

**PERANCANGAN SISTEM ESTIMASI POSISI *QUADCOPTER*
BERBASIS IMU PIXHAWK 2.4.8 PADA LINGKUNGAN
TANPA *GLOBAL POSITIONING SYSTEM***

TUGAS AKHIR

Diajukan guna Memenuhi Persyaratan untuk Mencapai Jenjang
Strata-1 Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh:

Alwandia Ridwan Wadiska

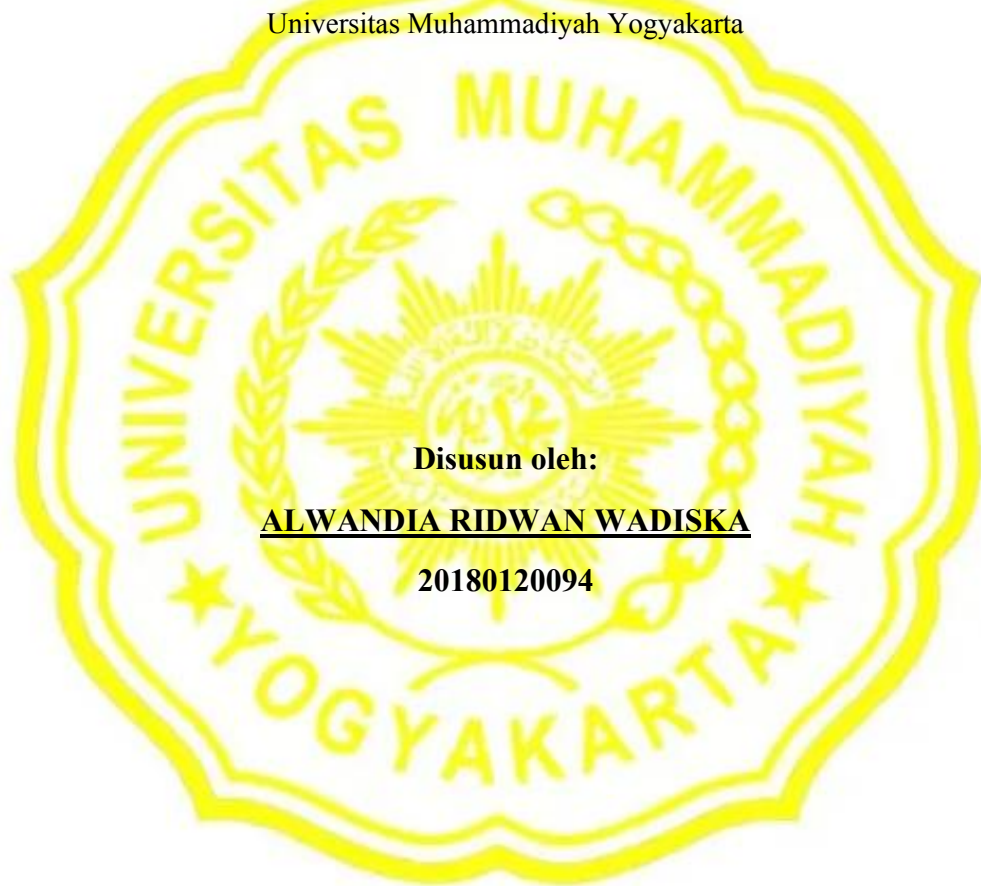
20180120094

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2022**

HALAMAN JUDUL

**PERANCANGAN SISTEM ESTIMASI POSISI *QUADCOPTER* BERBASIS
IMU PIXHAWK 2.4.8 PADA LINGKUNGAN
TANPA *GLOBAL POSITIONING SYSTEM***

Diajukan guna Memenuhi Persyaratan untuk Mencapai Jenjang
Strata-1 Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun oleh:

ALWANDIA RIDWAN WADISKA

20180120094

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2022**

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Alwandia Ridwan Wadiska
NIM : 20180120094
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Menyatakan dengan sungguh naskah tugas akhir dengan judul “Perancangan Sistem Estimasi Posisi *Quadcopter* Berbasis IMU Pixhawk 2.4.8 Pada Lingkungan Tanpa *Global Positioning System*” merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang yang saya ketahui tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, terkecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan daftar pustaka berdasarkan tata cara dan etika penulisan karya tulis.

Yogyakarta, 23 Juli 2022



Alwandia Ridwan Wadiska

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah rabbi 'alamin, segala puji bagi Allah *Subhanahu wa Ta'ala* yang telah memberikan berkah, rahmat, kemudahan serta karunia-Nya tanpa batas, sehingga dengan izin-Nya Tugas Akhir dengan judul “Perancangan Sistem Estimasi Posisi *Quadcopter* Berbasis IMU Pixhawk 2.4.8 Pada Lingkungan Tanpa *Global Positioning System*” dapat diselesaikan. *Shalawat* serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wasallam* yang telah membawa umat manusia dari zaman jahiliah menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat menyelesaikan pendidikan di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Dalam penyusunan dan pelaksanaan Tugas Akhir ini, tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak hingga Tugas Akhir ini dapat selesai dikerjakan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak, Ibu, dan Kakak tercinta atas kasih sayang, do'a serta dukungan moral dan materiel yang telah diberikan
2. Bapak Karisma Trinanda Putra, S.ST., M.T., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
3. Bapak Rama Okta Wiyagi, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing I dan dosen pendamping lomba apapun yang penulis ikuti serta telah memberikan bimbingan, arahan, dan pembelajaran dengan penuh kesabaran kepada penulis dalam melakukan perkuliahan serta perancangan, pembuatan, dan penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Muhamad Yusvin Mustar, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan masukan, saran serta perbaikan demi terselesaikannya tugas akhir ini dengan baik.

5. Bapak Kunnu Purwanto, S.T., M.Eng., selaku dosen penguji yang telah membantu selama proses pengujian sidang tugas akhir dan membagi ilmunya selama kuliah.
6. Staf Laboratorium Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Bapak Indri, Bapak Wastik, Bapak Nurhidayat, Mas Ahdi yang telah membantu berproses di laboratorium
7. Seluruh Dosen dan Keluarga Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
8. Teman-teman MRC Teknik Elektro atas masukan, saran, pengalaman, dan ilmu pengetahuannya sehingga penulis dapat memiliki wawasan dalam melakukan penelitian pada tugas akhir ini.
9. Seluruh Tim Al-Mubarak yang telah berjuang bersama.
10. Mas Aziz, Mas Ibnu dan Duta Fahri Alfiannsyah yang banyak membagi pengalaman, ilmu serta perjuangan selama mengikuti lomba dan kuliah.
11. Grup Sukses Bareng Yok yaitu Adhika Priantama S., Maulana Hidayat, Rohmatullah Aqil, Abi Arga G., Gazanuha Alhilal F., Hazilky Muna P., Tito Novanto, dan Andhika Putra A.P. yang telah menjadi teman, sahabat, dan keluarga selama berkuliah di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
12. Teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2018
13. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis secara langsung atau tidak.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam pembuatan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis dengan senang hati menerima saran dan kritik dari semua pihak. Semoga naskah tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam dunia ilmu pengetahuan bagi pembaca maupun bagi penulis sendiri. Akhir kata, penulis mohon maaf apabila terdapat kesalahan penulisan maupun cara berfikir karena kesempurnaan hanyalah milik Allah dan kesalahan datang dari diri penulis sendiri.

Yogyakarta, 22 Juli 2022

DAFTAR ISI

| | |
|--|--------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN I | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN II..... | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | iv |
| MOTO | v |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xviii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xix |
| INTISARI..... | xx |
| <i>ABSTRACT</i> | xxi |
| BAB I PENDAHULUAN | 22 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 22 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 23 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 23 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 24 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 24 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI | 25 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 25 |
| 2.2 Dasar Teori | 31 |
| 2.2.1 <i>Quadcopter</i> | 31 |
| 2.2.2 <i>Inertial Measurement Unit (IMU)</i> | 32 |
| 2.2.3 Kinematika Estimasi Posisi..... | 33 |
| 2.2.3.1 Perpindahan | 34 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 2.2.3.2 | Kecepatan..... | 34 |
| 2.2.3.3 | Percepatan..... | 35 |
| 2.2.3.4 | Estimasi Posisi..... | 36 |
| 2.2.4 | Regresi Linier..... | 38 |
| 2.2.5 | Pixhawk 2.4.8..... | 39 |
| 2.2.6 | <i>Optical Flow</i> | 40 |
| 2.2.7 | Mission Planner..... | 40 |
| 2.2.8 | Python..... | 41 |
| 2.2.8.1 | PIP..... | 42 |
| 2.2.8.2 | Pandas..... | 42 |
| 2.2.8.3 | Dronekit-Python..... | 43 |
| 2.2.9 | MAVLink <i>Protocol</i> | 44 |
| BAB III METODE PENELITIAN | | 46 |
| 3.1 | Diagram Alir Penelitian..... | 46 |
| 3.2 | Waktu Dan Tempat Penelitian..... | 48 |
| 3.3 | Konsep Penelitian..... | 48 |
| 3.4 | Objek Penelitian..... | 50 |
| 3.5 | Metode Analisis..... | 50 |
| 3.5.1 | Pengambilan Data..... | 51 |
| 3.5.2 | Validasi Data..... | 51 |
| 3.6 | Deskripsi Sistem..... | 52 |
| 3.7 | Perancangan Dan Realisasi Sistem..... | 53 |
| 3.7.1 | Perancangan Perangkat Keras..... | 54 |
| 3.7.2 | Perancangan perangkat lunak..... | 55 |
| 3.7.2.1 | Konfigurasi Pixhawk 2.4.8..... | 56 |
| 3.7.2.2 | Baca Parameter Kecepatan..... | 57 |
| 3.7.2.3 | Perhitungan Estimasi Posisi..... | 58 |
| 3.7.2.4 | Perbaikan Data Menggunakan Regresi Linier..... | 60 |
| 3.8 | Alat Dan Bahan..... | 61 |
| 3.9 | Perlakuan Pengujian..... | 62 |

| | | |
|--|--|------------|
| 3.9.1 | Tahapan Pengujian Data Diam..... | 63 |
| 3.9.2 | Tahapan Pengujian Data Maju | 65 |
| 3.9.3 | Pengujian Data Maju Menggunakan Regresi Linier | 66 |
| BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN | | 68 |
| 4.1 | Pengujian Data Diam..... | 68 |
| 4.2 | Pengujian Data Maju | 75 |
| 4.3 | Perbaikan Data Menggunakan Regresi Linier..... | 85 |
| 4.4 | Pengujian Data Maju Menggunakan Regresi Linier | 105 |
| BAB V PENUTUP | | 112 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 112 |
| 5.2 | Saran..... | 113 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 114 |
| LAMPIRAN..... | | 116 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 <i>Quadcopter</i> Rakitan Tim Al-Mubarak_MK6 | 31 |
| Gambar 2.2 Diagram Alir Umum Sistem IMU <i>Quadcopter</i> | 32 |
| Gambar 2.3 Diagram Alir Sistem Estimasi Posisi Berbasis IMU..... | 33 |
| Gambar 2.4 Grafik Posisi Benda Terhadap Waktu dari Pergerakan Carlos | 34 |
| Gambar 2.5 Grafik Geometris Kecepatan Benda..... | 35 |
| Gambar 2.6 Grafik Kecepatan Benda Terhadap Waktu..... | 36 |
| Gambar 2.7 Contoh Grafik Persamaan Pergerakan | 37 |
| Gambar 2.8 Pixhawk 2.4.8 dan Buzzer..... | 39 |
| Gambar 2.9 Hereflow (<i>Optical Flow</i>)..... | 40 |
| Gambar 2.10 Tampilan <i>Software</i> Mission Planner | 41 |
| Gambar 2.11 Logo Bahasa Pemrograman Python | 42 |
| Gambar 2.12 Logo PIP Python | 42 |
| Gambar 2.13 Logo Library Pandas Python..... | 43 |
| Gambar 2.14 Perintah <i>Callback Message</i> pada Dronekit-Python..... | 44 |
| Gambar 2.15 Logo MAVLink <i>Protocol</i> | 45 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 46 |
| Gambar 3.2 Diagram Alir Konsep Penelitian | 49 |
| Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem <i>Quadcopter</i> | 52 |
| Gambar 3.4 Diagram Blok Sistem Olah Estimasi Posisi | 53 |
| Gambar 3.5 Sistem Perangkat Keras Sistem Estimasi Posisi | 54 |
| Gambar 3.6 Diagram Alir Perancangan Perangkat Lunak Estimasi Posisi | 55 |
| Gambar 3.7 Menu Konfigurasi Pixhawk 2.4.8 | 56 |
| Gambar 3.8 Pesan Parameter "OPTICAL_FLOW" pada MAVLink <i>Protocol</i> ... | 58 |
| Gambar 3.9 Menampilkan Regresi Linier pada Grafik Excel..... | 61 |
| Gambar 3.10 Ketinggian OF (kiri) dan Ketinggian LIDAR (kanan)..... | 63 |
| Gambar 3.11 Pengujian Data Diam | 64 |
| Gambar 3.12 Tabel Pengujian Data Diam | 64 |
| Gambar 3.13 Lingkungan Pengujian Data Maju..... | 66 |
| Gambar 3.14 Label Status pada Mission Planner | 66 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.1 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-1..... | 68 |
| Gambar 4.2 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-2..... | 68 |
| Gambar 4.3 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-3..... | 68 |
| Gambar 4.4 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-4..... | 68 |
| Gambar 4.5 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-5..... | 69 |
| Gambar 4.6 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-6..... | 69 |
| Gambar 4.7 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-7..... | 69 |
| Gambar 4.8 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-8..... | 69 |
| Gambar 4.9 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-9..... | 69 |
| Gambar 4.10 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-10..... | 69 |
| Gambar 4.11 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-11..... | 70 |
| Gambar 4.12 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-12..... | 70 |
| Gambar 4.13 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-13..... | 70 |
| Gambar 4.14 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-14..... | 70 |
| Gambar 4.15 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-15..... | 70 |
| Gambar 4.16 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-16..... | 70 |
| Gambar 4.17 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-17..... | 71 |
| Gambar 4.18 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-18..... | 71 |
| Gambar 4.19 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-19..... | 71 |
| Gambar 4.20 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-20..... | 71 |
| Gambar 4.21 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-21..... | 71 |
| Gambar 4.22 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-22..... | 71 |
| Gambar 4.23 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-23..... | 72 |
| Gambar 4.24 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-24..... | 72 |
| Gambar 4.25 Grafik Estimasi Posisi Diam Uji Coba Ke-25..... | 72 |
| Gambar 4.26 Sampel Data Diam Uji Coba Ke-1 | 72 |
| Gambar 4.27 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-1 ... | 75 |
| Gambar 4.28 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-2... 75 | |
| Gambar 4.29 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-3... 76 | |
| Gambar 4.30 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-4... 76 | |
| Gambar 4.31 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-5... 76 | |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.32 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-6... | 77 |
| Gambar 4.33 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-7... | 77 |
| Gambar 4.34 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-8... | 77 |
| Gambar 4.35 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-9... | 78 |
| Gambar 4.36 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-10. | 78 |
| Gambar 4.37 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-11. | 78 |
| Gambar 4.38 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-12. | 79 |
| Gambar 4.39 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-13. | 79 |
| Gambar 4.40 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-14. | 79 |
| Gambar 4.41 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-15. | 80 |
| Gambar 4.42 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-16. | 80 |
| Gambar 4.43 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-17. | 80 |
| Gambar 4.44 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-18. | 81 |
| Gambar 4.45 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-19. | 81 |
| Gambar 4.46 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-20. | 81 |
| Gambar 4.47 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-21. | 82 |
| Gambar 4.48 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-22. | 82 |
| Gambar 4.49 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-23. | 82 |
| Gambar 4.50 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-24. | 83 |
| Gambar 4.51 Grafik Hasil Pengambilan Estimasi Posisi Maju Uji Coba Ke-25. | 83 |
| Gambar 4.52 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-1 | 86 |
| Gambar 4.53 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-2 | 86 |
| Gambar 4.54 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-3 | 86 |
| Gambar 4.55 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-4 | 87 |
| Gambar 4.56 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-5 | 87 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.57 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-6 | 87 |
| Gambar 4.58 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-7 | 88 |
| Gambar 4.59 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-8 | 88 |
| Gambar 4.60 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-9 | 88 |
| Gambar 4.61 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-10 | 89 |
| Gambar 4.62 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-11 | 89 |
| Gambar 4.63 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-12 | 89 |
| Gambar 4.64 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-13 | 90 |
| Gambar 4.65 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-14 | 90 |
| Gambar 4.66 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-15 | 90 |
| Gambar 4.67 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-16 | 91 |
| Gambar 4.68 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-17 | 91 |
| Gambar 4.69 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-18 | 91 |
| Gambar 4.70 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-19 | 92 |
| Gambar 4.71 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-20 | 92 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.72 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-21 | 92 |
| Gambar 4.73 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-22 | 93 |
| Gambar 4.74 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-23 | 93 |
| Gambar 4.75 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-24 | 93 |
| Gambar 4.76 Grafik Persamaan Regresi Linier dan Indeks Determinasi Data Maju ke-25 | 94 |
| Gambar 4.77 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-1 | 94 |
| Gambar 4.78 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-2 | 95 |
| Gambar 4.79 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-3 | 95 |
| Gambar 4.80 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-4 | 95 |
| Gambar 4.81 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-5 | 96 |
| Gambar 4.82 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-6 | 96 |
| Gambar 4.83 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-7 | 96 |
| Gambar 4.84 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-8 | 97 |
| Gambar 4.85 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-9 | 97 |
| Gambar 4.86 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-10 | 97 |
| Gambar 4.87 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-11 | 98 |
| Gambar 4.88 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-12 | 98 |
| Gambar 4.89 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-13 | 98 |
| Gambar 4.90 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-14 | 99 |
| Gambar 4.91 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-15 | 99 |
| Gambar 4.92 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-16 | 99 |
| Gambar 4.93 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-17 | 100 |
| Gambar 4.94 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-18 | 100 |
| Gambar 4.95 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-19 | 100 |
| Gambar 4.96 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-20 | 101 |
| Gambar 4.97 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-21 | 101 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.98 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-22 | 101 |
| Gambar 4.99 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-23 | 102 |
| Gambar 4.100 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-24 | 102 |
| Gambar 4.101 Grafik Hasil Regresi Linier pada Data Maju Ke-25 | 102 |
| Gambar 4.102 Grafik Hasil Pengujian Ke-1 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 105 |
| Gambar 4.103 Grafik Hasil Pengujian Ke-2 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 105 |
| Gambar 4.104 Grafik Hasil Pengujian Ke-3 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 106 |
| Gambar 4.105 Grafik Hasil Pengujian Ke-4 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 106 |
| Gambar 4.106 Grafik Hasil Pengujian Ke-5 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 106 |
| Gambar 4.107 Grafik Hasil Pengujian Ke-6 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 106 |
| Gambar 4.108 Grafik Hasil Pengujian Ke-7 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 106 |
| Gambar 4.109 Grafik Hasil Pengujian Ke-8 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 106 |
| Gambar 4.110 Grafik Hasil Pengujian Ke-9 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 107 |
| Gambar 4.111 Grafik Hasil Pengujian Ke-10 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 107 |
| Gambar 4.112 Grafik Hasil Pengujian Ke-11 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 107 |
| Gambar 4.113 Grafik Hasil Pengujian Ke-12 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 107 |
| Gambar 4.114 Grafik Hasil Pengujian Ke-13 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 107 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 4.115 Grafik Hasil Pengujian Ke-14 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 107 |
| Gambar 4.116 Grafik Hasil Pengujian Ke-15 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 108 |
| Gambar 4.117 Grafik Hasil Pengujian Ke-16 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 108 |
| Gambar 4.118 Grafik Hasil Pengujian Ke-17 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 108 |
| Gambar 4.119 Grafik Hasil Pengujian Ke-18 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 108 |
| Gambar 4.120 Grafik Hasil Pengujian Ke-19 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 108 |
| Gambar 4.121 Grafik Hasil Pengujian Ke-20 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 108 |
| Gambar 4.122 Grafik Hasil Pengujian Ke-21 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 109 |
| Gambar 4.123 Grafik Hasil Pengujian Ke-22 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 109 |
| Gambar 4.124 Grafik Hasil Pengujian Ke-23 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 109 |
| Gambar 4.125 Grafik Hasil Pengujian Ke-24 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 109 |
| Gambar 4.126 Grafik Hasil Pengujian Ke-25 Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier..... | 109 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 2.1 Penelitian Terkait | 28 |
| Tabel 3.1 Alat dan Bahan yang dibutuhkan | 62 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Estimasi Posisi Diam | 74 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengujian Estimasi Posisi Maju | 84 |
| Tabel 4.3 Perbaikan Data Maju Dengan Regresi Linier | 103 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Estimasi Posisi Maju Menggunakan Regresi Linier. | 110 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| Lampiran 1. Script Program..... | 117 |
| Lampiran 2. Dokumentasi Pengujian dan Lingkungan Pengujian..... | 120 |