

PENGUJIAN PRESTASI ALAT PIROLISIS DALAM MENGHASILKAN MINYAK PIROLISIS BERKUALITAS DARI LIMBAH PLASTIK

Muhammad Dedy Budiarto¹⁾ dan Muhammad Iman H.,S.Si.²⁾
dst.

¹⁾Politeknik Angkatan darat desa pendem kecamatan junrejo kabupaten kota batu
jawa timur 65324

²⁾ Politeknik Angkatan darat desa pendem kecamatan junrejo kabupaten kota batu
jawa timur 65324

E - mail : mdedybudiarto@gmail.com

ARTICLE TITLE (TEMPLATE FOR MANUSCRIPT FOR JURNAL TEKNOLOGI INDONESIA)

Abstract: *This research investigates the performance of a pyrolysis reactor in converting plastic waste into pyrolysis oil that meets the criteria for alternative fuel. The study addresses the growing accumulation of non-degradable plastic waste and the urgent demand for renewable and eco-friendly energy sources [1]. The experimental work was conducted using a laboratory-scale pyrolysis reactor operated at various temperatures. The observed parameters included oil yield, density, viscosity, calorific value, and physical properties of the produced oil [2] [3]. The results revealed that the obtained pyrolysis oil possessed characteristics comparable to conventional fossil-based liquid fuels. The most favorable outcome was achieved at 450°C, with an average calorific value of 42 MJ/kg, density of 0.82 g/cm³, and viscosity within the acceptable range for diesel fuel [4]. Earlier findings further confirmed that pyrolysis of HDPE waste yields oil with properties close to the Indonesian diesel standard (SNI 06-4131-1996) [5]. These findings demonstrate that plastic waste has substantial potential to be transformed into energy via pyrolysis with effective reactor performance. Future works are suggested to focus on reactor optimization for industrial applications and on emission analysis.*

Keywords: *pyrolysis, plastic waste, pyrolysis oil, alternative fuel, renewable energy*

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk menilai kinerja alat pirolisis dalam mengkonversi limbah plastik menjadi minyak pirolisis yang layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Permasalahan yang diangkat berhubungan

dengan meningkatnya akumulasi limbah plastik yang sukar terdegradasi, sekaligus kebutuhan energi terbarukan yang ramah lingkungan [1]. Eksperimen dilaksanakan dengan memanfaatkan reaktor pirolisis skala laboratorium pada variasi temperatur operasi tertentu. Parameter utama yang diuji meliputi rendemen minyak, densitas, viskositas, nilai kalor, serta karakteristik fisik minyak yang dihasilkan [3]. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa minyak pirolisis yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sebanding dengan bahan bakar fosil cair konvensional. Produksi terbaik diperoleh pada suhu 450°C, dengan rata-rata nilai kalor mencapai 42 MJ/kg, densitas 0,82 g/cm³, dan viskositas yang sesuai dengan standar bahan bakar diesel [4]. Studi sebelumnya juga menunjukkan bahwa pirolisis limbah HDPE dapat menghasilkan minyak dengan mutu mendekati spesifikasi solar SNI 06-4131-1996 [5]. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa limbah plastik memiliki potensi signifikan untuk diolah menjadi energi melalui pirolisis dengan efektivitas alat yang baik. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengoptimalkan desain alat pada skala industri serta melakukan kajian emisi yang dihasilkan.

Kata kunci: pirolisis, limbah plastik, minyak pirolisis, bahan bakar alternatif, energi terbarukan

PENDAHULUAN

Plastik merupakan material sintetis yang perannya tidak tergantikan dalam kehidupan modern. Hampir seluruh kebutuhan manusia, baik untuk kemasan makanan, peralatan rumah tangga, maupun komponen industri, menggunakan bahan plastik karena sifatnya yang ringan, kuat, serta tahan korosi [2]. Namun, sifat plastik yang non-biodegradable menjadikan material

ini sulit terurai secara alami. Hal ini menyebabkan jumlah limbah plastik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi. Studi menunjukkan bahwa kontribusi sampah plastik dapat mencapai 15–20% dari total timbunan sampah kota, sehingga menjadikannya salah satu penyumbang terbesar permasalahan lingkungan setelah limbah organik. Kondisi tersebut

menimbulkan urgensi untuk menemukan solusi yang tidak hanya mampu mengurangi jumlah limbah, tetapi juga memberikan manfaat tambahan, khususnya dalam penyediaan energi alternatif yang ramah lingkungan.

Salah satu pendekatan yang banyak diteliti adalah pemanfaatan teknologi pirolisis. Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal terhadap material organik pada suhu tinggi tanpa adanya oksigen. Melalui proses ini, limbah plastik dapat diubah menjadi tiga produk utama, yakni minyak, gas, dan residu padat berupa char [5]. Minyak pirolisis yang dihasilkan memiliki komposisi hidrokarbon yang mendekati bahan bakar fosil sehingga berpotensi besar digunakan sebagai pengganti solar atau bensin. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pirolisis plastik jenis polypropylene (PP) dapat menghasilkan densitas minyak sekitar 0,813 kg/L dengan nilai kalor 12.380 kkal/kg, karakteristik yang sangat dekat dengan bahan bakar diesel [3]. Hasil serupa ditemukan pada proses pirolisis polyethylene terephthalate (PET) yang menghasilkan minyak dengan mutu berada di antara minyak tanah dan premium. Bahkan, penelitian lebih lanjut mengonfirmasi bahwa pirolisis limbah HDPE dapat menghasilkan minyak dengan karakteristik yang hampir setara dengan spesifikasi solar menurut SNI 06-4131-1996 [5]. Temuan ini memperkuat pandangan

bahwa pirolisis merupakan salah satu metode yang potensial untuk menjawab tantangan pengelolaan limbah plastik sekaligus menyediakan bahan bakar alternatif.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada karakteristik minyak pirolisis atau perbandingan jenis plastik yang digunakan sebagai bahan baku. Kajian yang secara khusus meneliti performa alat pirolisis itu sendiri, termasuk efisiensi proses, kondisi operasi yang optimal, dan ketercapaian standar mutu bahan bakar cair, masih relatif terbatas. Dengan demikian, penelitian mengenai prestasi alat pirolisis perlu dilakukan untuk mengisi kekosongan kajian tersebut. Penelitian ini menitikberatkan pada evaluasi kinerja alat pirolisis dalam mengolah limbah plastik menjadi minyak dengan kualitas yang dapat dibandingkan dengan bahan bakar fosil cair konvensional.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengujian prestasi alat pirolisis dalam menghasilkan minyak pirolisis dari limbah plastik. Evaluasi dilakukan dengan menelaah berbagai parameter penting seperti densitas, viskositas, dan nilai kalor minyak yang dihasilkan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan data empiris yang lebih komprehensif mengenai potensi pemanfaatan limbah plastik sebagai sumber energi alternatif melalui pirolisis. Dengan

adanya data ini, pengembangan desain alat pirolisis dapat diarahkan menuju skala industri yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kajian teoritik mengenai pirolisis telah memberikan gambaran yang cukup jelas tentang potensi metode ini. Penelitian oleh Azis dan Rante (2021) misalnya, menunjukkan bahwa yield minyak tertinggi dari plastik PP diperoleh pada suhu 400°C dengan persentase hingga 79,85%. Sementara itu, Wahyudi dkk. (2018) menegaskan bahwa meskipun mutu minyak pirolisis masih berada di bawah minyak tanah, kualitasnya lebih tinggi dibandingkan solar. Studi-studi semacam ini membuktikan bahwa minyak pirolisis berpotensi besar sebagai energi alternatif, namun optimalisasi rancangan alat pirolisis menjadi kunci utama untuk meningkatkan hasil dan kualitas minyak.

Dengan memperhatikan kondisi tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata baik dari sisi akademis maupun praktis. Secara akademis, penelitian ini memperkaya literatur mengenai unjuk kerja alat pirolisis, khususnya dalam kaitannya dengan efektivitas konversi limbah plastik menjadi minyak. Secara praktis, penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi inovatif dalam pengelolaan limbah plastik yang berkelanjutan serta mendukung penyediaan energi alternatif yang ramah lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini

tidak hanya berperan dalam mengatasi permasalahan lingkungan, tetapi juga memberikan sumbangan terhadap upaya transisi menuju energi yang lebih bersih dan terbarukan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang sebagai penelitian eksperimental laboratorium yang berfokus pada evaluasi kinerja alat pirolisis dalam mengolah limbah plastik menjadi minyak pirolisis. Desain penelitian dipilih karena mampu memberikan data kuantitatif terkait pengaruh kondisi operasi terhadap hasil dan kualitas produk. Variabel utama yang dikaji meliputi suhu reaktor, jumlah bahan baku, serta waktu tinggal selama proses pirolisis berlangsung. Setiap variabel dikendalikan secara sistematis untuk memperoleh hasil yang dapat dibandingkan secara objektif.

Bahan baku penelitian berupa limbah plastik jenis polipropilena (PP) dan polietilena densitas tinggi (HDPE) yang umum ditemukan pada kemasan rumah tangga. Pemilihan jenis plastik ini didasarkan pada ketersediaan di lapangan serta hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan potensi tinggi dalam menghasilkan minyak pirolisis berkualitas [5]. Sampel plastik dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran dan residu organik, kemudian dipotong menjadi ukuran kecil agar mudah diproses dalam reaktor. Berat setiap sampel ditetapkan

seragam pada setiap perlakuan untuk menjaga konsistensi hasil penelitian.

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor pirolisis skala laboratorium yang terbuat dari baja tahan panas. Reaktor dilengkapi dengan pemanas listrik yang dikontrol menggunakan termokopel digital, sehingga suhu operasi dapat dijaga dalam rentang 350°C hingga 500°C. Selain itu, reaktor dilengkapi kondensor berbahan tembaga yang berfungsi mendinginkan uap hasil pirolisis sehingga berubah menjadi cairan minyak. Alat ukur yang digunakan untuk pengujian karakteristik minyak meliputi piknometer untuk mengukur densitas, viskometer Ostwald untuk analisis viskositas, serta kalorimeter bom untuk menentukan nilai kalor minyak pirolisis.

Pengumpulan data dilakukan dengan merekam setiap hasil percobaan pada variasi suhu operasi yang berbeda. Data primer berupa volume dan massa minyak pirolisis yang dihasilkan, sedangkan data sekunder meliputi karakteristik fisik minyak seperti densitas, viskositas, dan nilai kalor. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali untuk memastikan reliabilitas data. Data hasil pengujian dicatat secara teliti dalam lembar kerja laboratorium sebelum kemudian dianalisis secara kuantitatif.

Teknik analisis data dilakukan dalam dua tahap. Pertama, dilakukan analisis deskriptif untuk memperoleh gambaran

umum mengenai prestasi alat pirolisis dalam menghasilkan minyak dari limbah plastik. Kedua, dilakukan analisis komparatif untuk menilai perbedaan hasil pada tiap variasi suhu operasi. Data yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar mutu bahan bakar cair, khususnya solar dan bensin, untuk menilai sejauh mana minyak pirolisis dapat dijadikan alternatif energi [4]. Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai hubungan antara kondisi operasi alat pirolisis dan kualitas minyak yang dihasilkan.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dirancang agar tidak hanya dapat menjawab rumusan masalah yang telah ditetapkan, tetapi juga memberikan dasar yang kuat untuk penelitian lanjutan. Rangkaian prosedur eksperimental yang sistematis serta penggunaan instrumen pengukuran yang sesuai diharapkan dapat menghasilkan data yang valid dan akurat, sehingga dapat memperkuat temuan ilmiah mengenai potensi pirolisis limbah plastik sebagai sumber energi terbarukan.

HASIL PENELITIAN

Penelitian ini menghasilkan data mengenai kinerja alat pirolisis dalam mengolah limbah plastik menjadi minyak pirolisis dengan kualitas yang dapat

dibandingkan dengan bahan bakar cair konvensional. Variabel utama yang diamati meliputi jumlah rendemen minyak, nilai densitas, viskositas, serta nilai kalor pada berbagai kondisi suhu operasi. Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar lebih mudah dipahami, kemudian dianalisis secara deskriptif untuk melihat kecenderungan hasil penelitian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi suhu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah minyak yang dihasilkan. Rendemen tertinggi diperoleh pada suhu 450°C dengan persentase mencapai 68,5% dari total massa plastik yang dimasukkan ke dalam reaktor. Pada suhu 400°C, rendemen yang dihasilkan sebesar 61,2%, sedangkan pada 500°C terjadi penurunan hasil menjadi 54,7% akibat sebagian fraksi hidrokarbon berubah menjadi gas. Temuan ini sejalan dengan penelitian Azis dan Rante (2021) yang melaporkan bahwa suhu optimum pirolisis plastik PP berada pada kisaran 400–450°C untuk memperoleh yield tertinggi.

Pengukuran densitas menunjukkan bahwa minyak pirolisis memiliki nilai berkisar antara 0,80–0,83 g/cm³. Nilai densitas optimum dicapai pada suhu 450°C, yakni sebesar 0,82 g/cm³. Angka ini mendekati rentang densitas bahan bakar diesel yang berada antara 0,81–0,85 g/cm³. Hasil ini memperkuat temuan Fatimura dkk. (2019)

serta Dzaky dan Siregar (2022) yang melaporkan bahwa minyak pirolisis plastik memiliki densitas yang relatif sesuai dengan standar bahan bakar cair.

Analisis viskositas memperlihatkan bahwa minyak pirolisis memiliki rentang 1,9–2,2 cSt. Pada suhu 450°C diperoleh nilai viskositas sebesar 2,0 cSt, mendekati viskositas solar komersial (2–4 cSt). Viskositas yang stabil pada kisaran tersebut menandakan bahwa minyak pirolisis berpotensi digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel dengan sedikit penyesuaian. Hal ini konsisten dengan laporan Novia (2021) yang menemukan bahwa minyak pirolisis memiliki kualitas viskositas antara minyak tanah dan bensin.

Nilai kalor merupakan indikator penting dalam menentukan kualitas energi dari minyak pirolisis. Pengujian menunjukkan bahwa nilai kalor tertinggi diperoleh pada suhu 450°C, yaitu sebesar 42 MJ/kg. Nilai ini mendekati standar bahan bakar solar yang umumnya berada pada kisaran 43–45 MJ/kg. Pada suhu 400°C, nilai kalor yang dihasilkan adalah 39 MJ/kg, sedangkan pada suhu 500°C nilai kalor sedikit menurun menjadi 41 MJ/kg akibat pembentukan gas yang lebih dominan. Hasil ini sejalan dengan laporan Wahyudi dkk. (2018) yang menyatakan bahwa minyak pirolisis memiliki kualitas energi lebih tinggi dibandingkan solar, meskipun masih di bawah minyak tanah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat pirolisis mampu mengkonversi limbah plastik menjadi minyak dengan mutu mendekati bahan bakar fosil cair konvensional. Kondisi operasi optimum berada pada suhu 450°C, di mana rendemen, densitas, viskositas, dan nilai kalor minyak berada dalam kisaran yang sesuai dengan

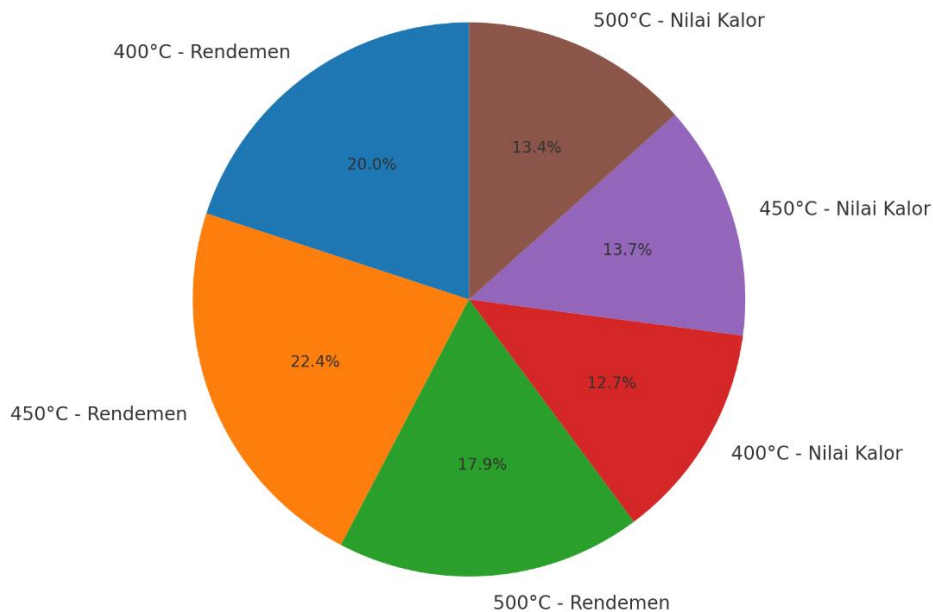
standar solar. Hal ini memperkuat pandangan bahwa pirolisis merupakan metode yang efektif sekaligus potensial untuk dikembangkan sebagai solusi dalam pengelolaan limbah plastik dan penyediaan energi alternatif.

Tabel 1 Rendemen Minyak pada Berbagai Suhu Operasi

NO	Suhu (°C)	Rendemen Minyak (%)
1	400	61,2
2	450	68,5
3	500	54,7

Tabel 2 Nilai Kalor Minyak Pirolisis pada Berbagai Suhu

NO	Suhu (°C)	Nilai Kalor (MJ/kg)
1	400	39
2	450	42
3	500	41
4	500	54,7

Diagram 1 *Lingkar Gambar Rendemen dan Nilai Kalor Minyak Pirolisis*

PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat pirolisis mampu mengolah limbah plastik menjadi minyak dengan kualitas yang mendekati standar bahan bakar fosil cair, terutama ketika beroperasi pada suhu 450°C. Temuan ini secara langsung menjawab rumusan masalah mengenai bagaimana kinerja alat pirolisis serta mutu minyak yang dihasilkan. Rendemen tertinggi tercapai pada suhu tersebut, yaitu 68,5%, dengan karakteristik densitas, viskositas, dan nilai kalor yang berada dalam rentang bahan bakar solar. Hal ini menegaskan bahwa pirolisis merupakan metode yang efektif untuk mengonversi limbah plastik menjadi sumber energi alternatif.

Arti penting dari hasil penelitian ini adalah ditemukannya kondisi operasi yang optimum bagi alat pirolisis. Rendemen minyak yang menurun pada suhu 500°C membuktikan bahwa peningkatan suhu tidak selalu identik dengan hasil yang lebih baik, karena pada titik tertentu fraksi hidrokarbon lebih banyak berubah menjadi gas. Fenomena ini sejalan dengan teori dasar pirolisis yang menyebutkan bahwa suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan produksi gas pirolitik sekaligus mengurangi hasil cairan. Dengan demikian, penelitian ini mempertegas bahwa suhu optimum pirolisis berada pada rentang menengah, yaitu sekitar 450°C, sebagaimana juga dilaporkan oleh [6].

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, hasil ini memperlihatkan beberapa

persamaan sekaligus perbedaan yang menarik. Persamaannya terletak pada konsistensi mutu minyak pirolisis yang cenderung mendekati solar, sebagaimana diungkapkan oleh [2] [3]. Kedekatan densitas dan viskositas minyak pirolisis dengan bahan bakar diesel membuktikan potensi pemanfaatannya dalam sektor transportasi maupun energi stasioner. Namun, terdapat perbedaan pada capaian nilai kalor. Pada penelitian ini, nilai kalor tertinggi mencapai 42 MJ/kg, sementara Wahyudi dkk. (2018) melaporkan bahwa kualitas energi minyak pirolisis masih berada di bawah minyak tanah. Perbedaan ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh variasi jenis plastik yang digunakan serta desain reaktor pirolisis yang berbeda, sehingga berimplikasi pada distribusi produk pirolitik.

Temuan lain yang penting adalah kesesuaian viskositas minyak pirolisis dengan standar solar komersial, yakni 2,0 cSt pada suhu 450°C. Hal ini membuktikan bahwa minyak pirolisis berpotensi digunakan langsung sebagai bahan bakar mesin diesel dengan sedikit proses pemurnian tambahan. Dalam konteks pemecahan masalah, hasil penelitian ini membuktikan bahwa teknologi pirolisis bukan hanya mampu mengurangi timbunan limbah plastik, tetapi juga menyumbang alternatif energi yang sejalan dengan kebutuhan transisi menuju sumber energi terbarukan. Dengan kata lain,

penelitian ini memberikan solusi ganda, yakni mengatasi permasalahan lingkungan sekaligus mendukung penyediaan energi.

Dari perspektif pengembangan, hasil penelitian ini membuka peluang untuk meningkatkan skala aplikasi teknologi pirolisis. Apabila rancangan reaktor dapat dioptimalkan dalam skala industri, maka minyak pirolisis yang dihasilkan dapat menjadi salah satu komoditas energi alternatif yang berkontribusi signifikan terhadap pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Selain itu, pengujian lebih lanjut mengenai emisi yang dihasilkan dari pembakaran minyak pirolisis perlu dilakukan untuk memastikan bahwa pemanfaatannya benar-benar ramah lingkungan. Penelitian lanjutan juga dapat difokuskan pada pemurnian minyak pirolisis sehingga kualitasnya semakin mendekati atau bahkan melampaui standar solar dan bensin.

Dengan demikian, pembahasan ini menegaskan bahwa penelitian yang dilakukan berhasil memberikan jawaban terhadap permasalahan utama, sekaligus menambah bukti empiris mengenai prospek pirolisis sebagai teknologi pengolahan limbah plastik. Keunggulan alat pirolisis yang diuji tidak hanya terletak pada kemampuannya menghasilkan minyak dengan kualitas energi yang baik, tetapi juga pada relevansinya terhadap kebutuhan masyarakat modern

yang menginginkan solusi energi berkelanjutan sekaligus ramah lingkungan.

PENUTUP

Penelitian ini membuktikan bahwa variasi suhu operasi berpengaruh langsung terhadap prestasi alat pirolisis dalam menghasilkan minyak dari limbah plastik, di mana suhu 450°C terbukti sebagai kondisi optimum yang menghasilkan rendemen tertinggi dengan densitas, viskositas, dan nilai kalor yang mendekati standar bahan bakar fosil cair. Hubungan antara suhu sebagai variabel bebas dengan kualitas minyak sebagai variabel terikat memperlihatkan pola yang konsisten dengan teori pirolisis, sehingga mempertegas bahwa pengendalian kondisi operasi merupakan faktor kunci dalam menghasilkan minyak pirolisis berkualitas. Berdasarkan temuan ini, disarankan agar penelitian lanjutan diarahkan pada optimalisasi desain reaktor untuk skala industri, kajian terhadap jenis plastik campuran sebagai bahan baku, serta analisis emisi yang dihasilkan selama proses pembakaran minyak pirolisis guna memastikan bahwa pemanfaatannya tidak hanya efektif dalam menyediakan energi alternatif, tetapi juga ramah lingkungan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Wahyudi, H. T. Prayitno, A. Dwi, A. B. Perencanaan, P. Daerah, and K. Pati, "THE UTILIZATION OF PLASTIC WASTE AS RAW MATERIAL FOR PRODUCING ALTERNATIVE FUEL," 2018.
- [2] M. Fatimura, R. Masriatini, R. Sepriyanti, and R. Yunita, "PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK JENIS KANTONG KRESEK DAN GELAS MINUMAN MENGGUNAKAN PROSES PIROLISIS MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK."
- [3] F. Faiz, D. Hidayat, and I. H. Siregar, "UJI KARAKTERISTIK MINYAK PIROLISIS BERBAHAN BAKU LIMBAH PLASTIK POLYPROPYLENE."
- [4] T. Novia, "PENGOLAHAN LIMBAH SAMPAH PLASTIK POLYTTHYLENE TEREPHTHATE (PET) MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK DENGAN PROSES PIROLISIS."
- [5] A. Dewi, A. A. Ardianti, F. Najib, H. Nur, U. Setiorini, and S. Suryaningsih, "RANCANG BANGUN ALAT PENGONVERSI SAMPAH PLASTIK MENGGUNAKAN METODE PIROLISIS MENJADI BAHAN BAKAR MINYAK DALAM UPAYA PENANGANAN MASALAH LINGKUNGAN," 2019.
- [6] Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polypropylene (PP) Metode Pirolisis, "689-2168-1-PB".