

Rancang Bangun Alat Pencacah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Bakar pada Pabrik Semen dan PLTU

Ahmad Qodratillah^{1*}, Akram Alimin², Muhammad Anshar³ dan Ahmad Zubair Sultan⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

*E-main korespondensi: akramalimin051@gmail.com

Abstract: Empty palm oil bunches (EPOB) are one of the most abundant solid wastes generated from the palm oil industry, accounting for approximately 30–35% of fresh fruit bunch weight. Despite their availability, their utilization remains suboptimal, particularly as a renewable energy source. This study aims to design, fabricate, and evaluate the performance of an EPOB shredder intended to support co-firing applications in cement plants and coal-fired power plants. The shredder was designed to produce particle sizes of 8–12 cm with an initial target capacity of ± 100 kg/h. The research was conducted at the Energy Laboratory of the Mechanical Engineering Department, Politeknik Negeri Ujung Pandang, over a four-month period. Experimental testing was performed at three rotational speeds, namely 1500 rpm, 2000 rpm, and 2500 rpm, to determine the optimal operating condition. The results show that the highest performance was achieved at 2500 rpm, producing a maximum capacity of 381.05 kg/h. Furthermore, the processed EPOB exhibited a calorific value of 4173.54 Cal/kg and a moisture content of 9.4%, indicating its suitability as an alternative fuel for co-firing systems. Although higher rotational speeds increased fuel consumption, the overall performance demonstrated a significant improvement in productivity and fuel quality. The developed shredder effectively enhances the physical characteristics of EPOB, enabling its utilization as a sustainable biomass fuel. This study contributes to waste management strategies and supports the transition toward renewable energy in industrial applications.

Keywords: EPOB; shredder; co-firing; renewable energy; cement plants; power plants.

Abstrak: Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah padat yang dihasilkan dalam jumlah besar dari industri kelapa sawit, yaitu sekitar 30–35% dari berat tandan buah segar. Pemanfaatannya sebagai sumber energi terbarukan masih belum optimal, khususnya dalam aplikasi co-firing pada pabrik semen dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji kinerja alat pencacah TKKS guna menghasilkan bahan bakar biomassa dengan ukuran partikel yang sesuai. Alat dirancang untuk menghasilkan cacahan berukuran 8–12 cm dengan kapasitas awal ± 100 kg/jam. Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang selama empat bulan, dengan variasi kecepatan putaran 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja optimal dicapai pada kecepatan 2500 rpm dengan kapasitas maksimum sebesar 381,05 kg/jam. Selain itu, TKKS hasil pencacahan memiliki nilai kalor sebesar 4173,54 Kal/kg dan kadar air 9,4%, sehingga memenuhi kriteria sebagai bahan bakar alternatif dalam sistem co-firing. Meskipun peningkatan putaran menyebabkan konsumsi bahan bakar lebih tinggi, kinerja alat secara keseluruhan menunjukkan peningkatan produktivitas dan kualitas bahan bakar. Dengan demikian, alat pencacah yang dikembangkan mampu meningkatkan nilai guna limbah TKKS serta mendukung pengelolaan limbah dan pengembangan energi terbarukan di sektor industri.

Kata kunci : TKKS; pencacah; co-firing; energi terbarukan; pabrik semen; PLTU.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia yang menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah besar, khususnya tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Limbah ini mencapai sekitar 30–35% dari total berat tandan buah segar, sehingga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan [1]. TKKS merupakan biomassa lignoselulosa yang tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga memiliki karakteristik yang sesuai untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif [2].

Pemanfaatan TKKS sebagai sumber energi telah banyak diteliti, baik dalam bentuk bio-oil melalui proses pirolisis, biogas melalui fermentasi anaerob, maupun bahan bakar padat seperti briket

dan pelet [3], [4]. Selain itu, TKKS juga berpotensi digunakan dalam skema co-firing bersama batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan industri semen, yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menurunkan emisi gas rumah kaca [5]. Studi menunjukkan bahwa karakteristik termal dan nilai kalor TKKS cukup kompetitif untuk digunakan sebagai bahan bakar biomassa dalam sistem pembakaran [6].

Namun demikian, pemanfaatan TKKS secara langsung masih menghadapi beberapa kendala teknis, seperti ukuran partikel yang besar, kadar air yang relatif tinggi, serta distribusi ukuran yang tidak seragam. Kondisi ini dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan menyulitkan proses penanganan material [7]. Oleh karena itu, diperlukan proses pretreatment, salah satunya melalui pencacahan, untuk memperkecil ukuran partikel, meningkatkan homogenitas, serta memperbesar luas permukaan sehingga meningkatkan reaktivitas biomassa [8].

Beberapa penelitian telah mengkaji pengaruh pretreatment mekanis terhadap peningkatan kualitas biomassa sebagai bahan bakar, termasuk peningkatan efisiensi konversi energi dan kestabilan proses pembakaran [9]. Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus berfokus pada perancangan alat pencacah TKKS dengan kapasitas tinggi dan performa optimal untuk aplikasi industri masih relatif terbatas [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji alat pencacah TKKS yang mampu menghasilkan ukuran partikel sesuai kebutuhan co-firing, dengan kapasitas kerja yang optimal. Pengembangan alat ini diharapkan dapat meningkatkan nilai guna TKKS sebagai bahan bakar alternatif serta mendukung pengelolaan limbah dan pengembangan energi terbarukan di sektor industri.

II. METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, dengan tahapan kegiatan meliputi perancangan, fabrikasi, dan pengujian alat yang berlangsung selama empat bulan.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Seperangkat *Tools*
- Mesin Gerinda
- Mesin Bor
- Mesin Las
- Amplas
- Tachometer
- Moisture Meter

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Tandan Kosong Kelapa Sawit
- Plat Baja 2,5 mm
- Plat Baja 5 mm
- Besi Siku 3mm
- Gear 15T, 28T dan 35T
- Bearing
- Rantai 428
- Motor bakar 13 HP
- Baut dan mur
- Besi poros 2 inch
- Reduser (1:30)

C. Diagram Alir Penelitian

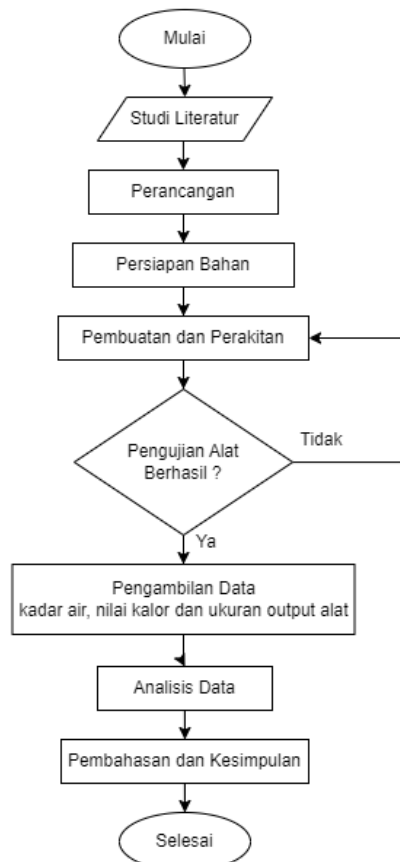
Diagram alir penelitian menggambarkan tahapan sistematis yang dilakukan mulai dari tahap awal hingga diperoleh hasil akhir penelitian. Proses penelitian diawali dengan studi literatur, yaitu pengumpulan referensi terkait pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit (TKKS), teknologi pencacahan biomassa, serta konsep co-firing pada industri energi. Tahap ini bertujuan untuk memperoleh dasar teoritis dan menentukan spesifikasi awal perancangan alat.

Selanjutnya dilakukan perancangan alat, yang meliputi desain mekanik, penentuan dimensi komponen, pemilihan material, serta perhitungan kebutuhan daya dan sistem transmisi. Hasil dari tahap ini berupa gambar desain dan spesifikasi teknis alat pencacah TKKS.

Tahap berikutnya adalah fabrikasi alat, yang mencakup proses pemotongan material, perakitan rangka, pembuatan dan pemasangan komponen utama seperti poros, pisau pencacah, casing, hopper, serta instalasi sistem transmisi dan motor penggerak. Setelah proses fabrikasi selesai, dilakukan pemeriksaan dan pengujian awal (trial test) untuk memastikan seluruh komponen berfungsi dengan baik dan aman dioperasikan.

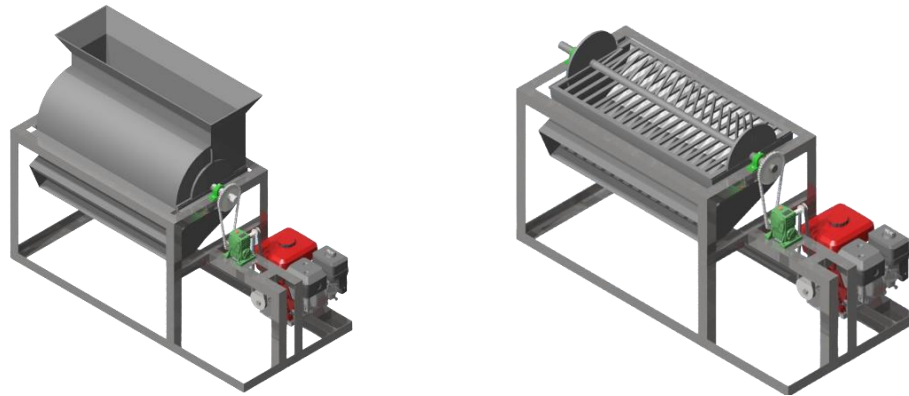
Selanjutnya dilakukan pengujian kinerja alat dengan variasi kecepatan putaran (1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm). Pada tahap ini dilakukan pengambilan data, meliputi kapasitas kerja, konsumsi bahan bakar, ukuran hasil cacahan, serta kadar air TKKS. Data yang diperoleh kemudian diolah pada tahap analisis data menggunakan metode deskriptif dan komparatif untuk menentukan kondisi operasi optimum alat.

Tahap akhir adalah penarikan kesimpulan, yang didasarkan pada hasil analisis untuk mengevaluasi kinerja alat pencacah serta kesesuaiannya sebagai alat pendukung pemanfaatan TKKS dalam sistem co-firing. Dengan alur penelitian yang sistematis ini, diharapkan hasil yang diperoleh memiliki tingkat validitas dan keandalan yang tinggi serta dapat diaplikasikan pada skala industri.

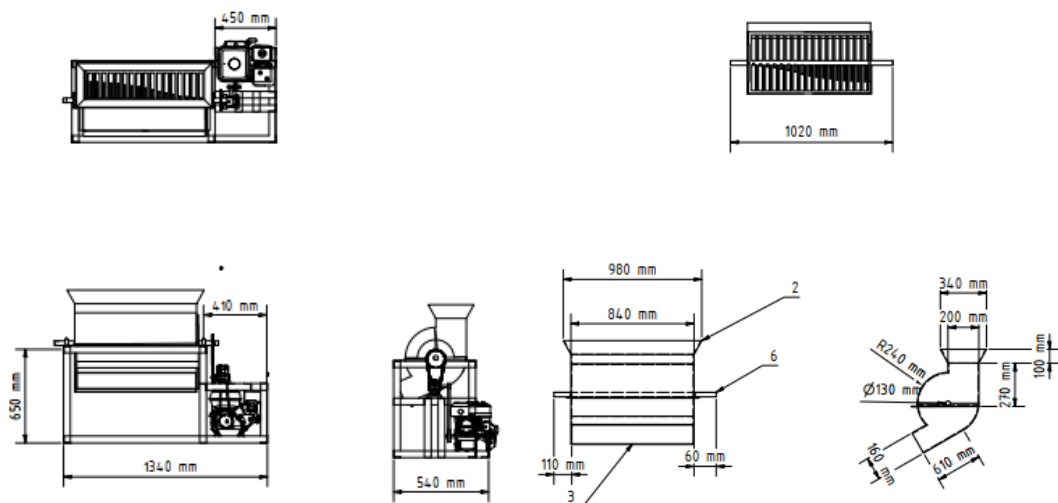


Gambar 1. Flowchart prosedur penelitian

D. Tahap Perakitan



Gambar 2. Desain Alat Pencacah



Gambar 3. Rancangan Alat Pencacah

E. Prosedur Percobaan

Dalam tahap pengujian dan pengambilan data, ada langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

1. Menyiapkan semua alat yang dibutuhkan.
2. Pembuatan rangka yang diawali oleh pemotongan besi menggunakan gerinda dan pengelasan menggunakan mesin las Listrik.
3. Pemasangan casing yang diawali dengan pemotongan plat sesuai bentuk yang sudah di rancang.
4. Pembuatan corong menggunakan plat sesuai bentuk yang sudah di rancang.
5. Pembuatan dan pemasangan pisau dan dudukan pisau sesuai bentuk yang telah dirancang.
6. Pemasangan motor bakar.
7. Pemasangan gear box.
8. Selesai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kinerja Alat

Pengujian kinerja alat pencacah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dilakukan pada tiga variasi kecepatan putaran, yaitu 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm. Parameter utama yang diamati adalah kapasitas kerja alat, yang dihitung berdasarkan massa bahan yang dicacah per satuan waktu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putaran berbanding lurus dengan peningkatan kapasitas kerja alat. Pada kecepatan 1500 rpm diperoleh kapasitas rata-rata sebesar 180,33 kg/jam, kemudian meningkat menjadi 237,50 kg/jam pada 2000 rpm, dan mencapai nilai maksimum sebesar 381,05 kg/jam pada 2500 rpm.

Peningkatan kapasitas ini disebabkan oleh bertambahnya energi kinetik pada poros dan pisau pencacah, sehingga frekuensi pemotongan material menjadi lebih tinggi. Selain itu, gaya potong yang dihasilkan juga meningkat, memungkinkan proses pencacahan berlangsung lebih cepat dan efektif. Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran merupakan parameter penting yang sangat mempengaruhi performa alat pencacah.

Namun demikian, peningkatan kecepatan putaran juga perlu mempertimbangkan aspek keausan komponen dan stabilitas operasi. Pada kecepatan tinggi, potensi getaran dan beban dinamis pada sistem meningkat, sehingga diperlukan desain struktur dan pemilihan material yang memadai untuk menjamin keandalan alat dalam jangka panjang.

B. Analisis Nilai Kalor dan Kadar Air

Karakteristik bahan bakar TKKS hasil pencacahan dianalisis berdasarkan nilai kalor dan kadar air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa TKKS memiliki nilai kalor sebesar 4173,54 Kal/kg dengan kadar air sebesar 9,4%.

Nilai kalor tersebut menunjukkan bahwa TKKS memiliki potensi yang cukup baik sebagai bahan bakar biomassa, khususnya untuk aplikasi co-firing pada pabrik semen dan PLTU. Nilai ini berada dalam rentang yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif, meskipun masih lebih rendah dibandingkan batubara. Namun, dari sisi keberlanjutan, TKKS memiliki keunggulan karena bersifat terbarukan dan lebih ramah lingkungan.

Kadar air sebesar 9,4% menunjukkan bahwa bahan telah memenuhi syarat teknis untuk pembakaran yang efisien. Kadar air yang rendah sangat penting karena dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi energi yang hilang untuk proses penguapan air, serta meningkatkan stabilitas nyala api. Proses pencacahan juga berkontribusi dalam mempercepat proses pengeringan alami karena memperbesar luas permukaan material.

C. Konsumsi Bahan Bakar

Pengujian konsumsi bahan bakar dilakukan untuk mengetahui efisiensi operasional alat pada setiap variasi kecepatan. Hasil menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putaran.

Pada kecepatan 1500 rpm, konsumsi bahan bakar tercatat sebesar 5,34 liter/jam, kemudian meningkat menjadi 10,03 liter/jam pada 2000 rpm, dan mencapai 19,19 liter/jam pada 2500 rpm. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya beban kerja mesin seiring dengan peningkatan kapasitas pencacahan.

Meskipun konsumsi bahan bakar meningkat, rasio antara kapasitas kerja dan konsumsi bahan bakar menunjukkan bahwa efisiensi relatif alat tetap optimal pada kecepatan 2500 rpm. Hal ini berarti bahwa peningkatan konsumsi bahan bakar sebanding dengan peningkatan produktivitas yang dihasilkan. Dengan demikian, kecepatan 2500 rpm dapat dianggap sebagai kondisi operasi optimum dari sisi teknis dan produktivitas.

D. Kualitas Hasil Pencacahan

Kualitas hasil pencacahan merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kelayakan TKKS sebagai bahan bakar co-firing. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu menghasilkan ukuran cacahan berkisar antara 8–12 cm sesuai dengan target perancangan.

Ukuran partikel yang seragam memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi pembakaran, karena memungkinkan distribusi panas yang lebih merata serta meningkatkan reaktivitas bahan bakar. Selain itu, ukuran yang lebih kecil juga mempermudah proses penanganan, transportasi,

dan penyimpanan bahan bakar biomassa. Hasil ini menunjukkan bahwa desain pisau dan sistem transmisi yang digunakan telah mampu menghasilkan performa pencacahan yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi industri.

E. Analisis Kinerja dan Implikasi terhadap Co-firing

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa alat pencacah TKKS yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dalam mendukung pemanfaatan biomassa sebagai bahan bakar alternatif. Kapasitas kerja yang tinggi, kualitas cacahan yang sesuai, serta karakteristik bahan bakar yang memenuhi standar menunjukkan bahwa TKKS hasil pencacahan layak digunakan dalam sistem co-firing.

Pemanfaatan TKKS dalam co-firing memberikan beberapa keuntungan, antara lain pengurangan konsumsi batubara, penurunan emisi gas rumah kaca, serta peningkatan nilai tambah limbah perkebunan. Selain itu, penggunaan alat pencacah ini juga dapat mendukung pengelolaan limbah yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Dari sisi teknis, kecepatan putaran 2500 rpm merupakan kondisi operasi terbaik dengan kapasitas maksimum sebesar 381,05 kg/jam. Namun, untuk implementasi skala industri, perlu dilakukan kajian lanjutan terkait aspek durabilitas alat, optimasi konsumsi energi, serta integrasi dengan sistem pembakaran yang ada.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, fabrikasi, dan pengujian alat pencacah tandan kosong kelapa sawit (TKKS), dapat disimpulkan bahwa alat yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik dan memenuhi tujuan penelitian. Alat pencacah menghasilkan ukuran cacahan berkisar 8–12 cm yang sesuai untuk aplikasi bahan bakar biomassa pada sistem co-firing.

Kinerja optimal alat diperoleh pada kecepatan putaran 2500 rpm dengan kapasitas maksimum sebesar 381,05 kg/jam. Pada kondisi ini, produktivitas alat meningkat secara signifikan meskipun diikuti oleh peningkatan konsumsi bahan bakar. Analisis efisiensi menunjukkan adanya trade-off antara efisiensi energi dan kapasitas produksi, sehingga pemilihan kondisi operasi perlu disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi.

Dari sisi karakteristik bahan bakar, TKKS hasil pencacahan memiliki nilai kalor sebesar 4173,54 Kal/kg dan kadar air 9,4%, yang menunjukkan bahwa bahan tersebut layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif dalam sistem co-firing di pabrik semen dan PLTU.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan limbah biomassa melalui perancangan alat pencacah dengan kapasitas tinggi dan performa yang kompetitif. Implementasi alat ini berpotensi mendukung pemanfaatan TKKS sebagai sumber energi terbarukan, meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah, serta berkontribusi terhadap pengurangan penggunaan bahan bakar fosil di sektor industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Haryanti, Norsamsi, P. F. S. Suci, dan N. P. Pralisa, "Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit," *Jurnal Konversi*, vol. 3, no. 2, pp. 57–66, 2014.
- [2] S. Kaniapan, S. Hassan, N. A. M. Zainal, dan M. A. Aziz, "Characterization of oil palm biomass as fuel for combustion applications," *Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 15, no. 3, pp. 652–660, 2021, doi:10.15282/jmes.15.3.2021.08.0652.
- [3] N. Abdullah dan F. Sulaiman, "The oil palm wastes in Malaysia," *Biomass Now – Sustainable Growth and Use*, InTech, 2010, doi:10.5772/10125.
- [4] A. S. Rezki, B. D. Argo, dan S. Sutikno, "Potensi tandan kosong kelapa sawit sebagai bio-oil melalui proses pirolisis," *Rekayasa dan Biosistem Energi Terbarukan (RBAET)*, vol. 7, no. 1, pp. 25–32, 2023, doi:10.21776/ub.rbaet.2023.007.01.04.

- [5] W. Chaeruni, M. Arifin, dan A. Rahman, “Karakteristik pembakaran tandan kosong kelapa sawit pada sistem co-firing,” *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 3, pp. 451–459, 2024, doi:10.33379/gtech.v8i3.4515.
- [6] E. R. B. Bangun, D. Sinaga, dan R. Situmorang, “Analisis nilai kalor biopellet tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif,” *International Research and Application Journal of Technology and Management*, vol. 4, no. 2, pp. 101–108, 2025, doi:10.56862/irajtma.v4i2.205.
- [7] D. Manuel, A. Kurniawan, dan R. Pratama, “Pengaruh pretreatment tandan kosong kelapa sawit terhadap produksi biogas,” *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 3, no. 1, pp. 15–22, 2023, doi:10.35335/0zwrjp26.
- [8] R. Nasirly, A. K. Rada, F. Arsi, W. Laila, N. Rahmad, dan T. L. Indira, “Perancangan mesin pencacah tandan kosong kelapa sawit,” *Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. 2, no. 5, pp. 11–17, 2024.
- [9] T. Manurung, H. Siregar, dan M. Lubis, “Pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai energi alternatif,” *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, vol. 5, no. 1, pp. 45–52, 2024, doi:10.52436/1.jpmi.3560.
- [10] S. Sunarno, A. Nugroho, dan B. Prasetyo, “Catalytic co-pyrolysis of empty fruit bunch and coal for liquid fuel production,” *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 2, pp. 463–469, 2022, doi:10.14710/ijred.2022.42193.