



**TUGAS AKHIR TE141599**

## **Pengembangan Lengan Robot Menggunakan Sistem Pneumatik Untuk Mengambil Benda**

**David Cesar**  
**NRP. 2212100178**

**Dosen Pembimbing**  
**Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D**  
**Ir. Tasripan, M.T.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya, 2017**





**TUGAS AKHIR TE141599**

**Pengembangan Lengan Robot Menggunakan Sistem Pneumatik Untuk Mengambil Benda**

**David Cesar  
NRP. 2212100178**

**Dosen Pembimbing  
Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D  
Ir. Tasripan, M.T.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya, 2017**





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

***FINAL PROJECT*** TE141599

## **Development of Robot Arm Using Pneumatic System for Taking an Object**

**David Cesar**  
NRP. 2212100178

### ***Supervisors***

**Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D**  
**Ir. Tasripan, M.T.**

**Electrical Engineering Department**  
**Faculty of Industrial Technology**  
**Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Surabaya, 2017**



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul Pengembangan Lengan Robot Menggunakan Sistem Pneumatik Untuk Mengambil Benda adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 09 Desember 2016

David Cesar  
2212100178



**PENGEMBANGAN LENGAN ROBOT  
MENGUNAKAN SISTEM PNEUMATIK  
UNTUK MENGAMBIL BENDA**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Elektronika  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D.**  
**198101182003121003**

  
**Ir. Tasripan, M.T.**  
**196204181990031004**

**SURABAYA  
JANUARI, 2017**

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **PENGEMBANGAN LENGAN ROBOT MENGGUNAKAN SISTEM PNEUMATIK UNTUK MENGAMBIL BENDA**

Nama : David Cesar  
Pembimbing : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D;  
Ir. Tasripan, M.T.

### **Abstrak**

Lengan robot dengan penggerak sistem pneumatik adalah gabungan ruas/bilah bersendi yang dapat bergerak oleh dorongan/tarikan udara bertekanan. Sistem pneumatik lebih ramah lingkungan dan murah dibanding dengan penggerak hidraulik, serta lebih tahan lama, tahan kerusakan akibat peluang kesalahan instalasi, dan lebih rendah konsumsi energi listriknya dibandingkan dengan *servo motor*. Selain itu, ikatan antara lengan dengan aktuator sistem pneumatik, secara umum dilakukan sedemikian sehingga efisiensi momen gaya/torsi lebih baik dibandingkan *servo motor*.

Pembuatan lengan robot dengan penggerak sistem pneumatik dilakukan, dengan perancangan desain menggunakan perangkat lunak Autocad, pencetakan dengan *3d printer*, penggabungan dan pemasangan antar bagian, pemrograman gerak lengan, dan pengujian posisi sudut lengan.

Pengembangan yang telah dibangun berupa lengan independen, dengan penggerak sistem pneumatik bekerja dengan galat  $\pm 1,265^\circ$  dan beban maksimum 675 gram, dengan pengecualian kontrol posisi yang optimal untuk beban yang besar, dan prasyarat besaran tekanan yang cukup, dan pemberat/pengikat tambahan untuk menjaga keseimbangan sistem. Kelengkapan jenis penggerak lain, *servo motor*, misalnya, ditambahkan untuk menunjang fungsionalitas utuh lengan robot yang dibuat.

Kata Kunci – pneumatik, lengan robot.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## **DEVELOPMENT OF ROBOT ARM USING PNEUMATIC SYSTEM FOR TAKING OBJECT**

Name : David Cesar  
Pembimbing : Ronny Mardiyanto, S.T., M.T., Ph.D;  
Ir. Tasripan, M.T.

### **Abstract**

Pneumatic system motorized robot's hand is such combination of trunks/sticks that bound each other in joints, moved by pressurized gases. Pneumatic system considered as environmental friendly, and cheaper when it compared with hydraulic system, also, it is more robust, more tolerance for installation error chances, and lower energy consumption compared with servo motor. Besides, common pneumatic system actuator designed to be bound with robot's hand uniqlly that provide more efficient torque than a servo motor.

The development includes: designing parts with 3d modeling software (Autocad), bulit and proper placement of parts, programming the control, and testing its performance. This strategy prefered because the solenoid valve used is not such a proportional valve.

The development built works with error of  $\pm 1,265^\circ$ , maximum load of 675 grams, with decreasing positioning performance for certain high load, and requiring certain value of gas pressure, additional bond to ensure its stability when in operation. Additional motor used to supports the whole functionality of the system.

keywords – pneumatics, robot's hand.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## KATA PENGANTAR

Segala puji, hormat dan kemuliaan kepada Tuhan, atas berkat dan karunia yang dilimpahkan dalam pengerjaan tugas akhir dengan judul Pengembangan Lengan Robot Menggunakan Sistem Pneumatik Untuk Mengambil Benda.

Perancangan lengan robot untuk pengambilan benda dimaksudkan untuk kinerja *semi autonomous robot* yang lebih baik dalam hal gaya angkat. Dalam tugas akhir ini, dirancang sebuah prototip, rancangan dengan kompatibilitas terbatas, didasarkan pada tujuan yang terpisah dari pengembangan suku cadang pada robot yang dimaksud. Dalam pengerjaan pengembangan, waktu, tenaga, dan biaya disalurkan, dan dilatarbelakangi oleh pihak-pihak yang mendukung. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah Bapa, Putra dan Roh Kudus, atas berkat, karunia, dan kebaikannya dalam menuntun dan mempertemukan dengan pihak dan jalan pada setiap ketenangan, dan kesesakan;
2. Orang tua penulis: Sahala Panahatan Sinurat, dan Martha Asniar Situmorang untuk dukungan semangat, doa, dan kerja keras dalam penyaluran dana;
3. Saudara perempuan: Christiana Farida Elsa Sinurat, untuk dukungan semangat, dan doa;
4. Kekasih: Artauli Simangunsong: untuk dukungan semangat, doa, dan sukacita;
5. Bapak Ronny Mardiyanto, S.T. M.T., Ph.D. dan Ir. Tasripan, M.T. untuk bimbingan dalam penyelesaian tugas akhir ini; dan
6. Teman-teman sekitar penulis: Mochammad Fajar Rinaldi Utomo, Erwan Aprillian, Hanif Banna, Kresna, Zaman, dan Adi atas bantuan kerja sama, pertolongan, dan kecekatannya dalam memberikan pertolongan kepada penulis, bahkan di saat darurat.

Penulis tidak memungkiri bahwa dalam perancangan, pekerjaan, dan evaluasi tugas akhir ini didapati banyak kekurangan, dan karenanya perlu pembelajaran dan pengembangan lebih lanjut untuk hal yang lebih baik.

Kiranya tulisan dan segala kegiatan dalam tugas akhir ini bermanfaat bagi siapapun.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan.....	3
1.5. Metodologi.....	3
1.6. Sistematika Penulisan .....	5
1.7. Relevansi .....	5
BAB 2 TEORI PENUNJANG .....	7
2.1. Penelitian Terkait.....	7
2.1.1 Semi Autonomous Mobile Robot dengan Lengan Untuk Mengambil Objek.....	7
2.1.2 Aplikasi Sliding Mode Controller Pada Sistem Pneumatic- Hydraulic Combination Control.....	8
2.1.3 Performace Improvement of Model FollowingControl for a Pneumatic Stage.....	9
2.1.4 The Optimization Scheme for EOD Robot Based on Supervising Control Architecture.....	9
2.1.5 Pengembangan Semi Autonomous Mobile Robot Untuk Mengambil Objek Dengan Mempertimbangkan Berat Objek.....	10
2.2. Komponen Pendukung.....	11
2.2.1 Komponen Elektrik .....	11
2.2.2 Komponen Pneumatik.....	19
BAB 3 PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT.....	23
3.1. Perancangan Konstruksi .....	23
3.2. Kerangka Sistem.....	28
3.3. Survei Spesifikasi dan Pengadaan Komponen.....	31
3.4. Pemrograman.....	32
3.5. Pemasangan Komponen.....	35
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA .....	37
4.1. Pengujian Pada Hasta dan Elbow .....	37

BAB 5 PENUTUP .....	46
5.1. Kesimpulan .....	46
5.2. Saran .....	46
DAFTAR PUSTAKA .....	48
LAMPIRAN.....	50
RIWAYAT PENULIS .....	52

## DAFTAR GAMBAR

gambar 2.1 skema mikrokontroler .....	11
gambar 2.2 AtMega328.....	13
gambar 2.3 Arduino Uno .....	15
gambar 2.4 UBEC.....	16
gambar 2.5 servo motor .....	17
gambar 2.6 L298 motor driver .....	18
gambar 2.7 potensiometer .....	19
gambar 2.8 silinder pneumatik .....	20
gambar 2.9 5/2-way solenoid valve.....	21
gambar 3.1 perancangan lengan .....	23
gambar 3.2 sketsa perancangan lengan dengan bagian hasta terpilih....	23
gambar 3.3 sketsa perancangan lengan dengan bagian elbow terpilih ..	24
gambar 3.4 sketsa perancangan lengan dengan bagian base terpilih.....	24
gambar 3.5 dimensi lengan (dilihat dari samping) .....	25
gambar 3.6 dimensi lengan (dilihat dari atas) .....	25
gambar 3.7 keseluruhan sistem .....	35
gambar 4.1 grafik implikasi stroke terhadap posisi sudut hasta .....	39
gambar 4.2 grafik implikasi stroke terhadap posisi sudut elbow .....	41

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR TABEL

tabel 2.1 klasifikasi komponen.....	7
tabel 3.1 spesifikasi silinder yang dipilih .....	32
tabel 3.2 spesifikasi solenoid valve yang dipilih.....	32
tabel 4.1 hasil pengujian posisi sudut lengan hasta .....	39
tabel 4.2 hasil pengujian posisi sudut lengan elbow .....	40
tabel 4.3 kesimpulan pada metode pertama .....	42
tabel 4.4 kalibrasi konstanta P pada pengontrolan posisi elbow .....	44
tabel 4.5 kalibrasi konstanta P pada pengontrolan posisi hasta.....	44

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Sistem pneumatik dianggap sebagai alat penggerak yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan *servo motor*. Beberapa keunggulan sistem pneumatik sebagai penggerak lengan robot dibandingkan dengan *servo motor* antara lain: keunggulan dalam hal kekuatan, keunggulan dalam hal ketahanan untuk peluang kesalahan instalasi, keunggulan dalam hal konsumsi energi listrik, dan keunggulan dalam hal kinematika. Dalam hal ini, penggerak digunakan untuk menggerakkan lengan robot seperti yang terdapat pada robot-robot pengambil benda, robot-robot pengelas dan pengecat di pabrik, dan sebagainya.

Sistem pneumatik dapat digunakan di banyak tempat, sebab udara terdapat di seluruh medan pekerjaan di permukaan bumi. Berbeda dengan sistem penggerak lain (terutama hidraulik), salah satu media transmisi yang digunakan antara lain: cairan. Cairan yang digunakan cenderung mencemari dan mengotori sistem, dan berbahaya pada medan-medan tertentu. Apabila terjadi kebocoran, sistem dengan penggerak hidraulik menjadi sumber berbahaya bagi keselamatan orang yang ada di sekitarnya. Pengadaan media mampat berupa cairan ini juga lebih sukar dibandingkan dengan sistem pneumatik yang menggunakan udara yang tersedia dimanapun sebagai media mampatnya. Hal lainnya yang menjadi keunggulan sistem pneumatik dibandingkan sistem hidraulik adalah dari segi ekonomi, bahwa sistem hidraulik lebih mahal dibandingkan sistem pneumatik.

Saat ini, *servo motor* adalah salah satu aktuator yang umum digunakan dalam membangun sebuah robot. Servo motor memiliki keunggulan pada presisi dalam mencapai posisi tertentu. Penggunaan *servo motor* termasuk di dalamnya, robot yang difungsikan untuk mengambil benda pada kegiatan ekskavasi dan eksplorasi di medan tidak layak untuk ditempati manusia. Penggunaan lain lengan robot, misalnya, dalam otomasi industri pengelasan badan mobil, pemasangan mesin mobil, dan sebagainya. Desain *servo motor* saat ini berimplikasi pada instalasi yang umumnya tidak efektif, yakni ketersediaan panjang lengan yang

tidak memadai. Panjang lengan yang minim ini berimplikasi pada lemahnya torsi lengan untuk berputar, dan selanjutnya berimplikasi pada kecilnya kapasistas angkat dari lengan dengan penggerak *servo motor* yang dimaksud. Hal ini yang menjadi latar belakang pada digunakannya sistem penggerak dan aktuator yang memanfaatkan tenaga dorongan/terikan fluida pada mesin-mesin besar dan alat-alat berat. Untuk mengangkat atau bertanggung jawab pada besaran gaya dan beban yang besar, misalnya: ekskavator, *spoiler* untuk memperlambat laju pesawat terbang, dan sebagainya. Hal lain yang menjadi kelemahan *servo motor* antara lain pada konsumsi daya. Dalam realisasi, *servo motor* yang mampu mengangkat beban yang besar, dicirikan dengan penggunaan daya yang besar. Sumber energi yang umum digunakan pada peralatan antara lain energi listrik. Daya yang besar berarti penggunaan energi listrik yang besar, yang berarti pula arus listrik yang besar. Arus listrik yang besar berakibat pada konversi gerak elektron yang begitu besar dan berimplikasi pada peningkatan temperatur kabel. Hal ini dapat disiasati dengan penggunaan kabel dengan diameter yang besar, yang berarti diperlukan biaya yang lebih untuk pengadaan kabel ini. Dalam aspek lainnya, penggunaan, perbaikan, pemeliharaan, dan perancangan sistem tidak terlepas dari pembongkaran sistem dan instalasi. Efek dari kesalahan instalasi dapat berakibat lebih fatal pada sebuah *servo motor*, hingga menyebabkan kerusakan permanen pada komponen. Hal ini tidak begitu buruk pada sistem pneumatik, terutama karena simplisitas komponen listrik yang digunakan

Pemanfaatan udara sebagai media mampat pada sistem pneumatik digunakan untuk mendorong aktuator hingga bergerak. Sistem pneumatik dibangun dengan aktuator berupa silinder dengan piston yang umumnya bergerak secara translasi. Gerakan translasi ini digunakan untuk mendorong/menarik tuas/pengungkit/*lever* untuk bergerak secara rotasional. Gerak rotasional ini relevan dengan ciri gerak lengan pada umumnya (gerak berputar pada poros tertentu dengan sudut tertentu) Pengembangan lengan robot yang dilakukan dibuat dalam tugas akhir ini, dibangun dengan sebagian penggerak berupa sistem pneumatik.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diperoleh antara lain:

- Lengan robot dengan penggerak sistem pneumatik, dapat mengangkat beban hingga bobot 675 gram.
- Lengan robot dengan penggerak sistem pneumatik dengan akurasi  $\pm 1,3$  gram.

### 1.3. Batasan Masalah

- Lengan robot yang dibuat berskala kecil, dengan kapasitas pengangkatan tidak lebih besar daripada 1 kg.
- Catu daya yang dapat digunakan antara lain: *Li-Po Battery* atau *power supply*, dengan tegangan 24 volt.
- Lengan robot yang dibangun berupa prototip, dan tidak disarankan untuk langsung menggantikan lengan konvensional pada *semi autonomous robot* yang telah ada.
- Sistem kontrol dibangun berbasis mikrokontroler *Atmega328P*, yang terintegrasi dalam Arduino Uno.
- Sistem yang dibangun tidak termasuk kompresor dan tangki udara, meskipun begitu, kompresor dan tangki udara disediakan dengan spesifikasi terbatas untuk pengujian.

### 1.4. Tujuan

- Membuat lengan robot dengan sistem pneumatik.
- Merancang sedemikain agar lengan robot dapat menggantikan fungsi lengan robot pneumatik pada rencang bangun dengan penggerak *servo motor*
- Mengeliminasi kelemahan lengan robot dengan penggerak *servo motor*.
- Menunjang manfaat sebuah robot, terutama *mobile semi autonomous robot*
- Meningkatkan variasi teknologi lengan robot.

### 1.5. Metodologi

#### 1. Studi literatur

Studi literatur bersumber pada jurnal-jurnal ilmiah, buku referensi, *specification datasheet*, survei spesifikasi komponen, dan diskusi. Jurnal-jurnal yang dijadikan referensi, antara lain: skripsi, tentang pengembangan lengan robot dengan berbagai jenis penggerak untuk memenuhi studi mekanika dan kinematik sebuah lengan robot. Buku-buku didapat dari karya orang lain,

skripsi, dan buku teks yang tersebar di media daring. Referensi lain didapat dari presentasi dan diskusi dengan pengamat pelajar, mahasiswa/i, dan dosen pembimbing. Hasil-hasil praktikkum dari mata kuliah yang telah ditempuh pada semester-semester lalu juga dijadikan acuan dalam penentuan jenis komponen, misalnya: praktikkum sistem pengaturan, praktikkum sistem elektronika tertanam, dan sebagainya.

## 2. Perancangan dan Realisasi Alat

Perancangan meliputi penentuan komponen, *3d designing*, dan perancangan sistem control. Perancangan alat dilakukan dengan memodelkan bentuk fisik komponen (terutama bilah-bilah, badan, dan wadah untuk sistem), konversi hasil pemodelan ke kode berisi koordinat-koordinat untuk dilalui dan dicapai oleh *3dprinter*, pengukuran-pengukuran komponen, dan pemasangannya satu sama lain. Pemrograman dilakukan dengan mengacu pada spesifikasi komponen yang dilihat di *datasheet* atau dengan pengukuran dalam uji coba operasi masing-masing komponen. Perancangan juga meliputi perkabelan untuk hubungan listrik antar komponen, dan perancangan/pengadaan benda-benda sebagai obyek uji coba, misalnya: beban, dan sebagainya.

## 3. Tahap Pengujian Sistem dan Analisa

Pengujian dilakukan secara bertahap dengan pengujian pada salah satu sampel dari beberapa sub sistem yang seragam, dan dilakukan pada sub sistem lainnya. Sub sistem diuji ketahanan dan akurasi yang dapat dicapai, serta dicatat dan direkam untuk menjadi properti yang dijadikan sebagai bahan bukti pada laporan dan buku. Analisa bertitik tolak pada perbedaan hasil dengan hipotesa yang telah dibuat, untuk dijadikan sebagai alasan yang terbukti untuk disajikan pada laporan dan dasar dari kesimpulan yang ditulis. Setelah didapat kesimpulan cukup baik pada sampel, tahap perancangan dilanjutkan dengan pembuatan sub sistem selanjutnya.

## 4. Pembuatan laporan

Penyusunan laporan dilakukan berdasarkan hasil uji sistem, dibuat kesimpulan, dan dicari perbaikan yang masih dapat dilakukan untuk dibuat rekomendasi pada perancangan selanjutnya. Kesalahan yang terjadi telah diukur dan dianalisa latar belakangnya pada tahap pengujian sistem dan analisa.

Berdasarkan analisa dan pengujian, data ditampilkan pada bab 4 dan rekomendasi dibuat untuk kompensasi latar belakang kegegelan, kesalahan, dan keterbatasan dari sistem yang telah dibangun pada pengembangan ini.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir terdiri dari beberapa bagian, antara lain:

- Bab I : Pendahuluan  
Penguraian latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat yang berkaitan dengan pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini.
- Bab II : Teori Penunjang  
Pada bab ini dikemukakan berbagai macam dasar teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas, antara lain meliputi teori tentang mikrokontroler, arduino Uno, *AtMega328P*, motor DC, *servo motor*, dan sensor-sensor yang digunakan.
- Bab III : Perancangan dan Realisasi Alat  
Berisi tentang tahap-tahap perancangan mekanik dan elektrik yang didasarkan sistem kerja yang telah dirancang untuk setiap bagian proses.
- Bab IV : Pengujian dan Analisa Sistem  
Bab ini membahas mengenai pengujian dari sistem yang telah diimplementasikan pada mesin stempel otomatis yang telah dibuat dan analisa data berdasarkan parameter yang ditetapkan berdasarkan *datasheet*.
- Bab V : Penutup  
Berisi tentang kesimpulan dan saran yang diperoleh dalam Tugas Akhir ini.

## 1.7. Relevansi

Manfaat dari tugas akhir ini dapat membantu penulis untuk belajar mengaplikasikan ilmu perkuliahan dalam membantu menyelesaikan permasalahan dilapangan. Hasil pengembangan juga dapat diaplikasikan pada sebuah pengembangan *semi autonomous robot*, untuk lengan alternatif.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB 2 TEORI PENUNJANG

Bab ini membahas mengenai teori penunjang dan komponen-komponen yang digunakan dalam merancang dan membangun lengan robot dengan sistem pneumatik. Peralatan yang digunakan dikelompokkan sebagai berikut:

tabel 2.1 klasifikasi komponen

No	Kategori komponen	komponen
1	elektrik	mikrokontroler
		<i>Switch mode power supply</i>
		<i>servo motor</i>
		<i>Motor driver</i>
		Potensiometer
2	pneumatik	Silinder pneumatik
		<i>Solenoid valve</i>
		<i>Silencer</i>
		Kompresor
		Tangki udara
		<i>fitting</i>
		selang

### 2.1. Penelitian Terkait

#### 2.1.1 Semi Autonomous Mobile Robot dengan Lengan Untuk Mengambil Objek.

Rancang Bangun ini adalah pengembangan kemampuan robot untuk mendekati suatu obyek dan menghindari penghalang, dan mengambil benda dengan lengan yang digerakkan dengan *servo motor*. Dilatarbelakangi dari pekerjaan yang perlu dilakukan pada medan berbahaya, rancang bangun ini berupa palet berjalan dengan moidel pendorong roda rantai seperti tank semi otonom yang bergerak untuk mendeteksi benda dengan ciri fisiologi tertentu, dan mendekatinya benda yang dimaksud untuk diambil dan diamankan pada tempat tertentu. Fokus yang dikerjakan dalam rancang bangun ini, antara lain untuk mendeteksi benda

dengan ciri umum yang secara fisiologis menyerupai bom dinamit melalui kamera dengan metode *Lucas-Kanade* dan *Horn-Schrunk*, merancang algoritma lain untuk pergerakan robot agar robot yang dimaksud dapat bergerak mendekati obyek yang telah dipertimbangkan dan diputuskan sebagai obyek yang memenuhi ciri prasyarat tertentu tanpa menabrak obyek lain (misalnya: dinding, batu, dan penghalang lainnya), dan algoritma tambahan untuk pemutaran servo agar dapat menggapit benda yang dimaksud dan mengangkutnya ke tempat lain.

Rancang bangun ini dibuat oleh Qomaruzzaman pada tahun 2015 hingga 2016 dengan kontroler yang digunakan berupa komputer mini. Kemampuan penjajakan obyek optimal pada jarak 330 cm dari robot, dan kemampuan penjajakan hingga 4,33 cm/detik. Beban maksimal yang dapat diangkat lengan robot pada rancang bangun ini adalah 217 gram.

#### 2.1.2 Aplikasi Sliding Mode Controller Pada Sistem Pneumatic-Hydraulic Combination Control

Penelitian ini dilakukan oleh Ferdian Denny pada tahun 2015, untuk mengatur posisi keluaran silinder (*stroke*). Dengan metode *Pneumatic-Hydraulic Combination Control*, penelitian yang dilakukan antara lain bagaimana untuk mengeliminasi gangguan terhadap sinyal referensi sehingga pengontrolan posisi aktuator dapat dibuat menjadi lebih baik.

Dilatarbelakangi dari kebutuhan akan ketepatan dan kecepatan dalam kontrol sistem fluida bertekanan, dan kinerja dari penelitian sebelumnya dengan galat yang besar, galat yang didapat sebesar 1 cm untuk rentang 0 cm sampai 4 cm. Penggabungan kinerja kedua jenis fluida yang dimaksud diharapkan dapat menutupi kelemahan satu sama lain: presisi yang lebih baik dan gaya serta kecepatan yang tidak jauh berbeda dibandingkan kinerja sistem penggerak hidrolik. Metode yang ditawarkan antara lain: *Sliding Mode Control* untuk peningkatan kecepatan dan kepresisian *pneumatic-hydraulic cylinder*, dari kesalahan pembacaan

posisi 0,5 mm pada penelitian sebelumnya, menjadi 0,3 mm pada penelitian ini, dan *setling time* sebesar 11,3 detik untuk penelitian sebelumnya dan diperbaiki hingga 10 detik untuk penelitian ini.

Silinder pneumatik -hidraulik adalah silinder dengan penggerak udara bertekanan dan fluida tertentu. Silinder ini antara lain sebagai aktuator utama pada sistem *pneumatic-hydraulic combination control*. Konsep kerja yang diadopsi silinder ini antara lain, bahwa silinder hidraulik bekerja sebagai suksesor dari silinder pneumatik.

Penelitian ini untuk mengatur posisi aktuator, tidak menyangkut pada sebuah pemanfaatan lebih lanjut seperti pemanfaatan pada sebuah lengan robot, pada pembukaan pintu, dan sebagainya.

#### 2.1.3 Performace Improvement of Model Following Control for a Pneumatic Stage

Penelitian ini berfokus pada bahasan akurasi untuk sistem pneumatic yang berkurang akibat kompresi berlebih pada udara bertekanan. Berbeda dengan oli, air, atau fluida lainnya, tingkat kepadatan udara jauh lebih rendah, sehingga kompresi masih dapat dilakukan. Hal ini menjadi momok, bahwa udara yang digunakan sebagai penahan/pilar pada sebuah bilik silinder tidak lebih kuat daripada beban, sehingga udara (pilar) terkompresi dan volumenya berkurang dengan massa tetap, yang berimplikasi pada simpangan posisi aktuator. Fenomena ini mengurangi nilai akurasi, terutama untuk pengontrolan dan reposisi secara kontinu dengan aktuator berbeban. Aplikasi *model following control* digunakan, untuk memperbaiki penelitian sebelumnya yang hanya optimal pada kecepatan rendah.

#### 2.1.4 The Optimization Scheme for EOD Robot Based on Supervising Control Architecture

Pengembangan ini antara lain salah satu robot yang menggunakan sistem pneumatik sebagai penggeraknya. Rancang bangun ini dilengkapi sensor infra merah untuk

mencegah gesekan, sentuhan, dan tabrakan yang tidak diinginkan antara ruas dari lengan robot dan *end effector* dengan benda sekitarnya. Rancang bangun yang dibuat memiliki ketimpangan pada kemampuan pengangkatan beban dibandingkan dengan bobot total robot yang tentunya bukan sutau yang dapat dinilai efisien. Bobot total robot sebesar 410 kg dan mampu mengangkat beban 20 kg.

#### 2.1.5 Pengembangan Semi Autonomous Mobile Robot Untuk Mengambil Objek Dengan Mempertimbangkan Berat Objek.

Rancang bangun ini adalah pengembangan kemampuan robot untuk mengukur bobot obyek yang diangkatnya. Rancang bangun ini berbentuk mobil palet beroda dengan lengan akrilik di atasnya, dengan bobot beban maksimum 1 kg. Rancang bangun ini dikembangkan oleh Valentino Rendi pada tahun 2015 untuk mengurangi beban dari penggerak utama. Siasat yang dilakukan dalam perancangn lengan robot ini antara lain dengan metode *parallel mechanism*. *Parallel Mechanism* adalah konstruksi sedemikian, sehingga lokasi penggerak hanya ada pada satu tempat. Tipe konstruksi lainnya antara lain: *serial mechanism*. *Serial mechanism* (selanjutnya disebut mekanisme serial) adalah kosntruksi robot sedemikian sehingga penempatan penggerak untuk masing-masing ruas berada pada satu titik pada ruas yang dimaksud. Konstruksi semacam ini berarti bahwa ruas predesesor dari ruas yang dimaksud harus menanggung beban sebesar penjumlahan dari lengan suksesor dan beban lengan robot itu sendiri.

Berbeda dengan mekanisme serial, *parallel mechanism* (selanjutnya disebut mekanisme paralel) menawarkan metode lain dalam penempatan penggerak untuk setiap ruas. Penempatan dilakukan di suatu lokasi, dan ditambahkan mekanisme lain sehingga gerak untuk ruas kedua dan seterusnya dapat diterima dari transmisi mekanis pada penggerak. Dengan demikian, beban yang ditanggung oleh ruas pertama ataupun ruas predesesor bukanlah total antara besaran beban ruas suksesor dan beban utama lengan robot.

Hal yang menjadi kekurangan dari mekanisme paralel antara lain: ruang gerak robot yang terbatas.

Dalam perancangan lengan robot yang dibuat pada tugas akhir ini, mempertimbangkan ukuran dan kemampuan aktuator, metode mekanisme paralel tidak dipilih. Penempatan aktuator untuk sistem pneumatik, secara fisiologis menggunakan ruang yang lebih besar, dan pemilihan mekanisme paralel berimplikasi pada ketimpangan, ketidakingkasan, kerumitan, keterbatasan ruang gerak, dan keringkahan keseluruhan sistem.

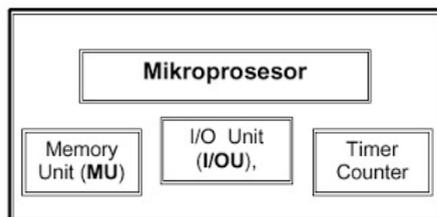
## 2.2. Komponen Pendukung

### 2.2.1 Komponen Elektrik

#### 1. Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah komputer mikro dalam satu chip tunggal. Mikrokontroler memadukan CPU, ROM, RWM, I/O paralel, I/O seri, *counter-timer*, dan rangkaian *clock* dalam satu. Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data.

Pada gambar 2.1 terlihat diagram blok dari mikrokontroler secara umum.



**gambar 2.1 skema mikrokontroler**

Salah satu mikrokontroler antara lain: *AtMega328*.

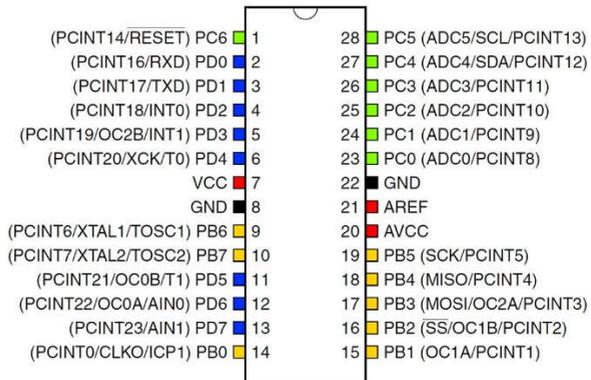
ATMega328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*).

ATMega328 memiliki beberapa fitur antara lain:

1. 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus *clock*.
2. 32 x 8-bit register serba guna.
3. Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan *clock* 16 MHz.
4. 32 KB *Flash memory* dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB dari flash memori sebagai *bootloader*.
5. Memiliki EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi *permanent* karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
6. Memiliki SRAM (*Static Random Access Memory*) sebesar 2KB.
7. Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (*Pulse Width Modulation*) output.
8. Master / Slave SPI *Serial interface*.

Mikrokontroler ATmega 328 memiliki arsitektur Harvard, yaitu memisahkan memori untuk kode program dan memori untuk data sehingga dapat memaksimalkan kerja dan *parallelism*. Instruksi - instruksi dalam memori program dieksekusi dalam satu alur tunggal, dimana pada saat satu instruksi dikerjakan instruksi berikutnya sudah diambil dari memori program. Konsep inilah yang memungkinkan instruksi - instruksi dapat dieksekusi dalam setiap satu siklus *clock*. 32 x 8-bit register serba guna digunakan untuk mendukung operasi pada ALU (*Arithmetic Logic Unit*) yang dapat dilakukan dalam satu siklus. 6 dari register serbaguna ini dapat digunakan sebagai 3 buah register pointer 16-bit pada mode pengalamatan tidak langsung

untuk mengambil data pada ruang memori data. Ketiga register pointer 16-bit ini disebut dengan register X (gabungan R26 dan R27), register Y (gabungan R28 dan R29), dan register Z (gabungan R30 dan R31). Hampir semua instruksi AVR memiliki format 16-bit. Setiap alamat memori program terdiri dari instruksi 16-bit atau 32-bit. Selain register serba guna di atas, terdapat register lain yang terpetakan dengan teknik *memory mapped I/O* selebar 64 byte. Beberapa register ini digunakan untuk fungsi khusus antara lain sebagai register *control Timer/Counter*, Interupsi, ADC, USART, SPI, EEPROM, dan fungsi I/O lainnya. Register – register ini menempati memori pada alamat 0x20h – 0x5Fh.



**gambar 2.2 AtMega328**

ATMega 328 memiliki 3 buah PORT utama yaitu PORTB, PORTC, dan PORTD dengan total pin *input/output* sebanyak 23 pin. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai *input/output* digital atau difungsikan sebagai periperal lainnya.

#### 1. PORTB

*Port B* merupakan jalur data 8bit yang dapat difungsikan sebagai *input/output*. Selain itu PORTB juga dapat memiliki fungsi alternatif seperti berikut.

- a. ICPI (PB0), berfungsi sebagai *Timer Counter 1 input capture* pin.
  - b. OC1A (PB1), OC1B (PB2) dan OC2 (PB3) dapat difungsikan sebagai keluaran PWM (*Pulse Width Modulation*).
  - c. MOSI (PB3), MISO (PB4), SCK (PB5), SS (PB2) merupakan jalur komunikasi SPI.
  - d. Selain itu pin ini juga berfungsi sebagai jalur pemrograman serial (ISP).
  - e. TOSC1 (PB6) dan TOSC2 (PB7) dapat difungsikan sebagai sumber *clock* external untuk *timer*.
  - f. XTAL1 (PB6) dan XTAL2 (PB7) merupakan sumber *clock* utama mikrokontroler.
2. PORTC  
*Port C* merupakan jalur data 7bit yang dapat difungsikan sebagai *input/output* digital. Fungsi alternatif PORTC antara lain sebagai berikut.
- a. ADC6 *channel* (PC0, PC1, PC2, PC3, PC4, PC5) dengan resolusi sebesar 10 bit. ADC dapat kita gunakan untuk mengubah input yang berupa tegangan analog menjadi data digital
  - b. I2C (SDA dan SDL) merupakan salah satu fitur yang terdapat pada PORTC. I2C digunakan untuk komunikasi dengan sensor atau *device* lain yang memiliki komunikasi data tipe I2C seperti sensor kompas, *accelerometer nunchuck*.
3. PORTD  
*Port D* merupakan jalur data 8bit yang masing-masing pin-nya juga dapat difungsikan sebagai *input/output*. Sama seperti *PortB* dan *PortC*, *PortD* juga memiliki fungsi *alternative* dibawah ini.
- a. USART (TXD dan RXD) merupakan jalur data komunikasi serial dengan level sinyal TTL. Pin TXD berfungsi untuk mengirimkan data serial, sedangkan RXD kebalikannya yaitu sebagai pin yang berfungsi untuk menerima data serial.
  - b. *Interrupt* (INT0 dan INT1) merupakan pin dengan fungsi khusus sebagai interupsi *hardware*. Interupsi biasanya digunakan sebagai selaan dari program,

misalkan pada saat program berjalan kemudian terjadi interupsi *hardware/software* maka program utama akan berhenti dan akan menjalankan program interupsi.

- c. XCK dapat difungsikan sebagai sumber *clock external* untuk USART, namun kita juga dapat memanfaatkan *clock* dari CPU, sehingga tidak perlu membutuhkan *external clock*.
- d. T0 dan T1 berfungsi sebagai masukan *counter external* untuk *timer 1* dan *timer 0*. AIN0 dan AIN1 keduanya merupakan masukan *input* untuk *analog comparator*.



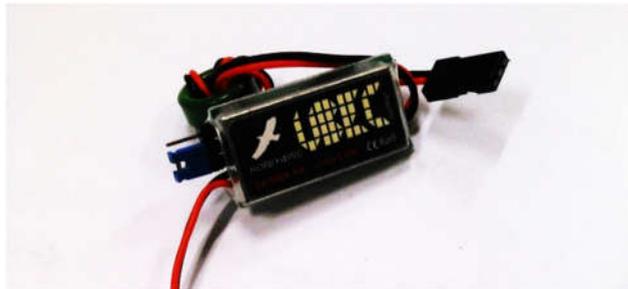
**gambar 2.3 Arduino Uno**

Dalam perkembangannya, mikrokontroler dikembangkan *single-board microcontroller*, integrasi mikrokontroler dan perangkat keras prasyarat fungsional yang lebih lengkap. Salah satu contoh *single-board microcontroller* antara lain: Arduino Uno. Dalam tugas akhir ini, digunakan Arduino Uno sebagai pengontrol sistem.

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersifat *open-source*, diturunkan dari *wiring platform*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik

dalam berbagai bidang. Perangkat kerasnya memiliki prosesor *Atmel AVR* dan perangkat lunaknya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Arduino juga merupakan *platform hardware* terbuka yang ditujukan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan elektronik interaktif berdasarkan *hardware* dan *software* yang fleksibel dan mudah digunakan. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa pemrograman C. Karena sifatnya yang terbuka maka siapa saja dapat mengunduh skema *hardware* arduino dan membangunnya. Arduino menggunakan keluarga mikrokontroler AtMega yang dirilis oleh Atmel sebagai basis, namun ada individu/perusahaan yang membuat *clone* arduino dengan menggunakan mikrokontroler lain dan tetap kompatibel dengan arduino pada level *hardware*. Untuk fleksibilitas, program dimasukkan melalui bootloader meskipun ada opsi untuk melangkahi (*by pass*) *bootloader* dan menggunakan *downloader* untuk memprogram mikrokontroler secara langsung melalui port ISP (*In System Programming*).

## 2. *Switch Mode Power Supply*



**gambar 2.4 UBEC**

*Power supply* (catu daya), dalam kajian elektronika adalah sebutan untuk piranti yang berfungsi menyediakan tenaga listrik arus searah, dengan meningkatkan/menurunkan tegangan. Dalam tugas akhir ini, salah satu *power supply*

yang digunakan antara lain baterai *Li-Po* yang dihubungkan *buck converter*. Baterai *Li-Po* yang digunakan adalah baterai 3 cells *Li-Po*, dengan tegangan 11,1 volt. Penggunaan *switch mode power supply (boost converter)* diperlukan untuk meningkatkan/menurunkan tegangan sesuai kebutuhan tertentu pada rancangan (diperlukan tegangan 6 volt untuk *servo motor*).

### 3. *Servo Motor*



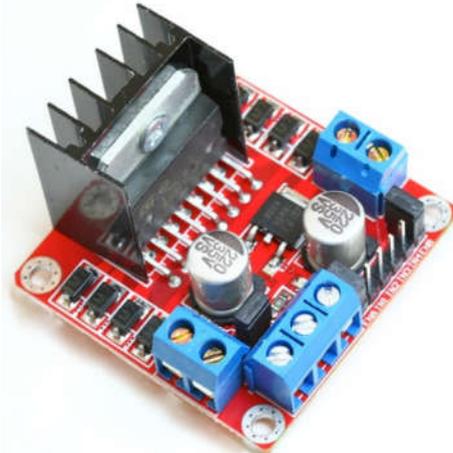
**gambar 2.5 servo motor**

*Servo motor* adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi rotornya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam *servo motor*. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gir, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan sudut putar motor. Kecepatan sudut dari sumbu *servo motor* diatur berdasarkan lebar pulsa yang diaplikasikan pada terminal melalui kabel *servo motor*.

### 4. *Motor Driver*

*Motor driver* berfungsi pada penyediaan listrik untuk sebuah motor listrik. Motor listrik ukuran besar perlu dipacu dengan tenaga yang besar, dicirikan dengan arus atau tegangan yang besar pula. Karakteristik listrik ini tidak

disediakan oleh mikrokontroler, sehingga perlu adanya komponen *motor driver* ini. Untuk tugas akhir ini, misalnya, dibutuhkan tegangan 24 volt dengan arus bekisar 100 mA pada aktuator, ketersediaan sinyal kontrol dari mikrokontroler hanya pada tegangan 5 volt. Umumnya *motor driver* berperan untuk aktuator berupa motor listrik, namun dalam tugas akhir ini, fungsi *motor driver* ini diaplikasikan untuk *solenoid valve*.



**gambar 2.6 L298 motor driver**

#### 5. Potensiometer

Potensiometer adalah tahanan listrik dengan nilai yang dapat diubah-ubah. Pengubahan nilai potensiometer didasarkan pada panjang antara kontak. Berdasarkan cara pengubahan nilai tahanan, potensiometer dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

- Potensiometer putar;
- Potensiometer geser; dan
- *Trimmer potentiometer*.

Dalam perancangan tugas akhir ini, potensiometer yang digunakan adalah potensiometer Violet Electric Co.Ltd. RA28Y putar dengan tahan maksimum 5K, yang diletakkan pada persendian lengan.



**gambar 2.7** potensiometer

## 2.2.2 Komponen Pneumatik

### 1. Tangki Udara

Keperluan tangki udara antara lain untuk peningkatan tekanan. Kompresor hanya berfungsi pada pengaliran udara. Peningkatan tekanan udara dipengaruhi antarlain oleh volume udara. Persamaan untuk hubungan antara tekanan udara dengan volumenya antara lain:

$$pv = nRT \quad (2.1)$$

$p$ : tekanan udara

$v$ : volume udara

$n$ : jumlah partikel udara

$R$ : konstanta gas ideal  $0,08205 \text{ L atm/mol K}$

$T$ : temperatur udara

Dengan pengaliran udara (oleh kompresor) dalam debit dan durasi tertentu ke dalam ruang tertutup yang volumenya tetap, terjadi peningkatan jumlah partikel udara dalam volume tetap sehingga terjadi pula peningkatan tekanan

udara. Proses ini disebut sebagai proses isokhorik. Tangki udara yang digunakan pada tugas akhir ini adalah modifikasi botol dengan volume 3,1 Liter.

## 2. Silinder Pneumatik



**gambar 2.8 silinder pneumatik**

Silinder pneumatik adalah salah satu aktuator dalam sistem pneumatik. Terdapat piston yang bergerak didorong oleh udara bertekanan yang diatur arah dan jumlahnya. Ada beberapa macam silinder pneumatik, antara lain:

- *Double acting pneumatic cylinder*;
- *Single acting pneumatic cylinder*; dan
- *Telescopic pneumatic cylinder*.

Dalam tugas akhir ini, digunakan *double acting pneumatic cylinder* untuk penggerak lengan-lengan robot.

## 3. Solenoid Valve

*Solenoid valve* (keran solenoid) adalah katup/keran yang pembukaan/penutupannya digerakkan dengan *electromagnet*. Kombinasi medan magnet dan pegas digunakan untuk mengatur posisi batang (*plunger*), yang selanjutnya berimplikasi pada pembukaan/penutupan aliran fluida dari *port* masukan ke *port* keluaran, dan dari *port* keluaran ke *silencer port*.

Jenis-jenis *solenoid valve* dalam penggunaan pada sistem pneumatik antara lain:

- *3/2-way solenoid valve*  
*Solenoid valve* jenis ini dilengkapi dengan tiga lubang (satu lubang ke sumber udara, satu lubang pembuangan, dan lubang lain menuju aktuator). Contoh penggunaan *Solenoid valve* jenis ini antara lain aplikasi pada *single acting pneumatic cylinder*.
- *5/2 way solenoid valve*



**gambar 2.9 5/2-way solenoid valve**

*Solenoid valve* jenis ini dilengkapi dengan lima lubang (satu lubang ke sumber udara, dua lubang ke pembuangan, dan dua lubang lain menuju aktuator). Contoh penggunaan *Solenoid valve* jenis ini antara lain aplikasi pada *double acting pneumatic cylinder*, dengan aliran udara terus terjadi pada salah satu lubang aktuator.

- **5/3 solenoid valve**

*Solenoid valve* jenis ini dilengkapi dengan lima lubang (satu lubang ke sumber udara, dua lubang ke pembuangan, dan dua lubang lain menuju aktuator). Contoh penggunaan *Solenoid valve* jenis ini antara lain aplikasi pada *double acting pneumatic cylinder*. Pada solenoid ini, aliran udara dimungkinkan untuk tidak aktif. Jenis *solenoid valve* ini digunakan pada perancangan tugas akhir ini.

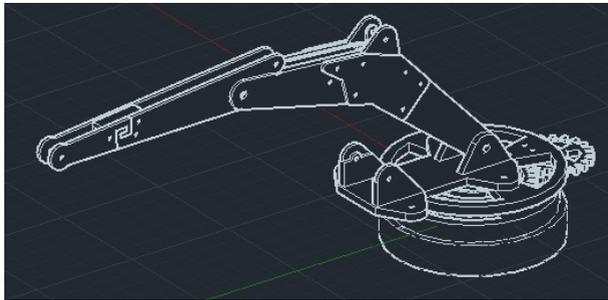
*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB 3 PERANCANGAN DAN REALISASI ALAT

Perancangan untuk pengembangan lengan robot dengan penggerak sistem pneumatik dilakukan dengan pemilihan dan survei komponen, perancangan konstruksi dan desain lengan, pemrograman mikrokontroler, pemasangan komponen satu sama lain, pengujian alat, dan beberapa optimasi untuk peningkatan nilai fungsi dari keseluruhan sistem.

### 3.1. Perancangan Konstruksi

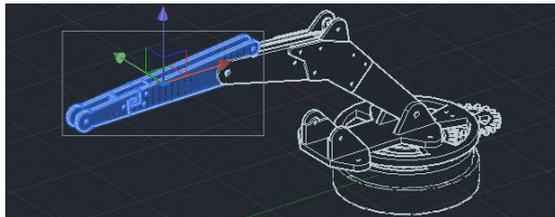
Lengan dibuat dengan *3D printer*, didesain dengan program AutoCad 2017.



**gambar 3.1 perancangan lengan**

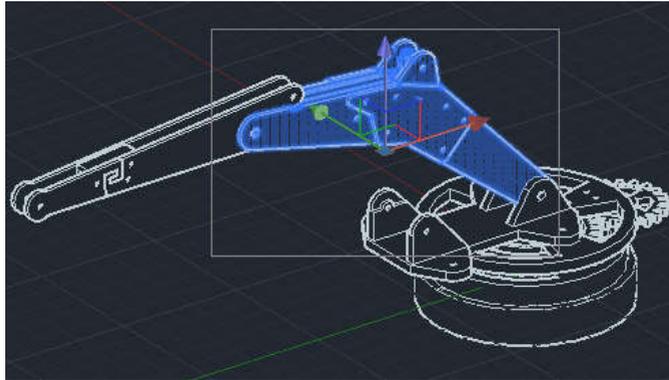
Untuk mempermudah penjelasan, struktur lengan ini dibagi-bagi sebagai berikut:

- Hasta;



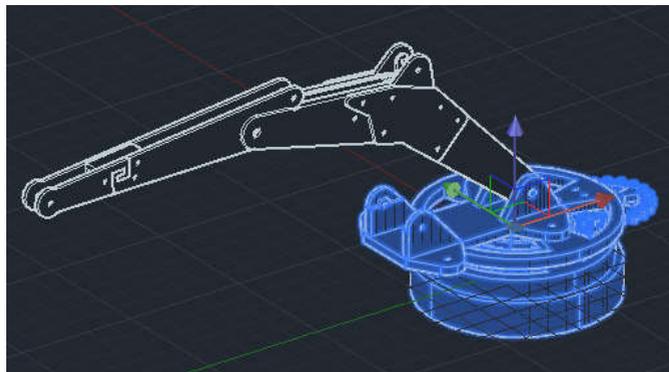
**gambar 3.2 sketsa perancangan lengan dengan bagian hasta terpilih**

- Elbow; dan



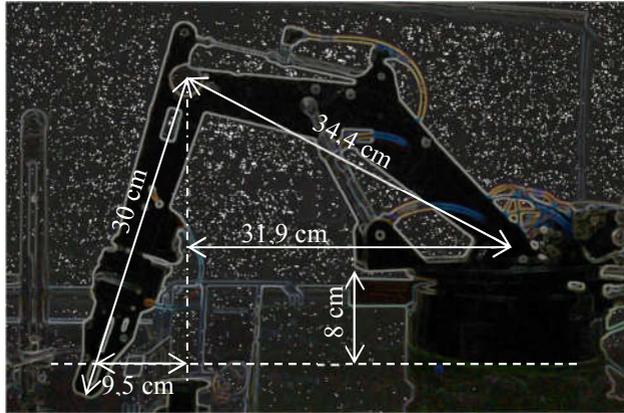
**gambar 3.3 sketsa perancangan lengan dengan bagian elbow terpilih**

- Base.

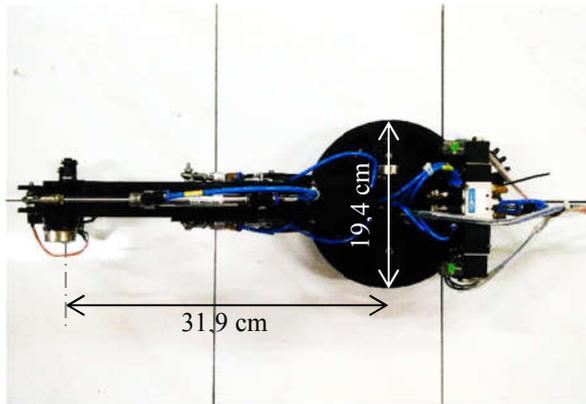


**gambar 3.4 sketsa perancangan lengan dengan bagian base terpilih**

Komponen penggerak untuk hasta dan elbow adalah sistem pneumatik, sedangkan untuk base digunakan *servo motor*.



**gambar 3.5 dimensi lengan (dilihat dari samping)**



**gambar 3.6 dimensi lengan (dilihat dari atas)**

Ruas elbow dirancang berbentuk segitiga tumpul sedemikian sehingga penempatan silinder penggerak hasta berada pada sudut tumpulnya. Panjang hipotenusa ruas elbow sebesar 34,4 cm, dan panjang ruas hasta dihitung dari porosnya hingga ujung penjepit (*gripper*) sebesar 30 cm. Sudut minimum dan maksimum untuk ruas elbow adalah  $40^\circ$  dan  $62^\circ$  (rentang sudut sebesar  $22^\circ$ ), sedangkan

untuk ruas hasta, sudut minimum dan maksimum adalah  $106^\circ$  dan  $173^\circ$  (rentang sudut sebesar  $67^\circ$ ).

Poros base diapandang sebagai sendi 0, poros elbow sebagai sendi 1, dan poros hasta sebagai sendi 2, dengan akhir dari lengan berupa gripper yang digerakkan dengan *servo motor*.

Dengan mengacu pada sumbu ruas elbow, rumusan kinematik *gripper* diturunkan dengan terlebih dahulu menurunkan rumusan kinematik tiap sendi predesesor. Rumusan untuk pergerakan akibat silinder penggerak elbow pada sumbu ruas hasta hanya terjadi pada sumbu z, secara matematis diturunkan sebagai berikut.

$$Q_{[(n-1) \rightarrow n]_z} = (L_{n_z-1}) \sin \theta_{n-1} \quad (3.1)$$

$$Q_{[E \rightarrow H]_z} = (L_{E_z}) \sin \theta_E \quad (3.2)$$

Dengan sudut minimum ruas elbow sebesar  $40^\circ$ , dan panjang elbow (diwakili oleh hipotenusa) maka persamaan di atas menjadi

$$Q_{[E \rightarrow H]_z} = (34,4 \text{ cm}) \sin(\theta_E + 40^\circ) \quad (3.3)$$

$Q_{[E \rightarrow H]_z}$  mewakili posisi poros hasta terhadap sumbu z. Untuk rumusan kinematik oleh lengan hasta terhadap *gripper*, rumusan diturunkan sebagai berikut

$$Q_{[H \rightarrow G]_z} = (L_{H_z}) \sin \theta_H \quad (3.4)$$

Dengan sudut minimum hasta sebesar  $106^\circ$ , dan panjang lengan hasta (dihitung dari poros hingga titik dimana benda akan diapit) sebesar 30 cm, persamaan di atas diturunkan menjadi

$$Q_{[H \rightarrow G]_z} = (30 \text{ cm}) \sin(\theta_H + 247^\circ) \quad (3.5)$$

Posisi akhir *gripper* terhadap sumbu z dapat diturunkan dengan penjumlahan antara persamaan 3.6 dan persamaan 3.7

$$Q_{[E \rightarrow H]_z} = (34,4 \text{ cm}) \cos(\theta_E + 40^\circ) \quad (3.8)$$

$$Q_{[H \rightarrow G]_z} = (30 \text{ cm}) \sin(\theta_H + 247^\circ) \quad (3.9)$$

$$Q_{G_z} = Q_{[H \rightarrow G]_z} + Q_{[E \rightarrow H]_z} \quad (3.10)$$

$$Q_{G_z} = (34,4 \text{ cm}) \sin(\theta_E + 40^\circ) + (30 \text{ cm}) \sin(\theta_H + 106^\circ) \quad (3.11)$$

Rumusan kinematik untuk pandangan terhadap sumbu x diturunkan sebagai berikut.

$$Q_{[(n-1) \rightarrow n]_x} = (L_{n_{x-1}}) \sin \theta_{n-1} \quad (3.12)$$

$$Q_{[E \rightarrow H]_x} = (L_{E_x}) \cos \theta_E \quad (3.13)$$

$$Q_{[E \rightarrow H]_x} = (34,4 \text{ cm}) \cos(\theta_E + 40^\circ) \cos(\theta_B) \quad (3.14)$$

$$Q_{[H \rightarrow G]_x} = (30 \text{ cm}) \sin(\theta_H + 247^\circ) \cos(\theta_B) \quad (3.15)$$

$$Q_{G_x} = Q_{[H \rightarrow G]_x} + Q_{[E \rightarrow H]_x} \quad (3.16)$$

$$Q_{G_x} = (34,4 \text{ cm}) \cos(\theta_E + 40^\circ) \cos(\theta_B) + (30 \text{ cm}) \sin(\theta_H + 247^\circ) \cos(\theta_B) \quad (3.17)$$

Rumusan kinematik untuk pandangan terhadap sumbu y diturunkan sebagai berikut.

$$Q_{[(n-1) \rightarrow n]_y} = (L_{n,y-1}) \sin \theta_{n-1} \quad (3.18)$$

$$Q_{[E \rightarrow H]_y} = (L_{E,y}) \sin \theta_B \quad (3.19)$$

$$Q_{[E \rightarrow H]_y} = (34,4 \text{ cm}) \cos(\theta_E + 40^\circ) \sin(\theta_B) \quad (3.20)$$

$$Q_{[H \rightarrow G]_y} = (30 \text{ cm}) \sin(\theta_H + 247^\circ) \sin(\theta_B) \quad (3.21)$$

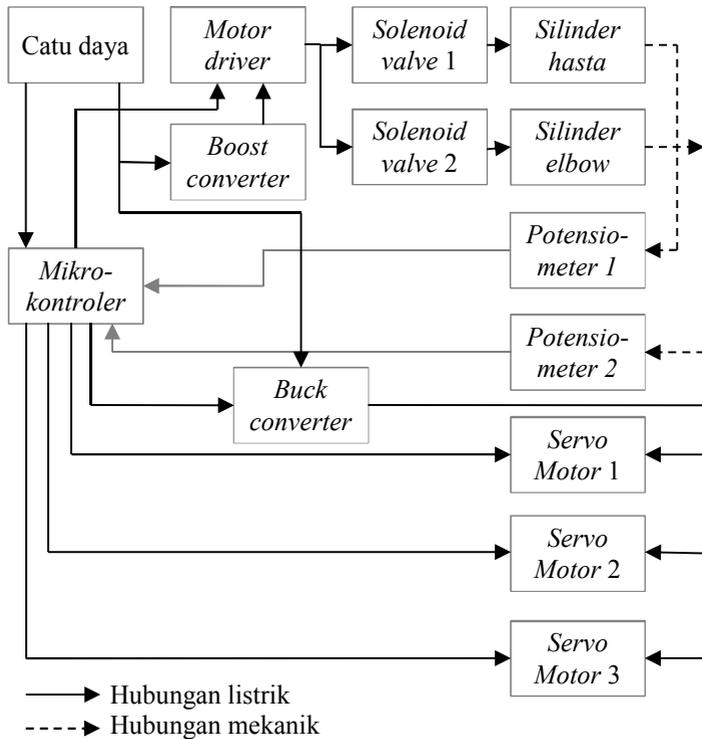
$$Q_{G_y} = Q_{[E \rightarrow H]_y} + Q_{[H \rightarrow G]_y} \quad (3.22)$$

$$Q_{G_y} = (34,4 \text{ cm}) \cos(\theta_E + 40^\circ) \sin(\theta_B) + (30 \text{ cm}) \sin(\theta_H + 247^\circ) \sin(\theta_B) \quad (3.23)$$

### 3.2. Kerangka Sistem

Dalam perancangan lengan robot dengan sistem penggerak pneumatik, diperlukan perencanaan pada karakteristik fisik, rangkaian listrik, dan komposisi mekanik.

Untuk penyajian keseluruhan pada aspek rangkaian listrik, berikut blok diagram yang memuat keterkaitan komponen-komponen.



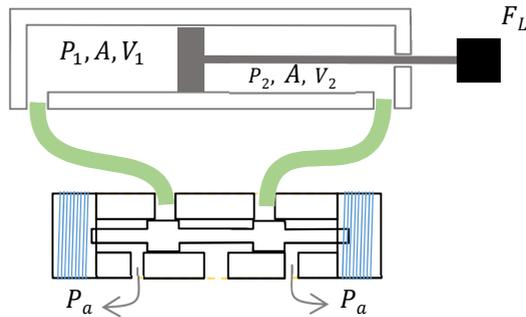
**bagan 3.1 bagan hubungan antar komponen pada sistem**

mikrokontroler sebagai pengontrol, terhubung dengan hamper semua komponen listrik. Seperti dijelaskan dalam subbab 2.1, *boost converter* dan *buck converter* digunakan untuk penyalaaan komponen tertentu, antara lain: *servo motor*, dan *solenoid valve*.

Berdasarkan pertimbangan, untuk mereduksi ruang bagi komponen, ukuran fisik robot, dan kebutuhan alat yang tidak termasuk dalam batasan masalah dalam tugas akhir ini, penggunaan *servo motor* pada bagian pengapit benda (*gripper*) lebih dipilih dibandingkan sistem pneumatik. Hal ini juga dipertimbangkan berdasarkan besarnya gaya dan momen gaya yang akan diangkat,

yang dipengaruhi oleh panjang lengan (jari-jari) di mana gaya berat benda diproyeksikan.

Sistem pneumatik memanfaatkan tekanan udara sebagai gaya untuk mendorong aktuator memindahkan obyek. Aktuator (silinder) dapat dipandang sebagai dua bilik terpisah dengan volume tidak tetap, yang diseparasi dengan sebuah piston.



**bagan 3.2 instalasi dan parameter pada valve dan silinder**

Persamaan yang menggambarkan gerak piston dan *bore* dituliskan sebagai berikut:

$$F_L + F_f = P_1 \cdot A - P_2 \cdot A \quad (3.24)$$

Dengan  $F_L$  sebagai besaran beban,  $F_f$  sebagai besaran gesekan,  $P_1$  sebagai besaran tekanan udara pada bilik 1,  $A$  sebagai besaran luas penampang piston, dan  $P_2$  sebagai besaran tekanan udara pada bilik 2. Diasumsikan bahwa gas yang digunakan bersifat ideal, hubungan antara volume, massa, dan tekanan gas (udara) dituliskan:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (3.25)$$

Dengan  $T$  sebagai nilai temperatur udara, dan  $R$  sebagai konstanta gas ideal (0,08205 L atm/mol K). Dalam bab teori penunjang telah disebutkan sebuah proses yang disebut proses isokhorik. Dalam penyaluran udara ke bilik 1, perubahan tekanan

yang terjadi pada proses ini dapat diabaikan pada fenomena yang terjadi di silinder, karena perubahan volume yang kecil dibandingkan volume tangki udara.

$$P_t \cdot V_t = P_1 \cdot V_1 \quad (3.26)$$

$$n_t \cdot R \cdot T_T = n_1 \cdot R \cdot T_1 \quad (3.27)$$

Pengaliran udara dalam durasi tertentu berimplikasi pada peningkatan massa (jumlah partikel) udara yang menempati bilik 1.

$$n = n_0 + \int_{t_0}^{t_1} Q \, dt \quad (3.28)$$

*Solenoid valve* yang digunakan bukan *proportional valve*, sehingga, debit udara ( $Q$ ) bernilai tetap. Penambahan jumlah partikel dalam bilik 1 mendorong piston untuk bergerak, dan berimplikasi pada penambahan panjang keluaran *stroke*.

$$L = L_0 + Q \cdot t \quad (3.29)$$

Perubahan panjang *stroke* dapat terjadiberupa pengurangan, atau penambahan, bergantung pada *port* yang menerima masukan udara bertekanan. Untuk melengkapi model matematika pada persamaan 3.6, perlu ditambahkan konstanta *dir* yang bernilai 1 atau -1 pada suku ketiga.

$$L = L_0 + dir \cdot Q \cdot t \quad (3.30)$$

### 3.3. Survei Spesifikasi dan Pengadaan Komponen

Komponen-komponen yang perlu disurvei antara lain: *solenoid valve*, dan *pneumatic cylinder*. Survei dilakukan dengan melihat katalog, baik versi cetak maupun versi elektronik. Dari survei yang dilakukan, didapat informasi-informasi penting. Untuk *pneumatic cylinder*, dipilih silinder pneumatik Sachio MA6432 dengan spesifikasi sebagai berikut.

**tabel 3.1 spesifikasi silinder yang dipilih**

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tipe	<i>Double acting</i>	-
2	<i>Stroke</i> (panjang batang keluaran piston)	50	mm
3	<i>Bore</i> (diameter batang keluaran piston)	44	mm
4	Rentang tekanan udara	0,05 s.d 1,0	MPa
5	<i>Fitting drat</i>	5	mm
6	<i>Rod end type</i>	5	mm

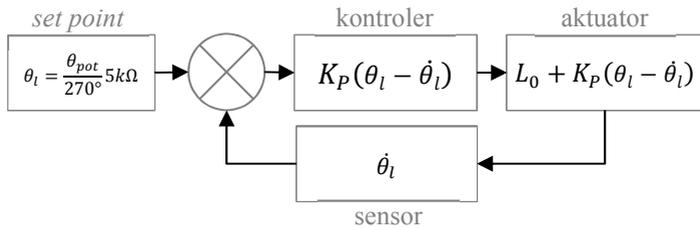
Survei lainnya dilakukan untuk *solenoid valve*, antara lain: SPC 4V130C-06 dan Autotech 4V130C-06. Tidak ditemukan *specification datasheet* yang tepat untuk kedua *solenoid valve* ini, namun informasi minimal telah diketahui, dan dilampirkan spesifikasi dari model yang sama pada merek lain.

**tabel 3.2 spesifikasi *solenoid valve* yang dipilih**

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1	Tipe	<i>5/3-way</i>	-
2	Rentang tekanan udara	0,15 s.d. 0,8	MPa
3	<i>Bore</i> (diameter batang keluaran piston)	44	mm
4	Rentang tekanan udara	0,05 s.d 1,0	MPa
5	<i>Fitting drat</i>	1/8	inch

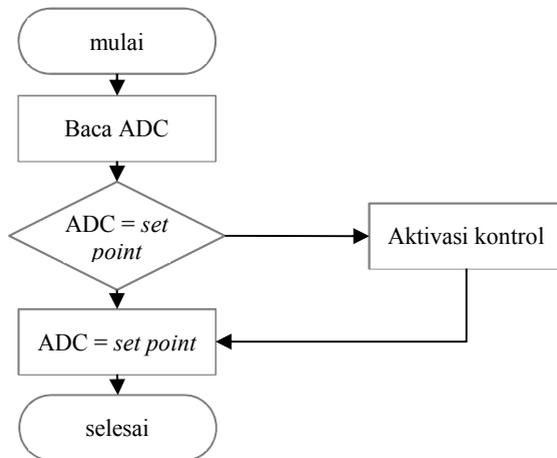
### 3.4. Pemrograman

Dipandang sebagai sebuah sistem kontrol, sistem yang dibangun digambarkan dengan diagram blok sebagai berikut.



**bagian 3.3 diagram blok sistem pengaturan posisi lengan**

Pemrograman meliputi perancangan kontrol untuk dua sub sistem pneumatik (terdiri dari sebuah silinder, sebuah *solenoid valve*, tiga potong selang, dua buah *silencer*, dan dua buah *speed control fitting*).



**bagian 3.4 diagram alir program**

Pembacaan posisi sudut untuk keperluan pemrograman yang dibuat, berdasarkan pada pembacaan nilai tegangan yang keluar dari potensiometer. Perbandingan perubahan tahanan dengan perubahan

sudut lengan (baik hasta maupun elbow) dianggap proporsional, yang berimplikasi pada perbandingan yang lurus antara nilai posisi sudut dengan nilai resistansi.

$$\theta = kR \quad (3.31)$$

dengan nilai  $R$  dalam  $k\Omega$ , yang berhubungan dengan nilai tegangan sesuai hukum Ohm:

$$V = IR \quad (3.32)$$

Nilai  $I$  (arus), tidak berubah, sebab rangkaian hanya berada pada satu *mesh*.

Nilai tegangan yang didapat dari potensiometer bersifat analog, dengan rentang tertentu. Untuk keperluan pengolahan pemrograman, digunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) yang telah terintegrasi dalam mikrokontroler.

Data dari ADC diolah untuk digunakan dalam evaluasi posisi sudut dari lengan, selanjutnya dilakukan penguatan sinyal ke aktuator untuk pengaktifan tenaga dorong/tarik. Aktuator akhir dari sistem pneumatik pada tugas akhir ini antara lain silinder pneumatik, yang dikendalikan oleh *solenoid valve*. Diperlukan tegangan 24 volt untuk penyalaan *solenoid valve*, dengan arus kira-kira 100mA. Untuk keperluan pengondisian sinyal sedemikian, digunakan *motor driver L298N*.

Dalam mikrokontroler, dirancang program kontrol berbasis *proportional control*. Perbedaan (selisih) antara nilai yang dikehendaki (*set point*) dengan nilai yang sedang terjadi (nilai aktual) disebut sebagai kesalahan (*error*). Pembacaan kesalahan (*error*) dilakukan dengan pengurangan antara *set point* dengan nilai aktual.

$$error = set\ point - nilai\ aktual \quad (3.33)$$

Aksi kontrol dalam mikrokontroler dilakukan dengan *one shot pulse*. Lebar pulsa disimbolkan dengan *width*. Nilai *width* mewakili

nilai kontrol, hasil perkalian antara nilai *error* dengan konstanta proporsional tertentu.

$$width = K \times error \quad (3.34)$$

Besaran *width* adalah lebar pulsa dengan nilai *high*. Lebar pulsa ini diukur berdasarkan pada domain waktu, sehingga besaran *width* ini adalah durasi penerusan udara bertekanan yang dinotasikan dengan lambang *t* pada persamaan 3.7.

$$t = K \times error \quad (3.35)$$

Dengan demikian, persamaan 3.7 dapat ditulis ulang sebagai berikut.

$$L = L_0 + dir \cdot Q \cdot K \cdot error \quad (3.36)$$

Nilai *K*, didapatkan dengan percobaan berulang (*tuning*), untuk mendapatkan nilai *K* yang relevan pada kontrol.

### 3.5. Pemasangan Komponen



**gambar 3.7 keseluruhan sistem**

Komponen-komponen yang telah tersedia dipasangkan pada konstruksi yang telah dibuat. Komponen-komponen yang berperan dalam kontrol dan dipasang pada lengan antara lain:

- Potensimeter  $5K\Omega$ , dipasangkan di persendian elbow dengan base, dan base dengan hasta;
- Silinder pneumatik dipasangkan pada bagian tertentu pada lengan, yang dalam perencanaan dan *designing* telah disediakan tempat untuk pengikatan ujung dan pangkal silinder; dan
- *Solenoid valve* dipasangkan pada bagian yang telah ditentukan dalam *designing*, yakni di base bagian belakang untuk menyeimbangkan konstruksi.

## BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Pengujian sistem yang dibangun dilakukan secara bertahap, yakni dengan membangun subsistem dan mengujinya, jika hasil pengujian subsistem yang telah dibangun cukup memuaskan, subsistem selanjutnya dikerjakan.

### 4.1. Pengujian Pada Hasta dan Elbow

Bagian hasta digerakkan dengan sistem pneumatik. Hal yang sama dengan jumlah berbeda juga berlaku untuk bagian elbow. Pengujian pada bagian hasta meliputi akurasi, keandalan, dan kekuatan.

Selisih sudut-sudut ekstrim pada bagian hasta berkisar pada nilai  $67^\circ$ , sedangkan pada bagian elbow berkisar pada  $20^\circ$ . Pada pembacaan nilai tegangan potensiometer yang telah dilakukan oleh ADC, didapatkan rentang nilai 970 s.d. 1023 untuk elbow, dan 138 s.d. 380 untuk hasta. Dengan demikian, untuk kalibrasi dan konversi dari nilai pembacaan oleh ADC ke besaran sudut, diturunkan dengan perbandingan antara rentang nilai pembacaan oleh ADC dengan rentang nilai sudut. Konversi nilai untuk bagian hasta, diturunkan dengan perbandingan rentang nilai antara pembacaan oleh ADC dengan sudut.

Dengan  $ADC_{max}$  sebagai nilai maksimum pembacaan ADC,  $ADC_{min}$  sebagai nilai minimum pembacaan ADC. Perbandingan ini tidak hanya berlaku untuk sudut-sudut ekstrim, dan pembacaan maksimum dan minimum oleh ADC, tetapi juga pada setiap nilai yang selisih dengan nilai minimum masing-masing besarnya, proporsional dengan besaran lainnya.

Anggap nilai minimum pada sudut hasta adalah nol, maka:

Nilai pembacaan oleh ADC minimum pada hasta adalah 47, nilai ini sebagai *offset* untuk nilai pembacaan oleh ADC. Kalibrasi nilai ADC dilakukan dengan pengurangan nilai pembacaan oleh ADC dengan nilai *offset* ini.

Nilai pembacaan minimum oleh ADC adalah 47, sehingga:

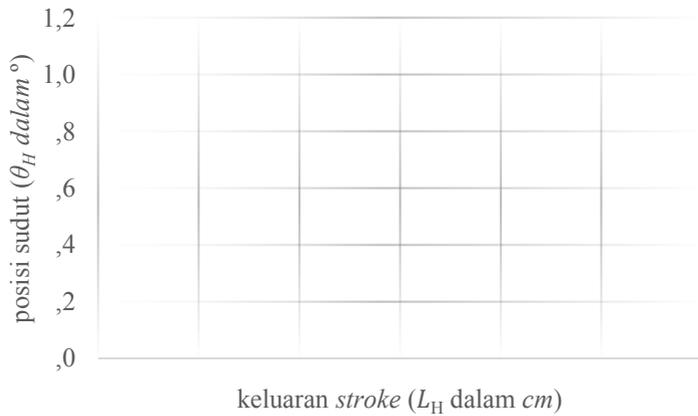
Nilai sudut dan pembacaan oleh ADC tidak dimungkinkan untuk bernilai negatif, sehingga konversi dari pembacaan oleh ADC ke besaran sudut didapatkan:

**(4.1)**

Pengujian lain dilakukan untuk mengukur implikasi panjang keluaran stroke terhadap posisi sudut hasta. Pengujian dilakukan dengan pengukuran fisik, yakni dengan penerikan dan pendorongan *stroke* dengan besaran-besaran tertentu dan diukur posisi sudut yang dicapai dengan sebuah busur derajat. Dari pengujian, didapat hasil berdasarkan tabel berikut.

**tabel 4.1 hasil pengujian posisi sudut lengan hasta**

No	<i>stroke</i>	sudut
1		
2		
3		
4		
5		
6		



**gambar 4.1 grafik implikasi *stroke* terhadap posisi sudut hasta**

memperhatikan tren pada gambar 4.1, fungsi yang mewakili model tersebut diwakili dengan persamaan garis lurus.

(4.2)

Aplikasi untuk nilai  $L_{H_0} = 1,0$  dan  $L_{H_t} = 2,0$  persamaan menjadi:

(4.3)

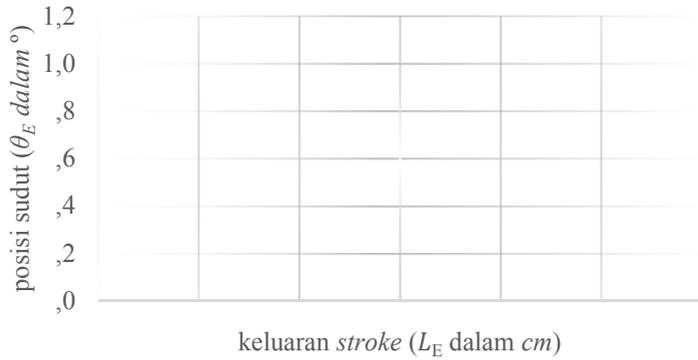
Pada sub sistem elbow, nilai minimum, baik pembacaan oleh ADC maupun sudut, adalah nol. Kesamaan nilai minimum ini berarti bahwa tidak diperlukan pengurangan sebesar *offset* tertentu. Perbandingan rentang-rentang nilai diturunkan sebagai berikut:

(4.4)

**tabel 4.2 hasil pengujian posisi sudut lengan elbow**

No	<i>stroke</i>	sudut
1		
2		
3		
4		

5		
6		



**gambar 4.2 grafik implikasi *stroke* terhadap posisi sudut elbow**

Pengujian untuk implikasi keluaran *stroke* terhadap posisi sudut lengan dilakukan dengan cara yang sama pada pengujian implikasi *stroke* terhadap posisi sudut pada ruas lengan hasta. Hasil pengujian yang didapat untuk bagian elbow antara lain disajikan pada tabel 4.2. memperhatikan tren pada gambar 4.2, fungsi yang mewakili model tersebut diwakili dengan persamaan garis lurus.

#### 4.5

Aplikasi fungsi untuk  $L_{E_t}=2,0 \text{ cm}$  dan  $L_{E_0} = 1,0 \text{ cm}$ , berimplikasi pada fungsi sebagai berikut

## 4.6

Untuk kinerja kontrol posisi oleh sistem pneumatik, telah diadakan dua metode. Metode pertama, dengan penentuan secara langsung titik di mana piston akan berhenti bergerak, dan metode kedua dengan penentuan durasi bukaan keran/*valve* dengan konstanta tertentu. Didapat hasil sebagai berikut: lengan berosilasi pada kuat besar bukaan keran tertentu, kapasitas pengangkatan beban tidak optimal karena bukaan keran diatur pada nilai rendah untuk pencegahan osilasi, dan udara pendorong (yang disediakan di tangki udara) lebih cepat habis karena fenomena osilasi.

**tabel 4.3 kesimpulan pada metode pertama**

No.	Ciri Hasil Percobaan	Kesimpulan
1	Posisi lengan berubah-ubah dalam jumlah kecil secara periodik	Lengan berosilasi
2	Lengan tidak berhasil mencapai <i>set point</i> saat diberi beban 375 g	Kapasitas rendah
3	Tangki udara habis setelah tiga kali percobaan	Tidak efisien

Pada metode lainnya, digunakan kontrol proporsional yang mengatur durasi pembukaan *solenoid valve*. pengujian dilakukan dengan memasukkan secara langsung suatu nilai *set point*.

```

void loop() {
    adchasta=analogRead(A0);
    suduthasta=adchasta;
    targethasta=244;
    errorhasta=targethasta-suduthasta;
    phasta=errorhasta*0.2;
    if (errorhasta>0) {
        digitalWrite(9,LOW);
        digitalWrite(10,HIGH);
        delay(abs(phasta));
    }
    digitalWrite(10,LOW);
}
else if (errorhasta<0) {
    digitalWrite(10,LOW);
    digitalWrite(9,HIGH);
    delay(abs(phasta));
    digitalWrite(9,LOW);
}
}

```

#### **bagan 4.1 kode program untuk pengontrolan posisi hasta**

```

adchasta=analogRead(A1);
suduthasta=adchasta;
targethasta=980;
errorhasta=targethasta-suduthasta;
phasta=errorhasta*1;
if (errorhasta>0) {
    digitalWrite(12,LOW);
    digitalWrite(11,HIGH); // pin 9
    delay(abs(phasta));
    digitalWrite(11,LOW);
}
else if (errorhasta<0) {
    digitalWrite(11,LOW);
    digitalWrite(12,HIGH); // pin 10
    delay(abs(phasta));
    digitalWrite(12,LOW);
}
}

```

#### **bagan 4.2 kode program untuk pengujian elbow**

Konstanta proporsional didapatkan dengan percobaan-percobaan pada sub sistem. Untuk posisi hasta, angka pembacaan oleh ADC 244 sama dengan:

Untuk nilai pembacaan oleh ADC sebesar 980 pada elbow, maka:

**tabel 4.4 kalibrasi konstanta P pada pengontrolan posisi elbow**

No.	Konstanta Proporsional	Sudut yang Dicapai (°)	Keterangan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

**tabel 4.5 kalibrasi konstanta P pada pengontrolan posisi hasta**

No.	Konstanta Proporsional	Sudut yang Dicapai (°)	Keterangan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			

Dari kedua tabel di atas, dapat diambil kesimpulan, nilai konstanta proporsional yang relevan untuk pengontrolan posisi sebesar 0,5 untuk hasta, dan sebesar 1,25 untuk elbow.

Untuk pembebanan, bagian hasta mampu mengangkut beban hingga 0,75 kg dengan nilai sudut yang didapat sebesar 20 °.

Berdasarkan pengujian pada konstanta proporsional, implikasi keluaran *stroke* terhadap posisi sudut ruas lengan, dan persamaan 3.13, perumusan pada ruas lengan hasta diturunkan dengan substitusi persamaan 3.7 ke persamaan 4.16.

4.7

4.8

4.9

Untuk ruas lengan elbow, persamaan 3.13 diaplikasikan ke persamaan 4.28.

4.10

4.11

4.12

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

1. Catu daya yang digunakan adalah catu daya listrik 24 volt~0.3A.
2. Pengontrolan sistem pneumatik lebih optimal dilakukan dengan pengaturan durasi pendorongan/penarikan udara dibandingkan dengan penentuan perpindahan piston.
3. Posisi sudut lengan yang digerakkan dengan sistem pneumatik memiliki galat sebesar  $\pm 1,265^\circ$ .
4. Durasi pengaliran udara bertekanan berbeda-beda untuk bobot beban yang berbeda-beda.

### 5.2. Saran

Untuk pengembangan dan penyempurnaan dari lengan robot dengan sistem pneumatik, rekomendasi yang didapat antara lain:

1. Penggunaan membran penyerap air pada keluaran *air tank*, untuk pencegahan peningkatan kelembaban udara, sehingga komponen logam yang dilewati udara lebih tahan lama.
2. Penggunaan *proportional spool valve*, untuk kontrol yang lebih baik.
3. Penggunaan sensor tekanan pada gripper, untuk memastikan nilai tekanan yang relevan dengan benda yang akan diangkat.
4. Penambahan dan optimalisasi mekanisme dan algoritma untuk berbagai nilai massa beban.

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

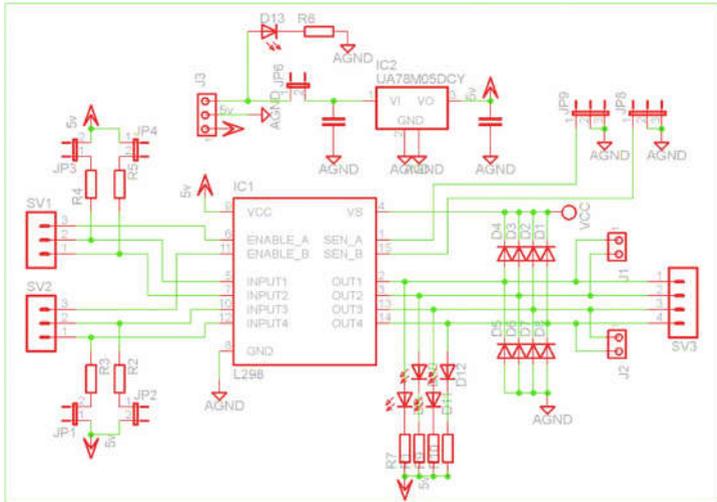
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, “L298n Motor Driver Board” <[http://www.geeetech.com/wiki/index.php/L298N\\_Motor\\_Driver\\_Board](http://www.geeetech.com/wiki/index.php/L298N_Motor_Driver_Board)>, (12 Desember 2016)
- [2] Ferdian Denny, “Aplikasi Sliding Mode Controller Pada Sistem *Pneumatic-Hydraulic Combination Control*”, 2016
- [3] Gonzales Carloz, “What’s the Difference Between Pneumatic, Hydraulic, and Electrical Actuators?”, <<http://machinedesign.com/linear-motion/what-s-difference-between-pneumatic-hydraulic-and-electrical-actuators>>, (18 Desember 2016)
- [4] Hak Muhammad, “Pengembangan OSD (On Screen Display) dengan Penambahan Menu untuk Aplikasi pada Semi Autonomous Mobile Robot dengan Lengan untuk Mengambil Objek”, 2016
- [5] Jain Preeti, “SMPS (Switched Mode Power Supply)”, <<http://www.engineersgarage.com/articles/smeps-switched-mode-power-supply>>, (12 Desember 2016)
- [6] Mraz Stephen, ”Pneumatic or servo?” <<http://machinedesign.com/pneumatics/pneumatic-or-servo>>, (18 Desember 2016)
- [7] Prayogo Angga, “Rancang Bangun Mesin Stempel Otomatis”, 2016
- [8] Qomaruzzaman Muhammad “Semi Autonomous Mobile Robot dengan Lengan untuk Mengambil Objek”, 2015
- [9] Takei Riku, Wakui Shinji, “Performance Improvement of Model Following Control for a Pneumatic Stage”, 2016,
- [10] Valentino, Rendi, “Pengembangan Semi Autonomous Mobile Robot Untuk Mengambil Objek Dengan Mempertimbangkan Berat Objek”, 2015
- [11] Zhang Weijun, et al, “The Optimization Scheme for EOD Robot Based on Supervising Control Architecture” 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics

*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# LAMPIRAN

## 1. Rangkaian L298 Motor Driver



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## RIWAYAT PENULIS



David Cesar dilahirkan di Jakarta Timur pada 11 Agustus 1994, putra ketiga dari pasangan Sahala Panahatan Sinurat dan Martha Asniar Eliza Situmorang. Beliau melakukan pendidikan di SD Strada Dipamarga (lulus tahun 2006), SMP Santa Maria Fatima (lulus tahun 2009), dan SMAN 12 Jakarta (lulus tahun 2012), dan melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Beliau pernah aktif dalam beberapa organisasi: HIMATEKTRO-ITS (sebagai staff Departemen Komunikasi dan Informasi, UKM Robotika ITS (sebagai staff Departemen Hubungan Masyarakat, GMKI Komisariat ITS Surabaya (sebagai Sekretaris Komisariat GMKI Komisariat ITS), dan Asisten Laboratorium di Laboratorium B-202 Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Cesar pernah mengikuti program kerja praktik di PT Semen Tonasa, Semen Indonesia Group, dalam fokus sensor dan instrumentasi dengan melakukan penelitian pada *gas analyzer* pada bagian *pre heater*, *coal mill*, dan *kiln* di sektor 5 PT. Semen Tonasa, Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan, Sulawesi Selatan.

Di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Cesar mengambil fokus bidang robotika dalam tugas akhirnya.