

# PENGEMBANGAN ALAT PIROLISIS UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK MENGGUNAKAN TEKNOLOGI BARU DENGAN PENDINGIN CHILLER

## DEVELOPMENT OF PYROLYSIS EQUIPMENT FOR PLASTIC WASTE PROCESSING USING NEW TECHNOLOGY WITH COOLING CHILLERS

Naffa Eka Setiawati <sup>1\*</sup>, Praisela Ivane Stefandra <sup>2</sup>, Muhammad Rizqi Putra Dermawan <sup>3</sup>, Rahmat Dani Firmansyah <sup>4</sup>, Ariel Rizantha Firstnanda <sup>5</sup>

<sup>1</sup>Teknik Sipil, <sup>2</sup>Teknik Kimia, <sup>3</sup>Teknik Mesin, <sup>4</sup>Teknik Informatika, <sup>5</sup>Bisnis Digital  
Institut Teknologi Nasional Maalang

Jl. Sigura - Gura No.2, Sumpersari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65152, Indonesia

\*naffaekas@gmail.com

### Abstrak

Penelitian ini mengkaji pengembangan alat pirolisis untuk mengubah limbah plastik jenis HDPE, PET, dan PS menjadi minyak. Penelitian ini didorong oleh permasalahan sampah plastik yang semakin meningkat dan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas minyak yang dihasilkan dari limbah plastik dengan variasi suhu proses dan untuk mengurangi limbah plastik di masyarakat. Penelitian ini menggunakan alat pirolisis yang telah dimodifikasi dengan penambahan *Chiller* untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat pirolisis yang dimodifikasi dengan *Chiller* dapat menghasilkan minyak yang lebih berkualitas dan efisien. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa alat pirolisis ini dapat digunakan untuk mengurangi limbah plastik di masyarakat.

**Kata kunci** : Pirolisis plastik, *Chiller*, Limbah plastik, Minyak, Pengembangan alat

### Abstract

*This research examines the development of a pyrolysis tool to convert HDPE, PET and PS plastic waste into oil. This research was driven by the increasing problem of plastic waste and its negative impact on the environment. This research aims to determine the quality of oil produced from plastic waste by varying process temperatures and to reduce plastic waste in society. This research uses a pyrolysis tool that has been modified with the addition of a chiller to increase the efficiency and quality of the pyrolysis process. The research results show that the pyrolysis equipment modified with a chiller can produce higher quality and more efficient oil. This research also shows that this pyrolysis tool can be used to reduce plastic waste in society.*

**Keywords**: Plastic Pyrolysis, Chiller, Waste plastic, Oil, Equipment Development

### Pendahuluan

Salah satu masalah global yang memerlukan penanganan serius saat ini adalah sampah plastik karena menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan (Idawati, 2023). Sampah plastik memberi dampak terhadap lingkungan dengan sangat signifikan. Sampah plastik yang tidak dikelola dengan baik dapat merusak lautan, merusak ekosistem, dan membahayakan satwa laut yang terperangkap atau memakan sampah plastik (Ahmad, 2020).

Plastik adalah barang yang sering digunakan oleh manusia sehingga mengakibatkan meningkatnya sampah plastik dan sumber pencemaran lingkungan hidup. Plastik merupakan olahan yang berasal dari minyak bumi, sehingga sangat mungkin untuk mengembalikannya ke bentuk semula melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan teknologi konversi yang cocok untuk mengatasi kerusakan ekologi dan lingkungan yang disebabkan oleh pengelolaan sebelum penggunaan limbah plastik yang tidak efektif dan penimbunan massal. Proses pirolisis merupakan proses konversi suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Hasil pirolisis adalah produk cair, gas dan sisa padatan seperti arang yang dikumpulkan secara terpisah. Dari berbagai jenis sampah plastik yang diolah melalui proses pirolisis dapat menghasilkan volume minyak yang berbeda-beda dan cara ini sangat efektif untuk mengolah sampah plastik menjadi suatu yang bermanfaat seperti bahan bakar minyak (Dzaky, 2023).

Proses pirolisis melibatkan penguraian bahan organik pada suhu tinggi pada tempat tertutup tanpa adanya oksigen, menghasilkan produk gas, cair dan sisa padatan seperti arang yang dapat dikumpulkan secara terpisah. Dalam kasus limbah plastik, proses pirolisis dapat mengubah sampah plastik menjadi minyak yang dapat digunakan sebagai bahan bakar minyak melalui proses selanjutnya. Plastik bekas kemasan dengan

massa setiap sampel yaitu 150 gram dan perbandingan suhu 350°C, 400°C, 450°C. Semakin tinggi suhu maka densitas semakin tinggi begitu juga sebaliknya pada plastik campuran apabila semakin tinggi suhu maka semakin rendah densitas. Perbandingan suhu terhadap berat padatan sisa yang didapatkan adalah pada temperatur rendah *Wax* cenderung terbentuk dari minyak pirolisis yang dihasilkan, dimana semakin besar temperatur pada proses pirolisis *Wax* yang dihasilkan akan berkurang sedangkan padatan sisa atau lapisan film dari plastik campuran ada di semua variasi suhu. Perbandingan suhu terhadap volume minyak yang diperoleh adalah suhu berbanding lurus dengan volume minyak yang diperoleh (Juliyana, 2021).

Untuk mengurangi laju limbah sampah plastik tersebut maka dibuatlah riset mengenai sampah plastik yang semula hanya barang pengganggu lingkungan menjadi sesuatu yang bermanfaat dengan *Recycling* limbah sampah plastik menjadi minyak untuk mengurangi timbulnya dampak negatif sampah plastik, maka penulis ingin mengajukan riset mengenai "Pengembangan Alat Pirolisis Untuk Konversi Limbah Plastik HDPE, PET, dan PS".

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat pirolisis yang lebih efisien dan efektif dalam mengolah limbah plastik menjadi minyak, dengan memanfaatkan teknologi pendingin *Chiller* untuk meningkatkan kualitas proses dan hasil minyak. Pengembangan ini didorong oleh permasalahan sampah plastik yang semakin meningkat dan dampak negatifnya terhadap lingkungan.

### Teori

Salah satu masalah global yang memerlukan penanganan serius saat ini adalah sampah plastik karena menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan (Idawati, 2023). Sampah plastik memberi dampak terhadap lingkungan dengan sangat signifikan. Sampah plastik yang tidak dikelola dengan baik dapat merusak lautan, merusak ekosistem, dan membahayakan satwa laut yang terperangkap atau memakan sampah plastik (Ahmad, 2020). Plastik adalah barang yang sering digunakan oleh manusia sehingga mengakibatkan meningkatnya sampah plastik dan sumber pencemaran lingkungan hidup. Plastik merupakan olahan yang berasal dari minyak bumi, sehingga sangat mungkin untuk mengembalikannya ke bentuk semula melalui proses pirolisis. Pirolisis merupakan teknologi konversi yang cocok untuk mengatasi kerusakan ekologi dan lingkungan yang disebabkan oleh pengelolaan sebelum penggunaan limbah plastik yang tidak efektif dan penimbunan massal. Proses pirolisis merupakan proses konversi suatu bahan organik pada suhu tinggi dan terurai menjadi ikatan molekul yang lebih kecil. Hasil pirolisis adalah produk cair, gas dan sisa padatan seperti arang yang dikumpulkan secara terpisah. Dari berbagai jenis sampah plastik yang diolah melalui proses pirolisis dapat menghasilkan volume minyak yang berbeda-beda dan cara ini sangat efektif untuk mengolah sampah plastik menjadi suatu yang bermanfaat seperti bahan bakar minyak (Dzaky, 2023).

Pengembangan alat pirolisis telah mengalami perkembangan signifikan dengan mengubah sumber energi yang dahulunya menggunakan bahan bakar gas LPG dan kompor sekarang hanya menggunakan *Heater*. Perubahan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi proses pirolisis, tetapi juga mengurangi biaya operasional dan risiko kebakaran yang mungkin terjadi. Dengan menggunakan *Heater* sebagai sumber energi utama, alat pirolisis menjadi lebih ramah lingkungan dan mudah untuk dioperasikan. Hal ini membuktikan bahwa inovasi dalam pengembangan teknologi pirolisis terus berkembang demi mencapai efisiensi dan keberlanjutan yang lebih baik.

Perubahan dari penggunaan gas LPG dan kompor menjadi menggunakan *Heater* akan memberikan dampak positif terhadap kualitas hasil pirolisis. Dikarenakan dengan menggunakan *Heater* kontrol suhu akan lebih stabil dan akurat, juga proses pirolisis dapat dilakukan dengan lebih terkendali sehingga menghasilkan produk akhir yang lebih homogen dan berkualitas tinggi. Selain itu, penggunaan *Heater* juga memungkinkan untuk melakukan penyesuaian suhu secara fleksibel sesuai dengan jenis bahan baku yang diproses, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efektivitas dalam pengolahan material melalui proses pirolisis.



Gambar 1. Alat pirolisis sederhana

(Sukadi, 2019)

Peningkatan penggunaan *Chiller* pada alat pirolisis dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam

meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pirolisis yang sebelumnya kebanyakan dalam proses pirolisis menggunakan pendingin air. Dengan menambahkan *Chiller*, suhu dalam proses pirolisis dapat dikendalikan dengan lebih baik, sehingga menghasilkan produk akhir yang lebih konsisten dan berkualitas. Selain itu, penggunaan *Chiller* juga dapat membantu dalam mengurangi waktu proses dan konsumsi energi yang diperlukan. Dengan demikian, penambahan *Chiller* pada alat pirolisis dapat menjadi langkah yang efektif dalam meningkatkan kinerja dan hasil produksi secara keseluruhan.

Selain itu, penggunaan *Chiller* pada alat pirolisis juga dapat membantu dalam mengurangi risiko *Overheating* dan kerusakan pada komponen-komponen penting. Dengan menjaga suhu operasional dalam batas yang aman dan stabil, *Chiller* dapat memperpanjang umur pakai alat pirolisis dan mengurangi biaya perawatan yang diperlukan. Dengan demikian, investasi dalam penambahan *Chiller* pada alat pirolisis dapat memberikan manfaat jangka panjang yang signifikan bagi efisiensi operasional dan keberlanjutan proses pirolisis (Aryudi, 2019).

*Chiller* membantu dalam menurunkan suhu secara signifikan. Hal ini penting karena beberapa reaksi pirolisis dapat menghasilkan suhu yang sangat tinggi, dan *Chiller* membantu dalam mengontrol suhu agar tetap dalam kisaran yang diinginkan (Juliya, 2021).

Alat *Chiller* pada proses pirolisis memiliki beberapa fungsi utama yang penting untuk menjalankan proses ini dengan efisien. Berikut adalah beberapa fungsi dan kegunaan dari alat *Chiller* pada pirolisis:

1. Mendinginkan Gas

Salah satu fungsi utama *Chiller* pada proses pirolisis adalah untuk mendinginkan gas yang dihasilkan selama proses. Pirolisis menghasilkan gas, dan *Chiller* bertanggung jawab untuk menurunkan suhu gas tersebut agar dapat diproses lebih lanjut atau disimpan dengan aman.

2. Mengurangi Suhu

*Chiller* membantu dalam menurunkan suhu secara signifikan. Hal ini penting karena beberapa reaksi pirolisis dapat menghasilkan suhu yang sangat tinggi, dan *Chiller* membantu dalam mengontrol suhu agar tetap dalam kisaran yang diinginkan.

3. Mempertahankan Kinerja

Dengan mendinginkan gas dan proses secara keseluruhan, *Chiller* membantu mempertahankan kinerja dari seluruh sistem pirolisis. Suhu yang terlalu tinggi dapat merusak komponen sistem, dan *Chiller* membantu dalam mencegah hal ini terjadi.

4. Memperpanjang Umur Alat

Dengan mengontrol suhu dan mendinginkan komponen-komponen yang terlibat dalam proses pirolisis, *Chiller* membantu dalam memperpanjang umur alat dan mengurangi risiko kerusakan yang disebabkan oleh suhu yang tidak terkendali.



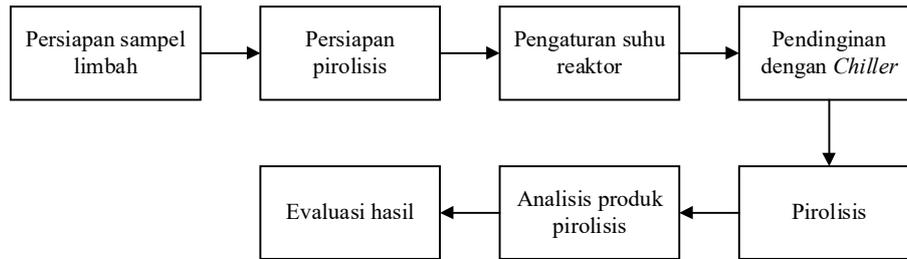
Gambar 2. Alat pirolisis dengan pendingin *Chiller*

## Metodologi Penelitian

### 1. Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat pirolisis. Alat pirolisis ini terdiri dari beberapa komponen penting, yaitu reaktor, *Chiller*, kondensor, kompresor, kipas biasa. Reaktor berfungsi sebagai wadah tempat sampah plastik dipanaskan. *Chiller* digunakan untuk mendinginkan produk pirolisis agar tidak terjadi *Overheating*. Dimana untuk pendingin *Chiller* menggunakan bahan MEG (*Monoethylene Glycol*) 40%. Kondensor berfungsi untuk mengubah uap minyak yang dihasilkan dari proses pirolisis menjadi minyak. Kompresor berfungsi untuk meningkatkan tekanan uap minyak agar dapat dikumpulkan dan disimpan. Kipas biasa berfungsi untuk pendingin kompresor *Chiller*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Polystyrene* (PS). Sampah plastik HDPE, PET, dan PS dipilih karena mudah didapat dan memiliki potensi untuk diubah menjadi minyak melalui proses pirolisis.

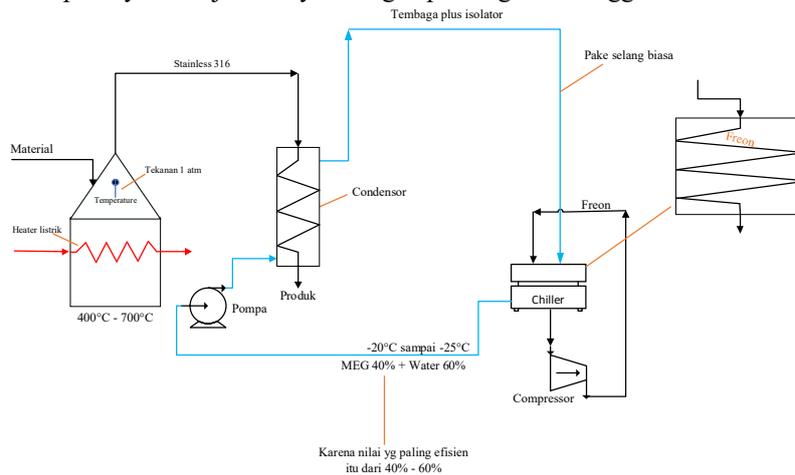


Gambar 3. Tahapan proses pirolisis dengan Chiller

2. Persiapan Bahan dan Alat

Penelitian ini menggunakan limbah plastik HDPE, PS, dan PET sebagai bahan baku. Bahan-bahan ini dipilih karena mudah didapat dan memiliki potensi untuk diubah menjadi minyak melalui proses pirolisis.

Alat utama yang digunakan adalah alat pirolisis yang dilengkapi dengan kontrol panel listrik, reaktor, Chiller, dan kipas. Adapun sistem Chiller yang digunakan adalah dengan pemanfaatan kompresor dari kulkas bekas. dan larutan Chiller yang digunakan adalah larutan campuran antara Aquadest dan MEG, konsentrasi MEG adalah 40 %. Alat ini dirancang untuk memanaskan limbah plastik, mendinginkan produk pirolisis, mengubah uap minyak menjadi minyak dengan pendinginan menggunakan Chiller.



Gambar 7. Flowsheet Proses Pirolisis dengan Chiller

Hasil

Dari hasil yang dicapai, didapatkan minyak dari hasil pirolisis HDPE, PS, dan PET yang didasarkan pada variabel waktu dan suhu tertentu. Dan dari setiap masing-masing jenis plastik memiliki hasil yang berbeda-beda dengan warna, bau, dan bentuk residu yang berbeda.

1. Data Pengamatan

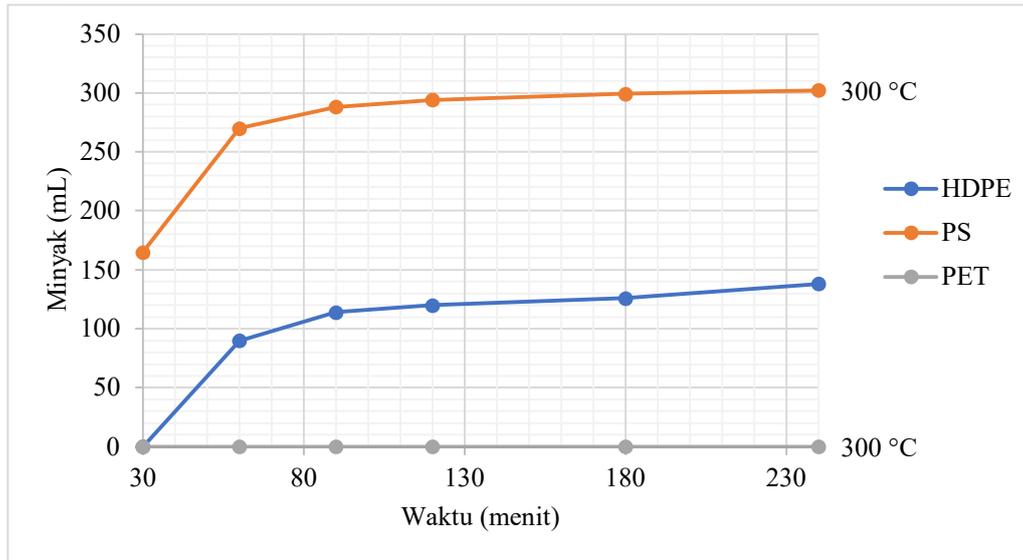
Tabel 1. Data pengamatan organoleptik

No	Material	Warna	Bau	Residu
1	HDPE ( <i>High-Density Polyethylene</i> )	Kuning terang	Seperti bensin	Arang
2	PS ( <i>Polystyrene</i> )	Bening keruh (kekuningan)	Seperti minyak tanah	Arang
3	PET ( <i>Polyethylene Terephthalate</i> )	-	-	Wax dan arang

Tabel 2. Data pengamatan hasil Oil pirolisis berdasarkan variabel waktu dan suhu

Material Sampel	Massa (gr)	T (°C)	Waktu (menit)					
			30	60	90	120	180	240
HDPE (Jurigen)	300	300	0 mL	90 mL	114 mL	120 mL	126 mL	138 mL
PS (Sendok plastik)	300	400	165 mL	270 mL	288 mL	294 mL	299 mL	302 mL
PET	300	300	-	-	-	-	-	-

## 2. Grafik



Gambar 8. Grafik hubungan antara volume minyak dan waktu dari HDPE, PS, dan PET

## Kesimpulan

Dari hasil pirolisis HDPE, PS, dan PET, didapatkan kondensat dengan warna, bau, dan residu yang berbeda-beda. Variabel waktu dan suhu berpengaruh pada hasil pirolisis. HDPE menghasilkan minyak berwarna kuning terang dengan bau seperti bensin dan residu arang, dari 300 gram HDPE didapatkan minyak 138 mL untuk waktu 240 menit (4 jam). PS menghasilkan minyak bening keruh dengan bau seperti minyak tanah dan residu arang, dari 300 gram PS didapatkan minyak 302 mL untuk waktu 240 menit (4 jam). PET tidak menghasilkan minyak tetapi menghasilkan residu *Wax* dan arang.

Dari hasil pirolisis HDPE, PS, dan PET, dapat disimpulkan bahwa persentase dari HDPE ini masing-masing menghasilkan 32,476% produk minyak, 65,784% residu, dan 1,74% massa yang hilang. Sementara itu, proses persentase dari PS ini masing-masing menghasilkan 88,687% produk minyak, 10,513% residu, dan 0,799% massa yang hilang. Untuk proses persentase dari PET ini masing-masing menghasilkan 0% produk minyak, 96,585% residu, dan 3,415% massa yang hilang.

PS menghasilkan volume minyak yang lebih banyak dibandingkan HDPE, PS yaitu 88,687% dan HDPE yaitu 32,476%. Hal ini menunjukkan bahwa PS lebih mudah diubah menjadi minyak melalui proses pirolisis

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Institut Teknologi Nasional Malang khususnya kepada Bapak Awan Uji Krismanto, ST., MT., Ph.D. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang atas bantuan dan dukungan teknis yang diberikan selama proses riset ini. Kami juga berterima kasih kepada seluruh tim laboratorium dan himpunan yang telah memberikan fasilitas dan sumber daya yang diperlukan. Tidak lupa kami sangat berterima kasih kepada Ibu Ir. Harimbi Setyawati, M. T. selaku dosen pembimbing kami yang telah sepenuhnya membimbing kami dalam berjalannya proses riset pengembangan alat pirolisis ini. Penelitian ini didukung oleh Simbelmawa.

## Daftar Pustaka

- [1] Andika, W., dan Ferriawan, Y. 2020. Analisis karakteristik pirolisis limbah plastik Low Density Polyethylene (LDPE) sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Ummetro*. 9:1-6
- [2] Aryudi S. & dkk, 2019. Analisis Kegagalan Operasional Mesin Chiller dengan Metoda FTA dan FMEA. *Integrasi Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 2(3), pp. 19-29
- [3] Ascha Juliya., Restu Agus., Susandy Ari., 2021. Pengolahan Sampah Plastik Dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Journal Chemurgy*. 5:1-7
- [4] Aulia, S. N & dkk, 2021. Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Jurnal AGROTEKNIKA*, 4(1), pp. 53-67
- [5] Aziz, A., dkk. 2015. Performansi Mesin Pendingin Tipe Chiller untuk Cold Storage dan Indoor Menggunakan Ethylene Glycol Coolant. *Jurnal Mechanical*. 6(2): 71-77

- [6] Bakhtiar P. P. & dkk, 2022. Pengaruh Pendingin Air dan Es Terhadap Hasil Pirolisis Minyak Plastik. *Jurnal KOMPUTEK*, 6(2), pp. 10-20
- [7] Chalilullah R. & dkk, 2019. Pengaruh Suhu Gas-Plastik dan Air-Pendingin Kondensor terhadap Minyak yang Dihasilkan pada Proses Pirolisis Plastik. *Jurnal MESIN*, 10(1), pp. 1-4
- [8] Darma, J. J. & dkk, 2015. Perancangan dan Aplikasi Alat Pirolisis Untuk Pembuatan Asap Cair. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 2(1), pp. 1-8
- [9] Dzaky A., M. 2023. Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Saintek*. 2:501-505
- [10] Fanani F., Kurniawati F., Wijayanti N., dkk. 2021. Pengolahan Limbah Plastik Menggunakan Metode Pirolisis Oleh Kkn Kelompok 15 Unisba Blitar Dan Rukun Pemuda Rw13 (Ruda13) Di Desa Modangan. *Jurnal Science Contribution to Society*. 1:1-12
- [11] Farhan dan Jelita M. 2022. Potensi Minyak Pirolisis Dari Bahan Polypropylene Menjadi Energi Listrik. *Jurnal Unp*. 8:1-7
- [12] Gusti, I. N. N. S, 2022. Rancang Bangun Alat Konversi Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Metode Pirolisis Untuk Penanganan Sampah Plastik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 13(1), pp. 189-196
- [13] Juliya, R., Agus, S., dan Ari, S. 2021. Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Chemurgy*. 5:1-7
- [14] Masriatini R., Fatimura M., Resi, R., dkk. 2019. Pengolahan Limbah Plastik Jenis Kantong Kresek dan Gelas Minuman Menggunakan Proses Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Redoks*. 4:1-8
- [15] Nofendri Y. dan Agus, H. 2021. Perancangan Alat Pirolisis Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar. *Jurnal Uta45*. 6:1-11
- [16] Novia T. 2021. Pengolahan Limbah Sampah Plastik Polythylene Terephthlate (PET) Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Proses Pirolisis. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*. 4:1-9
- [17] Nuraini, dkk. 2022. Produksi Bio-Oil Menggunakan Limbah Biomassa melalui Proses Pirolisis. 11:1-5
- [18] Sukadi & Novarini, 2019. Rancang Bangun Alat Pirolisis Untuk Daur Ulang Sampah Kantong Plastik. *Jurnal Ilmiah "TEKNIKA"*, 5(2), pp. 96-102
- [19] Suryadimal, dkk. 2023. Analisis Performa Sistem Pendingin Mesin Mini Water Chiller. *Jurnal Teknik Mesin*. 16:30-36
- [20] Zurohaina, dkk. 2019. Analisa Bahan Bakar Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik Jenis PP Dan PET Terhadap Kinerja Generator Set Pada PLTSA Plastik Kapasitas 1000 Watt. *Jurnal Kinetika*. 10:1-7.