

Perbandingan Kualitas Minyak Pirolisis, Minyak Tanah, dan Solar

The Quality Comparison of Pyrolysis Oil, Kerosene, and Diesel

Shafwan Amrullah^{1*}, Rena Jayana², Ghina Fadhilah³, Anggita Dwi Puspita⁴

¹Program Studi Teknologi Industri Pertanian, Universitas Teknologi Sumbawa

^{2,3,4}Program Studi D4 Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap

Email: ¹shafwa.amrullah@uts.ac.id, ²jayanarena07@gmail.com, ³fadhilahghina46@gmail.com,

⁴anggitapuspita280@gmail.com

*Penulis korespondensi: **shafwan.amrullah@uts.ac.id**

Direview: 12 Oktober 2021

Diterima: 1 November 2021

ABSTRAK

Plastik pada dasarnya merupakan bahan hidrokarbon yang unsur-unsurnya terdiri dari karbon dan hidrogen. Selain itu, penyusun utama dari plastik yang kita kenal sekarang adalah senyawa Naphta yang merupakan hasil dari penyulingan minyak bumi atau juga dari penyulingan gas alam (Suroño, 2013). Adanya Peningkatan penggunaan plastik di dunia menyebabkan terjadinya penumpukan sampah plastik yang sangat banyak. Salah satu cara yang dilakukan untuk menanggulangnya adalah dengan proses pirolisis. Pirolisis sendiri merupakan proses dekomposisi kimia dengan memanfaatkan panas dan oksigen sehingga terbentuk fasa gas dan cairan yang menghasilkan bahan bakar (Jahiding dkk., 2020). Diketahui bahwa kualitas dari minyak hasil pirolisis ini adalah lebih rendah dibandingkan dengan kualitas minyak tanah namun lebih baik dibandingkan solar yang ada, hal ini ditinjau dari massa jenis yang dihasilkan, lama pembakaran, suhu air serta volume air yang menguap. Dari pemaparan di atas memberikan ide untuk melakukan penelitian tentang proses review berbagai macam sumber yang membahas tentang proses pirolisis tersebut. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Wahyudi dkk. (2018) dan juga Mustam dkk. (2021) memberikan hasil berupa grafik perbandingan minyak tanah, minyak hasil pirolisis dan minyak solar yang didasarkan pada massa jenis minyak, lamanya minyak terbakar, suhu air yang dipanaskan pada proses ini serta banyaknya penguapan air dari hasil pemanasannya. Dari hasil penelitian ini, kualitas minyak tanah yang dihasilkan memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan minyak solar dan minyak hasil pirolisis, hal ini dipengaruhi oleh titik nyala minyak tanah yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak pirolisis dan minyak solar yaitu 47,8 °C. Titik nyala minyak solar yaitu 55°C (data titik nyala minyak tanah dan minyak solar tersebut diperoleh dari sumber Kementrian ESDM tahun 2006). Sedangkan titik nyala dari minyak pirolisis dapat diasumsikan berada pada rentang > 47,8 °C dan < 55 °C. Hal ini dikarenakan kualitas minyak pirolisis terletak antara minyak tanah dan minyak solar.

Kata kunci: Sampah plastik, pirolisis, minyak tanah, minyak solar, titik nyala.

ABSTRACT

Plastic is a polymer compound whose main constituent elements consist of carbon and hydrogen where one of the raw materials that is often used to make plastic is naphtha, which is a material produced from refining petroleum or natural gas (Suroño, 2013). Chemical decomposition through a heating process without oxygen where the raw material will undergo a breakdown of the gas phase structure called pyrolysis (Jahiding et al., 2020). The quality comparison of pyrolysis oil, kerosene and oil, namely pyrolysis oil is lower than the quality of kerosene but higher than diesel oil based on density oil, duration of combustion, water temperature and volume of water that evaporates. Based on the research that has been done by Wahyudi (2018) and Mustam (2021) which is shown from the comparison chart of kerosene, pyrolysis oil and diesel oil based on the density of oil, duration of oil burning, temperature of cooked

water and vaporized water volume. The quality of kerosene is better when compared to pyrolysis oil and diesel oil which is determined by the flash point of kerosene which is lower between pyrolysis oil and diesel oil, which is 47.8 °C. The flash point of diesel oil is 55 °C (the data on the flash point of kerosene and diesel oil were obtained from the Ministry of Energy and Mineral Resources in 2006). While the point of pyrolysis oil can be under the range of > 47.8 °C and < 55 °C. This is because the quality of pyrolysis oil is between kerosene and diesel oil.

Keywords: *plastic waste, pyrolysis, kerosene, diesel oil, flash point*

1. PENDAHULUAN

Produksi plastik di seluruh dunia dari tahun 2009 hingga tahun 2010 meningkat dari 15 juta ton hingga mencapai 265 juta ton (Norsujianto, 2014). Plastik memiliki keunggulan diantaranya ringan dan kuat, tahan terhadap korosi, transparan, mudah diwarnai serta sifat insulasinya yang cukup baik sehingga dari kelebihan yang dimiliki plastik ini maka penggunaan plastik akan terus meningkat (Syamsiro, 2015). Namun saat ini, dari hasil produksi plastik yang begitu besar, terutama dalam penggunaan yang sangat massive menyebabkan penumpukan sampah jenis plastik ini terjadi secara terus menerus. Hal ini memberikan dampak yang sangat berbahaya bagi lingkungan. Diketahui bahwa jenis sampah plastik tidak dapat terurai dengan cepat, bahkan membutuhkan waktu ratusan tahun untuk tanah mengurai sampah jenis ini. Selain itu, adanya sampah plastik jenis ini tentunya menyebabkan terjadinya penurunan kesuburan tanah, bahkan dapat menyebabkan terjadinya banjir yang diakibatkan karena penyumbatan saluran air yang ada (Surono & Ismanto, 2016). Plastik merupakan salah satu barang yang saat ini menjadi kebutuhan setiap orang sehingga tidak heran jika sampah plastik sangat banyak dan tak terhitung jumlahnya. Berdasarkan permasalahan tersebut, langkah tepat yang dapat dilakukan adalah dengan merubahnya kembali menjadi bahan bakar minyak yang merupakan sumber utama pembentukannya (Wedayani, 2018). Bahan bakar yang sekarang ini masih digunakan yaitu solar dan minyak tanah. Solar pada dasarnya merupakan fraksi minyak bumi dengan rantai karbon siklik antara C₁₆-C₂₀ yang diketahui memiliki titik didih antara 250-340°C. Solar digunakan terutama oleh kendaraan jenis kendaraan diesel. Sedangkan minyak tanah sendiri merupakan bahan bakar dengan rantai karbon siklik dengan panjang rantai karbon dari C₁₁ hingga C₁₅. Minyak tanah sendiri memiliki titik didih 150°C hingga 275°C pada proses distilasi fraksinasi minyak bumi, dan memiliki ciri-ciri cairan tidak berwarna dan mudah terbakar (Nasrun *et al.*, 2017).

Saat ini plastik diketahui merupakan senyawa polimer yang dibentuk dari proses polimerisasi dengan unsur-unsur monomer pembentuknya melalui sebuah proses kimiawi sehingga terbentuk sebuah polimer utuh (Liestiono *et al.*, 2017). Pada dasarnya, polimer sendiri terbentuk dari susunan unsur karbon dan hidrogen yang biasanya bersumber dari minyak bumi dan juga gas alam seperti nafta (Surono, 2013). Ada beberapa jenis plastik yang kita ketahui di dunia saat ini, misalkan *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *polistirena* (PS), *polyethylene terephthalate* (PET) dan *polyvinyl chloride* (PVC). Jenis-jenis plastik ini diketahui merupakan jenis plastik yang paling sering digunakan oleh konsumen (Surono & Ismanto, 2016). Saat ini, plastik-plastik ini selalu menimbulkan penumpukan yang tidak terkendali, sebab biasanya orang langsung membuangnya ke *landfill*, dan hanya sedikit yang didaur ulang maupun dijual (Naimah *et al.*, 2012). Pendaaur ulangan sampah jenis ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya mengkonversinya menjadi minyak bakar melalui proses pirolisis.

Pirolisis sendiri merupakan proses dekomposisi secara kimia dengan bantuan panas dan tanpa oksigen, sehingga terjadi pemecahan terhadap rantai karbon (Jahiding *et al.*, 2020). Pirolisis sendiri dalam hal pengolahan plastik menjadi bahan bakar, memiliki keuntungan yang baik. Diantaranya adalah pirolisis dapat dikerjakan dengan menggunakan energi yang rendah serta tentunya dapat mengatasi limbah plastik yang tidak bisa didaur ulang dengan baik. Selain itu proses ini juga tidak membutuhkan udara dan tidak bertekanan tinggi sehingga relatif aman dalam hal proses operasinya. Saat ini diketahui bahwa produk dari

pirolisis ini merupakan sebuah produk yang dapat diperoleh sebagai bahan baku kembali, dengan menggunakan reduksi energi sebanyak 20 kali lipat, sedangkan polutan dan beberapa pengotor terkonsentrasi menjadi sisa padatan pada bagian dasar tangki pirolisis (Naimah et al., 2012). Pada dasarnya, proses pirolisis memiliki dua variasi jenis, yaitu primer dan sekunder. Proses Pirolisis jenis primer ini terjadi melalui proses pengarang, yaitu pada sekitaran suhu 150°C-300°C. Proses pengarang yang terjadi merupakan proses dengan energi panas sehingga terjadi proses oksidasi sehingga senyawa karbon yang sangat panjang dan kompleks dapat terurai menjadi karbon pendek dan arang (Juliastruti et al., 2015). Untuk produk gas yang dihasilkan, pirolisis dapat menghasilkan gas karbon monoksida, hidrogen, dan juga beberapa gas hidrokarbon sekunder. Ada beberapa parameter yang dapat mempengaruhi proses pirolisis, diantaranya adalah tipe reaktor yang digunakan, suhu, dan waktu tinggal di dalam reaktor (Syamsiro, 2015).

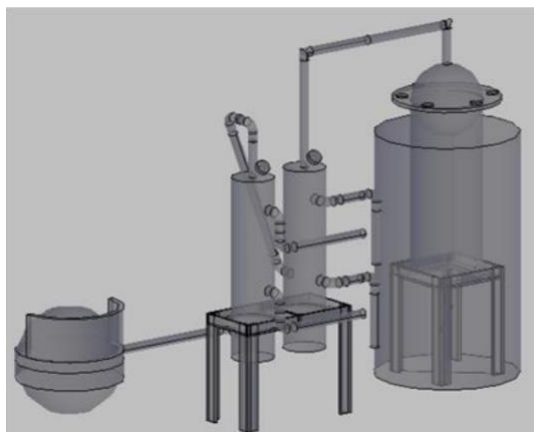
Artikel ini berisi informasi tentang perbandingan kualitas minyak pirolisis, minyak tanah dan solar dari berbagai sumber jurnal penelitian. Dari proses penelitian yang dilakukan, ruang lingkup pembahasannya diawali dari pembahasan mengenai proses pengolahan dari sampah plastik menjadi bahan bakar minyak kemudian pembahasan selanjutnya yaitu terkait perbandingan kualitas minyak dari hasil pirolisis tersebut dengan minyak solar dan minyak tanah yang didasarkan pada massa jenis minyak. Selain itu juga akan dilihat lama proses pembakaran minyak, suhu air dan volume air yang menguap pada saat proses pemasakan menggunakan minyak bakar ketiga jenis tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan proses pengkajian tentang perbedaan antara minyak hasil pirolisis dengan minyak tanah dan solar. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *literature review*. Beberapa komponen yang akan dikaji pada penelitian sebagai perbandingan antara ketiga produk yang ingin diteliti antara lain massa jenis, lamanya pembakaran minyak, suhu air serta volume air yang menguap dengan adanya proses pembakaran dengan menggunakan ketiga jenis minyak tersebut. Parameter ini digunakan karena merupakan parameter vital dari kualitas perbandingan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

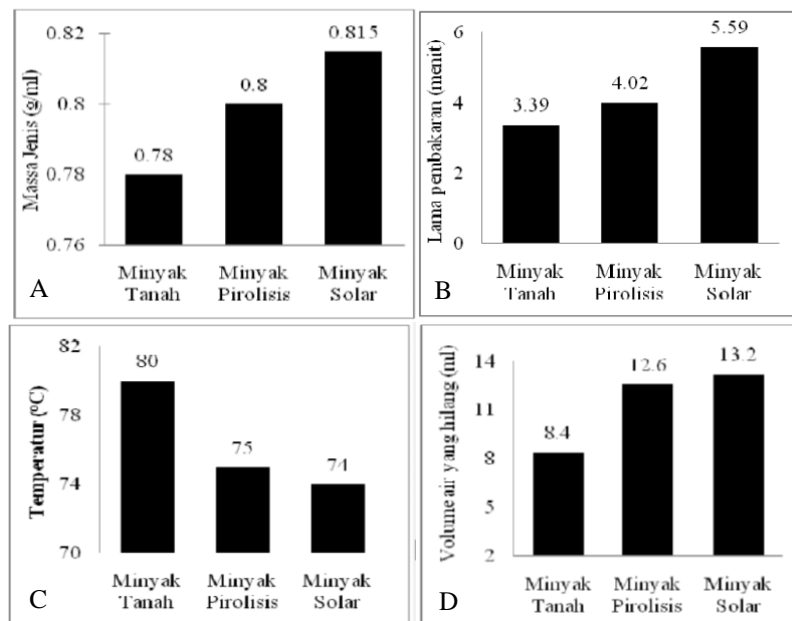
Proses konversi sampah plastik menjadi minyak bakar adalah salah satu langkah yang dapat dilakukan guna mengurangi tumpukan plastik yang saat ini sudah menggunung. Salah satu metode yang digunakan untuk mengolah sampah plastik menjadi bahan bakar minyak yaitu dengan memanfaatkan alat pirolisis. Pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar minyak melibatkan dua proses utama yakni pirolisis dan distilasi dimana pirolisis sendiri didefinisikan sebagai sebuah proses dekomposisi kimiawi terhadap bahan hidro karbon dengan bantuan panas dengan atau tanpa oksigen atau bahan kimia sehingga terjadi proses pemecahan material mentah menjadi sebuah fase gas. Dari proses pirolisis diketahui bahwa terjadi proses distilasi sebagai proses lanjutannya. Proses distilasi ini merupakan proses pemisahan beberapa jenis larutan yang didasarkan pada perbedaan titik didihnya (Nasrun et al., 2017). Berikut hasil perancangan dan fabrikasi alat pirolisis berdasarkan penelitian (Rafli et al., 2017) :



Sumber gambar : (Liestiono et al., 2017)

Komponen utama alat pirolisis berdasarkan penelitian (Rafli et al., 2017) terdiri dari reaktor dengan diameter 600 mm, tinggi reaktor yang ada adalah 900 mm dan dilengkapi dengan 2 buah tutup yang merupakan hooper untuk jalan masuknya bahan baku seperti plastik tersbur. Selain itu satu tutup digunakan sebagai jalan keluarnya sisa polisis. Kedua tutup tersebut memiliki ukuran 200 mm. Selain itu, alat pirolisis ini dilengkapi dengan dua buah kondensor. Kondensor ini berfungsi sebagai alat untuk mengubah fase uap produk pirolisis menjadi fase cairan (minyak bakar). Dari gambar di atas, kondensor pertama memiliki ciri-ciri menggunakan udara sekitarnya sebagai media pendingin. Sedangkan kondensor kedua merupakan kondensor dengan air sebagai media pendingin uap, dengan cara dialirkan melalui bagian dalam kondensor yang disekat dengan dinding yang ada. Dari hasil review, kedua kondensor tersebut memiliki diameter 100 mm dengan bahan baku plat baja yaitu stainless steel. Pada bagian dalam kondensor sendiri memiliki pipa berdiameter 25 mm dengan panjang sekitar 700 mm. Selain itu alat ini juga dilengkapi dengan pompa air yang digunakan sebagai pendorong air menuju kondensor kedua, sehingga air dapat mendinginkan uap produk hasil dari proses pemecahan pada bagian reaktor utama menjadi fase minyak. Pada bagian luar, terdapat alat pembakar yang merupakan alat pemanas untuk memberikan panas pada mesin pirolisis dengan suhu yang ada yaitu 400-800°C sehingga plastik meleleh dan mencair kemudian menjadi uap yang dapat menghasilkan bahan bakar minyak setelah didinginkan oleh kondensor.

Berdasarkan penelitian Wahyudi (2018) menyatakan bahwa kualitas minyak pirolisis lebih baik daripada solar tetapi kualitas minyak tanah lebih baik diantara keduanya. Hal ini didasarkan pada variabel massa jenis ketiga jenis minyak, selain itu juga berdasarkan indikator lama pembakaran minyak serta suhu air dan volume air yang mengalami penguapan ketika dibakar menggunakan minyak tersebut. Berikut grafik yang menyatakan hasil perbandingan kualitas antara minyak pirolisis, minyak tanah dan solar berdasarkan penelitian Wahyudi (2018):

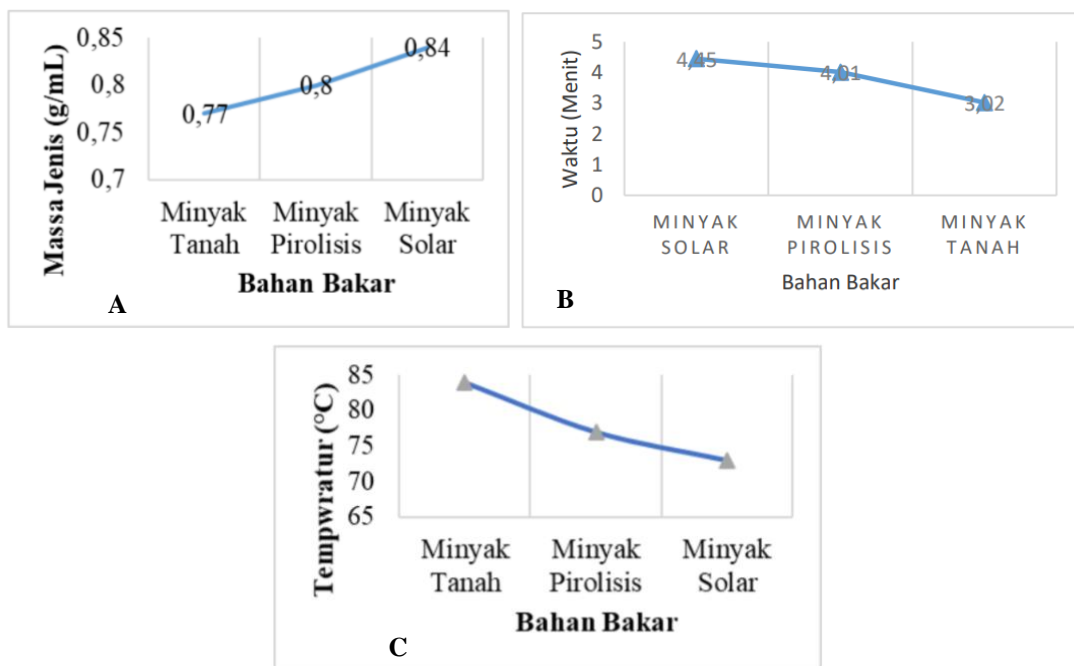


Sumber gambar : (Wahyudi et al., 2018)

Grafik A menunjukkan data massa jenis minyak yang dihasilkan dari proses penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Wahyudi (2018), dimana massa jenis minyak pirolisis lebih rendah dari massa jenis solar. Dimana massa jenis minyak hasil pirolisis adalah 0,8 g/mL sedangkan minyak solar 0,815 g/mL. Akan tetapi hasil ini ternyata lebih tinggi dibandingkan minyak tanah, yaitu pada angka 0,78 g/mL. Dari hasil penelitian ini memberikan penjelasan bahwa, alasan kenapa hal itu terjadi adalah karena minyak solar masih memiliki banyak pengotor yang mengakibatkan terjadinya kenaikan massa jenis yang cukup signifikan (Wahyudi et al., 2018). Grafik B menunjukkan lama pembakaran dimana minyak solar memiliki waktu pembakaran lebih lama jika dibandingkan dengan minyak pirolisis dan minyak tanah. Hal ini dikarenakan berdasarkan Kementerian ESDM tahun 2006 menyatakan bahwa titik nyala minyak solar adalah 55 °C. Sedangkan titik nyala minyak tanah adalah 47,8 °C dimana semakin rendah titik nyala suatu benda maka semakin cepat pula

benda tersebut terbakar begitu juga sebaliknya (Wahyudi et al., 2018). Grafik C menunjukkan suhu air yang dihasilkan dari pemasakan menggunakan bahan bakar minyak pirolisis, minyak tanah dan minyak solar dimana ada hubungan terbalik dengan lama pembakaran/ titik nyala pada grafik B. Pada penelitian ini, air yang dipanaskan dengan minyak solar menghasilkan suhu air yang lebih rendah dibandingkan yang dipanaskan menggunakan minyak hasil pirolisis dan minyak tanah. Hal ini disebabkan karena, titik nyala yang dimiliki oleh minyak solar lebih tinggi dibandingkan dengan minyak tanah dan minyak hasil pirolisis. Sehingga dengan memasak air menggunakan minyak tanah telah mengalami pemanasan, disamping itu pemanasan dengan minyak hasil pirolisis saat bersamaan mengalami proses mulai panas, dan yang terakhir dengan menggunakan minyak solar belum terjadi proses pemanasan air(Wahyudi et al., 2018). Pada Grafik D menunjukkan jumlah air yang mengalami penguapan saat dimasak menggunakan bahan bakar jenis minyak tanah, minyak hasil pirolisis dan minyak jenis solar. Hasil dari penelitian ini memperlihatkan minyak solar mampu menguapkan air paling banyak jika dibandingkan dengan minyak tanah dan minyak pirolisis. Hal ini dikarenakan waktu pembakaran minyak pirolisis lebih lama dibandingkan dengan minyak tanah dan minyak pirolisis karena titik nyala minyak solar lebih tinggi dari pada minyak tanah dan minyak pirolisis (Wahyudi et al., 2018).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Mustam (2021) juga menyatakan bahwa kualitas minyak pirolisis dibawah minyak tanah namun lebih baik daripada minyak solar hal ini dapat diketahui dari grafik berikut yang menunjukkan perbandingan kualitas minyak tanah, minyak pirolisis dan minyak solar berdasarkan massa jenis bahan bakar minyak, lama pembakaran bahan bakar minyak dan temperatur air yang dipanaskan :



Sumber gambar : (Mustam et al., 2021)

Grafik A, B dan C tersebut merupakan hasil data analisa yang telah dilakukan oleh Mustam (2021) dimana pada grafik A menunjukan perbandingan kualitas minyak tanah, minyak pirolisis dan minyak jenis minyak tanah dimana hasil massa jenis bahan bakar jenis solar lebih tinggi yaitu dibandingkan dengan minyak hasil pirolisis dan minyak tanah. Massa jenis minyak solar, minyak hasil pirolisis, dan minyak tanah yaitu 0,84 g/mL, 0,8 g/mL, dan 0,77 g/mL. Massa jenis yang tinggi dari minyak solar disebabkan oleh banyaknya pengotor yang dihasilkan dari proses penyulingan bahan bakar pada proses pertama. Grafik B menunjukkan lama pembakaran dari bahan bakar minyak mentah, minyak pirolisis dan minyak solar dimana minyak solar memiliki lama proses pembakaran terhadap air terlama yaitu 4,45 menit. Hasil ini jauh lebih lama dibandingkan dengan pembakaran dengan minyak tanah dan minyak solar. Hal ini ada hubungannya dengan titik nyala suatu benda dimana semakin tinggi titik nyala suatu benda maka waktu pembakaran pada benda tersebut juga semakin lama begitu juga sebaliknya. Titik nyala minyak solar lebih tinggi dari minyak mentah, hal ini berdasarkan Kementerian ESDM tahun 2006 yaitu 55 °C sedangkan minyak mentah 47,8 °C.

Sedangkan untuk minyak pirolisis lama pembakarannya berada diantara minyak mentah dengan minyak solar. Hal ini menandakan bahwa titik nyala dari minyak pirolisis berada pada rentang $> 47,8$ °C dan < 55 °C. Grafik C menunjukkan hasil temperatur air yang dipanaskan menggunakan bahan bakar minyak mentah, minyak pirolisis dan minyak solar dimana temperatur air yang dihasilkan dari pemasakan menggunakan bahan bakar minyak mentah lebih tinggi dari pada minyak pirolisis dan minyak solar yaitu 84 °C sedangkan minyak pirolisis yaitu 77 °C dan minyak solar yaitu 73 °C dimana volume air yang dimasak sebanyak 20 mL dan lamanya pemanasan yaitu 5 menit. Temperatur air yang dimasak dengan menggunakan bahan bakar minyak mentah lebih tinggi hal ini dikarenakan titik nyala minyak mentah lebih rendah dibandingkan titik nyala minyak pirolisis dan minyak solar sehingga saat pemanasan dilakukan air yang dimasak dengan menggunakan bahan bakar minyak mentah akan memiliki suhu lebih tinggi dari pada minyak pirolisis dan minyak solar.

4. KESIMPULAN

Artikel ini menunjukkan secara ringkas terkait perbandingan kualitas minyak hasil pirolisis, jenis minyak tanah dan solar. Dari hasil kajian ini, kualitas minyak hasil pirolisis sampah plastik lebih rendah dari kualitas minyak tanah namun kualitas minyak pirolisis lebih tinggi daripada minyak solar, hal ini didasarkan pada variabel massa jenis, lamanya air dibakar, suhu air serta jumlah air yang mengalami penguapan. Hal ini dapat diketahui berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu oleh (Wahyudi et al., 2018) dan (Mustam et al., 2021) yang ditunjukkan dari grafik perbandingan minyak tanah, minyak pirolisis dan minyak solar berdasarkan pada massa jenis minyak, lama air dibakar, suhu air yang dimasak dan jumlah air yang mengalami penguapan. Untuk grafik perbandingan kualitas minyak berdasarkan volume air yang menguap hanya terdapat pada penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya, yaitu (Wahyudi et al., 2018). Sedangkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Mustam et al., 2021) tidak terdapat grafik kualitas minyak berdasarkan volume air yang menguap. Penyebab kualitas minyak tanah lebih baik jika dibandingkan dengan minyak pirolisis dan minyak solar dipengaruhi oleh titik nyala minyak tanah lebih rendah diantara minyak pirolisis dan minyak solar yaitu 47,8 °C. Titik nyala minyak solar yaitu 55 °C (data titik nyala minyak tanah dan minyak solar tersebut diperoleh dari sumber Kementerian ESDM tahun 2006). Sedangkan titik nyala dari minyak pirolisis dapat diasumsikan berada pada rentang $> 47,8$ °C dan < 55 °C. Hal ini dikarenakan kualitas minyak pirolisis lebih baik dibandingkan solar dan di bawah minyak tanah. Dari segi penggunaannya, minyak hasil pirolisis sama dengan minyak yang lain, yaitu sebagai bahan bakar konvensional. Akan tetapi penggunaannya terbatas pada kualitas dari hasil pirolisis. Dimana pirolisis dengan pengotor yang tinggi akan mempengaruhi kesamaan jenis, seperti solar, minyak tanah, dan bensin.

DAFTAR PUSTAKA

- Jahiding, M., Nurfiandi, E., Hasan, E. S., Rizki, R. S., & Mashuni. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur Pirolisis terhadap Kualitas Bahan Bakar Minyak dari Limbah Plastik Polipropilena. *Gravitasi*, 19(1), 6–10.
- Juliastuti, S. R., Hendrianie, N., Febrianto, A., & Ramadhika, D. D. (2015). Pengolahan Limbah Plastik Kemasan Multilayer Ldpe (Low Density Poly Ethilene) dengan Menggunakan Metode Pirolisis Microwave. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan,"* 2009, 1–7.
- Liestiono, R. P., Cahyono, M. S., Widyawidura, W., Prasetya, A., & Syamsiro, M. (2017). Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE). *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 1(2), 1. <https://doi.org/10.30588/jo.v1i2.288>
- Mustam, M., Ramdani, N., & Syaputra, I. (2021). Perbandingan Kualitas Bahan Bakar Dari Pengolahan Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Metode Pirolisis. *Pendidikan Matematika Dan Sains*, 6(1), 219–230.
- Naimah, S., Nuraeni, C., Rumondang, I., Jati, B. N., Rahyani, D., Balai, E., Kimia, B., & Kemasan, D. (2012). Dekomposisi Limbah Plastik Polypropylene Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science*, 13(3), 226–229.
- Nasrun, N., Kurniawan, E., & Sari, I. (2017). Pengolahan Limbah Kantong Plastik Jenis Kresek Menjadi Bahan Bakar Menggunakan Proses Pirolisis. *Jurnal Energi Elektrik*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.29103/jee.v4i1.11>

- Norsujianto, T. (2014). Konversi Limbah Plastik Menjadi Minyak Sebagai Bahan Bakar Energi Baru Terbarukan. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 05. <https://doi.org/10.34128/je.v1i1.21>
- Rafli, R., Fajri, H. B., Jamaludhin, A., Azizi, M., Riswanto, H., & Syamsiro, M. (2017). Penerapan teknologi pirolisis untuk konversi limbah plastik menjadi bahan bakar minyak di Kabupaten Bantul. *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal (JMST)*, 2(April), 1–5. <http://ejournal.janabadra.ac.id/index.php/JMST/article/view/339>
- Surono, U. B. (2013). *Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Minyak*.
- Surono, U. B., & Ismanto. (2016). Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP , PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. *Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal (JMST)*, 1(April), 32–37.
- Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk. *Teknik*, 5(1), 1–85.
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T., Astuti, A. D., Perencanaan, B., Daerah, P., & Pati, K. (2018). *Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif the utilization of plastic waste as raw material for producing alternative fuel*. XIV(1), 58–67. <https://media.neliti.com/media/publications/271770-pemanfaatan-limbah-plastik-sebagai-bahan-d2c72e6c.pdf>
- Wedayani, N. M. (2018). Studi Pengelolaan Sampah Plastik Di Pantai Kuta Sebagai Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(2), 122. <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v15i2.122-126>