RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN PEMANTAUAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Oleh:

ALQADAR PARMALO

NIM. D1021221047

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2026

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN PEMANTAUAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Jurusan Teknik Elektro

Skripsi Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Dalam Bidang Teknik Elektro

Oleh:

ALQADAR PARMALO

NIM. D1021221047



FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

PONTIANAK

2026

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Alqadar Parmalo

NIM : D1021221047

Menyatakan bahwa dalam skripsi yang berjudul **"RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN PEMANTAUAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI"** ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi mana pun. Sepanjang pengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

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

Pontianak, 16 September 2026

Alqadar Parmalo
NIM D1021221047

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

SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping pada penulisan skripsi yang berjudul **"RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN PEMANTAUAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI"** yang ditulis oleh mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Nama : Alqadar Parmalo

NIM : D1021221047

Jurusan : Teknik

Prodi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Kendali

Demikian ini menerangkan bahwa mahasiswa tersebut telah menyelesaikan penulisan skripsinya.

Pontianak, 16 September 2026

Pembimbing Utama	Pembimbing Pendamping
Prof. Dr.-Ing. Seno D. Panjaitan, S.T., M.T., IPM	Hendro Priyatman, S.T., M.T.
NIP. 197507162000121001	NIP. 196806011995031003

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

HALAMAN PENGESAHAN

RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN PEMANTAUAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI

Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Oleh:

ALQADAR PARMALO
NIM. D1021221047

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 16 September 2026 dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana.

Susunan Penguji Skripsi

Dosen Pembing Utama	: Prof. Dr.-Ing. Seno D. Panjaitan, S.T., M.T., IPM NIP. 197507162000121001
Dosen Pembimbing Pendamping	: Hendro Priyatman, S.T., M.T. NIP. 196806011995031003
Dosen Penguji Utama	: Hilda, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng. NIP. 196907091995012001
Dosen Penguji Pendamping	: Ir. Muhammad Saleh, S.T., M.T., IPM NIP. 196706161994121001

Pontianak, 16 September 2026

Dekan,

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

Pembimbing Utama,

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

HALAMAN PERSEMBAHAN

Saya ucapkan syukur sebesar-besarnya kepada Allah SWT., Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan kasihnya yang tak terbatas, serta shalawat kepada panutan dan junjungan kita baginda Nabi Muhammad SAW. yang membawa kita dari jalan yang gelap menuju jalan yang terang benderang akan ilmu pengetahuan.

Ucapan terima kasih terkhusus kepada orang tua saya, Bapak Pardi dan Ibu Tasnim, untuk kasih sayang yang tak ternilai harganya. Kepada saudara-saudara saya, Robin, Yaumilhaz, Ainul, Zuriat, Habiba, dan Hasauda, atas cintanya di sepanjang perjalanan hidup saya hingga saat ini.

Terima kasih kepada Tim Mobil Listrik, dan HME FT-UNTAN yang menjadi keluarga dan menemani perjalanan saya di bangku perkuliahan. Tak lupa juga, kepada rekan-rekan kerja saya khususnya Bang Denny, Bang Hapis, dan Bang Saiful, yang selalu membuat saya ceria dalam bekerja.

Terima kasih kepada teman-teman Teknik Elektro, dan tentu kepada rekan rekan Asisten Lab Kendali, Bang Revaldi, Bang Amman, Bang Dovi, Bang Dika, Kak Juni, Putri, Aprizal, Wahyu, Tegu, dan Dimas, serta kepada Pak Supriono yang telah banyak meluangkan waktu dan materinya.

Cinta dari kalian dan untuk kalian, semoga kita selalu diberikan rasa kekeluargaan, kemudahan, ilmu, dan kebahagian serta memiliki masa depan yang terbaik. Aamiin.

"Jika kau cukup berani mengubah dirimu sendiri,
maka kau bisa mengubah dunia." - Wang Wei

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas nikmat dan hidayah-Nya yang selalu dilimpahkan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Tugas Akhir dengan judul **"RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BLDC BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IOT) DENGAN PEMANTAUAN *STATE OF HEALTH* (SOH) BATERAI"** dengan baik guna memenuhi satu di antara persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak.

Dalam kesempatan ini pula penulis menyampaikan penghargaan dan rasa terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung serta membantu penulis. Selesainya penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sehingga penulis pada kesempatan ini menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, saudara, orang-orang yang dicintai, serta seluruh keluarga penulis yang telah sabar mendidik, mendoakan, dan memberikan kepercayaan dan dukungan tiada henti kepada penulis.
2. Bapak Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2. Bapak Prof. Dr- Ing. Seno D. Panjaitan, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sekaligus Pembimbing Utama yang senantiasa memberi bimbingan dari awal hingga akhir dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Jannus Marpaung, S.T., M.T., IPM. selaku Koordinator Program Studi Sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
4. Bapak Syaifurrahman, S.T, M.T., IPM. Selaku dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak Hendro Priyatman, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Pendamping sekaligus Kepala Laboratorium Teknik Kendali yang telah memberikan

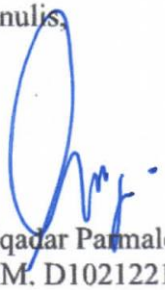
bimbingan dan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Ibu Hilda, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng., selaku Dosen Penguji Utama.
7. Bapak Ir. Muhammad Saleh, S.T., M.T., IPM., selaku Dosen Penguji Pendamping.
8. Bapak Supriyono S.T., M.T. selaku Pranata Laboratorium Pendidikan Teknik Kendali Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak yang telah memberikan tempat untuk belajar dan bimbingan serta dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Bapak dan Ibu dosen Universitas Tanjungpura khususnya pada Program Studi Teknik Elektro atas bimbingan serta ilmu yang diberikan selama ini.
10. Rekan-rekan Asisten Laboratorium Teknik Kendali, UNTAN-ECT, dan HME FT UNTAN yang selama ini banyak berdiskusi memberikan pandangan dan masukan kepada penulis sepanjang perkuliahan.
11. Rekan-rekan mahasiswa Fakultas Teknik angkatan 2022, khususnya Program Studi Teknik Elektro, atas kebersamaannya bersama penulis selama menjalani perkuliahan.
12. Kepada semua pihak yang telah banyak membantu baik moral dan materi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat sebagai bahan literatur untuk menambah ilmu pengetahuan dan masukan bagi semua pihak khususnya pada kelompok keahlian teknik otomasi dan kendali.

Pontianak, 16 September 2026

Penulis,



Alqadar Parmalo
NIM. D1021221047

ABSTRAK

Perkembangan teknologi otomasi dan kendaraan listrik menuntut penggunaan motor penggerak yang efisien serta sistem dengan pemantauan sumber energi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem kendali kecepatan motor *Brushless Direct Current* (BLDC) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi dengan pemantauan *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH) baterai LiFePO4 secara *real-time*. Sistem kendali kecepatan menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan algoritma PID diskrit. Berdasarkan pemodelan *System Identification* menggunakan MATLAB, diperoleh model fungsi alih plant motor BLDC orde tiga dengan tingkat kecocokan (*fitness*) sebesar 95,93%. Penalaan parameter kontroler PID dilakukan menggunakan metode *Ziegler-Nichols closed-loop*, yang menghasilkan nilai penguatan $K_p = 0{,}01380$, $K_i = 0{,}00219$, dan $K_d = 0{,}02178$. Pengujian respons dinamis menunjukkan waktu naik (*rise time*) rata-rata ±5,4 detik, waktu puncak (*peak time*) 9,6 detik, dan *maximum overshoot* sebesar 20,6%, serta terbukti kokoh (*robust*) dalam mempertahankan kestabilan kecepatan terhadap gangguan pembebanan bertahap hingga total 28 kg. Pemantauan kondisi baterai mencakup estimasi SoC menggunakan metode *Coulomb Counting* dan estimasi SoH berdasarkan rasio resistansi internal baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa laju penurunan SoC berbanding lurus dengan peningkatan beban dan kecepatan motor. Sementara itu, estimasi SoH berbasis pengukuran resistansi internal dengan *battery internal tester* menunjukkan nilai kesehatan baterai yang stabil pada kisaran 93,75%. Integrasi IoT menggunakan *cloud database* Supabase dan *web dashboard* berbasis HTML berhasil memfasilitasi pemantauan parameter kelistrikan, SoC, SoH, serta pengendalian *setpoint* kecepatan secara jarak jauh dengan rata-rata waktu komunikasi data yang responsif.

Kata Kunci: Motor BLDC, Kendali PID, *Internet of Things* (IoT), *State of Charge* (SoC), *State of Health* (SoH), Baterai LiFePO4, Supabase.

ABSTRACT

The development of automation technology and electric vehicles demands the use of efficient drive motors and reliable energy source monitoring systems. This study aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based speed control system for a Brushless Direct Current (BLDC) motor equipped with real-time State of Charge (SoC) and State of Health (SoH) monitoring for a LiFePO4 battery. The speed control system utilizes an ESP32 microcontroller with a discrete PID algorithm. Based on System Identification modeling using MATLAB, a third-order BLDC motor plant transfer function model was obtained with a fit percentage of 95.93%. The tuning of the PID controller parameters was performed using the Ziegler-Nichols closed-loop method, yielding gain values of $K_p = 0.01380$, $K_i = 0.00219$, *and* $K_d = 0.02178$. *Dynamic response testing showed an average rise time of ±5.4 seconds, a peak time of 9.6 seconds, and a maximum overshoot of 20.6%, while demonstrating robustness in maintaining speed stability against progressive loading disturbances up to a total of 28 kg. Battery condition monitoring includes SoC estimation using the Coulomb Counting method and SoH estimation based on the battery internal resistance ratio. The test results indicate that the rate of SoC depletion is directly proportional to the increase in load and motor speed. Meanwhile, SoH estimation based on internal resistance measurements using a battery internal tester showed a stable battery health value around 93.75%. IoT integration using the Supabase cloud database and an HTML-based web dashboard successfully facilitated remote monitoring of electrical parameters, SoC, SoH, and speed setpoint control with responsive average data communication times.*

Keywords: *BLDC Motor, PID Control, Internet of Things (IoT), State of Charge (SoC), State of Health (SoH), LiFePO4 Battery, Supabase.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ..... **ii**
SURAT KETERANGAN SELESAI PENULISAN SKRIPSI ..... **iii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iv**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **v**
PRAKATA ..... **vi**
ABSTRAK ..... **viii**
ABSTRACT ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
DAFTAR KODE PROGRAM ..... **xv**
DAFTAR TABEL ..... **xvi**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xvii**
GLOSARIUM ..... **xviii**
BAB I PENDAHULUAN **I-1**
1.1 Latar Belakang I-1
1.2 Perumusan Masalah I-3
1.3 Tujuan Penelitian I-3
1.4 Batasan Masalah I-3
1.5 Sistematika Penulisan I-4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **II-1**
2.1 Penelitian Terkait II-1
2.2 Landasan Teori II-3
2.2.1 Motor *Brushless Direct Current* (BLDC) II-3
2.2.2 Kendali Kecepatan Motor BLDC II-5
2.2.3 Sistem Kendali PID II-6
2.2.4 *Internet of Things* (IoT) II-7
2.2.5 Baterai sebagai Sumber Energi II-8
2.2.6 *State of Charger* (SoC) Baterai II-12
2.2.7 *State of Health* (SoH) Baterai II-14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN **III-1**
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian III-1
3.2 Tahapan Penelitian III-1
3.3 Alat dan Bahan Penelitian III-3

3.3.1 Komputer III-3
3.3.2 *Software* Arduino IDE III-4
3.3.3 Mikrokontroler ESP32 ..... III-4
3.3.4 *Database* Supabase III-4
3.3.5 *Software Visual Studio Code* (VSC) III-5
3.3.6 Software MATLAB III-6
3.3.7 Motor BLDC III-6
3.3.8 Inverter BLDC III-7
3.3.9 Sensor Proximity III-7
3.3.10 Modul PZEM-017 ..... III-8
3.3.11 Baterai LifePO4 ..... III-9
3.3.12 Alat Ukur Pembanding III-10
3.4 Metode Penelitian III-11
3.4.1 Studi Pendahuluan III-11
3.4.2 Studi Pustaka III-12
3.4.3 Perancangan Sistem III-12
3.4.4 Perancangan Perangkat Keras III-21
3.4.5 Perancangan Perangkat Lunak III-22
3.4.6 Perancangan Arsitektur Komunikasi Sistem III-23
3.5 Variabel Penelitian III-24
3.6 Analisis Hasil III-25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN IV-1
4.1 Hasil Pemrograman IV-1
4.1.1 Implementasi pemanggilan data dari excel ke *workspace* IV-1
4.1.2 Implementasi logika pengendali PID IV-1
4.1.3 Implementasi rumus perhitungan SoC IV-2
4.1.4 Implementasi perhitungan SoH IV-3
4.1.5 Implementasi komunikasi server Supabase IV-3
4.1.6 Implementasi komunikasi *dashboard* dan Supabase IV-7
4.1.7 Implementasi perekaman data IV-9
4.1.8 Pengolahan hasil data ke MATLAB IV-11

4.2 Hasil Rancangan Perangkat Keras IV-12
4.3 Hasil Rancangan Perangkat Lunak *Internet of Things* (IoT) IV-12
4.3.1 Implementasi *database* menggunakan Supabase IV-14
4.4 Pengambilan Data Input-Output *Plant* secara Eksperimental IV-18
4.4 Estimasi Fungsi Alih berbasis Sistem Identifikasi IV-19
4.5 Penalaan Parameter PID berbasis Zieglers-Nichols Metode *Closed-Loop* IV-20
4.6 Pengujian Kontroler PID terhadap Gangguan IV-22
4.6.1 *Maksimum Overshoot* (MP) IV-24
4.6.2 *Rise Time* (Tr) IV-26
4.6.3 *Peak time* (Tp) IV-26
4.6.4 Respons sistem terhadap penambahan beban IV-27
4.7 Hasil Estimasi *State of Charge* (SoC) baterai IV-28
4.8 Hasil Estimasi *State of Health* (SoH) baterai IV-28
4.9 Pengujian Akurasi Data Alat Ukur dan Pengukuran dari Sensor IV-29
4.9.1 Kecepatan Motor IV-29
4.9.2 Validasi Estimasi *State of Charger* (SoC) baterai IV-30
4.9.3 Validasi perhitungan *State of Health* (SoH) baterai IV-31
BAB V PENUTUP V-1
5.1 Kesimpulan V-1
5.2 Saran V-2
DAFTAR PUSTAKA xix
LAMPIRAN A DOKUMENTASI PENELITIAN 1
LAMPIRAN B KODE PROGRAM 1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kontruksi Motor BLDC II-4
Gambar 2.2. Konsep *Encoder* Sensor Kecepatan II-5
Gambar 2.3. Rangkaian Seri Baterai II-9
Gambar 2.4. Rangkaian Paralel Baterai II-10
Gambar 3.1. Lokasi Laboratorium Teknik Kendali III-1
Gambar 3.2. Diagram alir tahapan penelitian III-2
Gambar 3.3. Laptop Lenovo *Ideapad Gaming* 3 ..... III-3
Gambar 3.4. *Software* Arduino IDE III-4
Gambar 3.5. ESP32-WROOM-32 ..... III-4
Gambar 3.6. Logo server Supabase III-5
Gambar 3.7. *Software Visual Studio Code* (VSC) III-5
Gambar 3.8. *Software* MATLAB III-6
Gambar 3.9. Motor BLDC III-6
Gambar 3.10. Inverter Motor BLDC III-7
Gambar 3.11. Sensor Proximity III-8
Gambar 3.12. Modul PZEM-017 ..... III-9
Gambar 3.13. Baterai LifePO4 ..... III-10
Gambar 3.14. Alat ukur standar III-11
Gambar 3.15. Antarmuka pilihan domain data III-13
Gambar 3.16. Antarmuka import data III-14
Gambar 3.17. Antarmuka pilihan estimasi III-14
Gambar 3.18. Antarmuka estimasi fungsi alih III-15
Gambar 3.19. Antarmuka pengaturan estimasi fungsi alih III-15
Gambar 3.20. Rancangan sistem kendali kecepatan motor BLDC III-16
Gambar 3.21. Model *Simulink* untuk penalaan konstanta pengendali P III-17
Gambar 3.22 Blok PID kontroller pada *Simulink Library* III-18
Gambar 3.23. Parameter blok fungsi step pada kecepatan referensi III-19
Gambar 3.24. Diagram Blok *Simulink* Sistem Kendali *Closed-Loop* PID III-19
Gambar 3.25. Rancangan sistem pemantauan kondisi baterai III-20
Gambar 3.26. Rancangan perangkat keras III-21
Gambar 3.27. Rancangan perangkat lunak III-22
Gambar 3.28. Skema komunikasi data III-24
Gambar 4.1. Hasil rancangan perangkat keras IV-12
Gambar 4.2. Halaman *dashboard* IV-13
Gambar 4.3. Antarmuka tabel editor Supabase pada tabel ‘data’. IV-14
Gambar 4.4. Antarmuka tabel editor Supabase pada tabel ‘control’. IV-15
Gambar 4.5. Grafik hubungan antara tegangan input terhadap kecepatan motor IV-18

Gambar 4.6. Sistem identifikasi dengan berbagai model fungsi alih IV-19
Gambar 4.7. Status estimasi model fungsi alih dengan Metode TFEST IV-19
Gambar 4.8. Fungsi alih terpilih IV-20
Gambar 4.9. Grafik osilasi dari penalaan Zieglers-Nichols 20
Gambar 4.10. Tampilan scope kecepatan terhadap *setpoint* menggunakan kontroler PID.....IV-21
Gambar 4.11. Respons sistem terhadap beban pada *setpoint* 100 rpm.....IV-22
Gambar 4.12. Respons sistem terhadap gangguan pada *setpoint* 170 rpm IV-23
Gambar 4.13. Respons sistem terhadap gangguan pada *setpoint* 240 rpm IV-23
Gambar 4.14. Respons sistem terhadap gangguan pada *setpoint* 310 rpm IV-23
Gambar 4.15. Grafik *overshoot* pada 100 rpm IV-25
Gambar 4.16. Grafik *rise time* pada *setpoint* 100 rpm IV-26
Gambar 4.17. Grafik *peak time* pada *setpoint* 100 rpm.....IV-27
Gambar 4.18. Respon transien terhadap penambahan beban IV-27

DAFTAR KODE PROGRAM

Kode Program 4.1. Skript pemanggilan data dari excel ke *workspace*.....IV-1
Kode Program 4.2. Skript logika pengendali PID IV-1
Kode Program 4.3. Skript implementasi perhitungan SoC baterai IV-2
Kode Program 4.4. Skript implementasi perhitungan SoH baterai.....IV-3
Kode Program 4.5. Skript komunikasi ESP32 ke server Supabase IV-3
Kode Program 4.6. Skript implementasi komunikasi websocket IV-7
Kode Program 4.7. Skript penulisan data pada micro SD IV-9
Kode Program 4.8. Skript pengolahan data menggunakan MATLAB IV-11

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Sejarah pengembangan metode estimasi SoC [28]. II-13
Tabel 3.1. Parameter Motor BLDC [35]. III-7
Tabel 3.2. Spesifikasi Baterai per sel III-9
Tabel 3.3. Aturan penalaan Ziegler-Nichols berdasarkan Kcr dan Pcr III-17
Tabel 4.1. Durasi Komunikasi Data dari ESP32 ke server Supabase IV-16
Tabel 4.2. Durasi Komunikasi Data dari *dashboard* ke ESP32 ..... IV-17
Tabel 4.3. Hasil penalaan parameter kontroler..... IV-21
Tabel 4.4. Hasil parameter dalam bentuk gain kontroler IV-21
Tabel 4.5. Nilai indikator respons transien pada variasi *setpoint*..... IV-24
Tabel 4.6. Laju penurunan SoC baterai IV-28
Tabel 4.7. Data pengukuran SoH baterai IV-29
Tabel 4.8. Akurasi Data Aktual dan Sensor Kecepatan IV-29
Tabel 4.9. Validasi Data Aktual dan Estimasi SoC..... IV-31
Tabel 4.10 Validasi Perhitungan Manual dan Estimasi Sistem SoH..... IV-32

DAFTAR SINGKATAN

ADC	*Analog to Digital Converter*
BMS	*Battery Management System*
FPE	*Final Prediction Error*
HTTP	*Hypertext Transfer Protocol*
IoT	*Internet of Things*
IR	*Internal Resistance*
LiFePO4	*Lithium Iron Phosphate*
MSE	*Mean Squared Error*
REST API	*Representational State Transfer Application Programming Interface*
SoC	*State of Charge*
SoH	*State of Health*

GLOSARIUM

Aktuator	Perangkat mekanis atau elektromekanis yang digerakkan untuk mengontrol suatu sistem.
Dashboard	Antarmuka berbasis web atau aplikasi yang menampilkan informasi data secara visual dan *real-time*.
Duty Cycle	Perbandingan antara durasi sinyal aktif (*HIGH*) terhadap total periode sinyal dalam gelombang PWM.
Supabase	Platform *open-source* berbasis *backend-as-a-service* untuk pengelolaan basis data relasional PostgreSQL.
SoC	Indikator yang menunjukkan persentase kapasitas baterai yang tersisa dibandingkan kapasitas penuhnya, dinyatakan dalam bentuk persen (%).
SoH	Indikator yang menunjukkan kondisi kesehatan baterai saat ini dibandingkan dengan kondisi baterai saat masih baru (100%). Semakin lama dan sering baterai dipakai, SoH-nya akan menurun secara alami.
REST API	Arsitektur perangkat lunak untuk membuat layanan web (*web services*) yang memungkinkan sistem atau aplikasi yang berbeda dapat saling berkomunikasi melalui jaringan internet.
WebSocket	Protokol komunikasi komputer yang menyediakan saluran komunikasi dupleks penuh (*full-duplex*) melalui koneksi TCP tunggal.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Otomasi industri telah mengalami perkembangan pesat seiring revolusi industri 4.0, di mana *Internet of Things* (IoT) memainkan peran sentral dalam integrasi sistem pintar untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengambilan keputusan secara *real-time* [1]. IoT memungkinkan konektivitas antarperangkat melalui jaringan internet, sehingga memfasilitasi pemantauan dan kendali jarak jauh pada sistem otomasi [2].

Perkembangan di bidang sistem kendali dan otomatisasi saat ini telah mendorong pemanfaatan motor listrik yang semakin modern dan efisien, baik pada sektor industri maupun komersial. Salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan adalah motor *Brushless Direct Current* (BLDC) [3]. Motor BLDC banyak digunakan karena memiliki efisiensi tinggi, mampu beroperasi pada kecepatan tinggi, serta memiliki respons dinamis yang cepat. Berbeda dengan motor DC konvensional yang menggunakan sikat dan memerlukan perawatan rutin, BLDC menggunakan komutasi elektronik sehingga lebih efisien dan minim perawatan. Dibandingkan motor induksi yang memiliki kelemahan pada faktor daya dan torsi awal, motor BLDC menawarkan umur pakai lebih panjang, rentang kecepatan luas, serta rasio torsi terhadap berat yang tinggi [4].

Nilai pasar global motor BLDC diperkirakan akan mencapai USD 30.862,4 juta pada tahun 2030, dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan *Compound Annual Growth Rate* (CAGR) sebesar 6,8% selama periode 2025 hingga 2030 [5]. Peningkatan ini sejalan dengan semakin banyaknya penggunaan motor BLDC di sektor otomotif dan robotika industri. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh kebutuhan industri terhadap motor penggerak yang memiliki efisiensi tinggi, bobot yang ringan, guna mendukung aplikasi berbasis teknologi tinggi.

Sistem kontrol yang presisi juga merupakan faktor penting dalam pengoperasian motor BLDC karena berpengaruh langsung terhadap stabilitas dan keandalan sistem [6]. Ketepatan pengaturan kecepatan motor diperlukan agar motor

dapat bekerja sesuai nilai referensi meskipun terjadi perubahan beban dan gangguan eksternal. Sistem kendali yang kurang presisi dapat menyebabkan fluktuasi kecepatan, respons yang lambat, serta peningkatan konsumsi energi dan rugi-rugi daya. Selain itu, kendali yang stabil dan akurat dapat mencegah terjadinya lonjakan arus yang berlebihan sehingga membantu menjaga umur pakai motor dan komponen pendukung, termasuk sistem penyimpanan energi [7]. Oleh karena itu, penerapan sistem kendali yang presisi menjadi kebutuhan utama dalam pengembangan sistem motor BLDC modern, baik pada aplikasi industri maupun sistem berbasis baterai seperti kendaraan listrik.

Baterai merupakan salah satu media penyimpanan energi yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Pemanfaatan baterai dapat ditemukan pada berbagai perangkat, seperti jam dan telepon seluler, hingga kendaraan listrik yang saat ini semakin dikembangkan sebagai solusi energi yang lebih ramah lingkungan. *State of Health* (SoH), selanjutnya disebut SoH merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kesehatan baterai berdasarkan perbandingan antara kondisi baterai saat digunakan dengan kondisi idealnya. Nilai SoH dinyatakan dalam bentuk persentase. Pada umumnya, SoH baterai berada pada nilai 100% pada saat awal pembuatan dan akan menurun secara bertahap seiring dengan bertambahnya usia serta intensitas penggunaan baterai [8]. Pada sistem penggerak yang menggunakan motor BLDC, kinerja baterai sangat berpengaruh terhadap karakteristik operasi motor, seperti kestabilan kecepatan, respons torsi, dan efisiensi daya. Seiring dengan penggunaan dan siklus pengisian–pengosongan yang berulang, baterai akan mengalami degradasi yang ditandai dengan penurunan kapasitas dan peningkatan resistansi internal, yang dapat menyebabkan fluktuasi suplai daya ke motor BLDC. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan performa sistem. Oleh karena itu, pemilihan SoH sebagai variabel penting dalam penelitian ini bertujuan untuk memantau kondisi baterai secara berkelanjutan sehingga kinerja motor BLDC dan sistem kendali dapat tetap beroperasi secara efisien dalam jangka panjang. Sebagai bagian dari upaya pengembangan teknologi tersebut, penelitian ini dilaksanakan dalam kerangka kegiatan penelitian DIPA FT UNTAN 2026 yang berjudul "Kajian Kendali Cerdas Untuk Motor BLDC".

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem kendali kecepatan motor BLDC berbasis IoT yang mampu beroperasi secara stabil. Selain itu, permasalahan lain yang turut menjadi perhatian dalam penelitian ini adalah mengenai bagaimana proses pemantauan SoH baterai dapat diimplementasikan pada sistem.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membangun sistem kendali kecepatan motor BLDC berbasis IoT yang mampu beroperasi secara stabil. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk merealisasikan sistem pemantauan SoH baterai untuk mengetahui kondisi dan kelayakan baterai secara berkelanjutan.

1.4 Batasan Masalah

Agar tidak meluasnya pokok permasalahan pada penelitian ini, maka dibuatlah pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Sistem yang dirancang difokuskan pada peran implementasi sistem kendali kecepatan motor BLDC berbasis IoT.
2. Sistem kendali yang dibahas pada pengaturan kecepatan motor dan tidak mencakup pengendalian posisi maupun torsi.
3. Sistem kendali kecepatan motor BLDC menggunakan inverter.
4. Penelitian ini terbatas pada implementasi dengan dasar teori dan tidak termasuk pembahasan perhitungan manual performa sistem.
5. Terkait SoH baterai, penelitian ini tidak membahas secara mendalam analisis kimia atau degradasi internal pada baterai.
6. Aspek keamanan jaringan dan optimasi protokol komunikasi IoT tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini.
7. Data yang digunakan dalam penelitian ini tidak dianalisis untuk menilai tingkat keakuratan antara nilai keluaran aktual dan perhitungan teoritis. Namun demikian, tetap dilakukan proses kalibrasi serta perbandingan antara

nilai keluaran aktual yang dibaca oleh sistem dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur.

8. Pengujian sistem akan dilakukan dalam skala kecil dengan terbatas yang dilakukan di Laboratorium Teknik Kendali, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, Kalimantan Barat.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari tugas akhir ini disusun dalam lima bab terdiri dari:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisi kajian penelitian terkait serta pemaparan teori yang berkaitan dengan motor BLDC, Sistem kendali kecepatan, integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT), baterai sebagai sumber energi, *State of Health* (SoH), *State of Charge* (SoC) baterai.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi bahan dan alat penelitian serta metode yang berkaitan dengan perancangan skema, fungsi, dan analisis hasil pada sistem kendali yang akan dibuat.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dan pembahasan mengenai data-data penelitian dan analisis data penelitian yang telah dilakukan.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian yang dilakukan serta juga berisikan saran untuk pengembangan pada penelitian yang nantinya dapat dilakukan.