



# Penambahan Katalis Karbon Aktif dan Tanah Liat Bentonit Pada Pirolisis Sampah Plastik Polyethylene Terephthalate (PETE)

Dianta Mustofa Kamal

Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta  
Email: [dianta@pnj.ac.id](mailto:dianta@pnj.ac.id)

## INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 28/02/2022  
Naskah Direvisi 20/06/2022  
Naskah Disetujui 27/06/2022  
Naskah Online 30/06/2022

## ABSTRAK

The increase in the use of plastic results in an increase and accumulation of the volume of plastic waste which causes environmental problems, because plastic is an inorganic material that is very difficult to decompose in nature. This research was conducted to utilize Polyethylene Terephthalate (PETE) plastic waste into liquid fuel by pyrolysis method using a catalyst in order to increase the yield of liquid products and the quality of the liquid fuel produced. The research method is carried out by making a simple reactor to obtain liquid fuel, after the product is produced, the yield is calculated, and the density, viscosity, and calorific value are tested. The results of this study prove that the use of bentonite clay catalyst produces a higher yield of about 4.1% to 6.7% than the use of activated carbon catalyst with a yield of 21.74% and a heating value ranging from 10572 to 10860 cal/ g. Likewise, the density and viscosity of the product are still classified as meeting the quality standards of commercial fuel oil.

**Keywords:** pyrolysis, polyethylene terephthalate, active carbon, bentonite clay

## 1. PENDAHULUAN

Kenaikan jumlah populasi penduduk semakin meningkatkan kebutuhan terhadap produk-produk plastik, sehingga bahan plastik seperti tas plastik, botol minuman, bungkus makanan, dan alat tulis banyak digunakan. Peningkatan penggunaan plastik mengakibatkan peningkatan volume sampah plastik di tempat pembuangan sampah. Penumpukan sampah plastik menjadi masalah lingkungan, karena plastik sangat sulit untuk diuraikan oleh komponen biologi [1].

Di tahun 2015, secara global total limbah plastik dunia mencapai 322 juta ton. Sampai saat ini, pemanfaatan plastik dalam kehidupan modern manusia semakin luas dan tidak dapat dihindarkan dan ini mengakibatkan kenaikan jumlah produksi plastik dari tahun ke tahun [2]. Pada tahun 2018, tercatat produksi plastik diperkirakan mencapai 129 juta ton padahal dibutuhkan 12 juta barrel minyak bumi pertahun untuk memproduksi plastic tersebut, atau setara dengan 8% dari total produksi minyak [3].

Indonesia pada tahun 2013 menghasilkan sekitar 804 ton/hari limbah plastik. Sebanyak 55% limbah plastik didiamkan, 25% dibakar, dan 20% didaur ulang [4]. Penanganan limbah plastik secara tradisional dengan cara ditimbun mempunyai kendala yaitu keterbatasan lahan,

sedangkan pembakaran limbah plastik mampu menghasilkan zat beracun yang berbahaya bagi kesehatan.

Pembakaran dan penimbunan kurang mampu menjawab masalah tentang pengolahan limbah plastik maka konversi plastik menjadi bahan bakar cair dengan metode pirolisis merupakan metode yang lebih ramah lingkungan dalam menyelesaikan masalah pengelolaan limbah plastik [5]. Hal ini dapat dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak cair [4]. Bahan bakar cair dari limbah plastik menjadi salah satu energi alternatif pada masa depan yang mampu berkontribusi untuk mengatasi semakin berkurangnya bahan bakar fosil cair [3].

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh dari penggunaan katalis karbon aktif dan tanah liat bentonit terhadap karakteristik bahan bakar cair hasil proses pirolisis plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PETE).

Pirolisis adalah peleburan material organik dibawah pengaruh dari panas dan dalam kondisi tanpa oksigen [6]. Pirolisis melibatkan penguraian material polimer dengan cara dipanaskan tanpa oksigen yang biasanya dilakukan di temperatur tinggi dan menghasilkan *solid* residu, juga fraksi cairan dan gas. Proporsi dari setiap fraksi tergantung dari kondisi prosesnya

Pirolisis adalah peleburan material organik dibawah pengaruh dari panas dan dalam kondisi tanpa oksigen [6]. Pirolisis melibatkan penguraian material polimer dengan cara dipanaskan tanpa oksigen yang biasanya dilakukan di temperatur tinggi dan menghasilkan *solid* residu, juga fraksi cairan dan gas. Proporsi dari setiap fraksi tergantung dari kondisi prosesnya

Proses pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 230 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, dan kandungan bahan yang mudah menguap pada sampah akan pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan *polyaromatic hydrocarbon*. Produk pirolisis umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $CH_4$ ), tar (*pyrolytic oil*), dan arang [7,8]. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda [1]. Karena adanya tar sebagai produk samping pada proses pirolisis plastik dan tar ini tidak mempunyai nilai kalor dan membuat reaktor menjadi berkerak dan kotor, sehingga diperlukan untuk menambahkan katalis pada proses pirolisis ini.

Katalis adalah bahan yang digunakan untuk membantu reaksi yang terjadi tanpa mengalami perubahan komposisi kimia akibat reaksi yang berlangsung. Tujuan dari penggunaan katalis sendiri adalah untuk mempercepat reaksi dan menurunkan suhu reaksi sehingga reaksi yang berlangsung lebih hemat energi. Penambahan katalis dalam proses pirolisis cukup efisien bukan hanya untuk menghemat energi tapi juga untuk menaikkan kualitas produksi minyak hasil pirolisis [9].

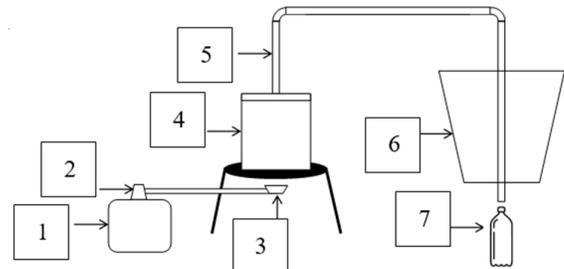
*Polyethylene Terephthalate* (PETE) adalah jenis plastik yang banyak dijumpai pada kemasan air mineral seperti botol plastik dan gelas plastik yang merupakan jenis plastik yang mempunyai sifat bening, kuat, dan ringan. Plastik PETE tersusun atas asam *terephthalic* dan *ethylene glycol*. Keduanya bereaksi secara bersamaan sehingga menghasilkan polimer berantai panjang [10].

*Bentonite* merupakan tanah liat yang sebagian besar terdiri dari *montmorillonite*. Silikon oksida tetrahedral dan satu aluminium oksida octahedral merupakan struktur penyusun *montmorillonite*. Produk sampingannya seperti arang dan lilin dari proses pirolisis dengan tanah liat bentonit tidak dihasilkan. Hal itu disebabkan oleh sifat bentonit yang asam, sehingga membuatnya terdekomposisi menjadi produk yang lebih ringan [11].

Karbon aktif merupakan padatan yang mengandung 85% - 95% karbon. Bahan-bahan yang mengandung karbon kemudian dipanaskan pada suhu tinggi untuk menghasilkan karbon aktif. Melalui proses aktifasi, daya adsorpsi pada senyawa karbon dalam karbon aktif ditingkatkan. Karbon aktif adalah katalis yang efisien untuk jenis degradasi dan dapat menghasilkan jumlah yang lebih tinggi dari senyawa aromatik. Karbon mempunyai sifat mekanik yang tinggi, tahan panas, murah dan sebagai katalis terbaik untuk degradasi katalitik sehingga dipilih sebagai katalis dalam proses pirolisis. [12]

## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan prinsip proses pirolisis. Untuk membuat suatu proses pirolisis dibuat suatu reaktor anaerob (tanpa udara) pada suhu antara 250°C – 500°C pada tekanan 2 bar dengan menggunakan variasi katalis untuk melihat fenomena penggunaan katalis terhadap rendemen jumlah bahan bakar cair yang dihasilkan. Skema Alat Pirolisis sederhana yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Skema instalasi penelitian

Keterangan:

1. Gas LPG 3 kg
2. Regulator gas
3. Kompor gas
4. Reaktor Pirolisis
5. Pipa Tembaga 5/16"
6. Kondesor
7. Tempat penampungan bahan bakar cair hasil pirolisis

Sampel yang akan diuji pada penelitian ini adalah:

- 150 gram plastik PETE tanpa katalis
- 150 gram plastik PETE, serta 30 gram Karbon Aktif
- 150 gram plastik PETE, serta 30 gram tanah liat Bentonit

Seluruh sampel dan katalis tersebut ditimbang sebelum dimasukkan dalam reaktor pirolisis menggunakan timbangan digital. Proses pirolisis dilakukan anaerob temperatur 250°C hingga 400°C untuk menghasilkan minyak pirolisis sebagai bahan bakar cair. Setelah itu minyak pirolisis yang dihasilkan akan dihitung rendemen (*Yield*) dan diuji nilai densitas, viskositas, dan nilai kalornya.

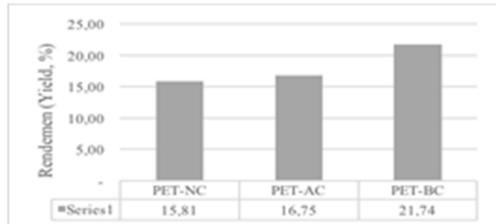
Pengujian densitas menggunakan piknometer 25 ml. Viskositas diukur menggunakan viskometer *ostwald*. Setelah itu dilakukan analisis pengaruh dari penggunaan karbon aktif dan katalis tanah liat Bentonit terhadap plastik jenis PETE.



Gambar 2. Plastik jenis PETE

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan proses pirolisis sampah plastik PETE menjadi bahan bakar cair. Pirolisis limbah plastik jenis PETE menggunakan bantuan katalis serbuk *bentonite clay* dan karbon aktif. Proses pirolisis limbah plastik dengan menggunakan campuran katalis dengan perbandingan PETE : Katalis adalah 10:2. Bahan bakar cair yang dihasilkan dibandingkan dengan jumlah sampah plastik PETE yang diolah.



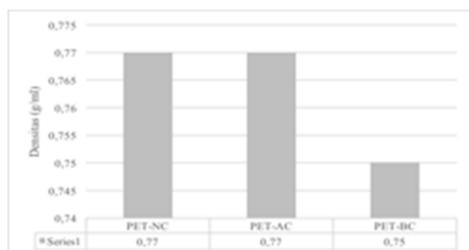
Gambar 3. Grafik rendemen (*yield*) bahan bakar cair dengan katalis dan tanpa katalis

Keterangan Grafik:

- PET-NC = Pirolisis Plastik PETE tanpa penggunaan Katalis (NC = *Non Catalist*)
- PET-AC = Pirolisis Plastik PETE dengan Katalis (AC = Karbon Aktif)
- PET-BC = Pirolisis Plastik PETE dengan Katalis (BC = Tanah Liat Bentonit)

Untuk rendemen bahan bakar cair dari plastik jenis PETE dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan rendemen bahan bakar cair terbesar adalah 21,74%. Sedangkan rendemen pirolisis sampah plastik tanpa katalis adalah 15,81%. Artinya katalis *bentonite clay* mampu menaikkan perolehan produk cair. Hal itu disebabkan oleh peran katalis dalam proses *cracking* berlangsung lebih cepat dan degradasi plastik akan semakin maksimal yang dibuktikan dengan kenaikan jumlah produk cair pada akhir proses [7].

Densitas atau massa jenis suatu benda dapat diartikan sebagai perbandingan antara massa per volume. Densitas yang terlalu tinggi pada bahan bakar mampu mengakibatkan keausan dan kerusakan pada mesin sehingga bahan bakar harus memiliki densitas rendah. Pada penelitian ini pengukuran densitas menggunakan piknometer dengan volume 25 mL. Hasil dari pengujian densitas bahan bakar cair pada penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 4.

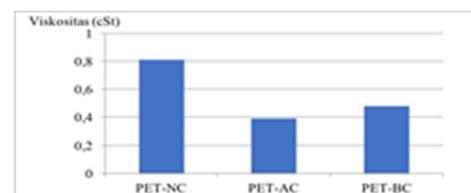


Gambar 4. Densitas bahan bakar cair dengan katalis dan tanpa katalis

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan katalis jenis tanah liat bentonit 30 g akan menurunkan densitas bahan bakar cair plastik jenis PETE sebesar 0,02 g/mL menjadi 0,75 g/mL. Hal ini serupa dengan penelitian Nazif [12] tentang Karbon Aktif Terhadap Yield Dan Kualitas Bahan juga diperoleh densitas sebesar 0,77 g/mL. Sedangkan penelitian Supattra [11] menggunakan plastik jenis *Polypropylene*, *Polystyrene*, dan *Low Density Polyethylene* dengan penambahan katalis tanah liat bentonit dengan rasio plastik PP, PS, dan LDPE masing-masing terhadap tanah liat *bentonite* sebesar 10:2 menghasilkan bahan bakar cair hasil pirolisis dengan densitas masing-masing 0,9 g/mL, 0,84 g/mL, dan 0,89 g/mL. Penggunaan katalis mempunyai peran yang signifikan terhadap densitas dari bahan bakar cair yang dihasilkan dari jenis plastik yang berbeda, dan nilainya mendekati bahan bakar jenis diesel [11].

*Shell Petroleum Canada* sebagai perusahaan penghasil bahan bakar komersial yang diakui secara internasional menyatakan tentang pengujian spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin tanpa timbal, densitas bensin yang diizinkan untuk dipasarkan minimal sebesar 750 kg/m<sup>3</sup> dan maksimal 850 kg/m<sup>3</sup> pada suhu 15°C. Sementara plastik jenis PETE lebih didominasi oleh TPA (*Terephthalic Acid*) dan mempunyai densitas sebesar 0,90 g/cm<sup>3</sup>. *Terephthalic Acid* dalam plastik PETE ini mempunyai sifat menyublim atau mampu berubah fasa dari padat menjadi gas [14]. Dalam penelitiannya, Shilvia (2014) mengatakan bahwa suhu dari bahan bakar cair juga mempengaruhi densitas, semakin rendah suhu bahan bakar cair maka nilai berat jenis bahan bakar semakin besar begitupun sebaliknya [15].

Selain densitas, viskositas juga merupakan parameter fisik yang penting pada suatu bahan bakar. Viskositas lebih dikenal dengan sebutan kekentalan. Bahan bakar yang terlalu kental akan membuatnya sulit mengalir, dipompakan, dan dinyalakan. Pada penelitian ini, pengukuran viskositas dilakukan dengan menggunakan viskometer Ostwald pada suhu lingkungan 30 °C. Hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh katalis terhadap viskositas minyak hasil pirolisis

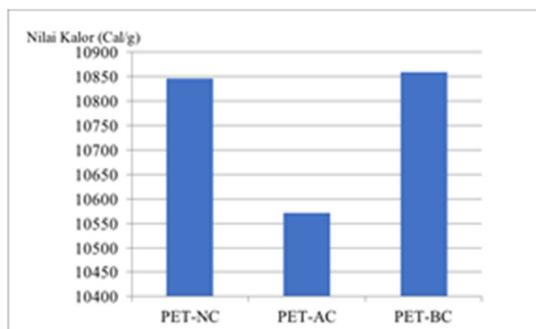
Hasil pengujian bahan bakar cair pada penelitian ini menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan katalis maka nilai viskositas menjadi lebih rendah. Nilai viskositas terendah yaitu sebesar 0,39 cSt terjadi ketika pirolisis PETE dengan katalis karbon aktif. Sedangkan viskositas tertinggi yaitu sebesar 0,80 cSt terjadi ketika pirolisis tanpa penambahan katalis apapun. Penelitian Nazif [12] pada pirolisis plastik jenis *Polipropilene* dengan katalis karbon

aktif dengan rasio PP berbanding karbon aktif sebesar 10:2 menghasilkan minyak pirolisis dengan viskositas sebesar 1,6 cSt. Sedangkan dalam penelitian Supattra Budsareechai [11] menggunakan plastik jenis *Polypropylene*, *Polystyrene*, dan *Low Density Polyethylene* dengan penambahan katalis tanah liat bentonite dengan rasio masing-masing jenis plastik terhadap tanah liat bentonit adalah 10:2 menghasilkan minyak pirolisis dengan viskositas antara 1,8 – 2,0 cSt. Nilai viskositas bahan bakar cair sesuai baku mutu internasional adalah sebesar <1 cSt menurut *Shell Petroleum Canada* (1999).

Pirolisis dengan penambahan katalis menghasilkan bahan bakar cair dengan viskositas yang lebih rendah dibanding pirolisis tanpa katalis, sehingga adanya indikasi bahwa terjadi perengkahan sampah plastik menjadi minyak dengan berat molekul hidrokarbon yang rendah [11]. Tanah liat bentonite merupakan katalis yang mempunyai ukuran pori yang besar dan keasaman yang kecil sehingga mampu digunakan sebagai katalis pada pirolisis plastik PETE. Proses dekomposisi dengan katalis yang mempunyai keasaman yang rendah akan memproduksi lebih banyak produk cair dibandingkan produk gas [16]. Sebaliknya, karbon aktif merupakan katalis yang masuk ke dalam kategori padatan asam konvensional mempunyai keasaman yang tinggi sehingga pengaplikasiannya sebagai katalis dalam proses pirolisis sampah plastik membuat hasil pirolisis didominasi oleh produk gas [12].

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa cairan lebih mendominasi pada penggunaan katalis tanah liat bentonit dibandingkan karbon aktif, karena karbon aktif lebih banyak menghasilkan molekul ringan hidrokarbon.

Nilai kalor adalah nilai yang menyatakan jumlah energi panas yang mampu dihasilkan oleh bahan bakar selama proses pembakaran dengan udara. Nilai kalor pada penelitian ini diukur dengan menggunakan *bomb calorimeter*. Hasil analisis nilai kalor pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh katalis terhadap nilai kalor minyak hasil pirolisis

Nilai kalor tertinggi pada pirolisis plastik jenis PETE diperoleh dengan penambahan katalis *bentonite clay* yaitu sebesar 10860 cal/g. Sehingga dapat dilihat semua nilai kalor bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis sampah plastik pada penelitian ini telah memenuhi standar baku mutu bensin komersil.

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Rio Nazif [12] menggunakan plastik jenis Polipropilene dengan penambahan karbon aktif rasio 10:2 menghasilkan bahan bakar cair dengan nilai kalor sebesar 10732 cal/g. Pada Penelitian ini Nilai kalor bahan bakar cair hasil pirolisis dengan katalis tanah liat bentonit lebih tinggi 150 cal/g lebih tinggi daripada penelitian sebelumnya [12].

#### 4. KESIMPULAN

Densitas bahan bakar hasil pirolisis plastik jenis PETE tertinggi yaitu sebesar 0,77 g/mL. Sementara densitas bahan bakar yang diizinkan untuk dipasarkan minimal sebesar 0,75 g/mL dan maksimal 0,85 g/mL pada suhu 15°C. Dengan demikian bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PETE layak untuk dipasarkan. Dan semua nilai viskositas hasil pirolisis PETE kurang dari 1 cSt yang berarti masih sesuai dengan standar baku mutu bahan bakar minyak (BBM) komersil.

Nilai kalor yang terkandung didalam minyak hasil pirolisis sampah plastik jenis PETE berkisar antara 10572 – 10860 cal/g, sedangkan nilai kalor bahan bakar komersil berkisar antara 10160 – 11000 cal/g, sehingga bahan bakar cair hasil pirolisis PETE masih sesuai dengan standar bahan bakar komersil

Pada penelitian berikutnya dapat dilakukan disain piroliser dengan kapasitas reaktor yang lebih besar sehingga minyak pirolisis yang dihasilkan lebih banyak.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

##### Referensi Jurnal

- [1] Anggono, Y. P., Ilminafik, N., Adib Rosyadi, A., & Jatisukanto, G. (2020). Pengaruh katalis zeolit alam pada pirolisis plastik polyethylene terephthalate dan polypropylene. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 13(1), 22. <https://doi.org/10.24843/jem.2020.v13.i01.p04>
- [2] Shebu, H. G., Asfaw, B. T., Yimam, S. A., & Manyazewal, D. E. (2017). A Review on Extraction of Liquid Fuel from Waste Plastic. *International Journal of Energy Research*, 41(11), 1534–1552. <https://doi.org/10.1002/er.3720>
- [4] Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Tenik*, 5(1), 47–56.
- [5] Rahman, M. T. A. (2017). Pengaruh Suhu Dan Porsen Katalis Zeolit Terhadap Yield Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene (PP). *Jurnal FTEKNIK*, 4(2), 1–7.
- [6] Trisnayanti, N. P. (2019). Penggunaan Katalis dalam Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Solusi Penanganan Sampah Plastik dan Produksi Energi. *March*.
- [7] Mahendra A. W., Arijanto. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PET (Polyethylene Pterphalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Vol. 5, No. 1, Tahun 2017 Online: <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index>.
- [8] Mustofa, D., & Zainuri, F. (2015). Green Product of Liquid Fuel from Plastic Waste by Pyrolysis at 900 °C. *Journal of Energy and Power Engineering*, 9(1), 40–44. <https://doi.org/10.17265/1934-8975/2015.01.004>
- [9] Pamungkas, Y. K. (2020). Pengaruh Katalis Zeolit Alam Terhadap Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik Polystyrene dan Low Density Polyethylene.
- [10] Abdillah, M., & Hisbullah, M. I. (2017). Pengolahan Limbah Plastik High Density Polyethylene Dengan Metode Pirolisis

- Microwave Dan Menggunakan Katalis Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Alternatif. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [11] Budsareechai, S., Hunt, A. J., & Ngernyen, Y. (2019). Catalytic pyrolysis of plastic waste for the production of liquid fuels for engines. *RSC Advances*, 9(10), 5844–5857. <https://doi.org/10.1039/c8ra10058f>
- [12] Nazif, R., Wicaksana, E., Kimia, D. T., Teknik, F., & Utara, U. S. (2016). Karbon Aktif Terhadap Yield Dan Kualitas Bahan. 5(3), 49–55.
- [13] Rachmadena, D., Faizal, M., & Said, M. (2018). Conversion of polypropylene plastic waste into liquid fuel with catalytic cracking process using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as catalyst. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(3), 694–700. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.3.2586>
- [14] Rachmawati, Q., & Herumurti, W. (2015). Pengolahan Sampah Secara Pitolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), 27–29.
- [15] Sinaga, S., Haryanto, A., & Triyono, S. (2014). Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(1), 27–34.
- [16] Wibowo, W. A., Lusmono, T. B. T., Efendi, T. W., Kimia, J. T., Teknik, F., Maret, U. S., Ir, J., & No, S. (2015). Aplikasi Bentonit Boyolali Untuk Meningkatkan Perolehan Fraksi Bensin Pada Pembuatan Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Dengan Proses Dekomposisi Katalis. November, 92–97.
- [17] Aqil, M. H. (2020). Analisa Bahan Bakar Minyak Dari Limbah Plastik PETE SKRIPSI.
- [18] Arizal Azwan. (2020). Konversi Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Menjadi Bahan Bakar Cair (BBC) Menggunakan Katalis Gamma Alumina ( $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan Zeolit Alam Dalam Multistage Separator. 11(03), 1–7.
- [19] Wibowo, W. A., Lusmono, T. B. T., Efendi, T. W., Kimia, J. T., Teknik, F., Maret, U. S., Ir, J., & No, S. (2015). Aplikasi Bentonit Boyolali Untuk Meningkatkan Perolehan Fraksi Bensin Pada Pembuatan Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Dengan Proses Dekomposisi Katalis. November, 92–97.
- [20] Wibowo, W. A., Lusmono, T. B. T., Efendi, T. W., Kimia, J. T., Teknik, F., Maret, U. S., Ir, J., & No, S. (2015). Aplikasi Bentonit Boyolali Untuk Meningkatkan Perolehan Fraksi Bensin Pada Pembuatan Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Dengan Proses Dekomposisi Katalis. November, 92–97.
- [21] Wibowo, W. A., Lusmono, T. B. T., Efendi, T. W., Kimia, J. T., Teknik, F., Maret, U. S., Ir, J., & No, S. (2015). Aplikasi Bentonit Boyolali Untuk Meningkatkan Perolehan Fraksi Bensin Pada Pembuatan Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Dengan Proses Dekomposisi Katalis. November, 92–97.
- [22] Wibowo, W. A., Lusmono, T. B. T., Efendi, T. W., Kimia, J. T., Teknik, F., Maret, U. S., Ir, J., & No, S. (2015). Aplikasi Bentonit Boyolali Untuk Meningkatkan Perolehan Fraksi Bensin Pada Pembuatan Bahan Bakar Dari Sampah Plastik Dengan Proses Dekomposisi Katalis. November, 92–97.
- [23] Dewangga, P. B., Rochmadi, & Purnomo, C. W. (2019). Pyrolysis of polystyrene plastic waste using bentonite catalyst. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 399(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/399/1/012110>
- [24] Diaz-Silvarrey, L. S., Zhang, K., & Phan, A. N. (2018). Monomer recovery through advanced pyrolysis of waste high density polyethylene (HDPE). *Green Chemistry*, 20(8), 1813–1823. <https://doi.org/10.1039/c7gc03662k>
- [25] Dimitrov, N., Kratofil Krehula, L., Ptiček Siročić, A., & Hrnjak-Murgić, Z. (2013). Analysis of recycled PET bottles products by pyrolysis-gas chromatography. *Polymer Degradation and Stability*, 98(5), 972–979. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.02.013>
- [26] Okatama, I. (2016). Analisa Peleburan Plastik Jenis PET Menjadi Biji Plastik Melalui Pengujian Alat Pelebur Plastik. 0–4.
- [27] Pratiwi, R., & Dahani, W. (2015). Pengaruh penggunaan katalis zeolit alam dalam pirolisis limbah plastik jenis hdpe menjadi bahan bakar cair setara bensin. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 1(1), 1–5.
- [28] Quratul' uyun, I. (2017). Produksi Bahan Bakar Cair Hidrokarbon (C<sub>8</sub>- C<sub>13</sub>) Dari Limbah Plastik Polipropilena Hasil Konversi Katalitik Dengan Variasi Jumlah Katalis Al-MCM-41. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1689–1699.
- [29] Salamah, S., & Maryudi, M. (2018). Proses Pirolisis Limbah Styrofoam Menggunakan Katalis Silika-Alumina. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(1), 1–7.
- Pustaka yang berasal dari Prosiding
- [30] Ramadhani, Y., & Kholidah, N. (2019). Pengaruh Aktivasi Katalis Zeolit terhadap Hasil Pirolisis Limbah Styrofoam. 1–11. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan, UIN Raden Patah, Palembang*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)