

Perancangan Awal dan Simulasi Lengan Robot 3 Derajat Kebebasan Berbasis Arduino yang Dikontrol dengan Aplikasi

Muhammad Faiq Winindra Satriatama^{1,a}, Levin Halim^{2,b}

^{1,2} Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

^ahalimlevin@unpar.ac.id

Abstrak.

Robot telah menjadi tren baru dalam operasional industri saat ini. Pekerjaan yang berbahaya, memiliki resiko tinggi dan membutuhkan akurasi tinggi dapat digantikan oleh robot. robot yang sering digunakan pada industri adalah lengan robot, pada umumnya lengan robot menjadi beberapa bagian yaitu *base*, *link*, *joint*, dan *end effector*. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan awal untuk lengan robot dengan tiga derajat kebebasan (*3 Degree of Freedom-DOF*) dengan keluaran berupa gambar perancangan, diagram blok sistem lengan robot, penerapan metode *Denavit-Hartenberg*, dan simulasi pada perangkat lunak MATLAB. *Forward Kinematics* digunakan untuk menentukan posisi akhir *end effector*. *Selain itu*, Lengan robot 3 DOF memiliki 3 buah Link Adapun, simulasi gerakan robot dapat direpresentasikan menggunakan aplikasi MATLAB dengan menggunakan *Robotic Tool Kit*

Kata kunci: *Lengan Robot, Kinematika Maju, MATLAB, Tool Kit Robot, Desain.*

Abstract.

Robots have become a new trend in today's industrial operations. Jobs that are dangerous, have high risks and require high accuracy can be replaced by robots. Robots that are often used in industry are robotic arms, in general, robotic arms become several parts, namely base, link, joint, and end effector. In this study, an initial design was carried out for a robotic arm with three degrees of freedom (*3 Degrees of Freedom-DOF*) with output in the form of design drawings, block diagrams of the robotic arm system, application of the Denavit-Hartenberg method, and simulations on MATLAB software. Forward Kinematics used to determine the final position of the end effector. In addition, the 3 DOF robotic arm has 3 links. As for, simulated robotic movements can be represented using the MATLAB application using the Robotic Tool Kit

Keywords: *Arm Robot, Forward Kinematics, MATLAB, Robotic Tool Kit, Design.*

PENDAHULUAN

Pada saat ini teknologi sudah berkembang dengan sangat pesat, terutama pada bidang industri, pada industri robot sangatlah menarik perhatian dikarenakan robot memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh manusia diantaranya adalah robot tidak mudah lelah, menghasilkan produk dengan kualitas yang sama ketika mengerjakan suatu pekerjaan secara berulang-ulang dan dapat diprogram ulang sehingga dapat difungsikan untuk beberapa tugas yang berbeda. Pada industri manufaktur khususnya dibidang otomotif, contohnya adalah pada pemasangan *body* mobil, pengelasan, pengambilan dan pekerjaan berat lainnya. Dengan menggunakan robot juga dapat menurunkan tingkan kecelakaan dan resiko terhadap manusia. Lengan robot memiliki 3 bagian utama yaitu *Base*,

Link, dan *end effector*. *Joint* adalah sambungan yang menghubungkan *link* satu dengan *link* yang lainnya. *Joint* memiliki dua tipe yaitu prismatic atau sering disebut juga dengan translasi dan revolute atau disebut juga dengan rotasional. *Link* adalah benda tegar yang terhubung dengan *joint*. *Link* juga sering disebut dengan lengan. Sedangkan *end effector* merupakan bagian lengan robot yang berada pada ujung lengan robot tersebut. Sederhananya *end effector* adalah *gripper* yang biasanya memiliki dua gerakan yaitu membuka dan menutup. Walaupun lengan robot merupakan salah satu robot yang sering digunakan dalam dunia industri, proses pembelajaran mengenai lengan robot ini cukup sulit [1]

Pada lengan robot, istilah Degree of Freedom (DOF) dikenal. Secara umum, DOF atau derajat kebebasan adalah jumlah arah independen yang diperlukan untuk menyatakan posisi setiap tautan relatif terhadap tautan tetap. Dalam merencanakan lengan robot untuk aplikasi tertentu, perlu untuk mempertimbangkan berbagai alternatif yang akan digunakan. Mulai dari pemilihan jenis drive, konfigurasi robot, jenis sambungan dan lain-lain. [2]

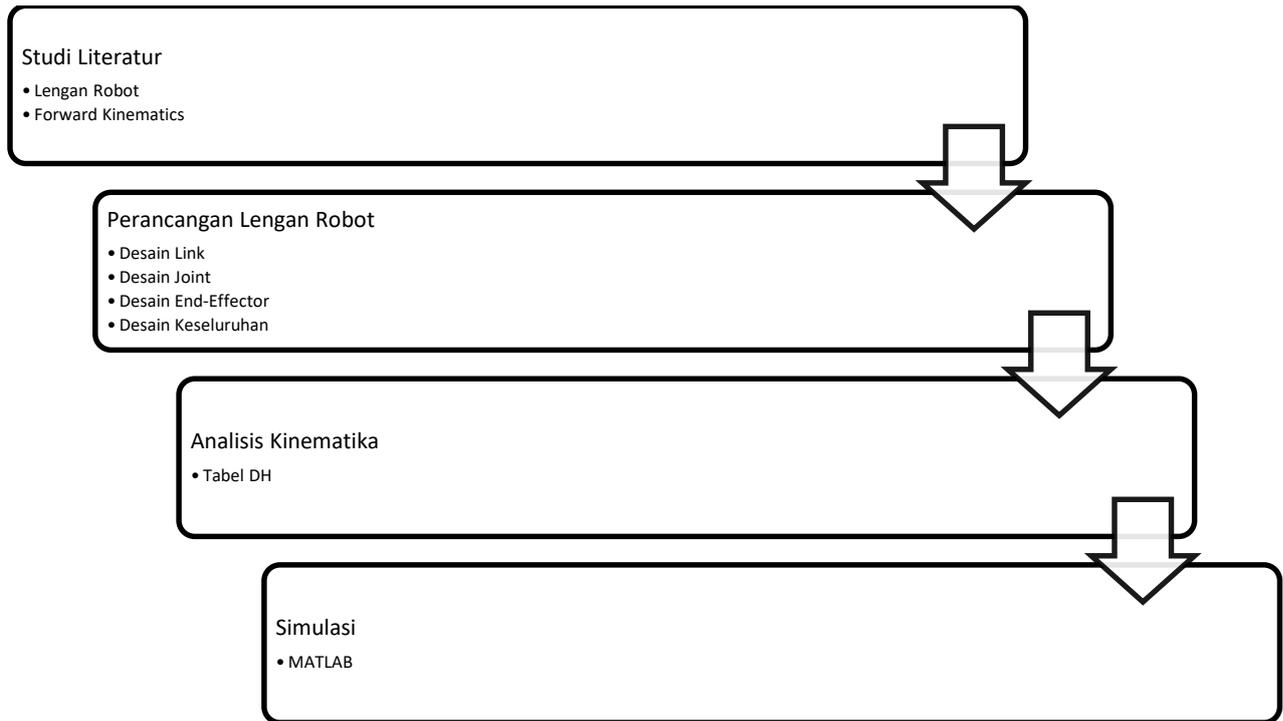
Permasalahan yang muncul dari perancangan pergerakan robot adalah bagaimana robot dapat memindahkan posisinya ke lokasi yang diinginkan, dalam menyelesaikan permasalahan tersebut dapat digunakan suatu metode yaitu kinematika maju (forward kinematics) dan kinematika mundur (inverse kinematics). Robot Kinematika Terbalik telah terbukti sangat penting karena solusi yang ditemukan memberikan kontrol atas posisi dan orientasi lengan robot. Studi telah menunjukkan bahwa perhitungan kinematika maju dan kinematika terbalik dalam gerakan robot dapat diselesaikan dengan menggunakan matriks aljabar (rotasi translasi), prosedur iteratif atau aplikasi geometris. [3]

Pada penelitian ini, dilakukan perancangan awal untuk lengan robot dengan tiga derajat kebebasan (3 *Degree of Freedom-DOF*) dengan keluaran berupa gambar perancangan, diagram blok sistem lengan robot, penerapan metode *Denavit-Hartenberg*, dan simulasi pada perangkat lunak MATLAB. Perlu diketahui bahwa jurnal ini menyajikan perancangan awal saja dimana pada pengembangan selanjutnya lengan robot akan dirancang lebih lanjut agar dapat dikendalikan dengan memanfaatkan Arduino sebagai pengendalinya. Selain itu, lengan robot pun dapat dikendalikan melalui aplikasi pada *smartphone*.

METODOLOGI

Seperti yang telah dijabarkan sebelumnya, lengan robot dengan 3 DOF ini dirancang untuk menggunakan Arduino sebagai pengendali dan dapat dikendalikan dengan aplikasi pada *smartphone*. Namun, pada perancangan awal yang disajikan pada jurnal ini hanya mencakup gambar perancangan setiap link, diagram blok sistem lengan robot, penerapan metode *Denavit-Hartenberg*, dan simulasi pada perangkat lunak MATLAB.

Metodologi yang mencakup langkah-langkah penelitian yang dilakukan pada perancangan awal ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Flowchart Metodologi

TINJAUAN PUSTAKA

Robot Lengan

Robot lengan merupakan gabungan dari beberapa segmen dan sendi yang secara umum dibagi menjadi tiga bagian, yaitu : *arm*, *wrist*, dan *gripper*. Robot lengan didefinisikan sebagai lengan yang dirancang untuk memindahkan material, benda, alat tertentu lewat pergerakan yang terprogram untuk melakukan berbagai macam tugas. [4]

Lengan robot merupakan sebuah robot yang berbentuk seperti lengan manusia yang memiliki beberapa komponen yaitu:

1. *Link*

Link merupakan bagian pada lengan robot yang memiliki bentuk tetap dan dapat bergerak. *Link* antar *link* biasanya dihubungkan oleh *joint*.

2. *Joint*

Joint merupakan penghubung antar *link* dan juga *base* yang dapat bergerak aktif. *Joint* pada lengan robot adalah sebuah aktuator.

3. *End Effector*

End effector merupakan bagian lengan robot yang berada pada ujung lengan robot tersebut. Sederhananya end effector adalah gripper yang biasanya memiliki dua gerakan yaitu membuka dan menutup.

4. Derajat Kebebasan (*Degree of Freedom*)

Degree of Freedom (DOF) atau Derajat Kebebasan adalah sambungan pada lengan, dapat dibengkokkan, diputar, maupun digeser. Derajat kebebasan digunakan untuk mengetahui cara robot bergerak, tingkat kerumitan algoritma kendali dan jumlah motor lengan robot yang digunakan. Penentuan jumlah DOF dilakukan berdasarkan jumlah gerakan yang dapat dilakukan oleh atau jumlah aktuator lengan robot

Forward Kinematics

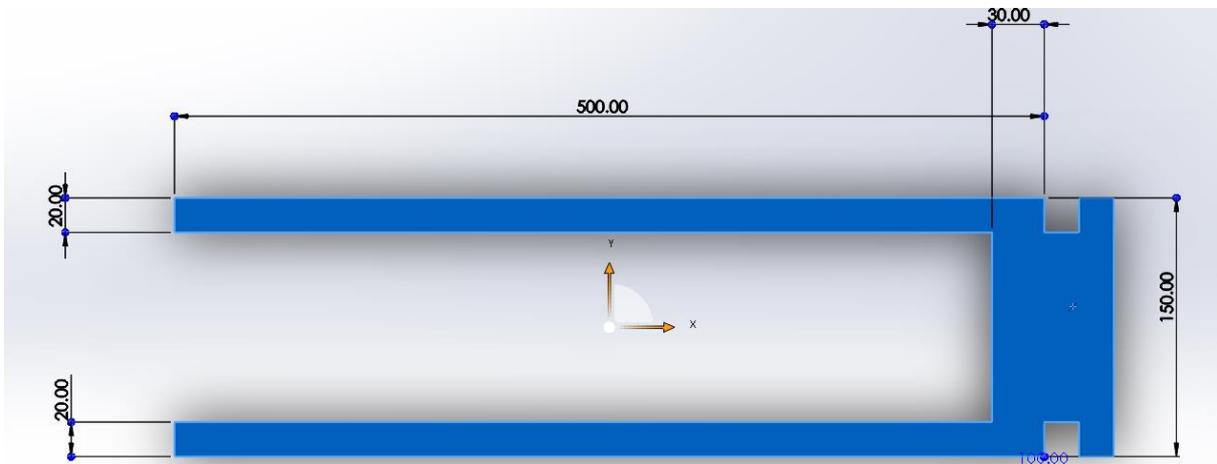
Kinematika robot adalah studi analisis pergerakan kaki atau lengan robot terhadap sistem kerangka koordinat acuan yang diam atau bergerak tanpa memperhatikan gaya yang menyebabkan pergerakan tersebut. Model kinematika merepresentasikan hubungan end effector dalam ruang tiga dimensi dengan variabel sendi dalam ruang sendi. Forward kinematika adalah metode untuk menentukan orientasi dan posisi end effector dari besarnya sudut sendi dan panjang link robot [5]

**HASIL DAN ANALISIS
Parameter Lengan Robot**

Link 1

Perancangan untuk *link 1* yang memiliki panjang 150 mm dengan lebar 500 mm dapat terlihat pada **Gambar 2** dan

Gambar 3.



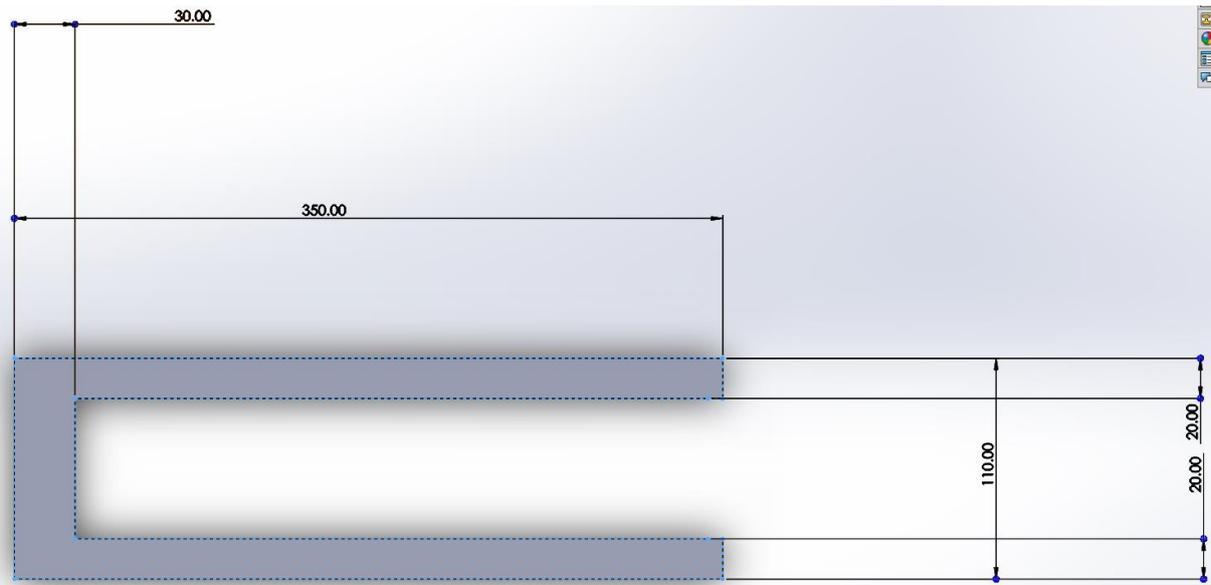
Gambar 2 Tampak Atas Link 1



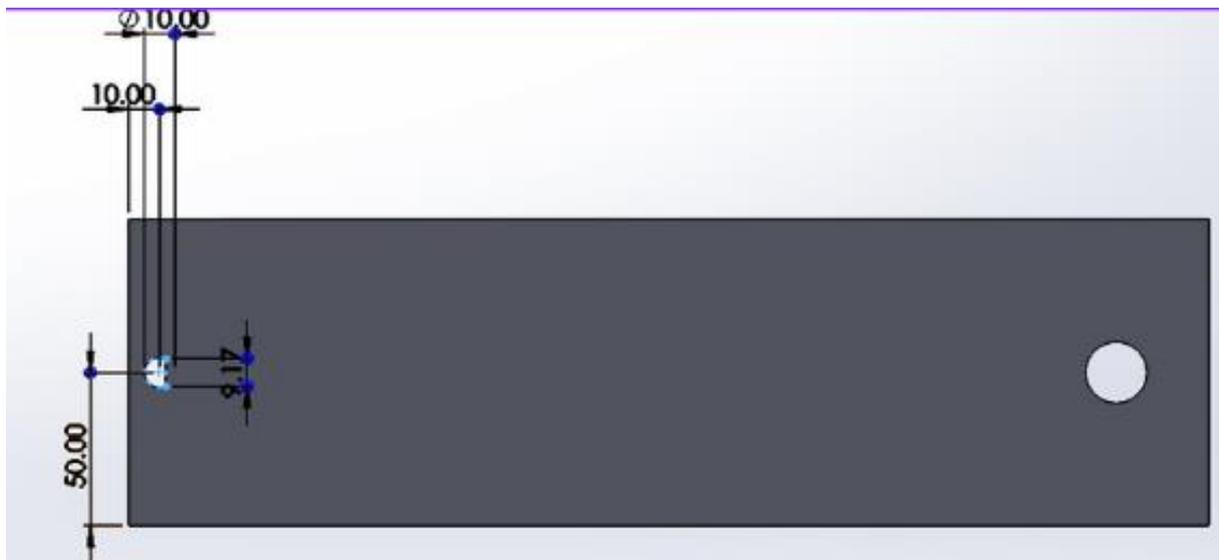
Gambar 3 Tampak Samping Link 1

Link 2

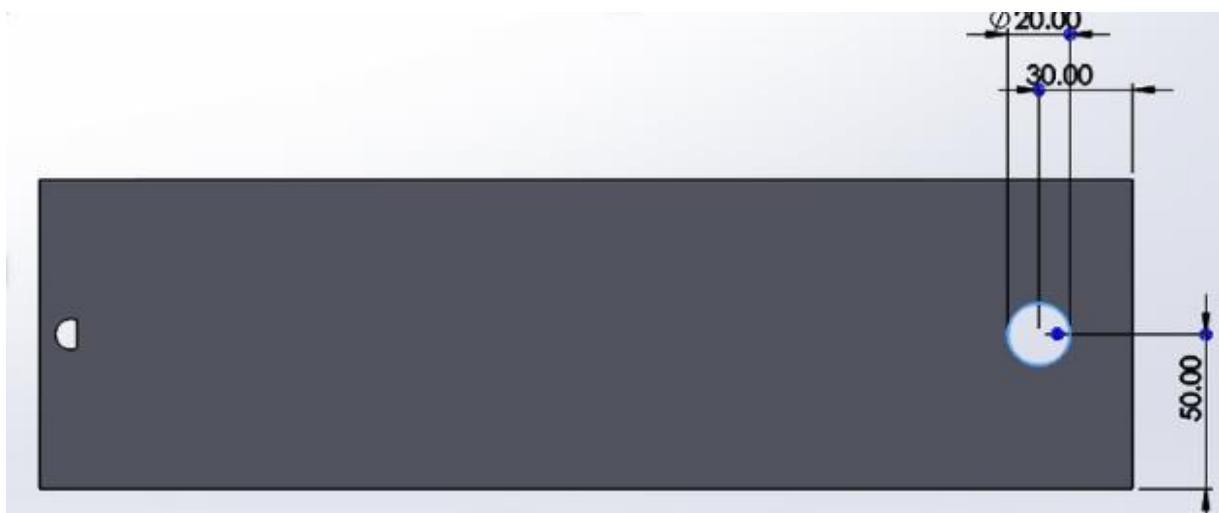
Perancangan untuk *link 2* yang panjang 110 mm dengan lebar 350 mm diperlihatkan oleh **Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6**



Gambar 4 Tampak Atas Link 2



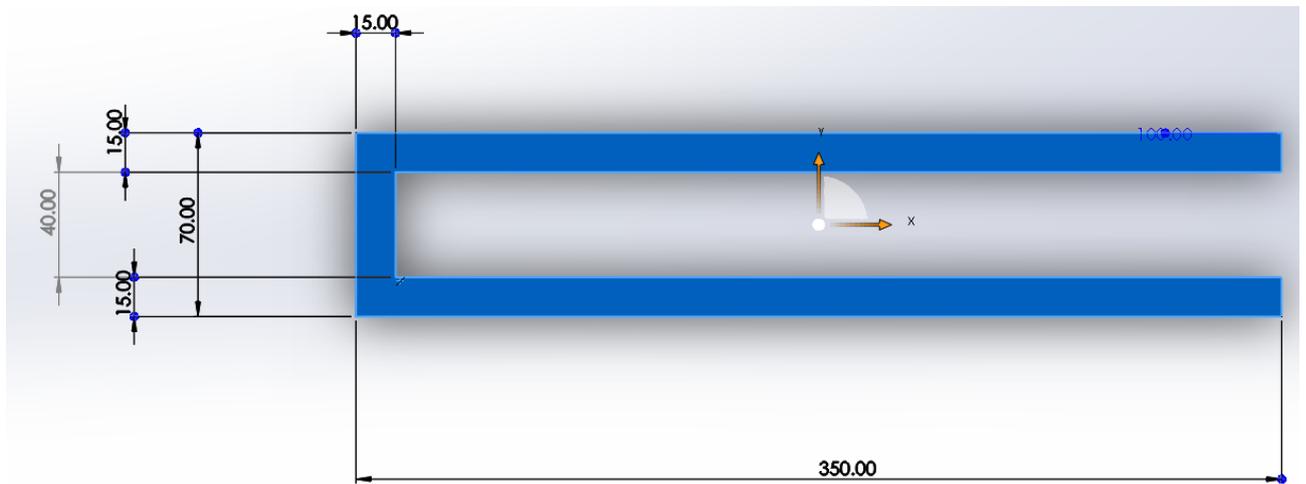
Gambar 5 Tampak Samping 1 Link 2



Gambar 6 Tampak Samping 2 Link 2

Link 3

Perancangan untuk *link 3* yang panjang 110 mm dengan lebar 350 mm diperlihatkan oleh **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



Gambar 7 Tampak Atas Link 3

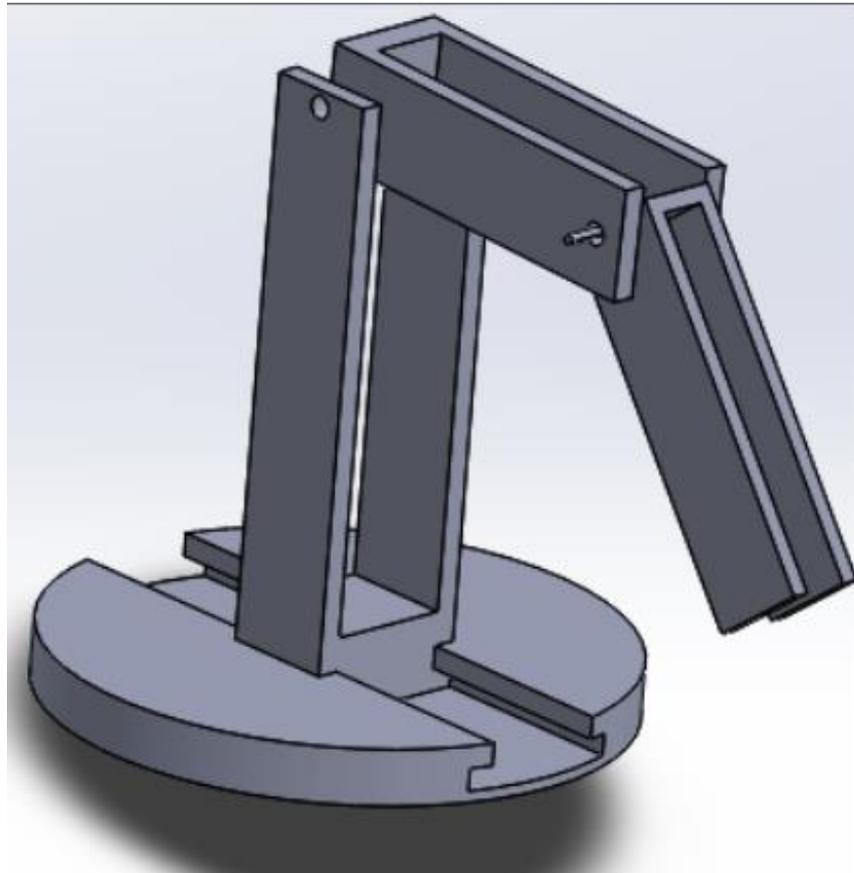


Gambar 8 Tampak Samping Link 3

Hasil Perancangan Awal

Gambar 9 merupakan bentuk ketika *base* dan seluruh *link* dan *joint* ketika disatukan diperlihatkan pada

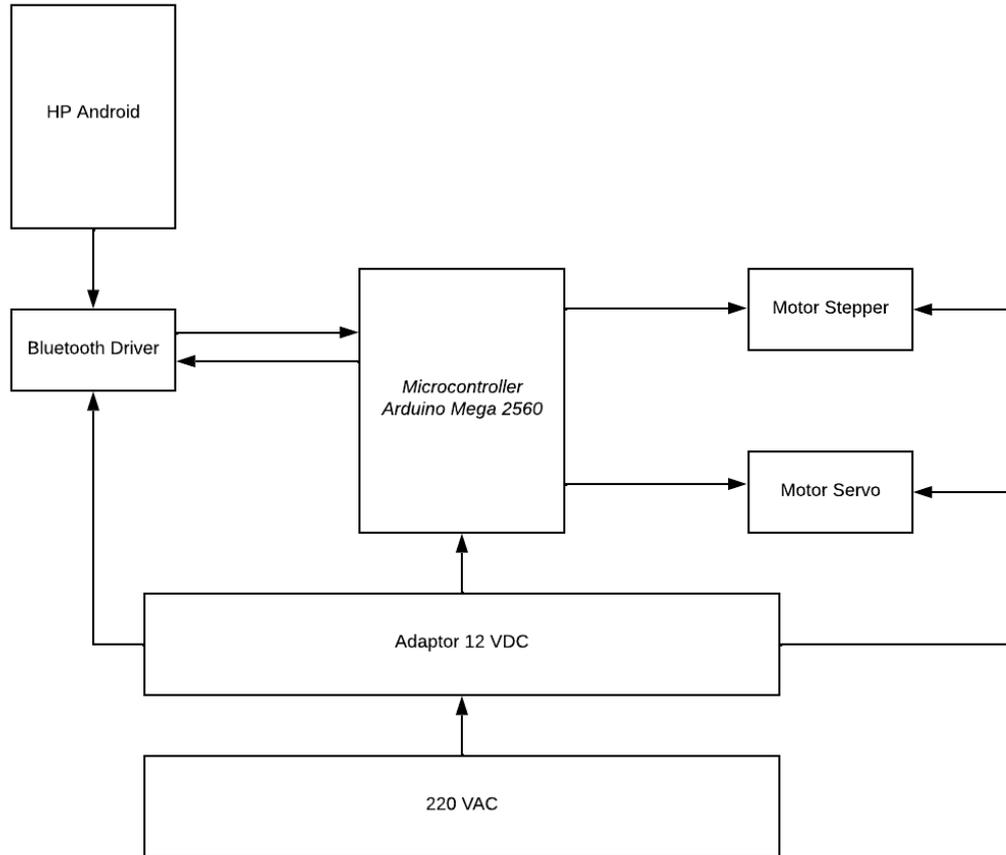
Gambar 9. Pada *Joint* terdapat sebuah *slot* yang digunakan untuk menghubungkan *joint* dengan *link*.



Gambar 9 Hasil Perancangan Awal Lengan Robot

Diagram Blok Awal

Pada perancangan robot lengan dengan 3 DOF, perancangan sistem kerja secara keseluruhan dari robot lengan itu sendiri merupakan sesuatu yang penting. Sistem kerja dari robot lengan 3 DOF tersebut ditunjukkan pada **Gambar 10**.



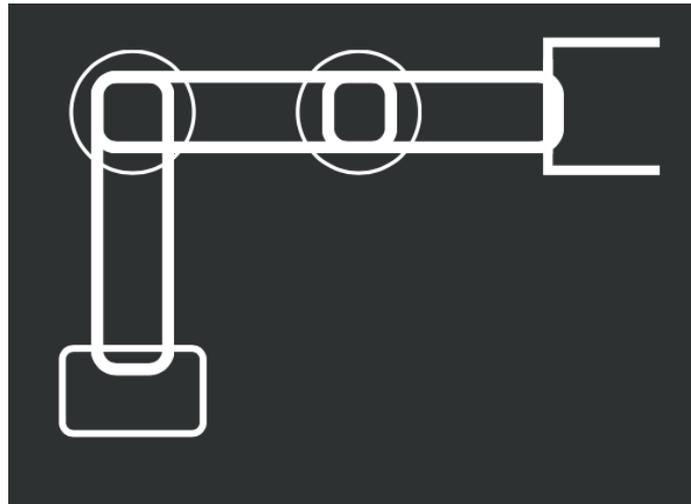
Gambar 10 Diagram Blok Awal

Perlu diperhatikan bahwa, lengan robot 3 DOF ini pada akhirnya akan memanfaatkan Arduino dan *smartphone* untuk pengendaliannya. Oleh karena itu, pada diagram blok yang diperlihatkan pada **Gambar 10**, sistem kerja keseluruhan yang dijabarkan diagram blok termasuk pengendalian dengan memanfaatkan Arduino dan *smartphone*

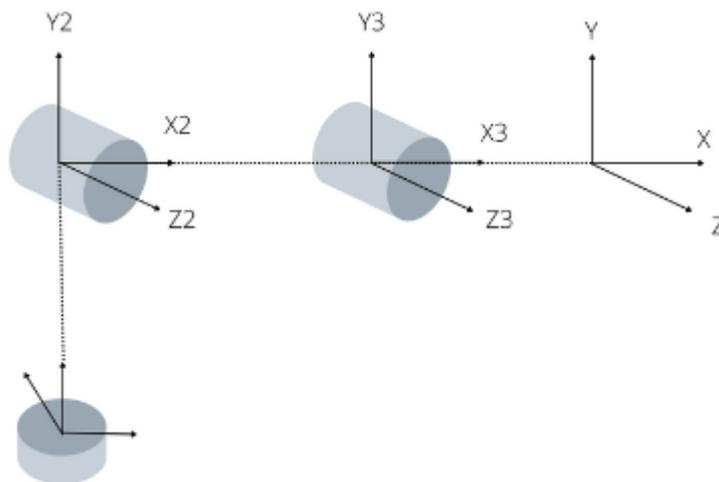
Tabel Denavit-Hartenberg

Untuk menentukan tabel DH (Denavit-Hartenberg) yang merupakan langkah awal dari analisis kinematika, diperlukan diagram benda bebas (DBB) untuk lengan robot 3 DOF yang dirancang. Ilustrasi lengan robot diperlihatkan oleh **Gambar 11**, sedangkan penggambaran DBB untuk lengan robot 3 DOF diperlihatkan oleh

Gambar 12.

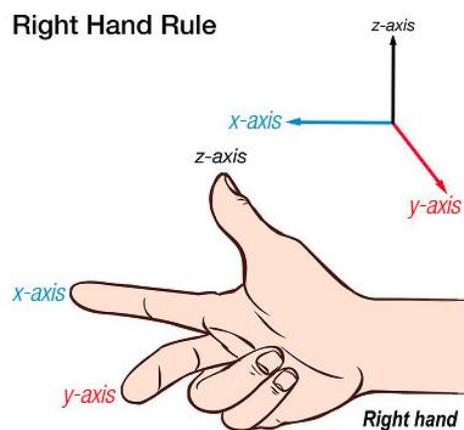


Gambar 11 *Ilustrasi Lengan Robot 3 DOF*



Gambar 12 *Diagram Benda Bebas Lengan Robot 3 DOF*

Diagram benda bebas (DBB) pada **Gambar 12** ditentukan dengan menggunakan kaidah aturan tangan kanan dengan penjabaran seperti yang digambarkan pada



Gambar 13 *Kaidah Tangan Kanan [6]*

Berdasarkan DBB yang telah dejabarkan pada *Gambar 12* dihasilkan tabel DH yang diperlihatkan pada *Tabel 1*.

Tabel 1 Tabel DH Lengan Robot 3 DOF

Link i	a _i	d _i	α _i	θ _i
1	0	0	0	θ ₁
2	0	a ₁	90°	θ ₂
3	L ₁	0	0	θ ₃
4	L ₂	0	0	0

Analisis ini dapat dilakukan secara langsung dengan mengamati geometri robot menggunakan kaidah tangan kanan. Analisis DH merupakan salah satu analisis algoritmik yang dapat dilakukan pada masalah *forward kinematics*. Ada empat parameter yang sangat dibutuhkan pada analisis DH:

1. Parameter a_i adalah jarak sepanjang X_i dari O_i ke perpotongan (X_i, Z_i1)
2. Parameter d_i adalah jarak sepanjang Z_i1 dari O_i ke perpotongan (X_i, Z_i1)
3. Parameter α_i adalah sudut yang dibentuk oleh Z_i1 dan Z_i diukur terhadap X_i
4. Parameter θ_i adalah sudut yang dibentuk oleh X_i1 dan X_i diukur terhadap Z_i1

Keempat parameter DH tersebut dapat digunakan untuk menentukan sebuah matriks transformasi homogenous, dimana matriks transformasi homogenous merupakan matriks yang menggambarkan pose dari setiap link pada robot. Setiap matriks transformasi homogenous merepresentasikan perkalian dari keempat parameter DH tersebut [7], dimana bentuk dari matriks transformasi homogenous adalah seperti pada matriks pada persamaan (1).

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) \cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i) \sin(\alpha_i) & a_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) \cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i) \sin(\alpha_i) & a_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Setelah mengetahui keempat parameter pada tabel DH maka transformasi matriks homogenous pada tiap *link* dapat ditentukan.

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & 0 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Matriks pada persamaan (2) merupakan transformasi matriks homogenous pada *base* terhadap *link 1*.

$${}^1T_2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & 0 & s\theta_2 & 0 \\ s\theta_2 & 0 & -c\theta_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Matriks pada persamaan (3) merupakan transformasi matriks homogenous pada *link 1* terhadap *link 2*.

$${}^2_3T = \begin{bmatrix} c\theta_3 & 0 & s\theta_2 & L_1\theta_3 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Matriks pada persamaan (4) merupakan transformasi matriks homogenus pada *link 2* terhadap *link 3*.

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Matriks pada persamaan (5) merupakan transformasi matriks homogenus pada *link 3* terhadap *link 4*. setelah mendapatkan hasil berupa transformasi matriks homogenus di tiap *link* didapatkan maka transformasi matriks homogenus dari *base* hingga *end effector* dengan menggunakan persamaan (6).

$${}^0_4T = {}^0_1T \times {}^1_2T \times {}^2_3T \times {}^3_4T \quad (6)$$

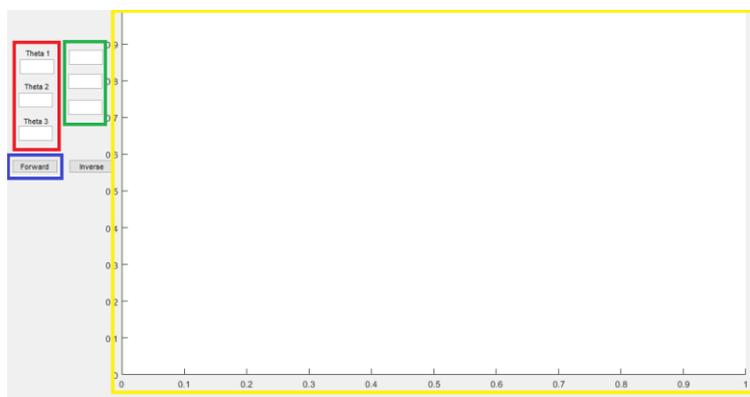
sehingga didapatkan transformasi matriks homogenus dari *base* sampai ke *end effector* seperti pada matriks para persamaan (7).

$${}^0_4T = \begin{bmatrix} c\theta_1c\theta_2c\theta_3 & 0 & c\theta_1s\theta_2 + c\theta_1c\theta_2s\theta_3 & L_2c\theta_1c\theta_2c\theta_3 + L_1c\theta_1c\theta_2c\theta_3 \\ c\theta_3s\theta_1c\theta_2 + c\theta_1s\theta_2 & 0 & s\theta_1s\theta_2 + s\theta_3s\theta_1c\theta_2 + c\theta_1s\theta_2 - c^2\theta_1 & L_2c\theta_3s\theta_1c\theta_2 + c\theta_1s\theta_2 + L_1c\theta_3s\theta_1c\theta_2 + c\theta_1s \\ s\theta_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Simulasi MATLAB

Simulasi menggunakan *robotic tool kit* yang disediakan oleh Pieter-Corke pada aplikasi MATLAB, simulasi dari gerakan lengan robot dapat terlihat. Dengan memasukan besar sudut pada GUI simulasi gerakan dan posisi dari *end effector* dapat terlihat. Pada Gui yang digunakan seperti pada

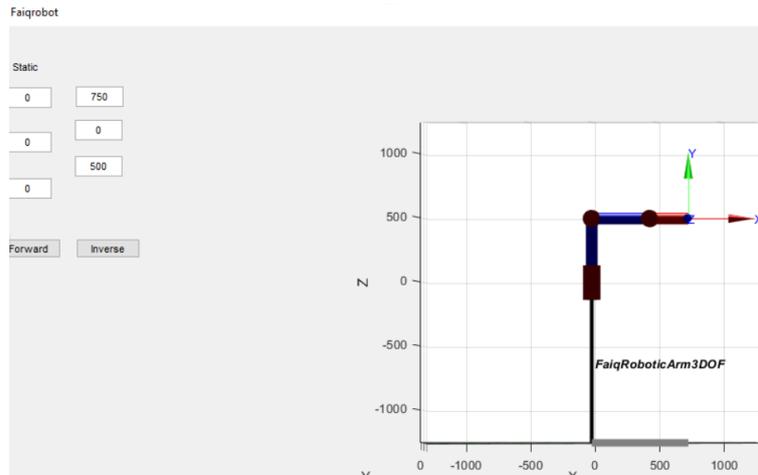
Gambar 14.



Gambar 14 Graphical User Interface (GUI)

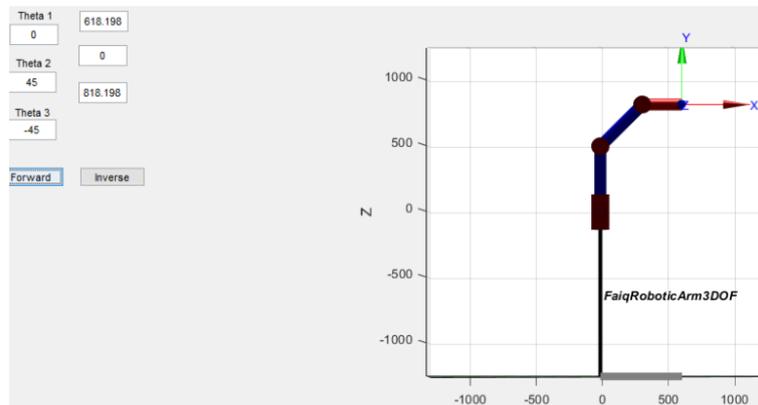
Terlihat kotak berwarna merah digunakan untuk memasukan *input* berupa sudut θ_1 - θ_3 , kotak berwarna merah digunakan untuk menjalankan simulasi dari *forward kinematics*, kotak berwarna

hijau digunakan untuk menampilkan posisi X,Y,Z. Kotak berwarna kuning digunakan untuk menampilkan hasil simulasi dari lengan robot.



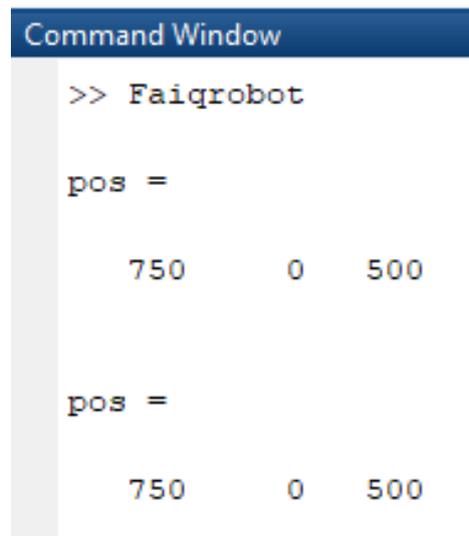
Gambar 15 Hasil Simulasi 1

Gambar 15 merupakan simulasi dengan memasukkan input sudut sebesar 0 derajat pada θ_1 - θ_3 .



Gambar 16 Hasil Simulasi 2

Gambar 16 merupakan simulasi dengan memasukkan sudut sebesar 0 derajat pada θ_1 , 45 derajat pada θ_2 dan -45 derajat pada θ_3 . Posisi *end effector* juga akan ditampilkan pada *command window* yang ada pada MATLAB seperti yang ditampilkan pada Gambar 17.



```

Command Window
>> Faiqrobot

pos =

    750     0    500

pos =

    750     0    500
    
```

Gambar 17 Tampilan Command Window MATLAB

KESIMPULAN

Penelitian yang disajikan pada jurnal ini merupakan perancangan awal dari robot lengan 3 DOF berbasis Arduino yang dapat dikendalikan melalui *smartphone*. Perancangan awal ini hanya berfokus kepada gambar perancangan, diagram blok sistem lengan robot, penerapan metode *Denavit-Hartenberg*, dan simulasi pada perangkat lunak MATLAB.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Forward Kinematics* digunakan untuk menentukan posisi akhir *end effector*
2. Lengan robot 3 DOF memiliki 3 buah Link
3. Simulasi gerakan robot dapat direpresentasikan menggunakan aplikasi MATLAB dengan menggunakan *Robotic Tool Kit*

RENCANA PENGEMBANGAN

Perancangan yang disajikan pada jurnal ini merupakan perancangan awal yang masih harus dikembangkan. Oleh karena itu, adapun rencana pengembangan yang akan dilakukan, antara lain:

1. Perancangan sistem kendali berbasis Arduino untuk pengendalian lengan robot 3 DOF
2. Pembuatan aplikasi *smartphone* untuk pengendalian lengan robot 3 DOF
3. Implementasi nyata lengan robot 3 DOF
4. Pengujian pada implementasi nyata yang telah dibuat

DAFTAR PUSTAKA

[1] I. H. Ayega, “Studi dan Implementasi Teknik Pemodelan dan Pengontrolan Lengan Robot Tiga Derajat Kebebasan,” Universitas Katolik Parahyangan, 2020.

[2] R. Siegwart, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. Massachusetts London, England: A Bradford Book The MIT Press Cambridge, 2004.

[3] A. B. Dharmawan and L. Lina, “Penerapan Metode Denavit-Hartenberg Pada Perhitungan Inverse Kinematics Gerakan Lengan Robot,” *J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat.*, vol. 1, no. 1, pp. 287–292, 2017, doi: 10.24912/jmstkik.v1i1.441.

- [4] F. Sigit Suyantoro, *Robotika - Teori dan Implementasinya*, 1st ed. Yogyakarta, 2010.
- [5] Setiawan Surya, “Penerapan Invers Kinematika untuk Pergerakan Kaki Robot Biped,” 2015.
- [6] “Right Hand Rule.” <https://www.pasco.com/products/guides/right-hand-rule> (accessed Jul. 11, 2022).
- [7] M. W. Spong and M. Vidyasagar, *Robot Dynamics and Control*. John Wiley Sons, 2008.