

**Analisis Kepresisian *Trajectory* Gerakan Robot Lengan 5 DoF
Menggunakan Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang
*Vertikal dan Horizontal***

SKRIPSI



MUHAMMAD FITRA SALAM

2010816210020

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT

2024

LEMBAR PENGESAHAN
SKRIPSI PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN

**Analisis Kepresisian Trajectory Gerakan Robot Lengan 5 DoF Menggunakan
Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang Vertikal dan Horizontal**

Oleh
Muhammad Fitra Salam (2010816210020)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada 09 Juli 2024 dan dinyatakan

LULUS

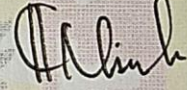
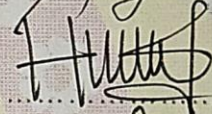
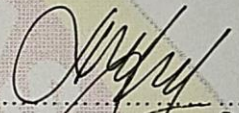
Komite Penguji :

Ketua : Ma'ruf, S.T., M.T.
NIP 197601282008121002

Anggota 1 : Herry Irawansyah, S.T., M.Eng
NIP 199002212018031001

Anggota 2 : Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T.
NIP 199203222019031010

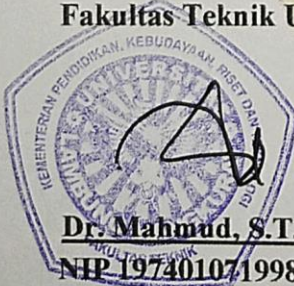
**Pembimbing
Utama** : Gunawan Rudi Cahyono, S.T., M.T.
NIP 197509242002121005



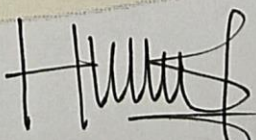
Banjarbaru, 24 Juli 2024
diketahui dan disahkan oleh:

**Wakil Dekan Bidang Akademik
Fakultas Teknik ULM,**

**Koordinator Program Studi
S-1 Teknik Mesin,**



Dr. Mahmud, S.T., M.T.
NIP 197401071998021001


Herry Irawansyah, S.T., M.Eng
NIP 199002212018031001

IDENTITAS

JUDUL SKRIPSI :

**Analisis Kepresisian *Trajectory* Gerakan Robot Lengan 5 DoF
Menggunakan Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang
*Vertikal dan Horizontal***

Nama Mahasiswa/i : Muhammad Fitra Salam

NIM : 2010816210020

KOMITE PEMBIMBING

Pembimbing I : Gunawan Rudi Cahyono, S.T., M.T.

Pembimbing II (jika ada) :

KOMITE PENGUJI

Dosen Penguji I : Ma'ruf, S.T., M.T.

Dosen Penguji II : Herry Irawansyah, S.T., M.Eng.

Dosen Penguji III : Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T.

Waktu dan Tempat Ujian Skripsi

Seminar Proposal : Rabu, 03 April 2024

Seminar Hasil : Selasa, 25 Juni 2024

Ujian Akhir : Selasa, 9 Juli 2024

Tempat : Ruang Sidang PSTM FT ULM


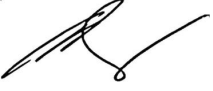

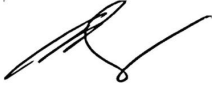


SK Penguji :

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Muhammad Fitra Salam

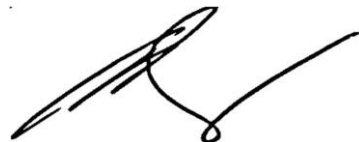
NIM : 2010816210020

Judul Skripsi : Analisis Kepresisian *Trajectory* Gerakan Robot Lengan 5 DoF
Menggunakan Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang *Vertikal*
dan *Horizontal*

No.	Tanggal	Materi Konsultasi	TTD
1	21 Februari 2024	Perbaikan penulisan judul skripsi	
2	5 Maret 2024	Perbaikan isi pendahuluan yang berkaitan dengan penelitian terdahulu	
3	11 Maret 2024	Perbaikan isi rumusan masalah dan tujuan penelitian	
4	19 Maret 2024	Perbaikan bab 3 (metode penelitian)	
5	21 Maret 2024	Perbaikan penulisan sumber kutipan, penambahan notasi satuan pada table	
6	25 Maret 2024	ACC	

Banjarbaru, 25 Maret 2024 Dosen

Pembimbing











Gunawan Rudi Cahyono, S.T., M.T.
NIP. 197509242002121005

LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI

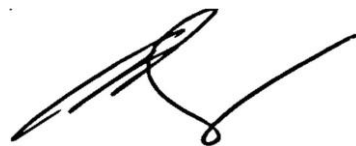
Nama : Muhammad Fitra Salam

NIM : 2010816210020

Judul Skripsi : Analisis Kepresisian *Trajectory* Gerakan Robot Lengan 5 DoF
Menggunakan Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang *Vertikal*
dan *Horizontal*

No.	Tanggal	Materi Konsultasi	TTD
7	25 April 2024	Penambahan materi aplikasi software untuk simulasi pada bab 2	
8	30 April 2024	Perbaikan penulisan bab 4	
9	9 Mei 2024	Perbaikan penulisan kutipan, penambahan notasi satuan pada table	
10	15 Mei 2024	Penambahan nilai selisih trajectory pengujian	
11	22 Mei 2024	Perbaikan penulisan persamaan atau rumus	
12	1 Juni 2024	Penambahan metode eksperimental pengujian robot	
13	7 Juni 2024	Perbaikan isi kesimpulan dan saran	
14	20 Juni 2024	ACC	

Banjarbaru, 20 Juni 2024 Dosen
Pembimbing



Gunawan Rudi Cahyono, S.T., M.T.
NIP. 197509242002121005

ORISINALITAS
PENELITIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah Penelitian Skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis di kutip dari naskah ini dan di sebutkan dalam sumber kutipan dari daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan Skripsi, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diprotes sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Banjarbaru, 27 Juni 2024

Mahasiswa



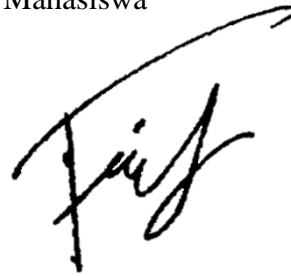
Muhammad Fitra Salam
NIM. 2010816210020

RIWAYAT HIDUP

Muhammad Fitra Salam dilahirkan di Martapura pada tanggal 23 Agustus 2002. Putra kedua dari pasangan Nasrullah Wilutono, S.ST., M.MRS., dan Ratnawati. Pendidikan dasar ditempuh di MIN 16 Banjar Desa Sungai Sipai Kabupaten Banjar dari tahun 2008 hingga 2014. Selanjutnya melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 1 Martapura Kabupaten Banjar pada periode 2014-2017, kemudian di SMK Negeri 2 Banjarbaru Kota Banjarbaru dari tahun 2017 sampai 2020. Dan saat ini, menempuh studi di program Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat di Banjarbaru, Kalimantan Selatan, yang dimulai pada tahun 2020.

Banjarbaru, 27 Juni 2024

Mahasiswa



Muhammad Fitra Salam
NIM. 2010816210020

UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah mencurahkan Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul ” Analisis Kepresisian *Trajectory* Gerakan Robot Lengan 5 DoF Menggunakan Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang Vertikal dan Horizontal”. Shalawat dan Salam semoga selalu tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, beserta sahabat, kerabat, serta pengikut beliau hingga akhir zaman.

Selesainya penulisan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati saya menyampaikan rasa syukur kepada Allah SWT dan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya khususnya kepada:

1. Ayah dan Ibu, Nasrullah Wilutono, S.ST., M.MRS., dan Ratnawati yang mana telah memberikan dukungan baik berupa doa, dana maupun semangat, sehingga penulis dapat mengerjakan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.
2. Bapak Prof. Dr. Ahmad, S.E., M.Si. selaku Rektor Universitas Lambung Mangkurat.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Iphan Fitriani Radam, ST., M.T., IPU. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
4. Bapak Herry Irawansyah, S.T., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
5. Bapak Gunawan Rudi Cahyono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ma,ruf, S.T., M.T., Bapak Herry Irawansyah, S.T., M.Eng., dan Bapak Muhammad Nizar Ramadhan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
8. Seluruh kawan-kawan angkatan 2020 yang telah mendukung terselesaikannya skripsi ini.
9. Seluruh keluarga *Kingdom Animalia*, Cepot, Jono, Apung, Kubo, dll.

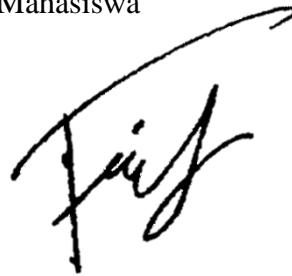
Yang telah menghibur dan menemani selama masa perkuliahan ini.

10. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Dalam kesempatan ini pula penulis menyampaikan mohon maaf yang sebesarbesarnya apabila terdapat kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh karena itu, kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak sangatlah saya harapkan demi kemajuan kita Bersama.

Banjarbaru, 27 Juni 2024

Mahasiswa



Muhammad Fitra Salam
NIM. 2010816210020

RINGKASAN

Muhamad Fitra Salam, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Juni 2024. Analisis Kepresisian Trajectory Gerakan Robot Lengan 5 DoF Menggunakan Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang Vertikal dan Horizontal. Pembimbing: Gunawan Rudi Cahyono, S.T., M.T.

Robot manipulator atau sering disebut sebagai robot lengan memegang peranan yang sangat penting dalam membantu pekerjaan manusia. Robot jenis ini didesain menyerupai lengan manusia dengan sifat fleksibel yang memungkinkannya untuk melakukan berbagai tugas secara otomatis dan akurat. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pembuatan arm robot yang merupakan prototipe robot manipulator yang memiliki 5 degree of freedom (DoF), guna mengurangi keterbatasan orientasi end effector. Hal ini mencakup gerakan garis non-linear atau lengkungan, termasuk jika diterapkan pada bidang horizontal dan vertikal. Dari pergerakan robot manipulator akan diamati seberapa besar tingkat error dari trayektory orde polinomial (lintasan end effector) pada beberapa garis nonlinear atau lengkung. Menggunakan metode persamaan polinomial dengan titik referensi berturut-turut adalah 2, 3, dan 4 titik maka ditemukan kurva trayektory sebagai acuan pergerakan lengan robot. Selanjutnya dilakukannya inverse kinematic untuk mendeskripsikan orientasi dan posisi end effector terhadap base. Sehingga didapatkan kepresisian end effector dari hasil pengujian lengan robot 5 DoF di bidang horizontal dengan hasil terbaik adalah pada orde1, 10 titik. Yaitu didapatkan nilai error berdasarkan selisih jarak pada masing-masing sumbu XY secara berturut-turut sebesar 0,89cm; 0,98cm. Maka, dari data tersebut menunjukkan bahwa kepresisian lengan robot memiliki selisih rata-rata 0,94cm. Sementara pada bidang vertikal didapatkan hasil terbaik pada orde2, 10 titik. Yaitu didapatkan nilai error berdasarkan selisih jarak pada masing-masing sumbu YZ secara berturut-turut sebesar 0,67cm; 0,89cm. Maka, dari data tersebut menunjukkan bahwa kepresisian lengan robot memiliki selisih rata-rata 0,78cm. Dengan demikian, robot lengan dapat bergerak dengan presisi sesuai dengan jalur lintasan yang diinginkan.

Kata Kunci : Robot Manipulator, Polinomial, inverse kinematic

SUMMARY

Muhamad Fitra Salam, Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Lambung Mangkurat University, June 2024. Precision Analysis of 5 DoF Robot Arm Movement Trajectory Using Polynomial Interpolation Method in Vertical and Horizontal Planes. Supervisor: Gunawan Rudi Cahyono, S.T., M.T.

Robot manipulators or often referred to as robot arms play a very important role in helping human work. This type of robot is designed to resemble a human arm with flexible properties that allow it to perform various tasks automatically and accurately. This research was conducted to determine the manufacture of a robot arm which is a prototype of a robot manipulator that has 5 degrees of freedom (DoF), in order to reduce the limitations of end effector orientation. This includes non-linear or curved line movements, including when applied to the horizontal and vertical planes. From the movement of the robot manipulator, it will be observed how much the error rate of the polynomial order trajectory (end effector trajectory) on some nonlinear or curved lines. Using the polynomial equation method with reference points of 2, 3, and 4 points respectively, a trajectory curve is found as a reference for the movement of the robot arm. Furthermore, inverse kinematic is done to describe the orientation and position of the end effector against the base. So that the end effector precision is obtained from the results of testing the 5 DoF robot arm in the horizontal plane with the best results being at order1, 10 points. That is, the error value based on the difference in distance on each XY axis is 0.89cm; 0.98cm. So, the data shows that the precision of the robot arm has an average difference of 0.94cm. While in the vertical plane the best results are obtained at order2, 10 points. That is, the error value based on the difference in distance on each YZ axis is 0.67cm; 0.89cm. So, the data shows that the precision of the robot arm has an average difference of 0.78cm. Thus, the robot arm can move with precision according to the desired trajectory path.

Keywords: *Robot Manipulator, Polynomial, inverse kinematic*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat terselesaikannya karya ilmiah ini, Shalawat dan Salam semoga slalu tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW, beserta sahabat, kerabat, serta pengikut beliau hingga akhir zaman.

Skripsi ini berjudul “Analisis Kepresisian Trajectory Gerakan Robot Lengan 5 DoF Menggunakan Metode Interpolasi Polinomial Pada Bidang Vertikal dan Horizontal”. Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk dapat lulus menjadi Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat.

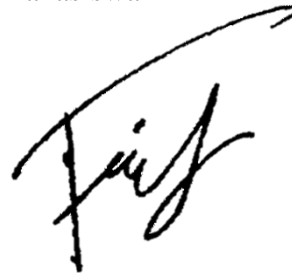
Skripsi ini disusun dengan pengharapan besar, semoga dapat bermanfaat bagi para pembaca. Semoga dapat menjadi pelita di hati mahasiswa. Semoga dapat menjadi pemantik jiwa yang sedang berjuang. Semoga dapat menjadi semangat baru dalam pemikiran anda.

Bagi anda yang sedang berjuang, semoga Skripsi ini dapat menguatkan perjuangan anda. Bagi anda yang sedang mencari jalan, semoga Skripsi ini dapat menggerakkan anda untuk menemukan jalan.

Akhir kata, saya berharap semoga Skripsi ini berguna bagi pengembangan ilmu dan teknologi khususnya bidang Teknik Mesin dalam pada bidang Energi Terbarukan.

Banjarbaru, 27 Juni 2024

Mahasiswa



Muhammad Fitra Salam

NIM. 2010816210020

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
IDENTITAS.....	iii
LEMBAR KONSULTASI SKRIPSI.....	iv
ORISINALITAS PENELITIAN SKRIPSI.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	viii
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Rumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3 Tujuan Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Manfaat Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Batasan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.6 Sistematika Penulisan.....	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 Penelitian Terdahulu.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Landasan Teori	Error! Bookmark not defined.
2.3 Lengan Robot (<i>Arm Robot</i>).....	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 <i>3D Printing</i>	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Arduino	Error! Bookmark not defined.
2.3.3 Mikrokontroler.....	Error! Bookmark not defined.
2.3.4 Motor Servo	Error! Bookmark not defined.
2.3.5 Catu Daya	Error! Bookmark not defined.
2.3.6 Transformator Step Up/Down	Error! Bookmark not defined.
2.4 Kinematika Robot.....	Error! Bookmark not defined.

2.4.1 Denavit - Hartenberg Parameters.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.2 <i>Forward</i> Kinematik	Error! Bookmark not defined.
2.4.3 Inverse Kinematik.....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Interpolasi Polinomial	Error! Bookmark not defined.
2.6 Robo Analyzer.....	Error! Bookmark not defined.
2.7 Wolfram Mathematica.....	Error! Bookmark not defined.
2.8 Optimasi Desain	Error! Bookmark not defined.
2.8.1 Dinamika Lengan Robot.....	Error! Bookmark not defined.
2.8.2 Ergonomi dan Lingkungan Operasi.....	Error! Bookmark not defined.
2.8.3 Stabilitas dan Kekuatan Struktur	Error! Bookmark not defined.
2.9 Dinamika Mekanik Lengan Robot	Error! Bookmark not defined.
2.9.1 Link / Solid Body.....	Error! Bookmark not defined.
2.9.2 Motor	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Tempat dan Waktu	Error! Bookmark not defined.
3.2 Bahan dan Alat	Error! Bookmark not defined.
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.4 Perancangan Lengan Robot.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.1 Rancangan Mekanik Robot.....	Error! Bookmark not defined.
3.4.2 Mekanisme Pergerakan Robot	Error! Bookmark not defined.
3.4.3 Perancangan Perangkat Lunak.....	Error! Bookmark not defined.
3.5 Prosedur Pengujian.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.1 Penentuan Titik Referensi.....	Error! Bookmark not defined.
3.5.2 Penyelesaian Parameter Denavit-Hartenberg (DH) <i>Arm</i> Robot 5 DoF	Error! Bookmark not defined.
3.5.3 Penyelesaian Inverse Kinematik <i>Arm</i> Robot 5 DoF ...	Error! Bookmark not defined.
3.5.4 Penyelesaian Interpolasi Polinomial <i>Arm</i> Robot 5 DoF	Error! Bookmark not defined.
3.5.5 Menerapkan Gerak Lengan Robot.....	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Hasil Perhitungan Kinematika <i>Arm</i> Robot 5 DoF	Error! Bookmark not defined.

4.1.1 Penentuan Titik Referensi.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.2 Perhitungan Inverse Kinematika.....	Error! Bookmark not defined.
4.1.3 Perhitungan Persamaan Polinomial	Error! Bookmark not defined.
4.2 Pengujian Akurasi End-Effector Arm Robot 5 DoF ..	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Bidang Horizontal.....	Error! Bookmark not defined.
4.2.2 Bidang Vertikal.....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Pengujian Kecepatan Gerak Robot.....	Error! Bookmark not defined.
4.4 Pengujian Eksperimental.....	Error! Bookmark not defined.
4.4.1 Bidang Horizontal 20 Titik	Error! Bookmark not defined.
4.4.2 Bidang Vertikal 20 Titik	Error! Bookmark not defined.
4.4.3 Bidang Horizontal 30 Titik	Error! Bookmark not defined.
4.4.4 Bidang Vertikal 30 Titik	Error! Bookmark not defined.
4.5 Meminimalisir Error Keakuratan	Error! Bookmark not defined.
BAB V PENUTUP.....	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan.....	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Robot Lengan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 2 Alat 3D Printer	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 3 Arduino IDE.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 4 Arduino Nano V3 ATmega328P.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 5 Servo SPT5435LV-180W	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 6 . Servo SPT5525LV-210.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 7 Catu Daya DC	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 8 DC to DC Coverter Step Down.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 9 Model Kinematika Robot.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 10 Inverse Kinematik	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 11 Kurva Polinomial Berderajat 2.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 12 Kurva Polinomial Berderajat 3.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 13 Kurva Polinomial Berderajat 4.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 14 Kurva Polinomial Berderajat 5.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 15 Aplikasi Robo Analyzer	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 16 Aplikasi Wolfram Mathematica	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 17 Diagram Cantilever	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. 18 Arm Robot.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 2 Base	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 3 Tutup Rotasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 4 Lengan 1	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 5 Lengan 2	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 6 Lengan 3	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 7 <i>End effector</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 8 seluruh Komponen Robot	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 9 DoF Lengan Robot.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 10 Diagram Implementasi Sistem	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3. 11 Impementasi Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)...	Error! Bookmark not defined.

Gambar 3. 12 Diagram Alir Perencanaan Perangkat Lunak (*Software*) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 13 *Trajectory* Polynomial.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 14 alas diagram kartesian**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 15 Dimensi *Arm* Robot.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 16 Konversi Denavit-Hartenberg *Arm* Robot 5 DoF **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 17 Bidang Koordinat Lengan Robot**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 18 Perhitungan Sudut Theta 1**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 19 Perhitungan Sudut Theta 2 dan 3**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3. 20 *Spherical Wrist* Manipulator Robot **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 1 Pengujian Bidang Horizontal**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 2 Grafik Selisih Trajectory Orde 1 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 3 Grafik Selisih Trajectory Orde 2 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 4 Grafik Selisih Trajectory Orde 3 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 5 Pengujian Bidang Vertikal**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 6 Grafik Selisih Trajectory Orde 1 Bidang Vertikal .**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 7 Grafik Selisih Trajectory Orde 2 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 8 Grafik Selisih Trajectory Orde 3 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 9 Pengujian bidang horizontal dengan 20 titik... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 10 Pengujian bidang vertikal dengan 20 titik..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 11 Pengujian bidang horizontal dengan 30 titik. **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 12 Pengujian bidang vertikal dengan 30 titik..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 13 Motor Stepper.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 14 Diagram PID Closed Loop.....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Motor Servo SPT5435LV-180W **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 2. 2 Spesifikasi Motor Servo SPT5525LV-210 **Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3. 1 Denavit-Haternberg Parameter Robot *Arm* 5 DoF.....**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 1 Inverse Kinematic Bidang Horizontal...**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 2 Inverse Kinematic Bidang Vertikal.....**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 3 Polinomial (Orde 1) Bidang Horizontal**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 4 Polinomial (Orde 2) Bidang Horizontal**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 5 Polinomial (Orde 3) Bidang Horizontal**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 6 Polinomial (Orde 1) Bidang Vertikal....**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 7 Polinomial (Orde 2) Bidang Vertikal....**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 8 Polinomial (Orde 3) Bidang Vertikal....**Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 9 Pengujian Error Trajectory Orde 1 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 10 Pengujian Error Trajectory Orde 2 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 11 Pengujian Error Trajectory Orde 3 Bidang Horizontal **Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 12 Pengujian Error Trajectory Orde 1 Bidang Vertikal **Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 13 Pengujian Error Trajectory Orde 2 Bidang Vertikal **Error! Bookmark not defined.**

Table 4. 14 Pengujian Error Trajectory Orde 3 Bidang Vertikal **Error! Bookmark not defined.**

