# **TUGAS AKHIR**

# SIMULASI LENGAN (ARM) ROBOT DENGAN 3 DOF (DEGREE OF FREEDOM) MENGGUNAKAN APLIKASI SOLIDWORKS 2013

Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

**Disusun Oleh:** 

# NAULI ANUGRAH SITUMEANG 1307230233



# PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN 2019

#### HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Nauli Anugrah Situmeang
NPM	: 1307230233
Program Studi	: Teknik Mesin
Judul Skripsi	: SIMULASI LENGAN (ARM) ROBOT DENGAN 3 DOF (DEGREE OF FREEDOM) MENGGUNAKAN APLIKASI SOLIDWORKS 2013
Bidang ilmu	: Alat Berat

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Februari 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji

Dosen Pe

M. Yani, S.T., M.T

Rahmatullah,S.T., M.Sc

Dosen Penguji Dr. Eng., Rakhmad Arief Siregar

Dosen Peguji 2

Sudirman Lubis, S.T., M.T

Program Studi Teknik Mesin TAS MUH Ketua, Affangi, S.T., M.T

i

#### SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap	: Nauli Anugrah Situmeang
Tempat /Tanggal	Lahir: Padang / 2 Agustus 1995
NPM	: 1307230233
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

# "SIMULASI LENGAN (ARM) ROBOT DENGAN 3 DOF (DEGREE OF FREEDOM) MENGGUNAKAN APLIKASI SOLIDWORKS 2013",

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Februari 2019

Saya yang menyatakan,



Nauli Anugrah Situmeang

# ABSTRAK

Teknologi mengalami suatu kemajuan yang sangat pesat pada masa sekarang ini. Teknologi yang canggih telah menggantikan peralatan-peralatan manual yang membutuhkan banyak tenaga manusia untuk dioperasikan, salah satunya yaitu penggunaan robot. Robot yang diaplikasikan pada kehidupan sebenarnya didesain dengan bentuk yang sesuai dengan kebutuhannya. Salah bagian satu robot yang memiliki sistem gerak seperti manusia adalah lengan robot. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendesain lengan ( arm ) robot dan melakukan simulasi lengan ( arm ) robot. Dalam penelitian ini menggunakan aplikasi solidworks 2013 dan didesain menggunakan 3 derajat kebebasan. Hasil penelitian menunjukkan pada *angular velocity* gerakan kecepatan sudut terbesar terjadi pada 300 °/ sec pada waktu 4,45 sec. Lama waktu yang ditempuh untuk berputar hingga membentuk 180 ° yaitu 0,9 sec. Pada angular acceleration mengalami 2 kali percepatan yaitu percepatan maksimum pertama terjadi pada 1250 °/ sec. Percepatan maksimum kedua terjadi pada  $1333^{\circ}$  / sec<sup>2</sup>. Dan pada torsi motor terjadi 4 puncak gaya maksimum dan 2 gaya minimum. Dimana puncak paling maksimum terjadi pada waktu 4,45 sec sebesar 79046131 dyne.cm dan puncak paling minimum terjadi pada waktu 4.8 sec sebesar 24701916,3 dyne.cm.

Kata kunci : Lengan ( arm ) robot, solidworks, desain

# ABSTRACT

Technology has experienced a very rapid progress in the present. Sophisticated technology has replaced manual equipment that requires a lot of human power to operate, one of which is the use of robots. Robots that are applied to life are actually designed in a form that suits their needs. One part of a robot that has a human-like motion system is a robotic arm. This research uses a descriptive method. The purpose of this study was to design a robot arm (arm) and simulate a robot arm. In this study using the application Solidworks 2013 and designed using 3 degrees of freedom. The results showed that the largest angular velocity angular velocity movements occurred at 300 ° / sec at 4.45 sec. The length of time taken to rotate to form 180 ° is 0.9 sec. Angular acceleration experiences 2 times acceleration, namely the first maximum acceleration occurs at 1250 ° / sec. The second maximum acceleration occurs at. And on the motor torque there are 4 maximum peak forces and 2 minimum forces. Where the maximum peak occurs at 4.45 sec at 24701916.3.

Keywords: Robot arm, solidworks, design

#### KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul "Simulasi Lengan (*Arm*) Robot Dengan 3 *DOF* (*Degree Of Freedom*) Menggunakan Aplikasi *Solidworks* 2013" sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

- 1. Bapak Rahmatullah,S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- 2. Bapak M. Yani, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Bapak Dr. Eng., Rakhmad Arief Siregar selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- Bapak Sudirman Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- 5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- 6. Bapak Ade Faisal,S.T., M.Sc., Ph.D selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan juga membantu penulis selama Tugas Akhir ini.
- 8. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

- Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Seluruh Bapak / Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
- 11. Kedua orang tua penulis, Ayahanda Alitua Situmeang, dan Ibunda Sari Nondang Lubis yang telah banyak memberikan kasih sayang, nasehatnya, doanya, serta pengorbanan yang tidak dapat ternilai dengan apapun itu kepada penulis selaku anak yang di cintai dalam melakukan penulisan Tugas Akhir ini.
- 12. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- 13. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin khususnya kelas B-2 dan A-2 Siang.
- 14. Para sahabat tercinta dan keluarga dirumah yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik Mesin.

Medan, 27 Februari 2019

Nauli Anugrah Situmeang

# **DAFTAR ISI**

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Robot	4
2.2. Manipulator Robot (Lengan Robot)	5
2.2.1. Konsep Dasar Robot Manipulator (Lengan Robot)	6
2.2.2. Jenis-jenis Lengan Robot Berdasarkan Konfigurasi	10
2.2.3. Bagian-bagian Lengan Robot	12
2.3. Kinematika Lengan Robot	13
2.4. Solidworks	19
2.4.1. Memulai Aplikasi Solidworks	20
2.4.2. Mengubah Satuan	24
BAB 2 METODE PENELITIAN	25
3.1. Waktu dan Tempat	25
3.1.1. Waktu	25
3.1.2 Tempat	25
3.2. Alat Penelitian	25
3.2.1. Laptop	25
3.2.2. Software Solidworks	25
3.3. Diagram Aliran Penelitian	26
3.4. Mendesain Lengan (Arm) Robot	27
3.5. Penggabungan Part	43
3.6. Motion Study	46
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1. Perhitungan Kinematika Lengan Robot	50
4.1.1. Forward Kinematics	50
4.1.2. Inverse Kinematics	51
4.2. Hasil Simulasi	53
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1. Kesimpulan	56

vii

5.2. Saran

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN DAFTAR ASITENSI BERITA ACARA SEMINAR DAFTAR RIWAYAT HIDUP

# DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Contoh pergerakan lengan robot	6
Gambar 2.2	Contoh revolute joint	7
Gambar 2.3	Contoh prismatic joint	7
Gambar 2.4	Contoh robot dengan 3 poros gerakan 3 derajat kebebasan	8
Gambar 2.5	Contoh robot dengan 3 poros 6 derajat kebebasan yang	
	mungkin bagi sebuah objek	8
Gambar 2.6	Contoh robot dengan 4 poros 3 derajat kebebasan	8
Gambar 2.7	Pergelangan robot dengan 3derajat kebebasan	9
Gambar 2.8	Anatomi robot industri	9
Gambar 2.9	Anthropomorphic	10
Gambar 2.10	Cartesian	10
Gambar 2.11	Silindris	11
Gambar 2.12	Kutub	11
Gambar 2.13	SCARA	12
Gambar 2.14	Konfigurasi robot 3 planar sendi	13
Gambar 2.15	Variabel siku untuk P-P planar manipulator	15
Gambar 2.16	Inverse kinematics	16
Gambar 2.17	R-P planar manipulator	17
Gambar 2.18	Membuka aplikasi	20
Gambar 2.19	Membuat dokumen baru	21
Gambar 2.20	Pilihan ruang gambar	21
Gambar 2.21	Layar utama solidworks	22
Gambar 2.22	Petunjuk pembuka dokumen	22
Gambar 2.23	Petunjuk pemilihan <i>file</i>	23
Gambar 2.24	Petunjuk penyimpanan file	23
Gambar 2.25	Petunjuk merubah nama <i>file</i>	23
Gambar 2.26	Petunjuk merubah satuan	24
Gambar 2.27	Document properties	24
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	26
Gambar 3.2	Menyalakan dan membuka solidworks	27
Gambar 3.3	Membuat 2 lingkaran	27
Gambar 3.4	Memberi ketebalan 15 cm	28
Gambar 3.5	Lingkaran dengan diameter 22 cm	28
Gambar 3.6	Memberi ketebalan	28
Gambar 3.7	Dua lingkaran dengan diameter 16 cm dan 18 cm	29
Gambar 3.8	Memberi ketebalan dengan dimensi 10 cm	29
Gambar 3.9	Lingkaran diameter 22 cm	29
Gambar 3.10	Memberikan ketebalan dan ketinggian dengan dimensi 1 cm	30
Gambar 3.11	Potongan part	30
Gambar 3.12	<i>Plane</i> baru	30
Gambar 3.13	Membuat garis bantu dan kepala pada part 2	31
Gambar 3.14	Membuat ketebalan dengan dimensi 5 cm	31
Gambar 3.15	Memberikan warna	31
Gambar 3.16	Membuat lingkaran dengan diameter 10 cm dan 1 cm	32

Gambar 3.17	Membuat ketebalan dan ketinggian	32
Gambar 3.18	Membuat segi empat dengan dimensi 7 x 9 cm	33
Gambar 3.19	Membuat segi empat dengan dimensi 9 x 2 cm	33
Gambar 3.20	Menggandakan dengan menggunakan mirror	33
Gambar 3.21	Membuat lingkaran dan tingginya	34
Gambar 3.22	Seperempat lingkaran	34
Gambar 3.23	Potongan tabung	34
Gambar 3.24	Lengkungan tabung	35
Gambar 3.25	Sambungan ke part 4	35
Gambar 3.26	Sambungan ke part 4	35
Gambar 3.27	Sambungan ke part 3	36
Gambar 3.28	Ketebalan sambungan ke part 3	36
Gambar 3.29	Ketebalan sambungan ke part 3	36
Gambar 3.30	Memirorkan sambungan ke part 3	37
Gambar 3.31	Membuat lingkaran dan ketebalannya	37
Gambar 3.32	Membuat lingkaran dan ketebalannya	37
Gambar 3.33	Ketebalan 3 cm	38
Gambar 3.34	Membuat lingkaran dan ketebalannya	38
Gambar 3.35	Lingkaran dan segi empat diberi ketebalan <sup>2</sup> cm	39
Gambar 3.36	Segi empat dengan ukuran 1,5 x 4,9 cm	39
Gambar 3.3/	Diberi ketebalan 3 cm	39
Gambar 3.38	Memirorkan part	40
Gambar 3.39	Dihari katahalan 2 am	40
Gambar 3.40	Duo sagi ampat ukuran 2x1 am dan 2x1 am	40
Gambar 3.41	Dua segi empat ukuran 5x1cm dan 2x1 cm Potongan pada <i>akuak</i>	41
Gambar 3.42	Potoligali pada <i>Chuck</i>	41
Gambar 3.43	Persegi panjang	41
Gambar 3.44 Gambar 3.45	Persegi panjang	42
Gambar 3.46	Part 6	42
Gambar 3.47	Part 6	43
Gambar 3.48	Memasukkan komponen	43
Gambar 3.49	Gabungan part 1 dan 2	44
Gambar 3.50	Gabungan part 2 dan 3	44
Gambar 3.51	Gabungan part 2 dan 3	44
Gambar 3.52	Gabungan part 4 dan 5	45
Gambar 3.53	Gabungan part 5 dan 6	45
Gambar 3.54	Gabungan part 6 dan 7	45
Gambar 3.55	Memasukkan file lengan robot	46
Gambar 3.56	Memulai motion study	46
Gambar 3.57	Lengan robot berputar 180°	47
Gambar 3.58	Gerakan ke kiri part 3	47
Gambar 3.59	Gerakan part 4 ke atas	48
Gambar 3.60	Gerakan part 5 ke kanan	48
Gambar 3.61	Menyimpan hasil motion study	49
Gambar 4.1	Forward kinematics	50
Gambar 4.2	Inverse kinematics	51

Gambar 4.3	Angular velocityt motor	53
Gambar 4.4	Angular acceleration	54
Gambar 4.5	Motor torque	55

# **DAFTAR NOTASI**

Simbol	Keterangan	Satuan
Х	Koordinat end effector	deg
у	Koordinat end effector	deg
d <sub>2</sub>	Diameter	cm
$\bar{\phi}$	Jumlah besar sudut	deg
$\theta$	Besar sudut	deg
γ	Gamma	

# **BAB I**

# PENDAHULUAN

#### **1.1 Latar Belakang**

Simulasi adalah suatu proses peniruan dari sesuatu yang nyata beserta keadaan sekelilingnya (*state of affairs*). Aksi melakukan simulasi secara umum menggambarkan sifat-sifat karakteristik junci dan kelakuan sistem fisik dan sistem abstrak tertentu. Dalam simulasi ini *software* yang digunakan adalah *solidwork*.

Solidwork adalah software program mekanikal 3D CAD ( *computer aided design* ) yang berbasis solid modelling dan menggunakan pendekatan berbasis fitur parametrik untuk membuat model dan assembly atau perakitan.

Teknologi mengalami suatu kemajuan yang sangat pesat pada masa sekarang ini.Teknologi yang canggih telah menggantikan peralatan-peralatan manual yang membutuhkan banyak tenaga manusia untuk dioperasikan, salah satunya yaitu penggunaan robot. Robot yang diaplikasikan pada kehidupan sebenarnya didesain dengan bentuk yang sesuai dengan kebutuhannya. Salah bagian satu robot yang memiliki sistem gerak seperti manusia adalah lengan robot.

Dalam tugas sarjana ini , yang didesain dan disimulasikan adalah Arm robot ( lengan robot ). Robot ini termasuk kategori robot *appendage*, yaitu yang biasanya digunakan untuk mengambil dan memindahkan barang.Arm robot adalah konstruksi robot yang memiliki membentuk sebuah lengan saja. Penulis berupaya membuat desain lengan robot ini dapat dipergunakan pada rumah makan cepat saji. Sehingga dapat mempelajari dengan membandingkan teori-teori yang didapat selama perkuliahan dengan kenyataan yang ada di dunia industri.

#### 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas maka dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mendesain/merancang *arm* robot menggunakan aplikasi *solidworks* 2013?

1

2. Bagaimana cara membuat simulasi sistem kerja *arm* robot menggunakan aplikasi *solidworks* 2013?

#### 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan permasalahan ini bertujuan untuk pembahasan terarah pada suatu permasalahan tertentu saja, sehingga pembahasan tidak melebar dari jalur yang sudah ditentukan. Adapun batasan-batasan masalah adalah sebagai berikut :

- 1. Menggunakan aplikasi *solidworks* 2013 untuk mendesain dan membuat simulasi *arm* robot.
- 2. Dalam penelitian ini tidak membahas sensor yang digunakan.
- Lengan (*arm*) robot yang didesain mengunakan 3 derajat kebebasan (*Degree Of Freedom*)

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan umum dari penulisan tugas akhir ini adalah membuat simulasi arm robot dengan menggunakan aplikasi *solidworks* 2013.

Sedangkan tujuan khusus yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- 1. Untuk mendesain lengan ( *arm* ) robot menggunakan aplikasi *solidworks* 2013.
- Melakukan simulasi lengan (*arm*) robot menggunakan aplikasi *solidworks* 2013 dengan 3 DOF (*degree of freedom*).

# **1.5 Manfaat Penelitian**

Berdasarkan judul penelitian ,adapun manfaat yang diharapkan penulis adalah :

- Memberikan pengetahuan kepada mahasiswa teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang pentingnya lengan robot pada industri makanan.
- Sebagai bahan pembelajaran kepada mahasiswa teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara tentang sistem kerja lengan robot.

# 1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ditulis dalam 5 bab dengan sistematika sebagai berikut :

# **\*** BAB 1 PENDAHULUAN:

Bab ini menyajikan latar belakang, rumusan masalah,batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

# **\* BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA :**

Bab ini menyajikan lengan (*arm*) robot, konsep dasar lengan robot, jenis-jenis lengan robot berdasarkan konfigurasi, bagian-bagian lengan robot, perhitungan kinematika lengan robot dan *soliworks*.

# **\* BAB 3 METODE PENELITIAN :**

Bab ini menyajikan waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, alat penelitian, diagram aliran penelitian, mendesain lengan robot.

#### **\*** BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN :

D**a**lam bab ini berisi tentang penggabungan part, motion study,dan perhitungan kinematika lengan (*arm*) robot.

# **\* BAB 5 KESIMPULAN :**

Bagian penutup ini akan memaparkan hal-hal yang dapat disimpulkan berdasarkan pembahasan sebelumnya beserta saran-saran yang sekiranya dapat diberikan untuk perbaikan dikemudian hari.

# BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Robot

Robot berasal dari kata "robota" yang dalam bahasa Ceko (*Chech*) yang berarti budak, pekerja atau kuli. Robot merupakan suatu perangkat mekanik yang mampu menjalankan tugas-tugas fisik, baik di bawah kendali dan pengawasan manusia, ataupun yang dijalankan dengan serangkaian program yang telah didefinisikan terlebih dahulu atau kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Ada banyak definisi yang dikemukakan oleh para ahli mengenai robot. Beberapa ahli robotika berupaya memberikan beberapa definisi, antara lain :

- a. Robot adalah sebuah manipulator yang dapat di program ulang untuk memindahkan tool, material, atau peralatan tertentu dengan berbagai program pergerakan untuk berbagai tugas dan juga mengendalikan serta mensinkronkan peralatan dengan pekerjaannya, oleh *Robot Institute of America*.
- b. Robot adalah sebuah sistem mekanik yang mempunyai fungsi gerak analog untuk fungsi gerak organisme hidup, atau kombinasi dari banyak fungsi gerak dengan fungsi *intelligent*, oleh *Official Japanese*. Industri robot dibangun dari tiga sistem dasar yaitu :
  - Struktur mekanis Yaitu sambungan-sambungan mekanis (link) dan pasangan-pasangan (*joint*) yang memungkinkan untuk membuat berbagai variasi gerakan.
  - 2. Sistem kendali Sistem kendali dapat berupa kendali tetap (*fixed*) ataupun servo, yang dimaksud dengan sistem kendali tetap yaitu suatu kendali robot yang pengaturan gerakannya mengikuti lintasan (*path*), sedangkan kendali servo yaitu suatu kendali robot yang pengaturan gerakannya dilakukan secara *point to point* (PTP) atau titik pertitik.
  - Unit penggerak (aktuator). Seperti hidrolik, pneumatik, elektrik ataupun kombinasi dari ketiganya, dengan atau tanpa sistem transmisi. Torsi (*force*) dan kecepatan yang tersedia pada suatu aktuator diperlukan untuk mengendalikan posisi dan kecepatan. Transmisi diperlukan untuk

4

menggandakan torsi. Seperti diketahui menambah torsi dapat menurunkan kecepatan, dan meningkatkan inersia efektif pada sambungan. Untuk mengurangi berat suatu sistem robot maka aktuator tidak ditempatkan pada bagian yang digerakkan, tetapi pada sambungan yang sebelumnya.

Jika sebelumnya robot hanya dioperasikan di laboratorium ataupun dimanfaatkan untuk kepentingan industri, di negara-negara maju perkembangan robot mengalami peningkatan yang tajam, saat ini robot telah digunakan sebagai alat untuk membantu pekerjaan manusia. Secara sadar atau tidak, saat ini robot telah masuk dalam kehidupan manusia sehari-hari dalam berbagai bentuk dan jenis. Ada jenis robot sederhana yang dirancang untuk melakukan kegiatan yang sederhana, mudah dan berulang-ulang, ataupun robot yang diciptakan khusus untuk melakukan sesuatu yang rumit, sehingga dapat berperilaku sangat kompleks dan secara otomatis dapat mengontrol dirinya sendiri sampai batas tertentu. Robot memiliki berbagai macam konstruksi. Diantaranya adalah:

- 1. Robot Mobile (bergerak)
- 2. Robot Manipulator (lengan)
- 3. Robot Humanoid
- 4. Flying Robot
- 5. Robot Berkaki
- 6. Robot jaringan
- 7. Robot Animalia

#### 2.2 Manipulator Robot (Robot Lengan)

Robot Manipulator adalah konstruksi robot yang memiliki bentuk hanya sebuah lengan saja. Robot ini memiliki aktuator berupa motor untuk menggerakkan seluruh bagian robot tersebut. Robot manipulator ini sangat bermanfaat dan cukup banyak dipakai dalam bidang industri. Terutama dalam bagian packing dalam suatu pabrik. Selain untuk menghemat waktu, robot ini digunakan karena hasil yang diperoleh juga lebih baik daripada hasil yang dikerjakan oleh manusia. Lengan robot banyak digunakan pada industri, khususnya industri yang memerlukan ketepatan dan bekerja secara berulang – ulang. Dalam hal ini lengan robot pada sistem ini digunakan untuk mengambil dan memindahkan benda. Berat Benda yang dapat diangkat diharuskan mempunyai 2 sisi yang rata sehingga dapat dijepit oleh grip pada lengan robot.



Gambar 2.1 Contoh pergerakan lengan robot

# 2.2.1 Konsep Dasar Robot Manipulator (Lengan Robot)

Manipulator adalah sekumpulan hubungan mekanik yang terdiri dari dari rangkaian kinematik berupa link, baik sebagai rangkaian umpan balik terbuka maupun umpan tertutup yang dihubungkan dengan sendi dan mempunyai kemampuan untuk melakukan pergerakkan baik planar maupun spatial. Pergerakan secara planar adalah pergerakan sendi-sendi pada bidang parallel sedangkan secara spatial adalah pergerakan pada bidang tiga dimensi. Secara umum derajat kebebasan tersebut adalah jumlah yang dibutuhkan untuk menyatakan posisi dari setiap hubungan relatif terhadap link yang tetap.

Beberapa istilah dan definisi yang banyak digunakan dalam manipulator robot adalah :

1.Link

Link adalah salah satu bagian dari kerangka yang kaku atau anggota yang dihubungkan secara bersamaan untuk membentuk sebuah rangkaian kinematik.

# 2. Sendi ( joint )

Joint adalah koneksi antar link yang dapat menentukan pergerakkan relative yang terbatas .

Pada lengan robot/mekanik merupakan penghubung yang dapat berupa poros ataupun tumpuan dari lengan-lengan mekanik dalam pergerakkannya. Biasanya pada sendi ditempatkan motor yang dikendalikan sebagai tenaga penggerak dari lengan-lengan mekanik.

Sendi terbagi menjadi dua jenis, yaitu : sendi putar (*Revolute Joint*) dan sendi geser (*Prismatic Joint*). *Revolute joint* bergerak seperti engsel dan memungkinkan gerakkan memutar yang relatif antara dua lengan mekanik. Sedangkan *prismatic joint* memungkinkan gerakan lurus yang relatif antara dua hubungan.



Gambar 2.2 Contoh Revolute Joint



Gambar 2.3 Contoh Prismatic Joint

# 3. End-effector

Biasa juga disebut *end of arm tooling*, berupa peralatan khusus yang ditempatkan pada bagian akhir dari link untuk melakukan tugas tertentu.

4. Work Space/Work Envelope

Adalah total volume ruang kerja yang dapat dijangkau oleh *End Effector* ketika manipulator melakukan semua gerakan yang mungkin.

5. Akurasi

Pengukuran atas seberapa dekat sebuah manipulator dapat mencapai titik tujuan yang diinginkan pada ruang kerjanya.

6. Repeatability

Pengukuran atas seberapa dekat sebuah manipulator dapat kembali mencapai titik tujuan sebelumnya.

7. Rigidity

Tingkat kekakuan mekanik manipulator.

8. Poros gerakan

Adalah mekanisme yang memungkinkan robot untuk bergerak secara lurus atau berotasi.

9. Derajat kebebasan

Adalah jumlah arah yang independen dimana end-effector dari sebuah robot dapat bergerak.



Gambar 2.4 Contoh robot dengan 3 poros gerakan 3 derajat kebebasan



Gambar 2.5 Contoh robot dengan 3 poros 6 derajat kebebasan yang mungkin bagi sebuah objek



Gambar 2.6 Contoh robot dengan 4 poros 3 derajat kebebasan



Gambar 2.7 Pergelangan robot dengan 3 derajat kebebasan



Gambar 2.8 Anatomi robot industri

Pada gambar di atas memperlihatkan yang komponen utamanya terdiri dari empat bagian, yaitu:

1. Manipulator

Manipulator adalah bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk memindah, mengangkat dan memanipulasi benda kerja.

2. Sensor

Sensor adalah komponen berbasis instrumentasi (pengukuran) yang berfungsi sebagai pemberi informasi tentang berbagai keadaan atau kedudukan dari bagian-bagian manipulator.

3. Aktuator

Aktuator adalah komponen penggerak yang jika dilihat dari prinsip penghasil geraknya dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu penggerak berbasis motor listrik (motor DC dan motor AC).

4. Kontroler

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

#### 2.2.2 Jenis-Jenis Lengan Robot Berdasarkan Konfigurasi

### 1. Anthropomorphic

Memiliki kesamaan dengan manusia, misalnya lengan *Anthropomorphic* akan serupa dengan lengan manusia dalam hal bagaimana setiap bagian dihubungkan. Lengan ini memiliki manuver paling besar dan seringkali menjadi pilihan untuk pengecatan, namun jenis ini pergerakannya paling lambat dan akan mengalami kesulitan untuk menggerakkan ujung lengan dalam garis lurus.



Gambar 2.9 Anthropomorphic

#### 2. Cartesian

Dapat bergerak 3 arah yang independen yaitu sumbu X, Y dan Z. Biasanya lengan ini akan bekerja pada kerangka overhead yang dibentuk oleh sumbu x membentuk suatu lingkup kerja persegi panjang. Geometri ini digunakan untuk pekerjaan yang memiliki cakupan area yang luas dimana gerakan-gerakan yang rumit tidak terlalu dipentingkan.



Gambar 2.10 Cartesian

3. Silindris

Serupa dengan cartesian, kecuali bahwa ia tidak memiliki gerakan sepanjang sumbu X, sebagai gantinya lengan dapat bergerak rotasi. Terdapat 3

poros gerakan yaitu Y, Z dan  $\theta$ . Dimana  $\theta$  adalah sudut rotasi.



Gambar 2.11 Silindris

# 4. Kutub

Hampir sama dengan silindris, lengan dengan geometri kutub memiliki sumbu Y dan  $\theta$ , perbedaannya terletak pada adanya poros yang memungkinkan lengan tersebut berotas / berputar pada bidang vertikal, sebagai ganti gerakan ke atas atau ke bawah sepanjang sumbu Z. Lingkup kerjanya seperti bagian permukaaan dari sebuah bola (*spherical*).



Gambar 2.12 Kutub

5. SCARA (Selective Compliant Assembly Robot Arm)

Pada SCARA persendian putar lengannya berotasi pada sumbu vertikalnya. Pemakaiannya meluas untuk pengoperasian perakitan khususnya pada bidang elektronika.



Gambar 2.13 SCARA

# 2.2.3. Bagian-Bagian Lengan Robot

Secara keseluruhan sebuah sistem lengan robot manipulator terdiri dari :

1. Tangan Mekanik (Mechanical arm)

Adalah bagian dasar dari konstruksi lengan robot untuk dapat membentuk lengan robot sesuai kebutuhan dan merupakan bagian yang dikendalikan pergerakkannya.

2. End-Effector

Kemampuan robot juga tergantung pada piranti yang dipasang pada lengan robot. Piranti ini biasanya dikenal dengan *end effector*. end effector ada dua jenis yaitu Pencengkram (*gripper*) yang digunakan untuk memegang dan menahan objek, peralatan (*tool*) yang digunakan untuk melakukan operasi tertentu pada suatu objek. Contohnya: bor, penyemprot cat, gerinda, las dan sebagainya.

3. Penggerak (Actuator)

Istilah yang digunakan untuk mekanisme yang menggerakkan lengan robot. Aktuator dapat berupa hidrolik dan pneumatik yang digunakan untuk mengendalikan persendian prismatik karena dapat menghasilkan gerakan linier secara langsung (sering disebut dengan penggerak linier) atau pula aktuator motor listrik yang menghasilkan gerakan rotasi. Penggerak yang umum digunakan pada saat ini adalah penggerak motor servo. Penggerak ini lebih mudah dikontrol dibanding penggerak lainnya.

4. Sensor / Transducer

Sensor dipergunakan manipulator agar dapat berinteraksi dengan lingkungan kerjanya. Sensor juga dipergunakan sebagai input umpan balik

pada proses pengendalian manipulator.

5. Pengendali (Controller)

Pengendali adalah mekanisme (baik secara perangkat keras maupun perangkat lunak) yang dipergunakan untuk mengatur seluruh pergerakan atau proses yang dilakukan manipulator.

#### 2.3 Kinematika Lengan Robot

# a. Forward Kinematics



Gambar 2.14 Konfigurasi robot planar 3 sendi

Kinematika adalah ilmu yang mempelajari gerak. Dalam hal ini, kita akan mengeksplorasi hubungan antara gerakan bersama dan gerakan end effector. Mengembangkan persamaan yang akan membuat eksplisit ketergantungan end effector koordinat - koordinat bersama dan sebaliknya dengan contoh planar 3R manipulator. Dari trigonometri dasar, posisi dan orientasi dari end effector dapat ditulis dalam bentuk koordinat persendian dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
  

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
  

$$\phi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$$
(1)

Semua sudut diukur berlawanan arah jarum jam dan panjang link yang diasumsikan menjadi positif menuju dari satu sumbu hingga ke sumbu sendi. Persamaan (1) adalah satu set tiga persamaan nonlinier yang menggambarkan hubungan antara akhir koordinat efektor dan koordinat bersama .Memiliki persamaan eksplisit untuk akhir efektor koordinat dalam hal koordinat bersama. Namun, untuk menemukan koordinat bersama untuk diberikan set akhir koordinat efektor ( x , y ,  $\phi$  ) , salah satu kebutuhan untuk memecahkan persamaan nonlinear untuk  $\theta$ 1,  $\theta$ 2 , dan  $\theta$ 3 .

Kinematika dari planar RP manipulator lebih mudah untuk merumuskan. Persamaan:

$$x = d_2 \cos \theta_1$$
  

$$y = d_2 \sin \theta_1$$
  

$$\phi = \theta_1$$
(2)

Akhir koordinat effector secara eksplisit diberikan dalam bentuk koordinat bersama. Namun, karena persamaan yang sederhana (dibandingkan persamaan (1), membutuhkan aljabar yang terlibat dalam pemecahan untuk koordinat bersama dalam hal end effector koordinat menjadi lebih mudah. Berbeda dengan ( dengan persamaan 1), sekarang ada tiga persamaan dalam dua sendi koordinat,  $\theta 1$ , dan  $d_2$ . Dengan demikian, dinyatakan tidak dapat memecahkan koordinat bersama untuk set koordinat end effector. Artinya, robot tidak bisa memindahkan dengan dua sendi yang mencapai end effector set pada Posisi dan orientasi. Disini bukan hanya mempertimbangkan posisi end effector dijelaskan oleh (x, y), yang koordinat end effector berada di titik referensi hanya memiliki dua persamaan :

$$x = d_2 \cos \theta_1$$
  

$$y = d_2 \sin \theta_1$$
(3)

Mengingat koordinat end effector (x, y), variabel bersama dapat dihitung sebagai:

$$d_2 = +\sqrt{x^2 + y^2}$$
(4)

Sebuah  $d_2$  negatif dapat secara fisik dicapai dengan memungkinkan titik referensi end effector untuk melewati asal sistem koordinat (x , y) ke kuadran lain. Dalam hal ini memperoleh solusi lain yaitu :

$$d_{2} = -\sqrt{x^{2} + y^{2}}$$

$$\theta_{1} = \tan^{-1} \left(\frac{x}{y}\right)$$
(5)

Dalam kedua kasus (4-5), fungsi tangen invers multivalued. Khususnya;

$$\tan(x) = \tan(x + k\pi), k = \dots - 2\dots - 1, 0, 1, 2, \dots$$
(6)

Namun, jika membatasi  $\theta$ 1 ke kisaran 0 < $\theta$ 1 < $2\pi$ , ada nilai unik  $\theta$ 1 yang konsisten dengan yang diberikan (x, y) dan  $d_2$  dihitung (ada dua pilihan). Manipulator *planar Cartesian* untuk menganalisis. Persamaan untuk analisis *kinematic* adalah:

$$x = d_2 \qquad \qquad y = d_1 \tag{7}$$

Kesederhanaan persamaan kinematik membuat konversi dari siku untuk mengakhiri efektor koordinat. Ini adalah alasan mengapa rantai P-P begitu populer di seperti peralatan otomatisasi sebagai robot dan mesin penggilingan.



Gambar 2.15 Variabel siku untuk P-P planar manipulator

Seperti yang terlihat sebelumnya, ada dua jenis koordinat yang berguna untuk menggambarkan konfigurasi sistem. Jika memusatkan perhatian pada efektor akhir, maka memilih untuk menggunakan koordinat *Cartesian* atau koordinat *end effector*. Himpunan semua koordinat tersebut umumnya disebut sebagai *Cartesian* ruang atau *end effector*. Selain dari koordinat adalah disebut koordinat bersama yang berguna untuk menggambarkan konfigurasi mekanik linkage. Himpunan semua koordinat tersebut umumnya disebut ruang sendi.

Dalam robotika, itu sering perlu untuk dapat "peta" koordinat bersama untuk mengakhiri efektor koordinat. Peta ini atau prosedur yang digunakan untuk mendapatkan koordinat *end effector* dari sendi koordinat disebut kinematika langsung. Misalnya, untuk 3-R manipulator, prosedur tereduksi menjadi hanya mengganti nilai-nilai untuk sudut sendi dalam persamaan :

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
  

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
  

$$\phi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$$
(8)

dan menentukan koordinat *Cartesian*, x, y, dan  $\varphi$ . Untuk contoh lain dari rantai terbuka dibahas sejauh (R-P, P-P) proses ini bahkan lebih sederhana (karena persamaan serupa). Bahkan, untuk semua grup serial (termasuk rantai spasial), prosedur kinematika langsung cukup lurus dan maju.

Dalam manipulator planar sejajar dalam Gambar 2.15, sendi posisi atau koordinat adalah panjang dari tiga link telescoping  $(q_1, q_2, q_3)$  dan akhir koordinat efektor (x, y,  $\varphi$ ) adalah posisi dan orientasi dari segitigamengambang. Hal ini dapat menunjukkan bahwa tergantung pada nilai  $(q_1, q_2, q_3)$ , jumlah (real) solusi untuk (x, y,  $\varphi$ ) dapat mana saja dari nol sampai enam.

#### b. Inverse Kinematics



Gambar 2.16 Inverse kinematics

Analisis atau prosedur yang digunakan untuk menghitung koordinat siku untuk satu set akhir koordinat efektor disebut kinematika terbalik. Pada dasarnya, prosedur ini melibatkan pemecahan set persamaan. Namun persamaan, secara umum, nonlinear dan kompleks. Dan karena itu, Analisis kinematika terbalik dapat menjadi terlibat. Seperti yang disebutkan sebelumnya, bahkan jika mungkin untuk memecahkan persamaan nonlinear. Tidak mungkin ada menjadi set koordinat siku untuk akhir koordinat efektor yang diberikan. Persamaan kinematika langsung adalah:

$$x = d_2 \cos \theta_1$$
  

$$y = d_2 \sin \theta_1$$
(3)



Gambar 2.17 R-P planar manipulator

Jika membatasi *revolute* siku untuk memiliki sudut sendi dalam interval  $[0, 2\pi)$ , ada dua solusi untuk kinematika invers:

$$d_2 = \sigma \sqrt{x^2 + y^2}, \theta_1 = a \tan \left(\frac{y}{d_2}, \frac{x}{d_1}\right), \sigma = \pm 1$$
(9)

Pada rumus di atas telah menggunakan fungsi atan2 untuk menentukan  $\theta$ 1 sudut sendi. Namun, tergantung pada pilihan  $\sigma$ , ada dua solusi untuk  $d_2$  dan itu untuk  $\theta$ 1. Analisis kinematika terbalik untuk planar 3-R manipulator tampaknya rumit tapi kita dapat memperoleh solusi analitis. Ingat bahwa persamaan kinematika langsung (8) yang :

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
(8.1)

$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
(8.2)

$$\phi = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \tag{8.3}$$

Memberi koordinat *Cartesian* x, y, dan  $\varphi$  dan mencari analitis ekspresi untuk sudut sendi  $\theta$ 1,  $\theta$ 2, dan  $\theta$ 3 dalam hal koordinat *Cartesian*. Mengganti (8.3) ke (8.1) dan (8.2) menghilangkan  $\theta$ 3 sehingga memiliki dua persamaan di  $\theta$ 1 dan  $\theta$ 2:

$$x - l_3 \cos \theta = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \tag{10}$$

$$x - l_3 \cos \theta = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \tag{11}$$

Dimana yang tidak diketahui telah dikelompokkan di sisi kanan, sisi kiri hanya tergantung pada *end effector* atau koordinat *Cartesian* dan karena itu dikenal. Ubah nama sisi kiri,  $x = x - \cos \varphi = 13$ ,  $y' = y - \sin \varphi$ , untuk kenyamanan. Persegi kedua belah pihak dalam setiap persamaan dan menambahkannya:

$$(x^{*} - l_{1} \cos \theta_{1})^{2} = (l_{2} \cos(\theta_{1} + \theta_{2}))^{2}$$
(12)

17

$$(x^{\cdot} - l_1 \sin \theta_1)^2 = (l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2))^2$$
(13)

Setelah menata ulang maka mendapatkan persamaan nonlinear tunggal dalam  $\theta$ 1:

$$(-2l_1x^{,})\cos\theta_1 + (-2l_1y^{,})\sin\theta_1 + (x^{,2} + y^{,2} + l_1^{,2} + l_2^{,2}) = 0$$
(14)

Memulai dengan tiga persamaan nonlinear pada tiga diketahui dalam (ac). Kurangi masalah untuk memecahkan dua persamaan nonlinear dua variabel tidak diketahui (10 dan 11). Dan sekarang telah disederhanakan lebih lanjut untuk memecahkan persamaan nonlinear tunggal dalam *single linear*. Persamaan (14) adalah dari jenis :

$$P\cos\alpha + Q\sin\alpha + R = 0 \tag{15}$$

Persamaan jenis ini dapat diselesaikan dengan menggunakan substitusi sederhana. Ada dua solusi untuk  $\theta$ 1 yaitu :

$$\theta_{1} = \gamma + \sigma \cos^{-1} \left( \frac{-x^{2} + y^{2} + l_{1}^{2} - l_{2}^{2}}{2l_{1}\sqrt{x^{2} + y^{2}}} \right)$$
(16)

Dimana, :

$$\gamma = a \tan 2 \left( \frac{-y}{\sqrt{x^{2} + y^{2}}}, \frac{x}{\sqrt{x^{2} + y^{2}}} \right)$$
(17)

Dan :

 $\sigma = \pm 1$ 

Ada dua solusi untuk  $\theta$ 1, satu sesuai dengan  $\sigma$  = + 1, yang lain sesuai dengan  $\sigma$  = -1. Mengganti salah satu dari solusi ini kembali ke Persamaan (15) dan (16) menghasilkan :

$$Cos(\theta_1 + \theta_2) = \frac{x^2 - l_1 \cos \theta_2}{l_2}$$
  
$$Sin(\theta_1 + \theta_2) = \frac{x^2 - l_1 \sin \theta_2}{l_2}$$
(18)

Hal ini memungkinkan untuk memecahkan  $\theta$ 2 menggunakan fungsi atan2 :

$$\theta_2 = a \tan \left(\frac{y' - l_1 \sin \theta_2}{l_2}, \frac{x' - l_1 \cos \theta_2}{l_2}\right)$$
(19)

Dengan demikian, untuk setiap solusi untuk  $\theta$ 1, ada satu solusi (unik) untuk  $\theta$ 2. Akhirnya,  $\theta$ 3 dapat dengan mudah ditentukan dari (3c):

$$\theta_3 = \phi - \theta_1 - \theta_2 \tag{20}$$

Persamaan (16 dan 20) adalah solusi kinematika terbalik untuk 3-R manipulator. Untuk akhir yang diberikan posisi efektor dan orientasi, ada dua cara yang berbeda untuk mencapai itu, masing-masing sesuai untuk nilai yang berbeda dari  $\sigma$ .

## 2.4 Solidworks

*Solidworks* merupakan program rancang bangun yang banyak digunakan untuk mengerjakan desain produk, desain mesin, desain mould, desain konstruksi, ataupun keperluan teknik yang lain. *Solidworks* dilengkapi dengan tool yang digunakan untuk menghitung dan analisis hasil desain seperti tegangan, regangan, maupun pengaruh suhu, angin, dll. *Solidworks* adalah program pemodelan yang berbasis fitur parametrik, maksudnya semua objek dan hubungan antar geometrik dapat dimodifikasi kembali meskipun geometriknya sudah jadi tanpa perlu mengulang lagi dari awal.

Untuk membuat sebuah model 3D yang solid kita harus membuat sketchnya terlebih dahulu. Model 3D berupa *component* kemudian dirakit menjadi sebuah gambar rakitan dengan menu assembly. Setelah gambar *component* atau dan *assembly* jadi maka dibuat gambar kerjanya menggunakan fasilitas *drawing*.



Diagram 1. Proses gambar dengan solidworks

*Solidworks* memiliki beberapa kelebihan yang memudahkan dalam mendesain serta tampilan yang lebih menarik dan riil serta memiliki banyak *Add Ins* dari berbagai bidang pekerjaan seperti *Add Ins* untuk *sheet metal*, *Add Ons* untuk *Automation*, *Add Ons* untuk proses CNC / CAM.

Beberapa keunggulan membuat gambar teknik menggunakan *solidworks* sebagai berikut :

- 1. Memiliki kemampuan parametric solid modelling
- 2. Dapat membantu mengurangi kesalahan dalam mendesain

- 3. Dapat mensimulasikan gerakan hasil desain
- Dapat menganalisis tegangan, beban, pengaruh suhu, cuaca, dan sebagainya hasil desain dengan mudah tanpa menggunakan software lain
- 5. Dapat membuat program untuk proses manufaktur dengan *CNC* atau robot industri dengan bantuan software lain seperti *mastercam*, *robotcam*, *delcam*, dsb.
- 6. Biaya produksi yang harus dikeluarkan menjadi berkurang karena proses yang terencana
- 7. Kapasitas file yang lebih kecil.

# 2.4.1 Memulai Aplikasi Solidworks

1. Buka program *Solidworks* 2013 caranya, klik tombol start, www.lalu pilih *All Program* > *Solidworks* 2013 > *Solidworks* 2013 exe.



Gambar 2.18 Membuka aplikasi

2. Buat dokumen baru dengan cara klik *file* > New ( hot key : Ctrl + N )



Gambar 2.19 Membuat dokumen baru

Akan muncul pilihan menu sebagai berikut :



Gambar 2.20 Pilihan ruang gambar

Tipe file di solidworks disesuaikan dengan template yang disediakan yaitu :

*Part (\*.prt; \*.sldprt)* : digunakan untuk menggambar komponen 3D (proyeksi *pictorial*) yang berupa sebuah part atau komponen tunggal

Assembly (\*.asm; \*.sldasm) digunakan untuk membuat gambar rakitan 3D (proyeksi pictorial rakitan) yang berisikan rakitan dari beberapa part dan atau komponen standar. Assembly juga dapat berisikan beberapa sub assembly.

*Drawing*(\*.*drw*;\*.*slddrw*) digunakan untuk membuat gambar kerja 2D (proyeksi *orthogonal*/gambar kerja) yang berdasarkan aturan gambar teknik. Layar *solidworks* sebagai berikut :



Gambar 2.21 Layar utama solidworks

## Keterangan :

Menu bar	: berisi barisan menu utama
Command manager	: berisi baris perintah utama
Configuration manager	: berisi bagian-bagian utama <i>file</i> gambar
Layar	: area yang digunakan untuk membuat gambar/objek
Task pan	: berisi menu tambahan
Motion manager	: berisi menu objek dan menu motion

3. Membuka *file* dengan cara klik *File* > *Open* (*hotkey* : Ctrl + O)



Gambar 2.22 Petunjuk pembuka dokumen

Pilihlah file yang akan di buka pada drive penyimpanan kemudian open

Stand Open	es 🕨 Documents 🕨 🗸 🗸	Search Documents
Organize 🔻 New f	lder	iii 🔹 🚺 🔞
ጵ Favorites 📃 Desktop	Documents library Includes: 2 locations	Arrange by: Folder 🔻
🔛 Recent Places	Name	Date modified Type
Constant Sector	Visual Studio 2005     Tools     SolidWorks Visual Studio Tools for Applications     SolidWorks Downloads     SolidWorks Downloads     Skripsi Jhony     My ISO Files     My ISO Files	17/11/2016 12:08 File fold 08/05/2017 23:17 File fold 17/11/2016 12:23 File fold 17/11/2016 12:23 File fold 16/03/2018 2:27 File fold 23/03/2016 16:55 File fold 15/03/2016 3:59 File fold
Constant	III	08/05/2017 23:17 File fold
Combuter Config	Mode: Display States: Urations: Vision Display States: Display	References Quick Filter: 🚫 🗐 📰 📷 SolidWorks Files (*sldprt; *slda • Open 👻 Cancel

Gambar 2.23 Petunjuk pemilihan file

4. Menyimpan *file* dengan cara klik *file* > *save* (*hotkey* : Ctrl + S)



Gambar 2.24 Petunjuk penyimpanan file

5. Mengubah nama part 1 pada *file name* > pilih *drive* penyimpanan > *save* 

Move Entities	sketon Sketon		
🚳 Save As	大大生用袋 塗っ		×
COO - Libraries	► Documents ►	Search Documents	٩
Organize 🔻 New fold	ler	l	= • 😧
☆ Favorites ■ Desktop	Documents library Includes: 2 locations	Arrange by:	Folder 🔻
📃 Recent Places 🗉	Name	Date modified	Туре 🔺
🥽 Libraries	Uisual Studio 2005	17/11/2016 12:08	File folder 📰
Documents	📕 Tools	08/05/2017 23:17	File folder
J Music	SolidWorks Visual Studio Tools for Applications	17/11/2016 12:23	File folder
Pictures	🎍 SolidWorks Downloads	17/11/2016 12:03	File folder
Videos	🎉 Skripsi jhony	16/03/2018 2:27	File folder
-	📇 My Shapes	23/03/2016 16:55	File folder 🔻
- <b>T</b>	·		۲
File name: Part	1.SLDPRT		-
Save as type: Part	(*.prt;*.sldprt)		•
Description: Add a	description		
Sar	References		
Hide Folders		Save	Cancel

Gambar 2.25 Petunjuk merubah nama file

Hal yang perlu diperhatikan tidak diajurkan merubah nama *file* komponen yang sudah dirakit (*asembly*) atau di buat gambar kerjanya (*drawing*) karena menyebabkan data *file* tidak terbaca.
### 2.3.2. Mengubah Satuan

Sistem satuan merupakan bagian sangat penting dari sebuah gambar. Di dalam gambar teknik kita mengenal sistem satuan dimana terdapat sistem satuan *British (English)* dan satuan *IS (Metric)*. Langkah-langkah mengubah satuan sebelum menggambar adalah sebagai berikut:

cara pertama : klik file > tool > option



Gambar 2.26 Petunjuk merubah satuan

Kemudian pilih document properties



Gambar 2.27 Document properties

- ➢ Kemudian pilih unit
- > Kemudian pilihlah unit *properties* MMS, CGS, MMGS, IPS, Custom.

## BAB 3

# **METODE PENELITIAN**

### 3.1 Waktu dan Tempat

## 3.1.1.Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan sejak tanggal pengesahan usulan oleh pengelolah Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiayah Sumatra Utara.

#### 3.1.2.Tempat

Tempat penelitian dilakukan di Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiayah Sumatra Utara.

### 3.2. Alat Penelitian

### **3.2.1** Laptop

Spesifikasi laptop yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1.	Processor	: Intel(R) Celeron(R) CPU N2830 @2.16
		GHz 2.16 GHz
2.	RAM	: 2.00 GB (1,89 GB usable)
3.	Operation system	: Windows 10 pro 64 bit operation system

#### 3.2.2 Software Solidworks

*Software Solidworks* yang sudah terinstal pada laptop adalah *solidworks* 2013 64 bit yang didalamnya terdapat *sketch* gambar 3D adalah sebagai berikut:

1.	Processor	: AMD with	Radeon	Support 6	54 bit C	<i>Dperation</i>	System
						1	~

- 2. RAM : 4 GB or more
- 3. Disk Space : 5 GB or more

## **3.3 Diagram Alir Penelitian**



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

## 3.4 Mendesain Lengan (arm) Robot

Langkah-langkah dalam mendesain lengan (arm) robot :

1. Menyalakan laptop dan sebelum memulai proses mendesain lengan robot pastikan laptop sudah terinstal *solidwork* 2013.



Gambar 3.2 Menyalakan dan membuka solidworks

- 2. Memulai mendesain pada part 1
  - a) Membuat 2 lingkaran dengan Command Circle dengan diameter 18 cm dan 20 cm.



Gambar 3.3 Membuat 2 lingkaran

 b) Memberikan ketebalan dengan Command Extrude Boss dengan tinggi 15 cm.

Ŷ	Doss-Extrude1 7
	✓ × 68
	From A
	Sketch Plane 🔹
	Direction 1 A
	🗞 Bind 🔹
	🔥 15.00m
	Draft subwerd
<u></u>	Direction 2 S
	Selected Contours 8

Gambar 3.4 Memberi ketebalan 15 cm

c) Membuat lingkaran dengan diameter 22 cm dengan Command Circle.



Gambar 3.5 Lingkaran dengan diameter 22 cm

d) Memberikan ketebalan dengan tinggi 1 cm dengan Command Extrude



🕞 Boss-Extrude2 🖌 💥 ර්ෆ්	?		
From	*		
Direction 1	*		
Blind			
1.00cm			
Merge result			
Draft <u>o</u> utward			
Direction 2 Selected Contours	*		

Gambar 3.6 Memberi ketebalan

- 3. Memulai mendesain pada part 2.
  - a) Membuat dua lingkaran dengan Command Circle dengan diameter 16 cm dan 18 cm.

<pre>③Circle ?</pre>	Oricle   ?     ✓	*
Existing Relations  Constraints Diffset Distance0 Offset0 Fully Defined Add Relations	Existing Relations	9 <mark>0</mark> 8 0 ↓
Fix           Options         Research           For construction         Research           Parameters         Research           (av         0.00         Construction           Research         Research         Research           (av         0.00         Construction           Research         Research         Research           (av         0.00         Construction	Fix           Options <ul> <li>For construction</li> </ul> Parameters <li> <ul> <li></li></ul></li>	

Gambar 3.7 Dua lingkaran dengan diameter 16 cm dan 18 cm

b) Memberikan ketebalan dan ketinggian dengan *Command Extrude Boss* dengan dimensi 10 cm.

Boss-Extrude1 ?	1
🖌 🗶 60	
From 🕆	
Sketch Plane 🔻	
Direction 1	
Note: Blind	
*	
▲ 10.00cm	
Draft outward	
Direction 2 ×	En la
Selected Contours 🛛 🕹	

Gambar 3.8 Memberi ketebalan dengan dimensi 10 cm

c) Membuat lingkaran dengan diameter 22 cm Command Circle.

😯 Circle ?	
✓	
Existing Relations	
L	
Under Defined	Modify
Add Relations	
Fix	
Options 🔅	
For construction	
Parameters	
( 🙀 0.00 🗘	
( • 0.00 ÷	
> 11.00	

Gambar 3.9 Lingkaran diameter 22 cm

 d) Memberikan ketebalan dan ketinggian dengan dimensi 1 cm dengan Command Extrude Boss.



Gambar 3.10 Memberikan ketebalan dan ketinggian dengan dimensi 1cme) Membuat potongan part dengan menggunakan *Section View*.



Gambar 3.11 Potongan part

f) Membuat *plane* baru dengan pandangan *front*.



Gambar 3.12 Plane baru

- g) Membuat garis bantu dengan *Command Centerline* dengan dimensi 18 cm dari titik pusat.
- h) Membuat lingkaran dengan diameter 10 cm pada ujung garis bantu.

- i) Membuat garis dengan dimensi 7 cm.
- j) Membuat lingkaran dengan diameter 1 cm.
- k) Menghapus garis yang tidak dibutuhkan dengan Command Trim.



Gambar 3.13 Membuat garis bantu dan kepala pada part 2

1) Membuat ketebalan dengan dimensi 5 cm dengan Extrude Boss.



Gambar 3.14 Membuat ketebalan dengan dimensi 5 cm

m) Memberikan warna pada part 1 dan 2.



Gambar 3.15 Memberikan warna

- 4. Memulai mendesain pada part 3
  - a) Membuat lingkaran dengan diameter 10 cm dan 1 cm dengan *Command Circle*.



Gambar 3.16 Membuat lingkaran dengan diameter 10 cm dan 1 cm

b) Membuat ketebalan dan ketinggian dengan dimensi 2 cm dengan *Extrude Boss.* 



Gambar 3.17 Membuat ketebalan dan ketinggian

- c) Membuat segi empat dengan dimensi 7 cm x 9 cm dengan Line.
- d) Memberikan ketebalan 2 cm dengan Extrude Boss.



Gambar 3.18 Membuat segi empat dengan dimensi 7cm x 9cm

- e) Membuat segi empat dengan dimensi 9 cm x 2 cm.
- f) Memberikan ketebalan dengan dimensi 2,5 cm.



Gambar 3.19 Membuat segi empat dengan simensi 9 cm x 2 cm

g) Menggandakan bagian yang telah dibuat dengan menggunakan *Command Mirror*.



Gambar 3.20 Menggandakan dengan menggunakan mirror

- h) Membuat lingkaran dengan diameter 9 cm.
- i) Membuat ketinggian lingkaran dengan dimensi 20 cm.

Circle     ?       ✓     ✓       Circle Type     ∧       □□□²     1	Boss-Extrude     ?       Image: Sketch Plane     Image: Sketch Plane       Direction 1     Image: Sketch Plane       Image: Sketch Plane     Imag	
Options         Reserve to the second se	Merge result	
4.50		

Gambar 3.21 Membuat lingkaran dan tingginya

j) Membuat seperempat lingkaran dengan dimensi 10 cm x 6 cm.

		6
<ul> <li>Line Properties</li> </ul>		
Existing Relations	*	
Fully Defined		
Add Relations	*	
Horizontal		
Fix		
Options	≈	
Parameters	~	) <del>†</del> (
6.00	\$	
0.00°	¢	
Additional Parameters	*	

Gambar 3.22 Seperempat lingkaran

k) Dipotong sepanjang 10 cm dengan menggunakan Command Extrude Cut.

Cut-Extrude ?	T
X 00.	A A A A A A A A A A A A A A A A A A A
From	
Sketch Plane 🔻	
Direction 1	
Blind	
Flip side to cut	r
÷	
Draft outward	
Direction 2	
Blind	
√D2 20.00cm	

Gambar 3.23 Potongan tabung

 Dilengkungkan ujung tabung dengan Command Fillet dengan radius 1 cm



Gambar 3.24 Lengkungan tabung

- m)Membuat segiempat dengan ukuran 5 cm x 7 cm.
- n) Membuat setengah Lingkaran dengan diameter 7 cm dan 1 cm.
- o) Memberikan ketebalan dengan dimensi 5 cm.



Gambar 3.25 Sambungan ke part 4

p) Memberikan warna merah dan hitam.



Gambar 3.26 Sambungan ke part 4

- 5. Memulai mendesain pada part 4
  - a) Buat dua lingkaran dengan diameter 8 cm dan 1 cm.
  - b) Buat segiempat dengan ukuran 4,44 cm x 7 cm.



Gambar 3.27 Sambungan ke part 3

c) Diberi ketebalan dengan dimensi 2 cm.

Dess-Extrude1 ? ✔ ¥ රිර	7
From 🕆	
Sketch Plane 🔻	
Direction 1	4
🛃 Blind 🔹	▼ ■ □1 →8
1	
2 00cm	
<b>I</b>	
Draft outward	

Gambar 3.28 Ketebalan sambungan ke part 3

- d) Membuat segiempat dengan Command Rectangle dengan ukuran 2 cmx 7
  - cm.
- e) Diberi ketebalan dengan radius 5 cm.

Rectangle ?	-	Boss-Extrude2 ?	
✓		From A	<
Rectangle Type 🛛 🕆		Sketch Plane	🗖 🖣 📈
		Direction 1 🔗	
		Bind	
куран (С. 1997) 1997 — Прилан			• • • •
		5.00cm 🐳	
Existing Relations 🛛 🖇	$\langle \qquad \bigcirc$	Merge result	
Add Relations 🛛 🖇			
Options ¥		Draft outward	
Demonstration of the second se		Direction 2 😵	
Parameters		Selected Contours 🛛 🕹	

Gambar 3.29 Ketebalan sambungan ke part 3

f) Mengulangi langkah f-g pada part 3.



Gambar 3.30 Memirorkan sambungan ke part 3

g) Dibuat lingkaran dengan diameter 7 cm dan diberi ketebalan 20 cm.



Gambar 3.31 Membuat lingkaran dan ketebalannya

h) Dibuat 2 lingkaran 5 cm x 1 cm, dan segiempat dengan ukuran 3 cm x 5 cm.

🗛 Ar	°C	?	R	ectangle			
~			<b>~</b>				
Exist	ing Relations	*	Ļ	1 10 <sup>°</sup>			
Add	Relations	*	1		1		
ß	Fix		2		4		
Ontic	ns	\$	Exis	ting Relations	*		
open	For construction	~	Add	Relations	*		
Para	meters	*	Opti	ons	\$		
(°x	0.00	÷		- Por construction			1
( <sub>v</sub>	29.38058014	<b>\$</b>	Para	-2.50	~		1
G.	2.50	÷.	•,	26.38058014	÷		
C,	29.38058014	\$	•	-2.50	-		
<b>.</b>	-2.50		•,	29.38058014	0		
C.	29.38058014	-	•_	2.50	<b>\$</b>	0.50	e
5	2.50		•	29.38058014	\$	- 2,50 -	
	2.00	-	•_x	2.50	<b>\$</b>		
	180.00°	÷	•	26.38058014	\$		-

Gambar 3.32 Membuat lingkaran dan ketebalannya

i) Diberi ketebalan 3 cm.



Gambar 3.33 ketebalan 3 cm

j) Memberikan warna merah dan hitam pada part yang telah digambar.



Gambar 3.34 Membuat lingkaran dan ketebalannya

- 6. Memulai mendesain pada part 5
  - a) Membuat dua lingkaran dengan diameter 5 cm dan 1 cm.
  - b) Membuat segiempat dengan ukuran 3 cm x 4,9 cm.
  - c) Diberi ketebalan dengan ukuran 2 cm.





Gambar 3.35 Lingkaran dan segiempat diberi ketebalan 2 cm

d) Membuat segiempat dengan ukuran 1,5 cm x 4,9 cm.



Gambar 3.36 Segi empat dengan ukuran 1,5 cm x 4,9 cm

e) Diberi ketebalan dengan ukuran 3 cm.

Boss-Extrude3 ?	
🖋 🗙 6d	
From 🔅	9 T
Sketch Plane 🔻	
Direction 1 🔅	
🖍 Blind 🔻	
*	
▲ 3.00cm	
Merge result	
÷	
Draft outward	

Gambar 3.37 Diberi ketebalan 3 cm

f) Diulangi langkah f dan g pada part 3 yaitu memirorkan part.



Gambar 3.38 Memirorkan part

g) Membuat lingkaran dengan diameter 10 cm.



Gambar 3.39 Lingkaran dengan diameter 10 cm

h) Diberi ketebalan dengan ukuran 3 cm.



Gambar 3.40 Diberi ketebalan 3 cm

i) Membuat dua segiempat dengan ukuran 3 cm x 1 cm dan 2 cm x 1 cm.



Gambar 3.41 Dua segi empat ukuran 3x1 cm dan 2x1 cm

j) Membuat potongan pada chuck dengan *Command Extrude Cut*.



Gambar 3.42 Potongan pada chuck

k) Diberi warna merah pada part dengan Command Appearance.



Gambar 3.43 Pemberian warna pada part

- 7. Memulai mendesain pada part 6
  - a) Membuat persegi panjang untuk pegangan ujung dengan *Command Rectangle* dan *Command Line*.



Gambar 3.44 Persegi panjang

b) Diberi ketebalan 1 cm dan 2,5 cm untuk bawah partnya dengan *Command Extrude.* 



Gambar 3.45 Persegi panjang

c) Membuat persegi panjang pada bagian atas part dengan *Command Line* dan memberikan ketebalan dengan *Command Extrude*.



Gambar 3.46 Part 6

d) Diberi warna hitan pada part dengan Command Appearance.



Gambar 3.47 Part 6

## 3.5 Penggabungan Part

1. Membuka menu assembly kemudian klik insert component dan pilih komponen yang ingin di *mate*.

🕅 Open		_	- The second sec	- Marriella - Contraction - Co			×
🔿 🖉 😺 « Nev	v Volu	me (D	:) 🕨 SKRIPSI NAULI	• + + + + + + + + + + + + + + + + + + +	Search SKR	IPSI NAULI	م
Organize 👻 New	/ folde	r				···	0
_	^	Na	me	Da	te modified	Туре	
Cibraries			atas.SLDPRT	11/	09/2018 19:28	SolidWorks	Part D.
Documents	-		dasar.SLDPRT	11/	09/2018 19:28	SolidWorks	Part D.
J Music		1	JOIN.SLDPRT	11/	09/2018 19:28	SolidWorks	Part D.
Pictures		- 0	lengan robot.SLDASM	11/	09/2018 19:48	SolidWorks	Assem
Videos	=	I	pegangan ujung.SLDPRT	11/	09/2018 19:31	SolidWorks	Part D.
			pegangan.SLDPRT	11/	09/2018 19:31	SolidWorks	Part D.
Nomegroup		4	UJUNG.SLDPRT	11/	09/2018 19:32	SolidWorks	Part D.
👝 New Volume (E 👝 New Volume (E	):) :)						
	N	lode:	Resolved -	Do	not load hidde	n	
Con	figurat	ions:			Speedpak		
Dis	Display State				References		
					Quick	Filter: 👒 👒	12
1	File na	me:	"atas.SLDPRT" "dasar.SLDPRT"	"JOIN.SLDPRT 👻	SolidWorks F	iles (*.sldprt; *.slo	la 👻
					Open	Cance	



Gambar 3.48 Memasukkan komponen

2. Menggabungkan part 1 dengan part 2 dengan command mate.



Gambar 3.49 Gabungan part 1 dan 2

3. Menggabungkan part 2 dengan part 3 dengan *command mate*.



Gambar 3.50 Gabungan part 2 dan 3

4. Menggabungkan part 3 dengan part 4.



Gambar 3.51 Gabungan part 2 dan 3

5. Menggabungkan part 4 dan part 5.



Gambar 3.52 Gabungan part 4 dan 5

6. Menggabungkan part 5 dan part 6



Gambar 3.53 Gabungan part 5 dan 6

7. Mengulangi kembali langkah 6.



Gambar 3.54 Gabungan part 6 dan 7

### **3.6** Motion Study

1. Membuka menu File, kemudian klik Open dan pilih file lengan robot.

🕅 Open	÷				×
New V	olume	(D:) • SKRIPSI NAULI	-	✓ Search SKRIPS	I NAULI 🔎
Organize 👻 New fo	lder			ł	=
🚍 Librarier	^ I	Name		Date modified	Туре
		atas.SLDPRT		11/09/2018 19:28	SolidWorks Part D
Documents		dasar.SLDPRT		11/09/2018 19:28	SolidWorks Part D
a) Music		JOIN.SLDPRT		11/09/2018 19:28	SolidWorks Part D
Pictures		Iengan robot.SLDASM		11/09/2018 19:48	SolidWorks Assem
Videos	=	pegangan ujung.SLDPRT		11/09/2018 19:31	SolidWorks Part D
	-	pegangan.SLDPRT		11/09/2018 19:31	SolidWorks Part D
Nonegroup		UJUNG.SLDPRT		11/09/2018 19:32	SolidWorks Part D
I Computer Local Disk (C:)					
New Volume (E:)					•
	Mod	e: Resolved 🔹		Do not load hidden components	
Config	uration	S: Default 👻		Lice Sneednak	
Displa	y State	Si Display State-1		References	
				Quick Filter:	<b>S S</b>
File name: lengan robot.SLDAS		lengan robot.SLDASM		<ul> <li>SolidWorks File</li> </ul>	s (*.sldprt; *.slda 🔻
				Open 🗸	Cancel

Gambar 3.55 Memasukkan file lengan robot

2. Pada file yang telah di *assembly*, dipilih *motion study* pada bagian bawah lembar kerja.

<mark>∂S SOLIDWORKS</mark> 👌 🗋 - 😂 - 📓 - 🌭 - 🗐 - 💽 - 🛢 🖆 🖾 -	Lengan Robot1.SLDASM *	🙋 rde 🖉 🗸 🖓 🗸 🗃 💥
Components Mate Components Mate Component Component Components Mate Component Componen	Frence New Bill of Exploded Explode study Study State	te Take 25
Assembly Layout Sketch Evaluate Office Products Simulation Flow Simulation	Q Q X 🛯 🗗 - 🗇 - 🔶 j	🐛 - 📺 - 🔲 🗆 🗗 X.
Image: Second Control (Default < Default < Defaul		
(-) pegangan<1> (Defau *     *Isometric	-	
	- G 3 17 M & 3 \ K & 3 19 G	(2)
Via v	8 sec 110 sec 12 sec	14 sec  16 sec  18 sec  20 sec  22 sec  24
Lengan Robott. (Default Stephy 5 Orientation and Camera Views Units Camera and Scene Orientation and Camera Views Orientation and Camera Views Orientation Comment Orientation Comment Orientation Orientat		
		્ય વ વ
REFER Model Motion Study 1	m	•
	SHANSVIJII	
SolidWorks Premium 2013 x64 Edition		Under Defined Editing Assembly Solve PC issues: 1 message
		IN 🔺 🙀 健 🕪 🏴 22:51

Gambar 3.56 Memulai motion study

- 3. Menarik garis interval waktu selama 5 detik untuk memulai simulasinya.
- 4. Kemudian pilih part 2 untuk digerakkan  $180^{\circ}$ .

Animation 🔹 🔛 🔝	━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━	'🛃   📰
<b>1 2 4 4</b> 7	0 sec 2 sec 4 sec 6 sec 8 sec 10	sec
🔺 🖃 🧐 lengan robot (Default <display s<="" th=""><th></th><th></th></display>		
🗌 💮 🛞 Orientation and Camera Viev		
🗄 🚂 Lights, Cameras and Scene		
- 🎯 RotaryMotor1	0	
🗄 🧐 (f) dasar<1> (Default< <defa< th=""><th>•</th><th></th></defa<>	•	
E ⊕ (-) atas<1> (Default< <defau< th=""><th>¢ (</th><th></th></defau<>	¢ (	
🗄 😗 (-) JOIN<1> (Default< <defa< th=""><th></th><th></th></defa<>		
🗄 🧐 (-) UJUNG<1> (Default< <de< th=""><th></th><th></th></de<>		
🗄 😘 (-) pegangan<3> (Default<<	(	
🗄 🚯 (-) pegangan ujung<3> (Def	(	
🗄 😘 (-) pegangan ujung<4> (Def		
▼		



**Gambar 3.57** Lengan robot berputar 180°.

5. Dibuat garis interval waktu 2 detik dan di gerakkan part 3 ke kiri.



Gambar 3.58 Gerakan ke kiri part 3

6. Garis interval 2 detik dan menggerakkan part 4 ke atas

😹 SOLIDWORKS 👌 🗋 - 🖄 - 🔚 - 🌭 - 🇐 - 💽 - 🖁 🖆 -	lengan robot.SLDASM *	🞓 rde 🔎 • 🕞 📾 💥
Components Mate Compon Smart Components	Image: Study         Image: Study<	
Assembly Layout Sketch Evaluate Office Products Simulation Flow Simulation	Q Q 💥 🌾 📭 🔐 - 🗇 - 6g - 🔮 🌨 - 🛒 -	1 D _ # X
Image: Second		
* III *Dimetric		
		۲
Image: Second Secon	6.scc // 8 scc // 10 scc // 12 scc // 1	sec. 16 sec. 18 sec. 20 sec.
		F.
j - w w w w w w w w w w w w w w w w w w	שע (( תק ב) ער ער ער ער פע ב- ב- ב- ער (( תק ב) ער	de Defined Edition Assembly 📍 CCC , 💈 🥥
	A: 20.25cm Y: 24.79cm 2: 11.52cm 0	IN A 11 IV COS A E

Gambar 3.59 Gerakan part 4 ke atas

7. Garis interval waktu 2 detik dengan part 5 digerakkan ke kanan.

🕉 soliðworks 🕨 🗋 - 🖄 -	🖬 • 🗞 • 🍤	• 🗟 • 🛢 🖆 •		ler	ngan robot.SLDASM *		🗁 rde	× 🕫 🗕 • ۹ 🔍
Edit Components Mate Compon	Smart Compo Fasteners	ve shent Hidden Components +	mbly Reference Geometry Motion	Bill of Materials	Explode Line Sketch	Update Take Speedpak Snapshot		35
Assembly Layout Sketch Evaluate	e Office Product	s Simulation Flow S	imulation	Q Q 🖌	📭 🎬 = 🗊 = 6o	- 🔶 🌲 - 📓 -		
Image: Sensors <ul> <li>Annotations</li> <li>Annotations</li> <li>Image: Sensors</li> <li< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>6</td><td>•</td><td></td></li<></ul>						6	•	
Top Plane								1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
Grigin     Grigin     Grigin     Grigin     Grigin     Grigin	Y							<b>₽</b>
	Ĵ							(*** (4)
(-) pegangan<3> (Default< ~	metric							
Animation 🔹 🎲 🗈 🕨 👘		ix 🗊	- → - 🛃 🔯	🚺 🖉 😸 🔪	K 🍝 🍯 🖳	E		8
<b>A</b>	0 sec	2 sec	4 sec 6	sec 8 sec	10 sec	12 sec	14 sec 16 sec	18 sec 20 sec
Comparison of the second						•		
Sector Control (************************************			×.		•			
<ul> <li>G () DDNG(1) (Default&lt; Ce</li> <li>G (-) pegangan&lt;3&gt; (Default&lt;</li> <li>G (-) pegangan ujung&lt;3&gt; (Def</li> </ul>			- X	ě.		0		
● 《 (-) pegangan ujung<4> (Det ● 順創 Mates			Ŷ	Ø	•			୍କ୍କ୍
Model Motion Study 1	•							•
र कर कर 💽 - 🕅 🗸 🗸 🗸	F 🖻 🛛 🛪 🖈	e 🛙 🛛 🖉 🤀 🕹	* * 10 10 10 *	- 9 K V & A	1-1			
SolidWorks Premium 2013 x64 Edition					X: 28.98cm	Y: 32.20cm Z: 2.48cm	Under Defined Editing Assembly	🛢 CGS 🔺 💽 🥜
	<b>9</b>			1.000	1000	100	IN .	- <u>14</u> 🔐 🌒 🏴 0:07

Gambar 3.60 Gerakan part 5 ke kanan

8. Menyimpan hasil *motion study*.

🕽 Save Animat	ion to File	×
Save in: 🌗	SKRIPSI NAULI	- G 🤌 📂 🖽-
pembuatar	ı m 3dov.avı	skripsi.avi
lengan roh	<b>T</b>	E
File name:	lengan robot.avi	✓ Save
Save as type:	Microsoft AVI file (*.avi)	▼ Schedule
Renderer:	SolidWorks screen	✓ Cancel
Image Size and	Aspect Ratio	Help Frame Information
1366	289	Frames per second 7.5
O Use cam	era aspect ratio	Time range
Custom 1366 :	aspect ratio (width : height) 289	11.1 to 11

Gambar 3.61 Menyimpan hasil motion study

# BAB 4

# HASIL DAN PEMBAHASAN

# 4.1 Perhitungan Kinematika Lengan Robot

4.1.1 Forward Kinematics



Gambar 4.1 Forward kinematics

Posisi dan orientasi dari end effector :

$$x = l_{1} \cos \theta_{1} + l_{2} \cos(\theta_{1} + \theta_{2}) + l_{3} \cos(\theta_{1} + \theta_{2} + \theta_{3})$$
  
= 16.cos 135 + 33.cos(135 + 25) + 33cos(135 + 25 + 70)  
= -11,2 + (-30,69) + (-21,12) = -63,01  
$$y = l_{1} \sin \theta_{1} + l_{2} \sin(\theta_{1} + \theta_{2}) + l_{3} \sin(\theta_{1} + \theta_{2} + \theta_{3})$$
  
= 16sin 135 + 33sin(135 + 25) + 33sin(135 + 25 + 70)  
= 11,31 + 11,28 + (-25,3) = -2,71
$$\phi = \theta_{1} + \theta_{2} + \theta_{3}$$
  
= 135 + 25 + 70 = 230  
Koordinat end effector (x, y) :  
$$d_{2} = \pm \sqrt{x^{2} + y^{2}}$$

$$d_{2} = \sqrt{x^{2} + y^{2}}$$

$$d_{2} = \sqrt{(-63,01)^{2} + (-2,71)^{2}} = 63,06cm$$

$$d_{2} = \sqrt{x^{2} - y^{2}}$$

$$d_2 = \sqrt{(-63,01)^2 - (-2,71)^2} = \sqrt{80,1-5,38} = 62,95cm$$
$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-63,01}{-2,71}\right) = 87,53cm$$

# 4.1.2 Inverse Kinematics



Gambar 4.2 Inverse kinematics

Rumus untuk kinematika invers:

$$d_2 = \sigma \sqrt{x^2 + y^2}, \theta_1 = a \tan 2 \left( \frac{y}{d_2}, \frac{x}{d_1} \right), \sigma = \pm 1$$

Mencari x dan y terlebih dahulu dimana  $\theta_1 = 50$ ,  $\theta_2 = 320$ ,  $\theta_3 = 70$ 

$$x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
  
= 16 \cos 50 + 33 \cos(50 + 320) + 33 \cos(50 + 320 + 70) = 42,77  
$$y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + l_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$
  
= 16 \sin 50 + 33 \sin(50 + 320) + 33 \sin(50 + 320 + 70) = 50,98

Maka :

$$d_2 = \sigma \sqrt{x^2 + y^2} = 1\sqrt{(42,77)^2 + (50,98)^2} = 66,54cm$$

Kemudian mencari a.tan 2 menggunakan rumus kinematika invers :

$$\theta_1 = a \cdot \tan 2 \left( \frac{y}{d_2} \right)$$
$$50 = a \cdot \tan 2 \left( \frac{50,98}{66,54} \right)$$

$$a \tan 2 = \frac{50}{0.76} = 65,78$$

Persamaan nonlinear tunggal dalam  $\theta 1$  adalah:

$$(-2l_1x^{,})\cos\theta_1 + (-2l_1y^{,})\sin\theta_1 + (x^{,2} + y^{,2} + l_1^{,2} + l_2^{,2}) = 0$$

Dimana :

$$x' = x - \cos \varphi l_3$$
  
 $y' = y - \sin \varphi$   
 $y' = 50,98 - \sin(450) = 49,98$ 

Persamaan jenis ini dapat diselesaikan dengan menggunakan substitusi sederhana yaitu :

$$\theta_{1} = \gamma + \sigma \cos^{-1} \left( \frac{-x^{2} + y^{2} + l_{1}^{2} - l_{2}^{2}}{2l_{1}\sqrt{x^{2} + y^{2}}} \right)$$

Dimana, :

$$\gamma = a \tan 2 \left( \frac{-y}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right)$$
$$\gamma = 65,78 \left( \frac{-50}{\sqrt{(37,04)^2 + (50)^2}} \right)$$
$$\gamma = 65,78 \left( \frac{-50}{62,22} \right) = -52,86$$

Maka  $\theta_1$  adalah :

$$\theta_{1} = \gamma + \sigma \cos^{-1} \left( \frac{-x^{2} + y^{2} + l_{1}^{2} - l_{2}^{2}}{2l_{1}\sqrt{x^{2} + y^{2}}} \right)$$
  

$$\theta_{1} = (-52,86) + 1\cos^{-1} \left( \frac{(-37,04)^{2} + 50^{2} + 16^{2} - 33^{2}}{2.16\sqrt{(37,04)^{2} + 50^{2}}} \right)$$
  

$$\theta_{1} = (-52,86) + 1\cos^{-1} \left( \frac{3043,96}{1991,04} \right)$$
  

$$\theta_{1} = (-52,86) + 1\cos^{-1} (1,52) = 3,95$$

Dan:  $\sigma = \pm 1$ 

Rumus mencari  $\theta$ 2 menggunakan fungsi (a tan 2) :

$$\theta_{2} = a \tan 2 \left( \frac{y \cdot -l_{1} \sin \theta_{2}}{l_{2}} \right)$$
$$\theta_{2} = 65,78 \left( \frac{50 - 16 \sin 320}{33} \right)$$
$$\theta_{2} = 65,78 \left( \frac{60,28}{33} \right) = 119,68$$

Untuk  $\theta$ 3 dapat dihitung yaitu:

$$\theta_3 = \phi - \theta_1 - \theta_2$$
  
 $\theta_3 = 440 - 3,95 - 119,68$   
 $\theta_3 = 316,37$ 

### 4.2 Hasil simulasi

Berikut ini adalah grafik hasil simulasi motion analysis dari aplikasi solidwork :

1. Kecepatan sudut pada motor (angular velocity)

Gerakan berputar dari lengan robot membentuk sudut 180°, dimana terjadi delay selama 4,1 *sec* dari start awal. Gerakan kecepatan sudut terbesar terjadi pada 300 °/ *sec* pada waktu 4,45 detik. Lama waktu yang ditempuh untuk berputar hingga membentuk 180 ° yaitu 0,9 *sec*.





Gambar 4.3 Angular velocity motor

### 2. Akselerasi sudut pada motor (angular acceleration)

Pada gerakan berputar yang membentuk sudut 180 ° mengalami 2 kali percepatan. Percepatan maksimum pertama terjadi pada 1250 °/ sec dimana waktu yang diperlukan adalah 0,10 sec dari mulai 4,1 - 4,2 sec. Selanjutnya mengalami penurunan percepatan pada 4,5 sec. Percepatan ini terjadi pada saat lengan robot di sudut 90 °. Percepatan maksimum kedua terjadi pada 1333°/sec<sup>2</sup>. Dimana waktu yang diperoleh adalah 0,55 sec dimulai dari waktu 4,45 – 5,0 sec.



Gambar 4.4 Angular acceleration

## **3.** Torsi motor (*motor torque*)

Pada torsi motor terjadi 4 puncak gaya maksimum dan 2 gaya minimum. Dimana puncak paling maksimum terjadi pada waktu 4,45 *sec* sebesar 79046131



*dyne.cm*. Dan puncak paling minimum terjadi pada waktu 4, 80 sec sebesar 24701916,3 *dyne.cm*.

Gambar 4.5 Motor torque

## **BAB 5**

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### 5.1 Kesimpulan

1. Forward kinematics

Mendapatkan nilai dan orientasi dari end effector :

x = -63,01 y = -2,71  $\phi = 230$ Untuk koordinat end effector (x, y):  $d_2 = 62,95cm$  $\theta_1 = 87,53$ 

2. Inverse kinematics

x = 42,77 y = 50,98  $d_2 = 66,54cm$  $\theta_1 = 119,68$ 

3. Pada angular velocity gerakan kecepatan sudut terbesar terjadi pada 300 °/ sec pada waktu 4,45 detik. Lama waktu yang ditempuh untuk berputar hingga membentuk 180 ° yaitu 0,9 sec. Pada angular acceleration mengalami 2 kali percepatan yaitu percepatan maksimum pertama terjadi pada 1250 °/ sec. Percepatan maksimum kedua terjadi pada 1333<sup>0</sup>/sec<sup>2</sup>. Dan pada torsi motor terjadi 4 puncak gaya maksimum dan 2 gaya minimum. Dimana puncak paling maksimum terjadi pada waktu 4,45 sec sebesar 79046131 dyne.cm dan puncak paling minimum terjadi pada waktu 4,8 sec sebesar 24701916,3 dyne.cm.

### 5.2 Saran

1. Penulis menyarankan untuk mempelajari penggunaan aplikasi *solidworks* agar dapat mengerti apa saja yang akan dikerjakan pada saat proses mendesain suatu komponen.

- 2. Penulis berharap kepada penerus tentang judul skripsi ini agar dapat memperbaharui lengan robot ke arah yang lebih baik lagi.
- 3. Penulis menyarankan kepada mahasiswa teknik mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dapat mewujudkan lengan robot dalam bentuk nyata.

# **DAFTAR PUSTAKA**

- Budiharto Dr.Widodo (2014), "Robotika Modern-Teori & Implementasi", Edisi I, Yogyakarta, Penerbit Andi.
- Hidayat Nur ( 2013 ), " *Solidworks 3D Drafting And Design*", Cetakan pertama, Bandung, Informatika Bandung.
- H. Martin George, Ir. Setyobakti "Kinematika Dan Dinamika Teknik", Edisi kedua, Jakarta, Erlangga

http://Journal Laporan Robot Manipulator Visual Studio.co.id http://ejournal-s1undip.ac.id/indexphp/jtm

http://google.co.id

# **LAMPIRAN**


## **DAFTAR RIWAYAT HIDUP**



## DATA PRIBADI

Nama	: Nauli Anugrah Situmeang
NPM	: 1307230233
Tempat / Tanggal Lahir	: Padang, 2 Agustus 1995
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Agama	: Islam
Status	: Belum Menikah
Alamat	: Dusun I
Kel/Desa	: Mela II
Kecamatan	: Tapian Nauli
Provinsi	: Sumatera Utara
Nomor HP	: 0813 6174 6595
Email	: <u>naulianugrah95@gmail.com</u>
Nama Orang Tua	
Ayah	: Alitua Situmeang, S.T

## PENDIDIKAN FORMAL

Ibu

2001-2007 : SD Negeri 084087 Sibolga – Sumatera Utara 2007-2010 : SMP Negeri 2 Sibolga – Sumatera Utara 2010-2013 : SMA Negeri 1 Sibolga – Sumatera Utara 2013-2019 : Mengikuti Pendidikan S1 Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

: Sari Nondang Lubis