

Perancangan Mesin Pencacah Polimer Komposit untuk Aplikasi Komponen Fuel Cell

Design of a Polymer Composite Shredding Machine for Fuel Cell Component Applications

Muhammad Rizky Maulana¹, Ahmad Fauji S¹, Iswandi Iswandi^{1*}, Bobby Umroh¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Medan 20223, Indonesia

*Corresponding author: iswandi@staff.uma.ac.id

Diterima: 16-07-2025

Disetujui: 13-08-2025

Dipublikasikan: 30-08-2025

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang mesin pencacah polimer komposit berkapasitas 50 kg/jam untuk mendukung efisiensi proses daur ulang material. Mesin dirancang menggunakan motor listrik 3 HP, reducer rasio 1:50, dan sistem pisau dengan diameter 200 mm. Analisis teknis dilakukan melalui perhitungan gaya potong, torsi, dan kapasitas, serta pemodelan CAD/CAE untuk memvalidasi struktur. Hasil perancangan menunjukkan kapasitas pencacahan sebesar 833,33 g/menit, gaya potong 47,088 N, dan torsi 9,4176 Nm. Mesin ini memiliki desain kompak, hemat energi, serta mampu menghasilkan cacahan yang seragam. Rangka baja UNP dipilih untuk memastikan stabilitas struktural terhadap beban dinamis. Dengan efisiensi dan keberlanjutan yang baik, mesin ini cocok diaplikasikan pada industri kecil hingga menengah yang bergerak di bidang pengolahan material polimer komposit.

Kata Kunci: Polimer komposit, Mesin pencacah, Desain mekanik, Efisiensi energi.

Abstract

This study aims to design a composite polymer shredding machine with a capacity of 50 kg/h to enhance recycling efficiency. The machine is powered by a 3 HP electric motor, equipped with a 1:50 ratio reducer and 200 mm diameter blades. Technical analysis encompasses calculations of cutting force, torque, and throughput, supported by CAD/CAE modeling to validate the structural design. The results show a shredding capacity of 833.33 g/min, cutting force of 47.088 N, and torque of 9.4176 Nm. The machine features a compact, energy-efficient design and delivers consistent output. A UNP steel frame ensures structural stability against dynamic loads. With good efficiency and sustainability, this design is suitable for small to medium-scale industries involved in composite polymer material processing.

Keywords: Polymer composite, Shredding machine, Mechanical design, Energy efficiency.

1. Pendahuluan

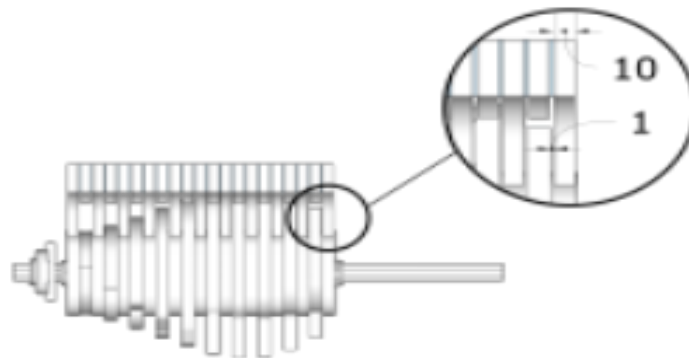
Polimer komposit merupakan kombinasi antara polimer dan bahan pengisi sintetis, anorganik, atau alami yang terus berkembang dalam berbagai aplikasi industri (Thomas et al., 2013; Zindani and Kumar, 2018). Material ini dipilih karena memiliki kekuatan spesifik tinggi, ringan, dan ketahanan kimia yang baik (Jayakumar et al., 2023; Pan, 2018; Singh et al., 2020). Salah satu pengembangan aplikasinya adalah sebagai material *bipolar plate* pada sel bahan bakar, yang berfungsi mengonversi hidrogen dan oksigen menjadi energi listrik ramah lingkungan tanpa emisi polutan (Karibeeran et al., 2023; Mishra et al., 2025).

Penggunaan polimer komposit dalam bentuk pelat atau komponen fungsional membutuhkan proses pencacahan untuk memperkecil ukuran material (Deng and Fu, 2017; Kim et al., 2019). Pencacahan bertujuan meningkatkan homogenitas campuran serta mempermudah proses pencetakan melalui *hot press* (Dwy et al., 2025; Fauzi et al., 2025). Namun, penelitian terkait mesin pencacah polimer komposit dengan kapasitas tinggi masih terbatas, sehingga diperlukan rancangan yang efisien, kokoh, serta mudah dioperasikan (Li et al., 2023; Mikulionok, 2016). Oleh karena itu, penelitian ini merancang mesin pencacah polimer komposit kapasitas 50 kg/jam dengan pendekatan desain komponen mekanis berbasis perhitungan gaya potong, torsi, dan kapasitas, serta pemodelan CAD/CAE untuk memvalidasi dimensi dan kekuatan struktur (Kukla and Warguła, 2021; Muthiah et al., 2022; Trad et al., 2024).

2. Metode

Metode penelitian diawali dengan identifikasi kebutuhan kapasitas mesin pencacah polimer komposit serta karakteristik material yang akan diolah. Tahap ini penting untuk menentukan spesifikasi teknis yang sesuai dengan target kapasitas. Perancangan dilakukan dengan menghitung parameter utama, yaitu kapasitas mesin (kg/jam), gaya potong (N), torsi (Nm), dan daya motor listrik yang dibutuhkan agar mesin bekerja efisien. Motor listrik 3 HP dengan kecepatan nominal 2850 RPM dipilih karena memiliki keseimbangan antara daya dan ketersediaan di pasaran. Motor kemudian dipadukan dengan *reducer* rasio 1:50 untuk meningkatkan torsi kerja. Tahap berikutnya mencakup analisis dimensi rangka, sistem transmisi, serta pemilihan pisau sesuai kebutuhan pemotongan.

Poros utama menggunakan baja ST 37 berbentuk hexagonal Ø32 mm dengan kekuatan tarik 37 kg/mm². Bagian pisau terdiri atas 10 pisau hidup dan 21 pisau mati dengan diameter 200 mm, ketebalan 12 mm (pisau hidup) dan 10 mm (pisau mati), serta celah 1 mm. Spacer dipasang di antara pisau dengan ketebalan 10 mm untuk menjaga jarak potong. Detail celah mata pisau ditampilkan pada Gambar 1, sedangkan ukuran komponen pisau dirangkum pada Tabel 1.



Gambar 1. Celah mata pisau

Tabel 1. Ukuran mata pisau

No.	Bagian pisau pemotong	Diameter
1	Pisau hidup	Ø200 mm
2	Pisau mati	Tebal 80 mm
3	Spacer pisau	Ø10 mm

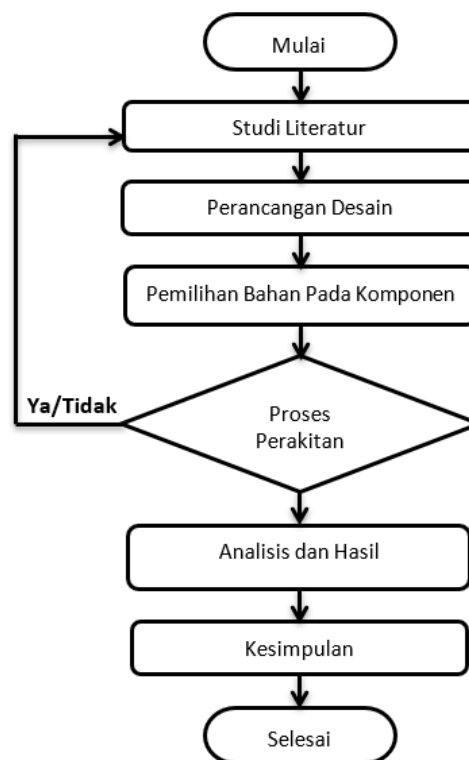
Untuk mengetahui gaya potong, dilakukan pengujian dengan metode sederhana, yaitu menempatkan sampel polimer pada pisau uji yang ditekan hingga material terpotong. Percobaan dilakukan lima kali dan menghasilkan gaya potong rata-rata 4,38 kg (47,088 N). Hasil percobaan ditunjukkan pada Tabel 2.

Proses perancangan teknis divisualisasikan menggunakan perangkat lunak AutoCAD 2023 untuk gambar teknik detail, serta SketchUp 2023 untuk pemodelan tiga dimensi. Validasi awal dilakukan melalui simulasi statis untuk memeriksa kekuatan rangka UNP $50 \times 30 \times 2,5$ mm serta distribusi beban pada sistem transmisi.

Tabel 2. Percobaan gaya mata pisau

Percobaan	Tekanan (kg)
1	4,1
2	4,5
3	4,6
4	4,3
5	4,4
Rata-rata	4,38

Tahapan perancangan mesin dilakukan secara sistematis berdasarkan diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 2. Diagram ini menjelaskan urutan kegiatan mulai dari studi literatur, perancangan desain, pemilihan material, perakitan, hingga analisis dan penarikan kesimpulan.



Gambar 2. Diagram alir perancangan mesin pencacah

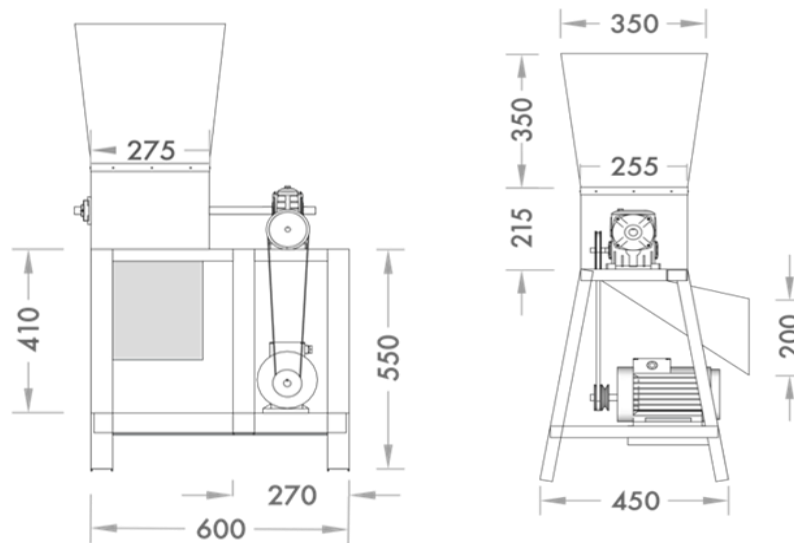
Dengan pendekatan ini, rancangan mesin dapat dievaluasi secara menyeluruh baik dari segi perhitungan kapasitas maupun kinerja komponen. Selanjutnya, hasil rancangan divisualisasikan pada gambar teknik (tampak depan dan samping) serta model 3D untuk memastikan keterpaduan desain secara struktural dan fungsional.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini berupa rancangan mesin pencacah polimer komposit kapasitas 50 kg/jam. Rancangan dikembangkan melalui pendekatan analitis dan pemodelan berbantuan perangkat lunak. Tahapan awal meliputi pembuatan gambar teknik menggunakan CAD untuk

memperoleh dimensi detail komponen, dilanjutkan dengan pemodelan tiga dimensi sebagai representasi visual.

Dimensi keseluruhan mesin adalah panjang 600 mm, lebar 450 mm, dan tinggi total 1.115 mm. Dimensi ini dipilih agar mesin tetap stabil terhadap getaran dinamis dan mampu menampung material dalam jumlah besar tanpa mengurangi kekompakan desain. Tampilan rancangan ditunjukkan pada Gambar 3, yang memperlihatkan tampak depan dan samping mesin.



Gambar 3. Tampak depan dan tampak samping

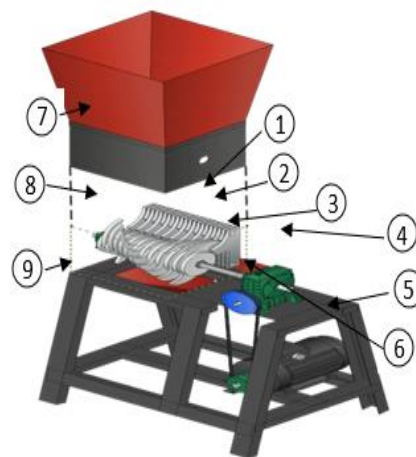
Rangka utama menggunakan profil baja UNP $50 \times 30 \times 2,5$ mm dengan berat total sekitar 31 kg. Pemilihan material ini didasarkan pada kekuatan tekan dan modulus elastisitas tinggi yang mampu meredam getaran, sehingga memperpanjang umur komponen lainnya. Perhitungan volume dan densitas baja menunjukkan bahwa struktur rangka cukup untuk menahan beban motor listrik, *reducer*, dan sistem pisau selama operasi.

Sumber tenaga mesin berasal dari motor listrik 3 HP dengan kecepatan nominal 2850 RPM. Motor ini dipadukan dengan *reducer* rasio 1:50 untuk menghasilkan torsi lebih besar pada poros utama. Transmisi daya dilakukan menggunakan pulley tipe A dengan diameter 70,5 mm pada motor dan 125 mm pada poros *reducer*, serta sabuk tipe A41. Konfigurasi ini menjaga kestabilan putaran dan mengurangi potensi slip pada saat beban tinggi.

Komponen kritis mesin adalah poros dan pisau pencacah. Poros dibuat dari baja ST 37 berbentuk hexagonal $\varnothing 32$ mm, yang dirancang untuk menahan beban torsi hingga 9,4176 Nm. Sistem pisau terdiri atas 10 pisau hidup, 21 pisau mati, dan 11 *spacer* dengan ketebalan masing-masing 10 mm. Sudut potong pisau 45° dipilih karena terbukti menurunkan gaya potong serta meningkatkan kualitas serpihan.

Hasil perhitungan gaya potong berdasarkan lima kali percobaan diperoleh rata-rata 4,38 kg atau 47,088 N. Nilai ini menunjukkan bahwa mesin mampu memotong polimer komposit dengan baik. Sementara itu, kebutuhan daya dihitung sebesar 2,809 kW (setara 3,765 HP). Perbedaan kecil antara kebutuhan daya dengan kapasitas motor listrik menunjukkan efisiensi desain.

Representasi keseluruhan mesin divisualisasikan dalam bentuk model 3D yang ditunjukkan pada Gambar 4. Model ini memperlihatkan susunan komponen utama, yaitu pisau hidup (1), pisau mati (2), poros (3), *reducer* (4), motor listrik (5), *pulley* (6), corong pemasukan (7), *bearing* (8), dan rangka (9).



Keterangan :

1. Pisau Hidup
2. Pisau Mati
3. Poros
4. Reducer
5. Motor Listrik
6. Pulley
7. Corong
8. Bearing
9. Rangka

Gambar 4. Model 3 dimensi mesin pencacah polimer komposit

Visualisasi 3D memberikan gambaran lebih jelas mengenai integrasi antar komponen. Corong pemasukan ditempatkan di bagian atas untuk mempermudah pengisian material. Sementara itu, posisi motor dan *reducer* berada di samping rangka untuk menyeimbangkan distribusi beban. *Bearing* tipe UCF 206 dipilih karena mampu menahan beban radial dan aksial, sehingga mengurangi getaran poros.

Kapasitas mesin dihitung sebesar 833,33 g/menit atau setara 50 kg/jam. Angka ini sesuai dengan target awal dan lebih tinggi dibandingkan mesin pencacah berbasis plastik yang hanya mencapai 30–35 kg/jam. Selain itu, sudut potong 45° terbukti lebih efektif dibandingkan penelitian (Jalisa et al., 2024; Sakon et al., 2008; Yadvika et al., 2024), yang melaporkan keausan pisau cepat akibat penggunaan sudut potong konvensional.

Keunggulan lain dari desain ini adalah stabilitas struktural. Rangka UNP yang kaku dapat meminimalkan deformasi, sehingga hasil cacahan lebih konsisten. Mesin ini juga memiliki desain kompak yang memudahkan penempatan di laboratorium maupun industri kecil. Efisiensi energi cukup baik, karena daya motor hampir sebanding dengan kebutuhan daya aktual, sehingga tidak terjadi kelebihan kapasitas signifikan yang memboroskan energi.

Meski demikian, rancangan ini memiliki keterbatasan. Pertama, perhitungan masih berbasis simulasi dan uji gaya potong sederhana, sehingga diperlukan uji eksperimental lapangan. Kedua, distribusi ukuran cacahan belum dianalisis secara rinci, padahal hal ini penting untuk mengetahui homogenitas material. Ketiga, umur pakai pisau perlu diuji lebih lanjut dengan variasi polimer berbeda, karena sifat mekanik material pengisi dapat memengaruhi tingkat keausan.

Dari hasil perancangan ini dapat disimpulkan bahwa mesin pencacah polimer komposit kapasitas 50 kg/jam mampu memenuhi kebutuhan industri kecil hingga menengah yang bergerak di bidang pengolahan material. Desain ini dapat mendukung pengembangan produk berbasis polimer komposit, misalnya sebagai bahan baku pembuatan pelat komposit untuk aplikasi sel bahan bakar atau komponen struktural ringan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis terhadap pengembangan teknologi tepat guna yang efisien, hemat energi, dan ramah lingkungan.

Selain aspek teknis, rancangan mesin ini juga memiliki nilai keberlanjutan yang penting. Dengan kapasitas 50 kg/jam, mesin mampu mempercepat proses daur ulang polimer komposit yang sebelumnya dilakukan secara manual dengan produktivitas rendah. Hal ini dapat mengurangi akumulasi limbah dan mendukung penerapan ekonomi sirkular. Efisiensi energi yang

tercapai juga berdampak pada penghematan biaya operasional, sehingga mesin ini layak diterapkan di industri kecil maupun menengah. Keberhasilan rancangan ini membuktikan bahwa inovasi sederhana dapat memberi kontribusi besar terhadap pengelolaan limbah ramah lingkungan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang mesin pencacah polimer komposit dengan kapasitas 50 kg/jam menggunakan pendekatan perhitungan analitis dan pemodelan CAD/CAE. Hasil rancangan menunjukkan bahwa kapasitas mesin sebesar 833,33 g/menit, gaya potong rata-rata 47,088 N, dan torsi kerja 9,4176 Nm. Spesifikasi utama mesin terdiri atas motor listrik 3 HP, *reducer* rasio 1:50, poros hexagonal Ø32 mm, serta pisau pencacah berdiameter 200 mm dengan sudut potong 45°. Pemilihan rangka baja UNP 50 × 30 × 2,5 mm memastikan kekokohan struktur, sedangkan konfigurasi pisau hidup dan mati memungkinkan dihasilkannya cacahan halus dan seragam.

Dari hasil analisis, mesin ini dinilai efisien secara energi, stabil terhadap getaran, serta mudah dioperasikan. Dibandingkan penelitian terdahulu, rancangan ini memiliki keunggulan pada kapasitas yang lebih tinggi dan kualitas cacahan yang lebih konsisten. Meski demikian, keterbatasan penelitian ini adalah belum dilakukan uji eksperimental lanjutan untuk menilai keausan pisau, distribusi ukuran cacahan, serta konsumsi energi aktual pada berbagai jenis polimer komposit.

Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan uji coba operasional jangka panjang, mengembangkan variasi material pisau dengan ketahanan aus tinggi, serta menambahkan sistem kontrol otomatis agar mesin dapat diaplikasikan secara luas pada industri kecil maupun menengah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Medan Area atas dukungan fasilitas penelitian, serta kepada pembimbing, rekan sejawat, dan seluruh pihak yang telah memberikan bimbingan, masukan, serta motivasi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Pustaka

- Deng, H., and Q. Fu. 2017. "Recent Progress on the Confinement, Assembly, and Relaxation of Inorganic Functional Fillers in Polymer Matrix during Processing." *Macromolecular Rapid Communications* 38. <https://doi.org/10.1002/marc.201700444>.
- Dwy, S., T. Hermanto, I. Iswandi, and D. Dariantito. 2025. "Analisis Kinerja Mesin Peniris Bawang untuk Industri Makanan Skala Kecil." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 4: 59–68. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i1.199>.
- Fauzi, R., I. Iswandi, and T. Hermanto. 2025. "Pengembangan Prototipe Alat Panen Sawit Bertenaga Listrik untuk Meningkatkan Produktivitas." *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 4: 76–86. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i1.179>.
- Jayakumar, A., S. Radoor, J.T. Kim, J.-W. Rhim, J. Parameswaranpillai, and S. Siengchin. 2023. "Lightweight and Sustainable Materials—A Global Scenario." In *Lightweight and Sustainable Composite Materials*, 1–18. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95189-0.00001-9>.
- Jalisa, A.B., J.H. Wong, W.M.J. Karen, W.Y.H. Liew, B.L. Chua, N.J.S. Siambun, and G.J.H. Melvin. 2024. "Evaluation on the Performance and Wear of Blades in a Small-Sized High-Density

- Polyethylene Shredder.” *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 55: 1426–1436. <https://doi.org/10.1002/mawe.202400006>.
- Karibeeran, S.S., M.A.K. Rahiman, P.K. Murugesan, and J.R. Justin. 2023. “Sustainability and Recent Experimental Advances on the Production of Metallic Bipolar Plates of PEM Fuel Cell Using Electromagnetic Forming Technique.” In *Volume 3: Advanced Manufacturing*. American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/IMECE2023-112198>.
- Kim, G., B. Denos, R. Sterkenburg, P. Wang, and S. Ahsan. 2019. “Investigation of Influence of Different Piercing Methods of Abrasive Waterjet on Delamination of Fiber Reinforced Composite Laminate.” In *SAMPE 2019 - Charlotte, NC*. SAMPE. <https://doi.org/10.33599/nasampe/s.19.1458>.
- Kukla, M., and Ł. Warguła. 2021. “Wood-Based Boards Mechanical Properties and Their Effects on the Cutting Process during Shredding.” *Bioresources* 16: 8006–8021. <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.8006-8021>.
- Li, W., A. Hassan, A.S.A.H. Zedan, M. Idris, M. Fayed, S. Mehrez, and K. Nag. 2023. “Structural Engineering of Double Shells Decoration for Preparing a High-Efficiency Electromagnetic Wave Absorber.” *Ceramics International*. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.01.044>.
- Mikulionok, I.O. 2016. “Structural Implementation of the Process of Elasto-Deformation Shredding of Rubber-Containing Wastes (Survey of Patents).” *Chemical and Petroleum Engineering* 51: 604–608. <https://doi.org/10.1007/s10556-016-0093-9>.
- Mishra, S., R. Kumar, and V. Verma. 2025. “A Review of Thermoplastic-Based Low-Cost Composite Bipolar Plates for Proton Exchange Membrane Fuel Cells.” *Polymer Bulletin* 82: 1057–1084. <https://doi.org/10.1007/s00289-024-05565-7>.
- Muthiah, E., R. Rathanasamy, D. Ravichandran, D. Palanichamy, and S. Sivaraj. 2022. “Experimental Analysis on Shredder for Recycling Thermoplastics Using Injection Moulder.” *Materials Today: Proceedings* 66: 797–803. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.353>.
- Pan, H. 2018. “Development and Application of Lightweight High-Strength Metal Materials.” *MATEC Web of Conferences* 207: 03010. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820703010>.
- Sakon, S., T. Hamada, and N. Umesaki. 2008. “Improvement in Wear Characteristics of Electric Hair Clipper Blade Using High Hardness Material.” *Journal of the Japan Institute of Metals* 72: 604–609. <https://doi.org/10.2320/jinstmet.72.604>.
- Singh, N., P. Hameed, R. Ummethala, G. Manivasagam, K.G. Prashanth, and J. Eckert. 2020. “Selective Laser Manufacturing of Ti-Based Alloys and Composites: Impact of Process Parameters, Application Trends, and Future Prospects.” *Materials Today: Advances* 8: 100097. <https://doi.org/10.1016/j.mtadv.2020.100097>.
- Thomas, S., K. Joseph, S.K. Malhotra, K. Goda, and M.S. Sreekala, eds. 2013. *Polymer Composites*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527674220>.
- Trad, A., N. Amoura, A. Abdellah Elhadj, and H. Kebir. 2024. “Optimizing Plastic Shredder Rotor Design through Structural Finite Element Analysis: A Comprehensive Approach Using Experimental Design and Response Surface Methodology.” *Mechanics Based Design of Structures and Machines* 52: 10682–10701. <https://doi.org/10.1080/15397734.2024.2360680>.
- Yadvika, A., R. Kargwal, D. Kumar, and V. Kumar. 2024. “Assessment of Techno-Economic Feasibility of a Solar-Powered Shredder for Agricultural Waste.” *Environmental Engineering and Management Journal* 23: 319–329. <https://doi.org/10.30638/eemj.2024.026>.
- Zindani, D., and K. Kumar. 2018. “Industrial Applications of Polymer Composite Materials.” In *Polymer Composite Materials: Processing and Applications*, 1–15. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5216-1.ch001>.