

CO-PYROLYSIS OF SCRAP TIRES (ST) DAN PLASTIK POLYPROPYLENE (PP): DISTRIBUSI PRODUK DAN PROPERTIS FISIK PYRO-OIL

Ilyas Sofana

Mahasiswa S2
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
ofanopang@gmail.com

Widya Wijayanti

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
widyadinata75@gmail.com

Nurkholis Hamidi

Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
hamidy@ub.ac.id

Plastic waste and scrap tires (ST) have now become pollution that harms the environment in various cities around the world if not managed properly. As pollutants, the two types of waste are actually very interesting to manage because they contain hydrocarbon elements so that they can be processed and have the potential to become alternative fuels. This study aims to determine the effect of co-pyrolysis of scrap tires (ST) and polypropylene (PP) plastic on the distribution of products in the form of oil and char/charcoal. The pyrolysis process was carried out at a temperature of 450 °C for 90 minutes using a fixed bed pyrolysis reactor with ST:PP mixing variations, namely 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, and 5:5. The maximum pyrolysis product yield in the form of oil as much as 40.7 Wt% was obtained at a 6:4 mixing variation followed by a 7:3 (36.7 Wt%) mixing variation, then a 5:5 variant (36 Wt%), after that an 8:2 variant (34.3 Wt%) and the last is the 9:1 mixing variation with a total of 28.3 Wt%. For the maximum pyrolysis product in the form of char as much as 42.6 Wt% obtained at 9:1 mixing variation followed by 7:3 mixing variation (41 Wt%) after that 8:2 variant with 38.7 Wt%, then 6:4 with the amount of 27.7 Wt%, and the last is the mixing variation of 5:5 to obtain the char result of 18.3 Wt%. Physical properties of pyro-oil in the form of density and calorific value will also be shown in this study.

Keywords: Co-pyrolysis, Scrap Tires (ST), PP Plastic, Product Distribution, Pyro-Oil Physical Properties

1. PENDAHULUAN

Sampah plastik dan ban bekas atau *scrap tires* (ST) saat ini telah menjadi masalah yang serius di berbagai kota seluruh dunia. Indonesia adalah salah satu negara penghasil sampah plastik terbesar ke-2 di dunia dengan jumlah 3,22 juta metrik ton per tahunnya dan 0,48-1,29 juta metrik ton sampah plastik tersebut dibuang ke laut [1]. Di sisi lain, masalah serupa juga timbul yang diakibatkan oleh limbah sisa dari ban bekas dimana permintaan ban di seluruh dunia untuk tahun 2017 mencapai 2,9 miliar ton dan sebagai dampaknya adalah sebanyak 1 miliar ton sampah ban bekas telah dihasilkan [2]. Limbah polimer sangatlah berbahaya bagi lingkungan karena memiliki tingkat kemampuan daur ulang rendah dan juga periode degradasinya sangat panjang [3]. Dari beberapa jenis metode pengonversian yang ada, pirolisis menawarkan banyak kelebihan diantaranya adalah memulihkan energi yang ada pada limbah menjadi bahan bakar, produksi gas dan bahan kimia [4,5].

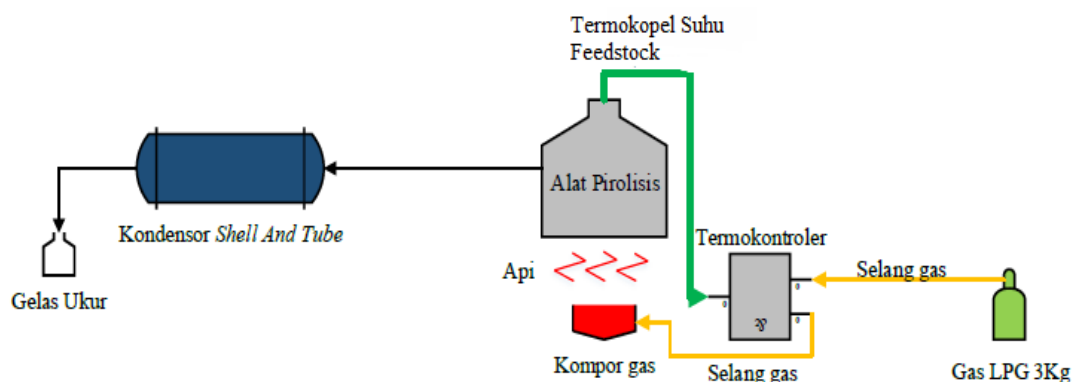
Sejauh ini telah banyak penelitian-penelitian tentang pirolisis biomasa sampah plastik dan juga ban bekas/ *scrap tires* mengenai produk hasil, propertis dan komposisi kimia dari minyak pirolisis ban bekas dengan peralatan skala laboratorium seperti: *fixed bed* dan *rotary kiln* [19,20]. Penelitian ini menampilkan analisis kromatografi *pyro-oil* yang menghasilkan campuran kompleks dari senyawa organik C₅-C₂₆, senyawa aromatik dan juga hidrokarbon ringan dengan proporsi besar yang bisa digunakan sebagai bahan bakar dengan spesifikasi untuk mesin diesel. Hal ini dikarenakan *pyro oil* tersebut setelah melalui proses distilasi memiliki *boiling point* yang mendekati atau bahkan sama dengan *boiling point* dari bahan bakar solar dengan *range* 180-360 °C. Densitas yang dihasilkan juga menyentuh angka 0,9 kgL⁻¹ yang mendekati nilai densitas bahan

bakar diesel [6]. Penelitian serupa juga dilakukan tentang Studi TG-FTIR dan PY-GC-MS pada mekanisme pirolisis dan distribusi produk dari sampah ban sepeda bekas yang menyatakan bahwa suhu dekomposisinya berada pada suhu 285–531 °C dan melalui analisis GC-MS diketahui juga produk pirolisisnya berupa gas, alkena dan senyawa aromatik [4].

Berbagai studi juga telah dilakukan untuk menggali informasi lebih lanjut serta menyelidiki dan menilai kelayakan dari *co-pyrolysis* limbah polimer dengan beberapa jenis limbah lainnya. Hingga saat ini sudah banyak investigasi yang difokuskan pada pencampuran *waste tyre* dengan limbah biomassa [7][8], atau berbagai jenis limbah plastik yang dicampur dengan biomassa [9][10] untuk dianalisis produk distribusinya dari berbagai variasi pencampuran tersebut. Hal ini dikarenakan beberapa jenis polimer limbah tersebut memiliki perbedaan struktur, komposisi dan rasio H/C nya. Polimer limbah adalah bahan baku yang ideal untuk pirolisis. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan adalah kandungan karbon yang tinggi, nilai kalor, dan juga materi volatil/ mudah menguap. Karakteristik dari *feedstock*/ bahan baku yang berbeda akan berpengaruh pada proses dan hasil distribusi produk pirolisis [11]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi pencampuran yang optimal dari *co-pyrolysis scrap tires* (ST) dan plastik PP terhadap distribusi produk berupa *oil*/ minyak dan *char*/ arang, serta Propertis fisik berupa densitas dan nilai kalor. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 450 °C selama 90 menit menggunakan reaktor pirolisis tipe *fixed bed* dengan variasi pencampuran ST:PP yaitu 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, dan 5:5

2. METODE DAN BAHAN

Pirolisis pada penelitian ini menggunakan *feedstock* atau bahan baku berupa campuran dari serbuk ST dan juga plastik PP dengan berat awal sebesar 300 gram. Alat pirolisis yang digunakan memiliki volume total sekitar 9000 cc. Bahan yang digunakan adalah *Stainless Steel* 201 dengan diameter saluran keluaran 1.5 inch dan ketebalan 5 mm. Alat pirolisis terhubung ke Termokontroler dan Kondensor, Termokontroler berfungsi sebagai alat pengatur laju aliran gas LPG untuk menyalakan kompor gas. Termokontroler terhubung dengan alat pirolisis melalui termokopel, termokopel berfungsi sebagai sensor suhu yang mendeteksi suhu plastik selama pirolisis. Kompor gas terhubung dengan termokontroler melalui selang gas dan mengeluarkan api yang mampu memanaskan alat pirolisis. Kondensor terhubung dengan alat pirolisis melalui selang, kondensor berfungsi sebagai medium pendinginan pada rangkaian ini, lalu bahan bakar minyak hasil pirolisis akan menetes ke gelas ukur. Temperatur pirolisis yang digunakan yaitu 450°C, hal ini dikarenakan suhu dekomposisi kedua *feedstock* tersebut berkisar antara 285-450°C [12][4] sehingga *feedstock* bisa terdekomposisi secara optimal. Adapun target yang diamati pada penelitian ini berorientasi pada distribusi produk pirolisis yaitu *tar* dan *char* nya serta propertis fisik *pyro-oil* berupa densitas dan juga *heating value* atau nilai kalor. Pengujian dilakukan pada *fixed bed reactor* dengan skema alat yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Skema penelitian pirolisis *fixed bed*

Sebelum dilakukan proses pirolisis, masing-masing *feedstock* serbuk ST dan plastik PP ditimbang dengan massa total sebesar 300 gram. Selanjutnya, reaktor pirolisis ditutup dan tungku dialiri gas N₂ lewat katup N₂ input dengan laju 3 l/menit. Gas N₂ dialirkan ke dalam reaktor pirolisis supaya gas O₂ yang berada dalam reaktor keluar, sehingga kondisi udara didalam reaktor menjadi *inert* dan menghindari terjadinya pembakaran. Setelah itu kompor gas dinyalakan dan temperatur diatur sesuai temperatur kontrol yaitu 450°C selama 90 menit.

Setelah proses pirolisis selesai, hasil yang didapat adalah produk *solid/char* dan *tar/oil*. Selanjutnya, produk *tar* diukur volumenya menggunakan gelas ukur dan massa produk *char* diukur dengan timbangan

elektrik. Selain diukur volume dan massanya, persentase dari massa *char*, *tar* dan gasnya juga dihitung. Berikut langkah-langkah perhitungan konversi hasil produk pirolisis menurut E. H. Istoto dan S. Saptadi [13] adalah sebagai berikut.

- Produk *liquid/oil* dan *solid/char*

$$\text{Produk liquid/solid (Wt\%)} = \frac{M_p}{M_{tot}} (100\%) \quad (1)$$

- Produk Gas

$$\text{Produk Gas (Wt\%)} = 100\% - (p_{liquid}(\text{Wt\%}) + p_{solid}(\text{Wt\%})) \quad (2)$$

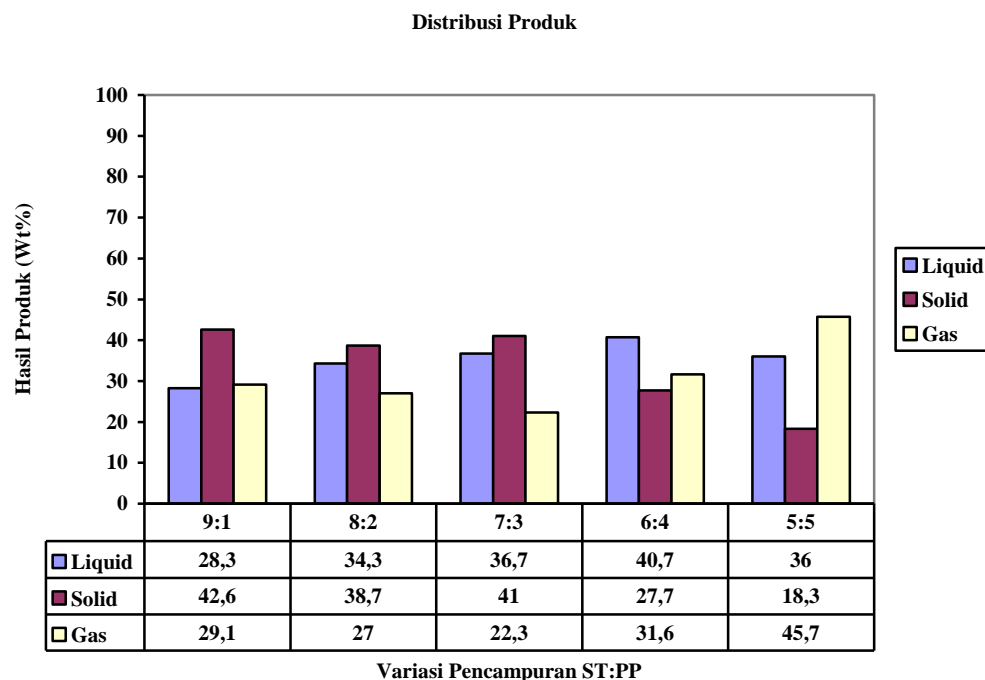
Setelah dilakukan perhitungan volume dan massa dari produk hasil pirolisis, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian properti fisik *pyro-oil* berupa densitas dan nilai kalor pada masing-masing variasi sampel. Seluruh proses penelitian dan pengambilan data dilaksanakan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya selama 2 bulan (1 Februari – 31 Maret 2021)

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Distribusi Produk Pirolisis

Pirolisis antara ST dengan PP dilakukan selama 90 menit pada suhu 450 °C dengan masa total *feedstock* 300 gr. Setelah proses pirolisis selesai, hasil yang didapat adalah produk *solid/char* dan *tar/oil*. Selanjutnya, produk *tar* diukur volumenya menggunakan gelas ukur dan massa produk *char* diukur dengan timbangan elektrik. Selain diukur volume dan massanya, persentase dari massa *char*, *tar* dan gasnya juga dihitung.

Hasil perhitungan distribusi produk pirolisis yang diperoleh dari persamaan (1) dan (2) pada masing-masing varian adalah sebagai berikut. Produk pirolisis pada ST dan PP varian 9:1 adalah 70,9 Wt% non gas dan 29,1 Wt% gas. Lalu, untuk ST dan PP varian 8:2 secara keseluruhan memperoleh hasil produk 73 Wt% non gas dan 27 Wt% gas. Setelah itu produk pirolisis pada ST dan PP varian 7:3 adalah 77,7 Wt% non gas dan 22,3 Wt% gas. Kemudian, pada pencampuran ST dan PP Varian 6:4 dihasilkan 68,4 Wt% produk non gas dan 31,6 Wt% produk gas. Dan yang terakhir produk pirolisis pada ST dan PP varian 5:5 adalah 54,3 Wt% non gas dan 45,7 Wt% gas. Berikut adalah grafik data distribusi produk pirolisis pada variasi pencampuran antara ST dan plastik PP; 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, dan 5:5 yang dipaparkan pada gambar 2.



Gambar 2: Grafik Pengaruh Variasi Pencampuran Terhadap Distribusi Produk Pirolisis.

Grafik pada gambar 2 diatas menunjukkan dampak variasi variasi pencampuran terhadap hasil produk pirolisis dimana selain menghasilkan *liquid/oil/tar*, pirolisis antara ST dan PP menghasilkan gas sisa yang tidak terkondensasi dan juga *char* atau arang dalam bentuk *solid* atau padatan. Hal ini dikarenakan *feedstock* atau bahan baku masih belum habis bereaksi. Waktu pemanasan 90 menit belum cukup untuk

mendekomposisi seluruh bahan baku untuk diubah menjadi gas atau minyak hasil pirolisis [14]. Proses pirolisis secara umum terdiri dari tiga reaksi yang berbeda, reaksi pertama adalah reaksi dekomposisi awal, dimana *feedstock* mengalami *cracking* pada rantainya secara acak dan memecah polimer menjadi rantai karbon lebih pendek yang tidak stabil dan radikal bebas. Reaksi kedua disebut reaksi propagasi, reaksi ini adalah reaksi dimana rantai karbon lebih pendek yang tidak stabil ini bereaksi dengan radikal bebas dan alhasil membentuk rantai hidrokarbon yang lebih pendek dari bahan baku. Mayoritas hasil reaksi ini adalah alkena. Reaksi terakhir disebut reaksi terminasi, dimana dua atau lebih radikal bebas saling bereaksi dan membentuk molekul yang stabil. Reaksi propagasi dan reaksi terminasi inilah yang akan membentuk hidrokarbon-hidrokarbon tersebut berdasarkan radikal bebas yang tersedia [15]. Hal ini yang menjadi penyebab munculnya sejumlah *char* pada setiap proses pirolisis.

3.2 Propertis Fisik *Pyro-Oil*

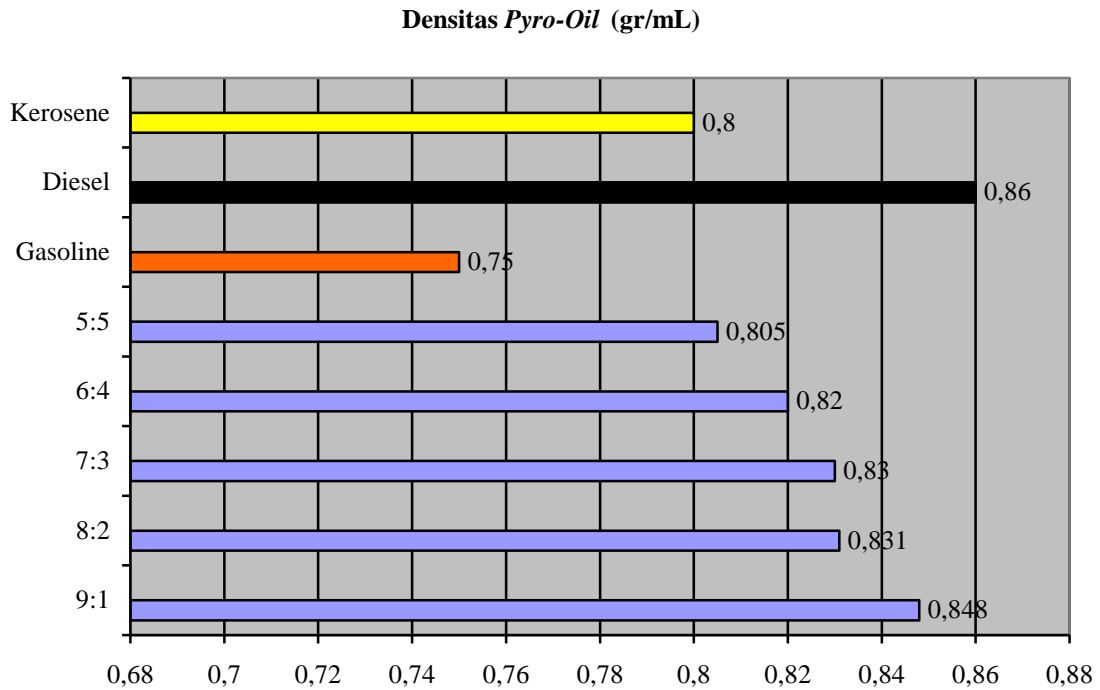


Gambar 3: Produk *pyro-oil* yang terkondensasi

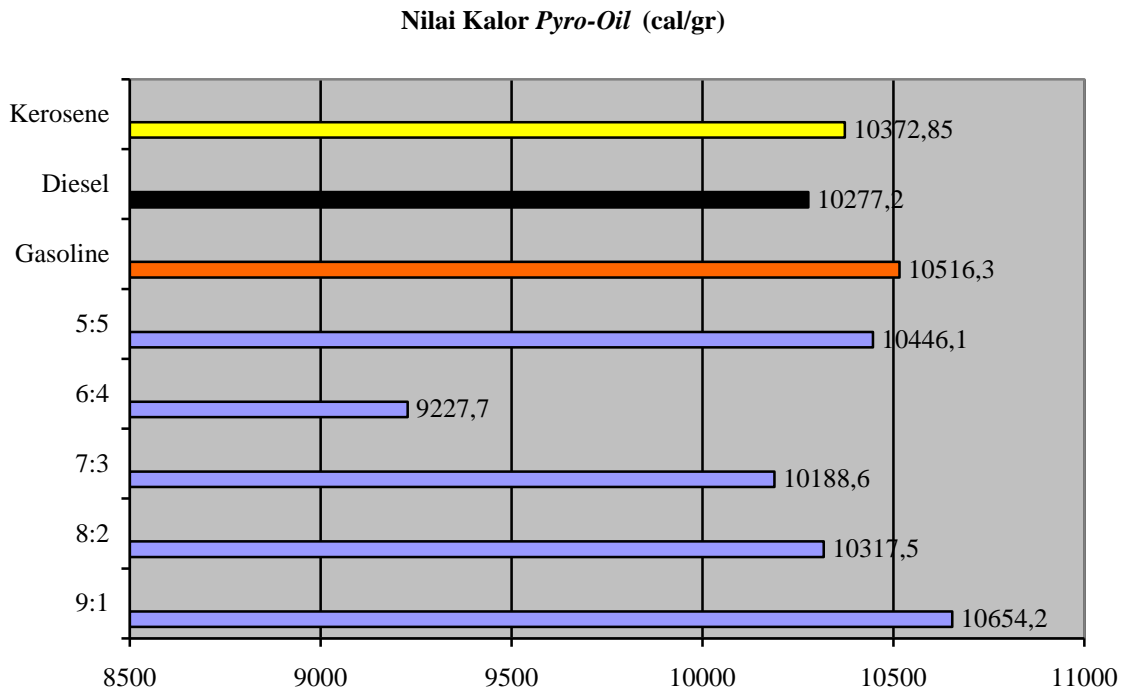
Pyro-oil yang dihasilkan berwarna coklat kehitam-hitaman dengan aroma yang sangat kuat. Secara fisik, propertis *pyro-oil* yang terdapat pada hasil *co-pyrolysis* ST dengan PP dijabarkan pada tabel berikut.

Table 1: Propertis Fisik *Pyro-Oil*

Propertis/Sampel	9:1	8:2	7:3	6:4	5:5
Densitas (gr/cm ³)	0,848	0,831	0,830	0,820	0,805
Nilai Kalor (cal/gr)	10654,2	10317,5	10188,6	9227,7	10446,1



Gambar 4: Perbandingan antara densitas minyak hasil pirolisis dengan densitas BBM konvensional.



Gambar 5: Perbandingan antara *calorific value* minyak produk pirolisis dan *calorific value* BBM komersial.

Tabel 1 menampilkan propertis fisik dari pyro-oil berupa densitas dan nilai kalor yang diperoleh pada suhu pirolisis 450 °C pada 5 varian yang berbeda. Densitas adalah perbandingan massa per volume suatu zat seluruh molekul memiliki ikatan antarmolekul yang mengikat molekul itu sendiri, ikatan hidrogen dan ikatan kovalen adalah ikatan yang mengikat molekul-molekul pada senyawa hidrokarbon, karena itu gaya antarmolekul (*Intermolecular force*) menjadi faktor utama dari densitas suatu molekul hidrokarbon, dimana semakin besar gaya antarmolekul pada ikatan molekul tersebut, maka semakin kecil jarak antarmolekul, alhasil

memperbesar nilai densitas. Gaya antarmolekul dipengaruhi oleh jenis ikatan, jenis atom dan jumlah atom yang ada pada molekul tersebut. Contoh jenis ikatan antarmolekul yang ada pada hidrokarbon adalah C-H, C=C dan C-C [16]. Nilai kalor adalah banyaknya energi kalor yang mampu dilepas oleh suatu massa saat terjadinya proses pembakaran dalam kondisi udara yang cukup [17]. Nilai kalor juga disebut juga banyaknya energi yang mampu dilepaskan secara eksotermal dari reaksi pembakaran zat kimia, dimana nilai kalor ini juga sebanding dengan nilai entalpi pembakaran zat tersebut [16]. Semakin panjang rantai hidrokarbon dan semakin kuat ikatan antarmolekul suatu zat, semakin besar pula entalpi pembakarannya [18].

Gambar 4 menampilkan densitas yang diperoleh pada masing-masing varian berkisar antara 0,805 gr/cm³ - 0,848 gr/cm³. Sampel varian 9:1 (0,848 gr/cm³) memiliki nilai densitas tertinggi diantara kelimanya, diikuti oleh varian 8:2, dan terakhir varian 5:5 (0,805 gr/cm³). Densitas dari varian 5:5 sangat identik dengan bahan bakar *kerosene* (0,8 gr/cm³), sedangkan varian 6:4 sampai 9:1 sangat identik dengan densitas bahan bakar *diesel* konvensional (0,82 gr/cm³ - 0,86 gr/cm³).

Gambar 5 menampilkan nilai kalor yang sangat baik dengan *range* angka 9227,7 cal/gr -10654,2 cal/gr. Nilai kalor pada varian 5:5 (10446,1 cal/gr) dan 9:1 (10654,2 cal/gr) cenderung di *range* bahan bakar *gasoline* (10516,3 cal/gr). Untuk varian 6:4 (9227,7 cal/gr) dan 7:3 (10188,6 cal/gr) ada pada *range* bahan bakar *diesel* (10277,2 cal/gr), dan terakhir varian 8:2 (10317,5 cal/gr) memiliki nilai kalor pada *range* bahan bakar *kerosene*/minyak tanah (10372.85 cal/gr).

4. KESIMPULAN

Penelitian tentang *Co-Pyrolysis* Ban Bekas (*Scrap Tires*) dan Plastik *Polypropylene*: Distribusi Produk dan Propertis Fisik *Pyro-Oil* memberikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 450°C selama 90 menit menggunakan reaktor pirolisis tipe *fixed bed* dengan variasi pencampuran ST:PP yaitu 9:1, 8:2, dan 7:3. Hasil produk pirolisis maksimum berupa *liquid/oil* sebanyak 40,7 Wt% diperoleh pada variasi pencampuran 6:4 diikuti dengan variasi pencampuran 7:3 (36,7 Wt%), kemudian varian 5:5 (36 Wt%) , setelah itu varian 8:2 (34,3 Wt%) dan yang terakhir adalah variasi pencampuran 9:1 dengan jumlah 28,3 Wt%. Untuk produk pirolisis maksimal berupa *solid/char/arang* sebanyak 42,6 Wt% diperoleh pada variasi pencampuran 9:1 dilanjutkan dengan variasi pencampuran 7:3 (41 Wt%) setelah itu varian 8:2 sebesar 38,7 Wt%, kemudian varian 6:4 dengan jumlah 27,7 Wt%, dan yang terakhir adalah variasi pencampuran 5:5 yang menghasilkan *char* sejumlah 18,3 Wt%.
2. Propertis fisik berupa densitas yang diperoleh pada masing-masing varian berkisar antara 0,830 gr/cm³- 0,848 gr/cm³. Sampel varian 9:1 (0,848 gr/cm³) memiliki nilai densitas tertinggi diantara kelimanya, diikuti oleh varian 8:2, dan terakhir varian 5:5 (0,805 gr/cm³). Densitas dari varian 5:5 sangat identik dengan bahan bakar *kerosene* (0,805 gr/cm³), sedangkan varian 6:4 sampai 9:1 sangat identik dengan densitas bahan bakar *diesel* konvensional (0,82 gr/cm³ - 0,848 gr/cm³). Nilai kalor pada varian 5:5 (10446,1 cal/gr) dan 9:1 (10654,2 cal/gr) cenderung di *range* bahan bakar *gasoline* (10516,3 cal/gr). Untuk varian 6:4 (9227,7 cal/gr) dan 7:3 (10188,6 cal/gr) ada pada *range* bahan bakar *diesel* (10277,2 cal/gr), dan terakhir varian 8:2 (10317,5 cal/gr) memiliki nilai kalor pada *range* bahan bakar *kerosene*/minyak tanah (10372.85 cal/gr).

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J R JAMBECK., Q Ji., Y G Zhang., et al., Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, v, 347, n. 6223, pp. 764-768, 2015.
- [2] E B MACHIN, D T PEDROSO, J A DE CARVALHO, Energetic valorization of waste tires, *Renew. Sustain. Energy Rev*, v, 68, pp. 306-315, 2017.
- [3] J PANKO, M KREIDER, K. UNICE, Review of Tire Wear Emissions, *Non-Exhaust Emiss*, pp. 147-160, 2018.
- [4] F XU., B WANG., D YANG., et al., TG-FTIR and Py-GC/MS study on pyrolysis mechanism and products distribution of waste bicycle tire, *Energy Convers. Manag.*, vol, 175, pp. 288-297, 2018.
- [5] S D A SHARUDDIN., F ABNISA., W M A W DAUD., et al., A review on pyrolysis of plastic wastes, *Energy Convers. Manag.*, v, 115, pp. 308-326, 2016.
- [6] S CHOUAYA., M A ABBASSI., R B YOUNES., et al., Scrap Tires Pyrolysis: Product Yields, Properties and Chemical Compositions of Pyrolytic Oil, *Russ. J. Appl. Chem*, v, 91, n. 10, pp. 1603-1611, 2018.
- [7] J WU., T CHEN., X LUO., et al., TG/FTIR analysis on co-pyrolysis behavior of PE, PVC and PS, *Waste Manag.*, v, 34, n. 3, pp. 676-682, 2014.
- [8] W CHEN., S SHI., J ZHANG., et al., Co-pyrolysis of waste newspaper with high-density polyethylene: Synergistic effect and oil characterization, *Energy Convers. Manag.*, v, 112, pp. 41-48, 2016.

- [9] E MÜSELLIM., M H TAHIR., M S AHMAD., et al., Thermokinetic and TG/DSC-FTIR study of pea waste biomass pyrolysis, *Appl. Therm. Eng.*, v, 137, pp. 54-61, 2018.
- [10] W MA., G RAJPUT., M PAN., et al., Pyrolysis of typical MSW components by Py-GC/MS and TG-FTIR, *Fuel*, v, 251, pp. 693-708, 2019.
- [11] D LI., S LEI., G RAJPUT., et al., Study on the co-pyrolysis of waste tires and plastics, *Energy*, v, 226, 2021.
- [12] R K SINGH., S MONDAL., B RUJ., et al., Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Interaction of three categories of tyre waste during co-pyrolysis : Effect on product yield and quality,” *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, v, 141, pp. 104618, 2019.
- [13] E H ISTOTO., S Saptadi, “Production of Fuels From High Density Polyethylene and Low Density Polyethylene Plastic Wastes via Pyrolysis Methods (Research Note), *Iran. J. Energy Environ.*, v, 10, n. 3, pp. 185-189, 2019.
- [14] H I UMARU., M K YAKUBU., E G KOLAWOLE., et al., Effect of Pyrolysis Temperature and Time on Wax Production from Waste Polyethene, *Asian Journal of Applied Sciences*, v, 2, n. 05, pp. 644-649, 2014.
- [15] F. GAO, *Pyrolysis of Waste Plastics into Fuels*, University of Canterbury, 2010.
- [16] R. CHANG, *CHEMISTRY*, 10th ed. New York: Thomas D. Timp, 2010.
- [17] M Z H KHAN., M SULTANA., M R AL-MAMUN., et al., Pyrolytic Waste Plastic Oil and Its Diesel Blend: Fuel Characterization, *J. Environ. Public Health*, v, 2016, 2016.
- [18] DAVID M. HIMMELBLAU and JAMES B. RIGGS, *Ebooks Chemical Engineering Corrosion Engineering*, 8th ed. Austin: Paul Boger, 2012.
- [19] W WIJAYANTI, "Efek Zeolit untuk Produksi Tar dan Char pada Pirolisis Rotary Kiln", *Rekayasa Mesin*, v. 12 (1), pp. 51-58, 2021.
- [20] PERDANA, FAHRIZAL. 2019. *Pengaruh Suhu kondensasi Terhadap Volume dan Karakteristik Minyak Pirolisis. Skripsi*. Tidak dipublikasi. Malang: Universitas Brawijaya