



Buku Tugas Akhir

Rancang Bangun Sistem Throttle Brushless DC Motor Pada Kursi Roda Elektrik

Ferdinand Natanael

2016630032

Pembimbing:

Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng.

Faisal Wahab, S.Pd., M.T.

Diajukan untuk memenuhi salah satu
syarat mendapatkan gelar Sarjana
Teknik

Agustus 2022



Buku Tugas Akhir

Brushless DC Motor Throttle System Design For Electric Wheelchair

Ferdinand Natanael

2016630032

Pembimbing:

Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng.

Faisal Wahab, S.Pd., M.T.

Diajukan untuk memenuhi salah satu
syarat mendapatkan gelar Sarjana
Teknik

Agustus 2022

Lembar Persetujuan Selesai



Tugas Akhir berjudul:

Rancang Bangun Sistem Throttle Brushless DC Motor Pada Kursi Roda Elektrik

oleh:

Ferdinand Natanael

NPM : 2016630032

ini telah diujikan pada Sidang Tugas Akhir 2 (IME 184500) di Program Studi Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan serta dinyatakan SELESAI.

TANDA PERSETUJUAN SELESAI,

Bandung, 19 Agustus 2022

Ketua Program Studi Sarjana

Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika



Tua Tambora

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng.

Faisal Wahab, S.Pd., M.T.

PERNYATAAN TIDAK MENCONTEK ATAU MELAKUKAN TINDAKAN PLAGIAT

Saya yang bertandatangan dibawah ini,

FERDINAND NATANAEL

Dengan ini menyatakan bahwa Buku Tugas Akhir dengan judul:

"RANCANG BANGUN SISTEM THROTTLE BRUSHLESS DC MOTOR PADA
KURSI RODA ELEKTRIK"

adalah hasil pekerjaan Saya. Seluruh ide, pendapat atau materi dari sumber lain
telah dikutip dengan cara penulisan referensi yang sesuai.

Pernyataan ini Saya buat dengan sebenar-benarnya dan jika pernyataan ini tidak
sesuai dengan kenyataan maka Saya bersedia menanggung sanksi yang akan
dikenakan kepada Saya.

Bandung, **19 Agustus 2022**



Ferdinand Natanael

NPM: 2016630032

Abstrak

Kursi roda elektrik adalah alat bantu mobilitas yang didesain untuk penyandang disabilitas khususnya memiliki keterbatasan fisik. Kursi roda elektrik memiliki komponen dasar berupa rangka mekanik (*chasis*) dengan empat buah roda yaitu dua buah roda penggerak yang terhubung dengan motor listrik dan dua buah roda kastor yang terpasang pada kanan dan kiri kursi, baterai sebagai sumber daya, pengontrol sebagai antarmuka antara manusia dan mesin (umumnya berupa *joystick*), dan tempat duduk.

Pada penelitian ini, kursi roda elektrik akan dirancang dengan basis kursi roda konvensional merek Sella KY-809. Kursi roda elektrik yang dirancang akan menggunakan *brushless DC motor* sebagai penggerak roda, dan memiliki fitur *obstacle detection* untuk memberikan keamanan bagi pengguna. Penelitian ini bertujuan merancang sistem throttle dan tachometer berbasis hall sensor pada kursi roda elektrik yang akan digerakkan oleh pengguna melalui gerakan *joystick*.

Kursi roda elektrik yang dirancang akan memiliki tiga buah gerak dasar yaitu gerak maju, gerak belok kanan, dan gerak belok kiri. Tachometer yang dirancang akan dikalibrasi dengan referensi tachometer Sanwa SE300. Pada penelitian ini disimpulkan tachometer berbasis sensor hall yang telah dirancang memiliki eror sebesar 0,32% dibandingkan dengan hasil bacaan tachometer Sanwa SE300. Maksimum rpm yang dapat dihasilkan oleh BLDCM adalah 450 rpm.

Hasil laporan ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi bidang sosial khususnya penyandang disabilitas dan bidang keilmuan Teknik Elektro terutama bagi Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan.

Kata kunci: mobilitas, alat bantu, kursi roda elektrik, BLDC, BLDCM, tachometer, throttle

otomatis, mobilitas, throttle, rpm, sensor hall, disabilitas

Abstract

Electric wheelchairs are mobility aids designed for people with disabilities, especially those with physical limitations. Electric wheelchairs have basic components in the form of a mechanical frame chassis with four wheels, namely two drive wheels connected to an electric motor and two caster wheels mounted on the right and left of the seat, a battery as a power source, a controller as a power source. human-machine interface (usually a joystick), and a seat.

In this research, the electric wheelchair will be designed on the basis of a conventional wheelchair brand Sella KY-809. The electric wheelchair designed will use brushless DC motor as the wheel drive, and has the obstacle detection feature to provide safety for the user. This study aims to design a hall sensor-based throttle and tachometer system in an electric wheelchair that will be moved by the user through the joystick movement.

The electric wheelchair designed will have three basic movements, namely forward motion, right turning motion, and left turning motion. The designed tachometer will be calibrated with a reference to the Sanwa SE300 tachometer. In this study, it was concluded that the designed Hall sensor-based tachometer has an error of 0.32% compared to the results of the Sanwa SE300 tachometer reading. The maximum rpm that BLDCM can produce is 450 rpm.

The results of this report are expected to provide benefits for the social sector, especially people with disabilities and the scientific field of Electrical Engineering, especially for Electrical Engineering, Mechatronics, Parahyangan Catholic University.

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Laporan Tugas Akhir yang berjudul "Rancang Bangun Sistem Throttle Brushless DC Motor Pada Kursi Roda Elektrik" disusun sebagai syarat penyelesaian studi sarjana pada Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.

Dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini penulis mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan secara materiil dan moril.
2. Dr. Ir. Bagus Arthaya, M.Eng. dan Faisal Wahab, S.Pd., M.T. selaku dosen pengajar dan dosen pembimbing Tugas Akhir di Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.
3. Para Dosen pengajar di Program Studi Sarjana Teknik Elektro (Konsentrasi Mekatronika) Universitas Katolik Parahyangan.
4. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika yang selalu memberikan semangat, dorongan, dan diskusi yang bermanfaat.
5. Teman-teman persekutuan di Gereja Mawar Sharon Bandung yang turut setia memberikan dukungan doa dan moril.

Semoga kiranya Tuhan Yesus Kristus membalas segala kebaikan semua pihak yang telah berkontribusi dan membantu agar laporan ini dapat selesai dengan baik.

Akhir kata, mohon maaf jika terdapat kesalahan dalam laporan tugas akhir ini. Besar harapan saya, laporan tugas akhir ini dapat diterima dan berguna bagi perkembangan Program Studi Sarjana Teknik Elektro Konsentrasi Mekatronika Universitas Katolik Parahyangan dan khususnya untuk perkembangan ilmu dan teknologi.

Daftar Isi

Abstrak	ix
Abstract	xi
Kata Pengantar	xiii
Daftar Isi	xv
Daftar Tabel	xix
Daftar Gambar	xxi
Daftar Simbol	xxiii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.	2
1.3 Batasan Masalah dan Asumsi	2
1.4 Tujuan Tugas Akhir	3
1.5 Manfaat Tugas Akhir	3
1.6 Metodologi Tugas Akhir	3
1.7 Sistematika Penulisan	4
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Brushless DC Motor</i> (BLDCM)	5
2.1.1 Konstruksi dan Operasi <i>Brushless DC Motor</i> (BLDCM) . . .	6
2.2 <i>Throttle</i>	7
2.3 Sensor Hall	7
2.4 Fungsi Map Arduino Uno	8
2.5 <i>Pulse width modulation</i> (PWM)	8

2.6	<i>Pull-up Resistor</i>	9
3	PERANCANGAN SISTEM	11
3.1	Perancangan Sistem Mekanis	11
3.1.1	Adaptor BLDCM	14
3.2	Sistem Elektronika	15
3.2.1	Joystick	16
3.2.2	Sensor Ultrasonik	18
3.2.3	Mikrokontroler Arduino Uno	19
3.2.4	<i>Driver Brushless DC Motor (BLDCM)</i>	21
3.3	Tachometer Sanwa SE300	21
3.4	Diagram Alir Rancangan Gerak Kursi Roda Elektrik	22
3.5	Rangkaian Tapis Konversi PWM menjadi Analog Murni	22
3.6	Rencana Pengujian Sistem	23
4	ANALISA SISTEM	25
4.1	Sistem Throttle	25
4.1.1	Pengukuran Tegangan Input Throttle	25
4.1.2	Pengaturan PWM Sebagai <i>Input</i> Throttle	26
4.1.3	Pemetaan Joystick	28
4.2	Sensor Hall	30
4.2.1	Pendeteksi efek Hall	31
4.2.2	Penghitung Pulsa Sensor Hall	31
4.2.3	Tachometer berbasis sensor hall	32
4.3	Rangkaian PCB Sistem Elektronika	34
4.4	Realisasi Adaptor BLDC	35
4.5	<i>Obstacle Detection</i>	37
5	KESIMPULAN DAN SARAN	39
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	40
	Daftar Pustaka	41
	Lampiran A Desain Adaptor untuk BLDC	44
A.1	Desain Adaptor untuk BLDC	45
	Lampiran B Desain Sistem Elektrik Throttle & Tachometer BLDC	48
B.1	Rangkaian Elektrik Throttle & Tachometer BLDC	49
B.2	Desain PCB Rangkaian Elektrik	50
	Lampiran C Program Throttle BLDC	52
C.1	Inisialisasi Variabel	52

C.2 Joystick Smoothing	53
C.3 Setup	54
C.4 Loop	55
C.5 Function	57
Lampiran D Program Tachometer BLDC	59
D.1 Inisialisasi Variabel	59
D.2 Setup	60
D.3 Loop	60
D.4 Function	62

Daftar Tabel

2.1	Perbandingan motor DC dengan BLDC [1]	5
3.1	Spesifikasi kursi roda Sella KY-809	12
3.2	Spesifikasi <i>joystick</i> KY-023	16
3.3	Hubungan gerakan joystick dengan gerak kursi roda	17
3.4	Spesifikasi sensor ultrasonik HC-SR04	18
3.5	Spesifikasi mikrokontroler Arduino Uno	19
3.6	Spesifikasi driver BLDCM	21
4.1	Pola nyala LED berdasarkan sensor Hall	31
4.2	Spesifikasi mikrokontroler Arduino Uno	37

Daftar Gambar

2.1	Cara menghasilkan putaran rotor BLDCM	6
2.2	Sensor Hall	7
2.3	PWM <i>Duty-cycle</i>	8
2.4	Contoh Pull-up Resistor	9
3.1	Kursi roda Sella KY-809	11
3.2	Pemasangan BLDCM pada kursi roda elektrik	12
3.3	Diagram benda bebas (DBB) BLDC pada Kursi Roda Elektrik	13
3.4	Rancangan Adapter Roda BLDCM	15
3.5	Contoh Perkiraan Pemasangan Adaptor	15
3.6	Diagram blok hubungan komponen	16
3.7	Data analog <i>joystick</i> KY-023	17
3.8	Sensor ultrasonik HC-SR04	18
3.9	Mikrokontroler Arduino Uno	19
3.10	Tachometer Sanwa SE300	21
3.11	Perancangan Diagram Alir Gerak Dasar Kursi Roda Elektrik	22
3.12	Perancangan Tapis untuk PWM	23
3.13	Simulasi Rangkaian Tapis dengan <i>duty-cycle 50% (Kiri)</i> , dan <i>duty-cycle 100% (Kanan)</i>	23
4.2	Hubungan <i>output</i> tapis terhadap perubahan <i>duty-cycle</i> PWM, dengan sumber tegangan 5V	26
4.3	Hubungan <i>output</i> tapis terhadap perubahan <i>duty-cycle</i> PWM, dengan sumber tegangan 9V	27
4.4	Pengaturan Maksimum PWM dengan Dua Buah <i>Push-button</i>	27
4.5	Peta <i>Joystick</i> Gerak Maju	28
4.6	Peta <i>Joystick</i> Gerak Mundur	29
4.7	Peta <i>Joystick</i> Gerak Belok Kanan	29
4.8	Peta <i>Joystick</i> Gerak Belok Kiri	30
4.9	Rangkaian Pendeteksi Hall	31
4.10	Perhitungan Pulsa Sensor Hall	32
4.11	Grafik Pengukuran RPM dengan Sensor Hall Sebelum Kalibrasi	33
4.12	Grafik Pengukuran RPM dengan Sensor Hall Setelah Kalibrasi	33

4.13	Skematik Sistem Elektronika Kursi Roda Elektrik	34
4.14	Jalur PCB Rangkaian Sistem Throttle dan Sensor Hall	35
4.15	Proses Pembuatan Adaptor BLDCM	35
4.16	Pemasangan Adaptor pada Kursi Roda	36
4.17	BLDC Terpasang dengan Baik pada Kursi Roda	36
4.18	Grafik pengukuran Ultrasonik setelah Kalibrasi	38
4.19	Grafik rpm Ketika Sensor Ultrasonik Mendeteksi Benda Pada Jarak 400mm	38
A.1	Desain Adaptor untuk BLDC	45
B.1	Rangkaian Elektrik Throttle & Tachometer BLDC	49
B.2	Desain PCB Rangkaian Elektrik	50

Daftar Simbol dan Variabel

V	kecepatan linier
$V_{R/L}$	kecepatan linier roda kanan/kiri
F	gaya
μ_s	gaya gesek
r_w	jari-jari roda
τ	torka
ω	kecepatan angular
J	inersia
eta	RPM

Bab 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Penyandang disabilitas (*disability*) adalah individu yang mengalami keterbatasan atau kehilangan kesempatan untuk berpartisipasi dalam kehidupan masyarakat sehari-hari akibat gangguan fisik (kecacatan), psikis atau adanya halangan sosial. Berdasarkan data Survei Sosial Ekonomi Nasional (Susenas) yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2012, penyandang disabilitas mencapai 2,45% dari total populasi Indonesia dimana 10,26% dari total penyandang disabilitas mengalami kesulitan berjalan atau menaiki tangga [2]. Kesulitan berjalan dapat diatasi dengan menggunakan alat bantu mobilitas seperti tongkat berjalan atau kursi roda [3]. Penggunaan kursi roda dapat membantu individu bersosial, mendapatkan edukasi dan mengembangkan kemandirian. Kursi roda elektrik (*power wheelchair*) dibutuhkan untuk penyandang kesulitan berjalan yang kekurangan kekuatan atau koordinasi untuk mengoperasikan kursi roda manual namun memiliki kognitif yang baik untuk melakukan navigasi, kondisi ini ditemukan pada para penderita *cerebral palsy* [4].

Saat ini terjadi peningkatan kebutuhan kursi roda elektrik pada tempat-tempat rehabilitasi [5]. Kursi roda elektrik memiliki komponen dasar berupa rangka mekanik (*chassis*) dengan empat buah roda yaitu dua buah roda penggerak yang terhubung dengan motor listrik dan dua buah roda kastor yang terpasang pada kanan dan kiri kursi, baterai sebagai sumber daya, pengontrol sebagai antarmuka antara manusia dan mesin (umumnya berupa *joystick*), dan tempat duduk [6]. Umumnya motor penggerak berupa motor DC magnet tetap, terpasang pada bagian rangka kursi dan terhubung dengan roda melalui roda gigi cacing (*worm gear*). Sistem gerak ini mengorbankan akselerasi, dan efisiensi akibat keterbatasan perangkat pengurang kecepatan. Untuk mengatasi masalah tersebut, dapat digunakan sistem penggerak

menggunakan motor DC tanpa sikat atau *brushless DC motor*, *BLDCM*, namun penggunaan BLDCM membutuhkan sistem kontrol yang lebih kompleks.

Masalah yang umum terjadi pada pengguna kursi roda elektrik adalah menabrak pintu atau tembok, terjatuh dari kursi, tertabrak, dan menabrak barang [3]. Untuk meningkatkan mobilitas dan keamanan dari pengguna kursi roda listrik yang memiliki kekurangan dalam indrawi dan motorik, maka sistem pendeteksi rintangan robot beroda diadaptasi pada kursi roda elektrik [7].

1.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah.

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan, identifikasi masalah terdiri dari pembuatan sistem throttle, tachometer berbasis sensor hall, dan sistem *obstacle detection*. Perumusan masalah dalam penelitian ini yang akan dibahas dalam Laporan Tugas Akhir ini terdiri dari:

1. Bagaimana cara merancang throttle pada BLDCM menggunakan *interface joystick* ?
2. Bagaimana merancang tachometer berbasis sensor hall untuk pembacaan rpm pada BLDCM ?
3. Berapa rpm maksimum yang dapat dilakukan oleh BLDCM ?
4. Bagaimana gerak dasar yang mampu dijalankan oleh BLDCM pada kursi roda elektrik ?

1.3 Batasan Masalah dan Asumsi

Dalam membuat sistem gerak dan pendeteksi rintangan pada kursi roda elektrik, ruang lingkup tugas akhir ini mencakup kajian tentang:

1. Perancangan Sistem Throttle pada BLDCM.
2. Perancangan tachometer dengan memanfaatkan sensor hall pada BLDCM.
3. Implementasi sistem throttle dan tachometer pada kursi roda elektrik.
4. Kursi roda elektrik melakukan gerakan dasar berupa gerak maju, belok kanan, belok kiri.
5. Kursi roda elektrik bergerak pada bidang rata dan tidak melakukan pengujian menanjak dan menurun.

Pada tugas akhir ini, diasumsikan bahwa: kursi roda elektrik memiliki maksimum kecepatan linier maksimum $1.4m/s$ yaitu sama dengan kecepatan rata-rata berjalan manusia normal sebagai perhitungan pemilihan spesifikasi BLDCM yang akan digunakan.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Berdasarkan rumusan masalah, tugas akhir ini bertujuan untuk:

1. Mampu merancang sistem *throttle* untuk BLDCM sebagai roda penggerak kursi roda elektrik dengan *interface joystick*
2. Mampu merancang tachometer dengan memanfaatkan sensor hall sebagai alat pengukuran rpm BLDCM.
3. Mampu melakukan pembacaan rpm maksimum yang dapat dilakukan oleh BLDCM.
4. Mampu mengimplementasikan gerakan maju, belok kanan, belok kiri pada kursi roda elektrik.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk memberikan kemandirian bagi pengguna kursi roda konvensional dan keamanan dengan merancang sistem throttle BLDCM, dan tachometer berbasis sensor hall sebagai proses konversi kursi roda konvensional menjadi kursi roda elektrik.

1.6 Metodologi Tugas Akhir

Langkah awal dalam penelitian ini adalah studi literatur terkait kursi roda elektrik. Perancangan sistem gerak dan *obstacle avoidance* didasari pada studi jurnal dan buku terkait penurunan model BLDCM. Langkah selanjutnya adalah melakukan perancangan sistem throttle dengan penggerak *joystick*. Kemudian dilakukan perangkaian sensor, aktuator dan mikrokontroler yang digunakan pada kursi roda elektrik.

Sensor ultrasonik digunakan untuk pendeteksi rintangan. Aktuator yang digunakan adalah *brushless DC motor*. Mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno. Mikrokontroler akan di program dengan bahasa C untuk menghubungkan masukan sensor dengan keluaran aktuator. Langkah selanjutnya adalah melakukan pemasangan komponen elektrik pada kursi roda manual, yaitu memasang motor pada roda kursi roda, dan menambahkan *joystick* sebagai antarmuka manusia dan mesin serta sensor ultrasonik pada sisi depan kursi roda. Langkah akhir dalam perancangan ini adalah evaluasi gerakan dari kursi roda elektrik dan hasil pembacaan rpm dari BLDCM. Kursi roda elektrik harus mampu bergerak akibat pergerakan *joystick* dan berhenti ketika mendeteksi rintangan. Jika seluruh fitur kursi roda elektrik telah bekerja dengan sempurna, maka siap digunakan sebagai purwarupa alat bantu mobilitas penderita kesulitan berjalan.

1.7 Sistematika Penulisan

Laporan ini dibagi menjadi 5 bab, yakni sebagai berikut:

1. **Bab 1 Pendahuluan.** Dalam bab ini dijelaskan mengenai latar belakang masalah, identifikasi dan perumusan masalah, batasan masalah dan asumsi, tujuan Tugas Akhir, manfaat Tugas Akhir, metodologi Tugas Akhir serta sistematika penulisan .
2. **Bab 2 Tinjauan Pustaka.** Bab ini berisi teori-teori yang digunakan dalam pemecahan masalah, pengolahan data, dan analisis. Teori yang digunakan antara lain: Spesifikasi komponen yang digunakan, *throttle*, *pull-up* resistor, *pulse-width-modulation*, sensor hall.
3. **Bab 3 Perancangan Sistem.** Bab Perancangan Sistem berisikan proses perancangan dan implementasi sistem dan penjelasan masing-masing tahapan yang dilakukan dalam Tugas Akhir. Bab ini meliputi spesifikasi mekanis, spesifikasi elektrik, perancangan sistem throttle motor BLDCM, dan perancangan tachometer berbasis sensor hall.
4. **Bab 4 Analisis Sistem.** Bab Analisis Sistem berisikan data-data hasil realisasi perancangan dan implementasi sistem pada kursi roda elektrik. Bab ini meliputi analisis pergerakan *joystick*, kalibrasi sensor, implementasi sistem throttle, realisasi rangkaian mekanis, realisasi rangkaian elektrik.
5. **Bab 5 Kesimpulan dan Saran.** Bab Kesimpulan dan Saran berisikan kesimpulan hasil analisa pada Bab 4 berdasarkan perumusan masalah dan tujuan penelitian pada Bab 1, dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.