



**RANCANG BANGUN ROBOT LENGAN 3DoF PENGANTAR MINUMAN
DENGAN METODE *INVERSE KINEMATIC***



UNIVERSITAS
Dinamika

Oleh:

Erwin Fajar Kurniawan

18410200015

FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA

UNIVERSITAS DINAMIKA

2023

**RANCANG BANGUN ROBOT LENGAN 3DoF PENGANTAR MINUMAN
DENGAN METODE *INVERSE KINEMATIC***

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana
Teknik**



Disusun Oleh:
Nama : Erwin Fajar Kurniawan
NIM : 18410200015
Program Studi : S1 Teknik Komputer

**FAKULTAS TEKNOLOGI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS DINAMIKA
2023**

TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN ROBOT LENGAN 3DoF PENGANTAR MINUMAN DENGAN METODE *INVERSE KINEMATIC*

Dipersiapkan dan disusun oleh:

Erwin Fajar Kurniawan

NIM : 18410200015

Telah diperiksa, dibahas, dan disetujui oleh Dewan Pembahas

Pada: 30 Januari 2023

Susunan Dewan Pembahas :

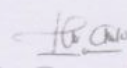
Pembimbing:


I. **Hariato. S.Kom., M.Eng.**
NIDN: 0722087701


II. **Musayyanah. S.ST., M.T.**
NIDN: 0730069102

Pembahas:


I. **Pauladie Susanto. S.Kom., M.T.**
NIDN: 0729047501


conf:harianto.Hariato,
o=Universitas Dinamika,
ou=Prodi SI Teknik Komputer,
email=haris@dinamika.ac.id,
c=ID
2023.02.02 14:09:14 +0700


Digitally signed by
Musayyanah
DN: cn=Musayyanah,
o=Universitas Dinamika,
ou=SI Teknik Komputer,
email=musayyanah@dinamika.ac.id, o=ID
Date: 2023.02.02 14:19:02
+0700
Unique Inclusive Identifier
=160853022.0001.202304


Universitas Dinamika
2023.02.02 13:50:24
+0700

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana

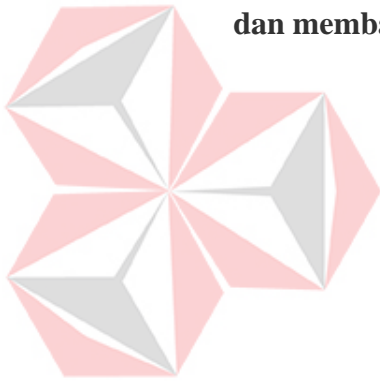

Digitally signed by
Universitas Dinamika
Date: 2023.02.02
16:41:06 +0700

Tri Sagirani. S.Kom., M.MT.
NIDN: 0731017601

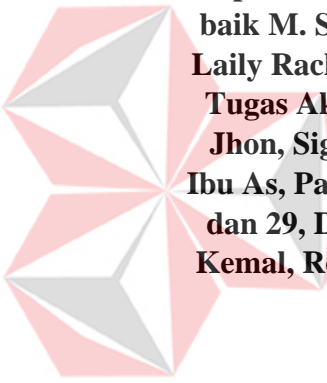
Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika

UNIVERSITAS DINAMIKA

“Tak ada sebuah hal yang terlambat untuk melakukan sesuatu yang baik dan membahagiakan orang lain, tetap jalan tanpa rasa ragu dan tanpa mengenal lari sebelum mencoba melakukannya”



UNIVERSITAS
~ Erwin Fajar Kurniawan ~
Dinamika



Dipersembahkan Teruntuk Almarhuma Ibu Tercinta Rockiyah, Ayah Terbaik M. Sadikin, Kakakku yang menasehatiku Riska Andirani dan Karlina Laily Rachmatin , Pasangan setia Ervina Chabibatul Choiriyah, Partner tim Tugas Akhir Dimas Achmad Dahlan. Kemudian saudara ketintang Annas, Jhon, Sigit, Iyek, Dicky, Lek Gik, Lek Min, Lek Met, Lek Mat, Ayah Eko, Ibu As, Paman Nur. Serta dulur-dulur perjuangan Teknik Komputer Gen 28 dan 29, Dulur yang tidak akan dilupakan meskipun berbeda jalan Syahrie Kemal, Rocky Andika, Fathur Rozi, Daud, Fayed, Okky, Gunawan dan Kukuluh.

**SURAT PERNYATAAN
PERSETUJUAN PUBLIKASI DAN KEASLIAN KARYA ILMIAH**

Sebagai mahasiswa Universitas Dinamika, saya:

Nama : Erwin Fajar Kurniawan
NIM : 18410200015
Program Studi : S1 Teknik Komputer
Fakultas : Fakultas Teknologi dan Informatika
Jenis Karya : Laporan Tugas Akhir
Judul Karya : **RANCANG BANGUN ROBOT LENGAN 3DOF
PENGANTAR MINUMAN DENGAN METODE
INVERSE KINEMATIC**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

1. Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, Teknologi dan Seni, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Dinamika Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalti Free Right*) atas seluruh isi/ sebagian karya ilmiah saya tersebut di atas untuk disimpan, dialihmediakan dan dikelola dalam bentuk pangkalan data (*database*) untuk selanjutnya didistribusikan atau dipublikasikan demi kepentingan akademis dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau sebagai pemilik pencipta dan Hak Cipta
2. Karya tersebut di atas adalah karya asli saya, bukan plagiat baik sebagian maupun keseluruhan. Kutipan, karya atau pendapat orang lain yang ada dalam karya ilmiah ini adalah semata hanya rujukan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka saya
3. Apabila dikemudian hari ditemukan dan terbukti terdapat tindakan plagiat pada karya ilmiah ini, maka saya bersedia untuk menerima pencabutan terhadap gelar kejaran yang telah diberikan kepada saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 13 Desember 2022

Yang menyatakan



Erwin Fajar Kurniawan
NIM: 18410200015

ABSTRAK

Kopi merupakan hasil seduhan dari tanaman biji kopi yang telah mengalami proses penggilingan secara halus. Konsumsi kopi hingga saat ini terus meningkat, sehingga banyak munculnya kedai-kedai kopi sebagai bentuk usaha yang menjanjikan di masa pandemi Covid-19. Pandemi Covid-19 membatasi interaksi masyarakat dalam penyajian kopi, sehingga diperlukan teknologi yang dapat menyelesaikan masalah tersebut. Masalah tersebut dapat diselesaikan menggunakan robot lengan. Robot lengan merupakan rancangan mekanika yang dibuat secara spesifik menirukan gerakan tangan manusia dengan menggunakan berbagai komponen elektronika. Umumnya komponen yang digunakan untuk menggerakkan robot lengan adalah servo atau motor stepper. Dibutuhkan ketepatan derajat sudut dari robot lengan untuk mencapai koordinat x , y , dan z yang diinginkan. Metode yang digunakan agar robot lengan mencapai koordinat dengan ketelitian tinggi adalah *Inverse Kinematic*. Melalui perhitungan *inverse kinematic*, derajat dari lengan tiap sudut mempunyai nilai rata-rata *error* untuk sudut 1 sebesar 3%, sudut 2 bernilai 3% dan sudut 3 mempunyai nilai 4% sehingga tingkat keberhasilan tinggi, sedangkan untuk tingkat keberhasilan koordinat x , y dan z pada IoT mempunyai nilai rata – rata *error* 0% di setiap koordinat x , y dan z .

Kata Kunci : Robot Lengan, *Inverse Kinematic*, 3DoF

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT Atas rahmat dan ridhanya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Rancang Bangun Robot Lengan 3DoF Pengantar Minuman Dengan Metode *Inverse Kinematic***” tepat pada waktunya, yang dimana sebagai syarat untuk lulus dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T.). Laporan Tugas Akhir tidak akan selesai tepat waktu tanpa bimbingan dan dukungan serta do’a dari berbagai pihak. Penulis ucapkan terima kasih kepada :

1. Keluarga, terutama kedua orang tua yang telah memberikan dukungan serta do’a sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Ibu Tri Sagirani, S.Kom., M.MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi dan Informatika (FTI) Universitas Dinamika.
3. Bapak Pauladie Susanto, S.Kom., M.T., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Komputer Universitas Dinamika dan Dosen Pembahas yang selalu memberi waktu dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Harianto, S.Kom., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberi waktu dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Musayyanah, S.ST., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberi waktu dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Pasangan Ervina Chabibatul Choiriyah yang memberikan dukungan dan menemani serta membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Serta seluruh dulur S1 Teknik Komputer Gen 28,29 yang memberikan semangat dalam proses mengerjakan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, suatu kehormatan bila pembaca dapat memberikan saran dan kritik, sehingga dapat memperbaiki dan lebih baik lagi. Penulis berharap, semoga laporan ini bermanfaat dan menambah wawasan bagi pembacanya. Terima kasih.

Surabaya, 12 Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Robot Lengan.....	5
2.2 Derajat Kebebasan Gerak	6
2.3 Kinematika.....	7
2.4 Kinematika Robot Lengan Planar Dua Sendi	8
2.5 Kinematika Robot Lengan Planar Tiga Sendi	9
2.6 Servo	10
2.7 Stepper Motor	11
2.8 Motor Driver L298N.....	13
2.9 Arduino	14
2.10 Mekanisme Pembuatan Kopi.....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Perancangan Perangkat Keras.....	17
3.2 Flowchart	18
3.3 Rangkaian Skematik	19
3.4 Desain Alat	21
3.5 Invers Kinematic 3DoF Koordinat X,Y,Z	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26

4.1 Perbandingan Sudut Robot Lengan dan Sudut Busur.....	26
4.1.1 Alat yang digunakan.....	26
4.1.2 Cara Pengujian	26
4.1.3 Hasil Pengujian Sudut Robot Lengan dan Sudut Busur.....	27
4.2 Perbandingan Posisi Robot Lengan <i>Inverse</i> dan Mistar	28
4.2.1 Alat yang digunakan.....	28
4.2.2 Cara Pengujian	29
4.2.3 Hasil Pengujian koordinat <i>Inverse</i> dan Mistar	29
BAB V PENUTUPAN	31
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	33
BIODATA PENULIS	64



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Konsumsi Kopi Domestik di Indonesia Periode 2014-2019 ..	1
Gambar 2. 1 Anatomi Robot Lengan	5
Gambar 2. 2 Degree of freedom.....	6
Gambar 2. 3 Transformasi Inverse Kinematic dan Forward Kinematic	7
Gambar 2. 4 Kinematik 2 DoF	8
Gambar 2. 5 Kinematik 3 DoF	9
Gambar 2. 6 Motor Servo.....	11
Gambar 2. 7 Motor Stepper NEMA 23	12
Gambar 2. 8 Motor Stepper NEMA Bipolar	12
Gambar 2. 9 Motor Stepper NEMA Unipolar.....	13
Gambar 2. 10 Motor Driver L298N	14
Gambar 2. 11 Arduino Due	15
Gambar 3. 1 Rangkaian Blok Diagram Sistem	17
Gambar 3. 2 Flowchart Sistem Robot Lengan 1	18
Gambar 3. 3 Flowchart Sistem Robot Lengan 2	18
Gambar 3. 4 Rangkaian Skematik.....	19
Gambar 3. 5 Desain robot lengan.....	21
Gambar 3. 6 Robot lengan dengan Modifikasi Caput.....	21
Gambar 3. 7 Tampak dari Atas	22
Gambar 3. 8 Robot Lengan XYZ.....	22
Gambar 3. 9 Posisi awal robot lengan.....	23

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Hubungan Setiap Komponen	20
Table 4. 1 Hasil Pengujian Sudut Robot Lengan	27
Table 4. 2 Hasil Pengujian Koordinat Inverse dan Mistar	29



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Source Code Program.....	35
Lampiran 2 Bukti Cek Plagiasi Buku TA	61
Lampiran 3 Keseluruhan Alat	63



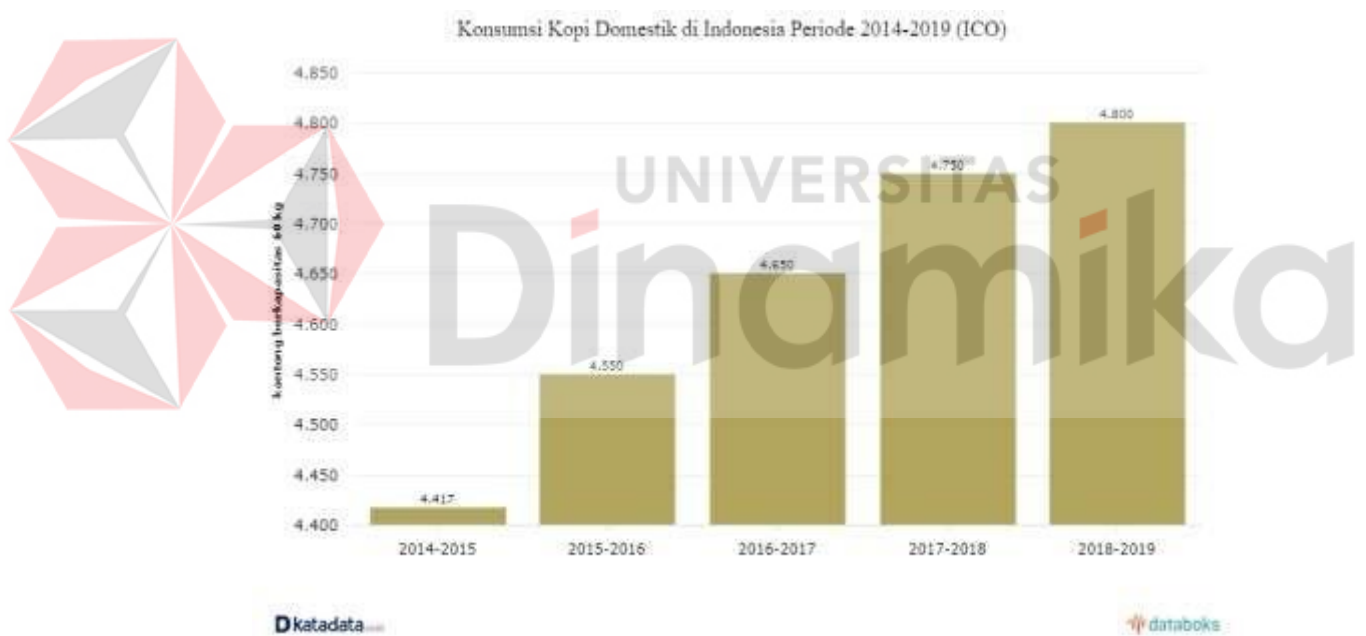
UNIVERSITAS
Dinamika

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi merupakan hasil seduhan dari tanaman biji kopi yang telah mengalami proses penggilingan secara halus. Secara umum kopi banyak terkenal dikalangan sekarang adalah kopi robusta dan arabika. Minuman kopi yang sekarang menambah minat dan konsumsi banyak orang untuk dipakai sebagai penambah daya aktivitas. Terbukti dengan kandungan utama kafeinnya yang mengandung *stimulant*, sehingga mengonsumsi dua cangkir kopi mampu meningkatkan kewaspadaan dan konsentrasi. Di Indonesia, komodi konsumsi kopi di Indonesia mulai tahun ke tahun meningkat terbukti mulai selama 5 tahun mulai dari 2014 hingga 2019 terjadi kenaikan.



Gambar 1. 1 Grafik Konsumsi Kopi Domestik di Indonesia Periode 2014-2019 (Sumber: (Cindy, 2020))

Meningkatnya konsumsi kopi menjadikan banyak munculnya kedai - kedai kopi sebagai bentuk usaha yang menjanjikan di masa sekarang. Namun karena keadaan pandemi Covid-19 banyak kedai kopi yang berkurang dan konsumsi kopi yang mulai menurun. Pada awal pembatasan sosial berskala besar (PSBB) diluncurkan, kebijakan ini membatasi pelanggan hanya diperbolehkan layanan *take away*

atau *delivery order* sehingga masyarakat memilih untuk mengonsumsi kopi dirumah (Sandy Adithia, 2021). Salah satu faktornya penyajian kopi yang masih dari manusia ke manusia dengan sentuhan langsung menjadikan kurangnya kesterilan.

Pesatnya perkembangan teknologi sekarang membantu menyelesaikan masalah yang ada pada saat pandemi. Salah satu kasus yang ada diatas tersebut bisa diselesaikan dengan membuat sebuah alat bantu yaitu robot lengan. Robot lengan merupakan alat yang dibuat untuk menirukan gerakan tangan manusia dengan menerapkan *Degree of Freedom* (DoF) pada gerakannya serta menggunakan berbagai komponen elektronika. Robot lengan banyak digunakan di industri sebagai alat bantu menyelesaikan pekerjaan. Salah satu metode yang dipakai untuk menggerakan robot lengan adalah metode *inverse kinematic*. Metode *inverse kinematic* merupakan metode yang menggunakan nilai koordinat x, y dan z serta mengetahui panjang tiap lengan robot untuk membentuk semua sudut pada robot lengan sehingga dalam penerapannya tingkat keakurasian dan ketelitiannya tinggi. Penggabungan semua hal itu menjadikan penulis membuat gagasan yang berupa tulisan dengan judul “Rancang Bangun Robot Lengan 3DoF Pengantar Minuman dengan Metode *Inverse Kinematic*”. Pada penelitian sebelumnya penerapan robot lengan dipakai untuk *etching* PCB yang dilakukan oleh Gita Ananda dengan judul “Rancang Bangun Lengan Robot Penjepit PCB 3 DoF Berbasis Arduino untuk Proses *Etching* PCB Otomatis” (Ananda, 2017) menggunakan metode *inverse kinematic* tetapi tidak menghubungkan dengan perintah IoT. Diharapkan dengan adanya alat ini membantu mengatasi masalah kesterilan dalam menyajikan minuman kopi sehingga konsumsi kopi di Indonesia tetap meningkat.

Rancang bangun robot lengan pengantar minuman siap saji ini berkolaborasi dengan Dimas Achmad Dahlan yang mengangkat tema mesin kopi otomatis dengan judul “Rancang Bangun Mixer Kopi Siap Saji Berbasis *Internet of Things*”. Penerapan robot lengan pada mixer kopi sebagai pengganti tangan manusia pada proses peracikan dan penyajian kepada pelanggan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan masalah pada Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat robot lengan dengan 3 DoF.
2. Bagaimana menerapkan metode *inverse kinematic* untuk pergerakan robot lengan.
3. Bagaimana menerapkan IoT pada robot lengan 3 DoF.

1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, pembahasan masalah dibatasi pada beberapa hal berikut :

1. Menggunakan *inverse kinematic* untuk pergerakan robot lengan.
2. Menggunakan 3 DoF.
3. Beban yang diangkat oleh robot lengan maksimal ± 250 gram.
4. Robot lengan hanya bergerak statis mengikuti perintah dari IoT.
5. Capit gelas tidak masuk hitungan DoF.
6. Derajat sudut lengan dari perhitungan *inverse kinematic* belum bisa diterapkan pada derajat servo.

1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas, didapatkan tujuan pada Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Membuat robot lengan pengantar minuman dengan 3 DoF.
2. Menerapkan metode *inverse kinematic* sebagai pergerakan robot lengan.
3. Menerapkan IoT pada robot lengan 3 DoF.

1.5 Manfaat

Adapun dari Tugas Akhir ini dapat diperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Memahami cara kerja robot terutama robot lengan atau robot manipulator.
2. Mempelajari dan menerapkan metode *inverse kinematic* sebagai salah satu metode pergerakan robot.
3. Penerapan robot lengan sebagai salah satu penyelesaian masalah pada saat pandemi Covid-19.



UNIVERSITAS
Dinamika

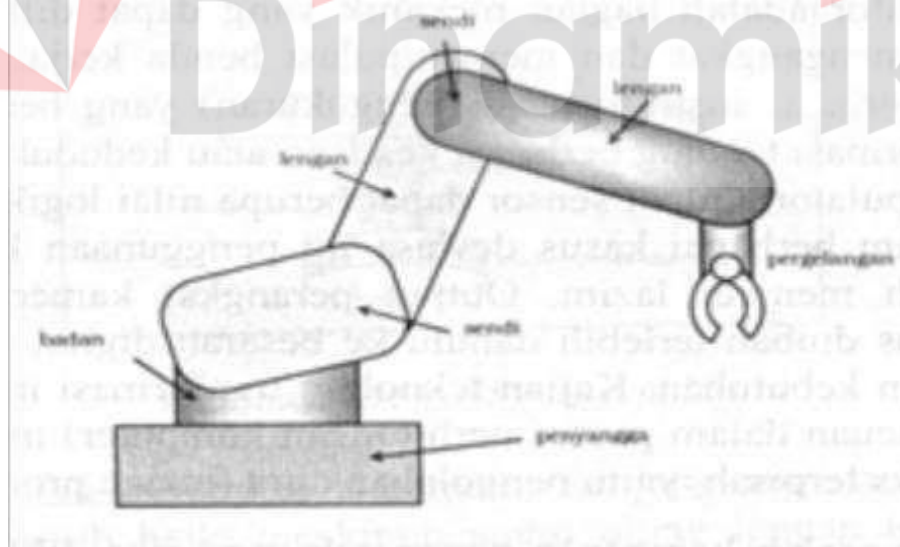
BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Robot Lengan

Pada dasarnya, robot merupakan piranti mekanik elektrik yang bekerja secara otomatis yang terdiri dari mekanisme mekanik yang memiliki suatu kontrol elektrik untuk melaksanakan tugas tertentu (Syuknarullah, 2019). Robot lengan adalah alat yang berbentuk seperti tangan manusia. Kegunaan robot lengan banyak digunakan di industri untuk membantu penyelesaian pekerjaan manusia. Menurut RIA (Robotic Industri of America) robot adalah sebuah program yang bisa ditulis berulang-ulang, manipulator multifungsi desain untuk memindah material, bagian, alat spesial yang siap dengan variabel gerakan terprogram untuk menunjukkan banyak variasi pekerjaan.

Robot lengan bisa digambarkan mempunyai 1 atau 2 lengan lebih dan sendi untuk pergerakannya. Robot lengan atau biasa disebut robot manipulator mempunyai beberapa bagian dalam menjalankan fungsinya. Bagian tersebut ada 4 bagian yaitu manipulator, sensor, aktuator dan kontroller.



Gambar 2. 1 Anatomi Robot Lengan
(Sumber: (Endra, 2006))

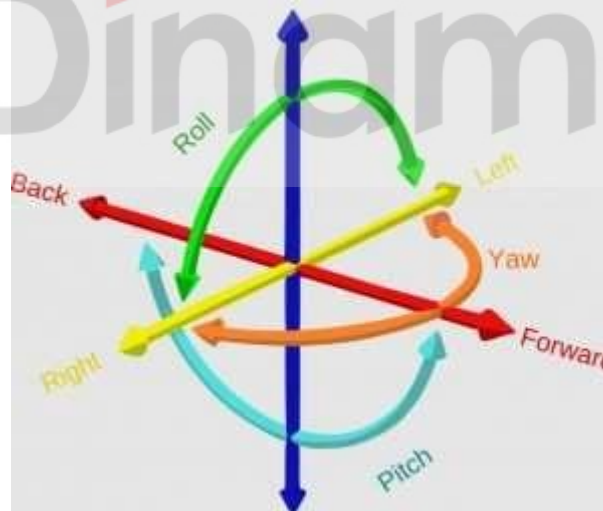
Manipulator merupakan bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk memindah mengangkat, dan memanipulasi benda kerja. Sensor adalah komponen berbasis instrumentasi (pengukuran) yang berfungsi sebagai pemberi informasi tentang berbagai keadaan atau kedudukan dari bagian-bagian manipulator.

Aktuator adalah komponen bergerak yang jika dilihat dari prinsip penghasil gerakannya yang dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu penggerak berbasis motor listrik (motor DC servo, stepper motor, motor AC, dsb). Penggerak *pneumatic* (berbasis kompresi gas: udara, nitrogen, dsb), dan penggerak hidrolis (berbasis kompresi benda cair: minyak pelumas, dsb).

Kontroller adalah rangkaian elektronik berbasis mikroprosesor yang berfungsi sebagai pengatur seluruh komponen dalam membentuk fungsi kerja.

2.2 Derajat Kebebasan Gerak

Derajat kebebasan gerak atau *Degree of Freedom* (DoF) adalah banyaknya gerakan dan sudut yang bisa dilakukan oleh sebuah objek (Abidin Mukhlas, 2020). Derajat kebebasan gerak pada lengan robot merupakan representasi dari sebuah sendi dari lengan manusia. Banyaknya sendi pada lengan robot biasanya mempengaruhi gerakan robot lengan tersebut namun, pada umumnya lengan robot hanya memiliki maksimal 6 derajat kebebasan gerak atau 6 DoF.

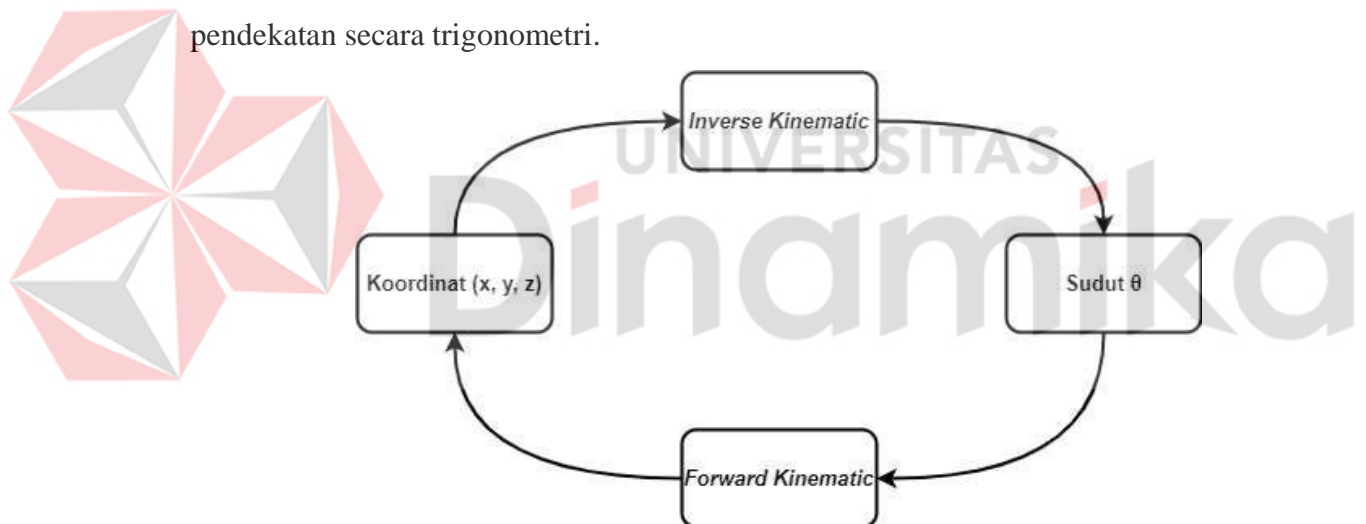


Gambar 2. 2 Degree of freedom
(Sumber: (Ajitesh, 2022))

Adanya derajat kebebasan gerak yang banyak pada lengan robot membuat perhitungan posisi dan sudut lengan robot semakin kompleks. Terdapat tiga gerakan pada lengan robot yaitu 1 maju-mundur, 2 kiri-kanan, 3 atas-bawah. Kemudian untuk gerakan di pergelangan tangan juga ada tiga yaitu 4 yaw, 5 pitch dan 6 roll.

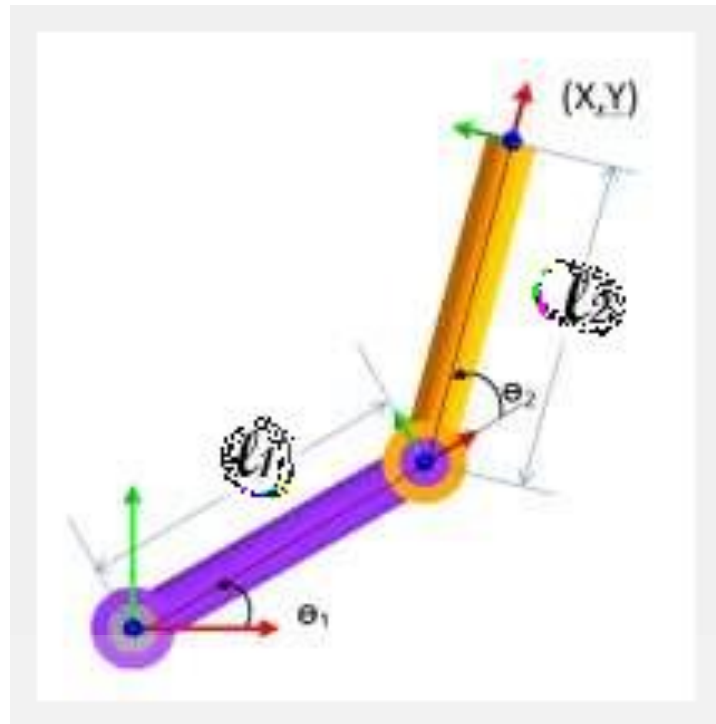
2.3 Kinematika

Pergerakan robot terbagi dalam dua analisa yaitu analisa kinematik dan analisa dinamik. Analisa kinematik yaitu pergerakan robot yang dianalisa tanpa melihat efek inersia/kelembaman ketika robot tersebut bergerak, sedangkan analisa dinamik berkebalikan dari kinematik yaitu dimana pergerakan robot dianalisa harus melihat efek inersia atau kelembaman (Dr. Raden Supriyanto, 2010). Penelitian ini menggunakan analisa kinematik untuk pergerakan robot lengan. Analisa kinematik mempunyai dua metode yaitu metode *forward kinematic* dan *inverse kinematic* dimana *forward kinematic* yaitu mencari posisi robot yang disimbolkan (x,y,z) dengan diketahui ruang sudut dan sendi, sedangkan metode *inverse kinematic* mencari posisi sudut terakhir yang ada pada robot dengan diketahui posisi (x,y,z) . Metode yang dipakai untuk membuat robot lengan di penelitian ini menggunakan *inverse kinematic*. Pendekatan penyelesaian dalam metode *inverse kinematic* yaitu pendekatan secara trigonometri.



Gambar 2. 3 Transformasi *Inverse Kinematic* dan *Forward Kinematic*

2.4 Kinematika Robot Lengan Planar Dua Sendi



Gambar 2. 4 Kinematik 2 DoF

Koordinat akhir lengan dinyatakan (x,y) .

Mencari x dan y bisa dilakukan dengan diketahui nilai l_1 dan l_2 serta sudut pertama (θ_1) dan sudut kedua (θ_2) .

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (2)$$

Dimana l_1 adalah panjang lengan pertama dan l_2 adalah panjang lengan kedua, kemudian θ_1 adalah sudut yang dihasilkan lengan pertama terhadap sumbu x dan θ_2 adalah sudut yang dihasilkan lengan kedua.

Persamaan no (1) dan (2) adalah persamaan untuk perhitungan *forward kinematic* mencari nilai x dan y pada robot lengan 2 sendi.

Persamaan no (1) dan (2) bisa dijabarkan dan ditulis menjadi :

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos \theta_1 \cos \theta_2 - l_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2 \quad (3)$$

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin \theta_1 \cos \theta_2 + l_2 \cos \theta_1 \sin \theta_2 \quad (4)$$

Pada *Inverse Kinematik* yang dicari adalah sudut – sudut tiap lengan jadi dari dua persamaan no (3) dan (4) dengan menggunakan hukum trigonometri dapat mencari sudut kedua (θ_2) terlebih dahulu sehingga persamaannya menjadi:

$$\cos \theta_2 = \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \quad (5)$$

Rumus persamaan (5) pada sudut kedua (θ_2) bisa dituliskan kembali :

$$\theta_2 = \arccos \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2} \quad (6)$$

Setelah ditemukan nilai pada sudut kedua (θ_2), selanjutnya mencari nilai sudut pertama (θ_1) dengan tetap menggunakan hukum trigonometri didapat rumus persamaan:

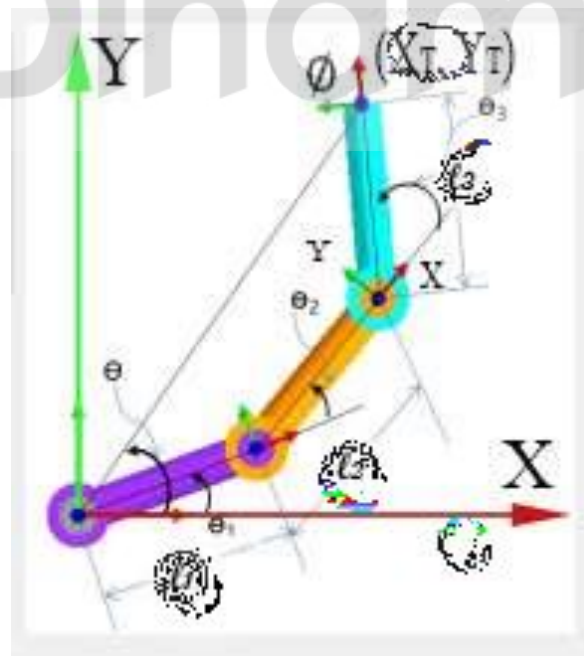
$$\tan \theta_1 = \frac{y(l_1 + l_2 \cos \theta_2) - x.l_2 \sin \theta_2}{x(l_1 + l_2 \cos \theta_2) + y.l_2 \sin \theta_2} \quad (7)$$

Sehingga persamaan (7) pada sudut pertama (θ_1) bisa ditulis kembali :

$$\theta_1 = \arctan \left(\frac{y(l_1 + l_2 \cos \theta_2) - x.l_2 \sin \theta_2}{x(l_1 + l_2 \cos \theta_2) + y.l_2 \sin \theta_2} \right) \quad (8)$$

Hasilnya persamaan (6) untuk nilai sudut kedua (θ_2) dan (8) nilai sudut pertama (θ_1) adalah persamaan *inverse kinematic* bagi robot lengan dua sendi dalam mikrokontroller menggunakan satuan radian.

2.5 Kinematika Robot Lengan Planar Tiga Sendi



Gambar 2. 5 Kinematik 3 DoF

Robot lengan tiga sendi mempunyai konfigurasi seperti robot lengan dua sendi namun mempunyai penambahan satu lengan sehingga sudutnya juga bertambah menjadi sudut ketiga (θ_3) dan juga penambahan lengan ketiga (l_3).

Pertama - tama menggunakan analisis *forward kinematic* maka koordinat (X_T, Y_T) dapat diperoleh

$$X_T = l_1 \cos(\theta_1) + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (9)$$

$$Y_T = l_1 \sin(\theta_1) + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (10)$$

Dimana X_T adalah koordinat X Total atau X akhir dari semua lengan dan Y_T adalah koordinat Y Total atau Y akhir dari semua lengan, kemudian (θ_3) adalah sudut yang dihasilkan dari lengan ketiga dan (l_3) adalah panjang lengan ketiga.

Penerapan *Inverse Kinematics* pada planar tiga sendi yang harus dilakukan adalah pertama mencari koordinat x dan y dari koordinat X_T, Y_T dan juga ϕ maka persamaannya bisa didapatkan

$$X_T = x - l_3 \cos \phi \quad (11)$$

$$Y_T = y - l_3 \sin \phi \quad (12)$$

Koordinat x dan y adalah koordinat pada lengan dua dan ϕ adalah sudut tiga terhadap sumbu x. Setelah ditemukan koordinat x dan y maka selanjutnya adalah mencari nilai sudut kedua (θ_2) dan sudut pertama (θ_1) dari persamaan (6) dan (8).

Langkah terakhir yaitu mencari sudut 3 (θ_3) dengan persamaan

$$\phi = (\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \quad (13)$$

Kemudian bisa ditulis kembali menjadi

$$\theta_3 = (\theta_1 + \theta_2 - \phi) \quad (14)$$

Setelah semua sudut telah ditemukan maka inverse kinematic pada planar tiga sendi bisa diselesaikan.

2.6 Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC yang dirancang dengan *system control* umpan balik (positional feedback control) yang memungkinkan rotor dapat diposisikan secara akurat (Muhammad Agni, 2020). Motor servo merupakan motor

listrik dengan menggunakan *system closed loop*. *System closed loop* digunakan untuk mengendalikan akselerasi dan kecepatan pada sebuah motor listrik dengan keakuratan yang tinggi.



Gambar 2. 6 Motor Servo

(Sumber: (Sinaupedia, 2020))

Motor servo biasa digunakan dengan mengubah energi listrik menjadi mekanik dari komponen dua magnet permanen. Motor servo mempunyai tiga komponen utama yaitu : motor, potensi dan sistem kontrol. Motor servo bisa berputar hingga 360° dengan begitu perputaran motor servo bisa diatur perputarannya maju atau mundur.

2.7 Stepper Motor

Stepper motor seperti halnya motor servo yang bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Stepper motor mempunyai mekanisme motor brushless yaitu menggunakan shaft digabungkan permanent magnet berada ditengah dan coil elektromagnet pada setiap sisi menempel di tempat motor sehingga setiap putaran langkah pergerakan stepper menjadi lebih presisi dalam setiap derajatnya.

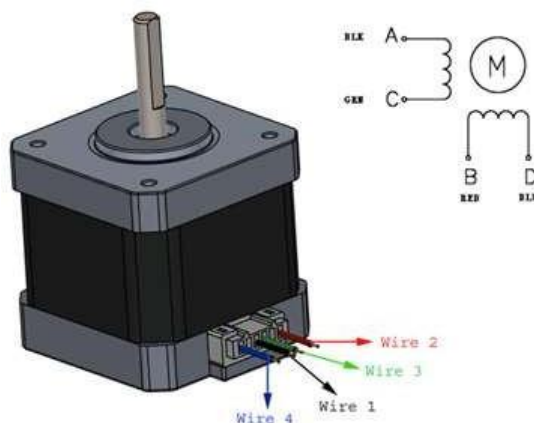


Gambar 2. 7 Motor Stepper NEMA 23

(Sumber: (Components101, Nema 23 Stepper Motor, 2019))

Motor stepper mempunyai 2 jenis yaitu Bipolar dan Unipolar. Perbedaan kedua jenis tersebut terletak pada input yang digunakan dan mempunyai kelebihan - dan kekurangan masing – masing.

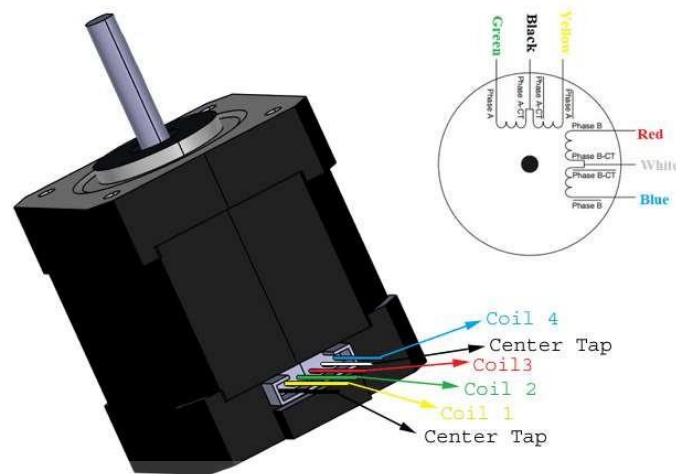
Bipolar menggunakan 4 buah inputan kabel membuatnya mempunyai dua kutub pada lilitan coil. Kelebihan pada jenis bipolar ini mempunyai daya torsi yang lebih besar daripada unipolar tetapi kekurangannya adalah mengendalikan putaran yang sulit.



Gambar 2. 8 Motor Stepper NEMA Bipolar

(Sumber: (Components101, Nema 23 Stepper Motor, 2019))

Unipolar menggunakan 6 buah inputan kabel sehingga mempunyai 4 kutub lilitan yang ada pada coil menjadikan kelebihan yang mudah diatur dalam setiap putarannya tetapi kekurangannya tidak mempunyai daya torsi yang besar seperti bipolar.



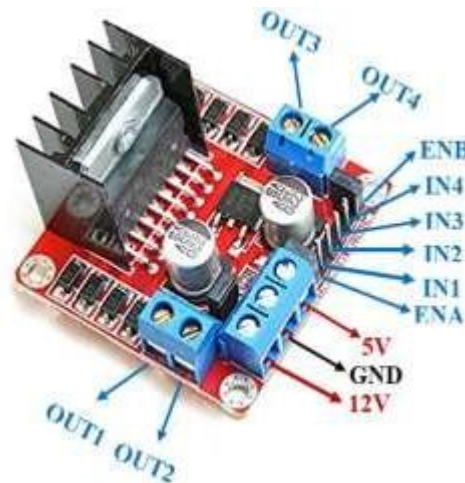
Gambar 2. 9 Motor Stepper NEMA Unipolar

(Sumber: (Components101, NEMA 17 Stepper Motor, 2019))

Putaran dalam setiap langkah yang biasanya digunakan oleh stepper sebanyak $1,8^\circ$ dan pada putaran penuh 360° sehingga membutuhkan 200 per putaran untuk mencapai putaran penuh tersebut.

2.8 Motor Driver L298N

Driver motor L298N adalah sebuah driver motor berbentuk dual H Bridge yang dapat menjalankan 2 buah motor secara bersamaan. L289N mempunyai fungsi untuk mengatur kecepatan dan arah gerak pada sebuah motor.



Gambar 2. 10 Motor Driver L298N

(Sumber: (Components101, L298N Motor Driver Module, 2021))

Pada pin OUT1 dan OUT2 digunakan sebagai outputan pin pada motor A dikendalikan dengan pin IN1 dan IN2 memakai ENA untuk mengaktifkan signal PWM sedangkan OUT3 dan OUT4 dipakai sebagai output pin pada motor B dikendalikan dengan pin IN3 dan IN4 memakai ENB untuk mengaktifkan signal PWM. Tegangan yang digunakan mencapai 12V dari power supply.

2.9 Arduino

Menurut website resminya Arduino adalah sebuah platform elektronik open-source yang mudah digunakan pada software Arduino. Terdapat banyak variasi dari board Arduino mulai dari yang kecil Arduino nano untuk memprogram suatu perintah kecil kemudian ada Arduino uno untuk pemrogram perintah sedang yang membutuhkan tambahan namun tidak kompleks dan ada Arduino due yang memuat banyak pin dan chip yang bisa menyimpan banyak perintah.



Gambar 2. 11 Arduino Due

(Sumber: (Arduino, n.d.))

Arduino Due adalah sebuah papan mikrontroller berbasis CPU ATMEL SAM3X8E Arm Cortex-M3. Arduino Due merupakan Arduino pertama berbasis 32-Bit ARM core microcontroller. Arduino Due mempunyai 54 digital input/output pins yang 12 dapat dignakan sebagai PWM outputs. Komponen dari Arduino terdapat microcontroller sebagai mesin dari Arduino dan terdapat juga microprocessor sebagai otak pengatur perintah, kemudian terdapat pin untuk menyambungkan Arduino dengan komponen-komponen elektronika lain dan terakhir Arduino mempunyai konektor sebagai penghubung daya dan uploader program.

Selain hardware dari Arduino juga mempunyai software pemogram sendiri dinamakan dengan Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) berbasis bahasa pemrograman c++, terdapat banyak library dari berbagai komponen dan microcontroller lain. Arduino IDE adalah software yang berfungsi untuk menuliskan kode program, debugger kode program, dan sebagai compiler program. Dimana file hasil compile akan di-write ke chip Arduino, sehingga Arduino dapat berfungsi secara mandiri (Dodit Suprianto, 2019).

2.10 Mekanisme Pembuatan Kopi

Pembuatan kopi membutuhkan tahapan dalam Modul Pelatihan Barista Teknik penyeduhan Kopi Tubruk secara manual atau Manual Brew yang pertama

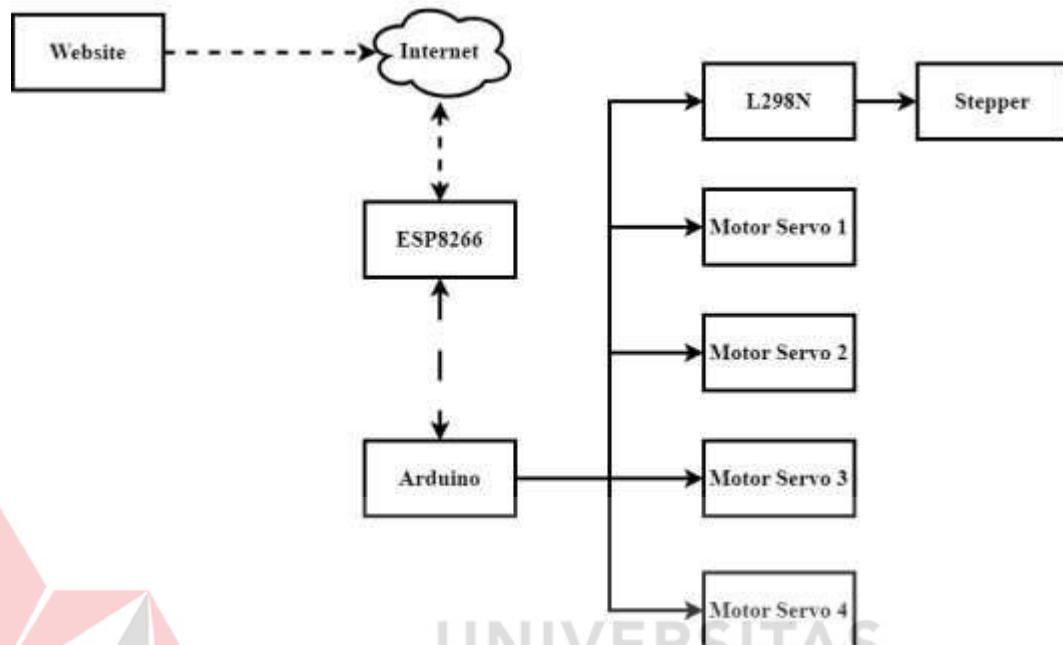
yaitu masak air hingga suhu 89-90° C. Jika tak punya thermometer, masak air sampai mendidih dan biarkan 1,5-2 menit. Kemudian yang kedua siapkan kopi yang akan kita seduh, biasanya sekitar 13-14 gram untuk 200ml air. Jika tidak ada timbangan gunakan dua sendok teh untuk satu cangkir air lalu tahap yang ketiga tuangkan air ke kopi dan biarkan 30 detik (YIIM, 2021) . Hal tersebut merupakan standar minimal dalam industri pembuatan kopi. Warung kopi pada umumnya membuat takaran 2 sendok kopi hitam dan 1 sendok gula untuk satu gelas. Namun sebelum membuat kopi kedalam suatu wadah, kemudian tuang air yang sudah mendidih kedalam takaran kopi dan aduk, siapkan cangkir beserta takaran gula, lalu saring kopi kedalam cangkir agar ampas tidak ada dan yang terakhir aduk kopi hingga rata dan kopi siap dinikmati.



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Perangkat Keras



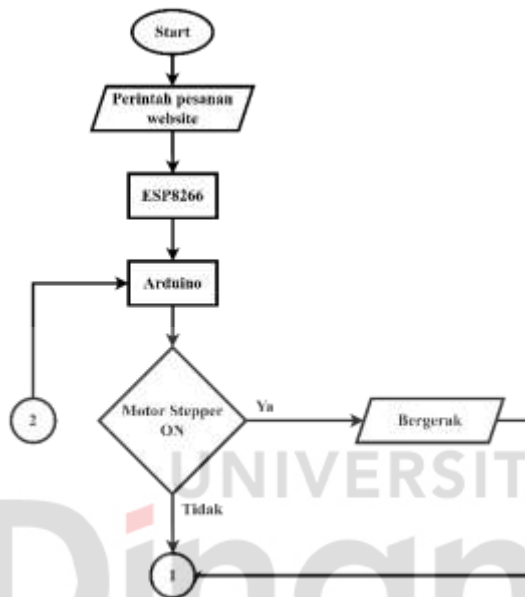
Gambar 3. 1 Rangkaian Blok Diagram Sistem

Gambar 3.1 adalah gambaran blok diagram untuk sistem robot lengan. Inputan berasal dari *website* kemudian diteruskan ke Arduino yang mengatur apakah motor stepper atau motor servo sebagai penggerak lengan robot. Fungsi dari blok diagram dijelaskan sebagai berikut :

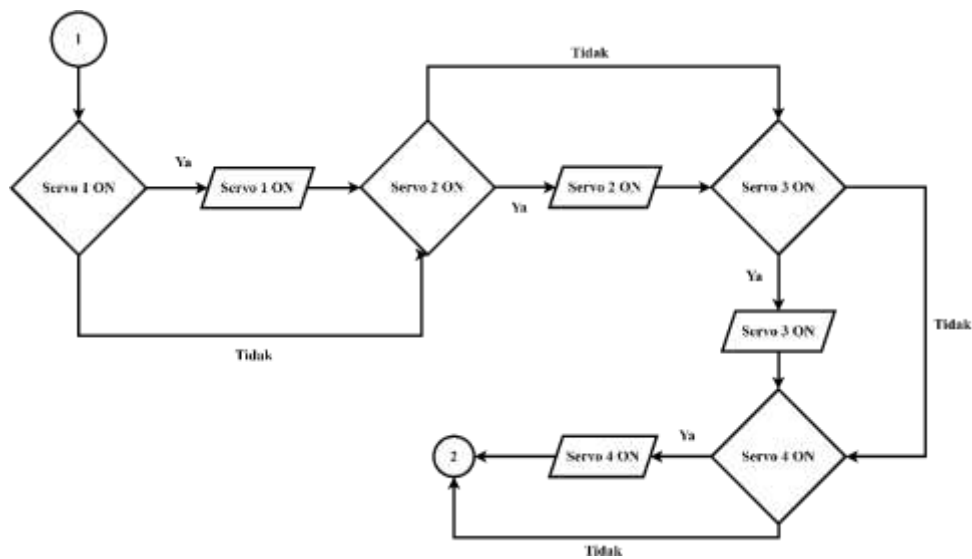
1. *Input*
 - a. *Website* adalah inputan *IoT* dari pengguna untuk melakukan pesanan.
2. *Proses*
 - a. ESP8266 sebagai modul untuk menyambungkan Arduino kedalam jaringan internet.
 - b. Arduino adalah mikrokontroler sebagai pemroses kondisi dan perintah dari masukan yang akan diteruskan ke keluaran.
3. *Output*
 - a. L298N merupakan modul driver pengatur arah dan kecepatan untuk motor stepper.

- b. Motor Stepper sebagai motor penggerak slider dibutuhkan ketika memin-dah robot lengan untuk menjangkau posisi yang tidak terjangkau.
- c. Servo adalah motor penggerak lengan robot sebagai keluaran pergerakan dan perpindahan lengan robot sesuai tempat.

3.2 Flowchart



Gambar 3. 2 *Flowchart* Sistem Robot Lengan 1

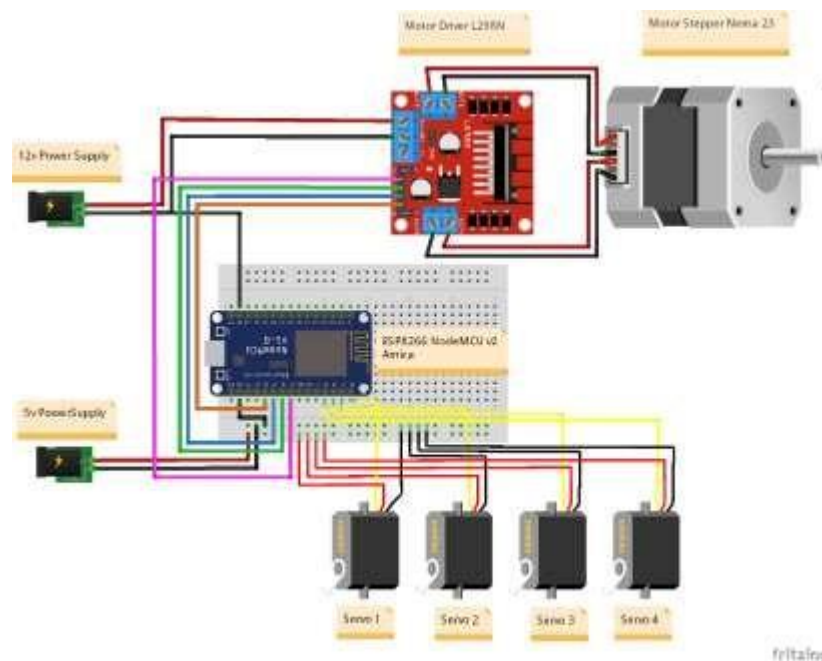


Gambar 3. 3 *Flowchart* Sistem Robot Lengan 2

Alur flowchart dimulai dari gambar 3.2 website menginputkan perintah pemesanan minuman secara online yang kemudian diterima oleh ESP8266 diteruskan oleh mikrokontroller Arduino. Selanjutnya ada percabangan untuk menentukan apakah inputan tadi menjalankan keluaran motor stepper on atau tidak, jika on maka motor stepper berjalan kemudian melanjutkan ke percabangan servo tetapi jika tidak maka lanjut ke percabangan servo juga yang ada pada gambar 3.3.

Gambar 3.3 merupakan alur selanjutnya ketika percabangan stepper on selesai dijalankan selanjutnya terjadi percabangan percabangan untuk menentukan gerak servo sesuai koordinat yang didapat. Proses pertama dilakukan dengan mengecek kondisi apakah servo pertama harus aktif, apabila ya maka servo 1 bergerak namun jika tidak mengecek kondisi selanjutnya apakah servo 2 harus aktif, apabila ya maka servo 2 bergerak namun jika tidak mengecek kondisi selanjutnya apakah servo 3 harus aktif, apabila ya maka servo 3 bergerak namun jika tidak berlanjut mengecek kondisi selanjutnya apakah servo 4 harus aktif, jika ya maka servo 4 bergerak jika tidak kembali melakukan perhitungan oleh Arduino pada gambar 3.2. proses ini berulang hingga perintah pemesanan minuman selesai dilakukan.

3.3 Rangkaian Skematik



Gambar 3. 4 Rangkaian Skematik

Rangkaian skematik ditunjukkan pada gambar 3.4 terdiri atas Arduino dan ESP8266 disuplai dengan tegangan 5v, kemudian motor driver L298N sebagai pengatur kecepatan dan penggerak motor stepper NEMA 23 disuplai dengan tegangan 12v, lalu yang terakhir 4 buah servo sebagai penggerak robot lengan beserta caput robot lengan.

Komponen - komponen yang terhubung akan dijelaskan pada Tabel 3.1 :

Tabel 3. 1 Hubungan Setiap Komponen

Arduino	Servo	L298N	NEMA23	Power supply 12v	Power supply 5v
GND	GND Semua Servo	GND		GND	GND
VCC	VCC 5V Semua Servo				VCC Servo
		VCC 12V		VCC LN298N	
D0	Signal Servo1				
D1	Signal Servo2				
D2	Signal Servo3				
D3	Signal Servo4				
D5		IN1			
D6		IN2			
D7		IN3			
D8		IN4			
		OUT1	A-		
		OUT2	A+		
		OUT3	B-		
		OUT4	B+		

3.4 Desain Alat



Gambar 3. 5 Desain robot lengan
(Sumber: (daGHIZmo, 2022))

Gambar 3.5 menunjukkan desain robot lengan yang dipakai terdapat 4 buah servo untuk menggerakkan lengan tersebut dan mempunyai pergerakan sebanyak 3DoF dengan servo yang terakhir tidak masuk ke dalam hitungan DoF karna hanya sebagai pengapit gelas minuman. Masing - masing lengan robot mempunyai panjang dimulai dari lengan 1 berukuran 10cm kemudian lengan 2 berukuran 15cm dan lengan 3 berukuran 15cm juga.



Gambar 3. 6 Robot lengan dengan Modifikasi Capit

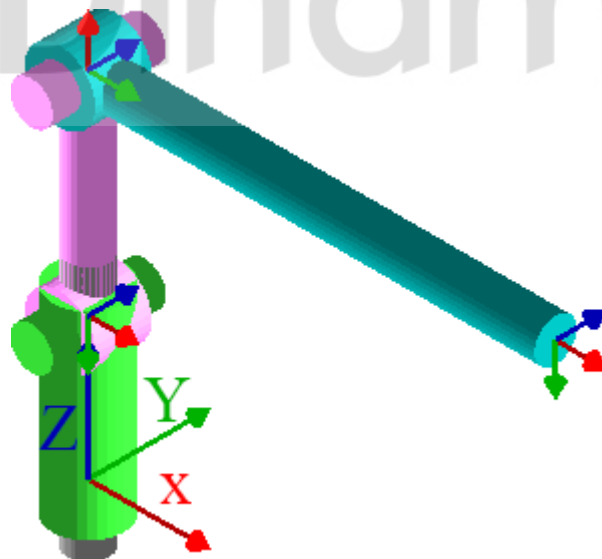


Gambar 3. 7 Tampak dari Atas

Capit robot lengan disesuaikan untuk bisa membawa gelas minuman karena capit yang sebelumnya terlalu pendek tetapi tidak merubah fungsi kerja dari robot lengan.

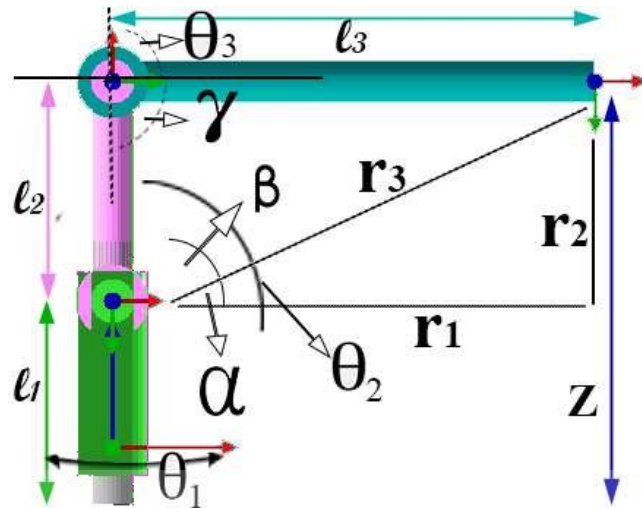


3.5 Invers Kinematic 3DoF Koordinat X,Y,Z



Gambar 3. 8 Robot Lengan XYZ

Implementasi pada robot lengan koordinat yang diketahui bertambah dari x dan y dengan koordinat z, Sehingga diperlukan rumus baru untuk mencari setiap sudut (θ). Menggunakan rumus yang berdasar pada trigonometri didapat beberapa langkah untuk menemukannya.



Gambar 3. 9 Posisi awal robot lengan

Langkah pertama mencari sudut pertama (θ_1) dari koordinat y dan x.

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (1)$$

θ_1 adalah sudut yang dihasilkan pada lengan pertama.

Kemudian sudut kedua (θ_2) di dapat dari beberapa langkah menggunakan metode trigonometri yaitu dimulai dari langkah (2) sampai ke (7).

$$r_1 = \sqrt{(x)^2 + (y)^2} \quad (2)$$

Variabel r_1 adalah nilai pada sisi samping segitiga.

$$r_2 = z - l_1 \quad (3)$$

Variabel r_2 adalah nilai pada sisi depan segitiga lalu z adalah nilai koordinat z dan l_1 adalah panjang lengan pertama.

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad (4)$$

Variabel β adalah sudut yang dihasilkan dari sisi depan segitiga (r_2) dan sisi miring segitiga (r_3).

$$r_3 = \sqrt{(r_1^2 + r_2^2)} \quad (5)$$

Variabel r_3 adalah nilai sisi miring segitiga.

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{l_3^2 - l_2^2 - r_3^2}{-2 * l_2 * r_3}\right) \quad (6)$$

Variabel α adalah sudut yang dihasilkan dari sisi samping segitiga (r_2) dan sisi miring segitiga (r_3). Selanjutnya variabel (l_2) adalah panjang lengan kedua dan variabel (l_3) adalah panjang lengan ketiga

$$\theta_2 = \beta + \alpha \quad (7)$$

θ_2 adalah sudut yang dihasilkan dari lengan kedua.

Terakhir sudut ketiga (θ_3) bisa di temukan dengan langkah ke (8) dan (9).

$$\gamma = \cos^{-1}\left(\frac{r_3^2 - l_2^2 - l_3^2}{-2 * l_2 * l_3}\right) \quad (8)$$

Variabel γ adalah sudut yang dihasilkan dari sisi samping segitiga (r_1) dan sisi depan segitiga (r_2).

$$\theta_3 = 180 - \gamma \quad (9)$$

θ_3 adalah sudut yang dihasilkan dari lengan ketiga.

Penerapan pada robot lengan ini yaitu mengukur koordinat x, y, dan z terlebih dahulu dari robot lengan, kemudian mengukur panjang tiap - tiap lengan robot sehingga penerapan rumus *inverse kinematic* diatas bisa digunakan pada program Arduino kemudian hasilnya membentuk sudut-sudut tiap lengan yang ada pada robot lengan.

Pada derajat sudut lengan hasil dari *inverse kinematic* ditiap sudut akan membuat servo berputar sesuai dengan nilai sudut perhitungan. Dimulai dari servo 1 akan bernilai sama dengan sudut pertama, kemudian servo 2 bernilai sama dengan sudut kedua dan servo 3 bernilai sama dengan sudut ketiga. Selanjutnya untuk servo

4 tidak akan mempunyai nilai yang sama dengan sudut apapun tetapi akan dimasukkan nilai manual karena servo 4 tidak masuk dalam hitungan DoF di *inverse kinematic*.

Hasil penerapannya pergerakan servo masih manual menggunakan *trial* dan *error* untuk mencapai koordinat yang sudah ditentukan dikarenakan program Arduino untuk menghitung nilai *inverse kinematic* tiap sudut lengan robot masih belum bisa diterapkan pada servo yang ada pada robot lengan sehingga nilai *inverse kinematic* digunakan sebagai hasil program pada serial monitor dan acuan ukuran pergerakan robot lengan pada koordinat x, y dan z yang telah ditentukan.



UNIVERSITAS
Dinamika

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perbandingan Sudut Robot Lengan dan Sudut Busur

Berdasarkan rumusan masalah penerapan *inverse kinematic* untuk robot lengan dilakukan pengujian untuk melihat nilai selisih dan *error* dari sudut yang dihasilkan pada robot lengan dengan pembacaan sudut dari busur. Pengujian bertujuan untuk membandingkan robot lengan mempunyai sudut yang tepat dengan menggunakan metode *inverse kinematic* dan busur sebagai indikator ketepatan dalam menghitung nilai derajat pada robot lengan.

4.1.1 Alat yang digunakan

Alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. Arduino
3. ESP8266
4. Busur
5. Robot lengan



UNIVERSITAS
Dinamika

4.1.2 Cara Pengujian

Tata cara pengujian mempunyai tahapan sebagai berikut :

1. Menyambungkan mikronkontroller Arduino dengan Laptop
2. Mengunggah program yang telah dibuat kedalam mikrokontroller
3. Robot lengan bergerak kearah inputan yang koordinat telah dimasukkan program.
4. Serial Monitor dalam program Arduino menghasilkan nilai sudut 1, 2 dan 3 pada robot lengan.
5. Menposisikan busur di setiap sudut 1, 2 dan 3 robot lengan bergantian kemudian amati nilai yang ada pada busur
6. Mencatat nilai pada busur dan bandingkan nilai yang ada pada serial monitor yang dihasilkan pada mikrokontroller Arduino

4.1.3 Hasil Pengujian Sudut Robot Lengan dan Sudut Busur

Hasil pengujian didapat dan bisa dilihat dalam tabel 4.1 :

Table 4. 1 Hasil Pengujian Sudut Robot Lengan

Uji	In-putan	Sudut Lengan Robot (Derajat)			Sudut Busur (Derajat)			Selisih (Derajat)			Error (%)		
		1	2	3	2	3	3	1	2	3	1	2	3
1	Gelas	43,39	48,05	142,88	40	50	140	3,39	1,95	2,88	8%	4%	2%
2	Kopi	83,70	49,66	74,32	80	50	75	3,70	0,34	0,68	5%	1%	1%
3	Susu	90,05	47,65	78,65	90	45	75	0,05	2,65	3,65	0%	6%	5%
4	Jahe	59,96	40,31	94,14	60	40	95	0,04	0,31	0,86	0%	1%	1%
5	Gula	80,58	49,36	74,99	80	50	70	0,58	0,64	4,99	1%	1%	7%
6	Air	74,09	37,81	93,88	70	40	90	4,09	2,19	3,88	6%	5%	4%
7	Aduk	87,75	47,89	52,22	85	50	50	2,75	2,11	2,22	3%	4%	4%
8	Gelas	43,39	48,05	142,88	40	50	140	3,39	1,95	2,88	8%	4%	2%
9	Kopi	83,70	49,66	74,32	80	50	75	3,70	0,34	0,68	5%	1%	1%
10	Susu	90,05	47,65	78,65	90	45	75	0,05	2,65	3,65	0%	6%	5%
11	Jahe	59,96	40,31	94,14	60	40	95	0,04	0,31	0,86	0%	1%	1%
12	Gula	80,58	49,36	74,99	80	50	70	0,58	0,64	4,99	1%	1%	7%
13	Air	74,09	37,81	93,88	70	40	90	4,09	2,19	3,88	6%	5%	4%
14	Aduk	87,75	47,89	52,22	85	50	50	2,75	2,11	2,22	3%	4%	4%
Rata – rata											3%	3%	4%

Hasil dari pengujian yang terdapat pada tabel 4.1 ditemukan pada 14 kali percobaan inputan menghasilkan nilai *error* pada sudut 1 sebesar 3% , sudut 2 juga 3% dan sudut 3 bernilai 4%. Mencari nilai *error* untuk pengujian tersebut menggunakan rumus sebagai berikut:

$$error = \left| \frac{Derajat Busur - Derajat Robot Lengan}{Derajat Busur} \right| \times 100\%$$

Nilai *error* di setiap sudut yang terdapat pada 14 kali percobaan bisa di temukan rata-ratanya dengan menjumlahkan nilai *error* ke 14 percobaan dan dibagi dengan total percobaan yang berjumlah 14, Sehingga sudut 1 mempunyai nilai error rata-rata 3%, sudut 2 rata-rata 3% dan sudut 3 berata-rata 4%.

$$rata - rata error = \frac{error\ rata - rata\ 1 + error\ rata - rata\ 2 \dots \dots}{14}$$

Nilai *error* yang didapat dikarenakan terjadi karena pergerakan servo yang masih kurang presisi dan juga penambahan gear pada servo 1 untuk menggerakkan lengan *base*.

4.2 Perbandingan Posisi Robot Lengan *Inverse* dan Mistar

Berdasarkan rumusan masalah yang ke 3 menerapkan IoT sebagai inputan minuman dilakukan pengujian untuk mengetahui tingkat selisih dalam koordinat x, y dan z pergerakan robot lengan dengan menggunakan metode *inverse kinematic* dan mistar. Pengujian ini bertujuan mengetahui tingkat keakuratan koordinat dalam penerapan metode *inverse kinematic* lewat IoT.

4.2.1 Alat yang digunakan

Alat yang dibutuhkan untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop
2. Arduino
3. ESP8266
4. Robot Lengan
5. Mistar

4.2.2 Cara Pengujian

Tata cara pengujian mempunyai tahapan sebagai berikut :

1. Menyambungkan mikronkontroller nodemcu dengan Laptop
2. Mengunggah program *inverse kinematic* kedalam mikrokontroller.
3. Serial Monitor menghasilkan nilai koordinat x, y dan z.
4. Mencatat nilai koordinat x, y dan z yang didapat dari program *inverse kinematic*.
5. Mengukur koordinat x, y dan z menggunakan mistar kemudian catat nilainya.
6. Membandingkan dengan nilai koordinat x, y, z.

4.2.3 Hasil Pengujian koordinat *Inverse* dan Mistar

Hasil pengujian didapat dan bisa dilihat dalam tabel 4.2 :

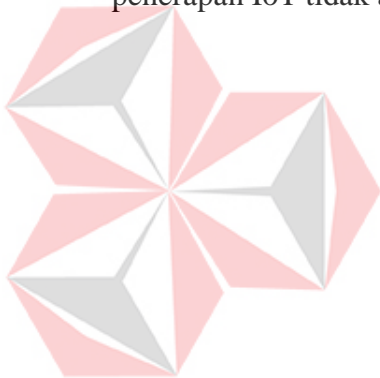
Table 4. 2 Hasil Pengujian Koordinat Inverse dan Mistar

Uji	Inputan	Koordinat <i>Inverse</i>			Koordinat Terukur			Selisih Jarak			Selisih Jarak		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	Gelas	18	17	24	18	17	24	0	0	0	0%	0%	0%
2	Kopi	2	18	9	2	18	9	0	0	0	0%	0%	0%
3	Susu	0	19	9	0	19	9	0	0	0	0%	0%	0%
4	Jahe	11	19	9	11	19	9	0	0	0	0%	0%	0%
5	Gula	3	18	9	3	18	9	0	0	0	0%	0%	0%
6	Air	6	21	8	6	21	8	0	0	0	0%	0%	0%
7	Aduk	+1	25	20	+1	25	20	0	0	0	0%	0%	0%
8	Gelas	18	17	24	18	17	24	0	0	0	0%	0%	0%
9	Kopi	2	18	9	2	18	9	0	0	0	0%	0%	0%
10	Susu	0	19	9	0	19	9	0	0	0	0%	0%	0%

11	Jahe	11	19	9	11	19	9	0	0	0	0%	0%	0%
12	Gula	3	18	9	3	18	9	0	0	0	0%	0%	0%
13	Air	6	21	8	6	21	8	0	0	0	0%	0%	0%
14	Aduk	+1	25	20	+1	25	20	0	0	0	0%	0%	0%
Rata-rata											0%	0%	0%

Tabel 4.2 menyajikan rata-rata dari selisih koordinat x, y dan z jika menggunakan perbandingan metode *inverse kinematic* dengan mistar didapat nilai rata-rata koordinat x adalah 0, y mendapat 0 dan z sebanyak 0.

Terlihat dari nilai di tabel 4.2 penerapan IoT sebagai perintah inputan minuman tidak mengalami *error* di dalam penerapannya sehingga metode *inverse kinematic* dalam penerapan IoT tidak akan merubah hasil dalam koordinat x, y dan z.



BAB V

PENUTUPAN

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan pengujian dan analisis pada robot lengan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pembuatan robot lengan 3 DoF bisa dibuat dengan berbagai cara yang salah satunya yaitu dengan desain 3D print menggunakan bahan filament sebagai bahan bakunya lalu pergerakannya menggunakan 3 servo seri MG990 dan 1 SG90 sebagai caput kemudian daya tegangan yang diperlukan memakai power supply 5v serta pengolah program gerakan menggunakan ESP8266 dan Arduino. Sebagai tambahan perpindahan bisa menggunakan slider dipasangkan dengan motor stepper nema 23 sebagai komponen penggerakannya.
2. Pergerakan robot lengan menggunakan metode *inverse kinematic* bisa dilakukan dengan tingkat keberhasilan yang tinggi dikarenakan tingkat *error* pada tiap sudut mempunyai nilai rata-rata *error* untuk sudut 1 sebesar 3%, sudut 2 bernilai 3% dan sudut 3 mempunyai nilai 4%, tetapi pada penerapan robot lengan disini hasil *inverse kinematic* hanya sebagai perhitungan tiap sudut lengan sedangkan penerapan pergerakan servo masih menggunakan penginputan nilai manual.
3. Pengujian pengukuran koordinat x, y dan z pada penerapan IoT robot lengan 3 DoF menggunakan *inverse kinematic* dengan mistar menghasilkan nilai rata-rata 0% di setiap koordinat x, y, z.

5.2 Saran

Berbagai kesimpulan diatas bisa menjadikan masukan beberapa saran untuk mengembangkan penelitian ini kedepannya. Adapun sebagai berikut :

1. Pembuatan robot lengan yang lebih presisi pada perhitungan gerak servo yang sama dengan sudut yang dihasilkan menggunakan *inverse kinematic* sehingga hasil dari pengujian bisa lebih maksimal.
2. Pemakaian sensor untuk pergerakan robot lengan.

3. Penggunaan motor stepper sebagai alternatif pengganti servo bisa dilakukan pada pergerakan robot lengan.
4. Desain robot lengan yang lebih besar sehingga bisa menjangkau ke setiap sudut inputan minuman tanpa menggunakan bantuan slider.



UNIVERSITAS
Dinamika

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin Mukhlas, S. B. (2020). Rancang Bangun Trainable Servo Robotic Arm 4 DoF (Degree of Freedom). *Jurnal Teknik Elektro, Volume 09 Nomor 02*, 321-329.
- Ajitesh, K. (2022, January 22). *Degree of Freedom in Statistics: Meaning & Examples*. Dipetik Juny 20, 2022, dari Data Analytics: <https://vitalflux.com/degree-of-freedom-in-statistics-meaning-examples/>
- Ananda, G. R. (2017). *Rancang Bangun Lengan Robot Penjepit PCB 3 DOF Bebasis Arduino Untuk Proses Etching PCB Otomatis*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Arduino. (t.thn.). *Store*. Dipetik Juny 20, 2022, dari Arduino: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-due>
- Cindy, A. M. (2020, November 24). *Konsumsi Kopi Domestik di Indonesia Terus Meningkat selama 5 Tahun Terakhir*. Dipetik Juny 20, 2022, dari databoks: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2020/11/24/konsumsi-kopi-domestik-di-indonesia-terus-meningkat-selama-5-tahun-terakhir>
- Components101. (2019, August 19). *NEMA 17 Stepper Motor*. Dipetik Juny 20, 2022, dari Components101: <https://components101.com/motors/nema17-stepper-motor>
- Components101. (2019, August 23). *Nema 23 Stepper Motor*. Dipetik Juny 20, 2022, dari Components101: <https://components101.com/motors/nema-23-stepper-motor-datasheet-specs>
- Components101. (2021, April 13). *L298N Motor Driver Module*. Dipetik Juny 20, 2022, dari Components101: <https://components101.com/modules/l293n-motor-driver-module>
- daGHIZmo. (2022). <https://www.thingiverse.com/thing:1454048/files>. Diambil kembali dari www.thingiverse.com.
- Dodit Suprianto, V. A. (2019). *Microcontroller Arduino untuk Pemula*. Malang: Jasakom.
- Dr. Raden Supriyanto, H. S. (2010). *ROBOTIKA*. UNIVERSITAS GUNADARMA: PHK-I.
- Endra, P. (2006). *ROBOTIKA : Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan*. Yogyakarta: Andi Offset.

- Muhammad Agni, A. R. (2020). Perancangan Robot Lengan Lima Derajat Kebebasan untuk Misi Pick and Place Berbasis Inverse Kinematic. *Prosiding SEMNASTERA*, 87-92.
- Sandy Adithia, M. P. (2021). Strategi Pemasaran Digital Produk Minuman Kopi di Masa Pandemi. *Journal of Research on Business and Tourism*, 37-46.
- Sinaupedia. (2020, January 18). *Pengertian Motor Servo*. Dipetik Juny 20, 2022, dari Sinaupedia: <https://sinaupedia.com/pengertian-motor-servo/>
- Syuknarullah, B. I. (2019). Rancang Bangun Robot Lengan Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Mesin Sains Terapan Vol 3 No.1*, 7-10.
- YIIM, Y. I. (2021, October). Modul Pelatihan Barista. hal. 34.



UNIVERSITAS
Dinamika