RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUPERVISI BERBASIS *IoT* PADA *PROTOTYPE OVERHEAD CRANE*

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Oleh:

MUHAMMAD KHOIRUL IMAM

NIM D1021191069



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2026

UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186 WA +6282152280907
Email : [redacted] Website : http://teknik.untan.ac.id

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping pada penulisan skripsi yang berjudul **"Rancang Bangun Sistem Kendali Supervisi Berbasis IoT pada *Prototype Overhead Crane*"** yang ditulis oleh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Nama : Muhammad Khoirul Imam
NIM : D1021191069
Jurusan : Teknik
Prodi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Kendali

Demikian ini menerangkan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan skripsinya.

Mengetahui,
Pembimbing Utama,

Elang Derdian Marindani, S.T., M.T.
NIP.197203011998021001

Pontianak, 21 Juli 2026
Pembimbing Kedua,

Ir. Muhammad Saleh, S.T., M.T., IPM.
NIP.196706161994121001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

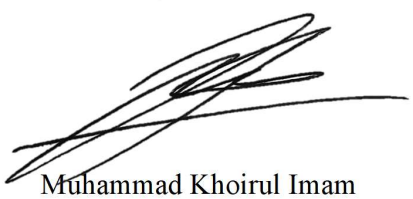
Nama : Muhammad Khoirul Imam

NIM : D1021191069

Menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul "**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUPERVISI BERBASIS *IoT* PADA *PROTOTYPE OVERHEAD CRANE***" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan Saya, tidak terapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atas diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan dibuat ini tidak benar

Pontianak, 21 Juli 2026



Muhammad Khoirul Imam
NIM.D1021191069

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA: +6282152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUPERVISI BERBASIS *IoT* PADA *PROTOTYPE OVERHEAD CRANE*

Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Sarjana Teknik Elektro.

Oleh:

Muhammad Khoirul Imam
NIM D1021191069

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada 21 Juli 2026
dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana

Susunan Penguji Skripsi

Pembimbing Utama

Elang Derdian Marindani, S.T., M.T.
NIP.197203011998021001

Penguji Utama

Prof. Dr.-Ing. Seno D. Panjaitan, S.T., M.T., IPM.
NIP.197507162000121001

Pembimbing Kedua

Ir, Muhammad Saleh, S.T., M.T., IPM.
NIP.196706161994121001

Penguji Kedua

Hilda, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.
NIP.196907091995012001

Pontianak, 21 Juli 2026
Dekan,

Dr.-Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP.196712231992031002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucap puji syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan kemudahan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan karya ilmiah ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, dan para sahabatnya yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Skripsi ini kupersembahkan kepada Ayah dan Ibu tercinta, dua sosok mulia yang tak pernah lelah berdoa, berjuang, dan berkorban demi masa depanku. Setiap tetes keringat kalian, setiap doa yang kalian panjatkan di setiap sujud, dan setiap pengorbanan yang kalian berikan menjadi kekuatan terbesarku untuk terus melangkah dan tidak menyerah. Tanpa ridho, doa, dan kasih sayang kalian, karya ini tidak akan pernah terselesaikan. Maafkan anakmu ini jika selama proses pengerjaan skripsi ini sering merepotkan dan membuat kalian khawatir. Semoga karya sederhana ini dapat menjadi salah satu bentuk bakti dan membanggakan kalian.

Kepada sahabat-sahabat seperjuanganku, kalian yang telah menemani perjalanan panjang ini dari awal semester hingga detik-detik akhir penyusunan skripsi. Terima kasih untuk setiap tawa, tangis, keluh kesah, dan semangat yang kita bagikan bersama. Kalian adalah keluarga kedua yang memberikan warna dalam kehidupanku. Setiap diskusi larut malam, setiap saling menguatkan di saat deadline mendekat, dan setiap kenangan indah yang kita ciptakan bersama akan selalu terpatri dalam ingatan. Tanpa kalian, perjalanan ini tidak akan semenyenangkan dan seberkesan ini. Semoga persahabatan kita akan terus terjaga meskipun nanti kita akan menempuh jalan yang berbeda.

Semoga karya sederhana ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang sistem kendali otomasi dan *Internet of Things*.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI SUPERVISI BERBASIS *IoT* PADA *PROTOTYPE OVERHEAD CRANE***". Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan pendidikan Program Sarjana pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

Proses penyusunan skripsi ini memberikan pembelajaran yang sangat berharga bagi penulis, baik dari segi pengetahuan teknis maupun pengembangan kemampuan berpikir analitis dan sistematis. Berbagai tantangan dan kendala yang dihadapi selama penelitian telah menjadi sarana pembelajaran yang memperkaya wawasan penulis di bidang sistem kendali otomatis dan teknologi *Internet of Things*.

Keberhasilan penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ing. Seno D. Panjaitan, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan selama masa perkuliahan.
2. Bapak Jannus Marpaung, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura dan juga selaku dosen pembimbing akademik atas bimbingan dan koordinasi dan pengelolaan program studi yang baik.
3. Bapak Elang Derdian Marindani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing utama yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu yang sangat berharga sejak awal hingga selesainya penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Muhammad Saleh, S.T., M.T., IPM. selaku dosen pembimbing pendamping yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan saran, kritik, dan masukan yang konstruktif demi perbaikan skripsi ini.

5. Bapak Prof. Dr. Ing. Seno D. Panjaitan, S.T., M.T., IPM. selaku dosen penguji utama yang telah memberikan evaluasi dan saran perbaikan untuk penyempurnaan skripsi ini.
6. Ibu Hilda, S.T., M.T., IPM., ASEAN., Eng. selaku dosen penguji pendamping yang telah memberikan saran perbaikan dan dukungan moral dalam pengerjaan skripsi ini.
7. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
8. Semua pihak yang telah membantu dan mendukung Saya dalam penyusunan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan, baik dari segi materi maupun penyajian. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini dan sebagai pembelajaran untuk karya ilmiah selanjutnya.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya dalam bidang sistem kendali otomatis dan aplikasi *Internet of Things*, serta dapat bermanfaat bagi pembaca dan peneliti lain yang akan melakukan penelitian sejenis di masa mendatang.

Pontianak Juli 2026

Muhammad Khoirul Imam
D1021191069

ABSTRAK

Overhead crane merupakan salah satu peralatan vital dalam industri manufaktur yang berfungsi sebagai alat angkat dan pemindah material. Pengoperasian *overhead crane* memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi terutama akibat ayunan beban yang tidak terkendali dan kesalahan operator. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kendali posisi dan peredam ayunan beban pada *prototype overhead crane* menggunakan pengendali *PID* serta membangun aplikasi monitoring dan kendali supervisi berbasis Android menggunakan *MIT App Inventor*. Sistem menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama, ESP32 sebagai modul komunikasi *IoT*, dan Arduino Pro Micro untuk pembacaan sensor MPU6050. Kendali posisi menggunakan *encoder* motor JGA25-370 sebagai umpan balik dengan nilai konversi 0,0085 cm/pulse untuk sumbu X dan 0,0098 cm/pulse untuk sumbu Y. Komunikasi antara aplikasi dan sistem menggunakan protokol *MQTT* dengan *broker* Eclipse *Mosquitto*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kendali *PID anti-swing* berhasil meredam ayunan beban secara signifikan yang dibuktikan dari perbandingan mode otomatis *PID ON* dan *PID OFF* dimana *MAE* posisi sumbu Y pada kondisi *PID ON* sebesar 3,31 cm sedangkan pada kondisi *PID OFF* meningkat drastis menjadi 27,23 cm. Aplikasi Android yang dikembangkan berhasil menampilkan data monitoring dan memungkinkan operator melakukan kendali supervisi perpindahan beban dari jarak jauh menggunakan smartphone.

Kata Kunci: *Overhead crane*, *PID*, *Anti-swing*, *IoT*, *MQTT*, *MIT App Inventor*.

ABSTRACT

Overhead crane is one of the vital equipment in the manufacturing industry that functions as a material lifting and transferring tool. The operation of overhead cranes carries a high risk of work accidents, particularly due to uncontrolled load swinging and operator errors. This study aims to design and build a position control system and load swing damper ON an overhead crane prototype using a PID controller, as well as to develop an Android-based monitoring and supervisory control application using MIT App Inventor. The system uses Arduino Mega 2560 as the main controller, ESP32 as the IoT communication module, and Arduino Pro Micro for MPU6050 sensor reading. Position control uses the JGA25-370 motor encoder as feedback with a conversion value of 0.0085 cm/pulse for the X-axis and 0.0098 cm/pulse for the Y-axis. Communication between the application and the system uses the MQTT protocol with the Eclipse Mosquitto broker. The test results show that the PID anti-swing control successfully dampened load swinging significantly, as evidenced by the comparison of automatic mode PID ON and PID OFF conditions where the MAE of Y-axis position in PID ON condition was 3.31 cm while in PID OFF condition it increased drastically to 27.23 cm. The developed Android application successfully displayed monitoring data and allowed operators to perform supervisory control of load transfer remotely using a smartphone.

Keywords: *Overhead crane, PID, Anti-swing, IoT, MQTT, MIT App Inventor.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ..... **i**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **ii**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
ABSTRAK ..... **vi**
ABSTRACT ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xii**
DAFTAR TABEL ..... **xv**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xviii**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xix**
DAFTAR ISTILAH ..... **xx**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang **1**
1.2. Rumusan Masalah **3**
1.3. Tujuan Penelitian **3**
1.4. Batasan Masalah **3**
1.5. Sistematika Penulisan **4**
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **6**
2.1. Penelitian Terkait **6**
2.2. Landasan Teori **8**
2.2.1. *Overhead Crane* 8
2.2.2. Pengendalian *PID* 9
2.2.2.1. Aksi *Proporsional (P)* 10
2.2.2.2. Aksi *Integral (I)* 10
2.2.2.3. Aksi *Derivative (D)* 11
2.2.2.4. Pengaruh Parameter Pengendali *PID* Terhadap Respon Sistem 11

2.2.3. *Internet of Things (IoT)* 12
2.2.4. *Massage Queuing Telementry Transport* (*MQTT*) 13
2.3. Komponen yang digunakan 14
2.3.1. Mikrokontroller Arduino Mega 2560 14
2.3.2. Miktrokontroler ESP32 15
2.3.3. Arduino Pro Micro 16
2.3.4. Motor DC *Gearbox* 18
2.3.5. Motor DC JGA25-370 19
2.3.6. Motor Servo SG90 20
2.3.7. Driver L298N 21
2.3.8. Driver HX711 23
2.3.9. *Limit Switch* 24
2.3.10. MPU 6050 25
2.3.11. *Load Cell* 26
2.3.12. *Power Supply* 27
2.3.13. Arduino IDE 29
2.3.14. *MIT App Inventor* 30
2.3.15. *Eclips Mosquitto* 31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 32
3.1. Waktu dan Tempat Penlitian 32
3.2. Metode Penelitian 32
3.3. Perancangan Sistem 35
3.3.1. Sistem Kendali Posisi *Crane* 36
3.3.1.1. Cara Kerja Kendali *PID* Posisi 37
3.3.1.2. Cara Kerja Kendali *D Anti-Swing* 38
3.3.1.3. Penggabungan Kendali Posisi dan *Anti-Swing* 39
3.3.2. Sistem *IoT* 39

3.3.3. Perancangan Perangkat Keras 40
3.3.4. Perancangan Perangkat Lunak 42
3.3.4.1. Pemrograman Arduino Mega 48
3.3.4.2. Pemrograman ESP 32 54
3.3.4.3. Pemrograman Arduino Pro Micro 58
3.3.4.4. Pemrograman MIT App Inventor 63
3.3.4.5. Desain UI Aplikasi 68
3.3.5. Desain Prototype Crane 72
3.4. Variabel Penelitian 73
3.4.1. Galat 74
3.4.2. Presentase Galat 74
3.4.3. Nilai Rata-rata *Error* Absolut (*Mean Absolut Error*) 74
3.4.4. Analisis Hasil 75
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS 76
4.1. Hasil Perancangan Perangkat Keras Sistem 76
4.2. Hasil Perancangan Perangkat Lunak Sistem 79
4.3. Pengujian Sensor dan Komponen 82
4.3.1. Pengujian *Encoder* dan X dan Y 82
4.3.2. Pengujian Limit Switch 83
4.3.3. Pengujian MPU6050 84
4.3.4. Pengujian *Gripper* 85
4.3.5. Pengujian Load Cell 86
4.4. Penentuan Parameter Kendali *PID* 86
4.4.1. *Tunning* Kendali *PID* Posisi 87
4.4.2. *Tuning D Anti-Swing* 88
4.5. Pengujian Mode Operasi Sistem 89
4.5.1. Mode Supervisi 89

4.5.2. Mode Otomatis..... 89
4.6. Hasil dan Analisis Pengujian Sensor..... 90
4.7. Analisis Hasil Pengujian Supervisi..... 107
4.8. Analisis Hasil Pengujian Otomatis.....116
BAB V PENUTUP..... 123
5.1. Kesimpulan..... 123
5.2. Saran 124
DAFTAR PUSTAKA..... 125
LAMPIRAN..... 128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Skematik dari *Overhead Crane* 8

Gambar 2. 2. Skema Sistem Kendali PID 9

Gambar 2. 3. Arduino Mega 2560 14

Gambar 2. 4. ESP32 15

Gambar 2. 5. Arduino Pro Micro 17

Gambar 2. 6. Motor DC *Gearbox* 18

Gambar 2. 7. Motor DC JGA25-370 19

Gambar 2. 8. Motor Servo SG90 20

Gambar 2. 9. Driver L298N 22

Gambar 2. 10. Driver HX711 23

Gambar 2. 11. *Limit Switch* 25

Gambar 2. 12. MPU 6050 25

Gambar 2. 13. *Strain Gauge Load Cell* 27

Gambar 2. 14. *Power Supply* 12 V 10 A 28

Gambar 2. 15. LM2596 29

Gambar 2. 16. Arduino IDE 30

Gambar 2. 17. *MIT App Inventor* 31

Gambar 2. 18. *Broker Eclips Mosquitto* 31

Gambar 3. 1. Lokasi Pembuatan dan Pengujian Sistem 32

Gambar 3. 2. Diagram Alir Penelitian 33

Gambar 3. 3. Diagram Blok SIstem 35

Gambar 3. 4. Diagram Blok Kendali Posisi 37

Gambar 3. 5. Diagram Blok *IoT* 40

Gambar 3. 6. Skema Perancangan Komponen Elektronika 40

Gambar 3. 7. Diagram Blok Otomatis 44

Gambar 3. 8. Diagram Blok Supervisi 45

Gambar 3. 9. Diagram Blok Komunikasi *IoT* 46

Gambar 3. 10. Diagram Pemrograman Arduino Pro Micro 47

Gambar 3. 11. UI *Broker* dan Monitoring 69

Gambar 3. 12. UI Supervisi 70

Gambar 3. 13. UI Settingan Kendali *PID* Posisi 72

Gambar 3. 14. Desain *Prototype Crane* 72

Gambar 3. 15. Desain *Gripper* 73

Gambar 4. 1. Struktur Kerangka Area Kerja *Crane* 76

Gambar 4. 2. *Gripper Crane* 77

Gambar 4. 3. Beban Uji Coba *Crane* 77

Gambar 4. 4. Trolley Crane 78

Gambar 4. 5. Panel Kendali 78

Gambar 4. 6. Tampilan UI Aplikasi 81

Gambar 4. 7. *Encoder* Pada *Crane* 82

Gambar 4. 8. *Limit Switch Homing* 83

Gambar 4. 9. *Limit Switch* Mode Otomatis 84

Gambar 4. 10. MPU6050 pada *Gripper* 85

Gambar 4. 11. Posisi *Gripper* saat diberi Perintah 85

Gambar 4. 12. Pengujian *Load Cell* 86

Gambar 4. 13. Grafik Pembacaan *Encoder* X 93

Gambar 4. 14. Grafik *Error* Encoder X..... 94

Gambar 4. 15. Grafik *Error* Pengujian *Encoder* Y. 96

Gambar 4. 16. Grafik *Error* Encoder Y 97

Gambar 4. 17. Grafik Pembacaan Sudut Sumbu X 100

Gambar 4. 18. Grafik *Error* Sudut Sumbu X 101

Gambar 4. 19. Grafik Pembacaan Sudut Smbu Y 102

Gambar 4. 20. Grafik *Error* Sudut Y 103

Gambar 4. 21. Grafik Pembacaan *Load Cell* 106

Gambar 4. 22. Grafik Posisi X dan Y Kendali *PID* dihidupkan..... 108

Gambar 4. 23. Grafik Galat Posisi Kendali *PID* dihidupkan 110

Gambar 4. 24. Grafik Sudut Maksimum Kendali *PID* dihidupkan 111

Gambar 4. 25. Grafik Posisi X dan Y Kendali *PID* dimatikan.....112

Gambar 4. 26. Grafik Galat Posisi Kendali *PID* dimatikan 114

Gambar 4. 27. Sudut Maksimum Kendali *PID* dimatikan 114

Gambar 4. 28. Grafik Posisi Otomatis Kendali *PID* dihidupkan 117

Gambar 4. 29. Grafik Galat Posisi Otomatis Kendali *PID* dihidupkan.....119

Gambar 4. 30. Grafik Posisi Otomatis Kendali *PID* dimatikan 120

Gambar 4. 31. Galat Posisi Otomatis Kendali *PID* dimatikan 121

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Penelitian Terkait 6

Tabel 2. 2. Pengaruh Parameter Pengendali *PID* 11

Tabel 2. 3. Spesifikasi Arduino Mega 2560 15

Tabel 2. 4. Spesifikasi ESP32 16

Tabel 2. 5. Spesifikasi Arduino Pro Micro 17

Tabel 2. 6. Spesifikasi Motor DC *Gearbox* 18

Tabel 2. 7. Spesifikasi Motor DC JGA25-370 19

Tabel 2. 8. Spesifikasi *Encoder* 20

Tabel 2. 9. Spesifikasi MOtor Servo SG90 21

Tabel 2. 10. Spesifikasi Driver L298N 23

Tabel 2. 11. Spesifikasi HX711 24

Tabel 2. 12. Spesifikasi *Limit Switch* 25

Tabel 2. 13. Spesifikasi MPU 6050 26

Tabel 2. 14. Spesifikasi *Load Cell* 27

Tabel 2. 15. Spesifikasi *Power Supply* 12 V 10 A 28

Tabel 2. 16. Spesifikasi LM2596 29

Tabel 3. 1. Koneksi Pin *Driver* L298N ke Arduino Mega 2560 41

Tabel 3. 2. Koneksi Pin *Encoder* ke Arduino Mega 2560 41

Tabel 3. 3. Koneksi Pin Servo Gripper ke Arduino Mega 2560 41

Tabel 3. 4. Koneksi Pin HX711 ke Arduino Mega 2560 41

Tabel 3. 5. Koneksi Pin *Limit Switch* ke Arduino Mega 2560 42

Tabel 3. 6. Koneksi Pin Komunikasi Serial 42

Tabel 3. 7. Parameter Kendali *PID* Posisi Sumbu X dan Y 50

Tabel 3. 8. Parameter D Anti-Swing Sumbu X dan Y 51

Tabel 3. 9. Ringkasan Fase *State Machine* 53

Tabel 3. 10. Format Data Status Crane 54

Tabel 3. 11. Daftar Topik *MQTT* Sistem *Crane* 55

Tabel 3. 12. Konversi Format Perintah 56

Tabel 3. 13. Format Status *Crane* (8 Field) 57

Tabel 3. 14. Konfigurasi Pro Micro dan MPU6050 59

Tabel 3. 15. Ringkasan Parameter Modul Pro Micro 62

Tabel 3. 16. Komponen Antarmuka Aplikasi *MIT App Inventor* 63

Tabel 3. 17. Index Parsing Data Status di Apliaksi 65

Tabel 3. 18. Nilai Koordinat Preset Aplikasi 66

Tabel 3. 19. Elemen Monitoring pada Antarmuka Aplikasi 69

Tabel 4. 1. Kalibrasi *Encoder* Sumbu X 90

Tabel 4. 2. Kalibrasi *Encoder* Sumbu Y 91

Tabel 4. 3. Hasil Pengujian *Encoder* X 92

Tabel 4. 4. Hasil Pengukuran *Encoder* Y 95

Tabel 4. 5. Pengujian *Limit Switch* 98

Tabel 4. 6. Hasil Pengujian *Limit Switch* 99

Tabel 4. 7. Hasil Pengukuran Sudut Sumbu X 99

Tabel 4. 8. Hasil Pengukuran Sudut Y 101

Tabel 4. 9. Hasil Pengujian *Gripper* 104

Tabel 4. 10. Hasil Pembacaan Load Cell 105

Tabel 4. 11. Hasil Percobaan Supervisi Kendali *PID* dihidupkan 108

Tabel 4. 12. Penghitungan Galat Supervisi Kendali *PID* dihidupkan 109

Tabel 4. 13. Hasil Percobaan Supervisi Kendali *PID* dimatikan 111

Tabel 4. 14. Penghitungan Galat Supervisi Kendali *PID* dimatikan 113

Tabel 4. 15. Perbandingan Kendali *PID* dihidupkan dan Kendali *PID* dimatikan 115

Tabel 4. 16, Hasil Pengujian Otomatis Kendali *PID* dihidupkan 116

Tabel 4. 17. Perhitungan Galat Mode Otomatis Kendali *PID* dihidupkan 118

Tabel 4. 18. Hasil Pengujian Mode Otomatis Kendali *PID* dimatikan 119

Tabel 4. 19. Hasil Perhitungan Galat Mode Otomatis Kendali *PID* dimatikan.. 121

Tabel 4. 20, Perbandingan Galat Mode Otomatis Kendali *PID* dihidupkan dan dimatikan 122

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Pemrograman Arduino Mega 128

LAMPIRAN B. Pemrograman ESP32..... 143

LAMPIRAN C. Pemrograman Arduino Pro Micro..... 147

LAMPIRAN D. Pemrograman Block *MIT App Inventor* 150

DAFTAR SINGKATAN

PID	*Proportional Integral Derivative*
IoT	*Internet of Things*
MQTT	*Message Queuing Telemetry Transport*
UI	*User Interface*
I2C	*Inter-Integrated Circuit*
UART	*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*
CSV	*Comma-Separated Values*
PWM	*Pulse Width Modulation*
ISR	*Interrupt Service Routine*
QoS	*Quality of Service*
MAE	*Mean Absolute Error*
IDE	*Integrated Development Environment*
DC	*Direct Current*
SDA	*Serial Data Line*
SCL	*Serial Clock Line*
TX	*Transmit*
RX	*Receive*
Kp	Konstanta Proporsional
Ki	Konstanta Integral
Kd	Konstanta Derivatif

DAFTAR ISTILAH

PID Controller	Algoritma kendali umpan balik yang menghasilkan sinyal keluaran kendali berdasarkan tiga aksi, yaitu aksi Proportional yang menghasilkan output sebanding dengan besar sinyal kesalahan *e(t),* aksi Integral yang menghasilkan output sebanding dengan integral sinyal kesalahan terhadap waktu untuk mengeliminasi kesalahan tunak (*steady-state error*), dan aksi *Derivative* yang menghasilkan output sebanding dengan laju perubahan sinyal kesalahan *de(t)/dt* untuk meningkatkan stabilitas dan mempercepat respons transien sistem.
Overhead Crane	Sistem *crane* yang terdiri atas jembatan, troli, dan mekanisme pengangkat yang bergerak pada rel di atas area kerja untuk memindahkan beban secara horizontal dan vertikal.
IoT	Konsep yang menghubungkan perangkat seperti mikrokontroler dan sensor ke jaringan internet untuk memungkinkan proses monitoring, supervisi, dan pertukaran data.
MQTT	Protokol komunikasi ringan berbasis *publish-subscribe* yang digunakan untuk mengirim dan menerima data antara ESP32, *broker* MQTT, dan aplikasi Android pada sistem monitoring dan supervisi
UI	Antarmuka pengguna yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan sistem atau aplikasi melalui berbagai elemen seperti tombol, ikon, dan tampilan informasi.
I2C	Protokol komunikasi serial dua kabel yang terdiri dari jalur data (*SDA*) dan jalur *clock* (*SCL*) yang digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler dengan perangkat sensor atau modul pendukung lainnya.

UART	Protokol komunikasi serial asinkron yang digunakan untuk pertukaran data antar perangkat secara dua arah melalui jalur *transmit* dan *receive* tanpa memerlukan sinyal clock bersama.
Broker	Perantara dalam sistem komunikasi berbasis protokol MQTT yang bertugas menerima pesan dari pengirim (publisher) dan meneruskannya kepada penerima (subscriber) yang telah berlangganan pada topik yang sesuai.
CSV	Format file teks sederhana yang digunakan untuk menyimpan data tabular dimana setiap nilai dipisahkan oleh tanda koma dan setiap baris merepresentasikan satu record data.
PWM	Teknik modulasi sinyal digital untuk mengatur kecepatan motor DC dengan cara mengubah lebar pulsa sinyal *on/off*
Encoder	Sensor yang mengubah putaran mekanis motor menjadi sinyal pulsa digital untuk mengukur posisi dan kecepatan
Anti-windup	Mekanisme pada pengendali PID untuk mencegah penumpukan nilai integral yang berlebihan saat output kendali mencapai batas saturasi
Dead zone	Rentang nilai sinyal kendali minimum yang tidak menghasilkan respons pada motor DC akibat hambatan mekanis
State machine	Model komputasi yang menggambarkan alur kerja sistem sebagai kumpulan state dan transisi antar state berdasarkan kondisi tertentu
Complementary Filter	Metode pengolahan data sensor yang menggabungkan dua sumber data dengan bobot berbeda untuk menghasilkan estimasi yang lebih akurat

ISR	Fungsi khusus yang dijalankan secara otomatis oleh mikrokontroler ketika terjadi sinyal interrupt dari perangkat luar
QoS	Tingkat jaminan pengiriman pesan pada protokol MQTT, terdiri dari QoS 0 (at most once), QoS 1 (at least once), dan QoS 2 (exactly once)
Homing	Proses pengembalian *crane* ke posisi referensi awal (titik nol) menggunakan limit switch sebagai sensor posisi.
MAE	Nilai rata-rata dari selisih absolut antara nilai aktual dan nilai target yang digunakan sebagai ukuran akurasi sistem
Supervisi	Mode operasi sistem kendali di mana operator hanya menginputkan koordinat titik *pickup* dan *drop* melalui aplikasi Android, kemudian sistem secara otomatis menjalankan seluruh proses pemindahan beban tanpa intervensi lebih lanjut dari operator.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dinamika industri yang semakin kompleks dan kompetitif menuntut sektor manufaktur di Indonesia tidak hanya untuk meningkatkan produktivitas, tetapi juga memastikan terciptanya lingkungan kerja yang aman dan sehat bagi pekerja. Hal ini sejalan dengan amanat Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja yang menegaskan bahwa setiap tempat kerja wajib menjamin keselamatan tenaga kerja, termasuk dalam penggunaan mesin, peralatan, instalasi, serta proses produksi yang memiliki potensi bahaya [1].

Overhead crane merupakan salah satu peralatan vital dalam industri manufaktur dan konstruksi yang berfungsi sebagai alat angkat material dengan kapasitas besar. Sistem ini bekerja melalui kombinasi pergerakan horizontal dan vertikal menggunakan struktur bridge dan trolley yang terpasang pada area kerja. Keunggulan *overhead crane* meliputi kapasitas angkat yang besar, pergerakan yang cepat, serta biaya operasional yang relatif efisien, sehingga banyak digunakan di berbagai sektor industri [2].

Namun, pengoperasian *overhead crane* tidak terlepas dari risiko kecelakaan kerja yang dapat membahayakan keselamatan pekerja. Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh Kurniawan (2023) dalam artikel "Analisis Kecelakaan Pekerjaan *lifting* dengan *overhead crane*", ditemukan bahwa kecelakaan kerja terjadi akibat beberapa faktor utama, terutama karena operator *overhead crane* tidak pernah mengikuti pelatihan *lifting* dan *rigging* sehingga tidak memiliki izin resmi sebagai operator. Data yang dihimpun mengelompokkan penyebab kecelakaan ke dalam delapan kategori, di mana tiga faktor yang terbukti menjadi penyebab utama adalah faktor manusia, metode kerja, dan manajemen, sedangkan lima faktor lainnya seperti lingkungan, mesin, pengukuran, pemeliharaan, dan material tidak berkontribusi langsung terhadap kejadian kecelakaan. Melalui pendekatan analisis Pareto diketahui bahwa sekitar 80% permasalahan kecelakaan disebabkan oleh 20% faktor dominan, yang sebagian besar berkaitan dengan kesalahan manusia [3]

Seiring meningkatnya kompleksitas proyek konstruksi dan produksi industri, penerapan teknologi modern menjadi kebutuhan penting untuk mengoptimalkan proses kerja dan meningkatkan efisiensi. Perusahaan tidak hanya dituntut memiliki komitmen terhadap kualitas, tetapi juga perlu didukung oleh infrastruktur produksi yang andal. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menjawab tantangan tersebut adalah penerapan teknologi otomatisasi dalam proses produksi dan pelaksanaan proyek.

Penggunaan *overhead crane* yang terintegrasi dengan sistem teknologi modern mencerminkan langkah adaptif industri dalam menghadapi dinamika perkembangan zaman serta meningkatkan daya saing. Pemanfaatan teknologi pada alat angkat ini bukan sekadar pilihan, melainkan kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi, kecepatan, dan yang terpenting adalah tingkat keselamatan kerja [2]. Sistem otomatis dapat mengurangi ketergantungan terhadap keterampilan operator manual dan meminimalkan risiko kesalahan manusia yang menjadi penyebab utama kecelakaan kerja.

Salah satu tantangan utama dalam pengoperasian *overhead crane* adalah pengendalian ayunan beban yang dapat menyebabkan ketidakstabilan dan risiko kecelakaan. Sistem kendali *Proportional Integral Derivative (PID)* telah terbukti efektif dalam meredam ayunan beban. Pengendali *PID* menggabungkan tiga komponen kendali yang bekerja sinergis untuk menghasilkan respons sistem yang cepat, stabil, dan presisi.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* membuka peluang untuk meningkatkan sistem monitoring pada peralatan industri. Protokol *MQTT* yang dirancang khusus untuk aplikasi *IoT* memungkinkan komunikasi data yang efisien antara perangkat dengan keterbatasan *bandwidth*. Integrasi teknologi *IoT* pada *overhead crane* memungkinkan operator untuk memonitor dan melakukan pengendalian supervisi *crane*, meningkatkan fleksibilitas dan keselamatan operasional.

Penelitian sebelumnya telah mengeksplorasi berbagai aspek sistem *overhead crane*, namun masih terdapat kesenjangan dalam hal integrasi menyeluruh antara sistem kendali, peredam ayunan, dan komunikasi *IoT*. Oleh karena itu, penelitian

ini bertujuan merancang dan membangun sistem kendali supervisi berbasis *IoT* pada *prototype overhead crane* yang mengintegrasikan pengendali *PID* untuk peredam ayunan, sistem kendali posisi berbasis *encoder*, dan komunikasi *MQTT* untuk monitoring melalui aplikasi smartphone.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi *overhead crane* yang lebih aman, efisien, dan mudah dioperasikan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat sistem kendali posisi yang dapat meredam ayunan beban dari satu tempat ke tempat lainnya dengan stabil berbasis pengendali *PID*?
2. Bagaimana mengimplementasikan komunikasi *MQTT* untuk kendali supervisi dan monitoring *prototype overhead crane*?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang dan membangun sistem kendali posisi dan peredam ayunan beban pada *prototype overhead crane* menggunakan pengendali *PID*.
2. Membangun aplikasi monitoring dan kendali supervisi berbasis Android menggunakan *MIT App Inventor*.

1.4. Batasan Masalah

Ruang lingkup perlu dibatasi agar tidak meluas, maka penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. *Prototype overhead crane* yang dibuat berskala kecil dengan dimensi horizontal 70 cm, vertikal 100 cm, dan ketinggian 70 cm.

2. Beban yang digunakan dalam pengujian memiliki massa 7 gram dengan dimensi panjang 15 cm, lebar 5 cm, dan tinggi 7 cm, dan panjang atap 25 cm dan lebar 9 cm.
3. Sistem hanya dapat beroperasi pada mode otomatis dengan perpindahan beban menuju titik koordinat yang telah ditentukan.
4. Metode peredam ayunan menggunakan pengendali *PID* dengan metode tuning manual.
5. Parameter yang dianalisis meliputi akurasi posisi dan kestabilan ayunan beban.
6. Penelitian ini tidak membahas aspek keamanan jaringan secara mendalam.

1.5. Sistematika Penulisan

Agar penulisan tugas akhir ini dapat tersusun secara sistematis, maka disusunlah sistematika penulisan tugas akhir ini yang terdiri dari lima bab dan setiap bab terdiri dari sub-sub pembahasan dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas penelitian terdahulu yang relevan, landasan teori mengenai *overhead crane*, sistem kendali *PID*, *Internet of Things*, protokol *MQTT*, serta spesifikasi komponen-komponen yang digunakan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian, alat dan bahan yang digunakan, perancangan sistem meliputi perangkat keras dan perangkat lunak, diagram blok sistem, diagaram alir program, serta tahapan pelaksanaan penelitian.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem, data hasil pengujian akurasi posisi dan kestabilan ayunan beban, serta analisis dan pembahasan terhadap kinerja sistem yang telah dibangun.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN