Pirolisis Sampah Ban Sepeda Motor dengan Katalis γ-ALUMINA menjadi Fuel

Agus Budianto[1)], Erlinda Ningsih[2)], Bagus Dwi Susanto[3)], Achmad Maulidan Syahrie[4)], Abubakar Tuhuloula[5)], Esthi Kusdarini[6)]
[1,2,3,4)]Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Adi Tama Surabaya
[5)]Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung mangkurat
[6)]Jurusan Teknik Pertambangan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
e-mail: budichemical@itats.ac.id

ABSTRACT

Increasing motor vehicles, increasing the amount of used tire waste. It is possible to use used tires as fuel products. One alternative solution to the problem of tire waste is by converting it into fuel by using the pyrolysis method. The purpose of this study was to determine the calorific value of pyrolysis oil, determine the effect of increasing the reactor temperature and the addition of γ-alumina catalyst on the yield and calorific value of pyrolysis oil, and to determine the% area of the fuel fraction contained in the oil from pyrolysis. The research method was carried out by direct experimentation of the pyrolysis process in the laboratory. Pyrolysis was carried out for 2 hours with a reactor temperature of 400ºC, 450ºC, and 500ºC. The ratio of the weight of the catalyst and tires used are 1: 100, 3: 100, 5: 100, and without the addition of a catalyst. The most significant yield obtained was obtained from pyrolysis with outer tire rubber material with a catalyst ratio of 5: 100 at a temperature of 500ºC, namely 35.34%, while the most significant heating value of oil was produced without the addition of a catalyst at a temperature of 500ºC, namely 8,245.298 kcal/kg.

Keyword: *Catalyst, heating value, pyrolysis, tire waste, γ-alumina*

ABSTRAK

Peningkatan kendaraan bermotor, meningkatkan jumlah sampah ban bekas. Pemanfaatan ban bekas menjadi produk bahan bakar sangat memungkinkan untuk dilakukan. Salah satu solusi alternatif masalah sampah ban dengan cara mengubah menjadi bahan bakar dengan metode pirolisis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kalor minyak hasil pirolisis, mengetahui pengaruh penambahan temperatur reaktor dan penambahan katalis γ-alumina terhadap *yield* dan nilai kalor dari minyak hasil pirolisis, serta mengetahui % area fraksi bahan bakar yang terkandung dalam minyak hasil pirolisis. Metode penelitian dilakukan dengan percobaan langsung proses pirolisis di laboratorium. Pirolisis dilakukan selama 2 jam dengan temperatur reaktor 400 ºC, 450 ºC, dan 500 ºC. Rasio berat katalis dan ban yang digunakan adalah 1:100, 3:100, 5:100, dan tanpa penambahan katalis. Hasil *yield* terbesar yang diperoleh didapatkan dari pirolisis dengan bahan karet ban luar dengan rasio katalis 5:100 pada temperatur 500^{oC} yaitu 35,34%, sedangkan nilai kalor minyak terbesar dihasilkan tanpa penambahan katalis pada temperatur 500ºC yaitu *8245.298* kal/g.

Kata kunci: Katalis, Nilai bakar, Pirolisis, Sampah ban, *γ-alumina*

PENDAHULUAN

Peningkatan populasi kendaraan bermotor di Indonesia mengakibatkan permasalahan baru. Pada tahun akhir 2019 jumlah total kendaraan bermotor di Indonesia sebanyak 143,75 juta unit meningkat 4,39% dari 137,7 juta pada akhir tahun 2018 [1] . Salah satu permasalahan yang ditimbulkan adalah jumlah ban bekas meningkat. Ban bekas ini sulit terurai di alam. Butuh waktu lebih dari 100 tahun bagi ban terdegradasi secara alami di tanah [2]. Penanganan sampah umumnya adalah dengan proses *landfill*. Sampah ban bekas bersifat kaku dan tidak bisa dimampatkan sehingga membutuhkan ruang yang luas dalam penyimpanannya. Pada musim hujan, penumpukan sampah ban bekas berpotensi menyebabkan penularan penyakit dan tempat berkembang biaknya nyamuk dan

hewan-hewan penyebar penyakit. Pada musim kemarau, tumpukan sampah ban bekas berpotensi menyebabkan kebakaran yang menghasilkan gas beracun dan berbahaya bagi lingkungan [3].

Salah satu solusi penanganan sampah ban bekas adalah dengan mengubahnya menjadi minyak sebagai bahan bakar alternatif. Prosesnya menggunakan metode pirolisis. Bobot sampah dapat berkurang secara signifikan dan hasil produksi pirolisis, berupa padatan, gas, maupun cairan minyak, dapat dimanfaatkan maupun disimpan sebagai sumber energi alternatif. Penelitian tentang pemanfaatan ban bekas, ban berjalan, alas lantai, dan sol sepatu membentuk *limonene* [4]. Karakteristik minyak hasil dari pirolisis pada temperatur pengujian yang digunakan antara 250 ^{o}C hingga 400 ^{o}C terhadap ban dalam bekas dengan plastik jenis LDPE. Hasil penelitian menunjukkan semakin tinggi temperatur pirolisis hasil minyak yang diperoleh semakin tinggi pula [5].Peneliti lain telah melakukan pirolisis ban dalam dengan membandingkan jenis katalis magnesium karbonat dan kalsium karbonat. Penggunaan kedua katalis tersebut dinilai lebih ekonomis dan mudah didapat dibandingkan dengan jenis katalis zeolit. Pirolisis dengan katalis alumina menghasilkan bahan bakar cair [6], namun informasi lengkap penggunaan katalis alumina belum lengkap dalam pirolisis ini terutama yield dan distribusi produk.

TINJAUAN PUSTAKA

Ban merupakan bagian dari kendaraan yang berfungsi menyangga beban kendaraan, melindungi roda dan meredam getaran dari permukaan jalan. Komposisi utama dari ban adalah karet sehingga material ban relatif tahan lama dan kuat terhadap kerusakan mekanis. Ban memiliki sifat isolator, tahan air, tahan panas, serta tahan terhadap bahan kimia dan bakteri. Mikroorganisme membutuhkan waktu sekitar 100 tahun untuk mengurai material pada ban. Komponen pada ban luar terdiri dari 3 material utama, yaitu karet campuran, logam, dan tekstil. Setiap material memiliki sifat-sifat spesifik yang dikombinasikan sedemikian rupa sehingga membentuk ban dengan sifat yang kuat namun fleksibel. Jenis karet yang digunakan pada material ban luar adalah karet alam, karet sintetis, serta campuran dari karbon, silica, dan bahan aditif. Komponen metal biasanya terbuat dari kawat baja berkualitas yang berfungsi agar ban kokoh dan kuat. Komponen tekstil digunakan untuk ban pneumatic untuk menahan tekanan angin dan juga digunakan untukban mati yang berfungsi untuk memperkuat struktur ban. Bahan tekstil yang digunakan dapat berasal dari material poliester, nilon, maupun rayon. Material karet berfungsi menahan gesekan ban dengan jalan. Tread adalah bagian terluar dari ban yang kontak langsung dengan jalan sehingga material pada bagian ini harus tahan terhadap gesekan dan traksi. Tread groove atau disebut juga tapak ban. Sidewall adalah bagian yang terletak antara tread dan rim roda. Pada bagian ini material yang digunakan biasanya campuran dari karet alam dengan karet sintetis dengan sedikit penambahan karbon dan zat aditif. Strukturnya halus dan biasanya terdapat cetakan informasi dari ban, seperti ukuran dan kode produksi. Ply adalah lapisan yang terdapat di bagian dalam ban yang terdiri dari lapisan cord yang dilapisi karet yang berfungsi menstabilkan ban. Sedangkan, cord sendiri adalah susunan kawat-kawat yang membentuk rangka dari ply. Carcasses berfungsi menahan beban dari roda kendaraan. Belt adalah lapisan yang terdapat di bagian bawah tread. Bead merupakan bagian yang dibentuk menyesuaikan bentuk rim sehingga ban dapat tertahan dan menempel pada rim. Chafer melindungi bagian ban yang bersentuhan dengan bagian rim [2].

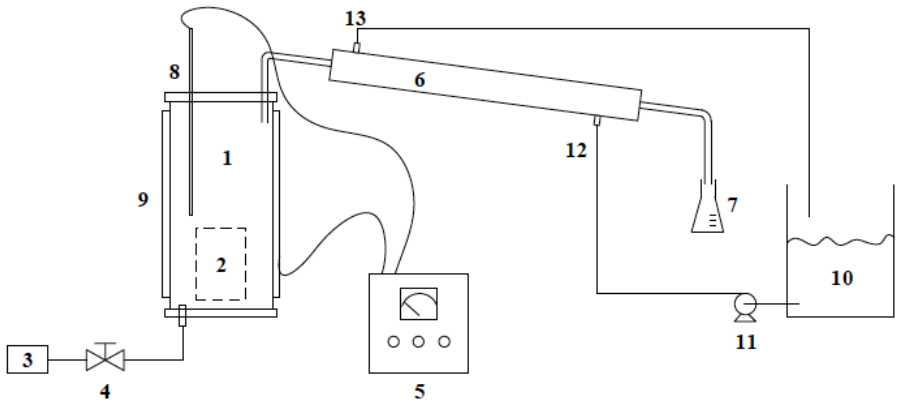
Pirolisis adalah salah satu solusi untuk mengurangi jumlah sampah, khususnya ban bekas, dengan mengubahnya menjadi sumber energi alternatif. Pirolisis berasal dari dua kata yaitu pyro

yang berarti panas dan lysis yang berarti penguraian atau degradasi. Pirolisis merupakan proses dekomposisi termokimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau pereaksi kimia lainnya, dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Istilah pirolisis sering juga disebut dengan perengkahan atau cracking. Penggunaan katalis untuk pirolisis lebih efektif dalam menghasilkan fuel dan biofuel [7]–[17] Penggunaan katalis pada proses pirolisis dapat mengurangi temperatur operasi dan membuat proses pirolisis dalam reaktor menjadi lebih aman. Cairan yang dihasilkan dari metode ini adalah campuran kompleks dari senyawa organik seperti etil-benzena, toluena, stirena dll. Pirolisis menghasilkan padatan yang mengandung char/residu yang terkandung pada bahan baku. Pirolisis juga menghasilkan gas yang terdiri dari hidrokarbon dengan nilai kalor yang tinggi, CO dan CO2 [7].

Pirolisis memiliki 3 jenis variasi berdasarkan kondisi operasinya yaitu slow pyrolysis, fast pyrolysis dan flash pyrolysis. Pada fast pyrolysis laju pemanasan lebih cepat dibandingkan dengan pirolisis lambat. Proses ini digunakan untuk memproduksi bio-oil dengan jumlah besar dibandingkan slow pyrolysis dan flash pyrolysis . Hal kritis dari fast pyrolysis adalah membawa reaksi antarmuka pada partikel biomass untuk mengoptimalkan temperatur proses dan meminimalkan eksposurnya untuk menurunkan temperatur yang mendukung pembentukan arang. Fast pyrolysis dilakukan pada temperatur reaksi sekitar 500^{o}C dan temperatur fase uap 400 – 450^{o}C [18].

METODE

Pirolisis karet ban bekas dilakukan didalam reaktor *batch* berbahan *Stainless steel* pada kondisi temperatur tertentu dengan menggunakan kondensor *counter flow*. Ban bekas yang digunakan yaitu ban dalam sepeda motor yang mengandung jenis karet alam (*natural* rubber) dan ban luar sepeda motor yang mengandung jenis karet sintesis (*synthetic rubber*). Katalis yang digunakan adalah γ-Al_2O_3 (gamma alumina) memiliki luas permukaan 150-250 m^2/g. Rangkaian alat pirolisis disajikan pada Gambar 1.

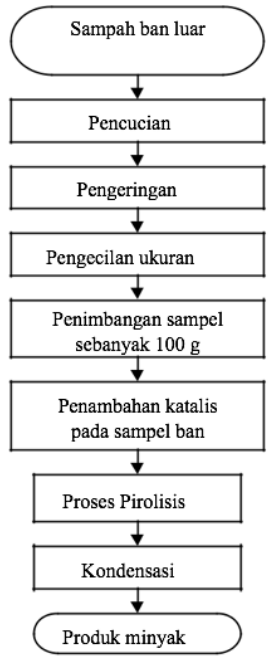


Gambar 1. Rangkaian alat pirolisis ban bekas

Keterangan Gambar 1

1) Reaktor pirolisis
2) Wadah sampel
3) Tabung nitrogen
4) Valve aliran nitrogen
5) MCB panel control
6) Tabung kondensor
7) Erlenmeyer penampung kondensat
8) Termokopel
9) Jacket heater elektrik
10) Air pendingin
11) Pompa air pendingin
12) Aliran air pendingin masuk ke Kondensor
13) Aliran air pendingin keluar dari kondensor

Metode penelitian merupakan metode yang menjelaskan tentang alur yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian, digambarkan pada diagram alur berikut,



Gambar 2. Diagram alir proses pirolisis.

Langkah awal penelitian ini yaitu tahap persiapan bahan baku untuk pirolisis meliputi, pertama melakukan pencucian ban bekas dengan menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran yag menempel pada sampel ban bekas. Selanjutnya melakukan pengeringan sampel ban dengan cara mengangin-anginkan bahan, kemudian mengecilkan ukuran bahan dengan cara memotongnya menjadi berukuran 1 cm.

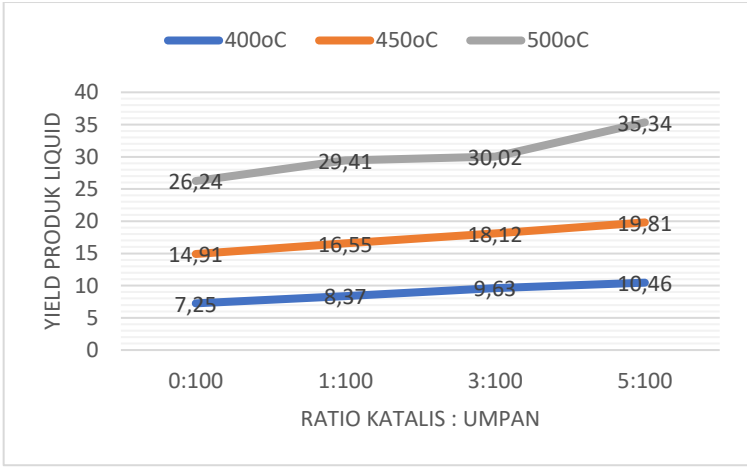
Langkah selanjutnya yaitu tahap pirolisis diawali dengan membuka penutup tabung reaktor pirolisis dengan menggunakan kunci ring. Menimbang sampel ban sebesar 100 gram dan katalis γ-

alumina dengan variasi rasio masa katalis : masa ban bekas yaitu 0:100, 1:100, 3:100, dan 5:100. Selanjutnya mencampur sampel ban bekas dengan katalis dan memasukkan kedalam wadah sampel didalam reaktor pirolisis. Menutup tabung reaktor pirolisis, menyambungkan kondensor dan membuka valve gas nitrogen pada reaktor. Menyalakan saklar heater elektrik dan mengatur temperatur reaktor dengan variasi temperatur sebesar 400ºC, 450ºC, 500ºC. Menampung minyak hasil pirolisis yang keluar dari kondenser dengan Erlenmeyer. Mematikan saklar heater elektrik, menutup valve gas nitrogen dan melepas kondensor setelah pirolisis berjalan selama 2 jam. Menganalisa minyak hasil pirolisis karet ban bekas untuk mengetahui *yield* dan nilai kalor yang dihasilkan, serta untuk mendapatkan % area fraksi bahan bakar yang terkandung pada produk minyak. Yield dihitung berdasarkan Analisa komposisi produk menggunakan GC-MS, sedangkan nilai kalor diukur dengan metode bomb Kalorimeter.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Temperatur Aktivasi terhadap Kadar Abu Karbon Aktif

Gambar 3 menunjukkan pengaruh penambahan katalis dan temperatur terhadap *yield* minyak hasil pirolisis ban bekas. Proses pirolisis ini menggunakan katalis γ-Alumina dengan variasi rasio penambahan katalis 0:100, 1:100, 3:100, dan 5:100. Pada proses pirolisis ban bekas *yield liquid* terbesar dihasilkan pada pirolisis ban luar dengan kondisi temperatur 500ºC dan rasio penambahan katalis 5:100 yaitu sebesar 35.34%, sedangkan *yield* minyak terendah dihasilkan pada pirolisis ban luar dengan kondisi temperatur 400ºC dan rasio penambahan katalis 0:100 yaitu sebesar 7.25%.

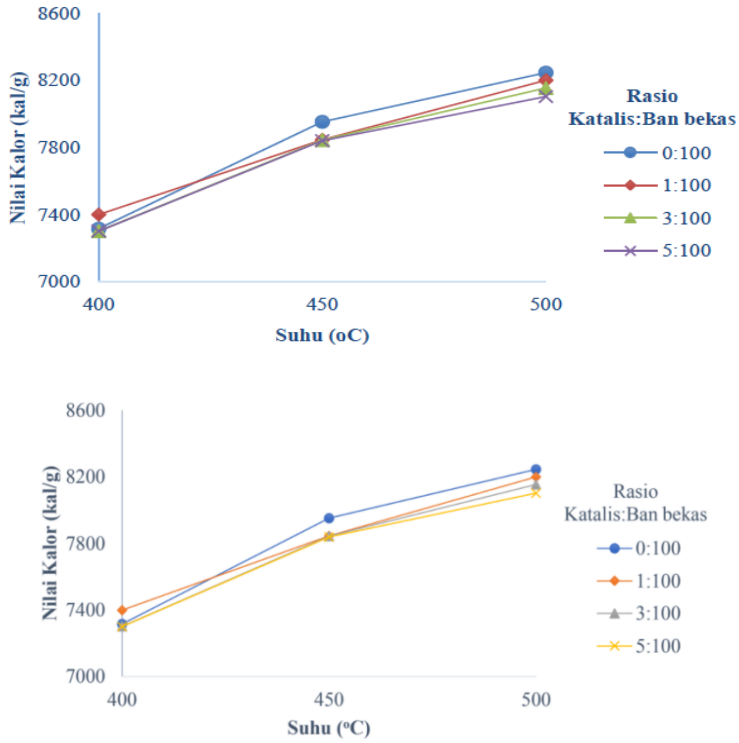


Gambar 3 Pengaruh rasio katalis terhadap *yield* produk liquid hasil pirolisis ban bekas pada berbagai temperature.

Hasil analisa nilai kalor minyak produk pirolisis karet ban

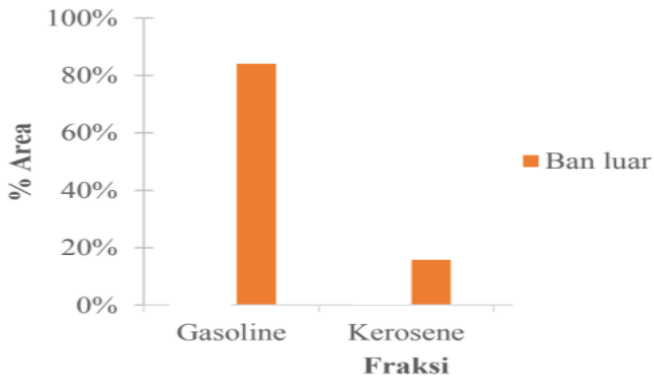
Gambar 3. menunjukkan pengaruh temperatur dan rasio penambahan katalis terhadap nilai kalor minyak hasil pirolisis ban luar. Pada proses pirolisis ban luar nilai kalor untuk tiap variasi penambahan katalis tidak menghasilkan perbedaan jauh, nilai kalor terbesar terjadi pada kondisi tanpa penambahan katalis dan mengalami penurunan seiring bertambahnya jumlah katalis. Pada Gambar 4. menunjukkan nilai kalor terbesar terjadi pada kondisi temperatur 500ºC tanpa

penambahan katalis yaitu sebesar 8245,298 kkal/kg. Hasil nilai kalor menunjukkan bahwa semakin besar temperatur pirolisis maka nilai kalor yang dihasilkan mengalami kenaikan. Hasil nilai kalor pembakaran fuel dari karet ban bekas ini lebih rendah dibandingkan dengan nilai bakar biofuel metil ester dari berbagai minyak tumbuhan [19]. Pada kondisi temperatur 500^{o}C proses pemecahan molekul karet ban dalam lebih sempurna dibandingkan karet ban luar dikarenakan komposisi molekul ban dalam yang mengandung *natural rubber* yang memiliki titik dekomposisi yang lebih rendah dibandingkan dengan ban luar yang mengandung *syntetic rubber* yang bersifat stabil dan lebih tahan panas.



Gambar 4. Pengaruh temperatur dan rasio penambahan katalis terhadap nilai kalor fuel dari pirolisis ban luar bekas.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa adanya penambahan katalis menyebabkan nilai kalor produk minyak semakin menurun walaupun penurunannya tidak terlalu signifikan. Perengkahan yang terjadi justru menyebabkan sebagian hidrokarbon cair yang terbentuk terdekomposisi lagi menjadi karbon murni (*pure-char*) dan gas (CH_4 dan H_2). Hal ini ditandai oleh meningkatnya rendemen padatan hasil pirolisis.



Gambar 5. Fraksi bahan bakar dalam produk liquid hasil pirolisis ban luar

Produk liquid proses pirolisis ban luar berupa minyak. Hasil Analisa dengan pengelompokkan fraksi Gasoline (C_5-C_{12}) *retention time* 0-24 menit dan Kerosine (C_{13}-C_{18}) dengan *retention time* 24-45 menit, serta Parafin (C_{19}-C_{24}) dengan *retention time* 45-56 menit dan Aspal (>C_{25}) dengan *reteniton time* 56-62 menit. Hasil komposisi fraksi ditampilkan pada Gambar 5. Gambar 5. Ini menunjukkan fraksi bahan bakar dalam minyak hasil pirolisis ban dalam dan ban luar. Analisa GC-MS menggunakan sampel minyak hasil pirolisis karet ban luar dengan *yield* tertinggi dari penelitian. Fraksi gasoline diatas 80 %, hasil ini menujukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan fraksi gasoline dari biofuel [8], [13], [14], [16], [17], [20], [21].

KESIMPULAN

Pada kondisi terbaik yaitu pada temperatur 500^{o}C dan rasio katalis:ban bekas 5:100, yield minyak yang dihasilkan pirolisis ban luar sebesar 35,34% dan nilai kalor yang terkandung dari ban motor sebesar 8245,298 kkal/kg. Yield minyak hasil pirolisis meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pirolisis dan rasio penambahan katalis. Nilai kalor minyak hasil pirolisis meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur pirolisis dan menurun seiring meningkatnya rasio penambahan katalis. Fraksi gasoline pada minyak hasil pirolisis ban luar memiliki fraksi 47.34%. lebih besar daripada pada fraksi diesel dan kerosene.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih pada Jurusan Teknik Kimia ITATS, serta Dekan Fakultas Teknologi Industri serta semua Pimpinan YPTS-ITATS, Terutama LPPM ITATS yang terus mendukung usaha peningkatan publikasi di ITATS.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. P. Statistik, “Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis,” *Badan Pusat Statistik*, 2019. http://bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133.

[2] D. Czajczyńska, R. Krzyżyńska, H. Jouhara, and N. Spencer, “Use of pyrolytic gas from waste tire as a fuel: A review,” *Energy*, vol. 134, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.05.042.

[3] M. Rofiqul Islam, H. Haniu, and M. Rafiqul Alam Beg, “Liquid fuels and chemicals from pyrolysis of motorcycle tire waste: Product yields, compositions and related properties,”

Fuel, vol. 87, no. 13–14, pp. 3112–3122, Oct. 2008, doi: 10.1016/j.fuel.2008.04.036.

[4] L. Concentration, K. Januszewicz, P. Kazimierski, T. Suchocki, and D. Karda, "Waste Rubber Pyrolysis : Product Yields and," pp. 20–25, 2020.

[5] E. W. Biantoro, "Analisa Karakteristik Bahan Bakar Minyak Dari Ban Dalam Bekas dan Plastik Jenis LDPE (Low Density Polyethilene)," pp. 281–286, 2018.

[6] J. Shah, M. Rasul Jan, and F. Mabood, "Catalytic pyrolysis of waste tyre rubber into hydrocarbons via base catalysts," *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, vol. 27, no. 2, pp. 103–109, 2008.

[7] R. Ermawati, B. N. Jati, I. Rumondang, E. Oktarina, and S. Naimah, "Pengaruh Residue Catalytic Cracking (RCC) dan Zeolit terhadap Kualitas Crude Oil Hasil Pirolisis Limbah Plastik Polietilena," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 38, no. 1, p. 47, 2016, doi: 10.24817/jkk.v38i1.1978.

[8] A. Budianto, R. Adyus, T. Chrisnawangsih, T. Kimia, and F. T. Industri, "PIROLISISS BOTOL PLASTIK BEKAS MINUMAN AIR MNIERAL JENIS PET MENJADI FUEL," pp. 201–206, 2014.

[9] D. S. Hajj, D. A. Rp, and A. Budianto, "Pembuatan Biofuel dengan Proses Perengkahan dari Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) Menggunakan Katalis CaO," pp. 607–614.

[10] B. Agus, S. Sumari, P. Wahyu Setyo, and Wahyudi, "Production of Various Chemicals from Nyamplung Oil with Catalytic Cracking Process," *Indian J. Sci. Technol.*, vol. 11, no. 37, pp. 1–7, 2018, doi: 10.17485/ijst/2018/v11i37/129866.

[11] A. Budianto, D. H. Prajitno, and K. Budhikarjono, "Biofuel production from candlenut oil using catalytic cracking process with Zn/HZSM-5 catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 11, pp. 2121–2124, 2014.

[12] A. Budianto, D. H. Prajito, K. Budhikarjono, and R. Achmad, "REKAYASA KATALIS KOMPOSIT BERBASIS ZEOLIT UNTUK PROSES CRACKING PALM OIL MENJADI BIOFUEL," 2008.

[13] A. Budianto, D. H. Prajitno, A. Roesyadi, and K. Budhikarjono, "Hzsm-5 catalyst for cracking palm oil to biodiesel: A comparative study with and without pt and pd impregnation," *Sci. Study Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind.*, vol. 15, no. 1, pp. 81–90, 2014, [Online]. Available: https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84931269131&partnerID=40&md5=8e1e4d9d8be923c4b5f22b9d628e29c4.

[14] A. Budianto, W. S. Pambudi, S. Sumari, and A. Yulianto, "PID control design for biofuel furnace using arduino," *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 16, no. 6, 2018, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v16i6.9770.

[15] A. Budianto, D. H. Prajito, K. Budhikarjono, and R. Achmad, "REKAYASA KATALIS KOMPOSIT BERBASIS ZEOLIT UNTUK PROSES CRACKING PALM OIL MENJADI BIOFUEL : Pembuatan katalis Pd-HZSM-5," 2008.

[16] A. Budianto, S. Sumari, W. S. Pambudi, and N. Andriani, "Uji Coba Produksi Biofuel dari RBD Stearin dalam Reaktor Fixed Bed dengan Metode Cracking," in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 2019, pp. 735–740, [Online]. Available: https://ejurnal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/646/447.

[17] A. Budianto, S. Sumari, and K. Udyani, "Biofuel production from nyamplung oil using catalytic cracking process with Zn-HZSM-5/γ alumina catalyst," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 22, pp. 10317–10323, 2015.

[18] A. Goteti, "Experimental Investigation and Systems Modeling of Fractional Catalytic Pyrolysis of Pine," no. December, p. 218, 2010.

[19] K. Sivaramakrishnan and P. Ravikumar, "Determination of Higher Heating Value of Biodiesels," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 11, pp. 7981–7987, 2011, [Online]. Available: http://www.ijest.info/docs/IJEST11-03-11-099.pdf.

[20] M. Iqbal, V. Purnomo, and D. H. Prajitno, "Rekayasa Katalis Ni/Zn-HZSM-5 untuk Memproduksi Biofuel dari Minyak Bintaro," *J. Tek. Pomits*, vol. Vol 3, no. 2, pp. 153–157, 2014.

[21] R. Rasyid, A. Prihartantyo, M. Mahfud, and A. Roesyadi, "Hydrocracking of Calophyllum inophyllum oil with non-sulfide CoMo catalysts," *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, vol. 10, no. 1, pp. 61–69, 2015, doi: 10.9767/bcrec.10.1.6597.61-69.