

Monitoring Motor DC Pada Mesin Pencacah Tandan Kosong Kelapa Sawit Berbasis Arduino

Sofiah^{1*}, Delita M Puteri², Muhammad Hurairah³, Taufik⁴, Akbar Admirullah Lubis⁵

12345 Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Palembang, Indonesia

*e-mail: sofikeran@gmail.com

ABSTRAK

Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku kompos, pakan ternak, maupun sumber energi biomassa. Proses pencacahan TKKS memerlukan kinerja motor penggerak yang stabil agar hasil pencacahan optimal dan proses produksi dapat berjalan secara efisien. Namun, pemantauan kondisi motor secara manual sering kali kurang efektif dalam mendeteksi perubahan parameter kerja yang dapat memengaruhi performa mesin. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring motor DC pada mesin pencacah tandan kosong kelapa sawit berbasis Arduino. Penelitian ini menganalisis kinerja Motor DC 48V sebagai penggerak alat pencacah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) berbasis panel surya dengan sistem monitoring arduino. Sistem terdiri dari panel surya, SCC, aki 48V, dimmer PWM 60A, serta sensor arus, suhu, dan kecepatan. Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa beban, beban konstan, dan beban bervariasi dengan parameter arus, tegangan, torsi, kecepatan, daya dan efisiensi. Dengan hasil menunjukkan peningkatan beban TKKS menyebabkan naiknya arus dan torsi disertai kenaikan suhu motor. Sistem monitoring efektif memberikan data real-time sehingga dapat mencegah overheating dan overcurrent. Motor DC 48V terbukti stabil dan efisien sehingga berpotensi diterapkan pada mesin pencacah berbasis energi terbarukan.

Kata Kunci: Tanda Kosong Kelapa Sawit, Panel Surya, Motor DC 48V, Arduino, Monitoring Kerja

Arduino-Based DC Motor Monitoring on an Oil Palm Empty Fruit Bunch Shredding Machine

ABSTRACT

Empty oil palm bunches (EFB) are solid waste from palm oil processing that have the potential to be used as raw material for compost, animal feed, or biomass energy sources. The EFB shredding process requires stable motor performance to achieve optimal shredding results and efficient production. However, manual monitoring of motor conditions is often ineffective in detecting changes in working parameters that can affect machine performance. Therefore, this study aims to design and implement a DC motor monitoring system on an Arduino-based empty oil palm bunch shredding machine. This study analyzes the performance of a 48-volt DC motor as a driver for an empty oil palm bunch shredding machine based on solar panels with an Arduino Uno monitoring system. The system consists of a solar panel, SCC, 48V battery, 60A PWM dimmer, and current, temperature, and speed sensors. Tests were conducted under no-load, constant load, and variable load conditions with parameters of current, voltage, torque, speed, power, and efficiency. The results show that increasing the EFB load causes an increase in current and torque accompanied by an increase in motor temperature. An effective monitoring system provides real-time data to prevent overheating and overcurrent. The 48V DC motor has proven stable and efficient, making it potentially suitable for use in renewable energy-based shredders.

Keywords: Empty Oil Palm Bunch, Solar Panel, 48V DC Motor, Arduino, Performance Monitoring

I. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai produsen kelapa sawit terbesar di dunia dengan menghasilkan limbah padat dalam jumlah yang sangat besar, salah satunya tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang mencapai 35–40%

dari total tandan buah segar yang diolah [1]. TKKS berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk kompos maupun bahan bakar biomassa. Pemanfaatan TKKS sebagai pupuk kompos memiliki nilai ekologis dan ekonomis yang tinggi [2], namun diperlukan proses pencacahan agar ukurannya lebih kecil dan mudah diolah. Motor DC 48 volt dipilih sebagai penggerak alat pencacah karena memiliki keunggulan berupa pengaturan kecepatan yang presisi, torsi responsif, serta efisiensi energi yang lebih baik dibandingkan motor induksi konvensional [3]. Beberapa penelitian sebelumnya membahas performa motor DC dalam pengendalian kecepatan dan efisiensi energi, namun kajian khusus pada motor DC 48V dalam aplikasi nyata dengan beban dinamis masih terbatas.

Penelitian ini merancang sistem pencacah TKKS dengan motor DC 1000 watt, 48V, 26A, dan 3000 RPM yang dipadukan dengan sistem monitoring berbasis Arduino Uno menggunakan sensor arus, suhu, dan kecepatan. Monitoring dilakukan untuk mencatat parameter kinerja seperti arus, torsi, kecepatan, daya, suhu, dan efisiensi motor saat menghadapi variasi beban pencacahan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kinerja motor DC 48V terhadap perubahan beban serta mengevaluasi efektivitas sistem monitoring dalam mendeteksi arus lebih dan overheating. Hasil penelitian diharapkan menjadi dasar pemilihan spesifikasi motor, perencanaan sistem proteksi, serta pengembangan mesin pencacah TKKS berbasis energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan.

Dengan berfokus pada analisis kinerja motor, penelitian ini memberikan gambaran yang komprehensif mengenai bagaimana motor DC merespons terhadap beban yang bervariasi, baik dari segi perubahan arus, suhu, torsi, maupun kecepatan. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan dalam pemilihan spesifikasi motor yang sesuai untuk aplikasi serupa, serta membantu dalam perencanaan sistem pendingin dan perlindungan motor yang lebih efektif. Selain itu, melalui pemanfaatan sistem monitoring berbasis Arduino untuk membaca arus dan suhu motor, serta penggunaan sensor kecepatan terpisah, penelitian ini juga menunjukkan bagaimana sistem pemantauan sederhana dapat digunakan untuk memperoleh data kinerja motor secara real-time.

II. METODE PENELITIAN

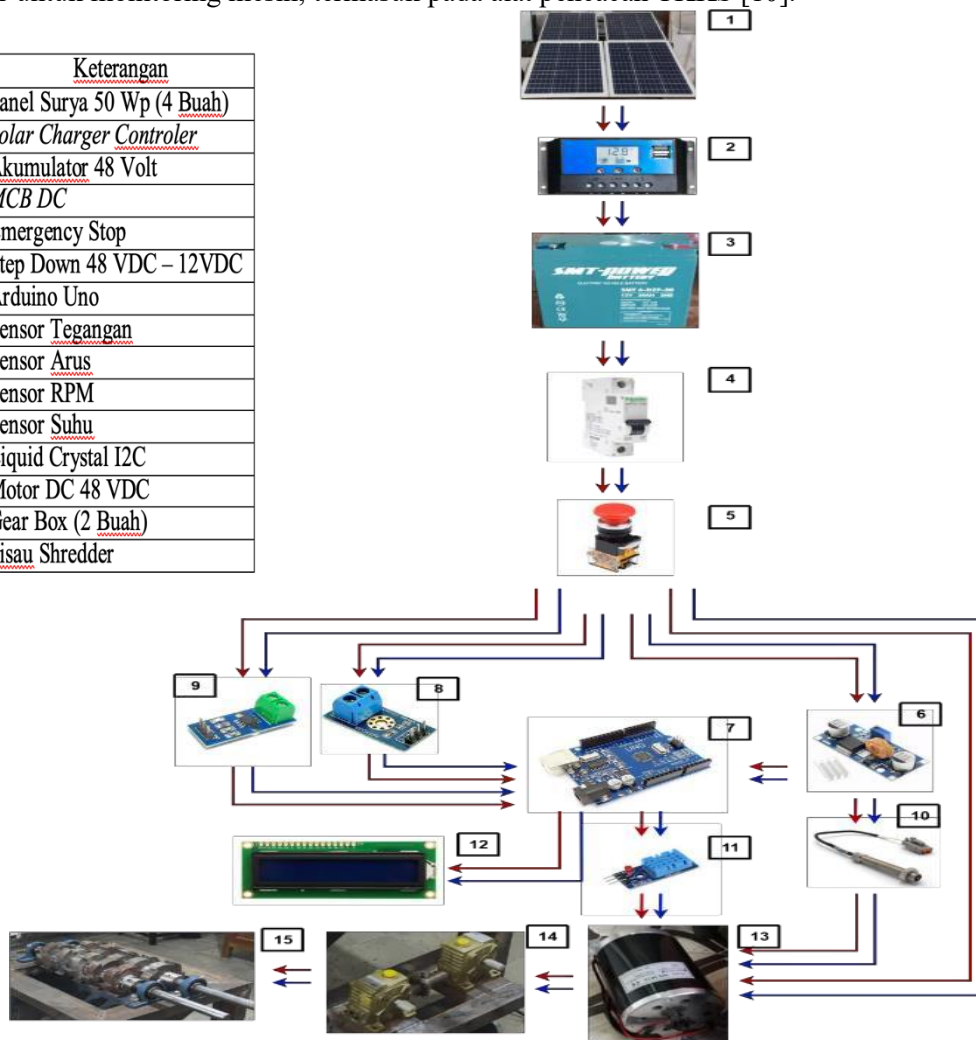
Alat pencacah TKKS bekerja dengan menggerakkan roller pisau melalui motor DC yang kecepatannya dikendalikan dimmer 48V 60A, sedangkan arus, suhu, dan kecepatan dimonitor oleh Arduino sehingga pengguna dapat mendeteksi kenaikan torsi yang berpotensi menyebabkan overheating dan kerusakan motor, sekaligus menjaga efisiensi serta memperpanjang umur pakai motor. Panel surya merupakan perangkat fotovoltaik yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Jenis yang umum digunakan yaitu monokristalin dengan efisiensi 15–22% [4], polikristalin 13–17%, serta thin-film 10–12% [5]. Sebagai sumber energi alternatif, panel surya bermanfaat bagi masyarakat di wilayah terpencil yang belum terjangkau listrik PLN, selain pilihan lain seperti genset.

Arduino menjadi platform elektronik open-source yang mudah digunakan, didukung komunitas luas, serta kompatibel dengan berbagai sensor dan modul sehingga banyak dimanfaatkan pada robotika, otomasi, dan IoT [6]. Arduino Uno berbasis mikrokontroler ATmega328P, umum dipakai untuk prototyping dan berbagai aplikasi elektronik (Arduino.cc). Arduino Uno memiliki berbagai fitur yang memudahkan pengguna untuk mengembangkan berbagai macam proyek [7].

Terdapat tiga sensor yang digunakan pada alat pencacah ini, yaitu Sensor DHT11 merupakan perangkat elektronik yang mendeteksi dan mengubah perubahan suhu menjadi sinyal listrik yang dapat diolah mikrokontroler seperti Arduino. Sensor ini memungkinkan pemantauan suhu secara real-time untuk mengaktifkan proteksi seperti kipas, alarm, atau penghentian motor. Pada alat pencacah TKKS, sensor suhu berfungsi mencegah overheating, menjaga stabilitas kinerja motor, memperpanjang umur pakai sistem, serta memastikan proses pencacahan berlangsung aman dan efisien [8]. Selanjutnya sensor arus ACS712 30A adalah modul berbasis efek Hall yang mampu mengukur arus DC maupun AC hingga $\pm 30A$ dengan output tegangan analog 0–5V dan titik nol 2,5V. Dengan sensitivitas 66 mV/A serta isolasi galvanis internal, sensor ini aman untuk mikrokontroler dan ideal digunakan pada sistem monitoring, proteksi overcurrent, pengukuran daya, serta pengendalian motor berbasis Arduino secara real-time [9].

Serta yang terakhir sensor kecepatan putaran (RPM) berbasis induktif berfungsi mendeteksi jumlah putaran poros per menit dengan membaca perubahan medan elektromagnetik dari objek logam yang berputar. Sinyal tersebut dikonversi menjadi data digital dan ditampilkan secara real-time melalui modul tujuh segmen, sehingga kecepatan poros dapat dipantau secara akurat dan aman. Sensor ini terdiri dari sensor induktif, kabel penghubung, modul pembaca sinyal, serta display digital, dan bekerja layaknya tachometer untuk monitoring mesin, termasuk pada alat pencacah TKKS [10].

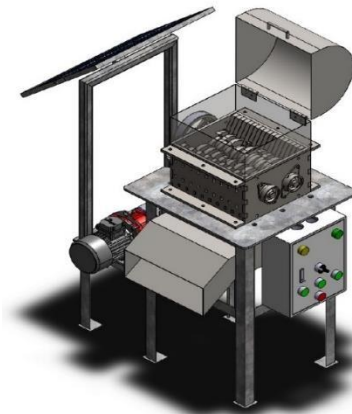
No	Keterangan
1	Panel Surya 50 Wp (4 Buah)
2	Solar Charge Controler
3	Akumulator 48 Volt
4	MCB DC
5	Emergency Stop
6	Step Down 48 VDC – 12VDC
7	Arduino Uno
8	Sensor Tegangan
9	Sensor Arus
10	Sensor RPM
11	Sensor Suhu
12	Liquid Crystal I2C
13	Motor DC 48 VDC
14	Gear Box (2 Buah)
15	Pisau Shredder



Gambar 1. Diagram Skema Alat

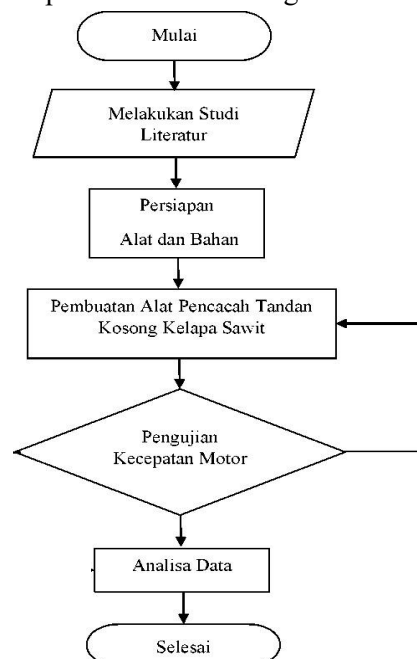
Skema perancangan alat ditunjukkan pada Gambar 1 dimana prinsip kerja dari alat pencacah tandan kosong kelapa sawit sebagai berikut:

1. Akumulator akan menyimpan daya energi baterai yang telah dikontrol oleh *Solar Charge Controller*.
2. Lalu Setelah Akumulator arus listrik akan melewati MCB DC sebagai pengaman dari beban lebih dan keselamatan dalam pengoprasian alat.
3. *Step Down* berfungsi sebagai menurunkan tegangan 48V DC ke 12 V DC untuk menyuplai tegangan Arduino dan Sensor RPM.
4. Sensor arus, dan sensor suhu sebagai monitoring pada rangkaian.
5. Arduino Uno berfungsi sebagai pemrogram untuk mengambil sinyal dari sensor dan akan ditampilkan pada liquid crystal I2C.



Gambar 2. Alat Pencacah Tanda Kosong Kelapa Sawit

Selanjutnya, metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan pada Gambar 3 terkait flowchart penelitian. Adapun penjabaran pada Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 3. Flowchart Penelitian

1. Pengumpulan Data Awal
Mengidentifikasi parameter dasar sistem, meliputi kapasitas motor DC (48V, 1000 W, 26A, 3000 RPM), jenis pisau pencacah, serta kebutuhan energi dari panel surya dan aki.
2. Persiapan Alat dan Bahan
Menyiapkan rangkaian alat pencacah TKKS yang terdiri dari motor DC, panel surya, solar charge controller (SCC), akumulator 48V, dimmer PWM 60A, Arduino, sensor arus ACS712, sensor suhu, dan sensor kecepatan (RPM). Seluruh komponen diuji terlebih dahulu untuk memastikan fungsinya.
3. Perakitan Sistem Monitoring
Memasang sensor arus, sensor suhu, dan sensor kecepatan yang terhubung ke Arduino. Arduino diprogram untuk menampilkan data secara real-time sehingga memudahkan pemantauan kondisi motor.

4. Pengujian Tanpa Beban, Beban Konstan, dan Beban Variasi
Motor diuji pada tiga kondisi, yaitu tanpa beban, beban konstan, dan beban bervariasi (pencacahan TKKS). Pada tiap kondisi dicatat parameter tegangan, arus, torsi, kecepatan putaran (RPM), daya, dan suhu motor.
5. Pengumpulan Data
Data hasil pengujian dari sensor dan alat ukur dicatat, termasuk perubahan arus dan suhu motor saat torsi meningkat akibat beban pencacahan.
6. Analisis Data
Data dianalisis untuk melihat hubungan antara beban pencacahan dengan parameter motor, serta mengevaluasi efisiensi kerja motor dan keandalan sistem monitoring berbasis Arduino.
7. Kesimpulan dan Rekomendasi
Menarik kesimpulan mengenai kinerja motor DC 48V pada alat pencacah TKKS serta memberikan rekomendasi terkait penggunaan sistem monitoring untuk mencegah overheating dan overcurrent agar umur pakai motor lebih panjang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Motor DC 48 Volt yang digunakan sebagai penggerak utama pada alat pencacah tandan kosong kelapa sawit berbasis monitoring arduino. Pengujian dilakukan sebanyak dua jenis pengujian yaitu beban konstan dan beban bervariasi. Pada beban konstan pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengujian dimana masing masing pengujian menggunakan berat TKKS yang konstan yaitu 1000 gram lalu pada beban variasi pengujian dilakukan sebanyak lima kali pengujian dimana masing masing pengujian menggunakan berat TKKS yang bervariasi yaitu 1000 gram, 2000 gram, 3000 gram, 4000 gram, dan 5000 gram.

1. Pengujian Dengan Beban Konstan

Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja motor DC 48 Volt sebagai penggerak utama alat pencacah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dalam kondisi beban konstan. Setiap siklus pengujian menggunakan beban tetap berupa TKKS seberat 1000 gram.

Tabel 1. Data Pengujian Beban Konstan

PENGUJIAN BEBAN KONSTAN DAN TANPA PENCHARGERAN								
Tanggal	Hasil Pengukuran							
	Berat Tankos	Waktu Pencacahan	Akumulator		Motor		Kecepatan	Suhu
	(gram)	(Menit)	V	I	V	I	(RPM)	(°C)
30-Jul-25	1000 gram	7,43	45,58	3,6	17,8	3,9	731,1	34,1
	1000 gram	7,23	45,34	3,45	18,2	4,6	738,5	33,7
	1000 gram	8,05	45,12	3,55	17,9	4,3	732,7	35,4
	1000 gram	7,38	44,85	3,48	18,1	4	736,4	35,9
	1000 gram	7,55	44,62	3,62	17,6	4,5	729,2	36,8

Pengujian pada 30 Juli 2025 dilakukan dengan beban konstan 1000 gram tandan kosong kelapa sawit (tankos) tanpa pengisian daya, sehingga akumulator menjadi satu-satunya sumber energi motor. Parameter yang diamati meliputi waktu pencacahan, tegangan, arus, RPM, dan suhu motor. Hasilnya, waktu pencacahan berada pada rentang 7,38–8,05 menit dengan rata-rata 7,52 menit, menunjukkan kinerja stabil. Tegangan akumulator tercatat 44,62–45,58 volt dengan arus 3,45–3,62 ampere, sedangkan motor menerima 17,6–18,2 volt dan 3,9–4,6 ampere, dengan RPM relatif stabil 729,2–738,5. Suhu motor meningkat bertahap dari 34,1°C hingga 36,8°C namun masih wajar. Secara keseluruhan, motor DC terbukti mampu bekerja stabil pada beban konstan tanpa suplai pengisian tambahan, serta mendukung

kinerja pencacah yang efisien dan konsisten. Perhitungan Daya Input dan Output. Perhitungan daya menggunakan persamaan untuk memperhitungkan daya input dan daya output sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad (1)$$

$$P(\text{in}) = 45,58 \times 3,60 = 164,09 \text{ Watt}$$

$$P(\text{out}) = 17,8 \times 3,90 = 69,42 \text{ Watt}$$

Maka didapatkan hasil perhitungan dari daya input dan daya output sebagai berikut :

Tabel 2. Daya Input Beban Konstan

Akumulator		Daya (P Input) (Watt)
V	I	
45,58	3,6	164,09
45,34	3,45	156,42
45,12	3,55	160,18
44,85	3,48	156,08
44,62	3,62	161,524

Dari pengujian beban konstan tanpa penchargeran, dilakukan pengukuran tegangan dan arus akumulator untuk menghitung daya input motor. Tegangan tercatat 44,62–45,58 V dengan arus 3,45–3,62 A, menghasilkan daya input 159,08–164,09 W. Perbedaan daya dipengaruhi fluktuasi tegangan dan arus akibat kapasitas aki, namun masih dalam rentang stabil untuk menggerakkan motor. Hal ini menunjukkan aki mampu menopang kebutuhan energi alat tanpa dukungan pengisian tambahan. Selanjutnya diperoleh hasil perhitungan daya output pada tabel berikut :

Tabel 3. Daya Output Beban Konstan

Motor		Daya (P Output) (Watt)
V	I	
17,8	3,9	69,42
18,2	4,6	83,72
17,9	4,3	76,97
18,1	4	72,4
17,6	4,5	79,2

Berdasarkan data Tabel 4.17, tegangan output motor tercatat 17,6–18,2 V dengan arus 3,90–4,6 A. Hasil perhitungan menunjukkan daya output bervariasi antara 72,40 W pada pengujian keempat (18,10 V; 4,00 A) hingga 83,72 W pada percobaan kedua (18,20 V; 4,6 A). Setelah menghitung daya input dan output selanjutnya menghitung efisiensi dari sistem.

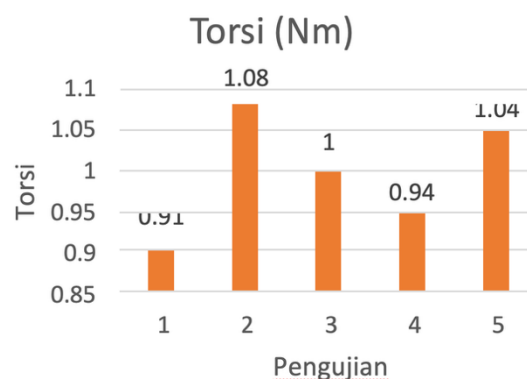
Tabel 4. Efisiensi Beban Konstan

Daya (P Input)	Daya (P Output) (Watt)	Efisiensi (%)
164,09	69,42	42,31
156,42	83,72	53,52

160,18	76,97	48,05
156,08	72,4	46,39
161,52	79,2	49,03

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dari perbandingan daya output dan input, diperoleh nilai efisiensi motor pada pengujian beban konstan sebesar 42,31%–53,52%. Efisiensi tertinggi terjadi pada pengujian kedua (53,52%), sedangkan terendah pada pengujian pertama (42,31%), dipengaruhi oleh kehilangan energi akibat gesekan mekanis, panas, beban pisau, serta penggunaan gearbox. Hal ini menunjukkan bahwa konversi energi listrik ke mekanik belum sepenuhnya optimal, namun motor tetap mampu menghasilkan daya sesuai kebutuhan.

Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan torsi yang dihasilkan oleh motor selama proses pencacahan. Nilai torsi akan dihitung berdasarkan rumus yang mengacu pada hubungan antara daya, kecepatan putaran (rpm), dan konstanta mekanik. Dalam perhitungan nilai torsi dapat dilihat pada grafik berikut sebagai berikut :



Gambar 4. Torsi Beban Konstan

Dari Gambar 4 terlihat bahwa torsi motor berada pada kisaran 0,91–1,08 Nm. Nilai tertinggi dicapai pada percobaan kedua sebesar 1,08 Nm saat daya 0,084 kW dan kecepatan 738,5 RPM, sedangkan terendah pada percobaan pertama sebesar 0,91 Nm dengan daya 0,069 kW dan kecepatan 731,1 RPM. Secara umum, torsi meningkat seiring kenaikan daya dan menurun dengan bertambahnya kecepatan (RPM). Hal ini menegaskan kemampuan motor dalam menghasilkan gaya puntir sebelum mengalami reduksi melalui gearbox.

2. Pengujian Dengan Beban Variasi

Pada tahap ini dilakukan pengujian alat pencacah tandan kosong kelapa sawit dengan beban yang divariasikan mulai dari 1000 gram sampai 5000 gram, guna mengetahui performa motor DC 48V ketika menghadapi kondisi kerja yang menyerupai keadaan sesungguhnya di lapangan. Beban divariasikan berdasarkan jumlah dan kepadatan tandan kosong yang dimasukkan ke dalam alat, sehingga menghasilkan perbedaan beban mekanis yang diterima oleh motor.

Tabel 5. Efisiensi Beban Konstan

PENGUJIAN BEBAN VARIASI DAN TANPA PENCHARGERAN								
Tanggal	Berat Tankos	Waktu Pencacahan	Akumulator		Motor		Kecepatan	Suhu
		(Menit)	V	I	V	I	(RPM)	(°C)
	1000 gram	7,35	46,9	1,97	19,71	2,39	806,5	31,7
	2000 gram	8,3	46,8	3,5	19,63	3,5	900	32,5

30-Jul-25	3000 gram	9,6	46,7	4,56	19,43	4,33	860	32,3
	4000 gram	11,5	46,6	6,65	20,15	6,1	1450	33,4
	5000 gram	13,48	46,4	8,83	21,3	7,65	1817,8	33,6

Waktu pencacahan meningkat seiring bertambahnya beban, dari 7,35 menit pada 1000 gram menjadi 13,48 menit pada 5000 gram, selaras dengan kenaikan arus motor. Tegangan akumulator turun tipis dari 46,9 V ke 46,4 V, sementara arus naik signifikan dari 1,97 A menjadi 8,83 A. Pada motor, tegangan naik dari 19,71 V ke 21,3 V dengan arus 2,39 A menjadi 7,65 A, menunjukkan peningkatan kerja motor dalam menyesuaikan torsi. Kecepatan motor justru meningkat dari 806,5 RPM menjadi 1817,8 RPM, diduga akibat karakteristik kontrol kecepatan seperti dimmer. Suhu naik dari 31,7°C ke 33,6°C, namun masih dalam batas aman. Secara umum, sistem pencacah bekerja responsif terhadap variasi beban, dengan performa motor tetap stabil dan terkontrol.

Selanjutnya perhitungan daya input dan daya output dengan beban bervariasi. Pada perhitungan ini dilakukan dengan diawali dengan perhitungan daya dari baterai dan motor untuk mengetahui daya yang terpakai. untuk memperhitungkan daya input dan daya output sebagai berikut :

$$P = V \times I \quad (2)$$

$$P \text{ (in)} = 46,9 \times 1,97 = 92,39 \text{ Watt}$$

$$P \text{ (out)} = 21,36 \times 5,16 = 110,22 \text{ Watt}$$

Dari Perhitungan daya yang telah dilakukan untuk pengujian beban variasi tanpa penchargeran dengan menggunakan pisau menyilang pada tabel didapatkan hasil perhitungan daya input pada tabel dibawah ini :

Tabel 6. Daya Input Beban Variasi

Akumulator		Daya (P Input) (Watt)
V	I	
46,9	1,97	92,39
46,8	3,5	163,8
46,7	4,56	212,95
46,6	6,65	309,89
6,4	84,83	409,71

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai tegangan berkisar antara 46,4 V hingga 46,9 V, dengan arus antara 1,97 A - 8,83 A. Berdasarkan data diperoleh nilai daya input yang bervariasi nilai daya terendah terdapat pada pengujian pertama dengan 92,39 Watt dan nilai daya tertinggi terdapat pada pengujian kelima dengan 409,71 Watt, Perbedaan daya ini disebabkan oleh variasi beban dan fluktuasi tegangan dan arus yang dipengaruhi oleh kapasitas aki selama proses pengujian berlangsung. Hal ini menandakan bahwa motor mampu mencacah tandan kosong kelapa sawit dan aki masih mampu menopang kebutuhan energi alat tanpa perlu dukungan pengisian daya tambahan.

Tabel 7. Daya Output Beban Variasi

Motor	Daya (P Output)
-------	-------------------

V	I	(Watt)
19,71	2,39	47,10
19,63	3,5	68,70
19,43	4,33	84,13
20,15	6,1	122,91
21,3	7,65	162,94

Berdasarkan data pada Tabel 7 diperoleh bahwa nilai tegangan output motor berkisar antara 19,71 V hingga 21,3 V, dengan arus antara 2,39 A hingga 7,65 A. Dari perhitungan, didapatkan nilai daya output motor yang bervariasi, nilai daya terendah terdapat pada pengujian pertama dengan nilai daya sebesar 47,10 Watt dan nilai daya tertinggi terdapat pada percobaan kelima dengan nilai daya sebesar 162,94 Watt. Nilai daya tertinggi diperoleh saat tegangan 21,3 V dan arus 7,65A, sedangkan daya terendah terjadi pada tegangan 19,71 V dan arus 2,39 A. Setelah diketahui nilai daya yang dibutuhkan oleh motor untuk melakukan proses pencacahan, langkah selanjutnya adalah menghitung efisiensi dari sistem. Perhitungan efisiensi ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana energi listrik yang disuplai ke motor dapat dimanfaatkan secara efektif untuk melakukan kerja mekanis.

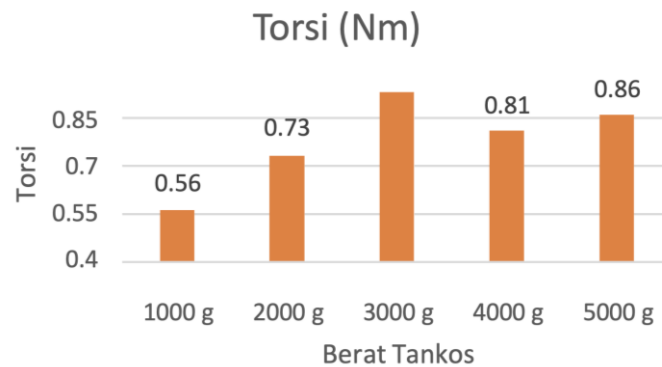
Dari Perhitungan daya yang telah dilakukan pada pengujian didapatkan hasil perhitungan efisiensi pada tabel dibawah ini :

Tabel 8. Efisiensi Sistem Beban Variasi

Daya (P Input) (Watt)	Daya (P Output) (Watt)	EFISIENSI (%)
92,39	47,11	50,99
163,80	68,71	41,94
212,95	84,13	39,51
309,89	122,92	39,66
409,71	162,95	39,77

Efisiensi motor pada pengujian beban konstan tanpa penchargeran dengan pisau spiral bervariasi antara 39,51% hingga 50,99%. Nilai tertinggi dicapai pada daya input 92,39 W dengan output 47,11 W, sedangkan terendah pada input 212,95 W dengan output 84,13 W. Fluktuasi dipengaruhi beban mekanis, gesekan, dan resistansi listrik, sementara efisiensi di bawah 60% masih wajar pada motor DC dengan dimmer. Secara keseluruhan, motor tetap menunjukkan kinerja cukup efisien untuk mendukung operasi alat pencacah.

Setelah diperoleh nilai daya output motor dari hasil pengukuran tegangan dan arus, tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan torsi yang dihasilkan oleh motor selama proses pencacahan. Perhitungan torsi ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar gaya puntir yang mampu diberikan motor terhadap gear box. Nilai torsi akan dihitung berdasarkan rumus yang mengacu pada hubungan antara daya, kecepatan putaran (rpm), dan konstanta mekanik. Dengan demikian, nilai torsi yang diperoleh dapat digunakan sebagai indikator kemampuan motor dalam menghadapi beban pencacahan. Dengan hasil dari perhitungan torsi ditampilkan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Torsi Beban Variasi

Dari Gambar 5 terlihat torsi motor berkisar 0,56–0,93 Nm. Nilai tertinggi tercatat pada percobaan ketiga sebesar 0,93 Nm saat daya 0,084 kW dan kecepatan 860 RPM, sedangkan terendah pada percobaan pertama sebesar 0,56 Nm dengan daya 0,047 kW dan kecepatan 806,5 RPM. Secara umum, torsi berbanding lurus dengan daya dan berbanding terbalik dengan RPM, sehingga perubahan salah satu parameter memengaruhi hasil torsi. Hal ini menunjukkan motor mampu menghasilkan gaya puntir secara stabil, dengan fluktuasi yang masih wajar untuk aplikasi pencacah.

IV. KESIMPULAN

Motor DC 48 Volt pada alat pencacah tandan kosong kelapa sawit berbasis Arduino mampu bekerja secara stabil pada beban konstan dan tetap responsif terhadap beban variasi. Pada beban konstan, khususnya dengan pisau spiral, putaran motor lebih stabil dengan torsi relatif rendah sehingga efisiensi kerja terjaga, sedangkan penggunaan pisau menyilang menghasilkan torsi lebih tinggi namun dengan penurunan RPM akibat beban mekanis yang lebih berat. Pada beban variasi, baik pisau spiral maupun menyilang, terjadi fluktuasi signifikan pada arus, tegangan, daya, dan torsi, terutama saat beban puncak yang menyebabkan efisiensi menurun akibat meningkatnya rugi-rugi listrik dan mekanik. Sistem monitoring berbasis Arduino terbukti mampu menampilkan parameter kinerja seperti tegangan, arus, suhu, dan putaran motor secara real time dengan akurasi yang baik, sehingga memudahkan evaluasi kinerja motor di berbagai kondisi pengoperasian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Praevia and W. Widayat, "Analisis pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit sebagai cofiring pada PLTU batubara," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 28–37, 2022, doi: 10.14710/jebt.2022.13367.
- [2] F. L. Syaiful, A. A. Siahaan, and R. H. Putri, "Inovasi pembuatan pupuk organik dari tandan kosong kelapa sawit dan pupuk kandang di Nagari Sungai Kunyit Kabupaten Solok Selatan," *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, vol. 5, no. 3, pp. 148–156, 2022, doi: 10.25077/jhi.v5i3.613.
- [3] R. Adolph, "Opportunities and challenges of the Industry 4.0: How ready is vocational education," pp. 1–23, 2020.
- [4] P. Generation, "Internet of Things for monitoring and optimisation of stand-alone systems in rural area: An experimental case," vol. 20, no. 2, pp. 612–626, 2025.
- [5] A. Mohsin, "Multiple-criteria optimization of hydrogen-powered climate change mitigation methods for electricity & water," 2025.

- [6] A. Zein, “Pengelolaan sistem parkir dengan menggunakan long range RFID reader berbasis Arduino Uno,” *Jurnal Ilmu Komputer JIK*, vol. 6, no. 2, p. 1, Jul. 2023.
- [7] B. Dilla, B. Widi, S. Wilyanti, A. Jaenul, Z. M. Antono, and A. P., “Implementasi solar charge controller untuk pengisian baterai dengan menggunakan sumber energi hybrid pada sepeda motor listrik,” vol. 6, no. 2, pp. 128–135, 2022.
- [8] U. L. B. Situmorang, S. S. Mazruk, J. Napitupulu, and J., “Rancang bangun automatic transfer switch PLN-inverter dengan dilengkapi auto charging,” 2022.
- [9] N. Fath, A. Rizky, A. Rakhman, S. Maulana, and S. Sujono, “Perancangan mobil listrik menggunakan motor DC brushed 36 volt 450 watt,” *Kilat*, vol. 11, no. 1, pp. 10–20, 2022, doi: 10.33322/kilat.v11i1.1334.
- [10] T. Teguh, A. A. Ali Akbar, and K. N. Kuni Nadliroh, “Analisa kinerja dynotest berbasis momen inersia,” Doctoral dissertation, Universitas Nusantara PGRI Kediri, pp. 1–23, 2023.