

## MODIFIKASI ALAT PENGEMPA BIOBRIKET DENGAN MONITORING TEKANAN *REAL TIME* BERBASIS IOT

Annisa Rahmawati<sup>1</sup>, Eko Supriadi<sup>1</sup>, Harmiwati NH<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan, Politeknik ATI Padang, Jalan Bungo Pasang Tabing,  
25171

\*email : [harminahar@gmail.com](mailto:harminahar@gmail.com)

### Abstrak

Salah satu energi alternatif yang potensial untuk dikembangkan adalah biobriket. Biobriket merupakan bahan bakar padat berbasis biomassa yang dibuat dari limbah organik seperti serbuk kayu, sekam padi, dan limbah pertanian. Pemanfaatan biobriket tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, tetapi juga menjadi solusi pengelolaan limbah dan pengurangan emisi gas rumah kaca. Penelitian ini fokus pada pencetakan biobriket menggunakan modifikasi peralatan pengempa dengan menambahkan monitoring tekanan operasi secara real time berbasis IoT (Internet of Things). Sensor tekanan yang dipasang pada sistem hidrolik diharapkan dapat membaca tekanan aktual secara tepat dan detail. Dengan demikian proses dapat dijaga dengan konstan dan diharapkan mampu meningkatkan konsistensi kualitas biobriket dari segi densitas, kadar air, volatile matter, dan nilai kalor, sekaligus mempercepat proses produksi. Hasil penelitian yang dilakukan didapatkan tekanan optimal untuk pengempaan biobriket dengan bahan baku tempurung kelapa yaitu pada 80 Psia dengan komposisi perekat 5% dihasilkan biobriket dengan densitas sebesar 0,79 g/cm<sup>3</sup>. Dengan kondisi perekat optimum 5%, tekanan optimum 80 psia dan ukuran partikel 100 mesh didapatkan kualitas biobriket dengan kadar air 6,91 %, denistas 0,63 g/cm<sup>3</sup>, kadar abu 12%, volatil matter 15% dan fixed carbon pada 66,09 % memenuhi SNI 01-6235-2000.

**Kata Kunci :** Biobriket, tekanan, Internet of Things

## MODIFICATION OF BIOBRIQUETTE EXTRUDER WITH REAL TIME PRESSURE MONITORING BASED ON IoT

### Abstract

One of the potential alternative energy sources for development is biobriquettes. Biobriquette is solid fuels based on biomass, made from organic waste such as wood dust, rice husks, and agricultural waste. The utilization of biobriquette is not only reduces dependency on fossil fuels but also provides a solution for waste management and the reduction of greenhouse gas emissions. This research focuses on pressing biobriquettes using a modified compaction equipment featuring real-time operating pressure monitoring based on IoT (Internet of Things). The pressure sensor installed in the hydraulic system is expected to read the actual pressure precisely and in detail. Consequently, the process can be maintained constantly, which is anticipated to improve the quality consistency of the biobriquettes in terms of density, moisture content, volatile matter, and calorific value,

Submitted: October 17<sup>th</sup>, 2025; Revised: Januari 13<sup>th</sup>, 2026; Accepted: January 20<sup>th</sup>, 2026; Available Online: January 26<sup>th</sup>, 2026

© 2025, The Authors. Published by SAINTI: Majalah Ilmiah Teknologi Industri | This is an open access article under the [CC BY-SA license](#)

*while simultaneously accelerating the production process. From the research conducted, the optimal pressure for pressing biobriquettes made from coconut shell feedstock was found to be 80 Psia with a 5% binder composition, achieving a density of 0.79 g/cm<sup>3</sup>. Under the optimum conditions of a 5% binder, an 80 Psia optimum pressure, and a 100 mesh particle size, the resulting biobriquette quality was as follows Moisture Content 6.91 %, Density 0.63 g/cm<sup>3</sup>, Ash Content 12 %, Volatile Matter 15 %, Fixed Carbon 66.09 %. These results meet the SNI 01-6235-2000.*

**Keywords:** *Biobriquettes, pressure, Internet of Things*

---

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi nasional semakin meningkat dari tahun ke tahun, sementara ketersediaan energi fosil semakin menipis. Hal ini mendorong pengembangan energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan. Salah satu energi alternatif yang potensial adalah biobriket, bahan bakar padat berbasis biomassa yang dibuat dari limbah organik seperti serbuk kayu, sekam padi, dan limbah pertanian (Wu et al., 2025). Pemanfaatan biobriket tidak hanya mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, tetapi juga menjadi solusi pengelolaan limbah dan pengurangan emisi gas rumah kaca (Firmansyah et al., 2023).

Kualitas biobriket ditentukan oleh tekanan pengepresan (Cavallo & Pampuro, 2017), komposisi perekat (Cholilie & Zuari, 2021), dan ukuran partikel arang (Suryaningsih et al., 2020). Tekanan berperan sangat penting dalam menentukan kerapatan (densitas) dan kekuatan mekanik biobriket. Jika tekanan terlalu rendah, briket akan rapuh dan mudah hancur, sebaliknya jika tekanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan bahan baku pecah atau cetakan rusak. Oleh karena itu standar tekanan perlu disesuaikan berdasarkan jenis bahan baku dan teknologi pencetak yang digunakan (Usaka & Ibrahim, 2023).

Penelitian yang sudah dilakukan oleh (Putri et al., 2025) telah berhasil

melakukan rancang bangun *prototype* pencetak biobriket dengan sistem hidrolik. Dari hasil penelitian didapatkan sistem hidrolik mampu menghasilkan biobriket dengan densitas rata-rata 0,8 g/cm<sup>3</sup>, sesuai standar internasional (0,46–1,2 g/cm<sup>3</sup>). Uji kuat tekan yang dilakukan menghasilkan nilai 13,529–15,349 kgf/cm<sup>2</sup> ( $\approx$ 1,3–1,5 MPa atau 189–218 psi), yang berada dalam standar mutu BNJ 01-6235-2000 (12–50 kgf/cm<sup>2</sup>). Hal ini membuktikan bahwa sistem hidrolik mampu memberikan tekanan seragam dan sesuai standar untuk menghasilkan biobriket berkualitas. Hanya saja dari penelitian telah dilakukan (Putri et al., 2025) alat ukur tekanan tidak mampu membaca tekanan secara detail.

Untuk menjawab tantangan diatas, perlu dilakukan modifikasi alat pengempa biobriket sistem hidrolik dengan menambahkan sensor tekanan berbasis *Internet of Things* (IoT). Sensor tekanan yang dipasang pada sistem hidrolik diharapkan dapat membaca tekanan aktual secara tepat dan detail. Dengan demikian proses dapat dijaga dengan konstan dan diharapkan mampu meningkatkan konsistensi kualitas biobriket yang dihasilkan dari segi densitas, kadar air, *volatile matter*, dan nilai kalor, sekaligus mempercepat proses produksi.

Dari keterbatasan penelitian (Putri et al., 2025) diatas dirumuskan fokus penelitian ini dengan melakukan

modifikasi alat pengempa biobriket dengan sistem hidrolik berbasis IoT untuk bisa melakukan monitoring tekanan dengan akurat secara *real time* (setiap saat) dan darimana saja. Monitoring tekanan secara *real time and anywhere* merupakan kebaruan dalam penelitian ini yang diharapkan akan meningkatkan konsistensi proses terutama tekanan proses untuk menghasilkan biobriket dengan kualitas yang stabil dan terukur.

### METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan modifikasi dan penyempurnaan peralatan pengempa yang sudah dibuat oleh (Putri et al., 2025). Modifikasi dilakukan pada penambahan sensor IoT untuk membaca alat ikur tekanan lebih detail dan *real time*. Adapun peralatan yang ditambahkan sebagai berikut:

#### Perakitan sensor

Pada tahap ini disiapkan komponen-komponen yang diperlukan untuk perakitan sensor:

- a. *Load Cell Zemic H18C* (2 ton sebagai sensor berat).

*Load Cell Zemic 2 ton* adalah sensor gaya berbasis *strain gauge* yang berfungsi untuk mengukur beban atau tekanan yang diterima oleh permukaan secara presisi. *Load Cell Zemic* ini mampu menahan beban hingga 2 ton, sangat cocok untuk sistem hidrolik pada alat pengempa biobriket. *Load Cell Zemic* digunakan untuk memantau tekanan pengepresan secara *real time* sehingga operator dapat memastikan tekanan proses dapat dimonitor setiap saat.

- b. Modul HX711 (penguat sinyal load cell).

Modul HX711 merupakan modul penguat sinyal (*amplifier*) khusus yang digunakan untuk membaca *output* sinyal dari *load cell*. Karena sinyal dari *load cell* sangat kecil (dalam *milivolt*), maka diperlukan *amplifier* agar sinyal tersebut dapat dibaca oleh *mikrokontroler* seperti ESP32. Modul HX711 dilengkapi dengan konverter analog ke digital (ADC) beresolusi tinggi sehingga data tekanan yang dihasilkan lebih presisi. Modul ini bekerja dengan dua *channel* dan memiliki kecepatan sampling yang cukup untuk pemantauan tekanan secara *real-time* (Zaldi et al., 2022).

- c. ESP32 (mikrokontroler untuk proses data).

ESP32 merupakan *mikrokontroler* generasi baru yang dilengkapi dengan koneksi *Wi-Fi* dan *Bluetooth* serta memiliki prosesor *dual-core* dengan performa tinggi. Perangkat ini digunakan sebagai otak utama sistem IoT dalam proyek ini. ESP32 berfungsi untuk membaca data dari sensor *load cell* melalui *amplifier*, memproses data tersebut, dan menampilkannya secara lokal melalui LCD maupun secara daring melalui aplikasi pemantauan. Penggunaan ESP32 mempunyai kemampuan lebih tinggi dalam pengolahan data dan konektivitas jarak jauh, memungkinkan sistem pemantauan tekanan terintegrasi dengan platform digital seperti Blynk atau Thingspeak.

- d. LCD 16x2 dengan modul I2C (untuk tampilan).

LCD *display* berfungsi sebagai tampilan visual lokal dari nilai tekanan yang dibaca oleh sensor dan diproses oleh ESP32. Dengan adanya LCD,

operator dapat langsung melihat nilai tekanan aktual saat pengepresan berlangsung tanpa perlu membuka aplikasi eksternal. Umumnya digunakan layar LCD 16x2 atau LCD I2C yang hemat pin dan daya (Prasetyo & Nugroho, 2020).

- e. Jumper cable dan breadboard/PCB.
- f. Arduino IDE (untuk pemrograman).

Pemasangan kabel *Load Cell* ke modul HX711

**Tabel 1.** Sambungan *Load Cell* ke Modul HX711

<i>Load Cell Kabel</i>	<b>Warna Umum</b>	<b>Ke HX711</b>
Excitation+ (E+)	Merah	E+
Excitation- (E-)	Hitam	E-
Signal+ (S+)	Hijau	A+
Signal- (S-)	Putih	A-

Pemasangan sambungan modul HX71 ke ESP32

**Tabel 2.** Sambungan modul HX71 ke ESP32

<i>HX711 Pin</i>	<b>Arduino Pin</b>
VCC	5V
GND	GND
DT (Data)	D3
SCK (Clock)	D2

Pemasangan LCD 12C ke ESP32

- a. SDA LCD → GPIO **21** ESP32.
- b. SCL LCD → GPIO **22** ESP32.
- c. VCC LCD → **5V** ESP32.
- d. GND LCD → **GND** ESP32.

Pemrograman di aplikasi Arduino IDE dilakukan dengan cara:

- a. Instal library HX711 dan LiquidCrystal\_I2C melalui Library Manager.

- b. Buat program sesuai pedoman

Kalibrasi pada sensor dilakukan dengan cara:

- a. Hidupkan sistem tanpa beban, pastikan nol
- b. Letakkan beban standar (misalnya 1 kg)
- c. Ubah nilai kalibrasi faktor hingga LCD menampilkan angka sesuai
- d. Uji dengan beban lain untuk memastikan linearitas.

Selanjutnya dilakukan penyambungan moduler dengan aplikasi Blynk dan dilakukan pengujian.

Proses pengempaan Biobriket menggunakan peralatan modifikasi alat pengempa dengan monitoring tekanan secara *real time*.

Bahan baku biobriket yang akan digunakan adalah limbah tempurung kelapa, dimana menurut penelitian (Ansar et al., 2020) tempurung kelapa memiliki potensi untuk menghasilkan biobriket yang paling bagus. Bahan baku tempurung kelapa yang telah mengalami pengecilan ukuran dan pengayakan sebanyak 23,3 gram dicampur dengan perekat dengan perbandingan 1:10 dimasukkan ke alat pengempa

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Alat Pengempa Biobriket Terkoneksi Sensor Tekanan

Penelitian ini telah berhasil memodifikasi alat pengempa biobriket dari penelitian sebelumnya (Putri et al., 2025) dengan mengintegrasikan sensor *Load Cell Zemic* yang dihubungkan dengan modul HX711 sebagai penguat sinyal, kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32. Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD I2C dan sudah disimulasikan dengan aplikasi Blynk

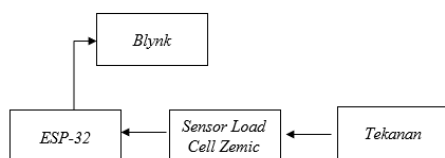
dengan melakukan pemantauan tekanan secara *real-time*.



**Gambar 1.** Alat pengempa biobriket yang terkoneksi sensor

### Skema Microcontroller pada Alat Pengempa Biobriket

Perangkat *Internet of Things* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Arduino versi ESP-32 yang sudah mendukung koneksi *wi-fi*, sehingga dapat terhubung langsung dengan aplikasi *Blynk* dan dipantau secara *real-time* melalui *smartphone* maupun laptop sesuai kebutuhan

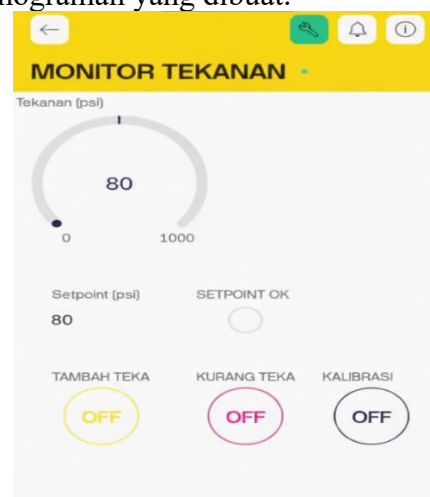


**Gambar 2.** Skema microkontroler pada alat pengempa biobriket

### Pembacaan Tekanan

Pembacaan tekanan dimulai ketika tuas pada dongrak hidrolik diberi tekanan, kemudian piston akan bergerak

naik keatas sampai menekan sensor *Load Cell Zemic*. Selanjutnya sensor *Load Cell Zemic* mengubah sinyal tekanan menjadi data digital melalui HX711, yang memudahkan pembacaan tekanan oleh mikrokontroler seperti ESP-32. Kemudian data digital tersebut diterima oleh ESP-32 yang memproses data tersebut agar dapat ditampilkan ke aplikasi *Blynk* sesuai dengan bahasa pemrograman yang dibuat.



**Gambar 3.** Tampilan aplikasi *blynk*

### Pengaruh Tekanan terhadap Densitas Biobriket

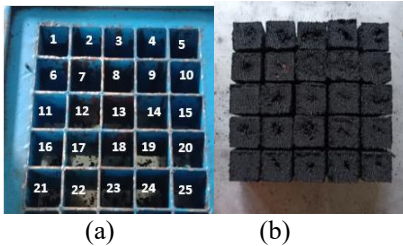
Untuk melihat pengaruh tekanan operasi pada alat pengempa biobriket terhadap hasil biobriket yang didapatkan dilakukan penelitian dengan melakukan variasi tekanan pada 40 psia, 60 psia, 80 psia, dan 100 psia dengan komposisi perekat 5%, dan ukuran mesh biobriket 80 mesh (Putri et al., 2025) dengan hasil sebagai berikut:

**Tabel 3.** Pengaruh tekanan terhadap densitas Biobriket

Run	Tekanan (psia)	Perekat (%)	Mesh	Kadar Air (%)	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
1	40	5	80	7,75	0,92
	60			6,68	0,82
	80			7,29	0,90
	100			7,50	1,09
2	40	5	80	6,90	0,54
	60			6,69	0,57
	80			6,91	0,79
	100			7,06	0,93

Komposisi perekat yang optimum merujuk kepada hasil percobaan (Putri et al., 2025) yaitu pada 5%. Dengan menggunakan komposisi perekat tersebut kemudian dilakukan pengujian variasi tekanan yaitu pada 40, 60, 80, dan 100 psia. Dari Tabel 3 dapat dilihat untuk hasil densitas terbaik yang memenuhi standar SNI yaitu maksimum pada 0,8 g/cm<sup>3</sup> berada pada tekanan 80 psia di percobaan kedua dengan angka 0,79 g/cm<sup>3</sup> dimana angka densitas ini masih berada pada standar SNI biobriket.

Distribusi mutu biobriket pada kondisi optimum



Gambar 4. (a) Cetakan dan (b) Hasil Distribusi Tekanan Biobriket

Untuk mengetahui tekanan dapat terdistribusi dengan sempurna ke seluruh bagian cetakan dapat dilakukan dengan memasukkan sampel untuk 1 kotak disamaratakan pada 23,30 g, kemudian dilakukan proses pengempaan sampai tekanan 80 psia, selanjutnya dikeluarkan biobriket dari cetakan dan di lakukan pengukuran panjang, lebar dan tinggi dari biobriket untuk mengetahui berapa volume biobriket yang dihasilkan kemudian hitung densitas masing-masing biobriket.

Data densitas dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4. Keceragaman Densitas					
No Cetakan	Tekanan (psia)	Tinggi (cm)	Berat awal (g)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
1		4.0	23.21	27.00	0.86
2		4,0	23.28	27.00	0.86

3		4.1	23.25	27.70	0.84
4		4.1	23.32	27.70	0.84
5		4.1	23.34	27.70	0.84
6		4.0	23.26	27.00	0.86
7		3.8	23.39	25.70	0.91
8		4.0	23.24	27.00	0.86
9		4.0	23.36	27.00	0.86
10		4.0	23.27	27.00	0.86
11		3.9	23.30	26.40	0.88
12		4.2	23.22	28.40	0.82
13		4.1	23.33	27.70	0.84
14	80	3.9	23.37	26.40	0.88
15		4.2	23.23	28.40	0.82
16		3.9	23.35	26.40	0.88
17		4.2	23.29	28.40	0.82
18		4.0	23.31	27.00	0.86
19		4.0	23.25	27.00	0.86
20		4.0	23.38	27.00	0.86
21		4.0	23.33	27.00	0.86
22		4.0	23.27	27.00	0.86
23		3.8	23.40	25.70	0.91
24		4.0	23.28	27.00	0.86
25		4.0	23.35	27.00	0.86

Dari hasil penelitian diatas didapatkan bahwa untuk distribusi tekanan dengan menggunakan pompa hidrolik sudah mendekati sempurna dengan tingkat keseragaman yaitu 98%.

Hasil Uji Mutu Biobriket

Uji mutu biobriket dilakukan untuk menilai kesesuaian produk dengan standar mutu SNI 01-6235-2000. Parameter yang diuji meliputi kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, dan densitas. Secara keseluruhan, hasil uji mutu biobriket menunjukkan bahwa kadar air sudah sesuai standar, *fixed carbon* cukup tinggi, dan densitas lebih tinggi dari standar. Namun, kadar abu dan *volatile matter* masih melebihi standar sehingga mutu biobriket perlu ditingkatkan dengan perbaikan proses karbonisasi.

Hasil penelitian ini memperkuat teori bahwa perekat, tekanan, dan ukuran mesh adalah parameter kritis dalam pembuatan biobriket (Sandri et al., 2021). Variasi perekat berpengaruh pada kadar air dan densitas, variasi tekanan berpengaruh pada keseragaman ukuran biobriket, sedangkan variasi mesh berpengaruh pada kerapatan biobriket. Kualitas terbaik diperoleh pada kombinasi perekat 5%, tekanan 80 psia, dan mesh 100. Kondisi ini menghasilkan kadar air sesuai SNI, densitas tinggi ( $0,97 \text{ g/cm}^3$ ), serta *fixed carbon* di atas 60%. Namun demikian, kadar abu dan *volatile matter* masih di atas standar, yang menunjukkan bahwa tahap karbonisasi perlu ditingkatkan.



**Gambar 5.** Hasil Biobriket

**Tabel 5.** Hasil Uji Mutu Biobriket pada kondisi Operasi Optimal

Run	Perekat %	Tekanan (psia)	Mesh	Kadar Air (%)	Densitas $\text{g/cm}^3$	Kadar abu %	Volatil Mater %	Fixed Carbon
1	5	80	100	6,90	0,97	13	19	61,1
2				6,91	0,93	12	15	66,09
Standar SNI				Max 8	$\leq 0,6$	Max 8	Max 15	

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan disimpulkan alat pengempa biobriket dengan sistem sensor tekanan dengan pembacaan tekanan secara *real time* berhasil dimodifikasi dari penelitian sebelumnya (Putri et al., 2025). Tekanan dapat terbaca pada layar LCD. Tekanan optimal untuk pengempaan biobriket dengan bahan baku tempurung kelapa yaitu pada 80 psia dengan komposisi perekat 5% didapatkan densitas sebesar  $0,97 \text{ g/cm}^3$ . Dengan kondisi perekat optimum 5%, tekanan optimum 80 psia dan ukuran partikel 100 mesh didapatkan kualitas biobriket dengan rata-rata kadar air 6,905 % (memenuhi standar SNI), denistas  $0,95 \text{ g/cm}^3$ , kadar abu 12,5%, *volatil matter* 15% dan *fixed carbon* pada 66,09 %.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ansar, A., Setiawati, D. A., Murad, M., & Muliani, B. S. (2020). Karakteristik Fisik Briket Tempurung Kelapa Menggunakan Perekat Tepung Tapioka. *Jurnal Agritechno*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.20956/at.v13i1.227>
- Cavallo, E., & Pampuro, N. (2017). Effects of compressing pressure on briquettes made from woody biomass. *Chemical Engineering Transactions*, 58, 517–522. <https://doi.org/10.3303/CET1758087>
- Cholilie, I. A., & Zuari, L. (2021). Pengaruh Variasi Jenis Perekat terhadap Kualitas Biobriket



- Berbahan Serabut dan Tandan Buah Lontar (*Borassus flabellifer* L.). *Agro Bali: Agricultural Journal*, 4(3), 391–402. <https://doi.org/10.37637/ab.v4i3.774>
- Firmansyah, A. H., Zamrudy, W., & Naryono, E. (2023). Studi Kelayakan Pemanfaatan Limbah (Blotong, Ampas Tebu, Tetes) Sebagai Biobriket. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(3), 303–317. <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i3.3798>
- Prasetyo, E., & Nugroho, A. (2020). Rancang bangun sistem monitoring suhu dan kelembapan berbasis IoT menggunakan ESP32. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 8(1), 45–52.
- Putri, I. D., Maharani, S. A., NH, H., & Nirmala, D. (2025). Rancang Bangun Prototype Pencetak Biobriket dengan Sistem Hidrolik. *Jurnal Sains Dan Teknologi (JSIT)*, 5(1), 16–22. <https://doi.org/10.47233/jsit.v5i1.2610>
- Sandri, D., Fatimah, F., & Faridah, F. (2021). Analisis Kualitas Biobriket Cangkang Biji Karet Dengan Perbedaan Konsentrasi Perekat. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 8(1), 55–64. <https://doi.org/10.34128/jtai.v8i1.136>
- Suryaningsih, S., Anggraeni, P. M., & Nurhilal, O. (2020). Pengaruh Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Termal Dan Mekanik Briket Campuran Arang Sekam Padi Dan Kulit Kopi. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 9(02), 79. <https://doi.org/10.24198/jmei.v9i2.26351>
- Usaka, E., & Ibrahim. (2023). *European Journal of Science, Innovation and Technology Effect of Process Parameters on the Quality of Bio-Coal Briquette Produced from Prosopis Africana Pods*. 3(6), 264–275. [www.ejsit-journal.com](http://www.ejsit-journal.com)
- Wu, M., Wei, K., Jiang, J., Xu, B. Bin, & Ge, S. (2025). Advancing green sustainability: A comprehensive review of biomass briquette integration for coal-based energy frameworks. *International Journal of Coal Science and Technology*, 12(1). <https://doi.org/10.1007/s40789-025-00779-0>
- Zaldi, H. F., Subiyanto, L., & Nugraha, A. T. (2022). Sistem Monitoring Pengujian Tekanan pada Pipa Air PVC Berbasis Arduino dan IoT. In *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro* (Vol. 11, Issue 02, pp. 40–48). <https://doi.org/10.47709/elektriese.v11i02.1659>