

PENGEMBANGAN DESAIN, SIMULASI DAN PENGUJIAN ROBOT TANGAN MENGUNAKAN FLEX SENSOR TERINTEGRASI DENGAN 3D ANIMATION SIMMECHANICS

*Ahmad Nurmianto¹, Mochammad Ariyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: ahmadnurmianto@gmail.com

Abstrak

Teknologi robotika merupakan salah satu teknologi yang penting dalam menentukan kemajuan peradaban di dunia. Teknologi robotika dapat meningkatkan produktivitas suatu pekerjaan. Dengan adanya robotika, pekerjaan yang sebelumnya sulit dan berbahaya untuk dikerjakan sekarang sudah dapat dikerjakan lebih mudah dan aman. Dengan input dari sinyal flex sensor dapat menggerakkan tangan robot dan dengan 3D Animation SimMechanics operator dapat memantau apakah input masukan dari flex sensor tepat menggerakkan tangan robot tersebut. Selain kedua hal tersebut pada artikel ini juga akan membahas mengenai pengujian sudut motor servo saat digerakkan dibandingkan dengan sudut tiap joint tangan robot yang menghadirkan tabel sudut pergerakan antara servo motor dan tiap joint tangan robotnya. Dari pengujian tersebut dapat dilihat kesimpulan hubungan antara gerakan servo motor dengan tali elastis yang digunakan untuk menghasilkan gerakan balik setelah tangan robot ditarik oleh aktuator. Untuk kinematik tangan robot, artikel ini akan membahas pemosisian inisial tangan robot dan *forward kinematics* pada tangan robot dengan menggunakan metode Denavit-Hartenberg. *Invers kinematics* juga akan menjadi bahasan dalam tugas akhir ini. *Software* yang digunakan pada penelitian ini adalah *MATLAB SimMechanics* sebagai media kontrol dari *virtual reality* dan juga digunakan *SolidWorks* sebagai media desain awal tangan robot. Telah berhasil diintegrasikan kontrol dari input sinyal flex sensor dan pergerakan tangan robot serta 3D Animation SimMechanics. Pada perhitungan *forward kinematics* menghasilkan koordinat posisi tiap ujung jari tangan robot dengan input sudut theta yang disesuaikan dengan sudut gerakan pada tangan manusia sesungguhnya. Lalu untuk *inverse kinematics* menghasilkan sudut dari tiap jari tangan setelah diberikan koordinat posisi dari ujung jari tangan robotnya.

Kata kunci: 3D Animation SimMechanics, tangan robot, flex sensor, *Forward kinematics*, *inverse kinematics*.

Abstract

Robotics technology is one technology that is important in determining the progress of civilization in the world. Robotics technology can improve the productivity of a job. With the robotics, jobs that were previously difficult and dangerous to do now can be done more easily and safely with the input of the signal flex sensors can move the robot hand and with 3D Animation SimMechanics operator can monitor whether the input input of flex sensors precisely move the arm of the robot. Besides those two things in this article will also discuss the current testing servo motor driven angle than the angle of each joint robot hand that presents the table angle between the servo motor and the movement of each joint robot hand. From these tests can be seen conclusion relationship between movement servo motor with elastic straps that are used to produce a turning movement after the robot arm is pulled by the actuator. For kinematic robot hand, this article will discuss the initial positioning and forward kinematics robot arm on the robot arm using Denavit-Hartenberg method. Inverse kinematics will also be discussed during this final. Software used in this study is the MATLAB SimMechanics as media control of virtual reality and also used SolidWorks as the initial design media robotic hand has been successfully integrated control of input signal sensor flex and movement of the robot arm and 3D Animation SimMechanics. In the forward kinematics calculations yield the position coordinates of each robot with fingertip input angle theta angles tailored to the actual movement of the human hand. Then for inverse kinematics produce the angle of each finger after being given the coordinates of the position of the robot hand fingertips.

Keywords: 3D animation Simmechanics, robotic hand, flex sensor, forward kinematics, inverse kinematics

1. Pendahuluan

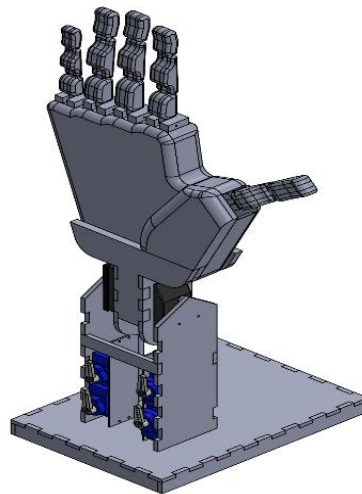
Teknologi robotika merupakan salah satu teknologi yang penting dalam menentukan kemajuan peradaban di dunia. Teknologi robotika dapat meningkatkan produktivitas suatu pekerjaan. Dengan adanya robotika, pekerjaan yang sebelumnya sulit dan berbahaya untuk dikerjakan sekarang sudah dapat dikerjakan lebih mudah dan aman. Perkembangan robotika terjadi di hampir setiap sektor kehidupan, seperti sektor militer, manufaktur, industri, kesehatan dan sektor kehidupan lainnya. [1]. Misalnya, di reaktor nuklir atau suatu tempat dengan bahan kimia sangat berbahaya [1]. Untuk itulah dikembangkan teknologi pengendali jarak jauh. Terutama yang diharapkan adalah kemudahan dalam penggunaan dan dapat dipastikan apakah alat yang dikendalikan dapat bergerak sesuai keinginan operator.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengintegrasikan antara respon pergerakan dari tangan robot berdasarkan input yang telah diberikan input sinyal flex sensor. Selain itu untuk visualisasi pergerakan dari tangan robot pada 3D view *SimMechanics* dan mendapat hasil pergerakan berupa besar sudut pada tiap *joint* bila diberikan nilai dari *fingertips*.

2. Metode Penelitian

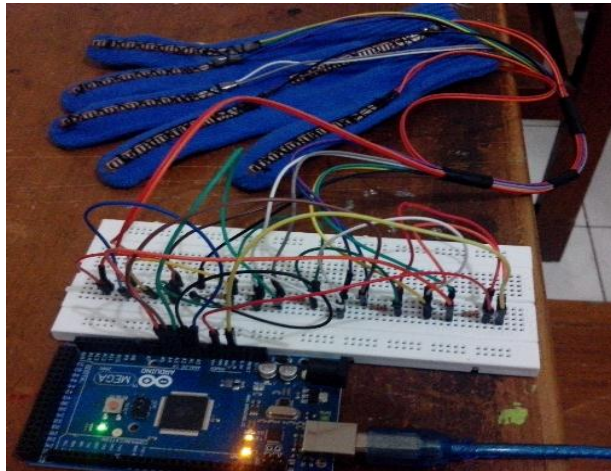
2.1 Desain Tangan Robot

Pada Gambar 1 adalah skema hasil pembuatan desain tangan robot dengan sudut pandang *isometric*.



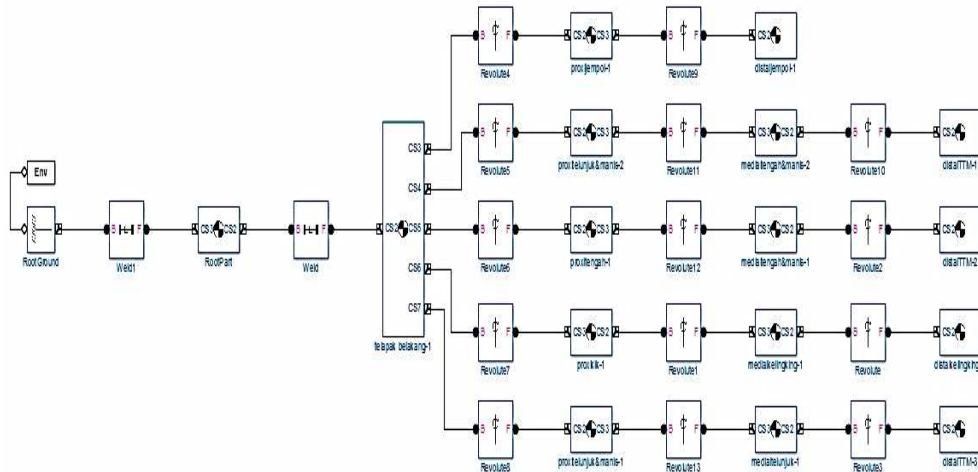
Gambar 1. Skema pembuatan desain tangan robot.

2.2 Rangkaian Flex Sensor pada Mikrokontroler.



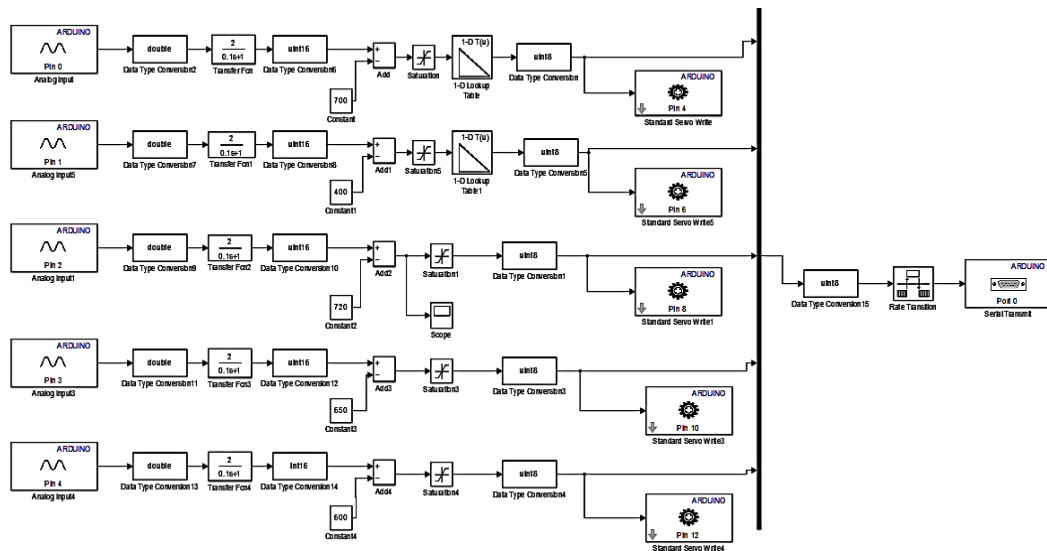
Gambar 2. Rangkaian flex sensor pada Mikrokontroler.

Dari skema pada Gambar 2 dapat digunakan untuk mengendalikan tangan robot dari flex sensor yang di sambungkan pada arduino sebagai *mikrokontroler* dan diprogram menggunakan *SimMechanics*. Sebelum dimasukkan program pada *SimMechanics*, terlebih dahulu *export* gambar *assembly* dari SolidWorks. Pada Gambar 3 terdapat bagan pada *Simulink* hasil *export* dari SolidWorks setelah diberi kontrol input. *Software Simulink* juga dapat digunakan untuk mensimulasikan secara 3D dengan 3D Animation *SimMechanics* [2], pada studi ini digunakan *SimMechanics* yang ada pada MATLAB 2013b.



Gambar 3. Hasil export SimMechanics model tangan robot.

Bagan pada Gambar 3 merupakan bagian terkontrol dari sistem. Terdapat 1 bagan lagi yaitu bagan kontrol, adalah bagan yang digunakan sebagai *input* kontrol yang disambungkan dengan flex sensor melalui arduino. Bagan kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Bagan kontrol tangan robot dan 3D Animation SimMechanics.

Pada bagan diatas digunakan sebuah filter yaitu *low-pass filter first order*. Selanjutnya adalah pembahasan mengenai analisa kinematik dari manipulator. analisa ini meliputi pembahasan mengenai koordinat *fingertips* dari tangan robot pada posisi inisial dan koordinat *forward kinematics* juga analisa *inverse kinematics*. Analisa kinematik baik koordinat posisi inisial maupun *forward kinematics* menggunakan metode Denavit-Hartenberg, yaitu metode pendekatan koordinat berdasarkan parameter yang ada pada tangan robot.

Analisa kinematik dilakukan dengan dua metode yaitu secara matematis, dan menggunakan *software RoboAnalyzer*. Hasil analisa kinematik akan disajikan berupa tabel perbandingan antara dua metode tersebut dan untuk bagian *software SimMechanics* dan *RoboAnalyzer* disajikan juga *image initial position* dan *forward kinematics*.

Untuk *software RoboAnalyzer*, hasil analisa disajikan dalam bentuk gambar 3D dan matriks 4x4 dimana koordinat X dan Y terletak pada kolom 4 baris 1 sebagai X, baris 2 sebagai Y. Dari program *SimMechanics* di atas akan didapat hasil berupa koordinat baik dari initial position dan *forward kinematics* dari manipulator.

2.3. Parameter dan Rumus Perhitungan

2.3.1. D-H Parameter

Suatu cara untuk merepresentasikan analisa hubungan gerak rotasi dan translasi antara lengan-lengan yang terhubung dalam suatu *manipulator* diperkenalkan oleh Denavit dan Hartenberg (1955). Prinsip dasar (D-H) adalah dengan melakukan tranformasi koordinat antara dua *link* yang berdekatan dan hasilnya adalah matriks (4x4). Variable D-H yaitu : θ, a, α, d . Kemudian masing-masing parameter dapat dilihat pada daftar pada Tabel 1 untuk 2 *link* tangan robot dan Tabel 2 untuk tangan robot dengan 3 *link* .

Tabel 1. D-H parameter dari 2 *link* tangan robot [3]

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	l_1	0°	0	θ_1
2	l_2	0°	0	θ_2

Tabel 2. D-H parameter dari 3 *link* tangan robot [3]

Link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	l_1	0°	0	θ_1
2	l_2	0°	0	θ_2
3	l_3	0°	0	θ_3

2.3.2. Forward Kinematics

Forward kinematics adalah metode untuk mencari koordinat dari *fingertips* dengan menggunakan parameter yang didapat dari tabel D-H parameter. Rumus yang digunakan untuk menghitung *forward kinematics* pada jari tangan robot dengan 2 *link* adalah:

$$\begin{aligned} x &= l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \cos \theta_1 \\ y &= l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_1 \sin \theta_1 \end{aligned} \quad (1)$$

Kemudian untuk prumus perhitungan *forward kinematics* pada jari tangan dengan 3 *link* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x &= l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ y &= l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \end{aligned} \quad (2)$$

2.3.3. Invers Kinematics

Invers kinematics merupakan cara yang digunakan untuk menentukan sudut pergerakan dari tiap *joint* apabila koordinat akhir dari *fingertips* telah diketahui. Metode yang akan digunakan pada perhitungan ini adalah dengan metode trigonometri yaitu dengan rumus:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \arctan \left[\frac{y - l_2 \sin(\theta_{12})}{x - l_2 \cos(\theta_{12})} \right] \\ \theta_{12} &= \pm \arccos \left(-\frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) + \arctan \left(\frac{b}{a} \right) \\ \cos \theta_2 &= \frac{x^2 + y^2 - l_1^2 - l_2^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_2} \\ \sin \theta_2 &= \pm \sqrt{1 - (\cos \theta_2)^2} \\ \theta_2 &= \arctan(\sin \theta_2, \cos \theta_2) \\ \phi &= \arctan \left(\frac{\sin \theta_{123}}{\cos \theta_{123}} \right) \\ \phi &= \arctan \left(\frac{y - l_1 \sin \theta_1 - l_2 \sin \theta_{12}}{x - l_1 \cos \theta_1 - l_2 \cos \theta_{12}} \right) \\ \theta_3 &= \phi - \theta_1 - \theta_2 \end{aligned} \quad (3)$$

2.4. Uji Gerak Sudut Motor Servo

Metode pengujian *response* manipulator dilakukan dengan cara pengukuran sudut manual menggunakan busur. Pengukuran dilihat saat sudut motor servo digerakkan dengan variasi sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 180° . Pada saat servo digerakkan dengan variasi sudut tersebut, kemudian dilihat berapa besarnya sudut tiap jari tangan robotnya. Pengukuran sudut seperti ini bertujuan untuk melihat apakah mekanisme tangan robot yang dibuat sudah mendekati karakteristik dari tangan manusia sesungguhnya serta untuk mengetahui kemampuan *grasping* dari tangan robot yang dibuat. Untuk mengetahui seberapa kemampuan *grasping* atau menggengam suatu benda pada tangan robot dapat dilihat jika gerak sudut tiap *joint* tangan robot mendekati sudut gerak dari tangan manusia, yaitu mendekati sudut 90° . Berikut Gambar 3 ditampilkan pengukuran sudut antara motor servo dengan *joint* tiap jari tangan robot.



Gambar 5. Pengujian Sudut Antara Gerak Motor Servo dengan Tiap Join Jari Tangan Robot.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa kinematik

3.1.1. Forward Kinematics

Analisa kinematik mencakup beberapa hal yaitu D-H Parameter, koordinat *initial position* dan koordinat *forward kinematics*. Metode yang digunakan dalam perhitungan adalah metode Denavit-Hartenberg yang menampilkan hubungan link antar *joint* dalam tabel di bawah ini.

D-H Parameter didapat dari parameter tiap jari tangan robot. Untuk perhitungan nilai *forward kinematics* dibedakan menjadi dua perumusan dikarenakan terdapat jari tangan robot yang mempunyai 2 *link* atau dua ruas jari dan jari tangan robot dengan 3 *link* ruas jari tangan. Untuk *initial position* D-H parameter tiap jari tangan robot dapat dilihat pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 7 dibawah ini.

Tabel 3. *Initial Position* D-H Parameter Jari Jempol Tangan Robot.

Link	a_i (mm)	α_i	d_i	θ_i
1	38	0°	0	θ_1
2	35	0°	0	θ_2

Tabel 4. *Initial Position* D-H Parameter Jari Telunjuk Tangan Robot.

Link	a_i (mm)	α_i	d_i	θ_i
1	29	0°	0	θ_1
2	31	0°	0	θ_2
3	28	0°	0	θ_3

Tabel 5. *Initial Position* D-H Parameter Jari Tengah Tangan Robot.

Link	a_i (mm)	α_i	d_i	θ_i
1	34	0°	0	θ_1
2	30	0°	0	θ_2
3	28	0°	0	θ_3

Tabel 6. *Initial Position* D-H Parameter Jari Manis Tangan Robot.

Link	a_i (mm)	α_i	d_i	θ_i
1	29	0°	0	θ_1
2	30	0°	0	θ_2
3	28	0°	0	θ_3

Tabel 7. *Initial Position* D-H Parameter Jari Kelingking Tangan Robot.

Link	a_i (mm)	α_i	d_i	θ_i
1	23	0°	0	θ_1
2	24	0°	0	θ_2
3	23	0°	0	θ_3

Analisa dari Tabel 3 menggunakan rumus matriks transformasi dengan rumus *forward kinematics* dengan Rumus 1 dan untuk analisa Tabel 4 sampai dengan Tabel 7 menggunakan rumus *forward kinematics* dengan Rumus 2 yang kemudian dengan perbedaan nilai θ , koordinat posisi yang dihasilkan menjadi nilai *forward kinematics*.

Perhitungan matriks transformasi metode matematis menggunakan Rumus 1 untuk jari jempol tangan robot memberi hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x &= 38 \cos 70 + 35 \cos(160) \\x &= -19,89 \\y &= 38 \sin 70 + 35 \sin(160) \\y &= 47,68\end{aligned}$$

Lalu untuk perhitungan menggunakan Rumus 2, Tabel 4 akan menghasilkan nilai *forward kinematics* untuk Jari telunjuk tangan robot, dan menghasilkan hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x &= 29 \cos 75 + 31 \cos(165) + 28 \cos(255) \\x &= -29,68 \\y &= 29 \sin 75 + 31 \sin(165) + 28 \sin(255) \\y &= 8,99\end{aligned}$$

Kemudian untuk Tabel 5 juga menggunakan Rumus 2 untuk perhitungannya, maka hasil posisi *forward kinematics* untuk jari tengah dengan perhitungan matematis adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x &= (34 \cos 80 + 30 \cos(80 + 90) + 28 \cos(80 + 90 + 90)) \\x &= -28,5 \\y &= (34 \sin 80 + 30 \sin(80 + 90) + 28 \sin(80 + 90 + 90)) \\y &= 11,2\end{aligned}$$

Untuk mengetahui nilai *forward kinematics* jari manis, dengan menggunakan kondisi pada Tabel 6 dan menggunakan perhitungan Rumus 2. Maka hasilnya adalah:

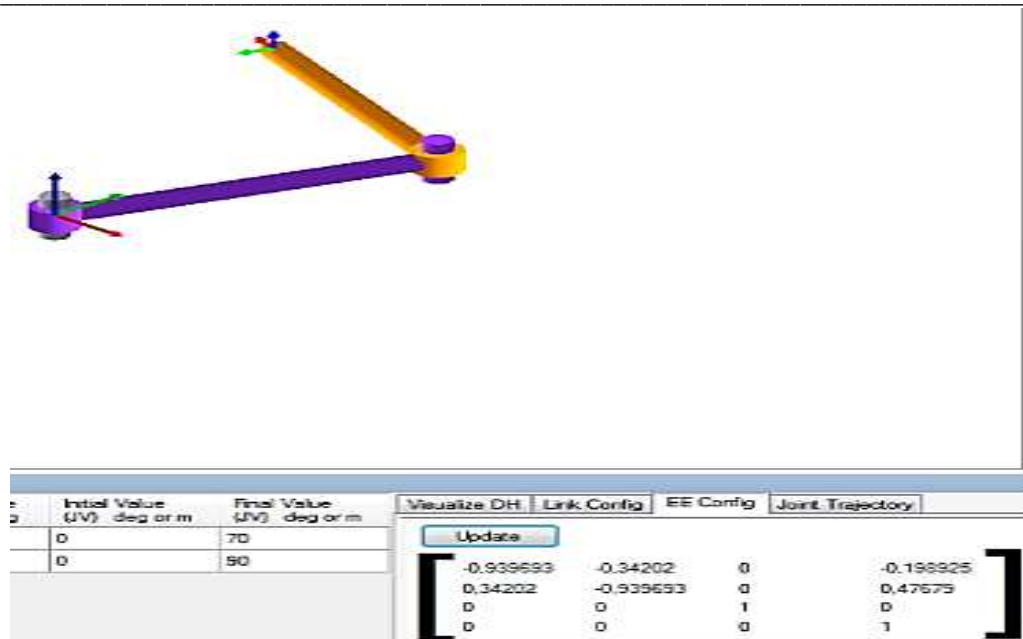
$$\begin{aligned}x &= 29 \cos 85 + 30 \cos(85 + 90) + 28 \cos(85 + 90 + 90) \\x &= -29,8 \\y &= 29 \sin 85 + 30 \sin(85 + 90) + 28 \sin(85 + 90 + 90) \\y &= 3,61\end{aligned}$$

Dan perhitungan matematis untuk *forward kinematics* yang terakhir yaitu untuk jari kelingking menggunakan keadaan pada Tabel 7 dan perhitungan berdasar Rumus 2 menghasilkan nilai sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x &= 23 \cos 90 + 24 \cos(90 + 90) + 23 \cos(90 + 90 + 90) \\x &= -24 \\y &= 23 \sin 90 + 24 \sin(90 + 90) + 23 \sin(90 + 90 + 90) \\y &= 0\end{aligned}$$

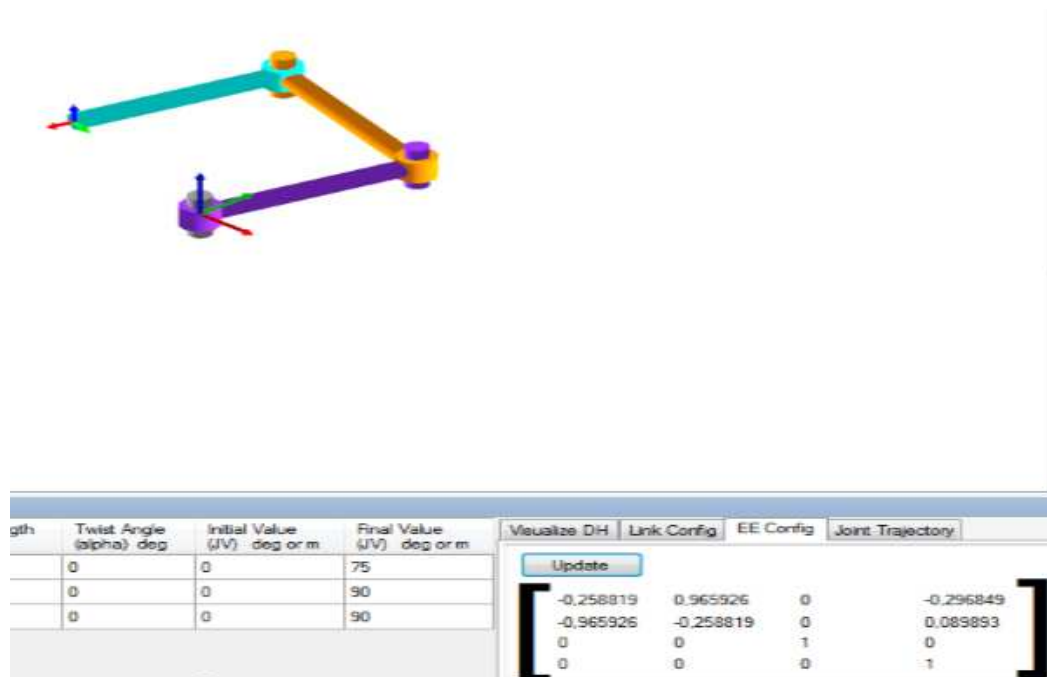
Yang perlu diamati pada perhitungan diatas yaitu masukan nilai theta yang berbeda pada tiap jari tangan robot. Hal itu dilakukan berdasar dari pengamatan gerakan sudut tangan manusia sesungguhnya. Maka dari itu, nilai theta yang dimasukkan berbeda-beda berdasarkan parameter yang ada. Untuk metode menggunakan *software RoboAnalyzer* dengan menggunakan input *initial position* seperti pada perhitungan matematis akan dihasilkan 3D image seperti pada Gambar 6 sampai Gambar 10.

Pada Gambar 6 merupakan hasil dari perhitungan *software RoboAnalyzer* untuk jari jempol, yaitu jari tangan robot dengan 3 *link* dengan perhitungan berdasar posisi inisial yang sama dengan model perhitungan matematis, dapat dilihat untuk nilai *forward kinematics* pada matriks yang ditampilkan pada bagian kanan bawah dari Gambar 6.



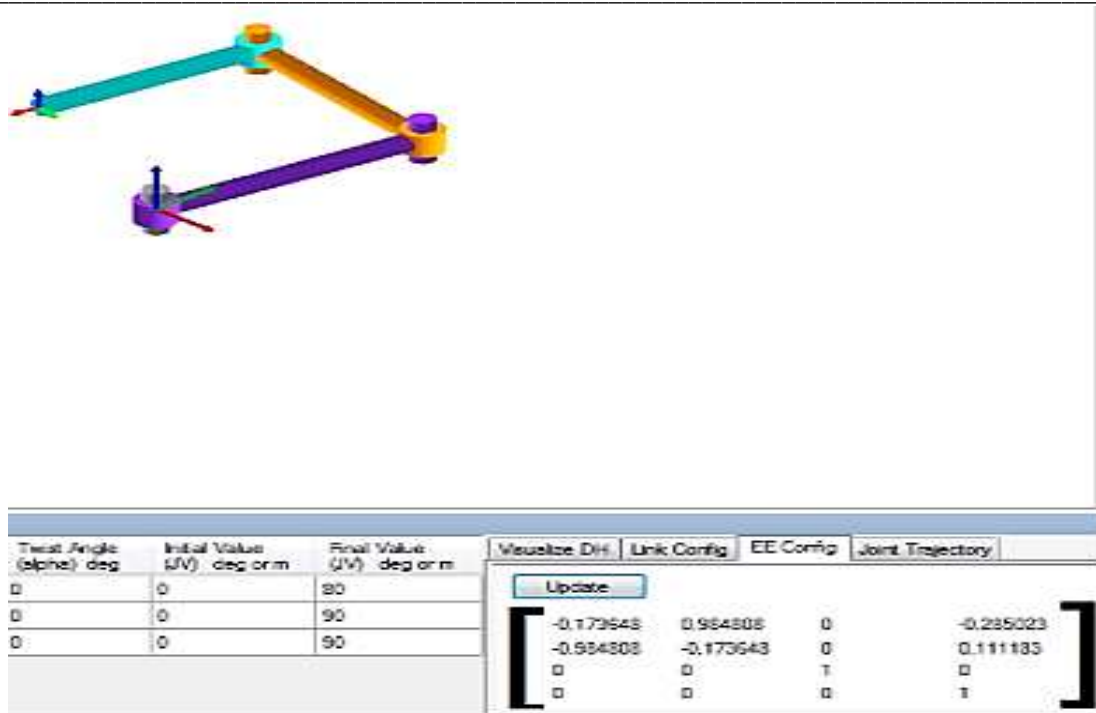
Gambar 6. Forward kinematics jari jempol RoboAnalyzer.

Pada Gambar 7 merupakan hasil dari perhitungan *software RoboAnalyzer* untuk jari telunjuk dengan posisi inisial yang sama dengan model perhitungan matematis, dapat dilihat untuk nilai *forward kinematics* pada matriks yang ditampilkan pada bagian kanan bawah dari Gambar 7.



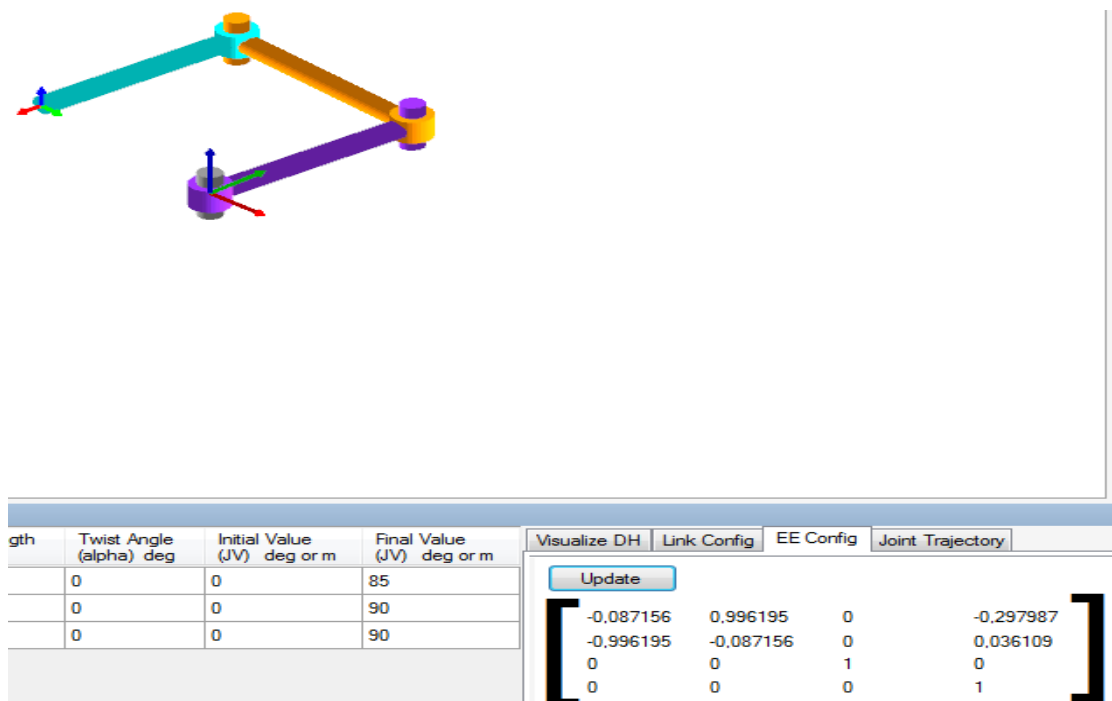
Gambar 7. Forward kinematics jari telunjuk RoboAnalyzer.

Kemudian dilanjutkan perhitungan menggunakan *software* untuk jari tangan robot, dan hasil dari perhitungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 8.



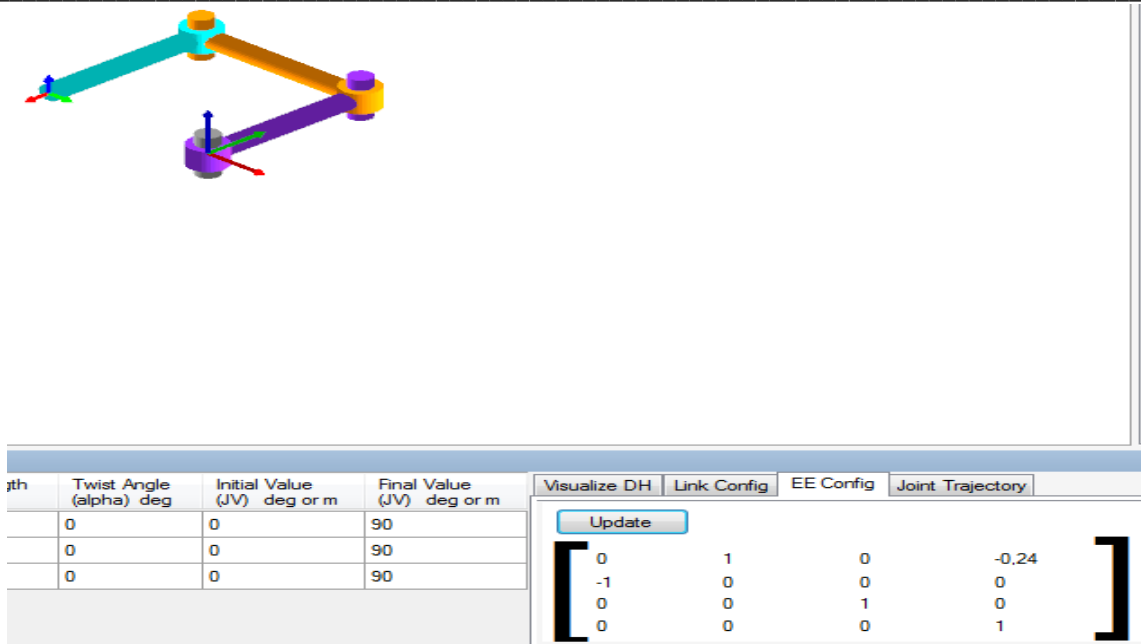
Gambar 8. Forward kinematics jari tengah RoboAnalyzer.

Kemudian dengan cara yang sama didapat hasil perhitungan *forward kinematics* berdasarkan *software* untuk jari manis tangan robotnya terdapat pada Gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9. Forward kinematics jari manis RoboAnalyzer.

Dan yang terakhir untuk perhitungan jari tangan robot menggunakan *software RoboAnalyzer* yaitu untuk jari kelingking. Untuk masukan nilai inisial yang sama dengan nilai inisial pada perhitungan matematis maka hasil dari analisa *forward kinematics* jari kelingking yaitu terdapat pada Gambar 10 dibawah.



Gambar 10. Forward kinematics jari kelingking RoboAnalyzer.

Dari perhitungan *forward kinematics* menggunakan metode matematis maupun menggunakan *software RoboAnalyzer* menghasilkan nilai yang sama pada tiap jari tangan robotnya. Hasil perbandingan tersebut ditampilkan pada Tabel 8 sampai dengan Tabel 12 berikut.

Tabel 8. Perbandingan perhitungan *forward kinematics* jari jempol.

Sumbu	Matematis	RoboAnalyzer
X	-19,89	-19,8925
Y	47,68	47,679

Tabel 9. Perbandingan perhitungan *forward kinematics* jari telunjuk.

Sumbu	Matematis	RoboAnalyzer
X	-29,68	-29,68
Y	8,99	8,989

Tabel 10. Perbandingan perhitungan *forward kinematics* jari tengah.

Sumbu	Matematis	RoboAnalyzer
X	-28,5	-28,5
Y	11,12	11,1183

Tabel 11. Perbandingan perhitungan *forward kinematics* jari manis.

Sumbu	Matematis	RoboAnalyzer
X	-29,8	-29,798
Y	3,61	3,611

Tabel 12. Perbandingan perhitungan *forward kinematics* jari kelingking.

Sumbu	Matematis	RoboAnalyzer
X	-24	-24
Y	0	0

3.1.2. Inverse Kinematics

Invers kinematics sendiri adalah cara menganalisa posisi pergerakan dan sudut tiap servo bila diberi koordinat posisi ujung jari tangan robot. Dengan metode matematis, analisa *inverse kinematics* dilakukan dengan menggunakan metode trigonometri. Perhitungan invers kinematik menghasilkan perumusan untuk θ_1, θ_2 , dan θ_3 seperti pada Rumus 3 untuk 2R jari tangan robot dan Rumus 4 untuk 3R jari tangan robot.

- Untuk invers kinematik jari jempol menggunakan Rumus 3, dengan memasukkan nilai posisi ujung jari tangannya sebagai berikut:

$$x = -15,5$$

$$y = 49,8$$

lalu dihasilkan nilai theta tiap join revolutnya:

$$\theta_1 = 65,15$$

$$\theta_2 = 88,85.$$

- Lalu untuk mengetahui nilai invers kinematik jari telunjuk dengan memasukkan nilai posisi ujung jari,

$$x = -25,4$$

$$y = 9,7$$

maka dihasilkan nilai theta tiap join revolutnya:

$$\theta_1 = 46,12$$

$$\theta_2 = 53,82$$

$$\phi = 159,2$$

$$\theta_3 = \phi - \theta_2 - \theta_1$$

$$\theta_3 = 159,2 - 46,12 - 53,82 = 59,26$$

- Nilai invers kinematik jari tengah dengan posisi ujung jari seperti dibawah ini,

$$x = -27,2$$

$$y = 14,3$$

menghasilkan nilai theta tiap join revolut sebagai berikut:

$$\theta_1 = 33,86$$

$$\theta_2 = 56,98$$

$$\phi = 162,8$$

$$\theta_3 = \phi - \theta_2 - \theta_1$$

$$\theta_3 = 162,8 - 33,86 - 56,98 = 71,96$$

- Selanjutnya nilai invers kinematik untuk jari manis, posisi ujung jarinya dalah,

$$x = -25,3$$

$$y = 8,6$$

mendapatkan nilai theta tiap join revolut sebesar:

$$\theta_1 = 53,65$$

$$\theta_2 = 52,06$$

$$\phi = 233,8$$

$$\theta_3 = \phi - \theta_2 - \theta_1$$

$$\theta_3 = 233,8 - 101,86 - 52,86 = 79,08$$

- Dan yang terakhir untuk nilai invers kinematik jari kelingking dengan posisi ujung jarinya,

$$x = -24,2$$

$$y = 2,4$$

menghasilkan nilai theta join revolut sebesar:

$$\theta_1 = 55,22$$

$$\theta_2 = 62,29$$

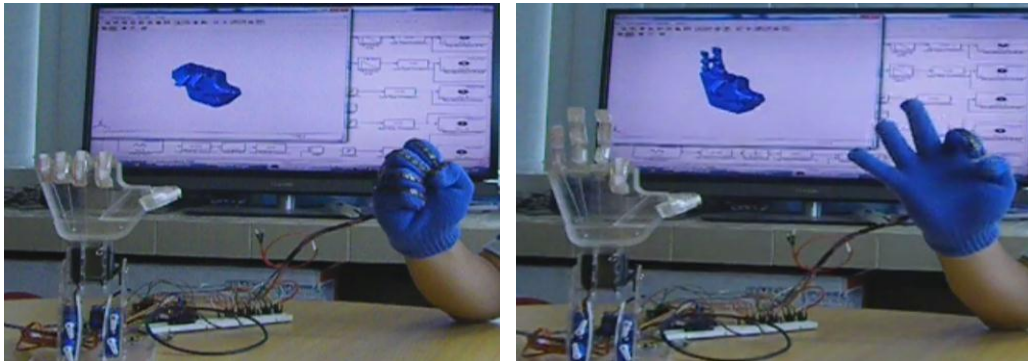
$$\phi = 235,2$$

$$\theta_3 = \phi - \theta_2 - \theta_1$$

$$\theta_3 = 235,2 - 117,4 - 62,29 = 55,51$$

3.2. Hasil 3D Animation SimMechanics

Pembahasan 3D Animation SimMechanics mencangkup hasil visual apakah manipulator dan tampilan virtual sudah dapat mengikuti gerakan yang di-input oleh flex sensor yang dipasang pada sarung tangan. Secara visual tidak dapat ditunjukkan dalam artikel ini tetapi dapat ditampilkan beberapa gambar simulasi yang sudah diambil. Gambar yang diambil saat simulasi ada pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil implementasi 3D Animation SimMechanics.

3.3. Uji Sudut Gerak Motor Servo.

Pada pengukuran besar sudut antara motor servo dan sudut tiap joint jari tangan bertujuan untuk menganalisa perbandingan sudut yang dihasilkan oleh motor servo dan joint tiap jari tangan robot sehingga diketahui pengaruh apa saja yang membuat besaran sudut yang dihasilkan oleh joint jari tangan robot tidak sesuai dengan besarnya sudut yang dihasilkan oleh motor servo. Hasil pengukurannya ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Pengujian Sudut Gerak Motor Servo dengan Join Tangan Robot.

Sudut Tiap Joint		Sudut Motor Servo				
		0°	45°	90°	135°	180°
Jempol	IP Joint	0°	30°	70°	85°	90°
	MCP Joint	0°	0°	0°	40°	65°
Telunjuk	PIP Joint	0°	35°	45°	55°	90°
	DIP Joint	0°	20°	70°	65°	80°
	MCP Joint	0°	0°	15°	55°	75°
Tengah	PIP Joint	0°	30°	45°	65°	90°
	DIP Joint	0°	65°	75°	85°	90°
	MCP Joint	0°	15°	35°	80°	85°
Manis	PIP Joint	0°	45°	90°	90°	90°
	DIP Joint	0°	50°	75°	85°	90°
	MCP Joint	0°	0°	10°	65°	85°
Kelingking	PIP Joint	0°	25°	30°	80°	90°
	DIP Joint	0°	15°	45°	65°	70°
	MCP Joint	0°	15°	30°	50°	75°

Apabila dilihat dari hasil pengukuran diatas, dari sudut maksimal yang dihasilkan oleh putaran motor servo menghasilkan sudut akhir joint tiap jari tangan robot dengan nilai sudut yang mendekati sudut maksimal yang dapat dilakukan oleh joint jari tangan robot yaitu sebesar 90°. Parameter besarnya sudut yang dihasilkan oleh tiap joint jari tangan robot pada kondisi saat motor servo bergerak dengan sudut putaran maksimalnya atau 180° menandakan bahwa desain tangan robot yang dibuat mendekati dengan permodelan tangan manusia sesungguhnya dalam hal gerakan jari tangannya. Semakin besar sudut tiap jari tangan robot juga menandakan bahwa tangan robot tersebut memiliki kemampuan untuk memegang suatu benda (*grasping*) yang bagus atau kuat. Dan berikut pada gambar 4.16 merupakan gambar tangan robot yang dibuat saat melakukan *grasping*.

4. Kesimpulan

Dapat dibuat satu rangkaian yang mengaitkan gerakan sarung tangan yang telah dipasang flex sensor dengan tangan robot dan dilihat gerakannya pada 3D Animation SimMechanics menggunakan software MATLAB SimMechanics. Analisa

initial position dan forward kinematics menggunakan dua buah metode yaitu metode matematis dan *RoboAnalyzer* menghasilkan hasil yang sama hanya saja karena posisi inisial dari dua buah metode berbeda menghasilkan besar dan arah yang berbeda pula. Hanya saja untuk memastikan koordinat posisi hal tersebut tidak terlalu berpengaruh. Hasil dari uji experimental menghasilkan respon posisi antara motor servo dan join tangan robot menghasilkan sudut gerak mendekati karakteristik tangan manusia sehingga disimpulkan bahwa tangan robot dapat melakukan gerakan menggengam suatu benda dengan baik dan relatif kuat.

5. Daftar Pustaka

- [1] ElKoura, George, and Singh, Karan. "Animating Human Hand." Toronto, Kanada. Eurographics/SIGGRAPH Symposium on Computer Animation. 2003..
- [2] Li-Ren Lin, Han-Pang Huang, "Mechanism design of a new multifingered robot hand," Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1996, vol.2, no., pp.1471-1476 vol.2, 22-28 Apr 1996
- [3] Utomo, Budi. (2013). "Analisa *forward* dan *inverse kinematics* pada simulator *arm robot* 5 derajat kebebasan", UNDIP. Indonesia.
- [4] Caffaz, A., Cannata, G. , "The design and development of the DIST-Hand dextrous gripper," Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1998., vol.3, pp.2075-2080, 16-20 May 1998.
- [5] Siciliano, Bruno, dan Oussama, khatib. 2008. *Handbook of Robotics*. USA. Springer.
- [6] Hoshino, Kiyoshi, and Ichiro Kawabuchi, "Pinching at fingertips for humanoid robot hand". University of Tsukuba.
- [7] https://en.wikibooks.org/wiki/Robotics_Kinematics_and_Dynamics/Serial_Manipulator_Position_Kinematics diakses pada 12 Agustus 2015.