Kontrol *Pedelec* Pada *Mobile Cafe Hybrid* Dengan Efisiensi Beban Torsi Berbasis Sensor Torsi

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh
Muhammad Zaki Anshari
219341041

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MEKATRONIKA
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG
2024

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul:

Kontrol *Pedelec* Pada *Mobile Cafe Hybrid* Dengan Efisiensi Beban Torsi Berbasis Sensor Torsi

Oleh:

Muhammad Zaki Anshari

219341041

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program pendidikan Sarjana Terapan (Diploma IV)
Politeknik Manufaktur Bandung

Bandung, 9 Desember 2024

Disetujui,

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Ir. Bolo Dwiartomo, M.Eng.	**Suharyadi Pancono,Dipl.Ing.HTL.,MT.**
NIP. 196810301995121001	**NIP. 196701171990031004**

Disahkan,

Penguji I,	Penguji II,	Penguji III,
Hendy Rudiansyah, S.T., M.Eng.	**Gun Gun Maulana, S.Pd., M.T.**	**Adhitya Sumardi Sunarya, S.Si.,M.Si.**
NIP. 198105072008101001	**NIP. 198204272014041001**	**NIP. 198110052009121005**

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Muhammad Zaki Anshari
NIM	:	219341041
Jurusan	:	Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi	:	Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi	:	Diploma 4
Jenis Karya	:	Tugas Akhir
Judul Karya	:	Optimalisaasi Kontrol *Pedelec* pada *Mobile Cafe Hybrid* Dengan Efisiensi Beban Torsi Berbasis Sensor Torsi

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 09 – 12 – 2024
Yang Menyatakan,

(Muhammad Zaki Anshari)
NIM 21934041

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Muhammad Zaki Anshari
NIM	:	219341041
Jurusan	:	Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi	:	Teknologi Rekayasa Mekatronika
Jenjang Studi	:	Diploma 4
Jenis Karya	:	Tugas Akhir
Judul Karya	:	Optimalisaasi Kontrol *Pedelec* pada *Mobile Cafe Hybrid* Dengan Efisiensi Beban Torsi Berbasis Sensor Torsi

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya barada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Nonekslusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Nonekslusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Bandung
Pada tanggal : 09 – 12 – 2024
Yang Menyatakan,

(Muhammad Zaki Anshari)
NIM 219341041

MOTO PRIBADI

Tetap hidup.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah yang hanya kepadaNya kami memuji, memohon pertolongan, dan mohon keampunan. Kami berlindung kepadaNya dari kekejian diri dan kejahatan amalan kami. Barang siapa yang diberi petunjuk oleh Allah maka tidak ada yang dapat menyesatkan, dan barang siapa yang tersesat dari jalanNya maka tidak ada yang dapat memberinya petunjuk. Dan aku bersaksi bahwa tiada sembahan yang berhak disembah melainkan Allah saja, yang tiada sekutu bagiNya. Dan aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hambaNya dan RasulNya.

Atas petunjukan dan pertolongan-Nya, Alhamdlillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul: "Kontrol *Pedelec* Pada *Mobile Cafe Hybrid* Dengan Efisiensi Beban Torsi Berbasis Sensor Torsi".

Tugas akhir dibuat dalam rangka memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan (Diploma-IV) pada Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika di Politeknik Manufaktur Bandung.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang telah memberikan bantuan moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Direktur Politeknik Manufaktur Bandung, Bapak Mohammad Nurdin, S.T., M.A.B.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Bapak Ismail Rokhim, S.T., M.T.
3. Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Bapak Dr. Setyawan Ajie Sukarno, S.St., M.T., M.Sc.Eng
4. Para Pembimbing tugas akhir Ir. Bolo Dwiartomo, M.Eng., dan Bapak Suharyadi Pancono,Dipl.Ing.HTL.,MT.

5. Para Penguji siding tugas akhir Bapak Hendy Rudiansyah, S.T., M.Eng., Bapak Gun Gun Maulana, S.Pd., M.T. dan Bapak Adhitya Sumardi Sunarya, S.Si.,M.Si.
6. Panitia tugas akhir Bapak Rizqi Aji Pratama, M.Pd., Ibu Fitria Suryatini, S.Pd., M.T., Bapak Sarosa Castrena Abadi, S.Pd., M.T., Ibu Hilda Khoirunnisa, S.Tr.T., M.Sc.Eng., Bapak Mohammad Harry Khomas Saputra, S.T., M.TI, Bapak M. Nursyam Rizal, S.Tr.T., M.Sc., dan Ibu Anggraeni Mulyadewi, S.Si., M.T.
7. Teristimewa kepada Orang Tua penulis, Ibu saya Novita Ariani, Ibunda saya Almh. Itta Surraya dan Ayah saya Immawan Anshari yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanannya baik dari segi moril dan materi kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Untuk Adik-adik saya, Muhammad Yazid Zidane Anshari, Muhammad Galaxi Anshari, Ibrahim Bimasakti Anshari.
9. Untuk Om Muhammad Abduh dan Tante Shendy Alifya Santrie, dan warga 28K yang selalu memberikan support untuk saya dari awal saya kuliah sampai selesai.
10. Untuk keluarga besar saya yang selalu memberikan doa baik untuk saya.
11. Untuk teman-teman dan rekan-rekan saya.
12. Serta seluruh pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa dalam penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Karena itu, penulis memohon saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaannya dan semoga bermanfaat bagi kita semua. Aamiiiin Ya Robbal Alamin.

Bandung, Desember 2024

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan sistem kendali pedelec pada mobile cafe hybrid dengan menggunakan sensor torsi sebagai parameter kontrol PI. *Mobile Cafe Hybrid* merupakan sepeda yang mengkombinasikan antara kayuhan pengendara dan bantuan motor listrik DC sebagai bantuan daya. Permasalahan utama yang dihadapi adalah kondisi jalan menanjak yang dapat mempengaruhi performa pengendara. Implementasi *Bottom Bracket Torque Sensor T-17* pada *Mobile Cafe Hybrid* memungkinkan pengendara dapat berkendara pada medan yang menanjak. Dengan mengaplikasikan sistem kontrol PI dengan input dari sensor torsi, *Mobile Cafe Hybrid* dapat menerima respons motor listrik yang adaptif terhadap perubahan beban torsi dari pengendara. *Bottom Bracket Torque Sensor T-17* dapat mengukur torsi pengendara dari rentang 0 – 588.8 sehingga torsi pengendara di kemiringan 0 sampai 10 derajat masih dapat terdeteksi. Pada kemiringan jalan 8 derajat dengan variasi gigi 1-10, hasil pengujian menunjukkan bahwa pada gigi 1 menghasilkan torsi rata-rata 37.93 Nm, peningkatan nilai torsi terus terjadi hingga gigi 10 yang mencapai rata-rata 75.55 Nm. Pada kemiringan jalan 4 derajat dengan variasi gigi 1-10, hasil pengujian menunjukkan bahwa pada gigi 1 menghasilkan torsi rata-rata 24.45 Nm, peningkatan nilai torsi terus terjadi hingga gigi 10 yang mencapai rata-rata 54.20 Nm. Implementasi sistem kontrol PI berdasarkan parameter torsi dari pengendara, dengan kemiringan 4 derajat dan dengan menggunakan nilai K_p = 1.75 dan K_i = 0.42, bantuan dari motor dapat mengurangi torsi pengendara *Mobile Cafe Hybrid* sebesar 30 % serta mengurangi waktu tempuh menjadi 1 menit 22 detik, lebih cepat 26 detik.

Kata kunci: *Pedelec*, *Mobile Cafe Hybrid*, Sensor Torsi, Kontrol PI, Motor Listrik DC

ABSTRACT

This research aims to optimize the pedelec control system on a hybrid mobile cafe by using a torque sensor as a PI control parameter. The Hybrid Mobile Cafe is a bicycle that combines the rider's pedaling with the assistance of a DC electric motor for additional power. The main problem faced is uphill road conditions that can affect the rider's performance. The implementation of the Bottom Bracket Torque Sensor T-17 on the Hybrid Mobile Cafe allows riders to ride on uphill terrain. By applying a PI control system with input from the torque sensor, the Hybrid Mobile Cafe can receive an adaptive electric motor response to changes in torque load from the rider. The Bottom Bracket Torque Sensor T-17 can measure rider torque from a range of 0 - 588.8 so that rider torque on slopes of more than 10 degrees can still be detected. On an 8-degree road slope with gear variations of 1-10, the test results show that gear 1 produces an average torque of 37.93 Nm, and the torque value continues to increase until gear 10 which reaches an average of 75.55 Nm. On a 4-degree road slope with gear variations of 1-10, the test results show that gear 1 produces an average torque of 24.45 Nm, and the torque value continues to increase until gear 10 which reaches an average of 54.20 Nm. The implementation of the PI control system based on the rider's torque parameters, with a 4-degree slope and using the values of Kp = 1.75 and Ki = 0.42, assistance from the motor can reduce the torque of the Hybrid Mobile Cafe rider with a travel time of 1 minute 22 seconds.

Keywords: Pedelec, Mobile Cafe Hybrid, Torque Sensor, PI Control, DC Electric Motor.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS ..... **i**
PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI) ..... **ii**
MOTO PRIBADI ..... **iii**
KATA PENGANTAR ..... **iv**
ABSTRAK ..... **vi**
ABSTRACT ..... **vii**
DAFTAR ISI ..... **viii**
DAFTAR TABEL ..... **x**
DAFTAR GAMBAR ..... **x**
DAFTAR LAMPIRAN ..... **xii**
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN ..... **xiii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
I.1 Latar Belakang 1
I.2 Rumusan Masalah 2
I.3 Batasan Masalah 2
I.4 Tujuan dan Manfaat 2
I.5 Sistematika Penulisan 3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....Error! Bookmark not defined.
II.1 Tinjauan Teori .....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.1 *Hybrid Vehicles* .....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.2 *Electric Bicycle*.....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.3 Mekanika Sepeda.....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.4 Prinsip Kerja Sepeda Listrik.....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.5 Sistem Kendali PI.....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.6 *Torque* .....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.7 BLDC Motor *Speed Control* .....**Error! Bookmark not defined.**
II.1.8 Visual Basic.....**Error! Bookmark not defined.**
II.2 Tinjauan Alat.....**Error! Bookmark not defined.**
II.2.1 Arduino.....**Error! Bookmark not defined.**
II.2.2 Sensor Torsi.....**Error! Bookmark not defined.**
II.2.3 Motor Listrik Brushed DC.....**Error! Bookmark not defined.**
II.2.4 Baterai.....**Error! Bookmark not defined.**

II.2.5 *Pedal Assist Sensor* .....**Error! Bookmark not defined.**
II.2.6 BLDC *Controller* .....**Error! Bookmark not defined.**
II.3 Studi Penelitian Terdahulu .....**Error! Bookmark not defined.**
BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH Error! Bookmark not defined.
III.1 Model Metodologi Penelitian.....**Error! Bookmark not defined.**
III.2 Penerapan Metode VDI2206.....**Error! Bookmark not defined.**
III.3 Perhitungan Mekanika .....**Error! Bookmark not defined.**
III.4 Perancangan Sistem .....**Error! Bookmark not defined.**
III.4.1 Perancangan Sistem Mekanik .....**Error! Bookmark not defined.**
III.4.2 Perancangan Sistem Elektrik.....**Error! Bookmark not defined.**
III.4.3 Perancangan Sistem Kendali.....**Error! Bookmark not defined.**
III.4.4 Perancangan Antarmuka .....**Error! Bookmark not defined.**
III.4.5 Diagram Alir Control System .....**Error! Bookmark not defined.**
III.4.6 Diagram Blok Control System.....**Error! Bookmark not defined.**
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... Error! Bookmark not defined.
IV.1 Hasil Perancangan Sistem Mekanik .....**Error! Bookmark not defined.**
IV.1.1 *Controller Box &* Baterai.....**Error! Bookmark not defined.**
IV.1.2 *Bracket LCD Display*, Potensiometer, dan Kunci Kontak..... **Error! Bookmark not defined.**
IV.1.3 Pemasangan Tensioner.....**Error! Bookmark not defined.**
IV.1.4 *Bottom Bracket Torque Sensor* .....**Error! Bookmark not defined.**
IV.1.5 Motor Listrik Brushed DC .....**Error! Bookmark not defined.**
IV.2 Hasil Perancangan Sistem Elektrik.....**Error! Bookmark not defined.**
IV.2.1 Pengujian Sensor Torsi .....**Error! Bookmark not defined.**
IV.3 Hasil Perancangan Sistem Kendali .....**Error! Bookmark not defined.**
IV.3.1 *Interface* Respon Sistem Kendali PI dan Input-Output ..... **Error! Bookmark not defined.**
IV.3.2 Pengujian Sistem Kendali PI .....**Error! Bookmark not defined.**
IV.4 Hasil Seluruh Pengujian.....**Error! Bookmark not defined.**
BAB V PENUTUP..... Error! Bookmark not defined.
V.1 Kesimpulan .....**Error! Bookmark not defined.**
V.2 Saran.....**Error! Bookmark not defined.**
BAB VI DAFTAR PUSTAKA ..... Error! Bookmark not defined.
BAB VII LAMPIRAN ..... Error! Bookmark not defined.

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Spesifikasi *Bottom Bracket Torque Sensor T-17* **Error! Bookmark not defined.**
Tabel II.2 Penelitian Terdahulu.....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel III.1 Ketentuan Perancangan Sistem.....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel III.2 Daftar Komponen Elektrik Pada *Mobile Cafe Hybrid*..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV. 1 Tabel Keberhasilan Perancangan Sistem..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV. 2 Hasil Pengujian *Bottom Bracket Torque Sensor* Terhadap Beban Yang Berubah .....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.3 Tabel perhitungan torsi pengendara.....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV. 4 Tabel Pengujian Torsi Dengan Kemiringan Tanjakan 8 Derajat Tanpa Bantuan Motor .....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.5 Tabel Perhitungan Torsi Pengendara Di Kemiringan 4 Derajat.. **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.6 Tabel Pengujian Torsi Dengan Kemiringan Tanjakan 4 Derajat Tanpa Bantuan Motor .....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.7 Paramater PI.....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.8 Karakteristik Kendali PI dengan K_p = 1.50 ..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.9 Karakteristik Kendali PI dengan K_p = 1.65 ..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.10 Karakteristik Kendali PI dengan K_p = 2.25 ..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.11 Karakteristik Kendali PI dengan K_p = 2.25 dan K_i = 0.15..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.12 Karakteristik Kendali PI dengan K_p = 1.75 dan K_i = 0.42..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.13 Hasil Perbandingan Rata-Rata Torsi Pengendara Di Rute Pengujian Dengan Kemiringan 4 Derajat Dengan dan Tanpa Bantuan *Pedal Assist* ..... **Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.14 Tabel Perbandingan Penggunaan Parameter K_p dan K_i Dengan Sebelumnya.....**Error! Bookmark not defined.**
Tabel IV.15 Tabel Perbandingan Bantuan Motor (%) Dengan Penelitian Sebelumnya.....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Jenis-Jenis Sistem Pada *E-bike*.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.2 Sepeda Listrik.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar II.3 Diagram Blok Kendali PI .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.4 Diagram Blok Kontrol Kecepatan BLDC Motor [13]..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.5 Visual Basic.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.6 Arduino.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.7 Sensor Torsi.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.8 Motor BLDC .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.9 Baterai.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.10 *Pedal Assist Sensor*.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar II.11 BLDC *Controller*.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.1 Metodologi Penelitian .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.2 V-Model VDI2206 .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.3 Diagram Benda Bebas *Mobile Cafe Hybrid*... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.4 Rancangan *Mobile Cafe Hybrid*.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.5 Perancangan *Box Microcontroller.* ..**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.6 Perancangan *Bracket* LCD Display, Potensiometer, dan *Switch Button*. .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.7 *Holder LCD Display* dan Potensio...**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.8 Perancangan *Housing* Hall Effect Sensor ..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.9 *Wiring Schematic Mobile Cafe Hybrid* ..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.10 Design Perancangan Antarmuka ....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.11 Diagram alir sistem .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar III.12 Diagram Block Sistem *Mobile Cafe Hybrid* **Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.1 Hasil Implementasi *Controller Box* dan Baterai ...**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.2 Hasil Implementasi Pemasangan *Bracket LCD Display*, potensiometer, dan *Switch*.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.3 Implementasi Pemasangan Tensioner..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.4 *Bottom Bracket Torque Sensor* .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.5 Hasil Implementasi Pemasangan *Brushed DC Motor*..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.6 Grafik Torsi Pengendara Terhadap Beban..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.7 Rute Pengujian Torsi Dengan Kemiringan 8 Derajat ..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.8 Grafik Perbandingan Torsi Pengendara Dengan Gigi Berbeda di Kemiringan 8 Derajat.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV. 9 Grafik Perbandingan Torsi Pengendara Hasil Perhitungan Dengan Hasil Pengujian .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.10 Grafik Deviasi Torsi Perhitungan Dengan Torsi Pengujian Di Kemiringan 8 Derajat. .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV. 11 Rute Pengujian Torsi Dengan Kemiringan 4 Derajat ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar IV.12 Grafik Perbandingan Torsi Pengendara Dengan Gigi Berbeda .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.13 Grafik Perbandingan Torsi Perhitungan Dengan Torsi Pengujian Di Kemiringan 4 Derajat.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.14 Grafik Deviasi Torsi Perhitungan Dengan Torsi Pengujian Di Kemiringan 4 Derajat.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.15 *Interface* respon sistem kendali PI dan indikator input-output pada Visual Basic.Net.....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.16 Hasil perekaman data yang disimpan pada Ms. Excel..... **Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.17 Rute Pengujian Kendali PI Dengan Kemiringan Tanjakan 4 Derajat .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.18 Grafik Pengujian Kendali PI dengan K_p = 1.50..**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.19 Grafik Pengujian Kendali PI dengan K_p = 1.65..**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.20 Grafik Pengujian Kendali PI dengan K_p = 2.25..**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.21 Grafik Pengujian Kendali PI dengan K_p = 2.25 dan K_i = 0.15 .....**Error! Bookmark not defined.**
Gambar IV.22 Grafik Pengujian Kendali PI dengan K_p = 1.75 dan K_i = 0.42 .....**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I. *Schematic Diagram Mobile Cafe Hybrid*..... **Error! Bookmark not defined.**
Lampiran II. Program Arduino *Mobile Cafe Hybrid*..... **Error! Bookmark not defined.**
Lampiran III. Program Visual Basic Net Interface *Mobile Cafe Hybrid* ... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

A = Frontal Area [m^2]

N = Gaya Normal [Newton]

F_{angin} = Gaya Hambat Angin[Newton]

$F_{tanjakan}$ = Gaya Pada Tanjakan [Newton]

F_{gesek} = Gaya Gesek [Newton]

C_d = Koefisien Hambatan

P_{angin} = Densitas Udara [kg/m^3]

v = Kecepatan [km/h]

M = Massa Total [kg]

g = Percepatan Gravitasi [m/s^2]

C_r = Koefisien Hambatan Guling

T = Torsi [Nm]

P = Daya [W]

η = Efisiensi Transmisi

G_r = Rasio Gigi

BAB I
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan yang pesat dari transportasi modern, menjadi sebuah tolak ukur dari kemajuan sistem transportasi di suatu negara. Perkembangan transportasi yang pesat di Indonesia dapat dilihat dari adanya inovasi-inovasi baru pada transportasi [1]. Salah satu inovasi transportasi yang tengah marak adalah penggunaan *Mobile Cafe Hybrid* dengan sistem *pedelec* (*pedal electric cycle*) sebagai solusi bisnis kuliner yang fleksibel dan ramah lingkungan. *Pedelec* mampu mengurangi emisi karbon serta meningkatkan efisiensi operasional *mobile cafe* dibandingkan model konvensional murni bertenaga fosil atau listrik [2]. Namun, performa *pedelec* saat ini masih belum optimal dalam mengatasi perubahan beban akibat topografi kota yang berbukit dan variasi muatan penumpang serta barang bawaan [3].

Salah satu tantangan utama pada sepeda listrik (*pedelec*) adalah kekurangan sistem kendali cerdas yang dapat secara dinamis mengatur bantuan motor sesuai dengan distribusi beban torsi pengendara[4]. Beban torsi cenderung berubah drastis saat melintasi jalan menanjak atau menuruni turunan, serta dengan variasi muatan penumpang dan barang. Akibatnya, efisiensi dan kenyamanan berkendara pedelec menurun. Diperlukan sistem kontrol adaptif agar *pedelec* tetap efisien dan stabil meski kemiringan lintasan berubah-ubah. Sensor torsi dapat dimanfaatkan untuk mengukur besar torsi secara *real-time* sebagai umpan balik kontrol Dengan algoritma kontrol cerdas berbasis sensor torsi, diharapkan performa *pedelec* lebih optimal dalam mengatasi medan menanjak maupun dengan muatan berbeda.

Beberapa penelitian terdahulu telah mencoba menerapkan pengembangan kontrol torsi pada sepeda listrik yang menggabungkan torsi listrik dari motor dan torsi bantuan dari pengendara [5], kontrol fuzzy logic pada pedelec[6]. Namun, implementasinya masih belum secara khusus menangani tantangan variasi beban saat menghadapi kondisi jalan menanjak.

Oleh karena itu, penelitian ini akan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol PI pada *pedelec* dengan memanfaatkan data sensor torsi. Targetnya menghasilkan kontrol pedelec yang lebih responsif dan efisien saat digunakan pada jalanan kota yang berbukit serta dengan variasi beban dinamis. Performa sistem akan divalidasi pada berbagai skenario untuk memastikan keoptimalan dan kestabilan pedelec. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi pada pengembangan teknologi *pedelec* yang lebih adaptif dan optimal untuk mendukung implementasi *Mobile Cafe Hybrid* di Indonesia.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian dari Kontrol *Pedelec* Pada *Mobile Cafe Hybrid* Dengan Efisiensi Beban Torsi Berbasis Sensor Torsi, dapat dirumuskan beberapa masalah berikut ini:

- Bagaimana responsivitas dari *Mobile Cafe Hybrid* terhadap medan yang menanjak?
- Apakah penggunaan sensor torsi sebagai dasar pengukuran beban torsi dapat mengoptimalkan kontrol *pedelec* pada *Mobile Cafe Hybrid*?

I.3 Batasan Masalah

Pengerjaan tugas akhir ini difokuskan pada kontrol *pedelec* terhadap efisiensi beban torsi pada *Mobile Cafe Hybrid* sehingga dibentuk beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- Pengerjaan tugas akhir ini dibatasi pada penggunaan *pedelec* atau *pedal electric cycle*.
- Pengujian lapangan dengan kemiringan 4 dan 8 derajat.
- Torsi pengendara maksimal yang dapat diukur sebesar 588.4Nm
- *Tuning* konstanta kendali PI dengan metode eksperimental.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah untuk melakukan pengembangan terkait kontrol *pedelec* dengan efisiensi beban torsi menggunakan sensor torsi untuk mengukur beban torsi sehingga beban torsi dapat menjadi parameter yang

digunakan untuk meningkatkan responsivitas pada Mobile Cafe Hybrid terhadap medan yang menanjak.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika proposal Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi hasil implementasi tugas akhir serta analisis berdasarkan perencanaan yang sudah dibahas pada BAB III.

BAB IV PENUTUP, berisi kesimpulan dari hasil implementasi serta saran yang diberikan untuk penelitian lebih lanjut.