



Pengaruh Variasi Konsentrasi Metanol dan Biogasoline Hasil Pirolisis Terhadap Performa Mesin Otto dengan Menggunakan Dynotest

Enzo W.B Siahaan*, Rotama Arifin Sidabutar, Hodmiantua Sitanggang

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Darma Agung, Medan, Indonesia

Email: ¹*enzo.battra84@gmail.com, ²rotamaarifinsidabutar@gmail.com, ³hodmiantuasitanggang@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Histori Artikel:

Submitted : Nov 22, 2024

Accepted : Nov 30, 2024

Published : Nov 30, 2024

KORESPONDENSI

Email: enzo.battra84@gmail.com

A B S T R A K

Isu lingkungan global semakin mendesak dengan meningkatnya volume limbah plastik dan penurunan sumber daya bahan bakar fosil. Menurut laporan dari United Nations Environment Programme (UNEP), setiap tahun diproduksi lebih dari 300 juta ton plastik, dan sekitar 50% di antaranya adalah plastik sekali pakai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan metanol pada biogasoline hasil pirolisis limbah plastik terhadap mesin otto dalam hal ini sepeda motor karburator. Limbah plastik yang diolah melalui pirolisis menghasilkan biogasoline, yang kemudian dicampur dengan metanol dalam konsentrasi 20% (BM20) dan 30% (BM30). Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin dynotest untuk mengukur daya, torsi, dan air fuel ratio (AFR) pada rentang putaran mesin 1000 hingga 7500 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan metanol berpengaruh terhadap peningkatan performa mesin, terutama pada daya dan torsi yang dihasilkan. Pada konsentrasi metanol 20%, daya mesin meningkat hingga 5500 rpm sebelum menurun pada putaran 7500 rpm, sedangkan pada konsentrasi 30%, daya meningkat sejak putaran 200 rpm dan mulai menurun pada putaran 6700 rpm. Sementara itu, AFR menunjukkan kecenderungan stabil pada awal putaran mesin dengan penurunan signifikan pada putaran tinggi, khususnya pada BM30. Untuk AFR, BM30 menghasilkan pembakaran yang lebih stabil pada putaran rendah tetapi mengalami penurunan drastis pada putaran tinggi, dengan rasio bahan bakar udara mencapai ketidakseimbangan di atas 7000 rpm. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan bahan bakar alternatif berbasis limbah plastik yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penambahan metanol terbukti dapat meningkatkan kualitas pembakaran biogasoline, meskipun diperlukan optimasi lebih lanjut mencapai performa yang konsisten di semua rentang putaran mesin.

Kata Kunci: Limbah Plastik; Pirolisis; Biogasoline; Methanol; Performa; Mesin Otto; Dynotest

A B S T R A C T

Global environmental issues are becoming more pressing with the increasing volume of plastic waste and the decline in fossil fuel resources. According to a report from the United Nations Environment Programme (UNEP), more than 300 million tons of plastic are produced annually, and around 50% of it is single-use plastic. This study aims to evaluate the effect of adding methanol to biogasoline from pyrolysis of plastic waste on an Otto engine, in this case a carburetor motorcycle. Plastic waste processed through pyrolysis produces biogasoline, which is then mixed with methanol in concentrations of 20% (BM20) and 30% (BM30). This test was carried out using a dynotest machine to measure power, torque, and air fuel ratio (AFR) in the engine speed range of 1000 to 7500 rpm. The results showed that the addition of methanol had an effect on increasing engine performance, especially on the power and torque produced. At 20% methanol concentration, engine power increased up to 5500 rpm before decreasing at 7500 rpm, while at 30% concentration, power increased from 200 rpm and began to decrease at 6700 rpm. Meanwhile, AFR showed a stable tendency at the beginning of engine speed with a significant decrease at high speed, especially in BM30. For AFR, BM30 produced more stable combustion at low speed but experienced a drastic decrease at high speed, with the air-fuel ratio reaching an imbalance above 7000 rpm. This study contributes to the development of alternative fuels based on plastic waste that are more efficient and environmentally friendly. The addition of methanol has been shown to improve the combustion quality of biogasoline, although further optimization is needed to achieve consistent performance across all engine speed ranges.

Keywords: Plastic Waste; Pyrolysis; Biogasoline; Methanol; Performance; Otto Engine; Dynotest

1. PENDAHULUAN

Isu lingkungan global semakin mendesak dengan meningkatnya volume limbah plastik dan penurunan sumber daya bahan bakar fosil. Menurut laporan dari United Nations Environment Programme (UNEP), setiap tahun diproduksi lebih dari 300 juta ton plastik, dan sekitar 50% di antaranya adalah plastik sekali pakai [1]. Plastik yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius, termasuk pencemaran tanah, air, dan udara [2]. Selain itu, plastik yang mengendap di lingkungan akan terurai menjadi partikel mikroplastik yang sulit dihapus dan dapat memasuki rantai makanan [3].

Di sisi lain, ketergantungan pada bahan bakar fosil, seperti minyak dan gas, semakin mengancam keberlanjutan energi global dan memperburuk perubahan iklim melalui emisi gas rumah kaca [4]. Laporan Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar fosil merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi CO₂ global [5]. Untuk mengatasi kedua masalah ini, perlu dikembangkan solusi yang dapat mengurangi limbah plastik sekaligus menyediakan alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan [6].

Pirolisis adalah salah satu teknologi yang menjanjikan untuk mengubah limbah plastik menjadi produk yang berguna seperti minyak, gas, dan char [7]. Proses ini dilakukan pada suhu tinggi dalam kondisi tanpa oksigen, yang memungkinkan pemecahan polimer plastik menjadi fraksi-fraksi yang lebih sederhana [8]. Produk minyak dari pirolisis, yang sering disebut sebagai biogasoline, dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif, namun seringkali memerlukan modifikasi untuk memenuhi standar kualitas bahan bakar yang diinginkan [9].

Pirolisis limbah plastik telah terbukti efektif dalam menghasilkan produk minyak yang memiliki komposisi serupa dengan bensin [10]. Penelitian menunjukkan bahwa minyak yang dihasilkan dari pirolisis plastik dapat digunakan sebagai bahan bakar, tetapi sering kali memiliki sifat yang kurang stabil, seperti titik nyala rendah dan viskositas yang tinggi, yang dapat mempengaruhi performa pembakaran [11].

Penambahan aditif seperti metanol ke dalam biogasoline merupakan pendekatan yang menarik untuk meningkatkan kualitas bahan bakar [12]. Metanol, yang dikenal sebagai alkohol dengan sifat pembakaran yang baik, dapat meningkatkan angka oktan bahan bakar, yang berkontribusi pada performa mesin yang lebih baik dan pengurangan emisi [13]. Selain itu, metanol dapat mengurangi viskositas dan titik nyala biogasoline, membuatnya lebih cocok untuk digunakan dalam mesin pembakaran internal [14].

Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa metanol dapat meningkatkan efisiensi thermal brake (BTE) dan mengurangi emisi gas buang dalam bahan bakar yang berbeda [15]. Namun, pengaruh metanol terhadap biogasoline dari pirolisis plastik masih memerlukan eksplorasi lebih lanjut untuk memahami bagaimana penambahan metanol dapat mempengaruhi karakteristik fisik bahan bakar ini [10].

Penelitian ini penting untuk menjawab kebutuhan mendesak akan solusi berbasis energi yang lebih bersih dan berkelanjutan [4]. Dengan meningkatnya volume limbah plastik dan dampaknya terhadap lingkungan, serta kebutuhan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menemukan cara untuk memanfaatkan limbah plastik secara efektif adalah langkah penting [16]. Pirolisis limbah plastik merupakan metode yang berpotensi besar, namun kualitas produk biogasoline yang dihasilkan sering kali tidak memenuhi standar bahan bakar yang diinginkan [17].

Penambahan metanol pada biogasoline hasil pirolisis plastik menawarkan kemungkinan untuk meningkatkan kualitas bahan bakar dan efisiensi pembakaran [18]. Metanol sebagai aditif telah terbukti memberikan manfaat pada berbagai jenis bahan bakar, tetapi aplikasinya pada biogasoline dari pirolisis plastik belum banyak diteliti [18]. Dengan memahami bagaimana metanol mempengaruhi karakteristik fisik dan performa biogasoline, penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan [19].

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penambahan metanol dalam campuran bahan bakar dapat meningkatkan performa mesin otto, yang banyak digunakan pada kendaraan bermotor [6]. Penambahan metanol terbukti meningkatkan efisiensi thermal dan daya mesin, serta menurunkan emisi polutan seperti karbon monoksida dan hidrokarbon tidak terbakar [9]. Meski begitu, penelitian yang mengeksplorasi pengaruh variasi konsentrasi metanol dalam campuran dengan biogasoline hasil pirolisis terhadap performa mesin otto masih terbatas [20]. Hal ini penting untuk dipelajari guna memahami sejauh mana modifikasi bahan bakar ini dapat meningkatkan kinerja mesin dan emisi gas buang pada mesin pembakaran internal [21].

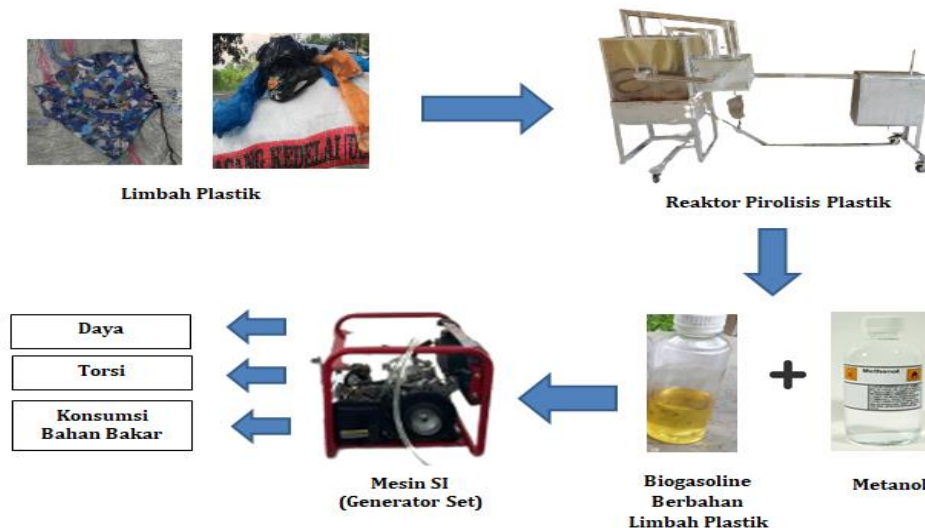
Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan methanol terhadap performa mesin otto dalam hal ini sepekerjaan motor karburator. Parameter – parameter tersebut yang akan diukur untuk digunakan sebagai analisa untuk meningkatkan kualitas dan performa biogasoline dari limbah plastik, serta potensi implementasinya dalam aplikasi bahan bakar alternatif.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Kerangka Dasar Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh penambahan metanol terhadap karakteristik bahan bakar biogasoline yang dihasilkan dari limbah plastik melalui proses pirolisis. Metode eksperimental adalah pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menentukan pengaruh variabel independen

terhadap variabel dependen dalam kondisi yang terkontrol. Prosedur penelitian dimulai dengan menghasilkan biogasoline melalui proses pirolisis pada limbah plastik. Biogasoline yang diperoleh kemudian dicampur dengan metanol dalam konsentrasi 20% dan 30%. Pengujian dilakukan untuk menilai bagaimana penambahan metanol mempengaruhi performa mesin otto (sepeda motor karburator). Penelitian ini dilaksanakan di bengkel Bintang Racing Team Pit Reseller di Jalan Pancing Ujung, Medan pada bulan September 2024. Di lokasi tersebut, fasilitas dan peralatan yang diperlukan untuk pengujian performa dari bahan bakar biogasoline yang tersedia untuk mendukung kelancaran penelitian. Skema rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Alat Penelitian

Variabel yang diukur pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian Biogasoline berbahan limbah plastik hasil dari pirolisis yang dicampur dengan metanol. Dengan perbandingan konsentrasi biogasoline limbah Plastik dicampur dengan metanol dengan proposrsi 20% dan 30%.
2. Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah daya, air fuel ratio dan torsi dari mesin sepeda motor karburator.
3. Variabel terkontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah putaran mesin diantaranya 1000 hingga 7500 rpm

2.2 Bahan dan Alat

2.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biogasoline limbah plastik hasil pirolisis dan methanol dengan persentase 20% dan 30%. Adapun karakteristik dari bahan bakar biogasoline dan metanol dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik variasi konsentrasi metanol dengan biogasoline pirolisis

No	Karakteristik	Jenis Bahan Bakar	
		BM 20	BM 30
1.	Nilai Reasearch Octane Number (RON)	81.1	76.8
2.	Nilai Densitas	771.09	784.86
3.	Nilai Viscositas	2.0664	2.0552
4.	Nilai Kalor (LHV)	53865	53437.5
5.	Nilai Titik Nyala (Flash Point)	28.5	29.4

Adapun campuran bahan bakar biogasolin dengan metanol (BM20 dan BM30) yang dipakai dalam pengujian pada mesin sepeda motor karburator dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Biogasoline dan Metanol 20%



Gambar 3. Biogasoline dan Metanol 30%

2.2.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Sepeda motor karburator Merk Honda Supra X 125 Tahun 2022 digunakan sebagai objek penelitian.

Spesifikasi :

Tipe mesin	: 4 langkah, OHC
System pendingin	: pendinginan udara
Diameter x Langkah	: 52.4 x 57.9 mm
Volume Langkah	: 124.8 cc
Perbandingan kompresi	: 9.0 ; 1
Daya maksimum	: 9.3 PS/7.500 rpm
Torsi maksimum	: 1.03 kgf.m/4.000rpm
Kapasitas minyak pelumas mesin	: 3.7 liter pada penggantian periodik
Sistem bahan bakar	: karburator



Gambar 4. Sepeda motor Supra X 125

- b. Dynotesttest digunakan untuk pengujian performa mesin otto.



Gambar 5. Dynotest

- c. Tangki portable digunakan sebagai wadah bahan bakar.



Gambar 6. Tangki portabel

2.3 Prosedur Penelitian

Setelah semua bahan telah selesai dipersiapkan, bahan tersebut kemudian dicampur sesuai dengan komposisi campuran yang sudah ditentukan. Adapun proses pencampuran methanol pirolisis sampah plastik yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan bakar pirolisis murni yang telah disediakan;
2. Mengukur volume campuran antara pyrolysis sampah plastik dengan methanol menggunakan gelas ukur;
3. Memasukkan pyrolysis sampah plastik dan methanol yang telah diukur volumenya kedalam botol, yang selanjutnya dilakukan proses pengadukan agar bahan tercampur merata;
4. Menghidupkan mesin dynotest;

5. Memasukkan bahan bakar campuran dengan takaran yang sesuai ke dalam tangki bahan bakar sepeda motor;
6. Mendeteksi RPM pada sepeda motor karburator;
7. Menaikkan kecepatan pada sepeda motor karburator;
8. Mencek data, daya pada sepeda motor karburator;
9. Mencek seluruh data yang masuk melalui dynotest;
10. Menyimpan semua file hasil data pada dynotest.

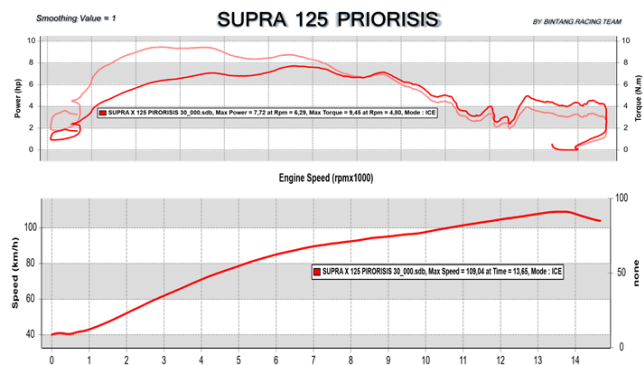
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian eksperimental yang dilakukan pada bahan bakar campuran biogasoline pirolisis dengan metanol terhadap performa mesin sepeda motor karburator maka didapatkan beberapa grafik yang ditampilkan pada layar alat ukur dynotest.

3.1 Hasil

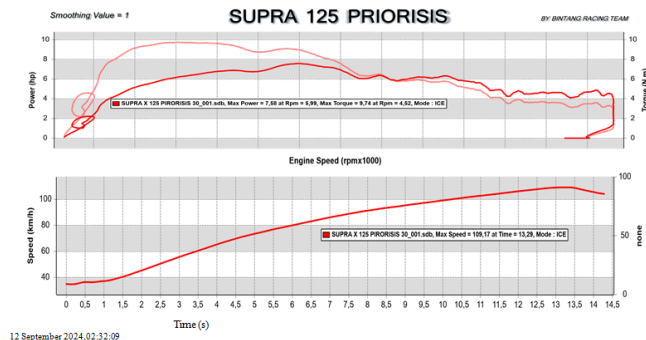
3.1.1 Daya dan Torsi

Hasil performa terhadap daya dengan menggunakan bahan bakar biogasoline pirolisis dan metanol dengan konsentrasi 20% dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Performa daya dengan menggunakan konsentrasi metanol 20%

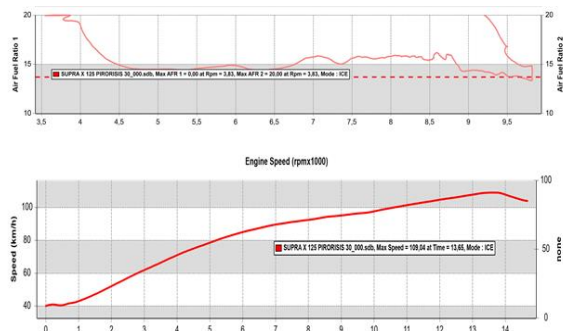
Sedangkan hasil performa terhadap daya dengan menggunakan bahan bakar biogasoline pirolisis dan metanol dengan konsentrasi 30% dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Performa daya dengan menggunakan konsentrasi metanol 30%

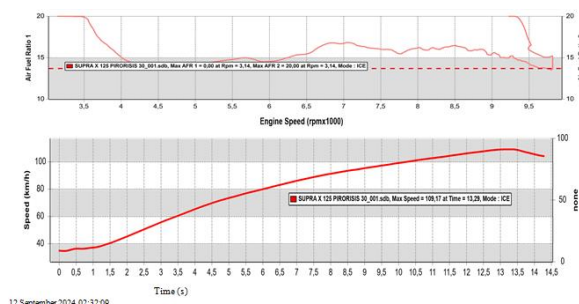
3.1.2 Air Fuel Ratio (AFR)

Hasil performa terhadap air fuel ratio (AFR) dengan menggunakan bahan bakar biogasoline pirolisis dan metanol dengan konsentrasi 20% dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Performa air fuel ratio (AFR) dengan menggunakan konsentrasi metanol 20%

Sedangkan hasil performa terhadap air fuel ratio (AFR) dengan menggunakan bahan bakar biogasoline pirolisis dan metanol dengan konsentrasi 30% dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Performa air fuel ratio (AFR) dengan menggunakan konsentrasi metanol 30%

3.2 Pembahasan

Dari pengujian yang dilakukan maka dapat dilakukan pembahasan sesuai dengan grafik yang didapat.

3.2.1 Daya dan Torsi

Daya dan torsi yang dihasilkan pada pengujian performa dengan menggunakan bahan bakar biogasoline dengan konsentrasi 20% terlihat dari Gambar 7 bahwa pada saat awal start daya dan torsi mesin mengalami kenaikan hingga putaran 5500 rpm dan daya menurun pada putaran maksimal yaitu 7500 rpm. Sedangkan dengan menggunakan konsentrasi metanol 30% daya dan torsi yang dihasilkan mengalami kenaikan dimulai dari putaran 2000 rpm dan mengalami penurunan daya dan torsi pada putaran 6700 rpm (terlihat pada Gambar 8). Hal ini terjadi akibat sistem kerja mesin berlangsung pada kecepatan maksimal yaitu sebesar 109.17 km/jam terjadi selama 13.29 sekon.

3.2.2 Air fuel ratio

Air fuel ratio yang dihasilkan pada pengujian performa dengan menggunakan bahan bakar biogasoline dengan konsentrasi 20% terlihat dari Gambar 9 bahwa pada saat awal start air fuel ratio mengalami normal hingga putaran 3830 rpm dan air fuel ratio menurun pada putaran 4000 rpm. Sedangkan dengan menggunakan konsentrasi metanol 30% air fuel ratio yang dihasilkan mengalami konstan dari putaran 1000 rpm hingga 3140 rpm dan pada putaran 3670 rpm hingga 4200 rpm mengalami penurunan air fuel ratio secara signifikan (dapat dilihat pada Gambar 10). Hal ini terjadi akibat sistem kerja mesin berlangsung pada kecepatan maksimal yaitu sebesar 109.17 km/jam terjadi selama 13.29 sekon.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada sepeda motor karburator dengan menggunakan bahan bakar biogasoline hasil pirolisis dengan variasi konsentrasi metanol sangat berdampak signifikan terhadap performa mesin otto, dalam hal ini sepeda motor karburator. Dari hasil pengujian, ditemukan bahwa penambahan metanol dengan konsentrasi 20% dan 30% memberikan variasi terhadap daya, torsi dan air fuel ratio (AFR). Penggunaan metanol 30% dapat meningkatkan daya dan torsi mesin lebih awal pada putaran rendah dibandingkan dengan metanol 20%, namun menurun saat mendekati putaran maksimum. Pada rasio bahan bakar udara metanol konsentrasi 30% menghasilkan performa yang lebih stabil pada putaran rendah, tetapi mengalami penurunan yang signifikan pada putaran tinggi. Secara keseluruhan penambahan metanol pada biogasoline dari limbah plastik menunjukkan potensi dalam meningkatkan efisiensi pembakaran dan performa mesin, tetapi pengujian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan konsentrasi campuran guna mendapatkan performa yang stabil dan efisien pada semua putaran mesin. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan bahan bakar alternatif berbasis biogasoline yang dihasilkan dari pirolisis limbah plastik, khususnya dengan penambahan metanol sebagai aditif. Dengan temuan ini, penelitian ini memberikan landasan ilmiah untuk mengoptimalkan formulasi bahan bakar campuran, serta mendukung eksplorasi lebih lanjut terhadap potensi penggunaan limbah plastik sebagai sumber bahan bakar ramah lingkungan dan efisien. Hasil ini relevan untuk pengembangan teknologi bahan bakar dan mesin yang mendukung berkelanjutan energi di masa depan.

REFERENCES

- [1] U. N. E. P. UNEP, "Resource Efficient and Cleaner Production," 2009. [Daring]. Tersedia pada: <http://www.unep.fr/scp/cp/>. [Diakses: 04-Apr-2024].
- [2] E. Ningsih dan K. Udyani, "Potentials of Plastic Waste for Making Bricks: the Effect of Composition on Proximate Analysis," *Konversi*, vol. 9, no. 2, hal. 98–103, 2020, doi: 10.20527/k.v9i2.8824.
- [3] D. Yona, M. Zahran, M. Fuad, Y. Prananto, dan L. Harlyan, *Mikroplastik di Perairan: Jenis, Metode Sampling, dan Analisis Laboratorium*. 2021.
- [4] P. Nurdianto, I. K. Nugraheni, dan R. T. Ivana, "Pengujian Bahan Bakar Biofull Hasil Pirolisis Botol Plastik Pada Sepeda Motor," *Elem. J. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, hal. 01, 2016, doi: 10.34128/je.v3i1.8.
- [5] IPCC, "RENEWABLE ENERGY SOURCES AND CLIMATE CHANGE MITIGATION," <https://www.ipcc.ch/>, 2024.

- [Daring]. Tersedia pada: <https://www.ipcc.ch/>. [Diakses: 19-Sep-2024].
- [6] D. A. Lubis, A. Arifin, dan Y. Fitrianiingsih, "Pengolahan Sampah Plastik HDPE (High Density Polyethylene) dan PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Bahan Bakar Alternatif dengan Proses Pirolisis," *J. Ilmu Lingkung.*, vol. 20, no. 4, hal. 735–742, 2022, doi: 10.14710/jil.20.4.735-742.
- [7] I. N. D. KD, "KARAKTERISTIK MINYAK HASIL PIROLISIS BATCH SAMPAH PLASTIK POLYETHYLENE DAN POLYSTYRENE PADA BERBAGAI SUHU." Universitas Gadjah Mada, 2014.
- [8] G. Maitlo et al., "Plastic Waste Recycling, Applications, and Future Prospects for a Sustainable Environment," *Sustainability*, vol. 14, Sep 2022, doi: 10.3390/su141811637.
- [9] S. Ge et al., "Blending and emission characteristics of biogasoline produced using CaO/SBA-15 catalyst by cracking used cooking oil," *Fuel*, vol. 307, no. 41, hal. 121861, 2022, doi: 10.1016/j.fuel.2021.121861.
- [10] Y. Lin, Y. Luo, J. Li, dan W. Li, "Heat transfer, pressure drop and flow patterns of flow boiling on heterogeneous wetting surface in a vertical narrow microchannel," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 172, hal. 121158, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121158>.
- [11] M. Shen, W. Huang, M. Chen, B. Song, G. Zeng, dan Y. Zhang, "(Micro)plastic crisis: Un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change," *J. Clean. Prod.*, vol. 254, hal. 120138, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120138>.
- [12] A. Pugazhendhi, A. Alagumalai, T. Mathimani, dan A. E. Atabani, "Optimization, kinetic and thermodynamic studies on sustainable biodiesel production from waste cooking oil: An Indian perspective," *Fuel*, vol. 273, Agu 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117725.
- [13] W. Wang, Y. Lu, K. Xu, K. Wu, Z. Zhang, dan J. Duan, "Experimental and simulated study on fluidization characteristics of particle shrinkage in a multi-chamber fluidized bed for biomass fast pyrolysis," *Fuel Process. Technol.*, vol. 216, hal. 106799, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2021.106799>.
- [14] A. V. Kale dan A. Krishnasamy, "Experimental study on combustion, performance, and emission characteristics of a homogeneous charge compression ignition engine fuelled with multiple biofuel-gasoline blends," *Energy*, vol. 288, no. August 2023, hal. 129621, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2023.129621.
- [15] C. Q. Cao, B. Kuang, Y. Zhao, J. Deng, S. H. Ding, dan D. Wu, "A relatively wide-ranged correlation of saturated flow boiling heat transfer within narrow rectangular channel for water," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 210, hal. 118345, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118345>.
- [16] S. Untoro Budi, "Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak," *J. Envirotek*, vol. 9, no. 2, hal. 32–40, 2018.
- [17] M. Arjuansyah, M. Aditya Saputra, K. Ridwan, dan A. Zikri, "Pengaruh Jumlah Katalis Alumina Silika Pada Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Limbah Plastik Hdpe Dan Ldpe Influence of the Amount of Alumina Silica Catalyst on the Process of Making Liquid Fuel Plastic Hdpe and Ldpe," *J. Kinet.*, vol. 12, no. 03, hal. 6–12, 2021.
- [18] Y. Li, J. Gong, Y. Deng, W. Yuan, J. Fu, dan B. Zhang, "Experimental comparative study on combustion, performance and emissions characteristics of methanol, ethanol and butanol in a spark ignition engine," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 115, hal. 53–63, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.12.037.
- [19] R. Thahir, A. Altway, S. R. Juliastuti, dan Susianto, "Production of liquid fuel from plastic waste using integrated pyrolysis method with refinery distillation bubble cap plate column," *Energy Reports*, vol. 5, hal. 70–77, 2019, doi: 10.1016/j.egy.2018.11.004.
- [20] T. Landi dan A. Ariyanto, "Perancangan Dan Uji Alat Pengolah Sampah Plastik Jenis Ldpe (Low Density Polyethylene) Menjadi Bahan Bakar Alternatif," *J. Tek. Mesin Undip*, vol. 5, no. 1, hal. 1–8, 2017.
- [21] R. Otten, "Qubit Bias using a CMOS DAC at mK Temperatures," *ICECS 2022 - 29th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, Proceedings*. 2022, doi: 10.1109/ICECS202256217.2022.9971043.