

Pengaruh Zeolit Terhadap Waktu Kondensasi Pirolisis Limbah Plastik *Polypropylene* *Effect of Zeolite on Pyrolysis Condensation Time of Polypropylene Plastic Waste*

Adita Vani Dwicaksono¹⁾, Mokh. Hairul Bahri²⁾, Asroful Abidin³⁾

¹Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: aditavani2001@gmail.com

²Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: mhairulbahri@unmuhjember.ac.id

³Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: asrofulabidin@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Salah satu penyebab kerusakan lingkungan di Indonesia adalah jumlah dan penggunaan plastik semakin meningkat dari tahun ke tahun, namun plastik semakin meningkat karena berbagai keunggulan seperti bobotnya yang ringan, harga produksi yang murah, dan sifat isolasinya dan ladang rumah tangga. Polypropylene paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena memiliki sifat mekanik yang baik, antara lain kepadatan rendah, tahan panas, tahan lembab, dan stabilitas dimensi. Penelitian ini menerapkan pengelolaan sampah terhadap peningkatan jumlah sampah kota yang dihasilkan setiap harinya. Setelah dilakukannya penelitian ini, diharapkan dengan menggunakan alat uji pembakaran, sampah plastik dapat lebih dimanfaatkan untuk memenuhi bahan bakar. Penelitian ini dilakukan guna mengetahui waktu proses pirolisis dengan perbedaan rasio campuran bahan bakar yang telah ditentukan. Hasil dari penelitian ini adalah pemanfaatan limbah atau sampah plastik sebagai bahan bakar alternatif yang punya nilai kalor tinggi. Pada proses pirolisis, sampel dengan rasio campuran 2kg plastik dan 3pcs naphthalene menunjukkan proses pirolisis dengan waktu paling cepat hingga volume bahan bakar 200ml yakni dalam waktu 105 menit sedangkan sampel dengan rasio campuran 2kg plastik, 5% zeolit dan 7pcs naphthalene menunjukkan hal sebaliknya yakni dengan waktu pirolisis 180 menit.

Keywords: kondensasi, limbah, plastik, polypropylene, zeolit.

Abstract

One of the causes of environmental damage in Indonesia is that the amount and use of plastic is increasing from year to year, but plastic is increasing because of various advantages such as its light weight, cheap production price, and its insulating properties for household use. Polypropylene is most commonly used in everyday life because it has good mechanical properties, including low density, heat resistance, moisture resistance, and dimensional stability. This research applies waste management to increase the amount of city waste produced every day. After carrying out this research, it is hoped that by using a combustion test tool, plastic waste can be better utilized to provide fuel. This research was carried out to determine the time of the pyrolysis process with different predetermined fuel mixture ratios. The result of this research is the use of waste or plastic waste as an alternative fuel that has a high calorific value. In the pyrolysis process, the sample with a mixture ratio of 2kg plastic and 3pcs naphthalene showed the pyrolysis process with the fastest time up to a fuel volume of 200ml, namely in 105 minutes, while the sample with a mixture ratio of 2kg plastic, 5% zeolite and 7pcs naphthalene showed the opposite, namely with time pyrolysis 180 minutes..

Keywords: condensation, waste, plastic, polypropylene, zeolite.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan energi dari bahan bakar tak terbarukan masih marak digunakan di masyarakat saat ini, seperti penggunaan bahan bakar batu bara dan juga minyak. Nilai kalor yang tinggi dan juga rentan terhadap pembakaran menjadi kendala yang cukup serius dalam penggunaan energi ini. Dengan terbatasnya ketersediaan sumber daya fosil menjadi permasalahan utama dari penggunaan bahan bakar fosil [1].

Salah satu solusi dari permasalahan tersebut yaitu penggunaan sumber energi terbarukan [2]. Penggunaan sumber energi terbarukan sangat melimpah dan ramah terhadap lingkungan [3].

Berkembangnya waktu saat ini sampah plastik menjadi salah satu faktor penyebab rusaknya lingkungan hidup di Indonesia, semakin banyaknya jumlah dan penggunaan plastik setiap tahun meningkat karena berbagai keuntungan seperti biaya produksi yang rendah, ekonomis, bersifat isolator sehingga di berbagai bidang industri dan rumah tangga [4]. Sampah plastik yang dihasilkan di rumah berkaitan dengan kegiatan sehari-hari manusia, seperti kemasan plastik dan wadah makanan atau minuman. Sampah plastik dari industri berasal dari pembuatan plastik dan perusahaan yang berfokus pada pemrosesan [5].

Plastik adalah senyawa polimer yang terdiri dari elemen utama, yaitu Karbon dan Hidrogen. Dalam proses pembuatan plastik, salah satu bahan mentah yang umum digunakan adalah naphtha, yang diperoleh dari penyulingan minyak bumi atau gas alam [6]. Sebagai ilustrasi, untuk menghasilkan 1kg plastik dibutuhkan 1,75 kg minyak bumi guna memenuhi kebutuhan bahan baku dan energi dalam prosesnya [7].

Plastik Tipe Polypropylene paling banyak dipakai dalam kegiatan sehari-hari karena memiliki karakteristik mekanis yang baik, massa jenis rendah, ketahanan terhadap panas dan kelembaban, serta stabilitas dimensi yang baik. Selain manfaatnya, dampak yang ditimbulkan dapat merugikan lingkungan karena sulit terurai dalam tanah dan dapat memicu banjir jika berada di permukaan tanah, sementara jumlah penduduk yang terus

meningkat, diikuti dengan tingkat konsumsi dan penggunaan wadah serta kemasan makanan atau minuman di pasar. Setiap hari kita tak lepas dari sampah, karena kita membuang sampah baik di rumah atau di kantor dan dimanapun kita berada [8].

Pirolisis plastik menghasilkan tiga tipe produk: gas, cair, dan padat. Proses dekomposisi termal material polimer dalam keadaan padat menghasilkan gas yang sebagian mengembun, sementara padatan yang tidak reaksi tersisa di reaktor. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa konversi dan suhu dalam proses pirolisis plastik dapat ditingkatkan dengan penggunaan katalis [9].

Silika alumina dan zeolit adalah katalis yang umum digunakan dalam proses pirolisis untuk merecycling limbah plastik. Besar potensi zeolit alami yang banyak terdapat di Indonesia menawarkan peluang yang baik untuk dikembangkan sebagai katalis dalam proses pirolisis limbah plastik, dengan langkah pertama untuk mendapatkan zeolit yang sesuai dengan karakteristik yang diinginkan [10]. Pemakaian campuran zeolit alami dalam proses pirolisis dapat menurunkan suhu pembakaran yang tinggi, sehingga energi bisa diekstraksi dengan lebih mudah [11].

Peningkatan jumlah sampah di kawasan perkotaan berpengaruh pada penumpukan limbah dan pembakaran langsung di udara terbuka di Tempat Pembuangan Akhir. Cara penanganan ini tidak akan sepenuhnya mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan dan bisa menimbulkan masalah lain, seperti produksi zat pencemar yang dapat merusak lingkungan, seperti gas hasil pembakaran CO₂, NO₂, SO₂, dan lain-lain. Pembakaran sampah yang dilakukan individual dimana timbunan sampah organik maupun anorganik disatukan dan dibakar di udara terbuka tanpa disadari polusi dari asap pembakaran dapat berisiko pada kesehatan manusia.

Proses pengolahan limbah padat dengan cara pembakaran pada temperatur tinggi untuk mengurangi sampah mudah terbakar yang tidak bisa didaur ulang lagi, membunuh kuman, virus, dan bahan kimia beracun. Proses ini dilakukan di dalam alat yang disebut incinerator. Kelebihan yang dikembangkan terus dalam

teknologi, terbaru dari *incinerator* adalah sampah dapat dimusnakan dengan cepat dan terkendali, serta tidak memerlukan lahan yang luas.

2. TINJAUAN PUSTAKA

3. Plastik adalah jenis bahan polimer yang terdiri terutama dari unsur Karbon dan Hidrogen. Salah satu bahan baku umum untuk produksi plastik adalah naphta, yang diambil dari proses penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai contoh, untuk menghasilkan 1kg plastik diperlukan 1,75 kg minyak bumi, baik untuk memenuhi kebutuhan bahan baku maupun energi dalam proses pembuatannya [12].

Polypropylene adalah tipe plastik termoplastik yang cenderung mencair ketika dipanaskan dan kembali mengeras saat suhu menurun. Oleh karena itu, proses daur ulang polypropylene menjadi lebih mudah. Karena ketahanan terhadap bahan kimia, plastik ini sering digunakan sebagai wadah untuk kemasan pembersih dan alat medis. Beberapa karakteristik utama dari polypropylene atau plastik PP adalah fleksibilitas tinggi, kekuatan yang cukup kuat, kemampuan untuk mempertahankan bentuk, dan ketahanan yang baik terhadap aliran listrik.

Metode pirolisis mampu mengubah limbah menjadi bahan bakar. Rentang suhu untuk pirolisis adalah antara 400-600°C. Banyaknya produk yang dihasilkan meningkat sejalan dengan suhu yang lebih tinggi dan durasi proses. Sementara itu, jumlah padatan atau arang akan semakin berkurang seiring dengan kenaikan suhu dan lama proses berlangsung [13].

Dekomposisi material pada suhu tinggi tanpa adanya udara atau dengan udara yang sedikit dikenal sebagai pirolisis. Proses dekomposisi yang berlangsung dalam pirolisis sering dirujuk sebagai devolatilisasi. Pirolisis, yang juga disebut thermolisis, merupakan suatu proses dekomposisi kimia yang terjadi melalui pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses pirolisis menghasilkan bahan bakar padat dalam bentuk karbon serta cairan berupa campuran tar dan beberapa zat lainnya. Produk lain yang terdiri dari gas termasuk karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan gas-gas lainnya

dengan kandungan yang rendah. Hasil pirolisis berupa tiga jenis produk yaitu padatan (*charcoal/arang*), gas (*fuel gas*) dan cairan (*bio-oil*) [14].

Pirolisis merupakan metode penguraian termal dari material polimer seperti plastik melalui pemanasan tanpa adanya oksigen. Proses ini biasanya terjadi pada suhu 400–800 °C, tergantung pada tipe plastik dan sasaran produknya. Pada suhu ini, plastik akan mencair dan kemudian bertransformasi menjadi gas. Selama proses ini, rantai hidrokarbon yang panjang akan dipotong menjadi yang lebih pendek. Setelah itu, dilakukan proses pendinginan, dan cairan inilah yang nantinya akan menjadi bahan bakar, baik berupa bensin maupun diesel [15].

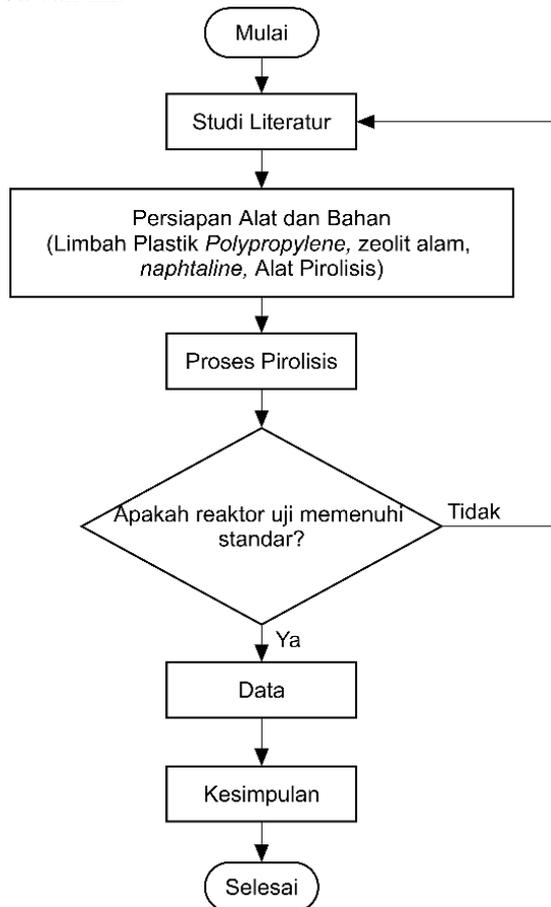
Gas yang dihasilkan pada suhu antara 200°C dan 400°C terutama adalah CO dan CO₂, namun pada suhu yang lebih tinggi, terdapat juga jumlah kecil gas hidrokarbon. Saat laju pemanasan bertambah, jumlah gas seperti CO, CO₂, CH₂, dan lainnya juga bertambah. Ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan laju pemanasan, kemungkinan akan lebih banyak gas hidrokarbon yang dihasilkan [16].

Penelitian ini berfokus pada mengetahui dampak dari berbagai jenis plastik dan penambahan katalis terhadap produk yang dihasilkan dari pirolisis. Proses pembuatan bahan bakar dari limbah dilakukan menggunakan metode pirolisis dengan cara memotong sampel, kemudian mencampurnya dengan zeolit dan naphthalene sesuai dengan variabel yang telah ditetapkan, lalu memanaskan tungku pembakaran.

Penelitian ini fokus pada pengelolaan limbah dari sampah masyarakat yang terus bertambah setiap harinya. Diharapkan, setelah melakukan penelitian ini dengan menggunakan alat percobaan incinerator, dapat membantu dalam mengolah sampah plastik menjadi sesuatu yang bermanfaat untuk kebutuhan masyarakat, seperti bahan bakar alternatif atau lainnya. Temuan dari penelitian ini adalah penggunaan limbah atau sampah plastik sebagai bahan bakar alternatif yang memiliki nilai kalori tinggi.

4. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada April sampai Mei di Laboratorium Mesin Otomotif Politeknik Negeri Jember dan di laboratorium Biosain Politeknik Negeri Jember. Proses penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1** di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
Sumber: Alur penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian yang bersifat eksperimen. Metode eksperimen dilakukan secara terkontrol dan merupakan pendekatan yang efektif untuk menentukan dampak dari perlakuan tertentu. Penelitian dijalankan melalui beberapa langkah, antara lain:

a. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dimulai dengan melakukan perangkaian reaktor pirolisis yang kemudian dilanjutkan dengan mengumpulkan sampah plastik yang telah dipotong hingga seukuran 4x4 mm.

b. Pembuatan Bahan Bakar Plastik

Setelah semua peralatan dan material siap, jauhkan terlebih dahulu reaktor pirolisis dari barang-barang yang mudah terbakar. Kemudian, buka tutup bagian atas reaktor untuk saluran plastik dan masukkan semua plastik yang telah dipotong sampai reaktor terisi penuh, kemudian pasang kembali tutupnya. Selanjutnya, tambahkan air ke dalam kondensor hingga terisi penuh. Setelah itu, siapkan wadah untuk menampung bahan bakar yang keluar.

c. Pengambilan Data

Perhatikan *thermometer* ketika bahan bakar mulai menetes, catat waktu yang diperlukan dan perhatikan kembali hingga semua bahan bakar telah menetes. Alat pirolisis yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Alat Pirolisis

Sumber: Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

a. Alat Penelitian

- Gelas ukur
- Pemantik api
- Kompor gas
- Regulator dan selang
- Mesh 80
- Rangkaian alat pirolisis
- Stopwatch

- Pipet
- Gunting
- Wadah
- Sarung tangan
- b. Bahan Penelitian
- Limbah plastik PP (*Polypropylene*)
- Air
- Zeolit alam
- *Naphtalene*
- Tabung Gas

Spesifikasi sampel penelitian yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Variasi Sampel Penelitian

Variasi Sampel	Spesifikasi
Sampel 1	2 kg plastik + 5% zeolit + 3 pcs naphtaline
Sampel 2	2 kg plastik + 5% zeolit + 5 pcs naphtaline
Sampel 3	2 kg plastik + 5% zeolit + 7 pcs naphtaline
Sampel 4	2 kg plastik + 3 pcs naphtaline

Sumber: Sampel Penelitian

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh data sebagai berikut yang dapat dilihat pada **Tabel 2** dan gambar sampel dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 2. Waktu Penetesan Proses Pirolisis

Data	Suhu (°C)	Hasil (ml)	T ₁ (min)	T ₂ (min)
Sampel 1	200	200	95	155
Sampel 2	200	200	110	135
Sampel 3	200	200	60	180
Sampel 4	200	200	120	105

Sumber: Tabel Hasil Penelitian dimana:

T₁ = Waktu bahan bakar pertama menetes

T₂ = Waktu bahan bakar selesai menetes setelah penetesan pertama



Gambar 3. Sampel Hasil Pirolisis

Sumber: Hasil Penelitian

Pada suhu 200°C dan hasil akhir pirolisis 200ml, 4 sampel menunjukkan hasil sebagai berikut. Sampel 1 meneteskan bahan bakar setelah 95 menit setelah alat beroperasi dan bahan bakar mencapai volume 200ml setelah 155 menit. Sampel 2 meneteskan bahan bakar setelah 110 menit setelah alat beroperasi dan bahan bakar mencapai volume 200ml setelah 135 menit. Sampel 3 meneteskan bahan bakar setelah 60 menit setelah alat beroperasi dan bahan bakar mencapai volume 200ml setelah 180 menit. Sampel 4 meneteskan bahan bakar setelah 120 menit setelah alat beroperasi dan bahan bakar mencapai volume 200ml setelah 105 menit.

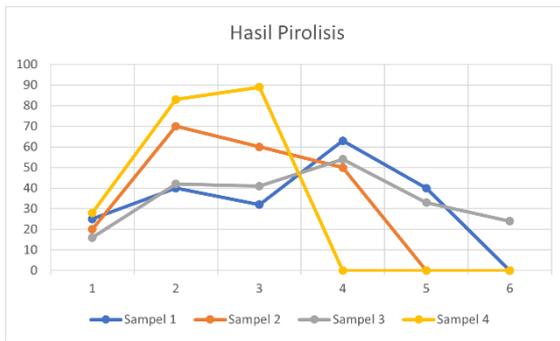
Pengambilan data tetesan pirolisis (ml) dilakukan pengecekan setiap 30 menit sehingga didapatkan data sebagaimana **Tabel 3** berikut.

Tabel 3. Tetesan Pirolisis

Sampel	1	2	3	4	5	6
1	25	40	32	63	40	-
2	20	70	60	50	-	-
3	16	42	41	54	33	24
4	28	83	89	-	-	-

Sumber: Hasil Tetesan Penelitian

Berdasarkan data yang telah diperoleh, maka didapatkan grafik penetesan bahan bakar pirolisis yang dapat dilihat pada **Gambar 4** berikut ini.



Gambar 4. Grafik Tetesan Pirolisis

Sumber: Hasil Grafik Tetesan

Sampel 4 menunjukkan proses pirolisis dengan waktu paling cepat hingga volume bahan bakar 200ml sedangkan sampel 3 menunjukkan hal sebaliknya.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada proses pirolisis limbah plastik *polypropylene* dengan tambahan campuran zeolit dan *naphthalene* didapatkan hasil bahwa sampel dengan rasio campuran 2kg plastik, 5% zeolit dan 7pcs *naphthalene* dapat meneteskan bahan bakar paling cepat yakni dengan waktu 60 menit setelah alat beroperasi. Sedangkan sampel dengan rasio campuran 2kg plastik dan 3pcs *naphthalene* meneteskan bahan bakar paling lambat yakni dengan waktu 120 menit setelah alat beroperasi. Pada proses pirolisis, sampel dengan rasio campuran 2kg plastik dan 3pcs *naphthalene* menunjukkan proses pirolisis dengan waktu paling cepat hingga volume bahan bakar 200ml yakni dalam waktu 105 menit sedangkan sampel dengan rasio campuran 2kg plastik, 5% zeolit dan 7pcs *naphthalene* menunjukkan hal sebaliknya yakni dengan waktu pirolisis 180 menit.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. M. Ramadhan, M. H. Bahri, and A. F. P. Nusantara, "Pengaruh Variasi Penambahan Zeolit Pada Briket Arang Jerami Padi dan Sekam Padi Terhadap Nilai Kalor dan Densitas," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 3 SE-Articles, pp. 96–102, 2023.
- [2] D. Wahyu Pratama and A. Abidin, "Variation Effect of Horse Dung, Yeast And EM-4 on The Quality of Fuel Biogas Tofu Liquid Waste," *J. Kaji. Ilm. dan Teknol. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 2541–3562, 2020.
- [3] N. A. Mufarida and A. Abidin, "Quality of Fuel Liquid Waste Biogas Tofu Using Starter Composition Variation," *Rekayasa Energi Manufaktur J.*, vol. 5, no. 2, pp. 17–21, 2020, doi: 10.21070/rem.v5i2.1001.
- [4] A. Abidin, "Strategi Pengembangan Kecamatan Tapen Kabupaten Bondowoso Berbasis Energi Minihidro," *J-Proteksion*, vol. 5, no. 1, pp. 6–15, 2020.
- [5] M. Syamsiro, "Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk," *Teknik*, vol. 5, no. 1, pp. 1–85, 2015.
- [6] A. Abidin and N. S. Pamungkas, "Pengaruh Variasi Massa Roller CVT terhadap Karakteristik Performa Motor Matic 110 cc dan 150 cc Menggunakan Dynamometer," *J-Proteksion J. Kaji. Ilm. dan Teknol. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, pp. 8–13, 2022, doi: 10.32528/jp.v7i1.8388.
- [7] S. Untoro Budi, "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak," *J. Envirotek*, vol. 9, no. 2, pp. 32–40, 2018.
- [8] Hermanto, M. Bahri, and A. Fathonisyam, "Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene dengan Tambahan Zeolit Alam," *J. Smart Teknol.*, vol. 3, no. 2, pp. 216–223, 2022.
- [9] R. Pratiwi, W. Dahani, and K. F. H, "Komparasi Potensi Pirolisa Limbah Plastik Perkotaan Untuk Mendapatkan Bahan Bakar Cair Setara Bensin," *J. Penelit. Dan Karya Ilm. Lemb. Penelit. Univ. Trisakti*, vol. 2, no. 2, pp. 50–58, 2018, doi: 10.25105/pdk.v2i2.2469.
- [10] D. Pratiwi, "Pengaruh Penggunaan Katalis Zeolit Alam Dalam Pirolisis Limbah Plastik Jenis HDPE menjadi Bahan Bakar Cair Setara Bensin," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Jakarta*, no. November, pp. 1–5, 2015.
- [11] M. H. Bahri, W. Wijayanti, N. Hamidi, and I. N. G. Wardana, "The role of alkali

- metal and alkaline metal earth in natural zeolite on combustion of Albizia Falcataria sawdust,” *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 219–227, 2020, doi: 10.1007/s40095-019-00323-2.
- [12] M. H. Bahri, I. N. G. Wardana, W. Wijayanti, and N. Hamidi, “Combustion characteristic of Albizia falcataria using thermogravimetry Combustion characteristic of Albizia falcataria using thermogravimetry,” no. October, 2019.
- [13] Sumarni and A. Purwanti, “Kinetika Reaksi Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene (LDPE),” *J. Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 135–140, 2008.
- [14] H. Kadir, S. Yani, and R. Kalla, “Pemanfaatan Kulit Ari Biji Kakao dan Tempurung Kelapa dalam Pembuatan Briket sebagai Bahan Bakar Alternatif,” *J. Konstr. Tek. ...*, vol. 01, no. 12, pp. 10–18, 2022.
- [15] M. H. Bahri, “Effect of natural zeolite on biomass pyrolysis,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1034, no. 1, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1034/1/012082.
- [16] E. C. Efika, J. A. Onwudili, and P. T. Williams, “Products from the high temperature pyrolysis of RDF at slow and rapid heating rates,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 112, pp. 14–22, 2015, doi: 10.1016/j.jaap.2015.01.004.