

## UJI EKSPERIMENTAL MINYAK HASIL PIROLISIS LDPE BERKATALIS CAO

Arif Setyo Nugroho<sup>1</sup>, Aris Teguh Rahayu<sup>2</sup>, Aditya Arkhani Lutfian<sup>3</sup>, Nur Aklis<sup>4</sup>

<sup>1,3</sup>Teknik Mesin STT Warga Surakarta

Jl Raya Solo Baki Km 2 Kwarasan Solobaru Sukoharjo, 57552.

<sup>2</sup> Teknik Elektronika STT Warga Surakarta

Jl Raya Solo Baki Km 2 Kwarasan Solobaru Sukoharjo, 57552.

<sup>4</sup>Teknik Mesin UMS Surakarta

Jl A Yani Mendungan Pabelan Kartasura Sukoharjo. 57162

Email korespondensi: arifsn@sttw.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini adalah upaya untuk menjawab krisis limbah plastik. Permasalahan krusial saat ini adalah menipisnya sumber daya energi fosil dan akumulasi limbah yang kian menjadi. Konsumsi bahan bakar fosil yang masif, terutama oleh sektor industri dan transportasi, telah menggerus cadangan energi ini. Bersamaan dengan itu, limbah menjadi isu mendesak karena peningkatannya yang tak terkendali dan kurangnya solusi penanganan yang memadai. Plastik, khususnya, merupakan sumber masalah besar karena sifatnya yang sulit terurai dan ancaman pencemarannya terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada produksi bahan bakar cair melalui pirolisis limbah kantong plastik. Proses pirolisis dilakukan dengan memvariasikan suhu reaktor pada 300°C, 350°C, dan 400°C, serta mengaplikasikan katalis CaO untuk mengoptimalkan hasil minyak. Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru tentang pirolisis limbah kantong plastik. Reaktor pirolisis menggubakan jenis fixed bed pendinginan air. Data mengenai pirolisis LDPE tanpa penambahan CaO pada berbagai suhu reaktor menunjukkan: Pada 200°C: 14% gas, 51% padatan, 35% cairan/minyak. Pada 250°C: 24% gas, 34% padatan, 42% cairan/minyak. Pada 300°C: 26% gas, 29% padatan, 45% cairan/minyak. Perlu dicatat bahwa kekentalan minyak, baik dari LDPE tanpa maupun dengan CaO, berkorelasi dengan suhu proses.

**Kata kunci:** Limbah, plastik, pyrolisis, bahan bakar, minyak.

### Abstract

*This research is an attempt to address the plastic waste crisis. The current crucial problem is the depletion of fossil energy resources and the increasing accumulation of waste. Massive consumption of fossil fuels, especially by the industrial and transportation sectors, has eroded this energy reserve. At the same time, waste has become an urgent issue due to its uncontrolled increase and the lack of adequate handling solutions. Plastic, in particular, is a major problem due to its difficult-to-decompose nature and its threat of pollution to the environment. Therefore, this research focuses on producing liquid fuel through the pyrolysis of plastic bag waste. The pyrolysis process was carried out by varying the reactor temperature at 300°C, 350°C, and 400°C, and applying a CaO catalyst to optimize oil yield. The results of this study are expected to provide new insights into the pyrolysis of plastic bag waste. The pyrolysis reactor uses a fixed bed type with water cooling. Data on pyrolysis of LDPE without CaO addition at various reactor temperatures show that at 200°C: 14% gas, 51% solids, and 35% liquid/oil. At 250°C: 24% gas, 34% solids, 42% liquid/oil. At 300°C: 26% gas, 29% solids, 45% liquid/oil. It should be noted that the viscosity of the oil, both from LDPE without and with CaO, is correlated with the process temperature.*

**Keywords:** Waste, plastic, pyrolysis, fuel, oil

## PENDAHULUAN

Dua isu utama, yaitu peningkatan penggunaan energi dan lonjakan volume sampah, adalah konsekuensi langsung dari pesatnya peningkatan ekonomi jumlah penduduk yang meningkat. Konsumsi energi di berbagai faktor di Indonesia seperti transportasi, industry dan energi listrik untuk rumah tangga terus meningkat dengan laju pertumbuhan penduduk rata – rata 5.2 % , sebaliknya cadangan energi nasional semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan kritis energi di masa mendatang jika tidak ditemukan sumber-sumber energi baru (Nugraha, Rahmat, and Nur H 2019). Upaya berkelanjutan sedang dilakukan, khususnya dalam pengembangan energi alternatif dari sumber daya terbarukan. Namun, fokus penelitian saat ini terbatas pada eksplorasi sumber biomassa, pertambangan, dan nuklir. Padahal masih terdapat banyak sumber lain yang masih menjadi masalah besar seiring pertumbuhan penduduk dan kemajuan teknologi, contohnya sampah (Nugroho 2020). Pembahasan ini berfokus pada sampah anorganik, dengan plastik sebagai contoh utamanya. Plastik sendiri merupakan polimer, suatu senyawa yang dihasilkan dari polimerisasi atau penyatuan monomer-monomer. Monomer didefinisikan sebagai senyawa kimia organik yang memiliki kapasitas untuk berpolimerisasi, yang ditentukan oleh karakteristik monomer yang akan bergabung (Nugroho et al. 2018).

Plastik dapat dipandang sebagai jenis makromolekul yang tersusun melalui polimerisasi. Material dasar pembentuk berbagai jenis plastik umumnya mencakup polipropilena (PP), polietilena (PE), polistirena (PS), poli metil metakrilat (PMMA), High Density Polyethylene (HDPE), dan poli vinilklorida (PVC) (Zepyra Damayanti, Sudarti 2016) (Wisnujati and Yudhanto 2020). Plastik hingga saat ini masih merupakan bahan yang banyak digunakan oleh kalangan industri maupun rumah. Penggunaan plastik yang sangat tinggi memunculkan akibat terjadinya penumpukan sampah plastik, dan sampah plastik merupakan sampah yang tidak mudah diuraikan secara cepat oleh mikroorganisme (Santhiarsa 2022).

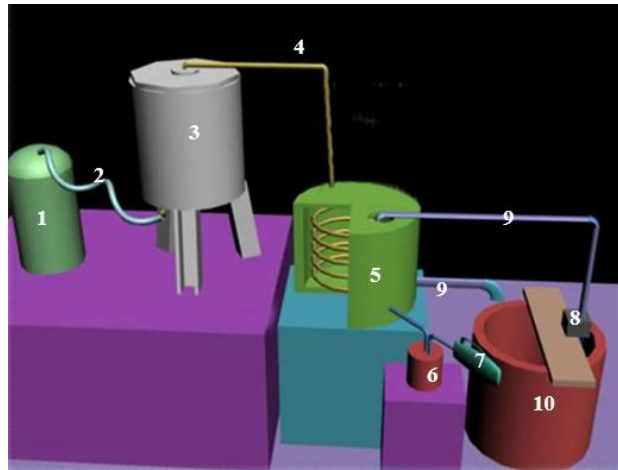
Limbah plastik telah menjadi isu yang sangat diperhatikan dalam konteks pencemaran lingkungan, terutama dalam hal pencemaran tanah (Restanti and Mirwan 2023). Ketergantungan masyarakat terhadap plastik sangat tinggi, di mana hampir semua peralatan rumah tangga dibuat dari bahan plastik. Suatu ketika plastik tersebut akan menjadi masalah, contohnya adalah sampah kantong plastik. Sampah kantong plastik merupakan jenis sampah LDPE, dan banyak dijumpai (Batubara et al. 2022). Sampah plastik sulit terurai, karena berasal dari turunan minyak bumi. Harus ada solusi untuk mengatasinya, dengan memanfaatkan untuk lebih memiliki daya guna (Buyung et al. 2020). Salah satu upaya adalah pemanfaatan sampah plastik dimanfaatkan sebagai bahan bakar, sampah plastik yang sering dijumpai adalah jenis LDPE berupa kantong plastik diolah dengan pirolisis (Wajdi et al. 2020). Salah satu cara mengatasi hal tersebut adalah mengolah sampah plastik dengan proses pirolisis. Metode pirolisis melibatkan penguraian material melalui pemanasan pada temperatur tinggi dalam kondisi minim atau tanpa udara, menghasilkan keluaran berupa minyak, gas, dan arang (Dodit Ardiatma, Neny Mulyani 2020).

Studi menunjukkan bahwa jumlah produk pirolisis berbanding lurus dengan peningkatan suhu serta durasi proses yang diterapkan (Saputra et al. 2023). Sementara itu, kuantitas padatan atau arang cenderung menurun dengan temperature yang naik dan lamanya proses berlangsung. Reaktor yang digunakan adalah jenis batch. Sebuah penelitian untuk mengetahui hasil pirolisis plastik jenis LDPE dan PP menjadi bahan bakar. Temperatur divariasikan 250°C, 300°C dan 350°C. Hasil pirolisis data bahwa minyak yang dihasilkan dipengaruhi oleh temperatur reaksi, menghasilkan minyak paling banyak di temperatur 250°C. Pengujian dengan membuat minyak dari plastik jenis LDPE dengan variasi temperatur 200°C, 250°C dan 300°C. Dari hasil pengujian didapat bahwa pada temperatur 250°C didapat viskositas menjadi 1,95cP dan nilai kalor 10826,388 cal/gr dan densitas sebesar 0,7044 gr/ml. Minyak yang dihasilkan mudah menyala ketika diberi percikan api (Wisnujati and Yudhanto 2020).

Sampah yang diuji seberat 6000 gram selama 180 menit, pengujian menggunakan katalis jenis zeolit dan tidak menggunakan katalis. Temperatur pirolisis 200°C. Berdasarkan hasil penelitian, nilai parameter fisik viskositas dan densitas minyak hasil pirolisis LDPE rata-rata 0,302 cP, LDPE katalis 0,114 cP serta densitasnya 767 kg/m<sup>3</sup> dan 737 kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan, nilai PP viskositas rata-rata 2,812 cP, PP katalis 0,248 cP serta densitasnya 774 kg/m<sup>3</sup> dan 735 kg/m<sup>3</sup>. Menurut hasil dari kualitas dan kuantitas serta uji konsistensi dengan statiska bahwa nilai densitas sampel mendekati bensin, sedangkan nilai viskositas tergolong dalam klasifikasi minyak tanah (Mayora and Nugraheni 2023). Dalam produksi minyak plastik yang melibatkan katalis, bahan ini berperan mempercepat atau memperlambat laju reaksi kimia. Untuk penelitian tersebut, CaO (kalsium oksida) dipilih sebagai katalis yang digunakan (Harlivia et al. 2022). Pengujian penggunaan bahan bakar hasil pirolisis plastik sebagai bahan bakar generator set kapasitas 1000 watt, dengan variasi pembebanan 100 watt, 200 watt, 300 watt sampai 1000 watt. Hasil penelitian adalah pada beban optimal 600 watt arus listrik yang terjadi untuk FRB sebesar 2,82 ampere dengan voltase 213 volt, dan putaran poros genset 2748 rpm. Konsumsi bahan bakar spesifik pada beban akhir 1000 watt, minyak FRB masih lebih tinggi yaitu 0,52 Kg/Hp.jam dan FRA PP yaitu 0,42 Kg/Hp.jam dibandingkan dengan bensin yaitu 0,64 Kg/Hp.jam (Zurohaina, Tahdid et al 2019)(Grandy Ruliawan Suyanto 2019). Variasi beban dan nilai kalor mempengaruhi nilai konsumsi bahan bakar. Campuran 10% adalah bahan bakar nilai kalor tertinggi namun dalam pemakaiannya merupakan bahan bakar dengan tingkat konsumsi bahan bakar tertinggi atau boros pada beban daya tertinggi. Tingkat konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh besaran konsumsi bahan bakar spesifik. Semakin rendah nilai konsumsi bahan bakar spesifik maka semakin hemat pemakaian bahan bakar, campuran bahan bakar yang paling hemat terdapat pada campuran 30% dengan beban 300 Watt. Efisiensi thermal efektif dipengaruhi oleh tingkat konsumsi bahan bakar dan nilai kalor tiap campuran. Campuran 30% memiliki nilai efisiensi thermal paling tinggi dengan nilai sebesar 3,62%. Semakin rendah nilai konsumsi bahan bakar spesifik, maka semakin tinggi nilai efisiensi thermal. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan minyak dari plastik jenis LDPE yaitu kantong plastik sebagai bahan bakar dengan cara pirolisis dan diuji emisi gas buang, konsumsi bahan bakar maupun daya dan torsi kendaraan. Pengujian juga untuk mengetahui apakah bisa minyak hasil pirolisis kantong plastik menjadi bahan bakar generator set. Manfaat yang bisa diambil dari penelitian ini yaitu memberikan solusi tentang pengolahan sampah dan pemanfaatan minyak ebagai bahan bakar.

## **METODE**

Rekayasa reaktor dikerjakan dilab Energi STT Warga Surakarta. Pembuatan reaktor pirolisis di rumah hijau production. Plastik diperoleh dari lingkungan di sekitar kampus STT Warga Surakarta. Penelitian dilaksanakan selama 10 bulan. Uji coba reaktor pyrolisis di lab energi STT Warga Surakarta. Variabel Penelitian adalah variasi temperatur reaktor 200°C, 250°C dan 300°C, dengan katalis CaO dan tanpa katalis. Variasi bahan bakar 100 % pertalit, dan ditambahkan minyak hasil pyrolisis sebesar 10 ml, 20 ml dan 30 ml. Bahan bakar digunakan pengujian sebanyak 50 ml per variasi. Pembebanan generator di lab energi STT Warga Surakarta, Variasi pembebanan tanpa pembebanan, 250 watt, 500 watt dan 1000 watt. Adapun ilustrasi proses pirolisis adalah sebagai berikut :

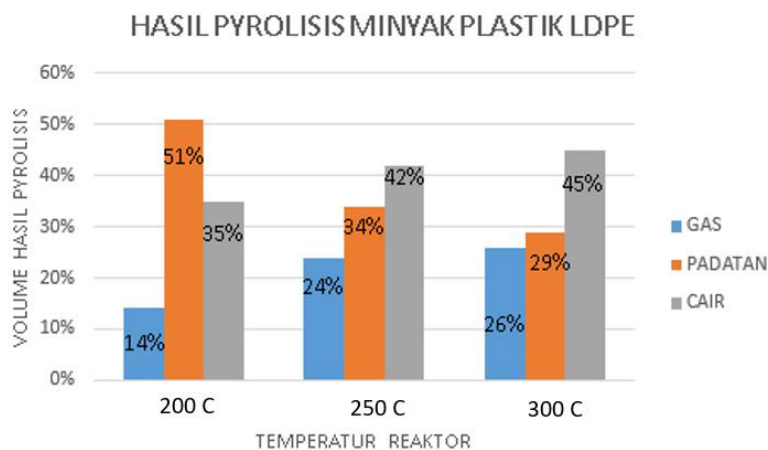


Gambar 1 reaktor pirolisis

Gambar 1 menjelaskan reaktor pirolisis yang digunakan. No 1 tabung gas untuk pembakaran, nomor selang gas, no 3 adalah reaktor pirolisis, no 4 saluran untuk kondensasi gas menjadi cairan, no 5 adalah unit pendingin. Metode yang digunakan untuk pengolahan data dengan metode eksperimental.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

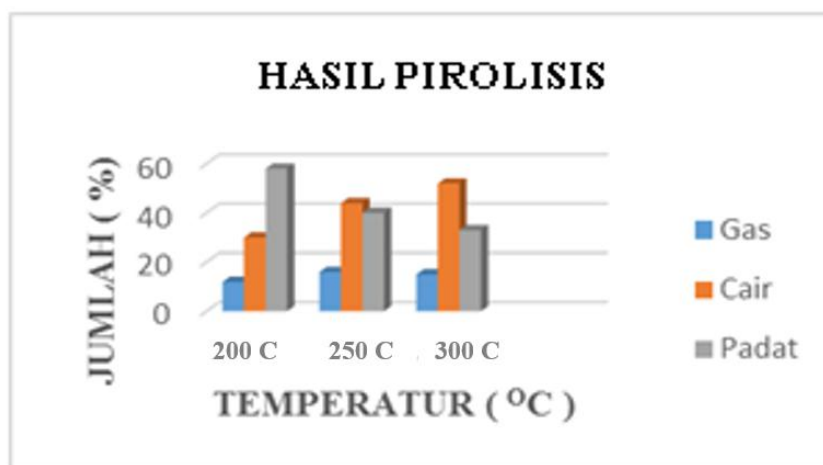
Dalam pengujian pirolisis yang dilaksanakan, LDPE berbentuk potongan kecil acak bertindak sebagai bahan baku. Reaktor pirolisis dioperasikan pada tiga tingkat suhu: 200°C, 250°C, dan 300°C. Gambar 3 menyajikan hasil komprehensif dari eksperimen ini. Terlihat bahwa pada suhu reaktor 300°C, jumlah minyak yang diperoleh lebih banyak daripada saat pirolisis dilakukan pada 250°C. Menariknya, residu arang yang terbentuk pada 400°C lebih sedikit jika dibandingkan dengan produksi arang pada 250°C. Secara visual, minyak yang dihasilkan pada 250°C tampak lebih jernih ketimbang minyak dari suhu 300°C. Terlepas dari perbedaan suhu reaktor, bau minyak yang terdeteksi sangat menyengat dan karakteristik ini tetap konsisten.



Gambar 3 hasil pirolisis minyak plastik LDPE tanpa CaO

Hasil pirolisis LDPE tanpa CaO dapat dilihat pada gambar 3. Saat suhu reaktor mencapai 200°C, produk yang didapat terdiri dari 14% gas, 51% padatan, dan 35% cairan atau minyak. Namun, jika suhu reaktor dinaikkan menjadi 250°C, ada perubahan komposisi produk. Pada suhu reaktor 300°C, hasil pirolisis menunjukkan peningkatan gas menjadi 26%, penurunan padatan menjadi 29%, dan kenaikan cairan (minyak) menjadi 45%. Sementara itu, pengaruh penambahan

CaO pada pirolisis limbah LDPE dapat diamati pada Gambar 4, yang merinci hasil pengujian. Variasi suhu reaktor yang digunakan meliputi 200°C, 250°C, dan 300°C. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan signifikan: Pada suhu reaktor 300°C, minyak yang dihasilkan paling sedikit dan berwarna bening. Jumlah padatan berupa arang justru lebih banyak dibandingkan pada suhu 400°C. Pada suhu reaktor 400°C (walaupun suhu ini tidak disebutkan sebelumnya dalam variasi), minyak yang dihasilkan lebih banyak dengan warna keruh, dan jumlah padatan lebih sedikit.



Gambar 4 hasil pirolisis plastik LDPE dengan CaO

Minyak pirolisis limbah plastik LDPE memiliki nilai kalor sebesar 46,47 mJ/kg. Gambar 5 memperlihatkan variasi warna minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis (Nugraha et al. 2019), di mana temperatur ruang reaktor pirolisis terbukti menjadi faktor penentu. Semakin tinggi suhu yang diterapkan, semakin keruh minyak yang dihasilkan. Berdasarkan penelitian Lembaga Minyak dan Gas Bumi (Lemigas), minyak hasil pirolisis dari limbah plastik menunjukkan karakteristik tidak jenuh. Ini karena perbandingan antara karbon dan hidrogennya tidak seimbang, menyebabkan adanya mata rantai yang belum terisi sempurna. Secara umum, minyak pirolisis dari limbah plastik memiliki ciri khas warna kuning kecokelatan dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan bakar kompor (Santhiarsa 2022).



Gambar 5 Minyak hasil pirolisis

Sebuah penelitian (Budi and Ismadji 2023) yang fokus pada pirolisis plastik jenis LDPE juga mengkonfirmasi secara visual bahwa temperatur reaktor memengaruhi warna minyak yang diproduksi. Ditemukan bahwa peningkatan temperatur reaktor menghasilkan minyak yang lebih keruh dan jumlahnya lebih banyak dibandingkan dengan suhu yang lebih rendah. Menariknya, bau minyak hasil pirolisis tidak terpengaruh oleh tinggi rendahnya temperatur.

Studi lain oleh (Wisnujati and Yudhanto 2020) meneliti dampak waktu dan temperatur terhadap hasil pirolisis plastik jenis PP. Dengan variasi temperatur reaktor pada 200°C, 250°C, dan 300°C, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur reaktor pirolisis, jumlah produk padatan berupa arang justru semakin sedikit. Ini berbanding terbalik dengan pirolisis plastik jenis LDPE pada temperatur di bawahnya. Sebaliknya, jumlah minyak yang dihasilkan justru meningkat pada temperatur reaktor yang paling tinggi dibandingkan dengan hasil pada temperatur yang lebih rendah. Dari berbagai pengujian ini, terbukti bahwa laju perpindahan panas pada dinding reaktor sangat krusial karena memengaruhi kecepatan reaksi serta pembentukan ikatan struktur molekul.

## KESIMPULAN

Pengujian pirolisis terhadap Low-Density Polyethylene (LDPE) yang dipotong kecil tidak beraturan, tanpa penambahan kalsium oksida (CaO), telah dilakukan menggunakan reaktor pirolisis. Percobaan ini dilakukan pada suhu 200°C, 250°C, dan 300°C. Hasilnya menunjukkan bahwa produksi minyak meningkat seiring dengan kenaikan suhu reaktor; pada 300°C, jumlah minyak yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan pada 200°C. Sebaliknya, jumlah arang yang terbentuk pada suhu 300°C lebih sedikit dibandingkan pada 200°C. Kualitas minyak secara visual, pada temperatur 200°C lebih bening dibandingkan pada temperatur 300°C, bau sangat menyengat dan tidak dipengaruhi oleh temperatur reaktor. pada temperatur reaktor 200°C dihasilkan gas paling sedikit berwarna bening jumlah padatan yang berujud arang lebih banyak dibandingkan pada temperatur reaktor 300°C jumlah minyak lebih banyak warna minyak keruh jumlah padatan lebih sedikit. Pirolisis LDPE tanpa CaO pada 200°C menghasilkan 14% gas, 51% padatan, dan 35% cairan. Saat suhu reaktor dinaikkan menjadi 250°C, proporsi berubah menjadi 24% gas, 34% padatan, dan 42% cairan. Pada suhu 300°C, produk yang diperoleh adalah 26% gas, 29% padatan, dan 45% cairan. Viskositas minyak yang dihasilkan dari pirolisis LDPE (baik dengan maupun tanpa CaO) menunjukkan ketergantungan pada suhu. Meskipun demikian, minyak pirolisis dari LDPE baik tanpa atau dengan CaO memiliki aroma khas yang sangat kuat dan menyengat yang tidak dipengaruhi oleh fluktuasi suhu.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada PPPM STT warga Surakarta yang telah memberikan pendanaan penelitian local pembiayaan tahun 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Batubara, Ummi Mardhiah, Irsat Hanif, Nur Fadhilah Ilyas, Pani Pransiska Putri, and Ramadhani Putri. 2022. "Pemanfaatan Sampah Plastik Menjadi Kerajinan Tangan Ramah Lingkungan Di Desa Kampar." *Maspul Journal Of Comunity Empowerment* 4:291–99.
- Budi, Sandv, and Suryadi Ismadji. 2023. "Menjadi Bahan Bakar Cair." *Redesain Alat Pirolisis Pengubah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Cair* 2(1):42–51.
- Buyung, Edwin, Dandi Yuunidar, Fakultas Industri Kreatif, Universitas Telkom, and Kantong Plastik. 2020. "Pemanfaatan Sampah Kantong Plastik Kresk Untuk Produk Aksesoris Fashion." Pp. 429–36 in *e-Proceeding of Art & Design*. Vol. 7.
- Dodit Ardiatma, Neny Mulyani, Arief Kharisma Hakim. 2020. "Pembuatan Minyak Pirolisis Dan Uji Kualitas Minyak Hasil Pirolisis Dengan Variasi Campuran Konsentrasi." *Jurnal Teknologi Dan Pengolahan Lingkungan* 8(1):8–22.
- Grandy Ruliawan Suyanto, Sorimuda Harap. 2019. "Analisa Penggunaan Campuran Minyak Hasil

- Pirolisis Dan Peralite Sebagai Bahan Bakar Genset EP 1000.” Pp. 1–7 in *Seminar Nasional Pakar ke 2*.
- Harlivia, Rara, Sahrul Effendy, Program Studi, Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia, and Politeknik Negeri Sriwijaya. 2022. “Pengaruh Persen Katalis Zeolit Alam Terhadap Yield Bahan Bakar Cair Proses Pirolisis Dari Limbah Plastik Polypropylene The Effect of Percentage of Natural Zeolit Catalyst on Liquid Fuel Yield from Polypropylene Plastic Waste.” *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia* 2(11):453–59.
- Mayora, Elsa Meilia, and Widha Nugraheni. 2023. “Pirolisis Limbah Plastik Jenis Low Density Polyethylene ( LDPE ) Dan Polypropylene ( PP ) Menggunakan Katalis Zeolit Alam.” *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* 11(3):773–79.
- Nugraha, Arif, Rahmat Rahmat, and Fatimah Nur H. 2019. “Plastic Waste Processing to Alternative Energy.” Pp. 428–33 in *ICCSET*.
- Nugroho, Arif Setyo. 2020. “Pengolahan Limbah Plastik Ldpe Dan Pp Untuk Bahan Bakar Dengan Cara Pirolisis.” *Jurnal Litbang Sukowati : Media Penelitian Dan Pengembangan* 4(1):10. doi: 10.32630/sukowati.v4i1.166.
- Nugroho, Arif Setyo, Rahmad, Moch Chamim, and Fatimah N. Hidayah. 2018. “Plastic Waste as an Alternative Energy.” *AIP Conference Proceedings* 1977. doi: 10.1063/1.5043022.
- Restanti, Rr Bella Alda, and Mohamad Mirwan. 2023. “Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Alternatif Dengan Metode Pirolisis.” *Jurnal Serambi Engineering* 8(4):7224–31. doi: 10.32672/jse.v8i4.6789.
- Santhiarsa, I. Gusti Ngurah Nitya. 2022. “Rancang Bangun Alat Konversi Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Plastik.” *Rekayasa Mesin* 13(1):57–65.
- Saputra, Andri, Aldillah Herlambang, Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec Jati Agung, and Kab Lampung Selatan. 2023. “Sintesis Dan Karakterisasi Minyak Pirolisis Dari Sampah Kantong Plastik LDPE Menggunakan Reaktor Batch Sederhana.” *Journal of Energy, Materials, & Manufacturing Technology (JEMMTEC)* 5(3):5–6.
- Wajdi, Badrul, Baiq Aryani Novianti, Laxmi Zahara, and Email Korespondensi. 2020. “Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak ( BBM ) Dengan Metode Pirolisis Sebagai Energi Alternatif.” *Kappa Journal* 4(1):100–112.
- Wisnujati, Andika, and Ferriawan Yudhanto. 2020. “Analisis Karakteristik Pirolisis Limbah Plastik Low Density Polyetylene ( LDPE ) Sebagai Bahan Bakar Alternatif.” 9(1):102–3.
- Yohandri Bow, Zulkarnain, Sutini P Lestari, Steven R.M.Sihombing, Siti A Kharisma, Yosirham A. Salam. 2018. “Pengolahan Sampah Low Density Polyethylene (LDPE) Dan Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Cair Alternatif Menggunakan Prototipe Pirolisis Thermal Cracking.” *Jurnal Kinetika* 9(03):1–6.
- Zepyra Damayanti, Sudarti, Yushardi. 2016. “Analisis Karakteristik Fuel Pirolisis Sampah Plastik Berdasarkan Jenis Plastik Yang Digunakan (Review).” *Inovasi Teknik Kimia* 8(1):1–23.
- Zurohaina, Tahdid, Ahmad Zikri, Yohandri Bow, Zulkarnain, Desi Nurmala sari, Nila Wulandari, M Rizky Adhitya Putra, Agung Rafilanda. 2019. “Analisa Bahan Bakar MInyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis PP Dan PET Terhadap Kinerja Generator Set Pada PLTSA Plastik 1000 Watt.” *Jurnal Kinetika* 10(01):24–30.