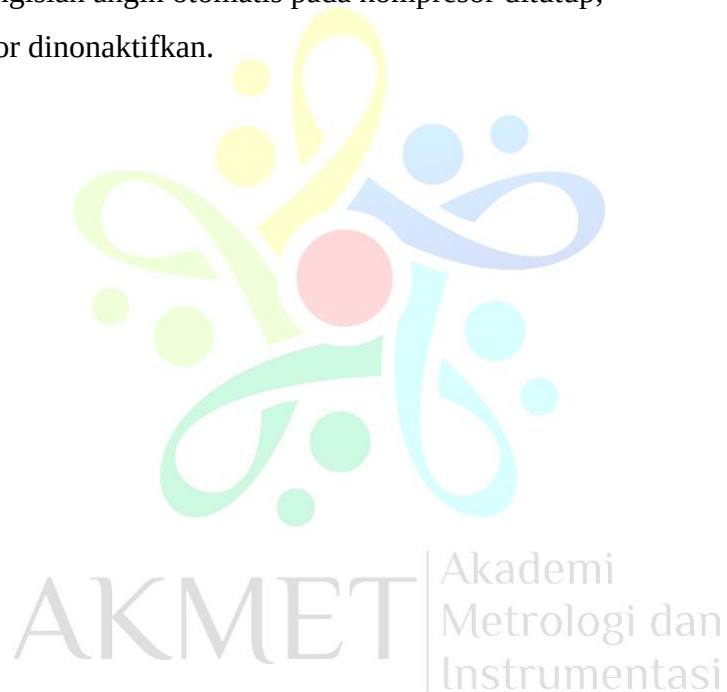
Purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC yang dibuat terdiri dari beberapa bagian, yaitu boks rangkaian elektronik, boks rangkaian solenoid dan rangka robot lengan. Pastikan ketiga bagian tersebut terhubung sehingga purwarupa dapat bekerja. Prosedur penggunaan purwarupa robot lengan adalah sebagai berikut:

1. Purwarupa diletakkan pada meja kerja sesuai Gambar 3.2;
2. Kompresor diaktifkan;
3. Katup pengisian angin otomatis pada kompresor dibuka;
4. Katup keluaran kompresor dibuka hingga maksimal;
5. Rangkaian diaktifkan dengan cara menghidupkan *switch on-off*;
6. Robot lengan dikendalikan dengan menggunakan *joystick*.

Fungsi gerakan pada *joystick*:

- a. *Joystick 1* digerakkan ke arah atas maksimal untuk menggerakkan *hasta* ke atas.
- b. *Joystick 1* digerakkan ke arah bawah maksimal untuk menggerakkan *hasta* ke bawah.
- c. *Joystick 2* digerakkan ke arah atas maksimal untuk menggerakkan *wrist* ke atas.
- d. *Joystick 2* digerakkan ke arah bawah maksimal untuk menggerakkan *wrist* ke bawah.

- e. *Joystick 2* digerakkan ke arah kiri maksimal untuk menggerakkan *base* berlawanan jarum jam.
 - f. *Joystick 2* digerakkan ke arah kanan untuk menggerakkan *base* searah jarum jam.;
- 7. *Toggle switch* diaktifkan untuk mengangkat anak timbangan;
 - 8. Robot lengan diposisikan sesuai kebutuhan;
 - 9. *Toggle switch* dinonaktifkan untuk meletakkan anak timbangan;
 - 10. Setelah selesai penggunaan robot, rangkaian dinonaktifkan dengan cara menonaktifkan *switch on-off*;
 - 11. Katup keluaran kompresor ditutup;
 - 12. Katup pengisian angin otomatis pada kompresor ditutup;
 - 13. Kompresor dinonaktifkan.

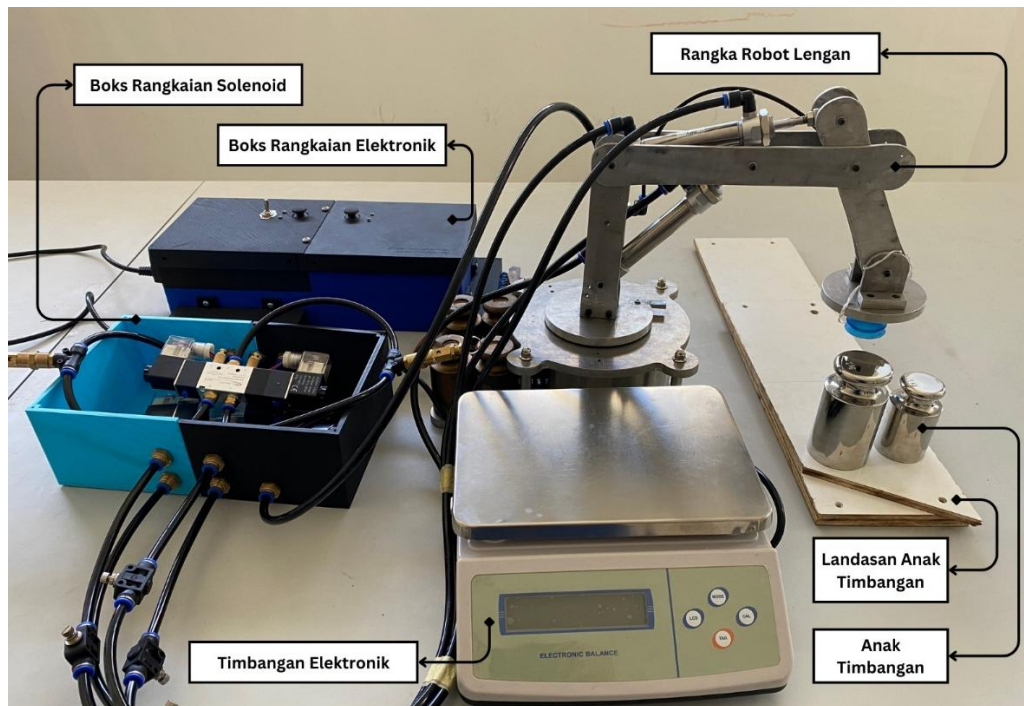


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Purwarupa

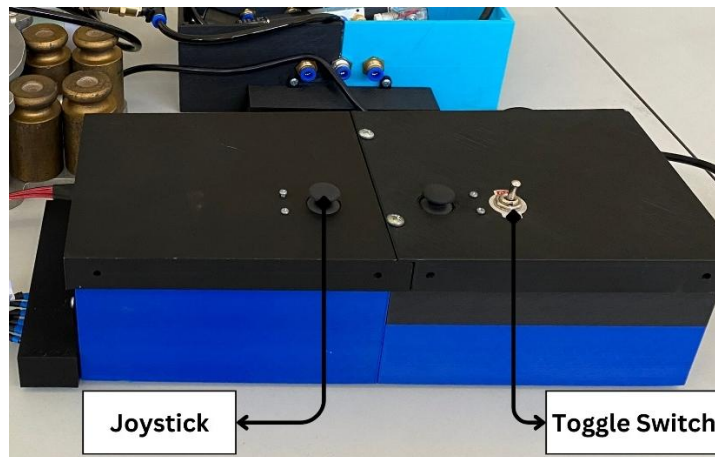
Purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat timbangan dibuat sesuai dengan desain yang telah dirancang. Adapun hasil pembuatan purwarupa dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



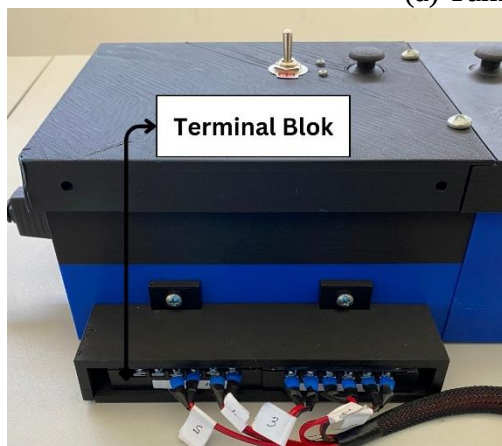
Gambar 4.1 Hasil Pembuatan Purwarupa Robot Lengan
Sumber : *dokumentasi pribadi*, 2024

Pada purwarupa terdapat beberapa bagian yaitu boks rangkaian elektronik, boks rangkaian solenoid dan rangka robot lengan. Ketiga bagian tersebut dirancang terpisah sehingga mengurangi kompleksitas dan mudah untuk dikelola.

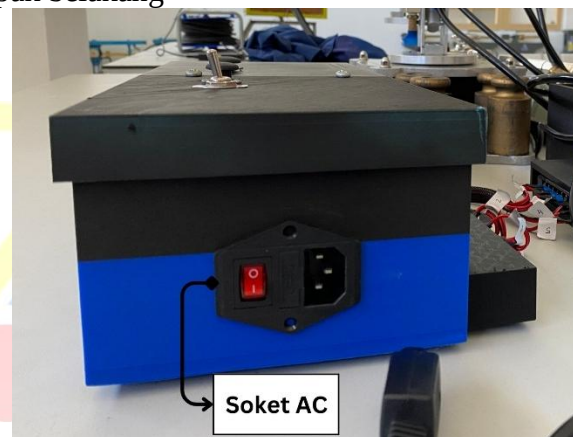
Boks rangkaian elektronik, berperan sebagai pengendali dari robot lengan. Komponen – komponen yang terdapat di dalam boks rangkaian elektronik adalah: Arduino Uno, konverter AC-DC, DC *step down*, relay, PCB, konektor wago, *motor driver*, terminal blok, *joystick*, *toggle switch*, dan soket AC. Boks rangkaian elektronik secara detail dapat dilihat pada Gambar 4.2.



(a) Tampak belakang



(b) Tampak depan

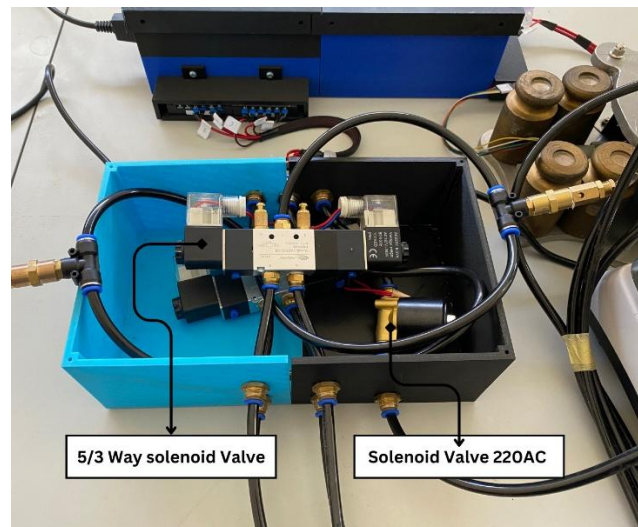


(c) Tampak samping

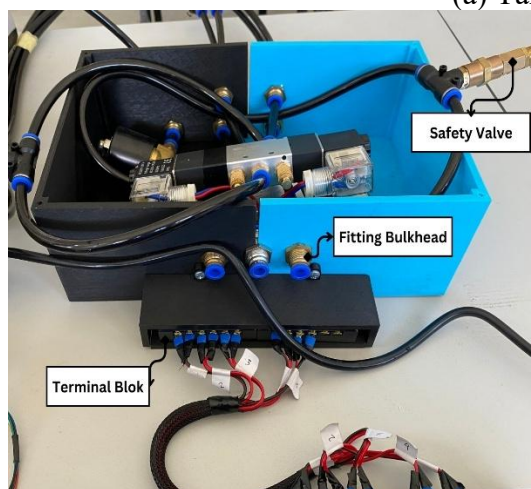
Gambar 4.2 Boks Rangkaian Elektronik

Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

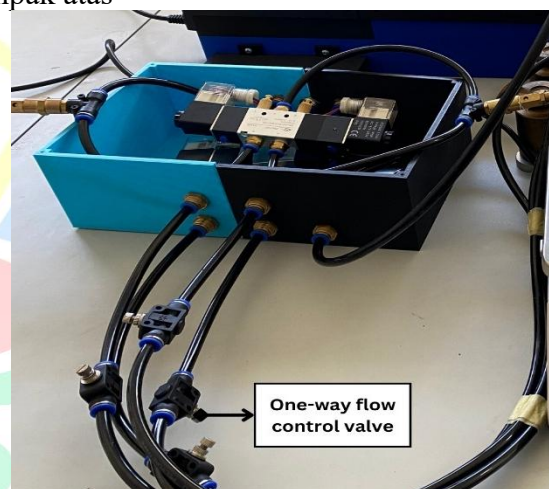
Boks rangkaian solenoid berfungsi sebagai jalur untuk pengaturan angin. Angin yang bersumber dari kompresor akan diteruskan ke silinder pneumatik melalui pengaturan *solenoid valve* pada boks rangkaian solenoid. *Solenoid valve* pada boks, diatur secara manual menggunakan *joystick* dan *toggle switch* yang ada pada boks rangkaian elektronik. Pada boks rangkaian solenoid ditempatkan komponen-komponen seperti *5/3-way solenoid valve*, *2/2-way solenoid valve*, terminal blok dan *fitting bulkhead*. Boks rangkaian solenoid dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.



(a) Tampak atas



(b) Tampak depan



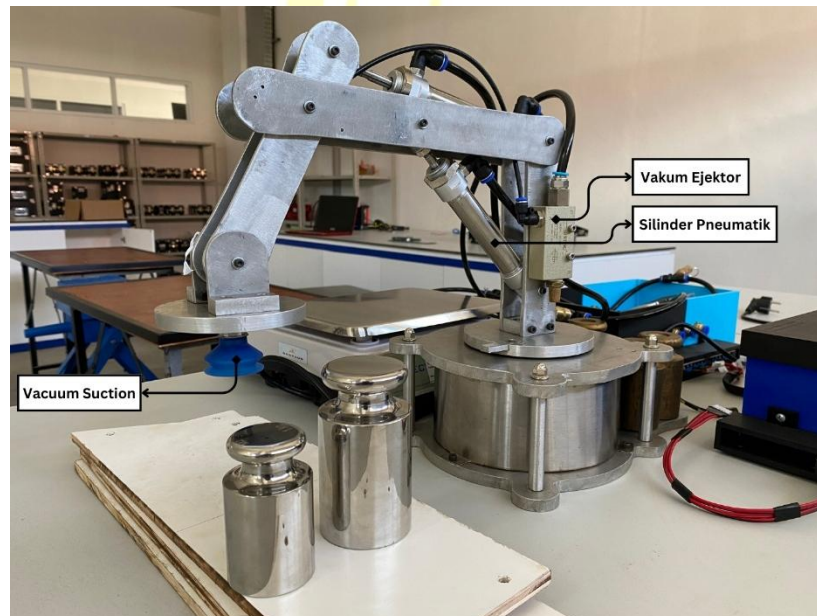
(c) Tampak depan

Gambar 4.3 Boks Rangkaian Solenoid

Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Pada selang sebagai jalur angin dari boks rangkaian solenoid ke rangka robot lengan dipasangkan *one-way flow control valve*. *Control valve* ini dipasangkan untuk memperlambat pergerakan silinder dengan cara mengurangi ukuran bukaan pada *control valve*. Upaya ini dilakukan untuk mengurangi tekanan yang masuk ke dalam silinder sehingga kecepatan silinder berkurang. Selain itu selang yang menghubungkan antara boks rangkaian solenoid dan kompresor dipasangkan *safety valve* berupa *variable pressure reducing valve*. *Safety valve* ini digunakan untuk mencegah tekanan berlebih. Bukaan *valve* ini diatur agar tekanan yang masuk ke *solenoid valve* hanya mencapai 3,4 bar. Hal ini juga dilakukan untuk mengurangi kecepatan silinder.

Bagian yang akan menyalurkan gerakan dan gaya adalah rangka robot lengan. Rangka robot lengan yang akan mengangkat anak timbangan lalu memindahkannya pada titik yang ditentukan. Robot lengan dibuat menggunakan bahan aluminium sehingga bobot robot lengan tidak berat. Robot ini mampu bergerak dengan tiga gerakan independen atau memiliki 3 derajat kebebasan. Bagian – bagian pada robot lengan antara lain: *base*, *elbow*, *hasta*, dan *wrist*. Pada rangka robot lengan terdapat motor DC, *pulley*, *belt*, dan *bearing* yang berperan untuk perputaran bagian *base*. Selain itu terdapat silinder pneumatik sebagai aktuator pergerakan atas-bawah robot lengan. Pada bagian *elbow* ditempatkan vakum ejektor untuk penyuplai tekanan vakum ke *vacuum suction*. *Vacuum suction* ini merupakan *gripper* yang akan mengangkat anak timbangan dengan cara menghisap. Bentuk rangka robot lengan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rangka Robot Lengan
Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Vacuum suction yang digunakan terbuat dari bahan VMQ atau *Vinyl Methyl Silicone* sehingga mampu bekerja pada rentang suhu operasional yang sangat luas. Jika dilihat pada Tabel 2.5, *vacuum Suction* ini dapat bekerja pada suhu $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hal ini menjadi salah satu keunggulan karena *vacuum suction* dapat fleksibel dalam menyesuaikan dengan suhu benda. Dengan menggunakan *vacuum suction* sebagai pengangkat AT akan meminimalisir pengaruh suhu pada proses penimbangan

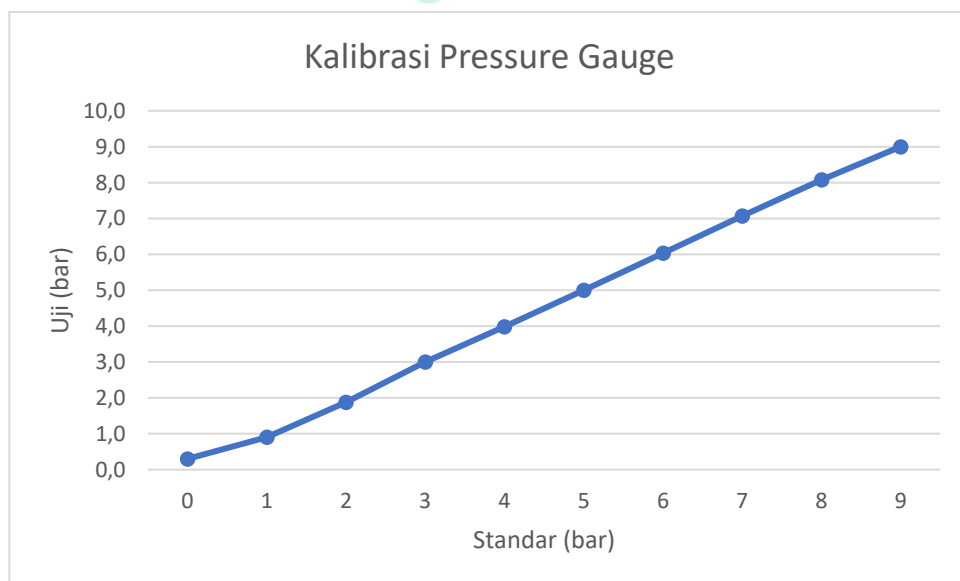
4.2 Hasil Kalibrasi *Pressure Gauge*

Pada purwarupa digunakan *pressure gauge* dengan tekanan maksimum 10 bar. Penggunaan *pressure gauge* pada purwarupa adalah sebagai alat ukur tekanan kompresor dan tekanan dalam silinder. Oleh sebab itu *pressure gauge* perlu dilakukan kalibrasi. Kalibrasi *pressure gauge* dilakukan dengan menggunakan alat standar *dead weight tester* (DWT). Adapun hasil kalibrasi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.5 berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil Kalibrasi *Pressure Gauge*

<i>Dead Weight Tester</i> (Standar)	<i>Pressure Gauge</i> Rata-rata (Uji)	<i>Error</i>	Koreksi
bar	bar	bar	bar
0	0,30	0,30	-0,30
1	0,90	-0,10	0,10
2	1,88	-0,12	0,12
3	3,00	0,00	0,00
4	3,98	-0,02	0,02
5	5,00	0,00	0,00
6	6,03	0,03	-0,03
7	7,07	0,07	-0,07
8	8,08	0,08	-0,08
9	9,00	0,00	0,00

Sumber : dokumentasi pribadi, 2024



Gambar 4.5 Grafik Hasil Kalibrasi *Pressure Gauge*

Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Pengujian kalibrasi *pressure gauge* dilakukan pada 10 titik uji, dimulai dari rentang 0 bar sampai 9 bar. Berdasarkan hasil kalibrasi yang dilakukan, dapat dilihat bahwa nilai *error* yang diperoleh kecil. Nilai *error* terkecil yang diperoleh adalah 0 bar pada titik uji 3 bar, 5 bar, dan 9 bar. Sedangkan nilai *error* terbesar berada pada titik uji 0 bar yaitu 0,30 bar. Dari hasil kalibrasi yang diperoleh maka disimpulkan bahwa *pressure gauge* memiliki kualitas pembacaan yang baik.

4.3 Hasil Pengujian Fungsi Joystick

Pengujian *joystick* dilakukan untuk mengetahui nilai sinyal analog dari modul *joystick*. Nilai sinyal analog yang diperoleh akan dijadikan sebagai nilai acuan untuk penentuan nilai *input* pada rangkaian robot lengan. Hasil pengujian fungsi *joystick* dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fungsi Joystick

Kondisi	Sinyal Analog			
	V1x	V1y	V2x	V2y
Normal	461	501	499	505
Atas Maksimal	-	0	-	0
Bawah Maksimal	-	1023	-	1023
Kanan Maksimal	1023	-	1023	-
Kiri Maksimal	0	-	0	-

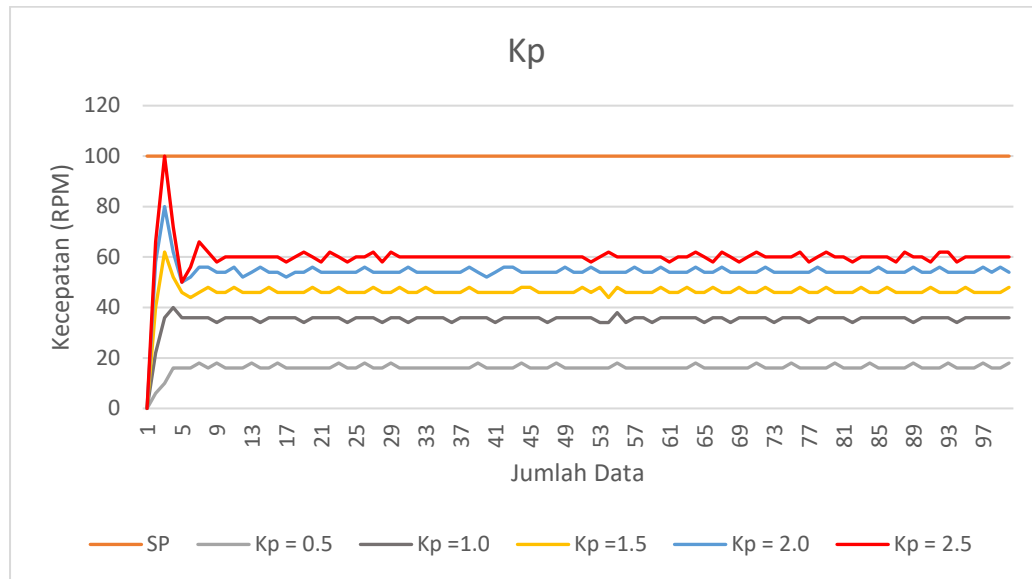
Sumber : dokumentasi pribadi, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh maka dapat ditentukan nilai *input* untuk *joystick* 1 sumbu y adalah lebih 900 dan kurang dari 100. Kemudian pada *joystick* 2 sumbu x ditentukan nilai *input* adalah lebih dari 700 dan kurang dari 300. Sedangkan pada sumbu y, nilai *input* yang ditentukan adalah lebih dari 900 dan kurang dari 100. Nilai *input* tersebut kemudian dimasukkan ke dalam kode program sebagai *input* perintah untuk mengaktifkan relay.

4.4 Hasil Pengujian Tuning PID Motor DC

Pada purwarupa, digunakan kontrol PID untuk mengontrol kecepatan motor DC mencapai nilai set poin dan stabil. Set poin yang ditentukan untuk operasional robot lengan adalah 100 rpm. Rumus pengendali PID diimplementasikan secara langsung pada kode program pengujian *tuning* PID. Pengujian *tuning* PID dilakukan dengan menggunakan waktu sampel sebesar 60 ms, dengan data yang diambil sebanyak 100 data untuk satu nilai konstanta pengendali. *Tuning* PID dilakukan

menggunakan metode *trial & error*. Pengujian *tuning* PID dilakukan secara bertahap dimulai dari penentuan nilai konstanta *proportional* (P). Hasil pengujian pengendali P dengan nilai Kp bervariasi dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Tabel 4.3 di bawah.



Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Motor DC pada Pengendali *Proportional* (P)
Sumber : dokumentasi pribadi, 2024

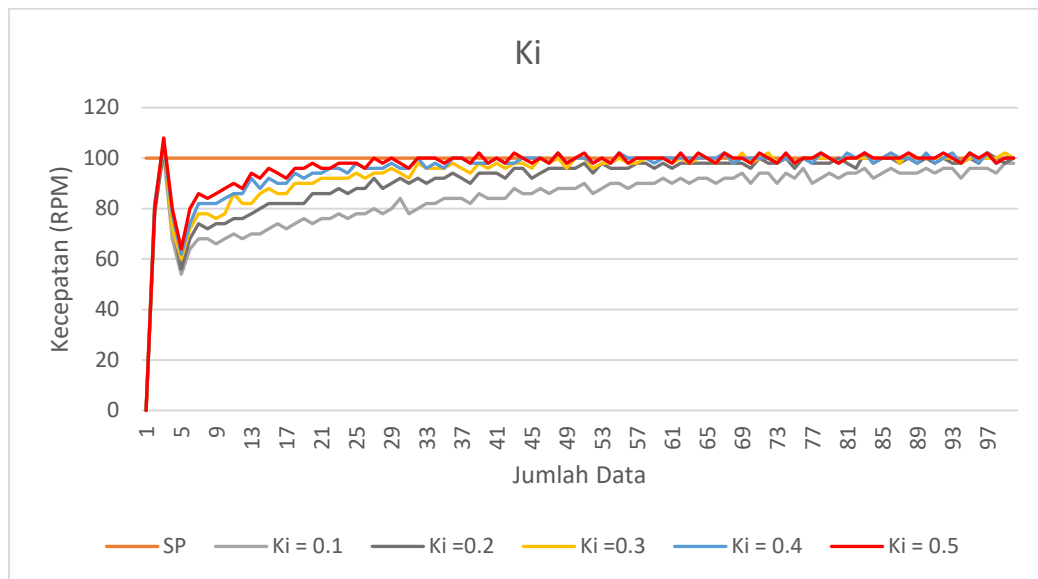
Tabel 4.3 Respons Sistem Pengendali *Proportional* (P)

Kp	Ki	Kd	Rise Time	Settling Time	Overshoot (%)	Steady State Error (%)
0,5	0	0	-	-	0	82
1,0	0	0	-	-	0	64
1,5	0	0	-	-	0	52
2,0	0	0	-	-	0	46
2,5	0	0	-	-	0	40

Sumber : dokumentasi pribadi, 2024

Berdasarkan Gambar 4.6 di atas, kecepatan motor DC belum mencapai nilai set poin. Nilai Kp yang besar mempengaruhi penurunan nilai *steady state error*. Pada respons sistem nilai *rise time* dan *settling time* tidak ada karena belum mencapai nilai set poin. Pada Kp 2,5 diperoleh *steady state error* 40 %. Nilai *steady state error* pada Kp 2,5 lebih kecil dibanding nilai Kp lainnya. Apabila nilai Kp diatur lebih dari 2,5 memungkinkan nilai *error* yang lebih kecil namun akan mengakibatkan *overshoot* pada putaran motor DC. Dengan pertimbangan tersebut, maka ditentukan nilai 2,5 sebagai nilai Kp. Nilai *steady state error* 40 % masih tergolong tinggi sehingga nilai *error* perlu diturunkan melalui penambahan konstanta integral (I). Oleh sebab itu,

pengujian dilanjutkan dengan penentuan nilai konstanta integral. Hasil pengujian pengendali PI dengan nilai K_i bervariasi dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.4 berikut ini.



Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Motor DC pada Pengendali *Proportional Integral* (PI)
Sumber : dokumentasi pribadi, 2024

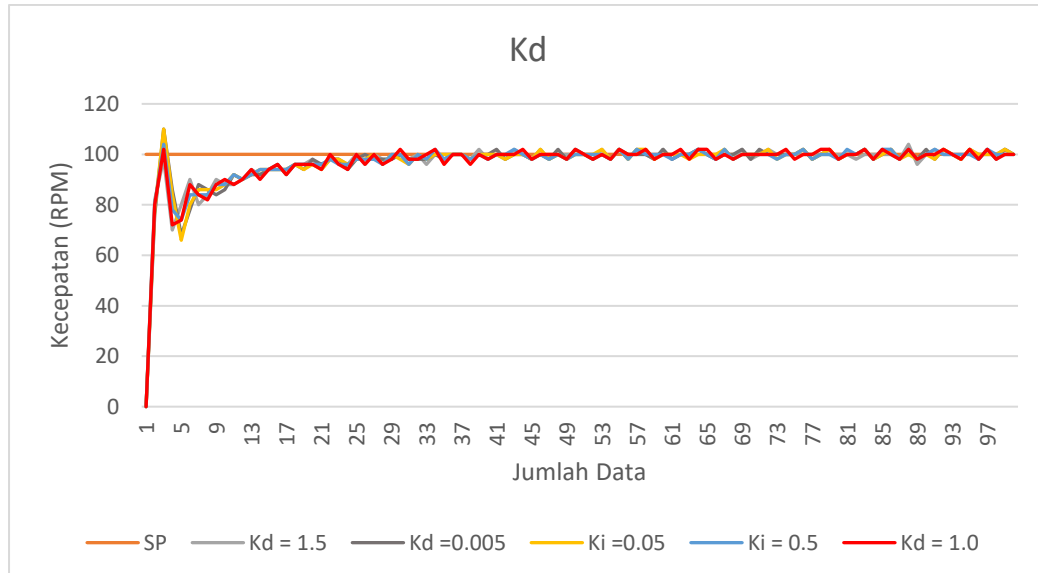
Tabel 4.4 Respons Sistem Pengendali *Proportional Integral* (PI)

K_p	K_i	K_d	Rise Time	Settling Time	Overshoot (%)	Steady State Error (%)
2,5	0,1	0	28	94	2	2
2,5	0,2	0	26	100	4	0
2,5	0,3	0	22	100	6	0
2,5	0,4	0	18	98	6	0
2,5	0,5	0	12	98	8	0

Sumber : dokumentasi pribadi, 2024

Pada Gambar 4.7 di atas, kecepatan motor DC sudah mencapai nilai set poin, namun masih terdapat sedikit *overshoot*. Nilai K_i mampu menghilangkan *steady state error* menjadi nol. Berdasarkan respons sistem, pada K_i 0,2 sudah mampu menghilangkan *steady state error* namun *rise time* masih cukup lama. Sedangkan pada K_i 0,5 nilai *steady state error* hilang, memiliki *rise time* yang lebih singkat tetapi terdapat *overshoot* yang lebih tinggi dibanding nilai K_i lainnya. Apabila nilai K_i diatur melebihi 0,5 memungkinkan nilai *rise time* yang lebih singkat tetapi akan menambah nilai *overshoot*. Oleh sebab itu, dari respons sistem yang diperoleh, maka ditentukan 0,5 sebagai nilai K_i untuk mendapatkan nilai *rise time* yang singkat. Nilai *overshoot*

yang tinggi pada K_i 0,5 dapat diturunkan melalui penambahan konstanta *derivative* (D). Sehingga pengujian dilanjutkan dengan penentuan nilai konstanta *derivative*. Hasil pengujian pengendali PID dengan nilai K_d bervariasi dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.5.



Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Motor DC pada Pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID)

Sumber : dokumentasi pribadi, 2024

Tabel 4.5 Respons Sistem Pengendali *Proportional Integral Derivative* (PID)

K_p	K_i	K_d	Rise Time	Settling Time	Overshoot (%)	Steady State Error (%)
2,5	0,5	0,005	26	100	10	0
2,5	0,5	0,05	16	98	10	0
2,5	0,5	0,5	12	100	10	0
2,5	0,5	1,0	10	98	4	0
2,5	0,5	1,5	12	100	2	0

Sumber : dokumentasi pribadi, 2024

Pada Gambar 4.8 di atas menunjukkan bahwa kecepatan motor DC mencapai set point dan lebih stabil. Nilai K_d mampu menurunkan *overshoot* pada motor DC. Berdasarkan respons sistem nilai K_d 1,0 diperoleh *rise time* 10 atau 0,60 s; *settling time* 98 atau 5,88 s; *overshoot* 4 %. Sedangkan pada K_d 1,5 diperoleh *rise time* 12 atau 0,72 s; *settling time* 100 atau 6 s; *overshoot* 2 %; dan *steady state error* 0 %. Kedua variasi K_d tersebut memperoleh respons sistem yang sangat baik. Pada K_d 1,0 memungkinkan motor DC mencapai nilai target dan keadaan stabil yang lebih cepat. Sedangkan K_d 1,5 memungkinkan Motor DC memperoleh *overshoot* yang lebih

sedikit. Oleh sebab itu, nilai variasi K_i ditentukan sesuai dengan kebutuhan robot lengan. Pada robot lengan, nilai *overshoot* yang kecil akan sangat diunggulkan. Hal ini agar pada saat pemindahan anak timbangan, pergerakan rotasi robot tidak kasar akibat *overshoot* yang tinggi pada motor DC. Selain itu apabila nilai K_d diatur melebihi 0,5 memungkinkan nilai *overshoot* yang lebih kecil namun nilai *rise time* yang lebih lama. Nilai *overshoot* 2 % dan *rise time* 12 sudah cukup baik untuk pergerakan rotasi robot. Dengan demikian, nilai K_d yang digunakan pada pengendali PID adalah 1,5. Berdasarkan hasil *tuning* PID yang dilakukan, maka pada kontrol PID ditentukan nilai K_p 2,5; nilai K_i 0,5; dan nilai K_d 1,5.

4.5 Hasil Pengujian Gaya Silinder Pneumatik

Pengujian gaya silinder pneumatik dilakukan untuk memastikan agar gaya dalam silinder pneumatik memenuhi gaya yang dibutuhkan. Berdasarkan hasil perhitungan 3.6.4 gaya yang dibutuhkan adalah bervariasi menyesuaikan dengan beban yang akan diangkat. Gaya pada silinder pneumatik harus melebihi gaya yang dibutuhkan untuk bisa bergerak dan mengangkat beban anak timbangan. Pada robot lengan, terdapat dua buah silinder pneumatik antara lain: silinder *hasta* dan silinder *wrist*. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengujian gaya pada kedua silinder tersebut. Setiap silinder diuji gaya pada saat piston maju (*extend*) dan gaya pada saat piston mundur (*retract*). Masing-masing pengujian dilakukan menggunakan kompresor dengan tekanan 7 bar.

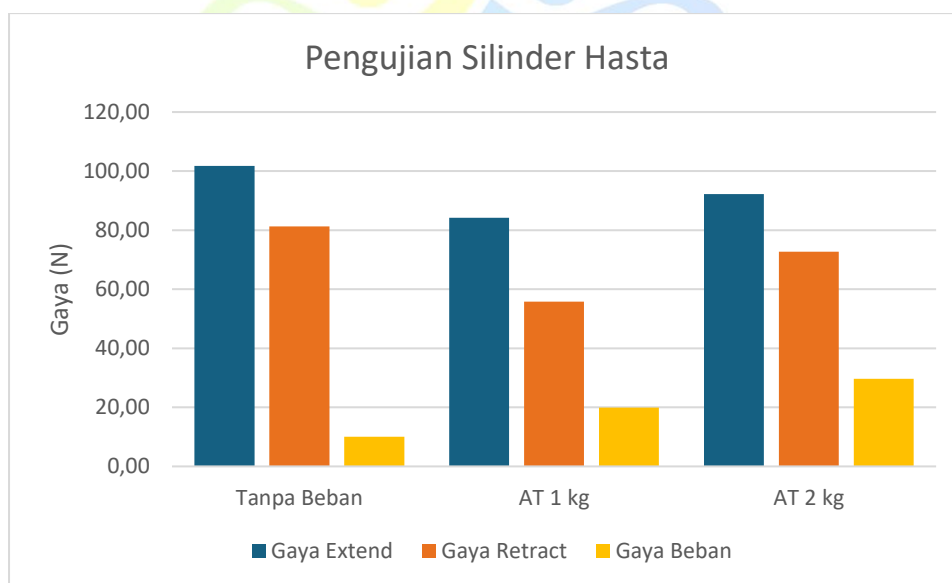
Pengujian pertama dilakukan pada silinder *hasta*. Pada silinder *hasta* gaya yang dibutuhkan saat robot lengan tidak mengangkat anak timbangan atau kondisi tanpa beban adalah 10,08 N. Kemudian ketika robot lengan mengangkat anak timbangan 1 kg maka gaya yang dibutuhkan adalah 19,88 N. Sedangkan pada saat robot lengan mengangkat anak timbangan 2 kg maka gaya yang dibutuhkan adalah 29,68 N. Hasil pengujian gaya silinder *hasta* dengan penambahan nilai koreksi dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Gaya Silinder *Hasta*

No.	Beban	Tekanan Silinder (bar)		Gaya Silinder (N)		Gaya Beban (N)
		<i>Extend</i>	<i>Retract</i>	<i>Extend</i>	<i>Retract</i>	
1	Tanpa	3,4	3,0	106,76	79,13	10,08
2	Beban	3,2	3,1	100,48	81,77	10,08

3		3,2	3,1	100,48	81,77	10,08
4		3,2	3,1	100,48	81,77	10,08
5		3,2	3,1	100,48	81,77	10,08
Rata-rata		3,2	3,1	101,74	81,24	10,08
6	AT 1 kg	2,7	2,1	85,41	55,92	19,88
7		2,9	2,1	91,69	55,92	19,88
8		2,7	1,9	85,41	50,11	19,88
9		2,5	2,3	79,13	61,19	19,88
10		2,5	2,1	79,13	55,92	19,88
Rata-rata		2,7	2,1	84,15	55,81	19,88
11	AT 2 kg	3,0	2,5	94,20	66,47	29,68
12		2,9	2,9	91,69	77,02	29,68
13		2,9	2,7	91,69	71,74	29,68
14		2,9	2,5	91,69	66,47	29,68
15		2,9	3,1	91,69	81,77	29,68
Rata-rata		2,9	2,8	92,19	72,69	29,68

Sumber : *dokumentasi pribadi*, 2024



Gambar 4.9 Grafik Pengujian Gaya Silinder *Hasta*

Sumber : *dokumentasi pribadi*, 2024

Berdasarkan Tabel 4.9 di atas, diperoleh gaya *extend* rata-rata pada silinder hasta tanpa beban, beban AT 1 kg, dan beban AT 2 kg secara berturut-turut adalah 101,74 N; 84,15 N; dan 92,19 N. Sedangkan gaya *retract* rata-rata pada silinder hasta tanpa beban, beban AT 1 kg, beban AT 2 kg secara berturut-turut adalah 81,24 N; 55,81 N; dan 72,69 N. Dari hasil pengujian gaya silinder *hasta* yang diperoleh, dapat dilihat bahwa gaya pada silinder *hasta* lebih besar dibanding gaya yang dibutuhkan untuk

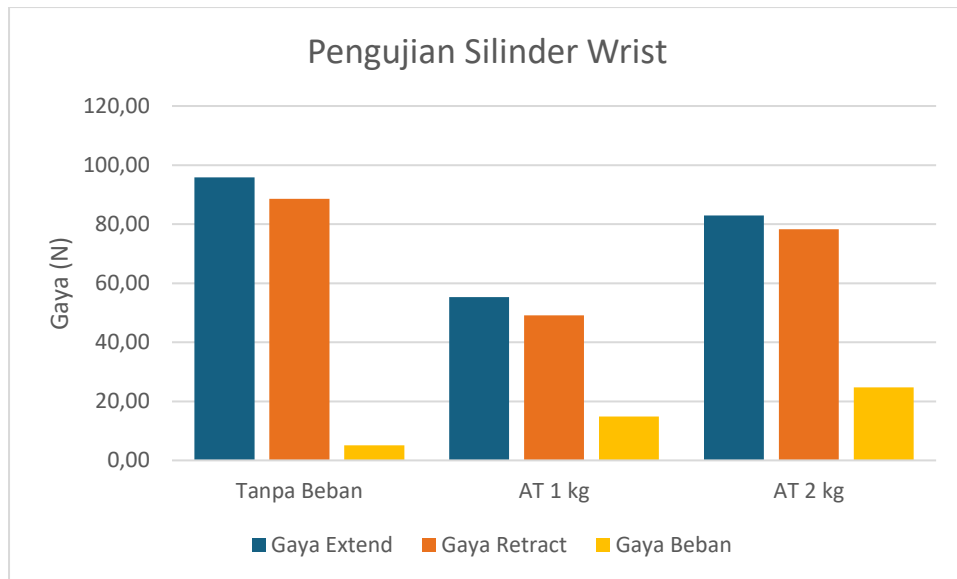
mengangkat anak timbangan. Oleh sebab itu silinder hasta mampu bergerak serta mengangkat anak timbangan 1 kg dan 2 kg.

Selanjutnya dilakukan pengujian gaya pada silinder *wrist*. Pada silinder *hasta* gaya yang dibutuhkan pada saat robot lengan tidak mengangkat anak timbangan atau kondisi tanpa beban adalah 5,10 N. Kemudian ketika robot lengan mengangkat anak timbangan 1 kg maka gaya yang dibutuhkan adalah 14,90 N. Sedangkan pada saat robot lengan mengangkat anak timbangan 2 kg maka gaya yang dibutuhkan adalah 24,70 N. Hasil pengujian silinder *wrist* dengan penambahan nilai koreksi dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Gaya Silinder *Wrist*

No.	Beban	Tekanan Silinder (bar)		Gaya Silinder (N)		Gaya Beban (N)
		Extend	Retract	Extend	Retract	
1	Tanpa Beban	3,20	3,40	100,48	89,68	5,10
2		3,00	3,40	94,20	89,68	5,10
3		3,02	3,30	94,83	87,04	5,10
4		3,02	3,30	94,83	87,04	5,10
5		3,02	3,40	94,83	89,68	5,10
Rata-rata		3,05	3,36	95,83	88,62	5,10
6	AT 1 kg	1,70	2,12	53,38	55,92	14,90
7		1,80	1,90	56,52	50,11	14,90
8		1,90	1,90	59,66	50,11	14,90
9		1,70	1,70	53,38	44,84	14,90
10		1,70	1,70	53,38	44,84	14,90
Rata-rata		1,76	1,86	55,26	49,16	14,90
11	AT 2 kg	2,72	3,00	85,41	79,13	24,70
12		2,72	2,92	85,41	77,02	24,70
13		2,52	2,92	79,13	77,02	24,70
14		2,52	3,00	79,13	79,13	24,70
15		2,72	3,00	85,41	79,13	24,70
Rata-rata		2,64	2,97	82,90	78,28	24,70

Sumber : dokumentasi pribadi, 2024



Gambar 4.10 Grafik Pengujian Gaya Silinder Wrist
Sumber : *dokumentasi pribadi*, 2024

Pada Tabel 4.7 di atas, gaya rata – rata yang diperoleh pada saat silinder *wrist* maju (*extend*) ketika tanpa beban, beban AT 1 kg, dan AT 2 kg adalah 95,83 N; 55,26 N; dan 82,90 N secara berturut-turut. Kemudian pada saat silinder *wrist* mundur (*retract*) ketika tanpa beban, beban AT 1 kg, dan beban AT 2 kg secara berturut-turut adalah 88,62 N; 49,16 N; dan 78,28 N. Dari data tersebut, menunjukkan bahwa gaya pada silinder *wrist* lebih besar dibanding gaya yang dibutuhkan untuk mengangkat anak timbangan. Sehingga silinder *wrist* dapat bergerak dan mengangkat anak timbangan 1 kg dan 2 kg.

4.6 Hasil Pengujian Unjuk Kerja Purwarupa

Pengujian unjuk kerja purwarupa dilakukan untuk memastikan robot lengan yang dibuat mampu digunakan sebagai pengangkat anak timbangan. Adapun parameter keberhasilan dari pengujian ini adalah tercapainya tiga faktor penting yaitu beban berupa AT dapat diangkat, dipindahkan dan diletakkan dari landasan AT ke Timbangan Elektronik. Pengujian unjuk kerja ini dilakukan dengan menggunakan tekanan kerja 7 bar pada kompresor. Hasil pengujian unjuk kerja purwarupa dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut ini.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Unjuk Kerja Robot Lengan

No.	Beban	Beban Diangkat	Beban Dipindahkan	Beban Diletakkan	Keterangan
1	AT 1 kg	✓	✓	✓	Peletakan AT halus
2		✓	✓	✓	Peletakan AT halus
3		✓	✓	✓	Peletakan AT halus
4		✓	✓	✓	Peletakan AT halus
5		✓	✓	✓	Peletakan AT halus
6	AT 2 kg	✓	✓	✓	Peletakan AT cukup kasar
7		✓	✓	✓	Peletakan AT cukup kasar
8		✓	✓	✓	Peletakan AT cukup kasar
9		✓	✓	✓	Peletakan AT cukup kasar
10		✓	✓	✓	Peletakan AT cukup kasar

Sumber: dokumentasi pribadi, 2024

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, robot lengan mampu mengangkat, memindahkan serta meletakkan anak timbangan 1 kg dan 2 kg. Pada saat beban anak timbangan 1 kg, robot lengan mampu meletakkannya secara halus. Namun pada beban anak timbangan 2 kg, peletakan anak timbangan oleh robot dilakukan cukup kasar. Hal ini disebabkan karena distribusi tekanan yang tidak merata. Pada kompresor terdapat tiga cabang aliran udara yang didistribusikan ke aktuator melalui boks rangkaian *solenoid*. Cabang pertama angin didistribusikan untuk menggerakkan silinder *hasta*, cabang kedua angin didistribusikan untuk menggerakkan silinder *wrist* dan pada cabang yang ketiga angin didistribusikan untuk vakum ejektor. Ketika robot mengangkat anak timbangan 1 kg, tekanan angin yang didistribusikan ke vakum ejektor tidak terlalu besar sehingga suplai angin masih cukup untuk disalurkan ke silinder *hasta* dan silinder *wrist*. Oleh sebab itu tekanan yang tersedia untuk silinder cukup untuk menahan anak timbangan dan proses peletakkannya menjadi halus. Sedangkan pada saat robot mengangkat anak timbangan 2 kg, tekanan angin yang didistribusikan ke vakum ejektor menjadi lebih banyak karena gaya yang dibutuhkan lebih besar. Dengan demikian suplai angin yang disalurkan untuk silinder *hasta* dan silinder *wrist* menjadi berkurang. Hal ini mengakibatkan tekanan yang tersedia untuk silinder berkurang dan menyebabkan proses peletakan anak timbangan menjadi kasar. Oleh sebab itu, diperlukan *pressure regulator* pada setiap cabang agar dapat mengatur

tekanan angin yang akan didistribusikan. Hal ini agar tekanan angin yang terdistribusi dapat terukur, stabil dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan aktuator.

Proses pengangkatan, pemindahan dan peletakan anak timbangan pada satu runtutan perlu dilakukan waktu tunggu untuk melakukan pengulangan. Hal ini dikarenakan pembukaan katup *safety valve* yang terlalu besar sedangkan kapasitas tangki kompresor kecil. Kompresor yang digunakan pada purwarupa memiliki tekanan kerja 7 bar dengan kapasitas tangki 8 liter. Penggunaan *safety valve* pada purwarupa adalah sebagai upaya untuk menurunkan tekanan yang masuk ke silinder pneumatik agar pergerakan silinder menjadi pelan. Namun upaya yang dilakukan mengakibatkan cadangan udara di dalam tangki kompresor cepat habis. Oleh sebab itu dalam operasional purwarupa, diperlukan waktu tunggu untuk melakukan pengulangan. Berdasarkan pengujian yang dilakukan waktu tunggu satu runtutan pada beban 1 kg adalah kurang lebih 8 detik. Untuk beban 2 kg waktu tunggu yang diperlukan untuk satu runtutan adalah kurang lebih 15 detik. Waktu tunggu pada beban 2 kg sedikit lebih lama dibandingkan beban 1 kg, karena gaya yang dibutuhkan lebih besar.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

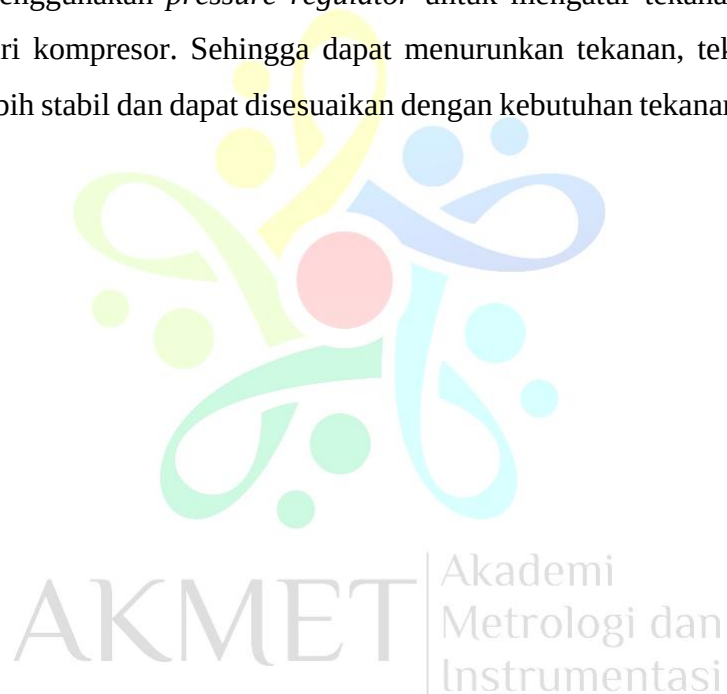
1. Purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan dibuat dengan menggunakan silinder pneumatik sebagai penggerak bagian *hasta* dan *wrist*, menggunakan *vacuum suction* untuk mengangkat anak timbangan, serta menggunakan motor DC sebagai penggerak *base*.
2. Pada silinder *hasta* diperoleh gaya mencapai 106,76 N untuk gaya *extend* dan 81,77 N untuk gaya *retract*. Pada silinder *wrist* diperoleh gaya mencapai 100,48 N untuk gaya *extend* dan 89,68 N untuk gaya *retract*. Pada motor DC diperoleh respons sistem *rise time* 0,72s; *settling time* 6s; *overshoot* 2% dan *steady state error* 0%.
3. Pengujian unjuk kerja yang dilakukan diperoleh hasil bahwa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat Anak Timbangan mampu mengangkat anak timbangan 1 kg dan 2 kg. Peletakan AT 1 kg dapat dilakukan secara halus namun peletakan AT 2 kg dilakukan cukup kasar.

5.2 Saran

Pada pengerjaan purwarupa robot lengan berbasis pneumatik dan motor DC sebagai pengangkat anak timbangan masih terdapat banyak kekurangan sehingga perlu diperbaiki dan dikembangkan. Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan purwarupa adalah:

1. Purwarupa dapat dikembangkan dengan menggunakan sensor tekanan untuk pengoperasian sistem pneumatik yang otomatis.
2. Pada kode program ditambahkan kontrol posisi untuk pengoperasian putaran robot secara otomatis.
3. Menggunakan bantuan Matlab untuk penentuan nilai K_p , K_i , dan K_d secara otomatis.

4. Menggunakan sistem kontrol berupa *Proportional Derivative*, tanpa integral untuk mengurangi nilai osilasi yang berlebih pada motor DC.
5. Melakukan pengujian pengaruh suhu terhadap anak timbangan pada saat pengangkatan anak timbangan dengan *vacuum suction*.
6. Melakukan kalibrasi sensor *encoder* pada motor DC menggunakan alat standar pengukuran kecepatan.
7. Menggunakan variasi *vacuum suction* yang beragam sehingga robot mampu mengangkat variasi AT yang lebih banyak.
8. Menggunakan kompresor dengan tangki yang lebih besar dan memiliki kemampuan isi ulang angin yang lebih cepat.
9. Menggunakan *pressure regulator* untuk mengatur tekanan yang keluar dari kompresor. Sehingga dapat menurunkan tekanan, tekanan menjadi lebih stabil dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan tekanan robot lengan.



DAFTAR PUSTAKA

- Adiba, F.Y. 2016. Pemilihan Kompresor pada Instalasi Udara Bertekanan Sistem Pneumatik Hidrolik di Pressure Tank Line Indoor PT. PJB Unit Pembangkit Brantas. Surabaya. Tersedia pada: <https://repository.its.ac.id/1442/1/2112030083-non%20degree%20thesis.pdf> [Diakses: 9 Desember 2023].
- Afiyani, N., Sholihah Luthfiati Aprilia, Sutanto Heri dan Kresiani, R.H. 2022. Panduan Kalibrasi Anak Timbangan. Badan Standardisasi Nasional.
- Alanro, F.F. dan Supriyono, H. 2023. Trainer Praktikum Pengendali Kecepatan Motor DC dengan PID Berbasis Arduino. Tersedia pada: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/114002> [Diakses: 15 Juni 2024].
- Anandya, G.R. 2017. Rancang Bangun Lengan Robot Penjepit Pcb 3 Dof Berbasis Arduino untuk Proses Etching Pcb Otomatis. Surabaya. Tersedia pada: https://repository.its.ac.id/47867/1/2214030053-Non_Degree.pdf [Diakses: 2 Desember 2023].
- Anggi, J.M. dan Iklima, Z. 2021. Robot Lengan 4 Derajat Kebebasan Menggunakan Tampilan Antarmuka Pengguna Berbasis Arduino Uno. Jurnal Teknologi Elektro 12(3), hlm. 134. doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.006.
- Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga. 2020. Syarat Teknis Standar Ukuran Metrologi Legal Besaran Massa. Indonesia: Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga.
- Cesar, D. 2017. Pengembangan Lengan Robot Menggunakan Sistem Pneumatik untuk Mengambil Benda. Surabaya. Tersedia pada: <https://repository.its.ac.id/2613/7/2212100178-Undergraduate-Theses.pdf> [Diakses: 1 Desember 2023].
- Darto, D. 2015. Perencanaan dan Simulasi Sistem Pneumatik pada Mesin Pres Briket Blothong Berbantuan Perangkat Lunak. Jurnal Teknologi dan Manajemen Informatika 1(1), hlm. 5–11. Tersedia pada: <http://jurnal.unmer.ac.id/index.php/jtmi/article/view/67>.
- Euramet. 2022. Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers EURAMET Calibration Guide No. 17. Tersedia pada: www.euramet.org.
- Febiyanti, E., Winarno dan Novianti, T. 2020. Prototype Lengan Robot Pemindah dan Penghitung Barang di PT Lelangon Surabaya. Jurnal Ilmiah 2(1), hlm. 1–8. Tersedia pada: <https://journal.um-surabaya.ac.id/CI/article/view/5890/3084> [Diakses: 2 Desember 2023].
- Ferdian, D. 2016. Aplikasi Sliding Mode Controller pada Sistem Pneumatic-Hydraulic Combination Control. Surabaya. Tersedia pada: https://repository.its.ac.id/76220/1/2212100065-Undergraduate_Thesis.pdf [Diakses: 1 Desember 2023].

- Hartanto, S. 2022. Tegangan Motor DC Terhadap Berat Barang pada Ban Berjalan. *Jurnal Elektro* 10(2), hlm. 174–181. Tersedia pada: <https://repository.unkris.ac.id/id/eprint/1086> [Diakses: 15 Juni 2024].
- Heryanto Surya, H. dan Kartadinata, B. 2017. Kendali Kecepatan Motor Crane terhadap Sumbu Vertikal menggunakan Distributed Control System (DCS). *JURNAL ELEKTRO* 10(1), hlm. 15–28. Tersedia pada: <https://ejournal.atmajaya.ac.id/index.php/JTE/article/download/109/86> [Diakses: 15 Juni 2024].
- Ismoyo, B. dan Cahyono, M.R.A. 2021. Modifikasi Sistem Kendali Pneumatik Alat Press Tread Pada Building Section Mesin 02.03 Tire Motorcycle. *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)* 4(1), hlm. 15–24. Tersedia pada: <https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajet>.
- Jamaludin, A.S., Razali, M.N.N., Jasman, N., Ghafar, A.N.A. dan Hadi, M.A. 2020. Design of Spline Surface Vacuum Gripper for Pick and Place Robotic Arms. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology* 4(2), hlm. 48–55. Tersedia pada: <https://journal.ump.edu.my/jmmst/article/view/5181/900> [Diakses: 29 Juni 2024].
- Kostukov, R., Nachev, V. dan Titova, T. 2019. System Analysis and Opportunities for Optimization of Pneumatic Systems in Manufacturing Plants. *TEM Journal* 8(3), hlm. 749–763. Tersedia pada: https://web.archive.org/web/20200214155621/http://www.temjournal.com/content/83/TEMJournalAugust2019_749_763.pdf [Diakses: 28 Juni 2024].
- Kurniawan, E.F. 2023. Rancang Bangun Robot Lengan 3Dof Pengantar Minuman dengan Metode Inverse Kinematic. Surabaya. Tersedia pada: <https://repository.dinamika.ac.id/id/eprint/7054/1/18410200015-2023-Universitasdinamika.pdf> [Diakses: 1 Desember 2023].
- Lasmono, J., Sari, A.P., Kuncoro, E. dan Mujahidin, I. 2019. Optimasi Kerja Peluncur Roket pada Robot Roda Rantai untuk Menentukan Ketepatan Sudut Tembak. *JASIEK* 1(1), hlm. 50–56. Tersedia pada: <https://www.lppm.unmer.ac.id/webmin/assets/uploads/lj/LJ201907041562218464165.pdf> [Diakses: 20 Mei 2024].
- Lesmana, D., Satria, B. dan Sari, Y.R. 2020. Robot Arm (Advanced Risc Machine) Pemindah Barang Otomatis Berdasarkan Warna Menggunakan Arduino Uno R3. *Jurnal Teknologi dan Open Source* 3(2), hlm. 176–186. Tersedia pada: <https://media.neliti.com/media/publications/439724-robot-arm-advanced-risc-machine-automati-302584c3.pdf> [Diakses: 2 Desember 2023].
- Lestari, N., Ratnaningtyas, W.P. dan Agus, J.P. 2021. Analisis Hasil Verifikasi Standar Massa Anak Timbangan Kelas M1 dengan Metode Perbandingan Langsung. *Media Informasi Penelitian Kabupaten Semarang (SINOV)* 4(1), hlm. 73–85. Tersedia pada:

<https://journal.sinov.id/index.php/sinov/article/download/63/59> [Diakses: 3 Desember 2023].

- Mulyo Sugeng, U., Moh Kahfi, J.I., Srengseng Indah, B. dan Selatan, J. 2020. Perhitungan Lengan Excavator Kapasitas 450 Kg untuk Laboratorium. 7(2), hlm. 92–106. Tersedia pada: <http://jurnal.stmcileungsi.ac.id/index.php/teknoDOI:http://10.37373/tekno.v%vi%i.11>.
- Munawir, A., Aini, S., Sa'diyah, H., Fajari, L.E.W. dan Zaelani, R.R. 2023. Sosialisasi Teknologi Robot dalam Meningkatkan Literasi Teknologi pada Peserta Didik. *Communnity Development Journal* 4(3), hlm. 6651–6658. Tersedia pada: <https://journal.universitaspahlawan.ac.id/index.php/cdj/article/view/18106/13342> [Diakses: 16 Juni 2024].
- Pasaribu, A. 2018. Analisis Tegangan Keluaran Konverter AC-DC Satu Phasa dengan Beban Lampu Halogen. Medan. Tersedia pada: <http://repository.umsu.ac.id/bitstream/handle/123456789/7139/Aprjial%20Pasaribu-ANALISIS%20TEGANGAN%20KELUARAN%20KONVERTER%20AC-DC%20SATU%20PHASA%20DENGAN%20BEBAN%20LAMPU%20HALOGEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Diakses: 15 Juni 2024].
- Priyatna, E. dan Ratnasari, D. 2021. Prototipe Robot Lengan Otomatis Pengangkat Anak Timbangan Berbasis Mikrokontroller Arduino Uno. Sumedang.
- Reza, M., Putera, A.N. dan Hidayat, R. 2022. Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Pengendali PID dengan Encoder sebagai Feedback. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)* 7(1), hlm. 51–56. Tersedia pada: <https://journal.lppmunindra.ac.id/index.php/STRING/article/view/13026/4907> [Diakses: 15 Juli 2024].
- Rizki Romadhon, M., Amperawan dan Nawawi, M. 2023. Analisa Ketepatan Encoder pada Sistem Steering Autonomous Electric Car Metode Pulse Counter. *Jurnal Teliska* 16(2), hlm. 16–22. Tersedia pada: <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/teliska/article/view/6881/2786> [Diakses: 15 Juni 2024].
- Rokhmah, N.N. 2018. Kendali Kecepatan Motor DC dengan Metode PID Berbasis Arduino Uno. Cimahi. Tersedia pada: <http://repository.unjani.ac.id/repository/e9567492bd8ca74669586aa3fcaeb2aa.pdf> [Diakses: 15 Juni 2024].
- Rosyidin, A. 2018. Rancang Bangun Alat Praktikum Pneumatic Dua Silinder Katup Selenoid Ganda pada Lab.Teknik Mesin UMT. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang* 2(1), hlm. 1–8. Tersedia pada: <https://jurnal.umat.ac.id/index.php/mjtm/article/download/2720/pdf> [Diakses: 15 Jui 2024].

- Saputra, M., Fikih Yustiawan, G., Ridzki, I. dan Setya, S. 2022. Perancangan dan Implementasi Half Bridge DC – DC Converter dengan Kendali Arus Hysteresis. *Jurnal Sistem Kelistrikan* 10, hlm. 72–77. Tersedia pada: <https://jurnal.polinema.ac.id/index.php/elposys/article/view/1006/877> [Diakses: 15 Juni 2024].
- Sokop, S.J., Mamahit, D.J. dan Sompie, S.R.U.A. 2016. Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Journal Teknik Elektro dan Komputer* 5(3), hlm. 13–23. Tersedia pada: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekdankom/article/download/1199/9/11588/23926> [Diakses: 3 Desember 2023].
- Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri. 2010. Syarat Teknis Anak Timbangan Ketelitian Biasa dan Khusus. Indonesia: Keputusan Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri Nomor 40/PDN/KEP/3/2010.
- Suwito, W., Rif'an, M. dan Siwindarto, P. 2014. Posisi Piston Silinder Pneumatic pada Lengan Robot KRAI. 2(1). Tersedia pada: <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=187485&val=6454&title=PENGATURAN%20POSISI%20PISTON%20SILINDER%20PNEUMATIC%20PADA%20LENGAN%20ROBOT%20KRAI> [Diakses: 28 Juni 2024].
- Syam, R. 2015. Kinematika dan Dinamika Robot Lengan. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Tersedia pada: https://www.academia.edu/27319762/buku_ajar_robotika [Diakses: 1 Desember 2023].
- Utomo, B., Setyaningasih, N.Y.D. dan Iqbal, M. 2020. Kendali Robot Lengan 4 Dof Berbasis Arduino Uno dan Sensor MPU-6050. *Jurnal SIMETRIS* 11(1). Tersedia pada: <https://jurnal.umk.ac.id/index.php/simet/article/viewFile/3699/2065> [Diakses: 2 Desember 2023].
- Uzma, I.K. 2019. Perancangan Alat Bantu Angkat Kabinet dengan Mekanisme Vacuum (Grip) untuk Mengurangi Beban Kerja Operator di PT. Yamaha Indonesia. Tersedia pada: <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/14148/05.4%20Bab%204.pdf?sequence=7&isAllowed=y> [Diakses: 3 Agustus 2024].



LAMPIRAN

AKMET | Akademi
Metrologi dan
Instrumentasi

Lampiran 1 Kode Program Pengujian Fungsi *Joystick*

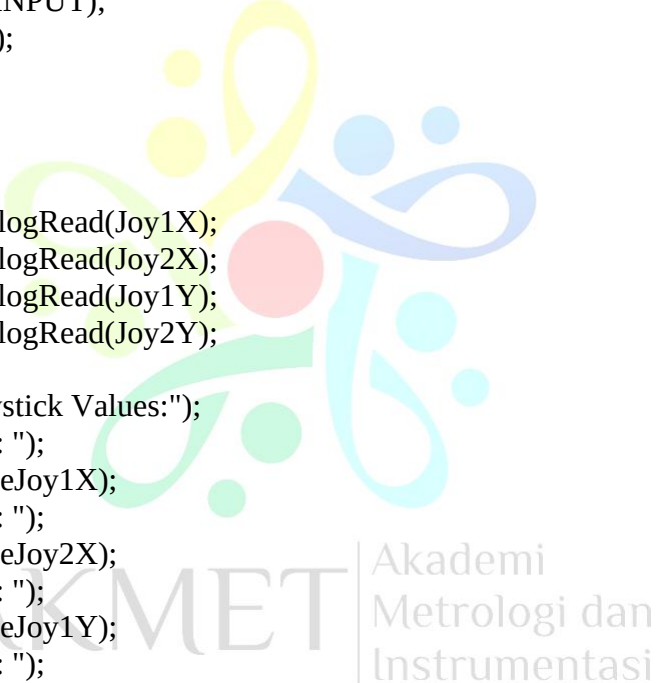
```
int Joy1X = A3;
int Joy2X = A0;
int Joy1Y = A2;
int Joy2Y = A1;
int valueJoy1X;
int valueJoy2X;
int valueJoy1Y;
int valueJoy2Y;

void setup()
{
  pinMode(Joy1X, INPUT);
  pinMode(Joy2X, INPUT);
  pinMode(Joy1Y, INPUT);
  pinMode(Joy2Y, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  valueJoy1X = analogRead(Joy1X);
  valueJoy2X = analogRead(Joy2X);
  valueJoy1Y = analogRead(Joy1Y);
  valueJoy2Y = analogRead(Joy2Y);

  Serial.println("Joystick Values:");
  Serial.print("V1X: ");
  Serial.println(valueJoy1X);
  Serial.print("V2X: ");
  Serial.println(valueJoy2X);
  Serial.print("V1Y: ");
  Serial.println(valueJoy1Y);
  Serial.print("V2Y: ");
  Serial.println(valueJoy2Y);
  Serial.println();

  delay(500);
}
```



Lampiran 2 Kode Program *tuning* PID

```
#define PWMpin 6
#define In1 7
#define In2 9

#define ENCA 2
#define ENCODER_CONSTANT 2

int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;

int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int data = 0;

float kp = 2.5;
float ki = 0.5;
float kd = 1.5;

int sp = 100;

int error = 0;
int last_error = 0;
int sum_error = 0;

unsigned long lastTime;
int SampleTime;
//double ITerm, lastInput;

void setup()
{
    Serial.begin (9600);

    pinMode (PWMpin, OUTPUT);
    pinMode (In1, OUTPUT);
    pinMode (In2, OUTPUT);

    digitalWrite (In1, LOW);
    digitalWrite (In2, HIGH);
    encoderValue = 0;

    attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (ENCA), updateEncoder, RISING);
    previousMillis = millis();
}

void loop()
{
```

```

while((data<=100))
{
  currentMillis = millis();
  if (currentMillis - previousMillis > interval)
  {
    rpm = (float) ((encoderValue*ENCODER_CONSTANT));
    previousMillis = currentMillis;
    Serial.print(rpm);
    Serial.print(",");
    Serial.print(sp);
    Serial.println();
    encoderValue = 0;

    error = sp - rpm;
    sum_error = sum_error + error;
    motorSpeed = ((kp*error)+(ki*sum_error)+(kd*(error-last_error)));
    if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;
    else if (motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;
    analogWrite (PWMpin, motorSpeed);
    last_error = error;
    data++;
  }
  analogWrite (PWMpin, motorSpeed);
}
analogWrite (PWMpin, 0);
}

void updateEncoder()
{
  encoderValue++;
}

```

Lampiran 3 Kode Program Robot Lengan

```
#define PWMpin 6
#define In1 7
#define In2 9

#define ENCA 2
#define ENCODER_CONSTANT 2
```

```
#define Joy2X A0
#define Joy2Y A2
#define Joy1Y A1
```

```
int readValue;
int readValue2;
int readValue3;
```

```
int interval = 60;
int motorSpeed = 0;
long previousMillis = 0;
long currentMillis = 0;
```

```
int rpm = 0;
int motorPwm = 0;
int encoderValue = 0;
int data = 0;
```

```
float kp = 2.5;
float ki = 0.5;
float kd = 1.5;
```

```
int sp = 100;
```

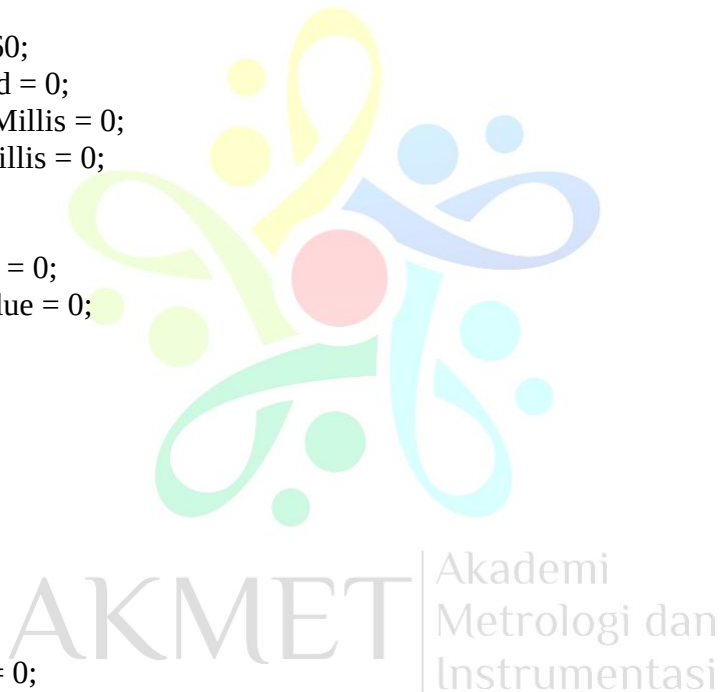
```
int error = 0;
int last_error = 0;
int sum_error = 0;
```

```
unsigned long lastTime;
int SampleTime;
//double ITerm, lastInput;
```

```
void setup()
{
  Serial.begin (9600);

  pinMode (PWMpin, OUTPUT);
  pinMode (In1, OUTPUT);
  pinMode (In2, OUTPUT);

  pinMode (5, OUTPUT);
  pinMode (3, OUTPUT);
```



```

pinMode (8, OUTPUT);
pinMode (10, OUTPUT);

digitalWrite (In1, LOW);
digitalWrite (In2, HIGH);
encoderValue = 0;

attachInterrupt (digitalPinToInterrupt (ENCA), updateEncoder, RISING);
previousMillis = millis();

}

void loop()
{
  readValue = analogRead (A0);
  readValue2 = analogRead (A2);
  readValue3 = analogRead (A1);
  // Analog kanan Relay 3&4
  if (readValue2 > 900)
  {
    digitalWrite (5, LOW);
    digitalWrite (3, HIGH);
  }
  else if (readValue2 > 100)
  {
    digitalWrite (5, HIGH);
    digitalWrite (3, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite (5, HIGH);
    digitalWrite (3, LOW);
  }

  // Analog kiri Kontrol Relay 1&2
  if (readValue3 > 900)
  {
    digitalWrite (8, LOW);
    digitalWrite (10, HIGH);
  }
  else if (readValue3 > 100)
  {
    digitalWrite (8, HIGH);
    digitalWrite (10, HIGH);
  }
  else
  {
    digitalWrite (8, HIGH);
    digitalWrite (10, LOW);
  }
}

```

```

//Motor DC
if (readValue > 700)
{
  analogWrite (PWMpin, motorSpeed);
  digitalWrite (In1, LOW);
  digitalWrite (In2, HIGH);
}
else if (readValue > 300)
{
  digitalWrite (In1, LOW);
  digitalWrite (In2, LOW);
}
else
{
  analogWrite (PWMpin, motorSpeed);
  digitalWrite (In1, HIGH);
  digitalWrite (In2, LOW);
}

currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis > interval)
{
  rpm = (float) ((encoderValue*ENCODER_CONSTANT));
  previousMillis = currentMillis;
  Serial.print(rpm);
  Serial.print(",");
  Serial.print(sp);
  Serial.println();
  encoderValue = 0;

  error = sp - rpm;
  sum_error = sum_error + error;
  motorSpeed = ((kp*error)+(ki*sum_error)+(kd*(error-last_error)));
  if (motorSpeed > 255) motorSpeed = 255;
  else if (motorSpeed < 0) motorSpeed = 0;
  analogWrite (PWMpin, motorSpeed);
  last_error = error;
  data++;
}
analogWrite (PWMpin, motorSpeed);
}

void updateEncoder()
{
  encoderValue++;
}

```

Lampiran 4 Data Pengujian Kalibrasi *Pressure Gauge*

Standar Indication (DWT)	Unit Under Test (Pressure Gauge)						Rata-rata			Error	Koreksi
	M1	M2	M3	M4	M5	M6					
	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Naik	Turun		
0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,30	0,30	0,30	0,30	-0,30
1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,90	0,90	0,90	-0,10	0,10
2	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,87	1,90	1,88	-0,12	0,12
3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,00	3,00	3,00	0,00	0,00
4	3,9	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,97	4,00	3,98	-0,02	0,02
5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,00	5,00	5,00	0,00	0,00
6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,1	6,1	6,03	6,03	6,03	0,03	-0,03
7	7,1	7,1	7,1	7,1	7,0	7,0	7,07	7,07	7,07	0,07	-0,07
8	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,0	8,10	8,07	8,08	0,08	-0,08
9	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,00	9,00	9,00	0,00	0,00

Lampiran 5 Data Pengujian Nilai Kp

No.	Kp = 0.5	
	RPM	SP
1	0	100
2	6	100
3	10	100
4	16	100
5	16	100
6	16	100
7	18	100
8	16	100
9	18	100
10	16	100
11	16	100
12	16	100
13	18	100
14	16	100
15	16	100
16	18	100
17	16	100
18	16	100
19	16	100
20	16	100
21	16	100
22	16	100
23	18	100
24	16	100
25	16	100
26	18	100
27	16	100
28	16	100
29	18	100
30	16	100
31	16	100
32	16	100
33	16	100
34	16	100
35	16	100
36	16	100
37	16	100
38	16	100
39	18	100
40	16	100
41	16	100
42	16	100
43	16	100
44	18	100
45	16	100
46	16	100
47	16	100
48	18	100
49	16	100

No.	Kp = 1.0	
	RPM	SP
1	0	100
2	22	100
3	36	100
4	40	100
5	36	100
6	36	100
7	36	100
8	36	100
9	34	100
10	36	100
11	36	100
12	36	100
13	36	100
14	34	100
15	36	100
16	36	100
17	36	100
18	36	100
19	34	100
20	36	100
21	36	100
22	36	100
23	36	100
24	34	100
25	36	100
26	36	100
27	36	100
28	34	100
29	36	100
30	36	100
31	34	100
32	36	100
33	36	100
34	36	100
35	36	100
36	34	100
37	36	100
38	36	100
39	36	100
40	36	100
41	34	100
42	36	100
43	36	100
44	36	100
45	36	100
46	36	100
47	34	100
48	36	100
49	36	100

No.	Kp = 1.5	
	RPM	SP
1	0	100
2	40	100
3	62	100
4	52	100
5	46	100
6	44	100
7	46	100
8	48	100
9	46	100
10	46	100
11	48	100
12	46	100
13	46	100
14	46	100
15	48	100
16	46	100
17	46	100
18	46	100
19	46	100
20	48	100
21	46	100
22	46	100
23	48	100
24	46	100
25	46	100
26	46	100
27	48	100
28	46	100
29	46	100
30	48	100
31	46	100
32	46	100
33	48	100
34	46	100
35	46	100
36	46	100
37	46	100
38	48	100
39	46	100
40	46	100
41	46	100
42	46	100
43	46	100
44	48	100
45	48	100
46	46	100
47	46	100
48	46	100
49	46	100

No.	Kp = 2.0	
	RPM	SP
1	0	100
2	58	100
3	80	100
4	62	100
5	50	100
6	52	100
7	56	100
8	56	100
9	54	100
10	54	100
11	56	100
12	52	100
13	54	100
14	56	100
15	54	100
16	54	100
17	52	100
18	54	100
19	54	100
20	56	100
21	54	100
22	54	100
23	54	100
24	54	100
25	54	100
26	56	100
27	54	100
28	54	100
29	54	100
30	54	100
31	56	100
32	54	100
33	54	100
34	54	100
35	54	100
36	54	100
37	54	100
38	56	100
39	54	100
40	52	100
41	54	100
42	56	100
43	56	100
44	54	100
45	54	100
46	54	100
47	54	100
48	54	100
49	56	100

No.	Kp = 2.5	
	RPM	SP
1	0	100
2	66	100
3	100	100
4	72	100
5	50	100
6	56	100
7	66	100
8	62	100
9	58	100
10	60	100
11	60	100
12	60	100
13	60	100
14	60	100
15	60	100
16	60	100
17	58	100
18	60	100
19	62	100
20	60	100
21	58	100
22	62	100
23	60	100
24	58	100
25	60	100
26	60	100
27	62	100
28	58	100
29	62	100
30	60	100
31	60	100
32	60	100
33	60	100
34	60	100
35	60	100
36	60	100
37	60	100
38	60	100
39	60	100
40	60	100
41	60	100
42	60	100
43	60	100
44	60	100
45	60	100
46	60	100
47	60	100
48	60	100
49	60	100

50	16	100
51	16	100
52	16	100
53	16	100
54	16	100
55	18	100
56	16	100
57	16	100
58	16	100
59	16	100
60	16	100
61	16	100
62	16	100
63	16	100
64	18	100
65	16	100
66	16	100
67	16	100
68	16	100
69	16	100
70	16	100
71	18	100
72	16	100
73	16	100
74	16	100
75	18	100
76	16	100
77	16	100
78	16	100
79	16	100
80	18	100
81	16	100
82	16	100
83	16	100
84	18	100
85	16	100
86	16	100
87	16	100
88	16	100
89	18	100
90	16	100
91	16	100
92	16	100
93	18	100
94	16	100
95	16	100
96	16	100
97	18	100
98	16	100
99	16	100
100	18	100

50	36	100
51	36	100
52	36	100
53	34	100
54	34	100
55	38	100
56	34	100
57	36	100
58	36	100
59	34	100
60	36	100
61	36	100
62	36	100
63	36	100
64	36	100
65	34	100
66	36	100
67	36	100
68	34	100
69	36	100
70	36	100
71	36	100
72	36	100
73	34	100
74	36	100
75	36	100
76	36	100
77	34	100
78	36	100
79	36	100
80	36	100
81	36	100
82	34	100
83	36	100
84	36	100
85	36	100
86	36	100
87	36	100
88	36	100
89	34	100
90	36	100
91	36	100
92	36	100
93	36	100
94	34	100
95	36	100
96	36	100
97	36	100
98	36	100
99	36	100
100	36	100

50	46	100
51	48	100
52	46	100
53	48	100
54	44	100
55	48	100
56	46	100
57	46	100
58	46	100
59	46	100
60	48	100
61	46	100
62	46	100
63	48	100
64	46	100
65	46	100
66	48	100
67	46	100
68	46	100
69	48	100
70	46	100
71	46	100
72	48	100
73	46	100
74	46	100
75	46	100
76	48	100
77	46	100
78	46	100
79	48	100
80	46	100
81	46	100
82	46	100
83	48	100
84	46	100
85	46	100
86	48	100
87	46	100
88	46	100
89	46	100
90	46	100
91	48	100
92	46	100
93	46	100
94	46	100
95	48	100
96	46	100
97	46	100
98	46	100
99	46	100
100	48	100

50	54	100
51	54	100
52	56	100
53	54	100
54	54	100
55	54	100
56	54	100
57	56	100
58	54	100
59	54	100
60	56	100
61	54	100
62	54	100
63	54	100
64	56	100
65	54	100
66	54	100
67	56	100
68	54	100
69	54	100
70	54	100
71	54	100
72	56	100
73	54	100
74	54	100
75	54	100
76	54	100
77	54	100
78	56	100
79	54	100
80	54	100
81	54	100
82	54	100
83	54	100
84	54	100
85	56	100
86	54	100
87	54	100
88	54	100
89	56	100
90	54	100
91	54	100
92	56	100
93	54	100
94	54	100
95	54	100
96	54	100
97	56	100
98	54	100
99	56	100
100	54	100

50	60	100
51	60	100
52	58	100
53	60	100
54	62	100
55	60	100
56	60	100
57	60	100
58	60	100
59	60	100
60	60	100
61	58	100
62	60	100
63	60	100
64	62	100
65	60	100
66	58	100
67	62	100
68	60	100
69	58	100
70	60	100
71	62	100
72	60	100
73	60	100
74	60	100
75	60	100
76	62	100
77	58	100
78	60	100
79	62	100
80	60	100
81	60	100
82	58	100
83	60	100
84	60	100
85	60	100
86	60	100
87	58	100
88	62	100
89	60	100
90	60	100
91	58	100
92	62	100
93	62	100
94	58	100
95	60	100
96	60	100
97	60	100
98	60	100
99	60	100
100	60	100

Lampiran 6 Data Pengujian Nilai Ki

No.	Ki = 0.1	
	RPM	SP
1	0	100
2	80	100
3	102	100
4	68	100
5	54	100
6	64	100
7	68	100
8	68	100
9	66	100
10	68	100
11	70	100
12	68	100
13	70	100
14	70	100
15	72	100
16	74	100
17	72	100
18	74	100
19	76	100
20	74	100
21	76	100
22	76	100
23	78	100
24	76	100
25	78	100
26	78	100
27	80	100
28	78	100
29	80	100
30	84	100
31	78	100
32	80	100
33	82	100
34	82	100
35	84	100
36	84	100
37	84	100
38	82	100
39	86	100
40	84	100
41	84	100
42	84	100
43	88	100
44	86	100
45	86	100
46	88	100
47	86	100
48	88	100
49	88	100

No.	Ki = 0.2	
	RPM	SP
1	0	100
2	78	100
3	104	100
4	74	100
5	56	100
6	68	100
7	74	100
8	72	100
9	74	100
10	74	100
11	76	100
12	76	100
13	78	100
14	80	100
15	82	100
16	82	100
17	82	100
18	82	100
19	82	100
20	86	100
21	86	100
22	86	100
23	88	100
24	86	100
25	88	100
26	88	100
27	92	100
28	88	100
29	90	100
30	92	100
31	90	100
32	92	100
33	90	100
34	92	100
35	92	100
36	94	100
37	92	100
38	90	100
39	94	100
40	94	100
41	94	100
42	92	100
43	96	100
44	96	100
45	92	100
46	94	100
47	96	100
48	96	100
49	96	100

No.	Ki = 0.3	
	RPM	SP
1	0	100
2	82	100
3	106	100
4	72	100
5	60	100
6	72	100
7	78	100
8	78	100
9	76	100
10	78	100
11	86	100
12	82	100
13	82	100
14	86	100
15	88	100
16	86	100
17	86	100
18	90	100
19	90	100
20	90	100
21	92	100
22	92	100
23	92	100
24	92	100
25	94	100
26	92	100
27	94	100
28	94	100
29	96	100
30	94	100
31	92	100
32	98	100
33	96	100
34	96	100
35	96	100
36	98	100
37	96	100
38	94	100
39	98	100
40	96	100
41	98	100
42	96	100
43	98	100
44	98	100
45	96	100
46	100	100
47	98	100
48	100	100
49	96	100

No.	Ki = 0.4	
	RPM	SP
1	0	100
2	82	100
3	106	100
4	78	100
5	62	100
6	74	100
7	82	100
8	82	100
9	82	100
10	84	100
11	86	100
12	86	100
13	92	100
14	88	100
15	92	100
16	90	100
17	90	100
18	94	100
19	92	100
20	94	100
21	94	100
22	96	100
23	96	100
24	94	100
25	98	100
26	96	100
27	96	100
28	96	100
29	98	100
30	96	100
31	96	100
32	100	100
33	96	100
34	98	100
35	96	100
36	100	100
37	100	100
38	98	100
39	98	100
40	98	100
41	100	100
42	98	100
43	98	100
44	100	100
45	100	100
46	100	100
47	98	100
48	102	100
49	98	100

No.	Ki = 0.5	
	RPM	SP
1	0	100
2	80	100
3	108	100
4	80	100
5	64	100
6	80	100
7	86	100
8	84	100
9	86	100
10	88	100
11	90	100
12	88	100
13	94	100
14	92	100
15	96	100
16	94	100
17	92	100
18	96	100
19	96	100
20	98	100
21	96	100
22	96	100
23	98	100
24	98	100
25	98	100
26	96	100
27	100	100
28	98	100
29	100	100
30	98	100
31	96	100
32	100	100
33	100	100
34	100	100
35	98	100
36	100	100
37	100	100
38	98	100
39	102	100
40	98	100
41	100	100
42	98	100
43	102	100
44	100	100
45	98	100
46	100	100
47	98	100
48	102	100
49	98	100

50	88	100
51	90	100
52	86	100
53	88	100
54	90	100
55	90	100
56	88	100
57	90	100
58	90	100
59	90	100
60	92	100
61	90	100
62	92	100
63	90	100
64	92	100
65	92	100
66	90	100
67	92	100
68	92	100
69	94	100
70	90	100
71	94	100
72	94	100
73	90	100
74	94	100
75	92	100
76	96	100
77	90	100
78	92	100
79	94	100
80	92	100
81	94	100
82	94	100
83	96	100
84	92	100
85	94	100
86	96	100
87	94	100
88	94	100
89	94	100
90	96	100
91	94	100
92	96	100
93	96	100
94	92	100
95	96	100
96	96	100
97	96	100
98	94	100
99	98	100
100	98	100

50	96	100
51	98	100
52	94	100
53	98	100
54	96	100
55	96	100
56	96	100
57	98	100
58	98	100
59	96	100
60	98	100
61	96	100
62	98	100
63	98	100
64	98	100
65	98	100
66	98	100
67	98	100
68	98	100
69	98	100
70	96	100
71	100	100
72	98	100
73	98	100
74	100	100
75	96	100
76	100	100
77	98	100
78	98	100
79	98	100
80	100	100
81	98	100
82	96	100
83	102	100
84	98	100
85	100	100
86	100	100
87	98	100
88	100	100
89	98	100
90	100	100
91	98	100
92	100	100
93	98	100
94	98	100
95	100	100
96	98	100
97	102	100
98	100	100
99	98	100
100	100	100

50	100	100
51	100	100
52	96	100
53	98	100
54	98	100
55	100	100
56	98	100
57	98	100
58	100	100
59	100	100
60	100	100
61	98	100
62	100	100
63	98	100
64	100	100
65	100	100
66	98	100
67	102	100
68	98	100
69	102	100
70	98	100
71	100	100
72	102	100
73	98	100
74	100	100
75	98	100
76	100	100
77	100	100
78	100	100
79	100	100
80	98	100
81	100	100
82	100	100
83	100	100
84	100	100
85	100	100
86	102	100
87	98	100
88	102	100
89	100	100
90	100	100
91	100	100
92	100	100
93	100	100
94	98	100
95	100	100
96	100	100
97	100	100
98	100	100
99	102	100
100	100	100

50	100	100
51	100	100
52	98	100
53	100	100
54	98	100
55	102	100
56	100	100
57	100	100
58	100	100
59	98	100
60	100	100
61	100	100
62	100	100
63	100	100
64	100	100
65	100	100
66	100	100
67	102	100
68	98	100
69	100	100
70	100	100
71	100	100
72	100	100
73	98	100
74	100	100
75	98	100
76	100	100
77	98	100
78	102	100
79	100	100
80	98	100
81	102	100
82	100	100
83	102	100
84	98	100
85	100	100
86	102	100
87	100	100
88	100	100
89	98	100
90	102	100
91	98	100
92	100	100
93	102	100
94	98	100
95	102	100
96	98	100
97	102	100
98	98	100
99	100	100
100	100	100

50	100	100
51	102	100
52	98	100
53	100	100
54	98	100
55	102	100
56	98	100
57	100	100
58	100	100
59	100	100
60	100	100
61	98	100
62	102	100
63	98	100
64	102	100
65	100	100
66	98	100
67	102	100
68	100	100
69	100	100
70	98	100
71	102	100
72	100	100
73	98	100
74	102	100
75	98	100
76	100	100
77	100	100
78	102	100
79	100	100
80	98	100
81	100	100
82	100	100
83	102	100
84	100	100
85	100	100
86	100	100
87	100	100
88	102	100
89	100	100
90	100	100
91	100	100
92	102	100
93	100	100
94	98	100
95	102	100
96	100	100
97	102	100
98	98	100
99	100	100
100	100	100

Lampiran 7 Data Pengujian Nilai Kd

No.	Kd = 1.5	
	RPM	SP
1	0	100
2	82	100
3	98	100
4	70	100
5	80	100
6	90	100
7	80	100
8	84	100
9	90	100
10	88	100
11	88	100
12	90	100
13	94	100
14	92	100
15	94	100
16	94	100
17	94	100
18	96	100
19	96	100
20	98	100
21	94	100
22	98	100
23	98	100
24	96	100
25	100	100
26	96	100
27	100	100
28	98	100
29	98	100
30	100	100
31	98	100
32	100	100
33	96	100
34	100	100
35	100	100
36	100	100
37	100	100
38	98	100
39	102	100
40	98	100
41	100	100
42	98	100
43	102	100
44	100	100
45	98	100
46	102	100
47	98	100
48	100	100
49	100	100

No.	Kd = 0.005	
	RPM	SP
1	0	100
2	76	100
3	110	100
4	86	100
5	68	100
6	78	100
7	88	100
8	86	100
9	84	100
10	86	100
11	92	100
12	90	100
13	92	100
14	92	100
15	94	100
16	96	100
17	92	100
18	96	100
19	94	100
20	98	100
21	96	100
22	98	100
23	98	100
24	94	100
25	98	100
26	100	100
27	98	100
28	98	100
29	98	100
30	100	100
31	98	100
32	98	100
33	98	100
34	100	100
35	98	100
36	100	100
37	100	100
38	98	100
39	100	100
40	100	100
41	102	100
42	98	100
43	100	100
44	100	100
45	98	100
46	100	100
47	98	100
48	102	100
49	98	100

No.	Ki = 0.05	
	RPM	SP
1	0	100
2	78	100
3	110	100
4	84	100
5	66	100
6	80	100
7	86	100
8	86	100
9	86	100
10	88	100
11	92	100
12	90	100
13	92	100
14	94	100
15	94	100
16	94	100
17	94	100
18	96	100
19	94	100
20	96	100
21	94	100
22	98	100
23	98	100
24	96	100
25	98	100
26	98	100
27	100	100
28	96	100
29	100	100
30	98	100
31	96	100
32	100	100
33	98	100
34	100	100
35	100	100
36	100	100
37	100	100
38	98	100
39	100	100
40	100	100
41	100	100
42	98	100
43	100	100
44	100	100
45	98	100
46	102	100
47	98	100
48	100	100
49	98	100

No.	Ki = 0.5	
	RPM	SP
1	0	100
2	80	100
3	104	100
4	78	100
5	74	100
6	84	100
7	84	100
8	84	100
9	88	100
10	88	100
11	92	100
12	90	100
13	92	100
14	94	100
15	94	100
16	94	100
17	94	100
18	96	100
19	96	100
20	96	100
21	96	100
22	98	100
23	96	100
24	96	100
25	98	100
26	98	100
27	98	100
28	96	100
29	100	100
30	100	100
31	96	100
32	100	100
33	98	100
34	102	100
35	98	100
36	100	100
37	100	100
38	98	100
39	100	100
40	98	100
41	100	100
42	100	100
43	102	100
44	100	100
45	98	100
46	100	100
47	98	100
48	100	100
49	98	100

No.	Kd = 1.0	
	RPM	SP
1	0	100
2	80	100
3	102	100
4	72	100
5	74	100
6	88	100
7	84	100
8	82	100
9	88	100
10	90	100
11	88	100
12	90	100
13	94	100
14	90	100
15	94	100
16	96	100
17	92	100
18	96	100
19	96	100
20	96	100
21	94	100
22	100	100
23	96	100
24	94	100
25	100	100
26	96	100
27	100	100
28	96	100
29	98	100
30	102	100
31	98	100
32	98	100
33	100	100
34	102	100
35	96	100
36	100	100
37	100	100
38	96	100
39	100	100
40	98	100
41	100	100
42	100	100
43	100	100
44	102	100
45	98	100
46	100	100
47	100	100
48	100	100
49	98	100

50	100	100
51	100	100
52	98	100
53	102	100
54	98	100
55	102	100
56	98	100
57	102	100
58	100	100
59	98	100
60	102	100
61	98	100
62	100	100
63	100	100
64	102	100
65	100	100
66	98	100
67	102	100
68	98	100
69	102	100
70	98	100
71	100	100
72	102	100
73	100	100
74	100	100
75	100	100
76	100	100
77	100	100
78	100	100
79	100	100
80	100	100
81	100	100
82	98	100
83	100	100
84	100	100
85	100	100
86	100	100
87	98	100
88	104	100
89	96	100
90	100	100
91	102	100
92	100	100
93	100	100
94	98	100
95	102	100
96	100	100
97	100	100
98	100	100
99	102	100
100	100	100

50	102	100
51	100	100
52	98	100
53	100	100
54	98	100
55	102	100
56	100	100
57	100	100
58	100	100
59	98	100
60	102	100
61	98	100
62	100	100
63	100	100
64	102	100
65	100	100
66	98	100
67	100	100
68	100	100
69	102	100
70	98	100
71	102	100
72	100	100
73	100	100
74	100	100
75	100	100
76	102	100
77	98	100
78	100	100
79	102	100
80	98	100
81	100	100
82	100	100
83	102	100
84	98	100
85	100	100
86	102	100
87	98	100
88	102	100
89	98	100
90	102	100
91	98	100
92	102	100
93	100	100
94	98	100
95	102	100
96	98	100
97	102	100
98	98	100
99	102	100
100	100	100

50	100	100
51	100	100
52	100	100
53	102	100
54	98	100
55	102	100
56	98	100
57	102	100
58	102	100
59	98	100
60	100	100
61	100	100
62	100	100
63	98	100
64	100	100
65	100	100
66	100	100
67	102	100
68	98	100
69	100	100
70	100	100
71	100	100
72	102	100
73	98	100
74	100	100
75	100	100
76	102	100
77	98	100
78	100	100
79	102	100
80	98	100
81	100	100
82	100	100
83	102	100
84	98	100
85	100	100
86	102	100
87	98	100
88	100	100
89	98	100
90	100	100
91	98	100
92	102	100
93	100	100
94	98	100
95	102	100
96	100	100
97	100	100
98	100	100
99	102	100
100	100	100

50	100	100
51	100	100
52	100	100
53	100	100
54	98	100
55	102	100
56	98	100
57	102	100
58	100	100
59	100	100
60	100	100
61	98	100
62	100	100
63	100	100
64	102	100
65	100	100
66	98	100
67	102	100
68	98	100
69	100	100
70	100	100
71	100	100
72	100	100
73	98	100
74	100	100
75	100	100
76	102	100
77	98	100
78	100	100
79	100	100
80	98	100
81	102	100
82	100	100
83	102	100
84	98	100
85	102	100
86	102	100
87	98	100
88	102	100
89	98	100
90	100	100
91	102	100
92	100	100
93	100	100
94	100	100
95	100	100
96	98	100
97	102	100
98	100	100
99	100	100
100	100	100

50	102	100
51	100	100
52	98	100
53	100	100
54	98	100
55	102	100
56	100	100
57	100	100
58	102	100
59	98	100
60	100	100
61	100	100
62	102	100
63	98	100
64	102	100
65	102	100
66	98	100
67	100	100
68	98	100
69	100	100
70	100	100
71	100	100
72	100	100
73	100	100
74	102	100
75	98	100
76	100	100
77	100	100
78	102	100
79	102	100
80	98	100
81	100	100
82	100	100
83	102	100
84	98	100
85	102	100
86	100	100
87	98	100
88	102	100
89	98	100
90	100	100
91	100	100
92	102	100
93	100	100
94	98	100
95	102	100
96	98	100
97	102	100
98	98	100
99	100	100
100	100	100

Lampiran 8 Tabel Konversi Jumlah Data ke Waktu Respons Sistem PID

Data	Waktu (s)	Data	Waktu (s)	Data	Waktu (s)	Data	Waktu (s)
1	0,06	26	1,56	51	3,06	76	4,56
2	0,12	27	1,62	52	3,12	77	4,62
3	0,18	28	1,68	53	3,18	78	4,68
4	0,24	29	1,74	54	3,24	79	4,74
5	0,30	30	1,80	55	3,30	80	4,80
6	0,36	31	1,86	56	3,36	81	4,86
7	0,42	32	1,92	57	3,42	82	4,92
8	0,48	33	1,98	58	3,48	83	4,98
9	0,54	34	2,04	59	3,54	84	5,04
10	0,60	35	2,10	60	3,60	85	5,10
11	0,66	36	2,16	61	3,66	86	5,16
12	0,72	37	2,22	62	3,72	87	5,22
13	0,78	38	2,28	63	3,78	88	5,28
14	0,84	39	2,34	64	3,84	89	5,34
15	0,90	40	2,40	65	3,90	90	5,40
16	0,96	41	2,46	66	3,96	91	5,46
17	1,02	42	2,52	67	4,02	92	5,52
18	1,08	43	2,58	68	4,08	93	5,58
19	1,14	44	2,64	69	4,14	94	5,64
20	1,20	45	2,70	70	4,20	95	5,70
21	1,26	46	2,76	71	4,26	96	5,76
22	1,32	47	2,82	72	4,32	97	5,82
23	1,38	48	2,88	73	4,38	98	5,88
24	1,44	49	2,94	74	4,44	99	5,94
25	1,50	50	3,00	75	4,50	100	6,00

Lampiran 9 Data Pengujian Gaya Silinder Hasta

Data pengujian gaya silinder hasta sebelum penambahan nilai koreksi

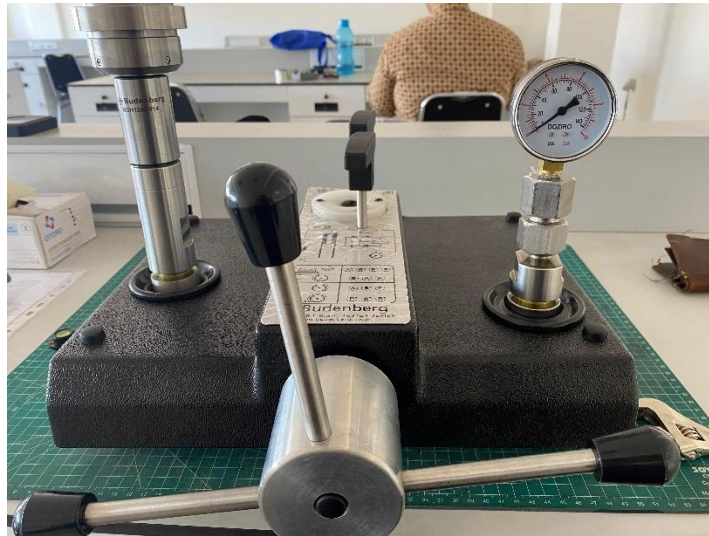
No.	Beban	Tekanan Silinder (bar)		Gaya Silinder (N)		Gaya Beban (N)
		Extend	Retract	Extend	Retract	
1	Tanpa Beban	3,4	3,0	106,76	79,13	10,08
2		3,2	3,1	100,48	81,77	10,08
3		3,2	3,1	100,48	81,77	10,08
4		3,2	3,1	100,48	81,77	10,08
5		3,2	3,1	100,48	81,77	10,08
Rata-rata		3,2	3,1	101,74	81,24	81,24
6	AT 1 kg	2,6	2,0	81,64	52,75	19,88
7		2,8	2,0	87,92	52,75	19,88
8		2,6	1,8	81,64	47,48	19,88
9		2,4	2,2	75,36	58,03	19,88
10		2,4	2,0	75,36	52,75	19,88
Rata-rata		2,6	2,0	80,38	52,75	55,81
11	AT 2 kg	3,0	2,4	94,20	63,30	29,68
12		2,8	2,8	87,92	73,85	29,68
13		2,8	2,6	87,92	68,58	29,68
14		2,8	2,4	87,92	63,30	29,68
15		2,8	3,1	87,92	81,77	29,68
Rata-rata		2,8	2,7	89,18	70,16	72,69

Lampiran 10 Data Pengujian Gaya Silinder Wrist

Data pengujian gaya silinder wrist sebelum penambahan nilai koreksi

No.	Beban	Tekanan Silinder (bar)		Gaya Silinder (N)		Gaya Beban (N)
		<i>Extend</i>	<i>Retract</i>	<i>Extend</i>	<i>Retract</i>	
1	Tanpa Beban	3,20	3,40	100,48	89,68	10,08
2		3,00	3,40	94,20	89,68	10,08
3		2,90	3,30	91,06	87,04	10,08
4		2,90	3,30	91,06	87,04	10,08
5		2,90	3,40	91,06	89,68	10,08
Rata-rata		2,98	3,36	93,57	88,62	81,24
6	AT 1 kg	1,60	2,00	50,24	52,75	19,88
7		1,70	1,80	53,38	47,48	19,88
8		1,80	1,80	56,52	47,48	19,88
9		1,60	1,60	50,24	42,20	19,88
10		1,60	1,60	50,24	42,20	19,88
Rata-rata		1,66	1,76	52,12	46,42	55,81
11	AT 2 kg	2,60	3,00	81,64	79,13	29,68
12		2,60	2,80	81,64	73,85	29,68
13		2,40	2,80	75,36	73,85	29,68
14		2,40	3,00	75,36	79,13	29,68
15		2,60	3,00	81,64	79,13	29,68
Rata-rata		2,52	2,92	79,13	77,02	72,69

Lampiran 11 Dokumentasi Kalibrasi *Pressure Gauge*



Kalibrasi *pressure gauge* menggunakan *dead weight tester* (DWT)



Lampiran 12 Dokumentasi Pengujian Purwarupa



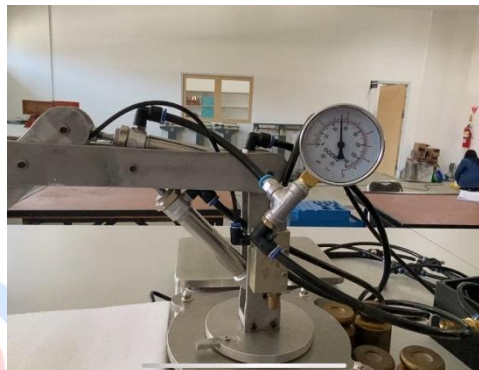
Pengujian gaya *extend* Silinder hasta



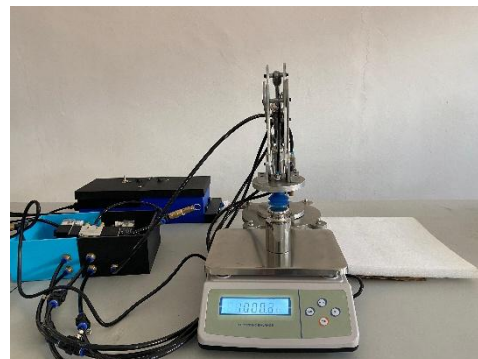
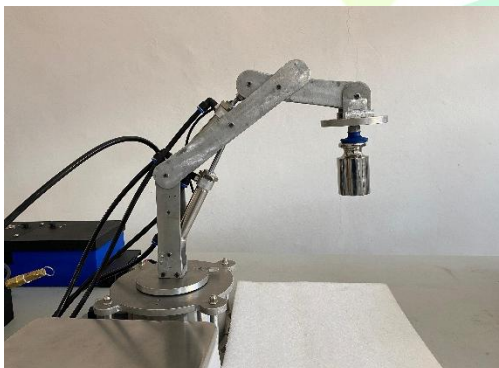
Pengujian gaya *retract* silinder hasta



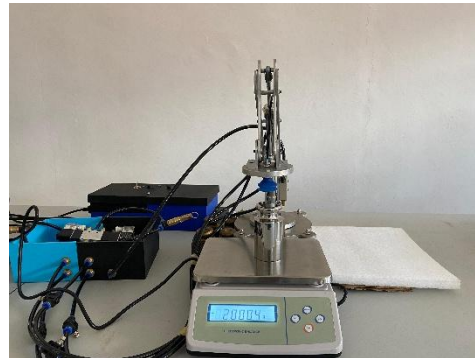
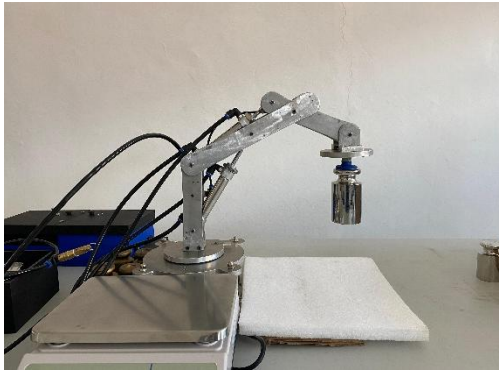
Pengujian gaya *extend* Silinder wrist



Pengujian gaya *retract* silinder wrist



Pengujian Unjuk Kerja Purwarupa pada AT 1kg



Pengujian Unjuk Kerja Purwarupa pada AT 2kg

AKMET | Akademi
Metrologi dan
Instrumentasi

Lampiran 13 Video Unjuk Kerja Purwarupa



Lampiran 14 Log Book Tugas Akhir

LOGBOOK TUGAS AKHIR D3 METROLOGI DAN INSTRUMENTASI AKADEMI METROLOGI DAN INSTRUMENTASI

Nama : Cenneth P. A Bai Adoe	Periode tanggal : 5 – 10 Februari 2023
NIM : A021001	Waktu : -
Sifat : Mingguan dan Wajib	Tempat : Kos
Judul Kegiatan: Prototipe Lengan Robot Berbasis Hidrolik Untuk Kalibrasi Anak Timbangan	

1. Laporan Kegiatan yang Dilakukan:

Laporan kegiatan yang telah dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Membuat desain 3D lengan robot
2. Menentukan sistem tangki untuk hidrolik
3. Membuat kode program untuk lengan robot

2. Capaian yang Diperoleh:

Capaian yang telah diperoleh adalah sebagai berikut

1. Progress desain 3D 80%
2. Progress kode program 40%

3. Informasi Penyimpanan Data yang Diperoleh atau Rekaman Data Penting Terkait:

Informasi penyimpanan data yang diperoleh atau rekaman data penting sebagai berikut.

- a. Desain 3D disimpan di laptop milik Cenneth Bai Adoe
- b. Kode program disimpan di laptop milik Cenneth Bai Adoe

4. Permasalahan yang Timbul:

Adapun permasalahan yang timbul sebagai berikut.

- a. Desain belum selesai
- b. Kode program masih error
- c. Perancangan sistem base untuk putaran lengan robot

5. Rencana Selanjutnya:

Rencana selanjutnya yang akan dilakukan sebagai berikut.

- a. Menyelesaikan desain 3D robot lengan
- b. Membawa desain ke tukang bubut
- c. Menyelesaikan kode program
- d. Membeli selang hidrolik

6. Saran/Komentar Pembimbing:

Pada bagian base, digunakan motor DC dengan encoder yang memiliki torsi tinggi dan RPM rendah, sehingga mampu melakukan putaran dengan beban yang berat dan presisi serta akurat

7. Bukti dukung diskusi dengan pembimbing (foto)



Sumedang, 6 Februari 2023
Pembimbing 1

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Irawati Dewi Syahwir".

(Irawati Dewi Syahwir, M.T.)
NIP. 19810829 200901 2 002

AKMET | Akademi
Metrologi dan
Instrumentasi