ISSN 2685-2381

Pemodelan dan Simulasi Robot Lengan 3 DOF Menggunakan V-REP

Az Uchrowi, Lasmadi*, Sutjianto
Departemen Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto, Yogyakarta
* email: lasmadi.sie14@mail.ugm.ac.id

Abstract

Movement of objects from one position to another position is usually by conventional method of human strength. Development of robotics technology makes movement of objects in the industry by arm robot system. By using arm robot system, the work more effective. The aim of this research is to modeling 3 Degree of Freedom arm robot with kinematics method using V-REP software. Kinematics method is a subject that analyze robot movement without knowing the force that causes the movement. This research use the forward kinematics method so that arm robot can reach the goals. The input from this robot is an angle which is computed using the forward kinematics method. The output is an end-effector coordinate. Based on the result of the research, the 3 Degree of Freedom arm robot is capable to move the object from one position to another position and an error that occurs can achieve 4,99% for x coordinate, 5,57% for y coordinate, and 3,18% for z coordinate. Based on these results, the 3 Degree of Freedom arm robot with the forward kinematics method can be simulated in V-REP software effectively.

Keywords — Arm robot, Degree of freedom, Forward Kinematics.

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi pada akhir-akhir ini semakin meningkatkan kreasi manusia dalam menciptakan peralatan dengan tujuan meningkatkan kualitas hidup. Manusia semakin berupaya membuat perangkat pembantu agar kerja manusia lebih cepat dan ringan. Sebagai contohnya, perancangan dan pembuatan robot yang semakin berkembang seiring tuntutan kebutuhan manusia.

Dalam bidang industri, pemindahan dan penyimpanan barang dari satu posisi ke posisi lain membutuhkan suatu perangkat yang dapat bekerja dengan cepat dan tepat. Namun pada kenyataannya pada saat ini masih banyak industri yang menggunakan tenaga manusia dalam proses pemindahan barang dari satu posisi ke posisi yang lain. Pada dasarnya manusia mampu melakukan pekerjaan pemindahan barang dengan cepat dan tepat, akan tetapi manusia juga mempunyai kekurangan dari segi tenaga maupun konsentrasi kerja. Hal itu tentunya sangat berpengaruh terhadap efektifitas pekerjaan yang dilakukan.

Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan sebuah robot lengan 3 derajat kebebasan yang mampu melakukan tugas memindahkan barang dari satu posisi ke posisi lain. Sehingga diharapkan mampu mempermudah kegiatan pemindahan barang yang dilakukan serta meningkatkan tingkat efektifitas baik dalam hal waktu, tenaga maupun biaya produksi. Robot lengan 3 derajat kebebasan ini akan bertugas melakukan proses perpindahan barang dari satu posisi ke posisi yang lain.

1.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang robotika yang menggunakan metode inverse kinematics telah dilakukan oleh Utomo dan Munadi (2013) [10]. Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan menggunakan perangkat keras simulator arm robot dan untuk memverifikasi hasil pengambilan data menggunakan perangkat lunak RoboAnalyzer. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa terdapat perbedaan antara data pengamatan yang dilakukan dengan menggunakan perangkat

Manuscript submitted 30 July 2019; revised 30 August 2019; accepted 30 August 2019.
Published 31 August 2019; http://dx.doi.org/10.28989/avitec.v1i1.489

keras *simulator arm* robot dengan hasil verifikasi data menggunakan perangkat lunak RoboAnalyzer, hal ini kemungkinan disebabkan olehtidak tepat di tengahhubungan antar *link* terhadap *joint* pada proses *assembly*.

Penelitian oleh Prasetia dan Agustinah (2015) juga menggunakan metode *inverse kinematics* dengan pendekatan geometri pada robot denso manipulator [5]. Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan menggunakan perangkat lunak *toolbox* Peter Corke versi 8 dan untuk memverifikasi hasil pengambilan data menggunakan analisis *inverse kinematics* dengan pendekatan geometri. Dari hasil penelitian, solusi *inverse kinematics* dengan pendekatan geometri akan menghasilkan delapan kondisi pergerakan robot denso manipulator. Delapan kondisi itu menunjukan pergerakan robot untuk mencapai titik tujuan robot yang diinginkan.

Kemudian, penelitian oleh Benu (2016) yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Kendali Lengan Robot 3 Sendi Berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC)" [2]. Penelitian tersebut membahas tentang bagaimana sebuah robot lengan 3 sendi dapat memindah suatu barang dari satu posisi ke posisi yang lain. Kekurangan dari penelitian ini yaitu masih menggunakan PLC dalam pengoperasian robot, sehingga robot tersebut dinilai masih kurang efektif. Selain itu pada penelitian tersebut juga tidak dibahas mengenai ketepatan robot dalam meletakkan suatu benda pada saat proses pemidahan.

1.2 Landasan Teori

Adapun beberapa dasar teori untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut.

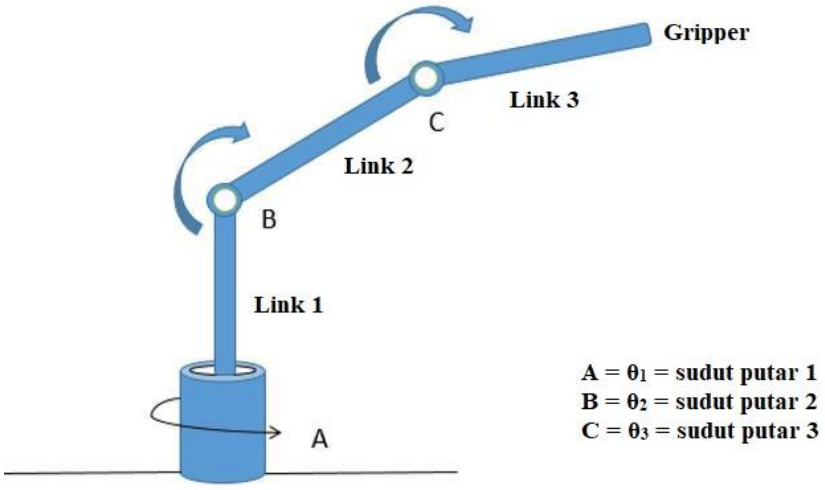
A. Definisi Robot Lengan

Menurut RIA *(Robot Institute of America)*, robot lengan atau robot manipulatoradalah robot multifungsi yang didesain untuk memindahkan material, peralatan atau sebuah piranti. Robot ini mempunyai derajat kebebasan atau *Degree of Freedom* (DOF) gerak yang linier pada sebuah sumbu (*axis*) [8].Robot ini hanya memiliki satu tangan seperti tangan manusia yang fungsinya untuk memegang atau memindahkan barang. Robot manipulator merupakan sebuah rangkaian benda kaku (*rigid bodies*) terbuka yang terdiri atas sendi dan terhubung dengan *link* dimana setiap posisi sendi ditentukan dengan variabel tunggal sehingga jumlah sendi sama dengan nilai derajat kebebasan [10]. Robot manipulator ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Robot Lengan

B. *Link* dan *Joint*

Link merupakan bagian-bagian kerangka kaku yang dihubungkan secara bersamaan sehingga membentuk suatu rangkaian robot. Sedangkan *joint* (sendi) yaitu koneksi antar *link* yang dapat menentukan pergerakan. Gambar 2 menunjukkan bagian *link* dan *joint* pada suatu robot lengan.

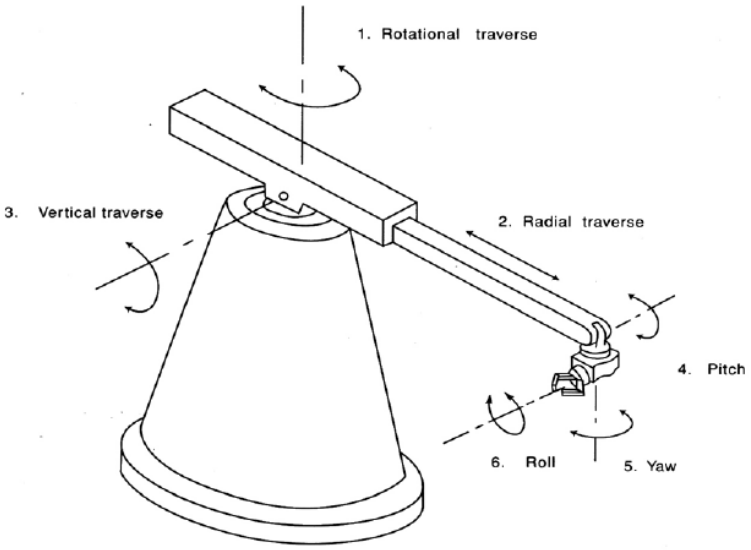


Gambar 2. Ilustrasi *Link* dan *Joint*

C. Derajat Kebebasan Gerak

Derajat kebebasan gerak atau *Degree of Freedom* (DOF) dari sebuah sistem robotik dapat dibandingkan dengan bagaimana tubuh manusia bergerak. Sama halnya dengan manusia, untuk setiap derajat kebebasan gerak pada robot, dibutuhkan sebuah sendi. Secara umum total derajat kebebasan gerak yang dibutuhkan untuk menggerakkan sebuah lengan robot adalah enam buah. Meski enam derajat kebebasan gerak dibutuhkan untuk mencapai fleksibilitas maksimum, namun kebanyakan robot hanya menggunakan 3 sampai 5 derajat kebebasan gerak.

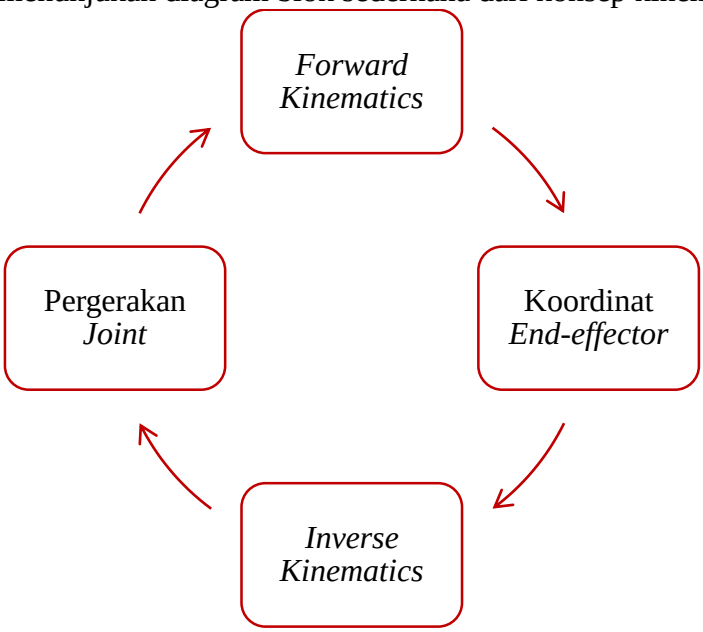
Semakin banyak derajat kebebasan gerak, semakin kompleks pergerakan yang dapat dilakukan dan semakin kompleks juga pemrograman serta perhitungannya. Terdapat tiga buah derajat kebebasan gerak yang terletak pada lengan, antara lain yaitu *rotational reverse*, *radial transverse*, dan *vertical transverse*. Terdapat pula tiga buah derajat kebebasan gerak yang terletak pada pergelangan tangan, antara lain yaitu *pitch*, *roll*, dan *yaw* [7]. Adapun gambar mengenai enam derajat kebebasan gerak utama pada robot dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Enam Derajat Kebebasan Gerak Utama pada Robot

D. Kinematika Robot

Kinematika robot adalah studi analisis pergerakan kaki atau lengan robot terhadap sistem kerangka koordinat acuan yang diam/bergerak tanpa memperhatikan gaya yang menyebabkan pergerakan tersebut. Model kinematika merepresentasikan hubungan *end effector* dalam ruang tiga dimensi dengan variabel sendi dalam ruang sendi. Persamaan kinematika maju (*forward kinematics*) mendeskripsikan posisi dan orientasi *end effector* yang dinyatakan dalam posisi sendi. Sedangkan persamaan kinematika balik (*inverse kinematics*) mendeskripsikan konfigurasi posisi sendi untuk menghasilkan posisi dan orientasi *end effector* tertentu [1].Gambar 4 menunjukan diagram blok sederhana dari konsep kinematika robot.



Gambar 4. Diagram Blok Kinematika

E. *Forward Kinematics*

Kinematika maju atau *forward kinematics* merupakan suatu proses menghitung posisi dari *end-effector* berdasarkan sudut-sudut *joint* yang diketahui dengan keluaran berupa koordinat *end-effector*. Terdapat dua metode untuk menyelesaikan perhitungan *forward kinematics*, antara lain yaitu metode Denavit-Hartenberg (D-H) dan metode geometri.

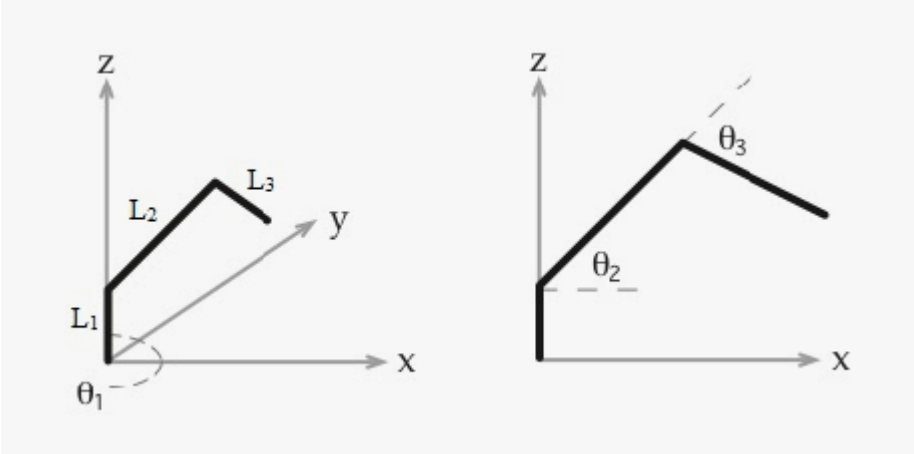
1) Metode Denavit-Hartenberg (D-H)

Prinsip dasar representasi D-H adalah suatu matriks (4x4) yang berupa sistem koordinat dari suatu *link* dengan *link* yang terhubung pada pangkalnya (*link* sebelumnya). Dalam konfigurasi serial, koordinat (ujung) *link*-1 dihitung berdasarkan *joint*-1 atau sendi pada tubuh robot. Koordinat pada *link*-2 dihitung berdasarkan *joint*-2 yang berada di ujung *link*-1 dengan mengasumsikan *link*-1 adalah basis gerakan *link*-2. Demikian seterusnya, *link*-3 dihitung berdasarkan *link*-2, hingga *link* ke-n dihitung berdasarkan *link* ke-(n-1) [3]. Untuk *link* dengan konfigurasi *joint* putaran, matriks A pada *joint* ke-n dapat dilihat pada persamaan (1).

$$A_n = \begin{bmatrix} cos\theta_n & -sin\theta_n cos\alpha_n & sin\theta_n sin\alpha_n & k_n cos\theta_n \\ sin\theta_n & cos\theta_n cos\alpha_n & -cos\theta_n sin\alpha_n & k_n sin\theta_n \\ 0 & sin\alpha_n & cos\alpha_n & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2) Metode Geometri

Dalam metode geometri jumlah *joint* (sendi) pada robot akan sangat berpengaruh terhadap persamaan yang akan digunakan untuk mencari koordinat posisi robot atau benda. Semakin banyak jumlah *joint* pada robot maka akan semakin kompleks juga persamaannya. Penjelasan *joint* dan *link* pada robot lengan 3 derajat kebebasan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi *Joint* dan *Link* Robot Lengan 3 Derajat Kebebasan

Gambar 5 menggambarkan representasi robot lengan 3 derajat kebebasan dalam keadaan ideal, dimana tidak terdapat sambungan-sambungan khusus antar *link* dan juga tidak adanya sambungan pada ujung *end-effector* [6]. Untuk mencari koordinat posisi robot atau benda dapat dilihat pada persamaan (2), persamaan (3), dan persamaan (4).

$$x = \{(L_2 cos\theta_2) + (L_3 \cos(\theta_3 - \theta_2))\} \times cos\theta_1 \quad (2)$$

$$y = \{(L_2 cos\theta_2) + (L_3 \cos(\theta_3 - \theta_2))\} \times sin\theta_1 \quad (3)$$

$$z = L_1 + (L_2 sin\theta_2) - (L_3 \sin(\theta_3 - \theta_2)) \quad (4)$$

Dengan,

x = koordinat x (absis)	L_1 = panjang *link* 1	θ_1 = sudut motor 1
y = koordinat y (ordinat)	L_2 = panjang *link* 2	θ_2 = sudut motor 2
z = koordinat z (aplikat)	L_3 = panjang *link* 3	θ_3 = sudut motor 3.

F. Standar Deviasi dan Persentase Kesalahan

Standar deviasi merupakan ukuran variansi yang paling banyak digunakan, karena nilainya paling memenuhi kriteria statistika. Standar deviasi adalah akar kuadrat dari variansi. Variansi dicari dengan menghitung selisih dari setiap elemen data dengan rata-rata. Rata-rata merupakan jumlah elemen data dibagi dengan jumlah data [11]. Rumus untuk mencari variansi dan standar deviasi ditunjukkan pada persamaan (5).

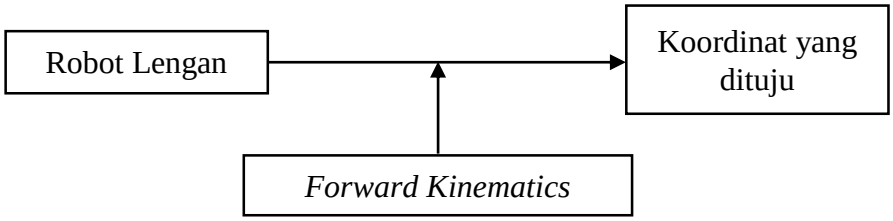
$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(n_i - \bar{n})^2}{N}} \quad (5)$$

Dimana,

σ = standar deviasi	n_i = elemen data n ke-i
n = koordinat (x, y, z)	i = 1, 2, 3,...., N
$\bar{n}$ = rata-rata koordinat (x, y, z)	N = jumlah data

2. Rancangan Sistem

Adapun diagram blok perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 6.



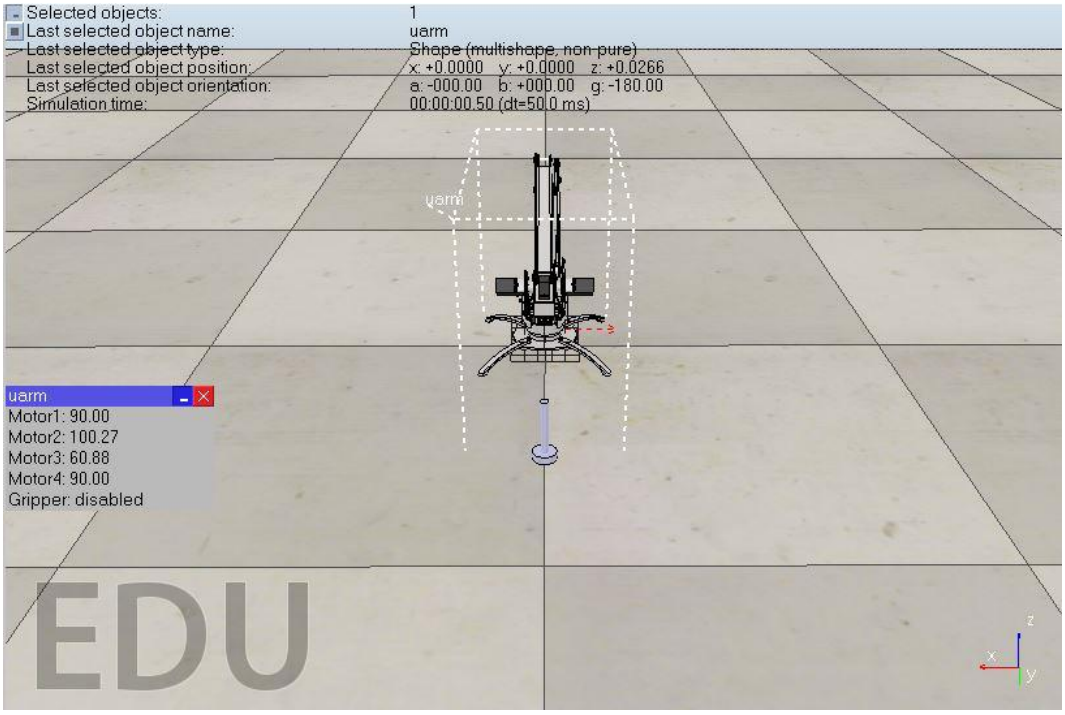
Gambar 6. Diagram Blok Perancangan Sistem

3. Hasil Penelitian

Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pemodelan sistem, hasil simulasi pengujian gerak robot lengan, pembahasan hasil pengujian gerak robot lengan, dan hasil pengujian *repeatability* pada V-REP.

3.1 Hasil Pemodelan Sistem

V-REP (*Virtual Robot Experimentation Platform*) merupakan perangkatlunak komputer yang digunakan untuk membuat simulasi robot dalamwujud 3D atau 3 dimensi [4]. Gambar 7 menunjukkan hasil pemodelan sistem pada penelitian ini.



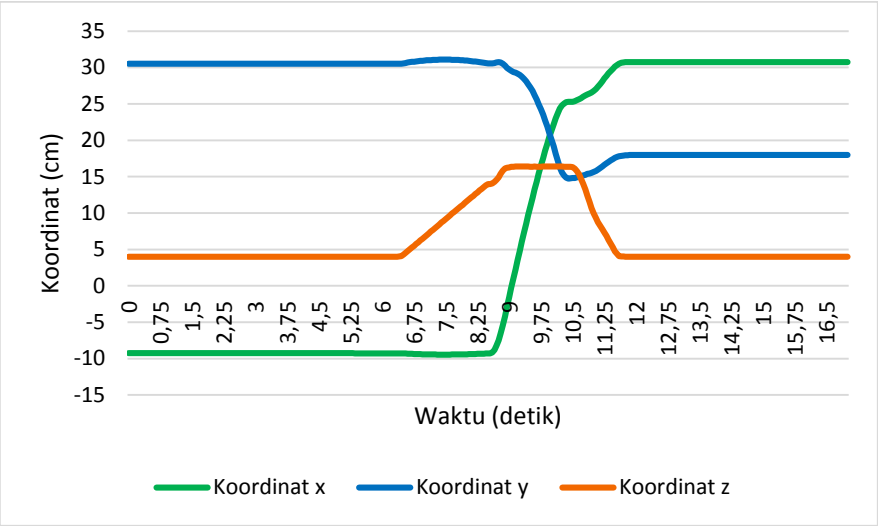
Gambar 7. Hasil Pemodelan Sistem

3.2 Hasil Simulasi Pengujian Gerak Robot Lengan

Simulasi gerak robot lengan dilakukan sebanyak enam kali pengujian, dimana robot akan bertugas untuk meindahkan benda dari satu posisi ke posisi lain. Adapun hasil pengujian gerak robot lengan adalah sebagai berikut.

A. Hasil simulasi pengujian ke-1

Pada pengujian ke-1 posisi awal benda diletakkan pada koordinat x = -9,25 cm, y = 30,50 cm, dan z = 4,00 cm. Kemudian benda dipindahkan dengan masukan sudut motor sebesar θ_1 = 30°, θ_2 = 40,92°, dan θ_3 = 79,82°. Setelah benda dipindahkan, koordinat posisi benda terletak pada x = 30,75 cm, y = 17,93 cm, dan z = 4,00 cm. Adapun grafik perpindahan posisi benda terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Pengujian ke-1

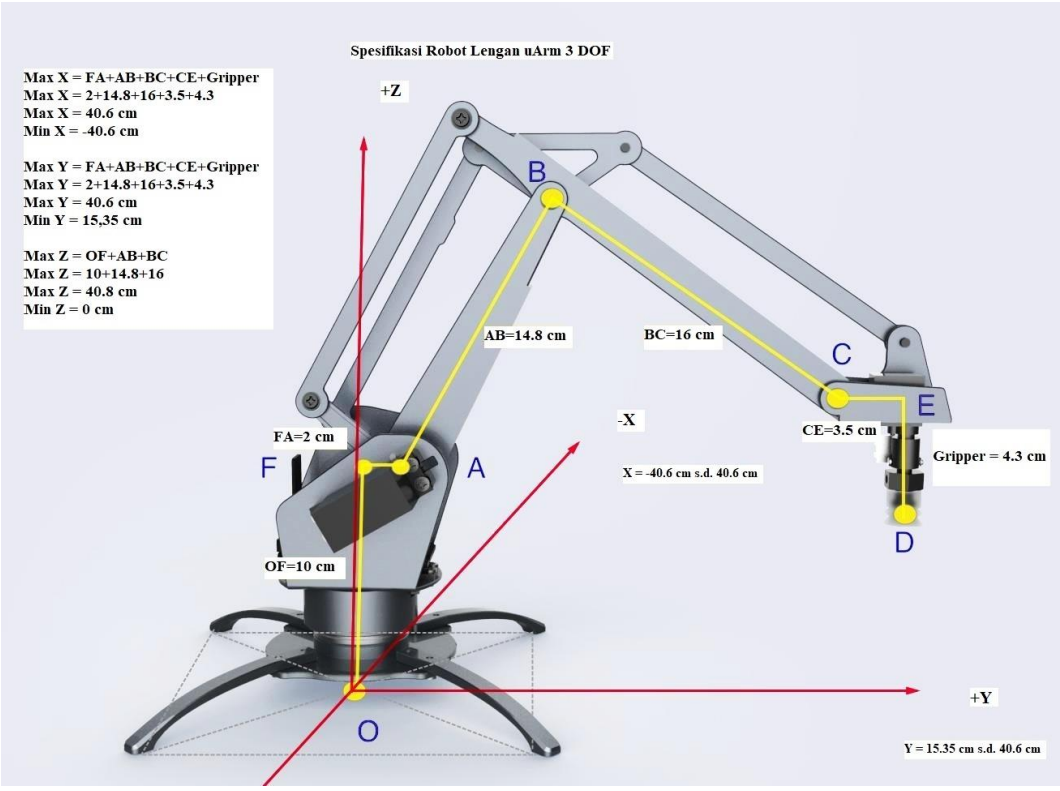
Adapun hasil simulasi pengujian gerak robot lengan pada yang lain dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Simulasi Pengujian Gerak Robot Lengan

Uji	Koordinat Awal Benda (cm)			Sudut Putar Motor			Koordinat Akhir Benda (cm)		
	x	y	z	θ_1	θ_2	θ_3	x	y	z
1	-9,25	30,50	4,00	30°	40,92°	79,82°	30,75	17,93	4,00
2	-21,75	23,00	4,00	60°	41,68°	80,69°	17,61	30,72	4,00
3	-35,00	11,50	4,00	90°	41,98°	81,03°	0,02	35,32	4,00
4	0,00	15,35	4,00	120°	42,42°	81,54°	-17,50	30,47	4,00
5	33,25	9,50	4,00	150°	43,15°	82,39°	-30,09	17,52	4,00
6	40,60	0,00	4,00	180°	43,85°	83,22°	-34,49	0,01	4,00

3.3 Pembahasan Hasil Pengujian Gerak Robot Lengan

Pada bagian ini akan dibahas mengenai perhitungan koordinat posisi benda setelah dipindahkan berdasarkan teori. Setelah didapatkan hasil perhitungan berdasarkan teori maka dapat diketahui persentase kesalahan dari setiap pengujian simulasi robot. Adapun spesifikasi robot yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 9 [9].



Gambar 9. Spesifikasi Robot Lengan

Dimana,

OF = L_1 = 10 cm	FA = 2 cm
AB = L_2 = 14,8 cm	CE = 3,5 cm
BC = L_3 = 16 cm	Gripper = 4,3 cm
CE + Gripper = 7,8 cm.	

Berdasarkan persamaan (2), persamaan (3), dan persamaan (4), koordinat posisi benda dapat dihitung berdasarkan perhitungan teori. Akan tetapi karena kerangka robot yang digunakan pada penelitian ini dinilai kurang ideal karena terdapat sambungan antara *link* 1 dengan *link* 2 (FA) sebesar 2 cm, dan terdapat sambungan pada ujung *link* 3 (CE dan *gripper*) dengan panjang masing-masing 3,5 cm dan 4,3 cm maka persamaan untuk mencari nilai koordinat posisi robot menjadi:

$$x = \{ [2 + (L_2 \times cos\, \theta_2)] + [7{,}8 + (L_3 \times cos(\theta_3 - \theta_2))] \} \times cos\, \theta_1 \qquad (6)$$

$$y = \{ [2 + (L_2 \times cos\, \theta_2)] + [7{,}8 + (L_3 \times cos(\theta_3 - \theta_2))] \} \times sin\, \theta_1 \qquad (7)$$

$$z = L_1 + [2 + (L_2 \times sin\, \theta_2)] - [7{,}8 + (L_3 \times sin(\theta_3 - \theta_2))] \qquad (8)$$

Dengan,

x = koordinat x (absis)	L_1 = panjang *link* 1	θ_1 = sudut motor 1
y = koordinat y (ordinat)	L_2 = panjang *link* 2	θ_2 = sudut motor 2
z = koordinat z (aplikat)	L_3 = panjang *link* 3	θ_3 = sudut motor 3.

Berdasarkan persamaan (6), persamaan (7), dan persamaan (8) dapat diketahui koordinat akhir benda berdasarkan perhitungan teori. Kemudian dari hasil yang didapat berdasarkan simulasi pada V-REP dan hasil pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil Perhitungan Pengujian Gerak Robot Lengan

Uji	Koordinat Akhir Benda Berdasarkan Simulasi (cm)			Koordinat Akhir Benda Berdasarkan Perhitungan (cm)			Persentase Kesalahan (%)		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z
1	30,75	17,93	4,00	28,96	16,72	3,85	6,18	7,24	3,90
2	17,61	30,72	4,00	16,64	28,83	3,97	5,83	6,56	0,76
3	0,02	35,32	4,00	0,00	33,23	4,02	2,00	6,29	0,50
4	-17,50	30,47	4,00	-16,57	28,70	4,09	5,61	6,17	2,20
5	-30,09	17,52	4,00	-28,57	16,50	4,20	5,32	6,18	4,76
6	-34,49	0,01	4,00	-32,84	0,00	4,30	5,02	1,00	6,98
Rata-rata							4,99	5,57	3,18

3.4 Hasil Pengujian *Repeatability* pada V-REP

Repeatability merupakan ukuran seberapa bagus keluaran berulang ke nilai sebelumnya ketika masukan yang sama dengan presisi yang sama diberikan pada waktu-waktu yang berbeda. *Repeatability* dapat dinyatakan dalam bentuk standar deviasi, dimana semakin kecil nilai standar deviasi maka *repeatability* semakin baik. Adapun hasil pengujian *repeatability* pada V-REP adalah sebagai berikut.Pada pengujian ini posisi awal benda diletakkan pada koordinat x = -9,25 cm, y = 30,50 cm, dan z = 4,00 cm. Kemudian benda dipindahkan dengan masukan sudut motor sebesar θ_1 = 30°, θ_2 = 40,92°, dan θ_3 = 79,82°. Koordinat benda sebelum dan setelah dipindahkan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian *Repeatability*

Percobaan	Koordinat Awal (cm)			Koordinat Akhir(cm)		
	X	y	Z	x	y	z
1	-9,25	30,50	4,00	30,75	17,94	4,00
2	-9,25	30,50	4,00	30,74	17,94	4,00
3	-9,25	30,50	4,00	30,75	17,94	4,00
4	-9,25	30,50	4,00	30,75	17,93	4,00
5	-9,25	30,50	4,00	30,73	17,93	4,00
6	-9,25	30,50	4,00	30,75	17,92	4,00
7	-9,25	30,50	4,00	30,74	17,96	4,00
8	-9,25	30,50	4,00	30,75	17,93	4,00
9	-9,25	30,50	4,00	30,75	17,93	4,00
10	-9,25	30,50	4,00	30,75	17,94	4,00
Rata-rata				30,75	17,94	4,00

Berdasarkan nilai rata-rata yang diperoleh dari sepuluh kali percobaan, maka dapat dihitung standar deviasi untuk masing-masing koordinat. Adapun perhitungan standar deviasi untuk masing-masing koordinat adalah sebagai berikut.

A. Koordinat x

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{(30{,}75 - 30{,}75)^2 + (30{,}74 - 30{,}75)^2 + \cdots + (30{,}75 - 30{,}75)^2}{10}}$$

$$\sigma_x = 0{,}01.$$

B. Koordinat y

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2}{N}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{(17{,}94 - 17{,}94)^2 + (17{,}94 - 17{,}94)^2 + \cdots + (17{,}94 - 17{,}94)^2}{10}}$$

$$\sigma_y = 0{,}01.$$

C. Koordinat z

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(z_i - \bar{z})^2}{N}}$$

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{(4{,}00 - 4{,}00)^2 + (4{,}00 - 4{,}00)^2 + \cdots + (4{,}00 - 4{,}00)^2}{10}}$$

$$\sigma_z = 0{,}00.$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh hasil standar deviasi 0,01 untuk koordinat x, 0,01 untuk koordinat y, dan 0,00 untuk koordinat z. Nilai standar deviasi tersebut menunjukkan bahwa simulasi robot pada pengujian tersebut *repeatability* yang baik. Hal tersebut sesuai dengan teori yang ada, dimana semakin kecil nilai standar deviasi maka *repeatability* semakin baik. Begitu juga sebaliknya, semakin besar nilai standar deviasi maka *repeatability* semakin buruk.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian ini adalah:

1. Metode *forward kinematics* dapat diterapkan pada simulasi robot lengan 3 derajat kebebasan menggunakan perangkat lunak V-REP.
2. Persentase kesalahan yang terjadi pada penelitian ini sebesar 4,99% untuk koordinat x, 5,57% untuk koordinat y, dan 3,18% untuk koordinat z.
3. Berdasarkan hasil tersebut, robot lengan 3 derajat kebebasan dengan metode *forward kinematics* dapat disimulasikan pada perangkat lunak V-REP dengan cukup efektif.
4. Standar deviasi yang diperoleh dari pengujian *repeatability* menunjukkan bahwa simulasi robot lengan 3 derajat kebebasan pada perangkat lunak V-REP *repeatability* yang baik.

Daftar Pustaka

[1] Anggoro, B. (2013). *Sejarah dan Perkembangan Robot*. Diakses dari Universitas Diponegoro, http://eprints.undip.ac.id/

[2] Benu, D. (2016). Rancang Bangun Sistem Kendali Lengan Robot 3 Sendi Berbasis Programmable Logic Control (PLC). *Tugas Akhir Teknik Elektro*, STT Adisutjipto, Yogyakarta.

[3] Budiharto, W. (2014). *Robotika Modern – Teori dan Implementasi (edisi revisi)*. Andi.

[4] Jatmiko, W., dkk. (2012). *Robotika Teori dan Aplikasi. Depok: Universitas Indonesia*. Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia.

[5] Prasetia, I. E., & Agustinah, T. (2015). Invers Kinematics dengan Solusi Closed Form pada Robot Denso Manipulator. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), 2337-3539.

[6] Rus, D. (2011). *Robotic Systems and Science – Forward and Inverse Kinematics*. Diakses dari Massachusetts Institute of Technology, http://courses.csail.mit.edu/6.141/

[7] Siswaja, H. D. (2008). Prinsip Kerja dan Klasifikasi Robot. *Media Informatika*, 7(3).

[8] Sulistyowati, R., & Kurniawan, M. Y. (2012). Kontrol Posisi pada Lengan Robot Pemindah Barang Berbasis Mikrokontroller ATMega16. *In Proseding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.*

[9] Technology, Ufactory. (2017). *uArm Metal Developer Guide*. Diakses 26 Desember 2018, dari https://www.ufactory.cc

[10] Utomo, B., & Munadi. (2013). Analisis Forward dan Invers Kinematics pada Simulator Arm Robot 5 Derajat Kebebasan. *Jurnal Teknik Mesin (S-1)*, 1(3), 11-20.

[11] Wibowo, A. (2012). *Nilai Ringkasan Data*. Diakses dari Universitas Negeri Yogyakarta,