

PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS ACTIVE CARBON DAN BENTONITE CLAY PADA PIROLISIS SAMPAH PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PETE) TERHADAP RENDEMEN, DENSITAS, VISKOSITAS, DAN NILAI KALOR

Dianta Mustofa Kamal^{1✉},

¹*Master's Prog in Applied Manufacturing Technology, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI Depok 16425, Indonesia*

✉*e-mail: dianta@pnj.ac.id*

Abstrak

Peningkatan penggunaan plastik mengakibatkan peningkatan dan penumpukan volume sampah plastik yang mengakibatkan masalah lingkungan, karena plastik merupakan bahan anorganik sangat sulit terurai di alam. Penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan sampah plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PETE) menjadi bahan bakar cair dengan metode pirolisis menggunakan katalis agar dapat meningkatkan perolehan produk cair dan kualitas bahan bakar cair yang dihasilkan. Metode penelitian dilakukan dengan membuat sebuah reaktor sederhana untuk mendapatkan bahan bakar cair, setelah produk dihasilkan, dihitung yield, dan diuji densitas, viskositas, dan nilai kalornya. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan katalis bentonite clay menghasilkan rendemen (Yield) sebesar 21,74% dimana nilai ini lebih besar sekitar 4,1 % hingga 6,7 % daripada katalis Active Carbon. Dan nilai kalornya berkisar antara 10.572–10.860 cal/g, maupun densitas dan viskositas produknya masih memenuhi standar baku mutu bahan bakar minyak (BBM) komersial.

Kata kunci: Pirolisis, Polyethylene Terephthalate, Karbon Aktif, Bentonite Clay

PENDAHULUAN

Kenaikan jumlah populasi penduduk semakin meningkatkan kebutuhan terhadap produk-produk plastik, sehingga bahan plastik seperti plastik kresek, botol minuman, bungkus makanan, 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 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 pertahun, yang mana membutuhkan 12 juta barrel minyak bumi pertahun untuk membuatnya, 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 landfill mempunyai kendala yaitu keterbatasan lahan, sedangkan pembakaran limbah plastik mampu menghasilkan zat beracun yang berbahaya bagi kesehatan.

Pembakaran dan landfill 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 yang mana nantinya mampu berkontribusi untuk mengatasi semakin berkurangnya bahan bakar fosil cair [3].

Penambahan katalis pada proses pirolisis banyak dilakukan oleh beberapa peneliti untuk menurunkan kebutuhan energi, menurunkan waktu reaksi, dan memperbaiki kualitas produk keluarannya. Katalis juga dapat mendorong pemilihan produk akhir. Beberapa jenis katalis yang biasa digunakan adalah silika alumina, fluid catalytic cracking (FCC), zeolit Y, HZSM-5, MCM-41, dan zeolit alam [4].

Pada percobaan yang lain yang dilakukan oleh Devy K. Ratnasariddk. (2017) beliau melakukan penelitian pirolisis dengan katalis bertipe HZSM-5:Al-MCM-41 dengan metode two-stage yang menghasilkan output bahan bakar bernilai variatif di setiap perbandingannya [5]

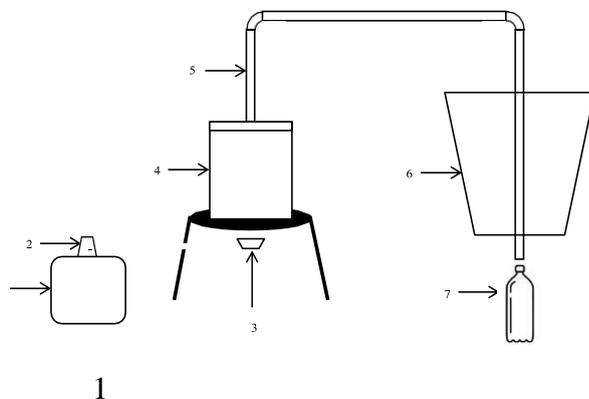
Karbon aktif merupakan padatan yang mengandung 85% - 95% karbon. Bahan-bahan yang mengandung karbon Karbon aktif adalah katalis yang efisien untuk jenis degadasi dan dapat menghasilkan jumlah yang lebih tinggi dari senyawa aromatik. Karbon

mempunyai sifat mekanik yang tinggi, tahan panas, murah dan sebagai katalis terbaik dan untuk degadasi katalitik sehingga dipilih sebagai katalis dalam proses pirolisis. [12].

Pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh dari penggunaan katalis karbon aktif dan *bentonite clay* terhadap bahan bakar cair hasil proses pirolisis plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PETE).

ALAT DAN BAHAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan prinsip proses pirolisis. Untuk membuat suatu proses pirolisis dibuat suatu reaktor anaerob (tanpa udara) dengan variasi katalis untuk melihat fenomena pengaruh penggunaan dua katalis terhadap rendemen jumlah bahan bakar cair yang dihasilkan. Skema Alat Pirolisis sederhana yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Proses pemasukan sampah plastik PETE pada reaktor pirolisis (4) lalu dipanaskan menggunakan kompor gas (3) dengan bahan bakar gas LPG (1) hingga mencapai temperatur 300°C dan plastik sudah mulai menguap dan melewati kondensor (6) hingga menghasilkan tetesan minyak plastik pada tempat penampung bahan bakar hasil pirolisis (7).



Gambar 1. Skema Alat Pirolisis

Keterangan:

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

Sampel yang akan diuji pada penelitian

ini adalah:

- 150 g plastik PETE tanpa katalis
- 150 g plastik PETE, serta 30 g Karbon Aktif
- 150 g plastik PETE, serta 30 g *Bentonite Clay*

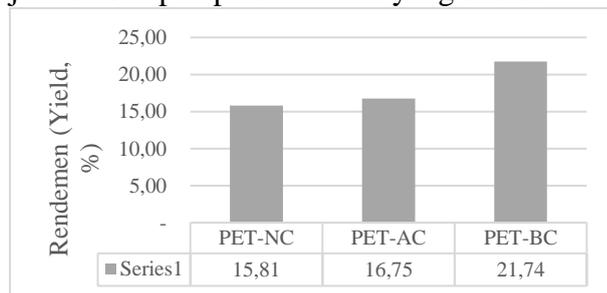
Sampel tersebut ditimbang menggunakan timbangan digital untuk menimbang plastik, katalis, dan minyak hasil pirolisis bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses pirolisis. Setelah itu akan dihitung rendemen (*Yield*) dan diuji nilai densitas, viskositas, dan nilai kalor.

Pengujian densitas menggunakan piknometer viskometer 25 ml. Dan mengukur viskositas menggunakan viscometer oswald. Setelah itu dilakukan analisis pengaruh dari penggunaan karbon aktif dan katalis *Bentonite Clay* terhadap plastik jenis PETE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pirolisis

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 10:2. Bahan bakar cair yang dihasilkan dibandingkan dengan jumlah sampah plastik PETE yang diolah.



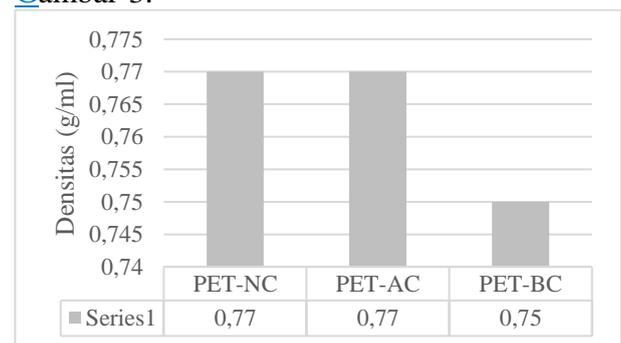
Gambar 2. Rendemen hasil pirolisis dengan katalis dan tanpa katalis

Gambar 2 menjelaskan rendemen bahan bakar cair dari plastik jenis PETE dengan rendemen terbesar 21.74% yang diperoleh ketika 150 g sampah plastik PETE ditambahkan 30 g katalis jenis

bentonite clay. Sedangkan rendemen pirolisis sampah plastik tanpa katalis hanya 15.81%. Penelitian serupa dilakukan oleh Mahendra (2017) pirolisis dilakukan pada 2 kg plastik PETE dan menghasilkan bahan bakar cair sebesar 180 ml [9]. Ini berarti rendemen yang diperoleh sekitar 7% untuk pirolisis dengan katalis *bentonite clay*, padahal rendemen pada penelitian ini lebih besar tiga kali lipat dari penelitian Mahendra. Secara umum menunjukkan bahwa peran katalis dalam proses *cracking* berlangsung lebih cepat dan degradasi plastik akan semakin maksimal yang dibuktikan dengan kenaikan jumlah produk cair pada akhir proses.

3.2. Densitas

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 yang rendah. Pada penelitian ini pengukuran densitas menggunakan piknometer dengan volume sebesar 25 ml. Hasil dari pengujian densitas bahan bakar cair pada penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Densitas bahan bakar cair dengan katalis dan tanpa katalis

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan katalis jenis *bentonite clay* 30 g akan menurunkan densitas bahan bakar cair plastik jenis PETE sebesar 0,02 g/ml

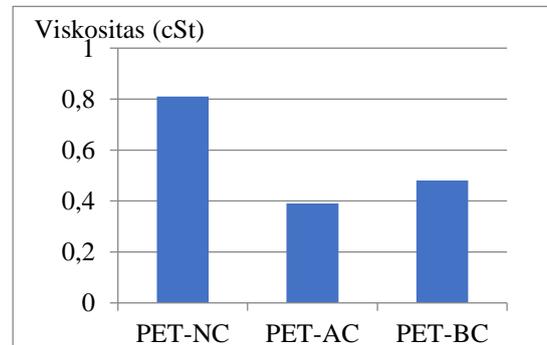
menjadi 0,75 g/ml. Dalam penelitian yang dilakukan Rio Nazif (2016) menggunakan plastik jenis *Polipropilene* dengan penambahan karbon aktif rasio 10:2 menghasilkan bahan bakar cair hasil pirolisis dengan densitas sebesar 0,77 g/ml [13]. Sedangkan dalam penelitian yang dilakukan Supattra Budsareechai (2019) menggunakan plastik jenis *Polypropylene*, *Polystyrene*, dan *Low Density Polyethylene* dengan penambahan katalis *bentonite clay* rasio 10:2 menghasilkan bahan bakar cair hasil pirolisis dengan densitas masing-masing 0,9; 0,84; dan 0,89 g/ml. Penggunaan katalis mempunyai peran yang signifikan terhadap densitas dari bahan bakar cair yang dihasilkan dari jenis plastik yang berbeda dengan nilai yang mendekati bahan bakar jenis diesel [11].

Berdasarkan Shell *Petroleum Canada* tahun 1999 tentang pengujian spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin tanpa timbal, densitas bensin yang diizinkan untuk dipasarkan minimal sebesar 750 kg/m³ dan maksimal 850 kg/m³ pada suhu 15 °C. Sementara plastik jenis PETE lebih didominasi oleh *Terephthalic Acid* (TPA) dan mempunyai densitas sebesar 0,90 g/cm³. *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].

3.3. Viskositas

Selain densitas, viskositas juga merupakan parameter fisik yang penting pada suatu bahan bakar. Viskositas biasa dikenal dengan sebutan kekentalan. Bahan bakar yang terlalu kental akan membuatnya sulit mengalir, dipompakan, dan dinyalakan. Pada penelitian ini, pengukuran viskositas dilakukan dengan

menggunakan *viscometer* Oswald pada suhu lingkungan 30°C. Hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Katalis Terhadap Viskositas Minyak Hasil Pirolisis

Hasil pengujian bahan bakar cair pada penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan katalis maka nilai viskositas menjadi lebih rendah. Nilai viskositas terendah yaitu sebesar 0,39 cSt di mana pirolisis PETE dilakukan dengan penambahan katalis karbon aktif, sedangkan viskositas tertinggi yaitu sebesar 0,80 cSt ketika pirolisis tanpa penambahan katalis.

Rio Nazif (2016) melakukan penelitian pirolisis plastik jenis *Polipropilene* dengan katalis penambahan karbon aktif dan rasio 10:2 menghasilkan minyak pirolisis dengan viskositas sebesar 1,6 cSt [13]. Sedangkan dalam penelitian yang dilakukan Supattra Budsareechai (2019) menggunakan plastik jenis *Polypropylene*, *Polystyrene*, dan *Low Density Polyethylene* dengan penambahan katalis *bentonite clay* rasio 10:2 menghasilkan minyak pirolisis dengan viskositas antara 1,8 – 2,0 cp [11]. Nilai viskositas bahan bakar cair sesuai baku mutu internasional adalah sebesar <1 cSt menurut Shell *Petroleum Canada* (1999).

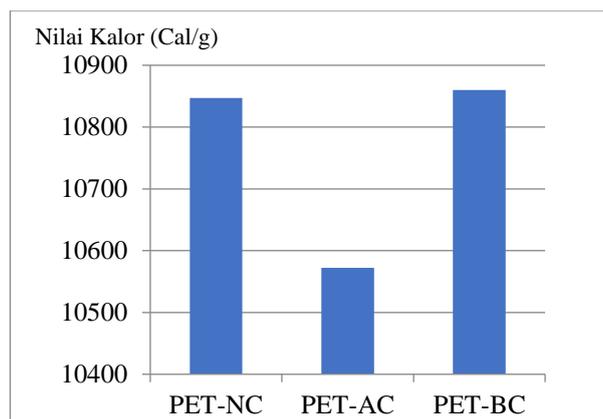
Pirolisis dengan penambahan katalis menghasilkan bahan bakar cair dengan viskositas yang lebih rendah dibanding pirolisis tanpa katalis, sehingga

adanya indikasi bahwa terjadi perengkahan sampah plastik menjadi minyak dengan berat molekul hidrokarbon yang rendah [6]. *Bentonite clay* merupakan katalis yang mempunyai ukuran pori yang besar dan keasaman yang kecil sehingga mampu digunakan sebagai katalis 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 dalam kategori padatan asam konvensional. Yang mana mempunyai keasaman yang tinggi sehingga pengaplikasiannya sebagai katalis dalam proses pirolisis sampah plastik membuat hasil pirolisis didominasi oleh produk gas [12]. Sehingga jika dibandingkan dengan *bentonite clay* yang produknya didominasi liquid, produk dengan katalis karbon aktif lebih didominasi oleh gas karena karbon aktif lebih banyak menghasilkan molekul ringan hidrokarbon.

Plastik jenis PETE lebih didominasi oleh *Terephthalic Acid* (TPA) dan mempunyai densitas sebesar $0,90 \text{ g/cm}^3$ dan *Terephthalic Acid* dalam plastik PETE ini mempunyai sifat menyublim atau mampu berubah fasa dari padat menjadi gas [14].

3.4. Nilai Kalor

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 instrument *bomb calorimeter*. Nilai kalor dari bahan bakar minyak yang ada di pasaran mempunyai nilai kalor berkisar antar 10.160-11.000 cal/g. Hasil analisis nilai kalor pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Katalis Terhadap Nilai Kalor Minyak Hasil Pirolisis

Nilai kalor tertinggi pada pirolisis plastik jenis PETE diperoleh dengan penambahan katalis *bentonite clay* yaitu sebesar 10.860 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 (2016) menggunakan plastik jenis *Polipropilene* dengan penambahan karbon aktif rasio 10:2 menghasilkan bahan bakar cair dengan nilai kalor sebesar 10.732 cal/g [12]. Sedangkan dalam penelitian yang dilakukan Supattra Budsareechai (2019) menggunakan plastik jenis *Polypropylene*, *Polystyrene*, dan *Low Density Polyethylene* dengan penambahan katalis *bentonite clay* rasio 10:2 menghasilkan minyak pirolisis dengan nilai kalor sebesar 10.600 – 10.700 cal/g [6]. Nilai kalor bahan bakar cair hasil pirolisis dengan katalis *bentonite clay* lebih tinggi pada penelitian ini lebih tinggi sekitar 150 cal/g dibanding penelitian sebelumnya.

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 yang berlaku.

Nilai kalor yang terkandung didalam minyak hasil pirolisis sampah plastik jenis PETE berkisar antara 10.572 – 10.860 cal/g, sedangkan nilai kalor bahan bakar komersil berkisar antara 10.160-11.000 cal/g, sehingga bahan bakar cair hasil pirolisis PETE masih sesuai dengan standar bahan bakar komersil.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian yang sudah diuraikan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan katalis *bentonite clay* sangat direkomendasikan untuk menghasilkan hasil terbaik karena dengan katalis ini dapat menghasilkan rendemen (*Yield*) lebih besar sekitar 4.1 % hingga 6.7 % daripada katalis *Active Carbon*. Densitas dan viskositas bahan bakar cair hasil pirolisis plastik PETE masih memenuhi standar baku mutu bahan bakar minyak (BBM) komersil.
2. Penggunaan katalis *Active Carbon* akan menurunkan nilai kalor bahan bakar cair hasil pirolisis *Polyethylene Terephthalate* (PETE). Sebaliknya, katalis *Bentonite Clay* akan meningkatkan nilai kalor minyak pirolisis. Nilai kalor bahan bakar cair hasil pirolisis sampah plastik jenis PETE berkisar antara 10.572 – 10.860 cal/g sesuai dengan standar bahan bakar komersil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anggono, Y. P., Ilminnafik, N., Adib Rosyadi, A., & Jatisukamto, G. (2020). Pengaruh katalis zeolit alam pada pirolisis plastik polyethylene terephthalate dan polypropylene. *Jurnal Energi DanManufaktur*,13(1), 22.
- [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/10.24843/jem.2020.v13.i01.p04>
- [3] 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
- [4] Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk Minyak Hasil Pirolisis Sampah Plastik. *Jurnal Tenik*, 5(1), 47–56.
- [5] Devy, K. Ratnasari, Weihong Yang, Pär G. Jönsson. 2018. Two-stage ex-situ catalytic pyrolysis of lignocellulose for the production of gasoline-range chemicals. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*
- [6] 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>
- [7] Rahman, M. T. A. (2017). Pengaruh Suhu Dan Persen Katalis Zeolit Terhadap Yield Pirolisis Limbah Plastik Polypropylene (PP). *Jurnal FTEKNIK*, 4(2), 1–7.
- [8] Trisnayanti, N. P. (2019). *Penggunaan Katalis dalam Pirolisis Sampah Plastik Sebagai Solusi Penanganan Sampah Plastik dan Produksi Energi*. March.

- [9] Mahendra A. W., Arijanto. Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet (*Polyethylene Terephthalate*) 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>.
- [10] 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>
- [11] Pamungkas, Y. K. (2020). *Pengaruh Katalis Zeolit Alam Terhadap Perolehan Minyak Pirolisis Sampah Plastik Polystyrene dan Low Density Polyethylene*.
- [12] 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*. QInstitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [13] Nazif, R., Wicaksana, E., Kimia, D. T., Teknik, F., & Utara, U. S. (2016). *Karbon Aktif Terhadap Yield Dan Kualitas Bahan*. 5(3), 49–55.
- [14] Rachmadena, D., Faizal, M., & Said, M. (2018). Conversion of polypropylene plastic waste into liquid fuel with catalytic cracking process using Al₂O₃ as catalyst. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8(3), 694–700. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.8.3.2586>
- [15] Rachmawati, Q., & Herumurti, W. (2015). Pengolahan Sampah Secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), 27–29.
- [16] Sinaga, S., Haryanto, A., & Triyono, S. (2014). Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Pada