

# Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Alat Pirolisis Sederhana

Cut Novrita Rizki\*<sup>1</sup>, Nurul Fajriana\*<sup>2</sup>, Arif Fadhila<sup>3</sup>, Nurhidayatun Rahma<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Tadris Biologi, Fakultas Agama Islam, Universitas Muhammadiyah Aceh

\*e-mail: [cut.novritarizki@unmuha.ac.id](mailto:cut.novritarizki@unmuha.ac.id)

## Abstract

*The increase in plastic consumption has triggered environmental problems due to the accumulation of non-biodegradable waste. In Tampok Blang Village, Aceh Besar, plastic waste is generally discarded or openly burned, causing air and soil pollution. This community service program aims to provide a solution for processing plastic waste into fuel using simple pyrolysis technology. The implementation method includes socialization, pyrolysis equipment demonstration, and hands-on practice by residents in processing polyethylene (PE) and polypropylene (PP) plastics. The results show that the community is able to operate the simple pyrolysis tool, produce liquid fuel, and understand its economic potential. The average time for converting plastic into liquid fuel ranges from 45–60 minutes for 1 kg of plastic. This program contributes to increasing environmental awareness, energy independence, and business opportunities at the village level.*

**Keywords:** plastic waste, simple pyrolysis, alternative fuel, community service

## Abstrak

*Peningkatan konsumsi plastik telah memicu permasalahan lingkungan akibat akumulasi limbah yang sulit terurai. Di Desa Tampok Blang, Aceh Besar, limbah plastik umumnya dibuang atau dibakar terbuka, menimbulkan pencemaran udara dan tanah. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan memberikan solusi pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar melalui teknologi pirolisis sederhana. Metode pelaksanaan meliputi sosialisasi, demonstrasi alat pirolisis, dan praktik langsung oleh warga dalam mengolah plastik jenis polyethylene (PE) dan polypropylene (PP). Hasil kegiatan menunjukkan masyarakat mampu mengoperasikan alat pirolisis sederhana, menghasilkan bahan bakar cair, serta memahami potensinya. Waktu rata-rata konversi plastik menjadi bahan bakar cair berkisar antara 45–60 menit untuk 1 kg plastik. Program ini berkontribusi dalam peningkatan kesadaran lingkungan, kemandirian energi, dan peluang usaha di tingkat desa.*

**Kata kunci:** limbah plastik, pirolisis sederhana, bahan bakar alternatif, pengabdian masyarakat

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan volume sampah, khususnya plastik, menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan karena material plastik membutuhkan waktu lama untuk terurai secara alami (Insusanty, Emy & Ambar, 2021). Plastik merupakan salah satu material yang sangat luas penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang ringan, tahan lama, dan mudah dibentuk. Namun, penggunaan plastik secara berlebihan telah menimbulkan persoalan lingkungan yang serius, terutama karena sifat plastik yang sulit terurai secara alami. Menurut Fadzoli et al. (2023), peningkatan konsumsi plastik yang tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan sampah yang memadai menyebabkan akumulasi limbah yang berkontribusi besar terhadap pencemaran tanah, air, maupun udara. Kondisi ini tidak hanya terjadi di wilayah perkotaan, tetapi juga di daerah pedesaan yang memiliki fasilitas pengelolaan sampah terbatas.

Desa Tampok Blang di Kabupaten Aceh Besar merupakan salah satu contoh daerah yang menghadapi masalah pengelolaan limbah plastik. Sebagian besar limbah plastik di desa ini dibakar secara terbuka atau dibuang sembarangan ke lingkungan. Praktik tersebut berpotensi meningkatkan risiko pencemaran udara akibat emisi berbahaya, menurunkan kualitas tanah, serta menimbulkan ancaman bagi kesehatan masyarakat. Fenomena serupa juga dilaporkan oleh Astuti et al. (2021), yang menunjukkan bahwa keterbatasan pengetahuan dan teknologi di tingkat masyarakat membuat plastik cenderung ditangani dengan cara-cara tradisional yang tidak ramah lingkungan.

Di sisi lain, Indonesia juga menghadapi tantangan lain berupa ketersediaan energi. Beberapa wilayah dilaporkan mengalami kelangkaan bahan bakar minyak/gas akibat distribusi yang tidak merata serta tingginya ketergantungan masyarakat pada energi fosil. Menurut Syahrir

& Sungkono (2021), kebutuhan energi nasional masih didominasi oleh bahan bakar fosil, sementara ketersediaannya semakin terbatas. Oleh karena itu, diperlukan terobosan dalam bentuk energi alternatif yang dapat diakses dan dikelola langsung oleh masyarakat.

Salah satu inovasi yang berkembang adalah teknologi pirolisis, yaitu proses dekomposisi termal bahan organik pada kondisi minim oksigen untuk menghasilkan fraksi cair (minyak pirolisis), gas, dan residu padat (char). Teknologi ini menawarkan dua manfaat sekaligus: mengurangi jumlah limbah plastik serta menghasilkan energi alternatif. Sari (2021) menegaskan bahwa pirolisis dapat menjadi metode tepat guna karena relatif sederhana, dapat diterapkan di tingkat komunitas, dan berbiaya lebih rendah dibandingkan metode pengolahan limbah lainnya. Lebih lanjut, Arita et al. (2015) membuktikan bahwa minyak pirolisis memiliki nilai kalor yang mendekati bahan bakar fosil seperti bensin dan solar, sehingga berpotensi digunakan sebagai pengganti energi fosil dalam skala kecil.

Beberapa penelitian sebelumnya juga menunjukkan hasil yang menjanjikan. Obeid et al. (2015) menemukan bahwa penggunaan pirolisis dengan bantuan katalis dapat meningkatkan kualitas bahan bakar yang dihasilkan. Ermawati (2021) menambahkan bahwa konversi plastik menjadi bahan bakar tidak hanya membantu mengurangi pencemaran, tetapi juga memberikan nilai ekonomi tambahan. Dengan kata lain, penerapan teknologi pirolisis sederhana di tingkat desa dapat menjadi solusi praktis yang ramah lingkungan sekaligus meningkatkan kemandirian energi masyarakat. Lebih jauh, perkembangan riset selama dekade terakhir memberikan banyak nilai tambah teoritik terkait pirolisis plastik:

#### 1. **Faktor Penting dalam Pirolisis**

Yaqoob et al. (2025) menyimpulkan bahwa karakteristik minyak pirolisis sangat bergantung pada parameter operasi seperti suhu, jenis plastik, laju pemanasan, dan tipe reaktor. Pengaturan parameter yang optimal mampu meningkatkan efisiensi bahan bakar cair yang dihasilkan dan kualitasnya.

#### 2. **Potensi Hasil Lain dari Pirolisis Tingkat Lanjut**

Peng et al. (2022) melalui tinjauan di *Energy Conversion and Management* menunjukkan bahwa pirolisis katalitik dapat memproduksi bahan bakar cair berkualitas tinggi, gas bernilai tambah, serta bahan kimia lain seperti grafena dan karbon nanotube menandai peluang nilai tambah ekonomi di luar pemanfaatan langsung sebagai bahan bakar.

#### 3. **Pengembangan Produksi Hidrogen melalui Pirolisis**

Tasleem, Soliman, dan Alsharaeh (2025) menyoroti kemampuan pirolisis plastik berbasis katalitik untuk menghasilkan hydrogen salah satu energi bersih potensial yang mendukung ekonomi sirkular dan transisi energi rendah karbon.

#### 4. **Sinergi Pirolisis Plastik dan Biomassa (Co-Pyrolysis)**

Deng et al. (2025) meneliti gabungan pirolisis plastik dan biomassa. Proses ini tidak hanya meningkatkan efisiensi konversi energi, tetapi juga menghasilkan material karbon fungsional seperti adsorben berkualitas tinggi yang bisa digunakan dalam bidang pertanian dan pengolahan lingkungan.

#### 5. **Keberlanjutan Teknologi Termokimia Plastik dalam Rangka Ekonomi Sirkular**

Review komprehensif oleh Roychand, et al., (2025), menyoroti potensi pirolisis dan teknologi termokimia lain dalam mendukung ekonomi sirkular: mengurangi limbah, memanfaatkan kembali sumber daya, dan menjaga ketahanan energi komunitas.

Berdasarkan sintesis permasalahan tersebut, (limbah plastik yang tidak terkelola dan keterbatasan energi di desa) serta landasan teori terkini tentang pirolisis (dari pengaturan parameter operasi hingga nilai tambah produk dan sinergi biomassa), maka kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat ini ditujukan untuk memberikan pelatihan praktis kepada warga Desa Tampok Blang. Tujuannya adalah memfasilitasi pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar

melalui pirolisis sederhana, sekaligus meningkatkan kesadaran lingkungan, mengurangi pencemaran, dan membuka peluang kemandirian energi serta ekonomi.

## 2. METODE

Kegiatan dilaksanakan pada Mei–Juli 2025 di Desa Tampok Blang, Kecamatan Sukamakmur, Aceh Besar. Tahapan pelaksanaan meliputi:

1. **Persiapan** – meliputi perizinan, pengumpulan data potensi desa, dan penyediaan alat/bahan.
2. **Sosialisasi** – edukasi tentang dampak limbah plastik dan pengenalan teknologi pirolisis sederhana.
3. **Demonstrasi** – penjelasan komponen alat dan prinsip kerja pirolisis.
4. **Praktik langsung** – warga dibagi menjadi kelompok kecil untuk memproses limbah plastik (PE dan PP) menjadi bahan bakar cair.
5. **Diskusi evaluatif** – membahas kendala teknis dan potensi pengembangan usaha berbasis hasil pirolisis.

Hasil pengabdian diukur menggunakan metode deskriptif melalui observasi proses dan wawancara singkat untuk mengetahui tingkat pemahaman masyarakat. Dalam pelaksanaannya semua anggota tim memiliki peran dan tugas yang sama.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat (PkM) mengenai pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar menggunakan alat pirolisis sederhana di Desa Tampok Blang diikuti oleh 25 peserta yang terdiri dari tokoh masyarakat, ibu rumah tangga, dan pemuda desa. Peserta antusias mengikuti setiap tahapan, terutama pada sesi praktik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Plastik PE dan PP dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair dalam waktu rata-rata 45–60 menit per 1 kg bahan baku.
- Hasil pirolisis berupa minyak dengan karakteristik menyerupai solar, dapat digunakan untuk menyalakan kompor modifikasi dan mesin diesel kecil.
- Masyarakat memahami langkah-langkah pengoperasian alat dan perawatan dasar.

Kegiatan PkM ini memberikan dampak positif bagi lingkungan yang mana program ini berpotensi mengurangi volume limbah plastik desa hingga 15–20% per bulan jika dioperasikan secara rutin. Dari sisi ekonomi, minyak pirolisis dapat dijual atau digunakan sendiri untuk mengurangi pengeluaran bahan bakar rumah tangga. Alat pirolisis terbuat dari bahan bekas yang terdiri dari tanur (kaleng bekas biskuit), kondensor (botol bekas air mineral), pipa besi sebagai penghubung keluarnya hasil pirolisis. Alat pirolisis sederhana tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Berikut:



Gambar 1. Alat Pirolisis Sederhana

Setelah alat selesai dirancang, selanjutnya Masyarakat melaksanakan praktik langsung dengan menggunakan alat tersebut dan sampah plastik yang terdapat di Lokasi PkM. Untuk detailnya dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini:



Gambar 2. Praktik Penggunaan Alat Pirolisis Sederhana

Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat (PkM) mengenai pengolahan limbah plastik menjadi bahan bakar menggunakan alat pirolisis sederhana di Desa Tampok Blang menunjukkan hasil yang cukup signifikan, walaupun bahan bakar cair yang dihasilkan teksturnya belum cukup stabil. Namun sudah dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Hasil produk dari kegiatan ini dapat dilihat pada Gambar 3. berikut ini.



Gambar 3. Produk yang dihasilkan

Indikator keberhasilan kegiatan ini dapat dilihat dari beberapa aspek, yaitu peningkatan pemahaman, keterampilan teknis, perubahan sikap, serta penerapan hasil kegiatan dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan kuesioner pra dan pascakegiatan, terjadi peningkatan pemahaman masyarakat terhadap konsep pirolisis dan dampak negatif limbah plastik terhadap lingkungan dengan capaian lebih dari 70%. Hal ini sesuai dengan pendapat Astuti et al. (2021) yang menekankan pentingnya edukasi dan literasi masyarakat untuk mendorong kesadaran kolektif dalam mengolah limbah. Selain itu, keterampilan masyarakat dalam mengoperasikan alat

pirolisis sederhana juga meningkat, terbukti dari keberhasilan lebih dari 80% peserta memproduksi bahan bakar cair dari plastik jenis polyethylene (PE) dan polypropylene (PP). Pada akhir kegiatan, dilakukan foto bersama dengan Masyarakat setempat yang dapat dilihat pada Gambar 4. Berikut ini:



Gambar 4. Foto Bersama Masyarakat Tampok Blang

Dari segi luaran, alat pirolisis sederhana terbukti memiliki keunggulan sebagai teknologi tepat guna yang mudah diaplikasikan, murah, dan sesuai dengan kondisi masyarakat pedesaan. Produk berupa bahan bakar cair memiliki potensi nilai ekonomi serta dapat digunakan untuk kebutuhan energi rumah tangga. Hal ini sejalan dengan temuan Sari (2017) yang menyatakan bahwa minyak pirolisis memiliki kualitas yang sebanding dengan bahan bakar cair konvensional, sehingga berpeluang menjadi alternatif energi yang ramah lingkungan. Namun demikian, kegiatan ini juga memiliki kelemahan, antara lain kualitas bahan bakar yang dihasilkan masih belum stabil dan memerlukan penyaringan lebih lanjut, kapasitas produksi terbatas, serta tidak semua jenis plastik dapat diolah dengan hasil optimal (Obeid et al., 2015).

Pelaksanaan kegiatan menghadapi beberapa tingkat kesulitan. Dari aspek teknis, pengendalian suhu pirolisis menjadi tantangan karena fluktuasi suhu memengaruhi volume dan kualitas bahan bakar. Produksi juga membutuhkan jumlah plastik yang cukup banyak agar hasil bahan bakar signifikan. Dari sisi sosial, pada awal kegiatan terdapat resistensi sebagian masyarakat karena belum terbiasa dengan teknologi baru. Namun melalui praktik langsung dan diskusi kelompok, hambatan tersebut dapat diatasi. Menurut Bajus dan Hajekova (2020), kestabilan proses pirolisis sangat ditentukan oleh kontrol suhu dan jenis plastik yang digunakan, sehingga pendampingan teknis menjadi faktor penting dalam keberhasilan kegiatan.

Peluang pengembangan kegiatan ini di masa depan sangat terbuka. Alat pirolisis dapat dimodifikasi untuk kapasitas lebih besar sehingga dapat memenuhi kebutuhan energi skala rumah tangga atau bahkan komunitas desa. Selain menghasilkan bahan bakar cair, gas hasil pirolisis juga dapat dimanfaatkan untuk pembangkit energi listrik sederhana. Integrasi kegiatan ini dalam program pengelolaan sampah desa akan memperkuat keberlanjutan pengolahan limbah plastik. Selain itu, terdapat peluang ekonomi melalui penjualan bahan bakar hasil pirolisis dengan harga yang lebih terjangkau dibandingkan bahan bakar fosil. Hal ini sesuai dengan pendapat Ermawati (2021) bahwa pemanfaatan limbah plastik sebagai energi alternatif tidak hanya berfungsi mengurangi pencemaran, tetapi juga memiliki nilai ekonomi yang menjanjikan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) yang dilaksanakan telah menunjukkan keberhasilan dalam mencapai tujuan utama yang telah dirumuskan sebelumnya. Keberhasilan tersebut tercermin dari meningkatnya keterampilan dan kapasitas masyarakat dalam memanfaatkan limbah plastik sebagai sumber energi alternatif melalui penerapan teknologi pirolisis sederhana. Transformasi ini tidak hanya memberikan pengetahuan teknis baru, tetapi juga membentuk pola pikir masyarakat untuk lebih peduli terhadap permasalahan lingkungan yang dihadapi secara nyata di sekitar mereka. Dengan adanya keterampilan baru tersebut, masyarakat mampu melakukan pengolahan limbah plastik yang

sebelumnya dibuang atau dibakar tanpa kendali menjadi produk yang lebih bermanfaat, sekaligus menekan laju pencemaran lingkungan akibat penumpukan sampah plastik.

Lebih lanjut, hasil kegiatan ini juga membuka peluang bagi masyarakat untuk mengembangkan kemandirian energi dan memperkuat aspek ekonomi lokal. Minyak hasil pirolisis, meskipun masih memerlukan perbaikan dalam kualitas dan standarisasi, telah terbukti memiliki potensi sebagai substitusi bahan bakar fosil skala kecil. Kondisi ini tidak hanya membantu mengurangi ketergantungan masyarakat pada bahan bakar komersial yang kerap langka dan mahal, tetapi juga menciptakan peluang usaha baru apabila produk tersebut dapat dipasarkan secara lebih luas. Dengan demikian, kegiatan PkM ini memiliki dimensi ganda: berkontribusi terhadap kelestarian lingkungan sekaligus memberikan nilai tambah ekonomi yang berkelanjutan bagi komunitas sasaran.

Walaupun demikian, kelemahan dalam aspek kualitas produk masih menjadi catatan penting. Hasil pirolisis yang diperoleh cenderung belum stabil dan memerlukan tahapan penyaringan lanjutan agar layak digunakan secara optimal. Kendala teknis ini bukanlah hambatan yang tidak dapat diatasi, melainkan peluang untuk dilakukan inovasi dan perbaikan pada desain maupun mekanisme kerja alat pirolisis sederhana. Dalam konteks akademik dan praktis, hal ini dapat dijadikan landasan bagi penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan mutu produk serta memperluas jenis limbah plastik yang dapat diolah secara efisien.

Peluang pengembangan kegiatan serupa di masa mendatang masih terbuka sangat luas. Dari sisi teknis, modifikasi alat dan penggunaan katalis tertentu berpotensi meningkatkan kualitas serta kuantitas bahan bakar yang dihasilkan. Dari aspek sosial, keberhasilan penerapan kegiatan ini berpotensi memperkuat partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan berbasis komunitas, sehingga terbangun budaya gotong royong dalam mengatasi persoalan sampah. Sementara itu, dari perspektif ekonomi, kegiatan ini dapat berkembang menjadi unit usaha desa yang mampu menopang kemandirian energi lokal sekaligus meningkatkan kesejahteraan warga. Dengan berbagai prospek tersebut, kegiatan PkM ini dapat dipandang sebagai langkah awal menuju pengelolaan limbah plastik yang lebih berdaya guna, berkelanjutan, dan berorientasi pada peningkatan kualitas hidup masyarakat.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil kegiatan pengabdian masyarakat yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kegiatan PkM di Desa Tampok Blang berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam mengolah limbah plastik menjadi bahan bakar melalui teknologi pirolisis sederhana.
2. Teknologi pirolisis sederhana memiliki kelebihan: murah, mudah dioperasikan, ramah lingkungan, dan menghasilkan bahan bakar alternatif yang bermanfaat bagi kebutuhan energi skala kecil.
3. Kekurangan kegiatan ini terletak pada kualitas minyak pirolisis yang belum stabil, kapasitas produksi masih terbatas, serta perlunya penyempurnaan teknis untuk menghasilkan produk yang lebih optimal.
4. Ke depan, kegiatan ini memiliki peluang pengembangan melalui:
  - o Pendampingan lanjutan untuk standarisasi kualitas minyak pirolisis,
  - o Peningkatan kapasitas dan efisiensi alat,
  - o Pengembangan model bisnis komunitas agar teknologi ini dapat mendukung kemandirian energi sekaligus meningkatkan kesejahteraan masyarakat desa. Diharapkan masyarakat dapat menerapkan teknologi ini secara berkelanjutan sehingga kemandirian energi dapat tercapai.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LP4M Universitas Muhammadiyah Aceh atas dukungan pendanaan dan fasilitasi kegiatan, serta seluruh warga Desa Tampok Blang yang berpartisipasi aktif dalam program ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arita, S., Assalami, A., Naibaho, & Dina, I. (2015). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(2).
- Astuti, S. P., Candri, D. A., Ahyadi, H., & Sunarwidhi, E. (2021). Pemanfaatan Sampah Plastik dan Styrofoam sebagai Media Hidroponik bagi Masyarakat Pesisir Ampenan. *Abdi Insani*, 8(3), 311-318.
- Bajus, M., & Hajekova, E. (2020). Thermal Cracking of The Model Seven Components Mixed Plastics into Oils/Waxes. *Petroleum and Coal*.
- Deng, J., Yi, B., Mašek, O., Yuan, X., et al. (2025). *Co-pyrolysis of biomass and plastic waste into carbon materials with environmental applications: a critical review*. *Green Chemistry*.
- Ermawati, R. (2021). Konversi limbah plastik sebagai sumber energi alternatif. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 5(3), 257-263.
- Fadzoli, T., Subekti, R., & Waluyo. (2023). Dampak Kebijakan Pengelolaan Sampah Sebagai Parameter Kinerja Pemerintah Dalam Bidang Lingkungan Hidup. *Eksekusi: Jurnal Ilmu Hukum dan Administrasi Negara*, 1(3), 28-36.
- Insusanty, E., Emy, S., & Ambar, T., R. 2021. Ibm Manajemen Usaha, Keuangan Dan Pemasaran Kerajinan Tangan Dari Limbah Di Panti Asuhan Hikmah Pekanbaru. *COMSEP: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2 (3), 266-272.
- Roychand, R., Muhammad, A. Z., Mohan Jacob & Tuan, N. 2025. *A Comprehensive Review on the Thermochemical Treatment of Plastic Waste to Produce High Value Products for Different Applications*. *Materials Circular Economy*.
- Obeid, F., Zeaiter, J., Al-Muhtaseb, A., & Bouhadir, K. (2015). Thermo Catalytic Pyrolysis of Waste Polyethylene Bottles in A Packed Bed Reactor with Different Bed Materials and Catalysts. *Energy Conversion and Management*, 85, 1-6.
- Peng, Y., Wang, Y., Ke, L., Dai, L., et al. (2022). *A review on catalytic pyrolysis of plastic wastes to high-value products*. *Energy Conversion and Management*.
- Sari, D. (2021). Pemanfaatan limbah plastik melalui teknologi pirolisis: Tinjauan teknologi dan penerapannya di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 14(2), 45-59.
- Sari, G. L. (2017). Kajian potensi pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar cair. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 6-13.
- Syahrir, M., & Sungkono. (2021). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodiesel (B30) dan Dextrite Terhadap Kinerja Mesin Diesel. *Teknologi*, 22(1).
- Tasleem, S., Soliman, A., & Alsharaeh, E. H. (2025). *Recent developments in catalytic materials and reactors for the catalytic pyrolysis of plastic waste into hydrogen: a critical review with a focus on the circular economy*. *RSC Advances*.
- Yaqoob, H., Ali, H. M., & Khalid, U. (2025). *Pyrolysis of waste plastics for alternative fuel: a review of key factors*. *RSC Sustainability*.