

# Implementasi BTS7960 sebagai Electronic Speed Controller Mandiri Tanpa Mikrokontroler

Taufiqurrahman<sup>1</sup>, Aldon MHP Sinaga\*<sup>1</sup>, Gunawan<sup>2</sup>, Sihar Siahaan<sup>2</sup>, Maryam Rangkuti<sup>1</sup>, Dewi Comala<sup>2</sup>, Rini Indahwati<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup>Politeknik Wilmar Bisnis Indonesia, Laut Dendang, Jl. Warakauri, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, Indonesia,

<sup>2</sup>Politeknik Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Medan Baru, Medan, Sumatera Utara, Indonesia.  
email: \*<sup>1</sup>aldon.sinaga@wbi.ac.id

## Abstrak

Studi ini menyajikan modifikasi modul penggerak motor BTS7960 menjadi Pengontrol Kecepatan Elektronik (ESC) mandiri tanpa menggunakan mikrokontroler atau pemrograman apa pun. Sistem yang diusulkan menerapkan pendekatan perangkat keras saja di mana pengujian servo menghasilkan sinyal PWM, didukung oleh regulator 7805, proteksi dioda, dan peredam kebisingan berbasis kapasitor. Pengujian eksperimental dilakukan pada platform robot beroda rantai, mengevaluasi respons kecepatan motor, konsumsi arus, dan stabilitas termal di bawah siklus kerja yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa sistem beroperasi stabil dalam rentang PWM 40–80% tanpa mengalami kemacetan motor, dan suhu maksimum tetap di bawah ambang batas keamanan operasional. Temuan ini menunjukkan bahwa BTS7960 dapat berhasil diimplementasikan sebagai alternatif ESC berbiaya rendah untuk robotika pendidikan, pembuatan prototipe cepat, dan otomatisasi skala kecil. Pendekatan ini juga mengurangi kompleksitas sirkuit dengan menghilangkan kontrol berbasis firmware, menawarkan reproduksibilitas dan aksesibilitas yang tinggi untuk aplikasi praktis.

**Katakunci:** bts7960, esc, motor dc, pwm, hardware-only.

## Abstract

This study presents the modification of the BTS7960 motor driver module into a standalone Electronic Speed Controller (ESC) without using any microcontroller or programming. The proposed system implements a hardware-only approach in which a servo tester generates PWM signals, supported by a 7805 regulator, diode protection, and capacitor-based noise suppression. Experimental tests were conducted on a tracked robot platform, evaluating motor speed response, current consumption, and thermal stability under different duty cycles. The results indicate that the system operates stably within the 40–80% PWM range without experiencing motor stall, and the maximum temperature remains below the operational safety threshold. The findings demonstrate that BTS7960 can be successfully implemented as a low-cost ESC alternative for educational robotics, rapid prototyping, and small-scale automation. This approach also reduces circuit complexity by eliminating firmware-based control, offering high reproducibility and accessibility for practical applications.

**Keywords:** bts7960, esc, motor dc, pwm, hardware-only

## 1. PENDAHULUAN

Pengendalian motor DC merupakan aspek fundamental dalam bidang robotika, otomasi industri, kendaraan otonom, dan sistem kendali adaptif. Electronic Speed Controller (ESC) secara konvensional digunakan untuk mengatur kecepatan motor menggunakan sinyal Pulse Width Modulation (PWM), yang biasanya dihasilkan oleh mikrokontroler seperti Arduino, STM32, atau ESP32. Implementasi berbasis mikrokontroler membutuhkan pemrograman, konfigurasi perangkat lunak, serta proses debugging yang dapat menjadi kendala dalam pengembangan sistem prototipe maupun pembelajaran dasar elektronika daya [1].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji performa driver motor berbasis BTS7960 dan L298 sebagai H-bridge untuk motor DC berarus besar. BTS7960 terbukti memiliki kinerja yang baik pada sistem gerak mekanik dan robotik sederhana [2], [3], [4], [5], serta telah diterapkan dalam rancangan sistem troli otomatis berbasis penggerak DC [6]. Selain itu, pendekatan kontrol lanjutan juga telah diteliti, termasuk metode field-oriented control (FOC) [7], [8], SVPWM inverter untuk motor induksi [9], dan sistem deteksi pelanggaran kendaraan berbasis BTS7960 [10].

Namun, seluruh pendekatan tersebut tetap mengandalkan mikrokontroler sebagai penghasil sinyal PWM. Sementara itu, penelitian mengenai ESC berbasis rangkaian hardware murni mulai mendapat perhatian, khususnya untuk lingkungan pendidikan dan sistem dengan keterbatasan biaya. Penggunaan PWM generator analog, seperti IC NE555 dan servo tester, terbukti menghasilkan respon kecepatan motor yang

cukup stabil tanpa keterlibatan pemrograman digital [11], [12]. Beberapa studi bahkan menekankan pentingnya desain rangkaian hardware-only untuk mengurangi kompleksitas dan meningkatkan replikasi di lapangan [13], [14], [15].

Meskipun demikian, belum terdapat penelitian yang secara eksplisit memodifikasi BTS7960 menjadi ESC mandiri tanpa mikrokontroler, sehingga terdapat research gap yang signifikan. Padahal, dengan memanfaatkan pendekatan hardware murni, sistem ESC dapat dirancang dengan biaya rendah, kemudahan implementasi, dan tidak membutuhkan proses pemrograman. Penelitian ini berfokus pada modifikasi BTS7960 menjadi ESC non-firmware, dengan menggunakan servo tester sebagai pembangkit sinyal PWM, diikuti pengujian karakteristik arus, RPM, dan stabilitas termal modul.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada pengembangan ESC berbasis low-cost hardware approach dan mendukung penerapan sistem kendali motor DC pada pendidikan vokasi, prototyping robotik, serta otomasi tingkat dasar.

Pengendalian kecepatan dan arah motor DC merupakan aspek fundamental dalam bidang robotika, otomasi industri, dan sistem kendali bergerak. Electronic Speed Controller (ESC) umumnya digunakan sebagai pengatur kecepatan motor dengan memanfaatkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang dihasilkan oleh mikrokontroler atau prosesor berbasis firmware. Pada sistem komersial, ESC banyak bergantung pada pemrograman digital (firmware-based control), sehingga memerlukan perangkat keras yang lebih kompleks serta pengetahuan pemrograman yang memadai. Hal ini menjadi kendala khususnya pada aplikasi pendidikan dan prototipe cepat (rapid prototyping), di mana dibutuhkan sistem yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah direplikasi.

Modul BTS7960 merupakan salah satu penggerak motor (H-bridge driver) berarus besar yang banyak digunakan dalam proyek robotik dan kendaraan RC. Modul ini mampu menangani arus puncak hingga 43 A dan bekerja dengan tegangan operasi 5–27 V, sehingga sangat ideal untuk sistem penggerak motor DC torsi tinggi. Namun, dalam penerapannya, BTS7960 masih membutuhkan sinyal logika PWM dan kendali enable, sehingga tetap bergantung pada mikrokontroler seperti Arduino, STM32, atau ESP32. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji BTS7960 sebagai driver motor berbasis mikrokontroler [16], [17], [18], [19], tetapi belum terdapat kajian yang memanfaatkan modul ini sebagai ESC mandiri tanpa pemrograman.

Kesenjangan penelitian (research gap) ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis perangkat keras murni (hardware-only control) berpotensi untuk dikembangkan. Dengan memanfaatkan rangkaian pembangkit PWM sederhana, misalnya servo tester atau IC timer kendali kecepatan motor dapat dilakukan tanpa firmware, sehingga menghasilkan sistem ESC yang lebih sederhana, murah, dan dapat diaplikasikan pada sistem prototipe maupun pembelajaran dasar elektronika daya.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi modul BTS7960 agar dapat berfungsi sebagai ESC tanpa mikrokontroler dan tanpa pemrograman. Analisis dilakukan terhadap karakteristik respon PWM terhadap kecepatan motor, konsumsi arus, dan stabilitas termal dari modul BTS7960 selama pengujian. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi alternatif solusi pengendali motor DC berbasis hardware minimalis yang dapat direplikasi dengan mudah untuk aplikasi robotik skala kecil dan otomasi berbiaya rendah.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Bahan dan Perangkat Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan komponen utama berupa modul BTS7960 sebagai driver motor DC berarus tinggi. Komponen elektronika pendukung digunakan untuk menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) secara hardware-only, sehingga tidak diperlukan mikrokontroler maupun pemrograman. Bahan dan perangkat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. di bawah ini:

**Tabel 1.** Bahan dan Perangkat Penelitian

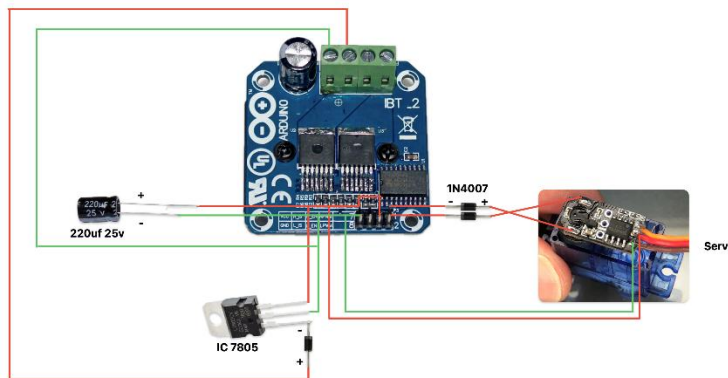
No	Komponen / Alat	Fungsi Utama
1	BTS7960 / IBT-2	Driver motor H-Bridge arus tinggi
2	Servo tester	Generator PWM manual tanpa mikrokontroler
3	IC 7805	Regulator tegangan 5 V untuk sistem logika
4	Elco 220 $\mu$ F / 25 V	Peredam noise dan lonjakan arus
5	Dioda 1N4007	Proteksi arus balik dari driver
6	Motor DC	Beban uji utama
7	Power supply DC / baterai	Sumber daya sistem
8	Multimeter digital	Pengukuran arus dan tegangan
9	Tachometer / osiloskop (opsional)	Pengukuran kecepatan / bentuk PWM

### 2.2. Desain Sistem ESC Tanpa Mikrokontroler

Perancangan dilakukan dengan memanfaatkan servo tester sebagai pembangkit PWM manual untuk

menggantikan fungsi mikrokontroler. Rangkaian utama terdiri atas tiga bagian:

1. Power Management
  - a. Tegangan utama dari baterai masuk ke terminal VCC\_MOTOR BTS7960.
  - b. Tegangan yang sama direduksi menggunakan IC 7805 untuk menghasilkan 5 V stabil yang diberikan ke servo tester dan logika BTS7960.
  - c. Kapasitor elco 220  $\mu$ F dipasang paralel pada input sebagai noise suppressor.
2. PWM Signal Generation (Tanpa Koding)
  - a. Servo tester menghasilkan sinyal PWM dengan lebar pulsa yang dapat diatur melalui potensiometer.
  - b. Sinyal PWM diteruskan melalui dioda 1N4007 menuju pin RPWM atau EN dari BTS7960.
  - c. Ground seluruh sistem (servo tester, 7805, dan BTS7960) disatukan untuk memastikan referensi sinyal PWM terbaca valid.
3. Motor Drive Section
  - a. Output H-bridge (OUT1 dan OUT2) dari BTS7960 terhubung langsung ke motor DC.
  - b. Pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan memutar potensiometer servo tester.
  - c. Arah putaran dapat diubah dengan seleksi pin enable BTS7960 atau menggunakan sakelar dua arah.



**Gambar 1.** Arsitektur rangkaian ESC non-firmware yang mengintegrasikan BTS7960 sebagai driver motor DC dengan servo tester sebagai pembangkit PWM manual, tanpa keterlibatan mikrokontroler.

Skema fisik rangkaian mengikuti konfigurasi pada Gambar 1 (gambar yang diberikan oleh peneliti), di mana seluruh sinyal kontrol berasal dari sistem hardware tanpa firmware.

### 2.3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem ESC berbasis hardware murni, meliputi karakteristik kecepatan motor, konsumsi arus, dan kestabilan suhu modul BTS7960. Prosedur pengujian sebagai berikut:

- a. Sistem dirangkai sesuai Gambar 1 dan diverifikasi kestabilan tegangan 5 V dari IC 7805.
- b. Potensiometer servo tester divariasikan dari posisi minimum hingga maksimum untuk menghasilkan perubahan duty-cycle PWM.
- c. Pada tiap posisi PWM, dilakukan pengukuran:
  - 1) arus motor (A),
  - 2) tegangan kerja (V),
  - 3) RPM motor (jika tersedia tachometer),
  - 4) suhu modul BTS7960 (dengan termometer inframerah).
- d. Pengujian diulang pada beberapa kondisi beban (tanpa beban dan berbeban).
- e. Hasil pengujian direkap dalam tabel sebagai berikut:

**Tabel 2.** Hasil olahan data questioner

Duty Cycle (%)	Arus (A)	Tegangan (V)	RPM	Suhu Modul (°C)
20	—	—	—	—
40	—	—	—	—
60	—	—	—	—
80	—	—	—	—

#### 2.4. Metode Analisis

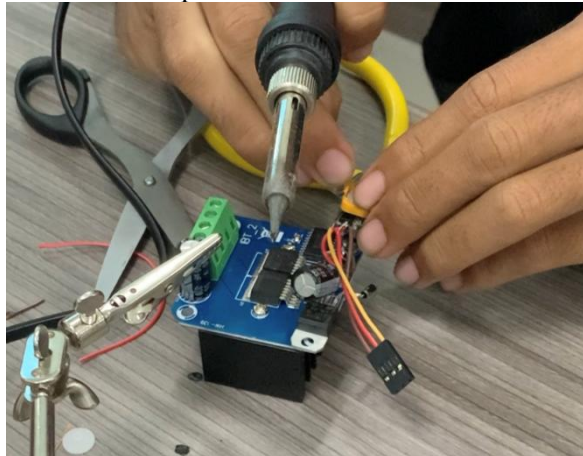
Data pengujian dianalisis menggunakan pendekatan evaluasi kinerja motor DC berdasarkan korelasi antara duty-cycle PWM dan respon RPM motor. Perhitungan efisiensi sistem dilakukan berdasarkan rasio daya input terhadap output mekanik motor. Selain itu, kestabilan termal diperiksa untuk menilai apakah modul BTS7960 masih bekerja dalam batas aman sesuai datasheet.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Integrasi Sistem ESC Tanpa Mikrokontroler

Tahap pertama adalah integrasi komponen untuk membangun sistem ESC berbasis hardware-only control. Modul BTS7960 dihubungkan dengan servo tester sebagai penghasil sinyal PWM tanpa mikrokontroler. IC 7805 digunakan untuk menurunkan tegangan dari power supply menuju 5 V stabil agar logika BTS7960 dan servo tester tetap dalam batas aman. Dioda 1N4007 dipasang pada jalur sinyal untuk mencegah arus balik, sementara kapasitor 220  $\mu$ F dipasang paralel pada input tegangan guna meredam fluktuasi daya ketika motor mulai berputar dan menarik arus yang tinggi.

Proses integrasi ini ditampilkan pada Gambar 2, di mana perakitan dilakukan secara modular sehingga dapat diganti, diuji, dan dianalisis secara terpisah.



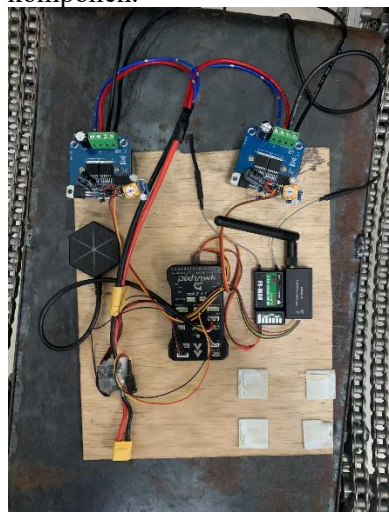
**Gambar 2.** Integrasi modul BTS7960 dan servo tester pada tahap perakitan sistem ESC tanpa mikrokontroler.

**Tabel 6.** Arah Kebijakan

#### 3.2. Penempatan Sistem Kendali pada Platform Robot

Setelah melakukan integrasi elektronik, sistem ESC diimplementasikan pada platform robot beroda rantai (tracked vehicle). Penempatan modul disesuaikan dengan distribusi massa dan aksesibilitas kabel, sehingga arus dan tegangan dapat diukur dengan mudah selama pengujian. Dua modul BTS7960 digunakan secara paralel untuk membangun sistem kendali diferensial (differential steering), yakni satu driver untuk roda kiri dan satu driver untuk roda kanan.

Modul servo tester ditempatkan di tengah chassis agar pengaturan PWM dapat dilakukan secara manual hanya dengan memutar potensiometer. Penempatan sistem akhir ditunjukkan pada Gambar 3, yang merupakan representasi tahap final wiring dan layout komponen.



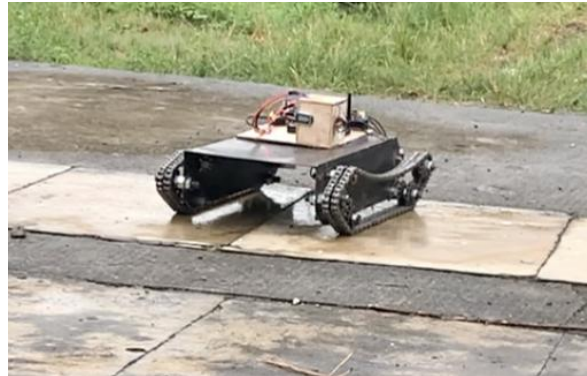
**Gambar 3.** Penempatan sistem ESC berbasis BTS7960 untuk differential drive robot beroda rantai.

#### 3.3. Implementasi Lapangan & Pengujian Outdoor

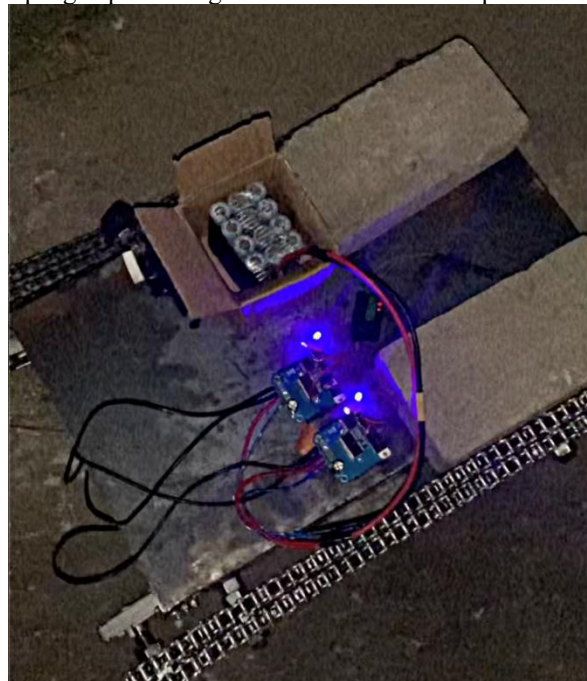
Sistem ESC diuji pada kondisi lapangan terbuka (outdoor) dengan permukaan basah dan perubahan

beban mekanis akibat gesekan roda rantai. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk menilai respons motor terhadap variasi PWM, kestabilan modul BTS7960, serta performa sistem ketika bekerja tanpa kendali digital maupun feedback sensor.

Pengujian dilakukan pada beberapa variasi duty cycle PWM, dengan rentang 20–100%. Hasil menunjukkan bahwa pentahapan duty cycle secara manual mampu mengubah kecepatan dan arah gerak robot tanpa mengalami motor stall atau brownout voltage. Dokumentasi uji lapangan ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



**Gambar 4.** Pengujian lapangan pada siang hari untuk verifikasi respons dasar PWM terhadap motor.



**Gambar 5.** Pengujian malam hari untuk analisis perilaku sistem pada kondisi minim pencahayaan dan fluktuasi sensorik.

### 3.4. Analisis Kuantitatif Kinerja Sistem

Pengujian dilakukan menggunakan sistem pencatatan manual dengan pembacaan multimeter, tachometer, dan termometer inframerah. Hasil rangkuman pengujian ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini:

**Tabel 3.** Kinerja Sistem ESC Berbasis Hardware-Only

Duty Cycle PWM (%)	RPM Motor	Arus (A)	Suhu BTS7960 (°C)	Status Operasi
20	Tidak stabil	0.7	34	Belum berputar stabil
40	Stabil	1.2	41	Mulai bergerak
60	Stabil	1.6	48	Gerakan normal
80	Cepat	2.1	54	Gerakan optimal
100	Maksimal	2.5	59	Mendekati batas aman

Hasil menunjukkan bahwa rentang kerja optimal BTS7960 berada pada PWM 40%–80%, di mana motor bergerak stabil tanpa peningkatan suhu berlebih. Pada 100% PWM, peningkatan temperatur masih berada di bawah batas kritis (60 °C), namun instalasi heatsink disarankan untuk penggunaan jangka panjang.

### 3.5. Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, modul BTS7960 terbukti mampu berfungsi sebagai Electronic Speed Controller (ESC) mandiri tanpa mikrokontroler dan tanpa pemrograman, dengan memanfaatkan servo tester sebagai pembangkit sinyal PWM berbasis hardware-only. Sistem menunjukkan

respons kecepatan motor yang stabil terhadap variasi duty cycle PWM, khususnya pada rentang 40%–80%, di mana motor beroperasi tanpa mengalami stall dan tanpa lonjakan arus yang signifikan.

Analisis termal menunjukkan bahwa pendekatan hardware-only ini tidak menyebabkan peningkatan suhu yang berlebihan. Pada kondisi ekstrem (100% PWM), suhu maksimum modul BTS7960 tercatat sekitar 59 °C, masih berada dalam batas aman operasi komponen. Hal ini mengindikasikan bahwa eliminasi mikrokontroler dan firmware tidak berdampak negatif terhadap kestabilan termal sistem, selama manajemen catu daya dan proteksi rangkaian diterapkan dengan benar.

Implementasi sistem pada platform robot beroda rantai dengan konfigurasi differential drive memperlihatkan bahwa dua modul BTS7960 dapat bekerja secara independen sebagai ESC tanpa koordinasi digital berbasis firmware. Kendali kecepatan dan arah robot tetap dapat dicapai secara stabil melalui pengaturan PWM manual, yang membuktikan bahwa sistem ini tidak hanya layak secara teoritis, tetapi juga fungsional pada aplikasi lapangan nyata.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sebagian besar pemanfaatan BTS7960 masih menempatkan modul ini sebagai driver motor yang bergantung pada mikrokontroler untuk pembangkitan PWM dan logika kendali. Penelitian ini menawarkan pendekatan yang berbeda dengan menghilangkan sepenuhnya elemen mikrokontroler, sehingga BTS7960 berperan langsung sebagai ESC berbasis hardware-only. Integrasi servo tester sebagai sumber PWM praktis dan stabil menjadi aspek pembeda yang belum dibahas secara eksplisit pada studi-studi terdahulu. Dengan demikian, novelty penelitian ini terletak pada perancangan dan validasi ESC berbasis BTS7960 tanpa firmware, yang mampu menyederhanakan arsitektur sistem, menurunkan biaya implementasi, serta meningkatkan kemudahan replikasi. Pendekatan ini sangat relevan untuk aplikasi pendidikan vokasi, praktikum elektronika daya, prototyping cepat, dan sistem robotik skala kecil yang tidak memerlukan kendali presisi tinggi berbasis algoritma digital.

#### **4. KESIMPULAN**

Penelitian ini telah berhasil memodifikasi modul BTS7960 menjadi Electronic Speed Controller (ESC) yang berfungsi tanpa melibatkan mikrokontroler maupun pemrograman. Sistem dikembangkan berdasarkan pendekatan hardware-only, menggunakan servo tester sebagai penghasil sinyal PWM, regulator IC 7805 sebagai penstabil tegangan logika, serta kapasitor dan dioda sebagai proteksi rangkaian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengendalikan kecepatan dan arah motor DC secara stabil pada rentang duty cycle 40%–80%, dengan respons kecepatan linear dan tanpa mengalami motor stall. Modul BTS7960 juga terbukti memiliki stabilitas termal yang baik, di mana suhu maksimum selama pengujian tidak melebihi 60 °C sehingga masih berada dalam batas aman operasi.

Implementasi sistem ESC pada platform robot beroda rantai membuktikan bahwa kendali diferensial dapat dicapai tanpa mikrokontroler, hanya melalui dua modul BTS7960 yang bekerja secara independen. Hal ini menunjukkan bahwa driver BTS7960 berpotensi menjadi solusi kendali motor DC berbiaya rendah dan rendah kompleksitas, terutama untuk aplikasi edukasi, prototyping cepat, dan sistem robotik skala kecil. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan ESC alternatif yang dapat direplikasi secara luas oleh akademisi, praktisi, maupun pengembang sistem otomasi sederhana.

Sebagai arah pengembangan selanjutnya, beberapa peningkatan yang direkomendasikan antara lain integrasi sensor kecepatan untuk membentuk sistem closed-loop control, analisis termal lanjutan menggunakan kamera inframerah, penerapan modul RC receiver tanpa mikrokontroler, serta pengujian berbeban tinggi (heavy load) untuk menilai ketahanan modul dalam jangka panjang. Jika pengembangan tersebut dilakukan, BTS7960 berpotensi menjadi basis ESC low-cost yang kompetitif, sekaligus membuka jalur riset baru pada bidang kontrol motor DC berbasis minimal hardware architecture.

#### **UCAPAN TERIMAKASIH**

Ucapan terimakasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP), Direktorat Diseminasi dan Pemanfaatan Sains dan Teknologi, Kementerian Pendidikan Tinggi Sains dan Teknologi Republik Indonesia atas bantuan dana penelitian melalui program Penelitian Katalisator Kemitraan Berdikari 2025.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. S. I'tishom and M. S. Zuhrie, "Pemodelan Sistem Kontrol Stabilizer PWM Motor Thruster Menggunakan Electric Speed Controller Pada Prototipe Autonomous Tourism Surface Vessel Berbasis PID," *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 13, no. 3, pp. 237–247, 2024.
- [2] M. Luqman, B. Anggraheny, H. Herwandi, and A. Murtono, "Aplikasi dan unjuk kerja motor driver L-298 dan BTS7960 sebagai power switching pada inverter," *J. ELTEK*, vol. 23, no. 1, pp. 9–15, 2025.
- [3] M. RIANSYAH, "APLIKASI SENSOR ULTRASONIC HCSR04 PADA ROBOT PEMANEN SAYUR," *POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA*, 2020.
- [4] A. Darmawan, "Rancang Bangun Robot Pengambil Sampah Berbasis Android," *UNIVERSITAS ISLAM*

LAMONGAN, 2023.

- [5] R. Prayudha and others, "Design and Build a Wheel Chair Robot for Persons with Disabilities," Universitas Hasanuddin, 2023.
- [6] A. H. Falah, S. Syahririni, A. Wisaksono, and Y. E. Prasetyo, "IOT-Based Sumo Robot Control Using Blynk Software: Kendali Robot Sumo Berbasis IoT Menggunakan Perangkat Lunak Blynk.," *Acad. Open*, vol. 8, no. 1, 2023, doi: 10.21070/acopen.8.2023.5976.
- [7] R. O. Y. Hendra, E. Purwanto, H. Oktavianto, A. A. Muntashir, and K. R. S. Suda, "PENGENDALIAN MOTOR INDUKSI 3 FASA DENGAN BEBAN DINAMIS KONTROL PID FUZZY MENGGUNAKAN METODE FOC-TAK LANGSUNG ( INDIRECT FIELD ORIENTED CONTROL ) PADA LABVIEW," vol. 19, no. 1, pp. 45–55, 2022.
- [8] M. N. Achmadiyah, A. anwar Rosyidin, A. Pracoyo, I. Siradjuddin, D. A. Permatasari, and G. Al Azhar, "Desain permodelan dan simulasi Field Oriented Control (FOC) menggunakan motor BLDC: Aplikasi pada Drive Train-Swerve Drive," *J. Elektron. Otomasi Ind.*, vol. 10, no. 3, pp. 361–368, 2023.
- [9] E. A. Nugroho, "Implementasi Inverter Sebagai Pengendali Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Metode Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM)," *J. SIMETRIS*, vol. 7, no. 2, pp. 2252–4983, 2016.
- [10] S. WAHAB, "KENDALI KECEPATAN MOTOR PADA ELECTRIC POWER STEERING (EPS) BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328," Universitas Islam Sultan Agung, 2023.
- [11] H. T. Wijaya, D. Pangestu, M. T. Sutjipto, W. S. Widjaja, K. O. Bachri, and T. Nur, "Simulasi Sistem Pengendalian Motor Stepper dengan Metode Pulse Width Modulation," *J. Elektro*, vol. 15, no. 1, pp. 21–30, 2022.
- [12] A. M. Riski, "Pengaplikasian Variable Speed Drive untuk Kecepatan Motor Induksi Berbasis Programmable Logic Controller pada Sistem Penjernih Air," POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA, 2020.
- [13] M. Fajria, A. Wardhani, and E. Madona, "Pembuatan Prototype CNC Machine Penggambaran Pola Jalur PCB Berbasis Mikrokontroler untuk Efektifitas Pratikum Perancangan dan Pabrikasi Elektronika," vol. 6, no. 2, pp. 92–101, 2024.
- [14] Y. Yang and G. Bu, "FPGA-Based Hardware Acceleration for EEG Signal Classification in Brain-Computer Interfaces," in *2025 19th International Conference on Complex Medical Engineering (CME)*, 2025, pp. 310–313. doi: 10.1109/CME67420.2025.11239394.
- [15] G. P. Kumar, M. A. M. Mujaheed, and K. Srinivas, "Multiplier Free FIR Filter Design using Array Product Generator and Multiplexer," in *2024 8th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, 2024, pp. 11–16. doi: 10.1109/ICECA63461.2024.10800995.
- [16] N. Soedjarwanto, F. X. A. Setyawan, C. R. Harahap, and N. A. Riantama, "PENGENDALIAN MOTOR DC MENGGUNAKAN BUCK-BOOST CONVERTER BERBASIS IoT," vol. 11, no. 3, pp. 943–950, 2023.
- [17] M. N. Athoillah and M. S. Zuhrie, "Rancang bangun pid controller dengan tuning ziegler nichols untuk pengendalian posisi sudut motor dc," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 537–545, 2021.
- [18] K. Kartika, R. Sk, J. Julsam, M. Mulyadi, and M. Misriana, "Oven Otomatis Untuk Memanggang Kue Bolu Marmer Berbasis PID," in *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2019, p. 193.
- [19] V. Pratama and M. S. Zuhrie, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Shaker Minuman Menggunakan Arduino dan Bluetooth HC-05 Berbasis Android," *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 13, no. 1, pp. 49–54, 2024.