TRANSMISI: JURNAL ILMIAH TEKNIK ELEKTRO, 28, (4), OKTOBER 2026
p-ISSN 1411-0814 e-ISSN 2407-6422

IMPLEMENTASI SISTEM MINIMUM ESP32 DENGAN SENSOR INA219 DAN MOTOR DRIVER BTS7960 UNTUK *MONITORING* DAN KONTROL *REAL-TIME* BEBAN MOTOR PADA PROSES PENCAMPURAN *BIOFUEL* BERBASIS IOT

Ade Sana Ruhiyat[*1)], Arief Goeritno[2] dan Muhidin[3]

[1]Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains dan Teknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional
[1,2,3]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Ibn Khaldun Bogor
[1]KST BJ Habibie, Jl. Raya Serpong, Muncul, Kec. Setu, Kota Tangerang Selatan, Banten, Indonesia 15314
[2,3]Jl. K.H. Sholeh Iskandar Raya Km. 2, Kedung Badak, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16161

[*)]*E-mail: ades009@brin.go.id*

Abstrak

Kebutuhan akan sistem pencampuran *biofuel* yang efisien mendorong pengembangan solusi *monitoring* berbasis *Internet of things* (IoT) untuk meningkatkan akurasi dan efektivitas proses. Penelitian ini bertujuan merancang sistem minimum berbasis ESP32 dengan sensor INA219 dan *driver* BTS7960 untuk memantau parameter kelistrikan *motor stirrer* secara *real-time* pada pencampuran *biofuel*. Metode yang digunakan adalah *Engineering Design Process* (EDP) meliputi perancangan, pembuatan *purwarupa*, pengujian, dan validasi laboratorium. Sampel berupa campuran FAME dan solar diuji dengan variasi konsentrasi A2, A3, A4, serta diamati densitas, viskositas, homogenitas, tegangan, arus, dan daya. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan kandungan FAME dari sampel A2 hingga A4 meningkatkan densitas 845.1 kg/m³-852.1 kg/m³ dan viskositas 3.09 mm^2/s-3.36 mm^2/s, yang berdampak pada penurunan tegangan 5.63 V-5.61 V, kenaikan arus 0.091 A-0.098 A, dan konsumsi daya 0.386 W-0.421 W. Tingkat error daya 0.88%-1.12% dengan akurasi 98.9%-99.1% menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan monitoring *real-time*, meskipun masih terdapat keterbatasan berupa fluktuasi akibat *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Electromagnetic Interference* (EMI).

Kata kunci: internet of things, esp32, ina219, bts7960, biofuel

Abstract

The demand for efficient biofuel mixing systems encourages the development of Internet of Things (IoT)-based monitoring solutions to improve process accuracy and effectiveness. This study aims to design a minimum system based on ESP32 integrated with the INA219 sensor and BTS7960 motor driver to monitor the electrical parameters of a stirrer motor in real time during the biofuel mixing process. The research method employed the Engineering Design Process (EDP), including design, prototyping, testing, and laboratory validation. Samples consisting of FAME-diesel blends with varying concentrations A2, A3, A4 were tested, and parameters such as density, viscosity, homogeneity, voltage, current, and power were observed. The results show that increasing the FAME content from sample A2 to A4 raised density from 845.1 kg/m³ to 852.1 kg/m³ and viscosity from 3.09 mm^2/s to 3.36 mm^2/s, which resulted in a voltage drop from 5.63 V to 5.61 V, an increase in current from 0.091 A to 0.098 A, and power consumption from 0.386 W to 0.421 W. The power measurement error ranged from 0.88% to 1.12%, with an accuracy of 98.9%-99.1%, indicating that the system is capable of real-time monitoring, although limitations remain due to fluctuations caused by Pulse Width Modulation (PWM) and Electromagnetic Interference (EMI).

Keywords: internet of things, esp32, ina219, bts7960, biofuel

1. Pendahuluan

Pemanfaatan *biofuel* berbasis minyak sawit di Indonesia mencapai 12.96 Juta liter pada tahun 2023 [1]. Dalam memproduksi *biofuel* terjadi proses pencampuran antara minyak solar dengan ester metil asam lemak atau FAME (*fatty acid methyl ester*) yang menggunakan peralatan elektrikal berupa motor listrik untuk menggerakkan pengaduk mekanis [2]. Dalam pencampuran solar dan FAME perlu memperhatikan viskositas dan densitasnya. Kekentalan atau viskositas dapat memengaruhi jumlah putaran dan daya yang dihasilkan oleh motor pengaduk [3]. Semakin tinggi tingkat kekentalan dari minyak menyebabkan kerja motor induksi akan semakin lemah dan

menaikan suhu operasi, sehingga dapat menyebakan *overheat* pada motor [3]. Motor listrik dapat dikendalikan dan dipantau kinerjanya menggunakan piranti elektronika berbasis sistem minimum berbantuan *Internet of Things* (IoT). Sistem minimum bersifat fleksibilitas, kompak dan terintegrasi dalam satu *chip*, dengan biaya yang efektif, kemudahan pemrograman dan kontrol yang efisien dalam sistem sehingga dapat mengendalikan aktuator dengan baik [4]. IoT adalah struktur berbasis internet yang menghubungkan objek fisik dan virtual melalui kemampuan berkomunikasi dengan sensor dan terhubung ke jaringan internet dengan komputasi berbiaya rendah, *cloud*, *big data*, analitik, cepat dan mudah diakses [5]. Mikrokontroler NodeMCU ESP32 adalah modul mikrokontroler terintegrasi yang memiliki dua buah prosesor komputasi yaitu, prosesor pengelola jaringan *Wi-Fi* dan *bluetooth*, serta prosesor untuk menjalankan *software* [6]. Jaringan penghubung *Wi-Fi* adalah protokol TCP/IP dengan dua CPU dengan tingkat kecepatan 80 MHz dan 160 MHz sehingga dapat digunakan untuk pengaplikasian IoT [6]. Dalam penggunaan IoT, aplikasi Blynk merupakan salah satu yang dapat digunakan untuk mengendalikan piranti elektronika secara *real-time*, menampilkan data yang di indera sensor dan menyimpan data hasil pengukuran.

Penelitian sebelumnya yang berkaitan sistem kendali dan *monitoring* terhadap motor listrik telah dilakukan Artono (2023) membuat sistem mesin pengaduk berbasis IoT yang menggunakan mikrokontroler untuk mengontrol aktuator dan sensor, serta Node MCU untuk pengiriman data. Hasilnya menunjukkan kinerja alat stabil dalam pemantauan sensor secara *real-time* melalui antarmuka *website* dan aplikasi Android [7]. Nasution (2020) mengembangkan sistem *monitoring* motor *brushless* DC berbasi IoT dengan kontrol *Fuzzy Logic* hasilnya menunjukkan sistem dapat memonitor kecepatan putar, arus dan suhu dengan baik dengan *error* yang lebih rendah dibandingkan tanpa kontrol *logic* [8]. Ulum (2019) membuat sistem *monitoring* kecepatan putaran motor DC berbasis IoT menggunakan mikrokontroler wemos D1 Mini, penelitian ini mengemukakan rata-rata kesalahan pengukuran terhadap alat ukur standar adalah 0.72% dalam mengukur kecepatan sedangkan pengukuran arus 2.72% [9]. Sistem pengendali *overhead* berbasis IoT telah dikembangkan oleh Kurniawan (2024) dengan fitur pengaturan waktu dan kecepatan putar, hasilnya menunjukkan sistem dapat mengatur kecepatan sampai 1000 rpm dan menampilkan pengukuran kecepatan secara *real-time* di halaman *website* [10].

Penelitian tersebut memiliki keterbatasan karena hanya menguji motor dalam kondisi tanpa beban atau dengan beban padat, sehingga hasilnya kurang merepresentasikan kondisi operasional beban cairan. Pengujian tanpa beban, seperti dilaporkan Kurniawan (2024), berpotensi menimbulkan *error* PWM dan peningkatan arus yang dapat mengganggu stabilitas sistem [11], hal ini disebabkan akibat interaksi antara modulasi PWM dan kecepatan rotasi motor yang membentuk dinamika serupa *phase-locked loop*, di mana aktuator berusaha mempertahankan sinkronisasi dengan sinyal kendali [12]. Penelitian Nasution (2020) dengan kontrol *Fuzzy Logic* dapat menurunkan *error*, tetapi mengakibatkan penurunan efisiensi dan menambah konsumsi daya [13]. Ulum (2019) juga hanya menggunakan beban padat, yang tidak menggambarkan dinamika cairan dalam proses pencampuran sehingga mengakibatkan peningkatan *duty cycle* PWM, kenaikan kecepatan motor, dan memicu peningkatan arus [14].

Berdasarkan keterbatasan penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini bertujuan memperoleh gambaran kondisi fisik dan performa motor listrik saat digunakan dalam proses pencampuran *biofuel*, sehingga kerusakan awal pada motor dapat dideteksi dan konsumsi listrik dapat dihitung sebagai dasar analisis biaya. Berbeda dari penelitian yang telah ada, penelitian ini mengintegrasikan antara parameter fisik *biofuel* seperti viskositas dan densitas dengan *monitoring* parameter kelistrikan motor berbasis IoT secara *real-time*. Penelitian ini secara langsung menggunakan *biofuel* asli sebagai beban cair, sehingga kondisi pengujian dan data yang diperoleh lebih relevan dan representatif untuk aplikasi pencampuran *biofuel* secara *real-time*. Selain itu, pembandingan hasil kinerja sistem tidak hanya dengan alat ukur standar, tetapi juga melalui uji laboratorium terhadap sampel *biofuel*. Uji laboratorium meliputi parameter homogenitas FAME, densitas, dan viskositas, yang selanjutnya dianalisis pengaruhnya terhadap kinerja motor listrik.

2. Metode

2.1. Metode Penelitian

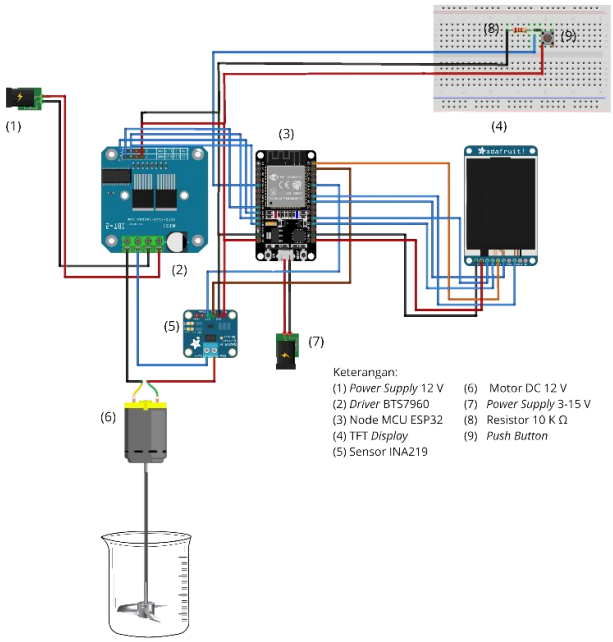
Penelitian ini menggunakan pendekatan *Engineering Design Process* (EDP) yang bersifat sistematis dan iteratif melalui tahapan identifikasi masalah, pengumpulan informasi, perancangan, pembuatan purwarupa, pengujian, evaluasi, dan komunikasi hasil [15] [16]. Tahap identifikasi masalah diarahkan pada ketiadaan penelitian yang secara spesifik membahas kendali dan *monitoring* parameter kelistrikan motor listrik dalam proses pencampuran *biofuel* secara *real-time.* Selanjutnya, pengumpulan informasi dilakukan melalui studi literatur, serta analisis penelitian terdahulu terkait sistem motor dan kontrol IoT. Pada tahap perancangan, sistem minimum berbasis mikrokontroler ESP32 dipadukan dengan sensor INA219 dan *driver motor* BTS7960, yang kemudian diintegrasikan dengan aplikasi Blynk untuk *monitoring* tegangan, arus, daya, dan kecepatan secara *real-time.*

Proses pembuatan purwarupa mencakup perakitan perangkat keras, pemrograman menggunakan Arduino IDE, dan pengembangan *dashboard* aplikasi Blynk. Tahap pengujian dilakukan pada kondisi tanpa beban dan dengan beban *biofuel* untuk menilai fungsi kontrol *on-off,*

pengaturan kecepatan, serta akurasi sensor. Selanjutnya, tahap evaluasi melibatkan validasi hasil pengukuran dengan alat ukur standar digital multimeter dan uji laboratorium pada parameter homogenitas FAME, densitas, dan viskositas, sehingga diperoleh data yang lebih representatif. Tahap terakhir adalah berupa analisis data, penyajian tabel dan grafik, serta pembahasan performa sistem serta rekomendasi pengembangan. Pendekatan ini selaras dengan literatur terkini yang menegaskan bahwa EDP merupakan kerangka metodologis yang efektif dalam penelitian rekayasa karena memungkinkan iterasi desain, validasi empiris, dan komunikasi hasil yang sistematis [15].

Sinyal kendali motor dihasilkan melalui PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan frekuensi sebesar 53 Hz yang dipilih untuk menjaga kestabilan putaran motor dan meminimalkan *aliasing* [17]. Dalam mengurangi fluktuasi tegangan akibat *switching* PWM, diterapkan *low-pass filter* pada jalur pengukuran [17]. Sensor INA219 dikalibrasi dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap multimeter standar kemudian konstanta kalibrasi disesuaikan dalam perangkat lunak [18]. Data dikumpulkan dengan sampling rate 20 Hz yang cukup untuk menangkap dinamika arus dan tegangan pada beban cair tanpa membebani komunikasi [19]. Seluruh komunikasi sensor menggunakan I2C dengan *baud rate* 115200 bps, sedangkan data hasil pengukuran dikirim ke *dashboard* Blynk IoT untuk *monitoring* secara *real-time*.

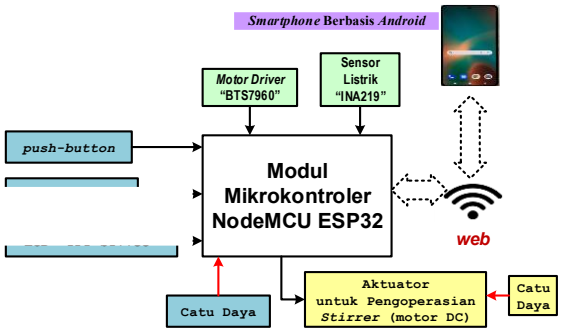
2.2. Perancangan Bentuk Fisik



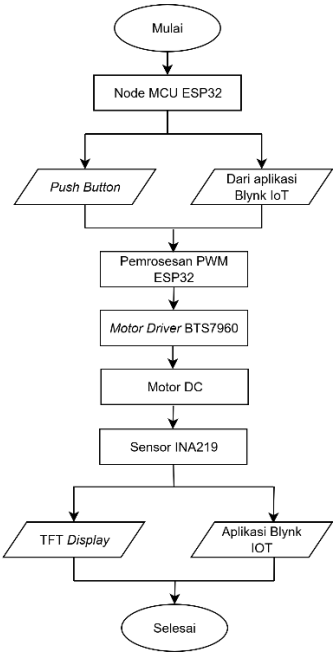
Gambar 1. Skema Wiring Sistem IoT Berbasis ESP32 yang Terintegrasi dengan Driver BTS7960, Sensor INA219, Motor DC, dan Tampilan TFT *Display*.

Perancangan bentuk fisik dirancang untuk mengintegrasikan semua komponen dengan tepat agar sistem dapat bekerja dengan optimal. Skema *wiring* ditunjukkan oleh Gambar 1. NodeMCU ESP32 (3) menjadi pusat kendali yang terhubung dengan *driver* BTS7960 (2) untuk mengatur motor DC 12 V (6), sementara sensor INA219 (5) mengukur arus dan tegangan lalu menampilkan data melalui TFT *Display* (4) serta mengirimkannya ke aplikasi Blynk IoT. Sistem mendapat suplai dari *power supply* 12 V (1) dan 3–15 V (7), dengan *push-button* (9) dan resistor 10 kΩ (8) sebagai kontrol manual. Rangkaian ini memungkinkan sistem bekerja terintegrasi untuk pengadukan *biofuel* sekaligus *monitoring* parameter kelistrikan secara *real-time*.

2.2. Perancangan Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Purwarupa Sistem Pengendali Motor Listrik Penggerak Stirrer Terkendali Melalui Sistem IoT



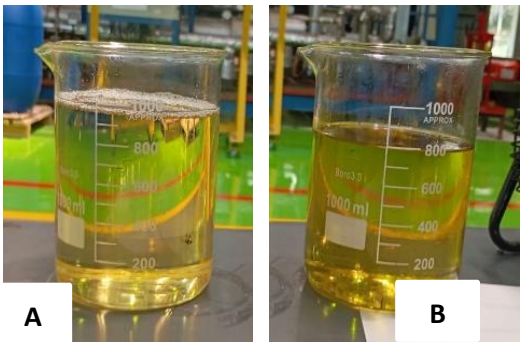
Gambar 3. Diagram Alir Sistem Alat Iot Berbasis ESP32 untuk Kendali dan *Monitoring* Motor DC pada Proses Pencampuran *Biofuel*.

Proses perancangan sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali utama yang diprogram melalui perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Arduino IDE berfungsi sebagai *platform* untuk menulis, menyunting, sekaligus mengunggah kode program ke mikrokontroler [20]. Berdasarkan Gambar 2 dapat dijelaskan, bahwa pengintegrasian dari sejumlah modul elektronika, rangkaian elektronika, dan subsistem pendukung lain didasarkan kepada sasaran dan metode penelitian.

Gambar 3 menampilkan diagram alir rancangan sistem. Diagram ini menunjukkan bahwa ESP32 menerima masukan kendali dari *push-button* atau aplikasi Blynk IoT, kemudian menghasilkan sinyal PWM untuk *motor driver* BTS7960 yang menggerakkan motor DC 12 V. Arus dan tegangan motor dipantau oleh sensor INA219, lalu data dikirim ke ESP32 melalui I2C. Hasil pengukuran ditampilkan secara lokal pada *TFT Display* sekaligus dikirim ke Blynk IoT untuk *monitoring real-time*.

2.4. Sampel *Biofuel*

Sampel *biofuel* yang digunakan adalah campuran FAME (*fatty acid methyl ester*) yang berasal dari turunan dari CPO (*crude palm oil*) atau minyak kelapa sawit dengan campuran minyak solar. Densitas FAME sebesar 873.6 kg/m^3 dan viskositas 4.469 mm^2/s. Gambar sampel FAME dan solar ditunjukan oleh gambar 4. Minyak solar adalah jenis bahan bakar yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi, dipisahkan fraksi-fraksinya melalui proses distilasi, densitas solar sebesar 829.0 kg/m^3 dan viskositas solar dan 2.655 mm^2/s. Perbedaan sifat fisik ini penting karena akan memengaruhi homogenitas campuran, beban putar motor, serta konsumsi daya selama proses pencampuran. Dengan demikian, pengujian pada berbagai variasi campuran FAME dan solar memungkinkan analisis yang lebih representatif terhadap kinerja sistem.



Gambar 4. Sampel *biofuel* berupa FAME dari minyak kelapa sawit (A) dan minyak solar hasil olahan minyak bumi (B) yang digunakan sebagai bahan pencampur dalam penelitian.

3. Analisa dan Hasil

3.1. Uji Reliabilitas Alat

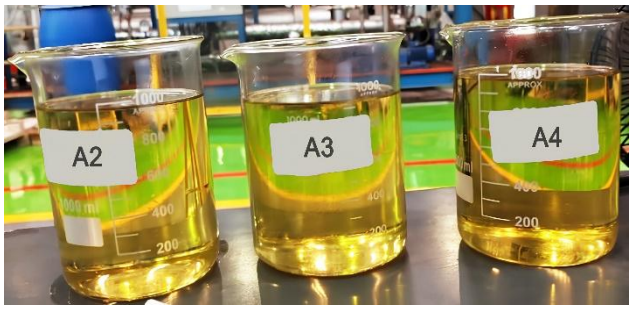
Uji reliabilitas alat dilakukan untuk menilai fungsi dan kinerja alat, pengukuran, dan hasil pemindaian instumen sensor. Dalam pengujian, parameter kelistrikan yang diuji adalah tegangan, arus, dan daya yang diukur dalam empat kondisi berbeda. Data parameter kelistrikan tersebut dikumpulkan secara kontinu selama 300 detik atau 5 menit pada setiap pengujian dengan pencatatan setiap 1 detik berdasarkan data *real-time* yang ditampilkan pada *dashboard* Blynk IoT, kemudian data dirata-rata dan diolah sehingga menghasilkan kurva yang menggambarkan fluktuasi operasional sistem. Besaran nilai daya dihitung berdasarkan pembacaan tegangan dan arus dari sensor INA219 yang memiliki ADC internal 12-bit dan mampu membaca tegangan, arus, dan daya dalam satu perangkat dengan pengambilan data cepat sekitar 1 ms [21]. Durasi 300 detik dipilih karena sensor memerlukan waktu *warm-up* agar pembacaannya stabil dan mengurangi ketidak akuratan pembacaan, selain itu untuk mengurangi fluktuasi sistem dan mempertahankan efisiensi pengiriman data dan konsumsi energi [22][23].

Visualisasi parameter kelistrikan sistem ditampilkan pada *dashboard* Blynk IoT sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5. *Dashboard* ini terdiri dari beberapa elemen utama, yaitu tombol saklar untuk menyalakan dan mematikan motor, *slider* untuk mengatur kecepatan putar, serta indikator digital dan *gauge* yang menampilkan nilai tegangan, arus, dan daya secara *real-time*. Dengan demikian, integrasi *monitoring* dan kendali melalui Blynk mendukung pencatatan data yang lebih efisien, transparan, dan mudah dianalisis.

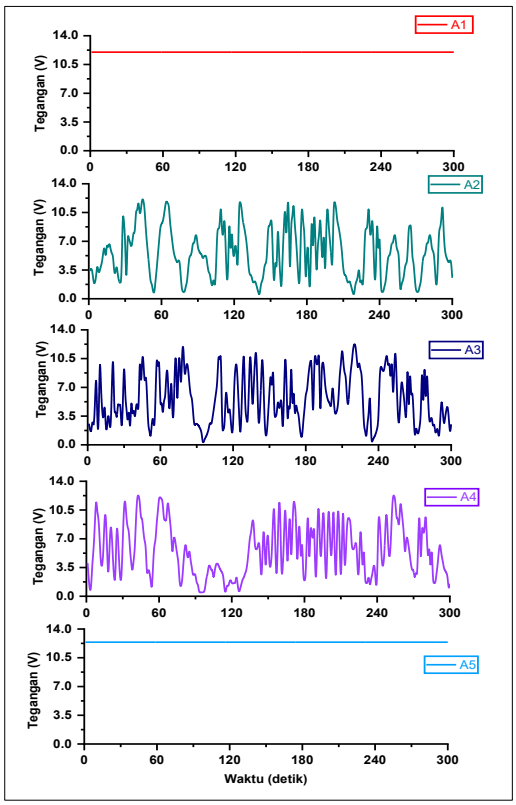


Gambar 5. Tampilan *Dashboard* Blynk Iot yang Digunakan untuk *Monitoring* dan Kendali Motor *Stirrer*.

Variabel pengujian terdiri atas empat kondisi pengujian. Motor bergerak tanpa beban (A1), motor menggerakkan *stirrer* untuk mengaduk *biofuel* dengan campuran 200 ml FAME + 800 ml solar (A2), 300 ml FAME + 700 ml solar (A3), dan 400 ml FAME + 600 ml solar (A4), pengukuran alat ukur disebut A5. Alat ukur yang digunakan adalah multimeter digital Habotest HT123. Sampel campuran FAME dengan solar ditunjukkan oleh gambar 6.

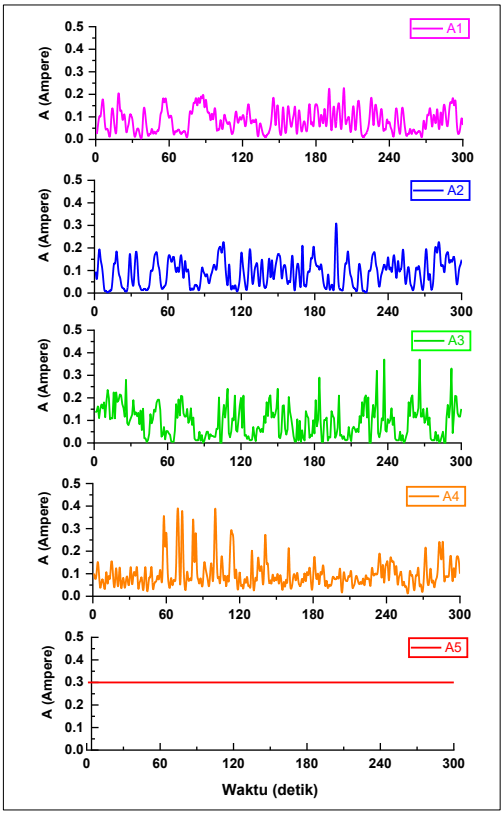


Gambar 6. Sampel Campuran FAME dengan Solar yang Digunakan Dalam Penelitian. A2 = 200 Ml FAME + 800 Ml Solar, A3 = 300 Ml FAME + 700 Ml Solar, A4 = 400 Ml FAME + 600 Ml Solar



Gambar 7. Grafik Perbandingan Tegangan Pada Kondisi Pengukuran oleh Sistem dengan Alat Ukur

Hasil pengukuran perbandingan tegangan antara kondisi pengukuran oleh sistem dan alat ukur ditunjukkan oleh gambar 7. Kondisi A1 konstan 12 Volt sedangkan pada A2, A3, dan A4 mengalami fluktuasi. Rata-rata hasil pengukuran pengukuran tegangan V2 5.63 Volt dengan tegangan tertinggi 12.34 Volt, rata-rata hasil pengukuran A3 5.62 Volt tegangan tertinggi yang dicapai 12.36 Volt, rata-rata hasil pengukuran A4 5.61 dan tegangan tertinggi yang dicapai adalah 12.36 Volt, sedangkan A5 sama dengan A1 menunjukkan nilai yang stabil yaitu 12.4 Volt. Data ini menunjukkan arus yang mengalir pada motor saat tanpa beban lebih stabil dibandingkan dengan saat mengaduk *biofuel.* Hal ini disebabkan arus yang mengalir melalui jangkar (*armature*) relatif kecil. Seiring dengan peningkatan beban maka arus jangkar meningkat untuk memenuhi kebutuhan torsi tambahan sehingga peningkatan arus ini menyebabkan penurunan tegangan internal akibat resistansi internal motor atau *drop* tegangan [24] [25]. Akibatnya, tegangan *output* menjadi kurang stabil saat motor membawa beban. Selain itu, ketidakseimbangan tegangan juga meyebabkan motor mengalami fluktuasi tegangan pada saat diberi beban yang dipengaruhi oleh distribusi beban yang tidak merata.

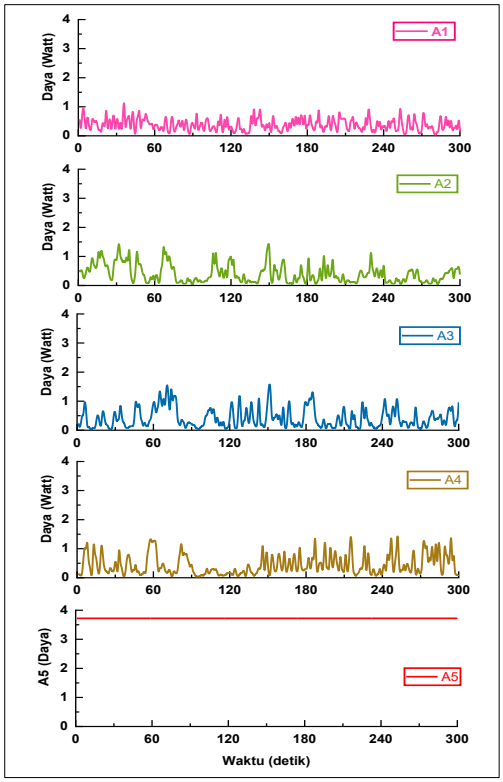


Gambar 8. Grafik Perbandingan Arus pada Kondisi Pengukuran oleh Sistem dengan Alat Ukur

Gambar 8 menampilkan grafik perbandingan arus pada kondisi pengukuran oleh sistem dengan sensor INA219 dan multimeter digital sebagai alat ukur pembanding. Rata-rata arus yang mengalir secara berturut-turut adalah A1 sebesar 0.084 A, A2 sebesar 0.091 A, A3 sebesar 0.095 A, A4 sebesar 0.98 A dan A5 sebesar 0.3. Arus maksimum yang dicapai adalah 0.28 A, 0.33 A, 0.37 A, dan 0.52 A. Berdasarkan data tersebut, pengukuran dengan sistem

mengalami fluktuasi dibandingkan dengan alat ukur yang stabil. Perbedaan ini dipengaruhi *switching* PWM pada motor yang menghasilkan *noise* sehingga data sistem lebih berfluktuasi [27]. Arus pada motor tanpa beban lebih rendah dibandingkan dengan motor yang dibebani dengan *biofuel*. Hal ini disebabkan oleh tingkat kekentalan *biofuel*, semakin tinggi tingkat kandungan FAME maka hambatan yang dihadapi oleh motor saat mengaduk juga meningkat. Secara langsung hal ini meningkatkan arus listrik yang diperlukan untuk mempertahankan kecepatan pengadukan. Dengan demikian, grafik ini menegaskan bahwa viskositas cairan berperan penting dalam menentukan beban motor dan konsumsi arus selama proses pencampuran *biofuel* [28] [30].

Perbandingan daya yang diukur oleh sistem pada kondisi pengujian ditunjukkan oleh gambar 9. Rata-rata daya yang dicatat berturut-turut adalah A1 sebesar 0.38 W, A2 sebesar 0.40 W, A3 sebesar 0.42 W, A4 sebesar 0.44 W dan A5 3.72 W. Nilai daya maksimum yang dicapai masing-masing kondisi adalah 1.5 W, 1.6 W, 1.79 W, dan 1.83 W. Data ini memperlihatkan tren peningkatan kebutuhan daya seiring dengan bertambahnya kandungan FAME dalam campuran *biofuel*. Peningkatan konsumsi daya terjadi karena viskositas campuran *biofuel* yang lebih tinggi memberikan hambatan mekanis lebih besar terhadap putaran *stirrer*, sehingga motor memerlukan torsi tambahan untuk mempertahankan kecepatan yang sama [30].



Gambar 9. Grafik Perbandingan Daya pada Kondisi Pengukuran oleh Sistem dengan alat ukur

Dalam menenutkan nilai *error* untuk nilai tegangan dan arus pada pengujian digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\%\ Error = \frac{|Nilai\ alat\ ukur - Nilai\ pembacaan\ sensor|}{Nilai\ alat\ ukur} \text{x } 100\% \quad (1)$$

$$\text{Akurasi}(\%) = 100\ \% - \%\ Error \quad (2)$$

Analisa ketidakpastian pengukuran daya dihitung secara tidak langsung dari hasil pengukuran tegangan dan arus sesuai persamaan berikut:

$$P = Vx\ I \quad (3)$$

dimana

P = daya
V = tegangan terukur
I = arus terukur

Karena tegangan dan arus diukur menggunakan multimeter, ketidakpastian absolut pada tiap variabel dihitung dari spesifikasi akurasi instrumen dan ketidakpastian daya dihitung dengan propagasi menggunakan persamaan berikut:

$$\pm(\%reading + digits) \quad (4)$$

$$\Delta P = P.\sqrt{\left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \quad (5)$$

dimana

ΔP = ketidakpastian absolut dari daya
ΔV = ketidakpastian absolut dari pengukuran tegangan
ΔI = ketidakpastian absolut dari pengukuran arus

$$\%error = \frac{\Delta P}{P}\ x\ 100\% \quad (6)$$

Tabel 1 menampilkan data rata-rata perbandingan hasil pengukuran sistem, *error*, dan akurasi dengan alat ukur. Hasil pengukuran sistem menunjukkan pada kondisi tanpa beban (A1), motor beroperasi pada tegangan 12 V dengan arus rata-rata 0.084 A dan daya 0.38 W. Saat motor diberi beban *biofuel*, kebutuhan arus meningkat seiring dengan persentase campuran FAME yang lebih tinggi, dari 0.091 A pada A2 hingga 0.098 A pada A4, dengan daya berturut-turut 0.40-0.44 W. Hal ini mengindikasikan bahwa viskositas *biofuel* yang lebih tinggi meningkatkan resistansi pengadukan, sehingga motor membutuhkan arus dan daya yang lebih besar untuk mempertahankan kecepatan. Pada pengukuran pembanding menggunakan multimeter (A5), diperoleh tegangan 12.4 V, arus 0.30 A, dan daya 3.72 W.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Pengukuran Sistem, *Error*, dan Akurasi dengan Alat Ukur

Variabel	Sampel	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
Pengukuran Sistem	A1	12	0.084	0.38
	A2	5.63	0.091	0.4
	A3	5.62	0.095	0.42
	A4	5.61	0.098	0.44
	A5	12.4	0.3	3.72
Error (%)	A1	0.03	0.72	0.89
	A2	0.55	0.7	0.89
	A3	0.55	0.68	0.88
	A4	0.54	0.67	0.88
	A5	0.62	0.3	1.12
Akurasi (%)	A1	99.97	99.28	99.11
	A2	99.45	99.3	99.11
	A3	99.45	99.32	99.12
	A4	99.46	99.33	99.12
	A5	99.38	99.7	99.88

Error daya sistem berkisar antara 0.88–1.12%, dengan akurasi 98.9–99.1%. *Error* terkecil terjadi pada pengukuran dengan beban *biofuel* (A2–A4), sedangkan *error* terbesar 1.12% muncul pada kondisi pembanding (A5). Nilai *error* daya yang konsisten di kisaran 1% menegaskan bahwa perbedaan hasil pengukuran terutama dipengaruhi oleh akurasi arus. *Error* arus yang lebih tinggi dibanding tegangan menunjukkan sensitivitas sensor INA219 terhadap fluktuasi sinyal akibat *switching* modulasi lebar pulsa *driver motor* BTS7960 dan gangguan elektromagnetik (EMI) dari motor DC. [31]. Ketika motor bekerja tanpa beban, *error* relatif lebih rendah karena arus stabil. Namun saat motor diberi beban *biofuel*, viskositas cairan meningkatkan resistansi mekanis, arus motor naik, dan sinyal semakin terpengaruh oleh *noise*, sehingga pembacaan sistem menjadi kurang stabil dibanding alat ukur standar. PWM mengontrol kecepatan motor DC dengan menghidupkan dan mematikan daya secara cepat, menciptakan sinyal pulsa dengan lebar yang bervariasi [31] [32]. Sensor INA219 mengukur arus searah secara kontinu, namun dapat mengalami kesulitan dalam memberikan pembacaan yang stabil ketika arus yang diukur berfluktuasi dengan cepat akibat PWM [32] [33]. *Switching* PWM pada *driver motor* menghasilkan gangguan berfrekuensi tinggi dan *differential noise* yang dapat masuk ke jalur pengukuran arus dan tegangan melalui induktansi kabel, *ground loops*, atau *coupling* sehingga mengganggu pembacaan sensor INA219 [27].

Dampak dari ketidakakuratan pembacaan nilai ini berpotensi pada keterlambatan atau kesalahan dalam mendeteksi perubahan beban pada motor, yang dapat mengurangi keandalan sistem *monitoring real-time.* Selain itu, *error* yang konsisten dapat menyebabkan perhitungan konsumsi daya menjadi bias, sehingga berdampak pada estimasi efisiensi proses dan prediksi umur pakai motor [33].

Secara keseluruhan, akurasi di atas 98%, hasil ini menunjukkan *error* yang terukur tidak hanya disebabkan oleh alat, tetapi diakibtakan juga oleh karakteristik sistem kendali berbasis PWM dan kondisi pengoperasian motor. Hasil ini menunjukkan adanya keterbatasan pada sistem yang digunakan untuk penggunaan yang mensyaratkan akurasi tinggi. Oleh karena itu, dalam mengurangi dampak dari efek ini dapat diterapkan *digital filter* atau *averaging* pada *firmware* guna meratakan fluktuasi residual [34] dan menambahkan *ferrite bead* atau *snubber* pada kabel motor untuk meredam EMI [35] agar stabilitas pengukuran arus dan daya dapat ditingkatkan.

Hasil pengujian kerja alat dan sistem motor penggerak pada proses pencampuran *FAME dan solar* dalam waktu 5 menit menunjukan hasil yang homogen sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Pengujian tingkat homogenitas, densitas dan viskositas dilakukan di laboratorium.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kerja Alat dan Sistem Motor Penggerak pada proses pencampuran *biofuel.*

Sampel	Waktu (min)	Variabel			PWM (%)
		Tingkat Homogenitas (%)	*Densitas (kg/m³)*	*Viskositas (mm²/s)*	
A2	5	17.91	845.1	3.086	
A3	5	27.38	848.9	3.217	53
A4	5	39.39	852.1	3.358	

Pengujian tingkat homogenitas, densitas dan viskositas dilakukan di laboratorium. Tingkat homogenitas campuran A1 adalah 17.911 %, A2 adalah 27.38% dan A3 adalah 39.32%. Berdasarkan hasil tersebut sistem dan alat telah berhasil mencampur *biofuel* dengan baik. Densitas masing-masing sampel adalah 845.1 kg/m³, 848.9 kg/m³, dan 852.1 kg/m³, viskositas adalah 3.0869 mm²/s, 3.2173 mm²/s, dan 3.3586 mm²/s. Viskositas dan densitas *biofuel* memiliki peran penting dalam menentukan kinerja motor pengaduk selama proses produksi *biofuel.* Kedua sifat fisik ini mempengaruhi efisiensi pencampuran, kualitas produk akhir, dan stabilitas proses. Viskositas mengukur resistensi aliran suatu cairan maka semakin tinggi viskositas, semakin kental cairan tersebut [28]. Viskositas yang tinggi dapat menyebabkan motor pengaduk bekerja lebih keras untuk mencapai homogenitas yang dapat meningkatkan konsumsi energi dan keausan [36]. Densitas berpengaruh terhadap konsumsi daya semakin tinggi densitas maka nilai komsumsinya akan semakin besar, hal ini menunjukkan bahwa konsumsi daya berbanding lurus dengan denstitas sampel [37].

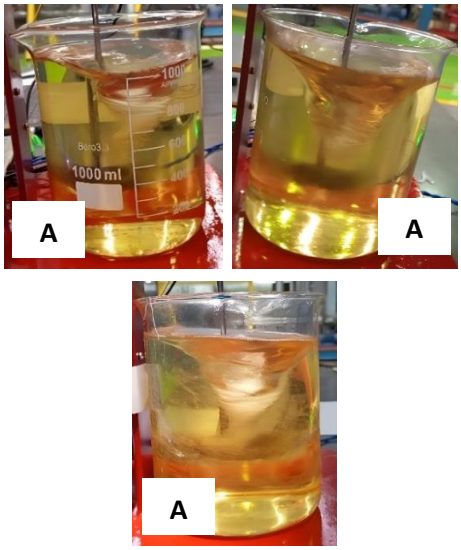
Tabel 3. Hasil Pengaruh Tingkat Densitas dan Viskositas Terhadap Tegangan, Arus, dan Daya

Sampel	Densitas (kg/m³)	Viskositas (mm²/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
A2	845.1	3.086	5.63	0.091	0.38662
A3	848.9	3.217	5.62	0.095	0.40589
A4	852.1	3.358	5.61	0.098	0.421463

Tabel 3 menyajikan pengaruh densitas dan viskositas terhadap parameter kelistrikan motor saat proses pengadukan *biofuel*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

peningkatan konsentrasi FAME dari sampel A2 hingga A4 menyebabkan kenaikan densitas (845.1 kg/m³-852.1 kg/m³) dan viskositas 3.0869 mm²/s-3.3586 mm²/s. Kondisi ini berdampak langsung pada kinerja motor, ditandai dengan penurunan pada tegangan 5.63 V-5.61 V, disertai peningkatan arus (0.09 1 A-0.098 A) dan daya listrik yang dikonsumsi 0.386 A-0.421 W. Dengan demikian, semakin tinggi kandungan FAME, semakin besar beban mekanis yang dihadapi motor maka meningkatkan arus dan daya untuk mempertahankan kecepatan pengadukan [37].

Gambar 10 memperlihatkan proses pencampuran sampel *biofuel* menggunakan alat dan sistem yang dikembangkan. Terlihat bahwa pencampuran pada sampel A2 berlangsung lebih ringan dibandingkan A3 dan A4. Perbedaan ini disebabkan oleh kandungan FAME yang lebih tinggi pada A3 dan A4, sehingga meningkatkan viskositas campuran dan menambah resistansi terhadap pengadukan. Kondisi tersebut membuat motor bekerja lebih berat untuk mempertahankan kecepatan pengadukan.



Gambar 10. Visualisasi proses pencampuran sampel *biofuel* menggunakan alat dan sistem sampel A2, A3 dan A4

4. Kesimpulan

Pengendalian kecepatan motor dan *monitoring* parameter kelistrikan pada pencampuran biofeul berbasis IoT berhasil dikembangkan pada penelitian ini dengan mengintegrasikan mikrokontroler ESP32, sensor INA219, dan aplikasi Blynk IoT. Sistem dapat memantau parameter tegangan, arus dan daya. Hasil pengujian terhadap sampel *biofuel* menunjukkan bahwa dengan variasi campuran FAME dapat tercampur homogen dalam waktu 5 menit, dengan peningkatan konsumsi daya seiring naiknya viskositas. Tegangan motor menurun dari 5.63 V pada A2 menjadi 5.61 V pada A4, sementara arus meningkat dari 0.091 A menjadi 0.098 A, yang berakibat pada peningkatan daya dari 0.386 W menjadi 0.421 W. Hal ini membuktikan bahwa viskositas *biofuel* berpengaruh langsung terhadap beban motor listrik. Akurasi sistem menunjukkan nilai 98.9%-99.1% dengan *error* tegangan 0.03%-0.62%, error arus 0.72%-0.3% dan *error* daya 0.88%-1.12%, sehingga meskipun sistem dapat menampilkan secara *real-time*, sistem masih terdapat fluktuasi pembacaan akibat pengaruh PWM dan EMI.

Keterbatasan ini menunjukkan bahwa sistem belum sepenuhnya stabil dibandingkan alat ukur standar, terutama pada kondisi arus rendah yang lebih rentan terhadap *noise*. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya perlu difokuskan pada solusi teknis, antara lain integrasi *filter RC* pada jalur sensor INA219, penerapan *metode digital averaging* pada *firmware* untuk meredam fluktuasi residual, serta penggunaan algoritma kontrol yang lebih adaptif agar sistem lebih efisien dan representatif dalam pengaplikasian.

Referensi

[1]. Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral, “Laporan Kinerja Ditjen EBTKE,” Jakarta, 2023.

[2]. C. Soolany, “Kajian Penggunaan Static Mixing Reactor Pada Proses Produksi Biodisel Secara Katalitik Dengan Sistem Continue.” Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali, 2014.

[3]. G. Gultom, “Fenomena Kekentalan Fluida Minyak Kelapa Sawit Terhadap Kemampuan Pompa Sentrifugal Pada Unit Vacuum Dyer,” *J. VOKASI Tek.*, vol. 1, no. 01, pp. 1–9, 2023.

[4]. W. H. Ichpas and J. C. Núñez, “IoT Platform-based Control Module for Remote Monitoring of Low-power Three-phase Motors,” in *2023 6th Asia Conference on Energy and Electrical Engineering (ACEEE)*, 2023, pp. 301–305.

[5]. V. B. Nur, D. Triyanto, and U. Ristian, “Sistem Pemantauan Tempat Penampungan Sampah Secara Realtime Dengan Memanfaatkan Location Tracking Menggunakan Antarmuka Website,” *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 9, no. 03, pp. 364–374, 2021.

[6]. M. A. H. Bin Roslan, N. H. M. Yunus, M. A. M. Azmi, J. Sampe, S. Y. M. Yassin, and T. A. T. Aziz, “Remote Controlling of Three-Phase Induction Motor Based on Auto Trans Starter with IoT Application,” in *2024 IEEE 10th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Applications (ICSIMA)*, 2024, pp. 162–167.

[7]. B. Artono, D. N. Prakoso, and T. A. W. Lestari, “Sistem Monitoring Mesin Pengaduk Adonan Roti Otomatis berbasis Internet of Things (IoT),” *J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 25–41, 2023.

[8]. Y. A. Nasution and S. I. HARYUDO, “Rancang Bangun Monitoring Motor Brushless Dc Berbasis Internet Of Things (Iot) Dengan Kontrol Fuzzy Logic,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, 2020.

[9]. M. A. ULUM and S. I. Haryudo, “Perancangan Sistem Monitoring Kecepatan Putar Motor DC Berbasis Internet Of Things Menggunakan Aplikasi BLYNK,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 1, 2020.

[10]. M. M. A. Kurniawan, I. G. P. W. WW, and A. Zubaidi, "Sistem Kendali Overhead Stirrer Berbasis Iot Dengan Fitur Pengaturan Waktu Dan Kecepatan Putaran," *Univ. Mataram*, 2024.

[11]. Q. Ding, K. Ji, H. Wu, and J. Yang, "Weak magnetic control of PMSM servo system with high bandwidth current loop," in *2023 IEEE 6th Student Conference on Electric Machines and Systems (SCEMS)*, 2023, pp. 1–6.

[12]. A. Tutaj, T. Drabek, P. Piatek, P. Kocwa, and J. Baranowski, "Research into the Causes of Undesired Synchronisation Between the Motor Speed and the PWM Modulation Frequency in a PM BLDC Drive," *Autom. Elektr. Zakłócenia*, 2023.

[13]. K. K. Kumar, S. Sivakumar, P. Patro, and RenuVij, "Improving the Efficiency of IoMT Using Fuzzy Logic Methods," in *Advances in Fuzzy-Based Internet of Medical Things (IoMT)*, Wiley, 2024, pp. 107–120.

[14]. N. P. Joshi and A. P. Thakare, "Speed Control Of DC Motor Using Analog PWM Technique," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 9, pp. 181–2278, 2012.

[15]. Z. Bi, "Chapter 1 - Overview of Finite Element Analysis," Z. B. T.-F. E. A. A. Bi, Ed. Academic Press, 2018, pp. 1–29.

[16]. D. Escudero-Mancebo, N. Fernández-Villalobos, Ó. Martín-Llorente, and A. Martínez-Monés, "Research methods in engineering design: a synthesis of recent studies using a systematic literature review," *Res. Eng. Des.*, vol. 34, no. 2, pp. 221–256, 2023.

[17]. K. P. Pagkalos, O. Panetas-Felouris, and S. Vlassis, "A time-mode PWM 1st order low-pass filter," *J. Low Power Electron. Appl.*, vol. 13, no. 2, p. 32, 2023.

[18]. T. P. Satya, "Analysis Of The Ina219 Sensor System And Voltage Divider On A Calibrate Multimeter," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 20, no. 2, pp. 48–52, 2024.

[19]. H. Tang, S. Lu, G. Qian, J. Ding, Y. Liu, and Q. Wang, "IoT-Based Signal Enhancement and Compression Method for Efficient Motor Bearing Fault Diagnosis," *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 2, pp. 1820–1828, 2021.

[20]. T. P. Satya, F. Puspasari, H. Prisyanti, and E. R. M. Saragih, "perancangan dan analisis sistem alat ukur arus listrik menggunakan sensor acs712 berbasis arduino uno dengan standard clampmeter," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 11, no. 1, pp. 39–44, 2020.

[21]. A. Manukovsky, A. Sagyndyk, A. Kislov, O. Talipov, and A. Manukovsky, "Wireless Data Acquisition System with Feedback Function," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 13. 2024.

[22]. T. Kanwal, S. U. Rehman, A. Imran, and H. A. Mahmoud, "Energy-Efficient Internet of Things-Based Wireless Sensor Network for Autonomous Data Validation for Environmental Monitoring.," *Comput. Syst. Sci. Eng.*, vol. 49, 2025.

[23]. V. E. Alvear-Puertas, Y. A. Burbano-Prado, P. D. Rosero-Montalvo, P. Tözün, F. Marcillo, and W. Hernandez, "Smart and Portable Air-Quality Monitoring IoT Low-Cost Devices in Ibarra City, Ecuador.," *Sensors (Basel).*, vol. 22, no. 18, Sep. 2022.

[24]. T. Sutikno, "Dasar-Dasar Motor DC dan Pengemudiannya," Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan, 2018, p. 98.

[25]. F. Umam, S. T. Hairil Budiarto, A. Dafid, and A. Md, *Motor Listrik*. Yogyakarta: Deep Publish (CV Budi Utama), 2021.

[26]. R. E. Nadhirza, "Perancangan Alat Pengaduk Adonan Bakery Menggunakan Motor Dc 1/2 Hp Dengan Kontroler PID," 2012.

[27]. E. Bushra, K. Zeb, I. Ahmad, and M. Khalid, "A comprehensive review on recent trends and future prospects of PWM techniques for harmonic suppression in renewable energies based power converters," *Results Eng.*, vol. 22, p. 102213, 2024.

[28]. R. N. Hasugian, I. Arifin, M. A. Hady, S. Budiprayitno, and S. T. Widodo, "Rancang Bangun Alat Ukur Viskositas Digital Pada Oli Menggunakan Sensor Efek Hall," *J. AMORI*, vol. 1, no. 2, 2020.

[29]. K. I. Muttaqin and R. Nur, "Rancang Bangun Mesin Pengaduk Pupuk Organik Cair (POC)," *JTAM ROTARY*, vol. 6, no. 1, pp. 41–52, 2024.

[30]. J. Wilewska, W. Orciuch, A. Dudała, P. Gierycz, and Ł. Makowski, "Power Consumption and Mixing Intensity of Jet Flow Mixer in Industrial Tank," *Energies*, vol. 18, no. 15, p. 3975, 2025.

[31]. B. Ardyanto, "Pengukuran Tegangan, Arus Dan Daya Listrik Menggunakan Perangakat Telepon Pintar." Universitas Muhammdiyah Surakarta, 2019.

[32]. B. Murtianta, "Pengaruh duty cycle dan frekuensi terhadap kecepatan putar motor DC," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 17, no. 01, pp. 13–26, 2018.

[33]. D. A. N. K. Suhermanto *et al.*, "Monitoring DC Motor Based On LoRa and IOT," *J. Robot. Control*, vol. 5, no. 1, pp. 54–61, 2024.

[34]. H. Arshad and T. Zayed, "A multi-sensing IoT system for MiC module monitoring during logistics and operation phases," *Sensors*, vol. 24, no. 15, p. 4900, 2024.

[35]. R. Okochi, H. Takatsuji, J. Imaoka, and M. Yamamoto, "EMI analysis and suppression method using ferrite beads applied to LLC converter," in *2021 IEEE International Future Energy Electronics Conference (IFEEC)*, 2021, pp. 1–6.

[36]. D. S. Aji, "Pengaruh Densitas Dan Viskositas Terhadap Karakteristik Injeksi Pada Campuran Biodiesel Jatropha-Kelapa Dan Jatropha-Jelantah. Skirpsi. Yogyakarta. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2021.

[37]. E. M. Muhammad and N. Abie, "Studi pengaruh kecepatan impeler terhadap aliran fluida dalam fermentor bioethanol secara visualisasi. Skripsi Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh November. 2017.