

STUDI SIMULASI KARAKTERISTIK NYALA API PEMBAKARAN DIFUSI PADA POROSITAS ALIRAN BAHAN BAKAR MINYAK NABATI MURNI

Gatot Soebiyakto^{1*)}, Dedi Usman Effendy²⁾

¹⁾ Program Studi D3 Mesin Otomotif, Universitas Widyagama Malang, Kota Malang

²⁾ Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Widyagama Malang, Kota Malang

*Email Korespondensi : soebiyakto@widyagama.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan besar energi nasional ada 3 yaitu konsumsi energi fosil yang cenderung membesar, pemanfaatan energi campuran masih timpang, dan harga minyak dunia tidak menentu. Penggunaan bahan bakar nabati merupakan jawaban dari permasalahan energi nasional. Jenisnya adalah minyak nabati murni (bio-oil), bio-diesel, dan bio-etanol. Bio-diesel untuk pengganti solar, bio-etanol untuk premium, sedangkan bio-oil untuk minyak tanah, setelah memenuhi syarat-syarat khusus. Minyak nabati murni dapat dipakai sebagai pengganti minyak tanah dengan alat (kompor) khusus. Artikel ini disusun dari penelitian yang memodelkan salah satu karakteristik bahan bakar, yaitu porositasnya, dan mengkaitkannya dengan kualitas pembakaran. Dengan obyek bahan bakar nabati, hasil penelitian ini diharapkan memberikan tambahan pengetahuan tentang proses pembakaran bahan bakar nabati yang lebih efektif dan efisien. Tujuan akhirnya adalah ikut menyumbangkan pemikiran pada permasalahan energi alternatif untuk pengganti bahan bakar fosil. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa analisis nyala api berbasis gambar rekaman pembakaran bisa digunakan untuk memprediksi tingkat porositas bahan bakar. Minyak nyamplung dan jarak pagar memiliki kepadatan aliran lebih baik dari minyak kapas, kapuk, dan sawit. Sebaran nyala juga lebih luas. Sebagai pengganti minyak tanah, minyak nyamplung dan jarak pagar diindikasikan mampu menghasilkan efektifitas dan efisiensi yang lebih baik dari ketiga jenis minyak nabati lainnya.

Kata kunci: Bahan bakar nabati, bio-oil, porositas, pembakaran, efektif-efisien

ABSTRACT

There are 3 major problems in national energy, namely the increasing of fossil energy consumption, the imbalanced mixed energy utilization, and the uncertainty of world oil price. The biofuels usage is the answer. This fuel type can be in form of biodiesel, bioethanol, and bio-oil (pure vegetable oil). With certain requirements, biodiesel can replace diesel, bioethanol for premium, while bio-oil for kerosene through a special appliance (stove). This article is compiled from research that models one of the fuel characteristics, porosity, and relates it to combustion quality. With the biofuels object, the study results are expected to provide additional knowledge about the effective and efficient biofuels combustion process. The goal is to contribute ideas on the alternative energy problem. The study results concluded that flame analysis based on combustion images could be used to predict the fuel porosity level. Nyamplung and Jatropa oil have better flow densities than cotton, kapok and palm oil. The flame spread is also wider. As substitutes for kerosene, nyamplung and jatropa oil are indicated to be able to produce better effectiveness and efficiency than the other three.

Keywords: Biofuels, bio-oil, porosity, combustion, effective-efficient

PENDAHULUAN

Porositas didefinisikan sebagai ruang di antara padatan dalam satu benda, dan dinyatakan sebagai perbandingan volume. Dinyatakan sebagai pecahan kurang dari 1 atau

prosentase. Banyak sekali bidang ilmu yang menggunakan istilah ini, khususnya yang berhubungan dengan penggunaan ukuran material. Porositas ditentukan oleh bahan, ukuran, sebaran pori, sementasi, riwayat diagenetik, dan komposisinya. Pada aliran campuran cairan dan gas, porositas diukur sebagai volume aliran yang berisi gas [1]. Pada perpipaian, porositas tergantung posisinya dan bernilai fluktuatif terhadap waktu. Pada aliran heterogen, variabel yang mempengaruhi porositas adalah laju volumetrik dari gas dan cairan, serta kecepatan relatif antara keduanya (disebut dengan *slip ratio*).

Porositas bisa diukur [2] secara langsung melalui pengukuran bahan dan volume per komponen. Ini berlaku untuk benda besar yang komponennya tak berpori. Cara lain dilakukan dengan mikroskop, memanfaatkan teknik optis. Metode lainnya termasuk CT scan, menenggelamkan benda yang diukur dalam fluida dan dilakukan di ruang vakum (imbibisi), atau membalurkan air, mengisi rongga dengan air raksa, dan ekspansi gas.

Bahan bakar minyak nabati berasal dari minyak nabati. Jenisnya adalah minyak nabati murni (bio-oil), bio-diesel, dan bio-etanol. Bio-diesel untuk pengganti solar, bio-etanol untuk premium, sedangkan bio-oil untuk minyak tanah, setelah memenuhi syarat-syarat khusus [3]. Minyak murni bisa digunakan langsung tanpa perlu proses transesterifikasi. Hal ini biaya memangkas kebutuhan bahan dan biaya. Penggunaan bahan bakar nabati adalah solusi problem nasional di bidang energi. Problem energi tersebut berwujud level ketergantungan pada energi fosil, energi campuran belum digunakan secara optimal, dan labilitas harga minyak dunia [3]. Pemanfaatan energi campuran mencerminkan proporsi jenis-jenis energi yang digunakan secara nasional.

Pembakaran adalah proses kimia antara bahan bakar dengan udara. Unsur udara yang berperan dalam pembakaran adalah oksigen. Unsur-unsur dalam bahan bakar biasanya terdiri atas karbon, hidrogen dan sulfur. Jumlah kandungan unsur C-H-S dalam setiap bahan bakar berbeda-beda. Kebutuhan udara minimum untuk terjadinya pembakaran sempurna di sebut dengan jumlah udara stoikiometrik/teoritis. Pembakaran sempurna terjadi jika seluruh karbon yang bereaksi dengan oksigen menghasilkan CO₂, hasil reaksi dengan hidrogen menjadi H₂O dan yang dengan sulfur menghasilkan SO₂. Pembakaran yang tidak sempurna menyisakan unsur C dan gas hasilnya tidak seluruhnya berupa CO₂. Hal ini menjadi dasar untuk menambahkan jumlah udara pembakaran melebihi kebutuhan teoritis. Hal ini dinyatakan dalam parameter rasio udara-bahan bakar.

Api (*flame*) dan pembakaran merupakan fenomena yang tidak dapat dipisahkan dalam artian bahwa proses oksidasi terjadi secara cepat untuk menghasilkan panas. Proses pembakaran sempurna harus memenuhi campuran udara dan bahan bakar yang cukup (ideal). Mekanisme proses pembakaran terjadi karena adanya komposisi bahan bakar dan udara yang seimbang, dengan adanya percikan api berakibat timbulnya pembakaran, selain menghasilkan produksi panas juga gas yang tidak sempat terbakar sehingga menimbulkan gas asap atau berbentuk jelaga. Tujuan pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas dalam sistem.

Di sisi lain, proses difusi yang terjadi dalam susunan atom-atom pada dasarnya merupakan loncatan atom-atom dari suatu posisi tertentu menuju posisi yang berdekatan padanya. Mekanisme yang terjadi adalah mekanisme interstisi dan substitusi. Prinsip mekanisme difusi kekosongan (*vacancy*) terjadi jika suatu atom mengisi kekosongan yang terdapat pada susunan atom-atomnya. Hal ini akan menyebabkan terjadinya kekosongan pula pada atom yang ditinggalkan. Istilah difusi berasal dari bahasa Latin *diffundere* yang berarti menyebar. Perubahan difusi adalah gerakan zat (atom, ion atau molekul) dari daerah konsentrasi tinggi ke daerah konsentrasi rendah. Dari sudut pandang atomistik, difusi dianggap sebagai akibat dari pergerakan acak dari partikel menyebar. Dalam difusi molekul yang bergerak bersifat *self-propelled* oleh energi panas. Dalam hal ini oksigen dapat menyebar melalui membran sel dan jika ada konsentrasi yang lebih tinggi dari

oksigen di luar sel daripada di dalam, molekul oksigen akan berdifusi ke dalam sel. Namun karena gerakan molekul yang acak, kadang-kadang molekul oksigen akan bergerak keluar dari sel (melawan gradien konsentrasi). Proses difusi ini juga bisa diterapkan, atau terjadi pada proses pembakaran. Artikel ini disusun dari penelitian yang memodelkan salah satu karakteristik bahan bakar, yaitu porositasnya, dan mengkaitkannya dengan kualitas pembakaran. Dengan obyek bahan bakar nabati, hasil penelitian ini diharapkan memberikan tambahan pengetahuan tentang proses pembakaran bahan bakar nabati yang lebih efektif dan efisien. Tujuan akhirnya adalah ikut menyumbangkan pemikiran pada permasalahan energi alternatif untuk pengganti bahan bakar fosil.

Karakteristik tanaman sumber

a. Minyak sawit

Minyak sawit [5] adalah minyak berkadar lemak jenuh tinggi, dengan wujud semi padatan pada suhu ruangan. Kandungan minyak sawit dibedakan atas lemak jenuh (*lauric acid* - 0,1%; *miristate acid* - 1%; *stearic acid* - 5%, dan *palmitic acid* - 44%), dan tak jenuh (*oleic acid* - 39%, dan *linoleic acid* - 10%).

b. Minyak jarak pagar

Minyak jarak pagar mempunyai sifat fisik yang unik. Pada suhu ruang berwujud cair, stabil pada suhu ekstrim tinggi dan rendah. Minyak ini adalah trigliserida yang terdiri atas 90% *ricinoleic acid*. Keutamaannya dapat diproduksi secara alami [6]. Berbagai penelitian tentang minyak jarak, menggunakannya sebagai substitusi diesel. Minyak ini mampu menghasilkan torsi tinggi tetapi daya mesin tidak bisa maksimal jika dicampur dengan biodiesel. Konsumsi bahan bakar biodiesel murni lebih efisien dalam penggunaannya [7].

c. Minyak Kapas

Minyak biji kapas [8] berwujud minyak goreng biji kapas dari spesies *Gossypium hirsutum* dan *Gossypium herbaceum*. Kedua jenis spesies ini biasanya ditanam untuk diambil seratnya, dan digunakan untuk makanan hewan ternak. Olahan minyak merupakan produk baru. Struktur biji kapas sama dengan umumnya biji-bijian lainnya, yaitu memiliki kernel yang mengandung minyak. Asam lemak biji kapas terdiri dari asam lemak tak jenuh (18% tunggal, 52% ganda), dan asam lemak jenuh (26%). Profil asam lemak ini berubah ketika mengalami proses hidrogenasi, dimana mayoritas kandungannya adalah lemak jenuh (sekitar 94%) dan sisanya adalah asam lemak tak jenuh (1,5% tunggal, 0,5% ganda).

d. Minyak Kapuk

Bijih kapuk dipanen sebagai sumber serat dan bahan bakar. Minyaknya diperas dari biji dan digunakan sebagai pelumas dan bahan bakar lampu. Hal ini menjadikan minyak kapuk sebagai sumber energi alternatif [9]. Haryono et al [10] dan Wijayanti [11] membuktikan bahwa proses transesterifikasi menggunakan methanol, mengubah minyak biji kapuk menjadi biodiesel. Metil ester dari minyak bijih kapok sifat-sifatnya berubah mendekati minyak solar untuk variabel kekentalan, titik nyala dan *cetane number*.

e. Minyak Nyamplung

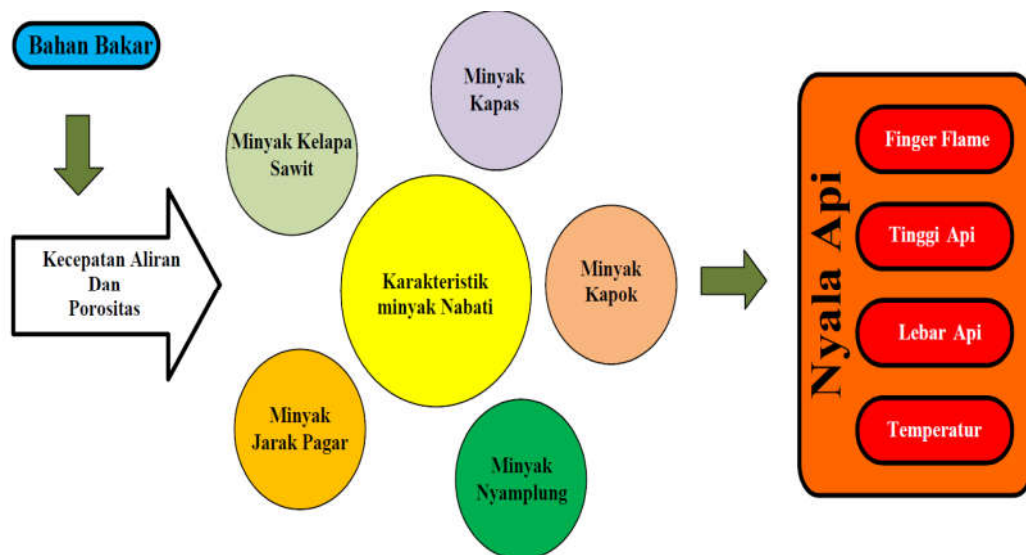
Minyak nyamplung tersusun sebagai asam lemak jenuh. Bisa juga merupakan rangkaian asam lemak tak jenuh dengan rantai karbon panjang. Kandungan utama minyak nyamplung adalah *oleic acid* (37,57%), *linoleic acid* (26,33%), dan *stearic acid* (19,96%). Meskipun proses pengolahan minyak nyamplung hampir sama dengan berbagai jenis minyak lainnya, zat yang bisa diekstrak jauh lebih besar [12].

METODE PENELITIAN

Porositas bahan bakar nabati akan disimulasikan melalui pengamatan, dan penganalisisan dari rekaman pembakaran. Sumber rekaman adalah data penelitian Soebiyakto [4]. Minyak nabati yang digunakan bersumber dari tanaman *nyamplung*, *jarak*, *kapas*, *sawit* dan *kapuk*. Rekaman nyala api berbentuk video dikonversikan menjadi gambar diam, lalu dianalisis indikasi porositasnya dengan menggunakan aplikasi ImageJ. Indikasi porositas nyala api hasil pembakaran ditinjau dari gradasi warna yang tertangkap rekaman.

Kerangka konsep penelitian

Konsep penelitian diskemakan dalam Gambar 1. Bahan bakar yang dibakar pada kecepatan aliran dan porositas yang berbeda, akan menghasilkan karakteristik nyala api yang berbeda, karena perbedaan karakteristik minyak nabati sumbernya. Karakteristik nyala api yang dapat diamati adalah *finger flame* (jari-jari jilatan api), tinggi api pembakaran, lebar nyala api, dan temperatur nyala api. Dengan demikian, mengikuti alur terbalik dari konsepsi tersebut, dapat dikatakan bahwa gambar nyala api dapat dianalisis untuk menentukan porositas bahan bakar penghasilnya. Sumber bahan bakar yang berbeda diduga akan menghasilkan nyala api yang berbeda, dan porositas bahan bakarnya juga akan berbeda.



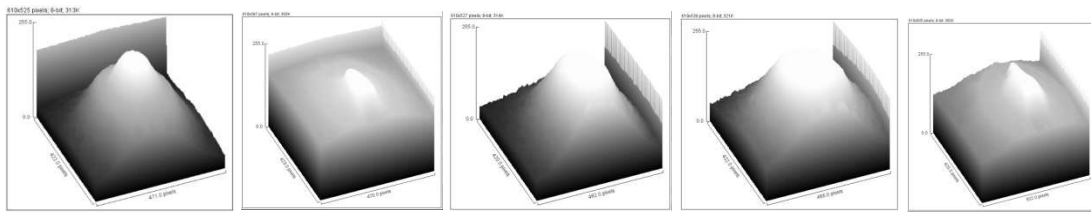
Gambar 1. Kerangka konsep penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar diam hasil konversi rekaman nyala api ditampilkan pada Gambar 2. Dari gambar-gambar nyala api tersebut dilakukan analisis sebaran warna dengan menggunakan aplikasi ImageJ. Hasilnya ditampilkan pada Gambar 3.



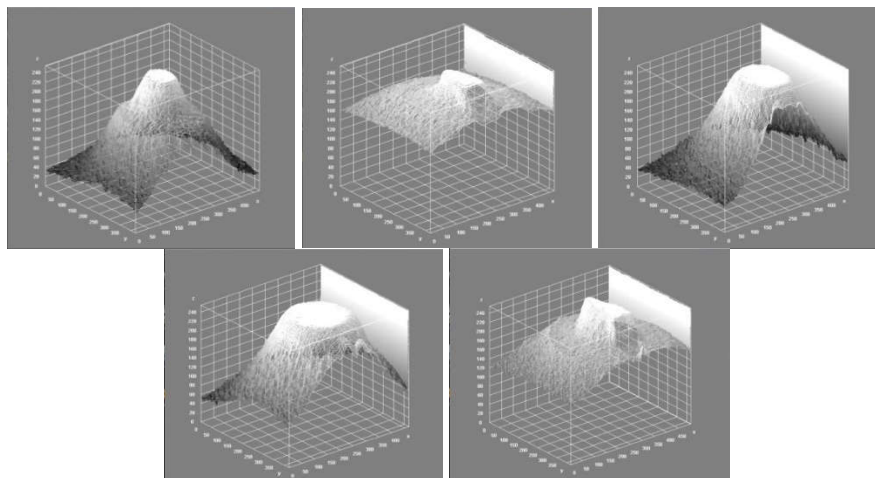
Gambar 2. Profil nyala api pembakaran bahan bakar nabati. Berurutan dari kiri ke kanan : minyak kapuk, minyak nyamplung, minyak sawit, minyak kapas, dan minyak jarak pagar



Gambar 3. Hasil analisis profil nyala api pembakaran bahan bakar nabati. Berurutan dari kiri ke kanan : minyak kapuk (525), minyak nyamplung (587), minyak sawit (527), minyak kapas (539), dan minyak jarak pagar (605)

Gambar 3 menunjukkan perbedaan gelap terang dari nyala api ditampilkan dalam bentuk kurva degradasi, dimana yang paling putih adalah nyala paling terang. Distribusi kecerahan nyala api menunjukkan bahwa minyak nyamplung dan jarak pagar menghasilkan sebaran nyala yang lebih luas dari 3 jenis minyak lainnya. Minyak kapuk, sawit dan kapas menghasilkan nyala yang lebih terpusat. Jika Gambar 3 dianalisis lebih detail untuk melihat profil nyala dalam 3D, akan tampak indikasi porositas bahan bakar, yang ditunjukkan oleh perforasi nyala api pada Gambar 4. Hasil analisis kedalaman perforasi nyala api menunjukkan bahwa minyak nyamplung dan jarak pagar, selain sebarannya lebih luas, juga memiliki homogenitas aliran bahan bakar yang lebih padat. Ketiga jenis minyak nabati lainnya tampak lebih perforatif, artinya porositasnya lebih besar. Jika dikaitkan dengan pemanfaatan sebagai pengganti minyak tanah, minyak nyamplung dan jarak pagar lebih bisa menghasilkan efektifitas dan efisiensi pembakaran yang lebih baik. Nilai numerik dalam satuan pixel bisa ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada Tabel 1 tampak bahwa area nyala api yang terfokus ditunjukkan oleh nilai pixel paling kecil, dengan demikian urutan kualitas nyala api dari tingkat intensitas nyalanya dari yang tertinggi hingga terendah adalah nyamplung, jarak, kapas, kapuk dan sawit. Porositas diindikasikan oleh lebarnya jarak pixel yang ditandai dengan besaran *range* tertinggi. Nyala yang memiliki nilai *range* tertinggi artinya memiliki porositas tertinggi, apinya tidak terlalu padat. Urutannya terbalik dari urutan area nyala api. Prosentase penyalaan tertinggi (untuk area nyala api) dihasilkan minyak nyamplung (81,5%) dan terendah minyak sawit (18,82%). Hal ini berarti bahwa kadar panas di area nyala api minyak nyamplung lebih baik dari minyak-minyak lainnya, yang tampak juga dari profil 3D pada Gambar 4, dimana derajat panas minyak nyamplung berprofil mendatar dengan beda nyala tidak terlalu jauh, demikian juga dengan minyak jarak, sementara minyak lainnya cenderung hanya terjadi di area atas saja.



Gambar 4. Perforasi nyala api yang mengindikasikan porositas bahan bakar minyak nabati. Berurutan dari kiri ke kanan : minyak kapuk, minyak nyamplung, minyak sawit, minyak kapas, dan minyak jarak pagar

Tabel 1. Nilai numerik hasil analisis

	Area Api	Range	%
Jarak	10240	73	71,26
kapas	22685	168	34,12
kapuk	11793	206	18,90
nyamplung	5721	47	81,50
sawit	18141	207	18,82

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian bisa disimpulkan bahwa analisis nyala api berbasis gambar konversi dari rekaman pembakaran bisa digunakan untuk memprediksi tingkat porositas bahan bakar. Minyak nabati dari tanaman nyamplung dan jarak pagar memiliki kepadatan aliran yang lebih baik (5721 & 10240 pixel) dari minyak kapas, kapuk, dan sawit. Sebaran nyala api dari minyak nyamplung dan jarak pagar juga lebih luas. Sebagai pengganti minyak tanah, minyak nabati nyamplung dan jarak pagar diindikasikan mampu menghasilkan efektifitas dan efisiensi yang lebih baik (81.5% dan 71,26%; mendatar, menyebar) dari jenis minyak nabati lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini merupakan bagian dari Program Penelitian Internal yang didanai oleh LPPM Universitas Widyagama Malang, melalui SK Rektor No. 53/PTS.030.H1/Kep./IX/2020 tanggal 16 September 2020.

REFERENSI

- [1] G. Hewitt, G. Shires, and Y. Polezhaev, *International Encyclopedia of Heat and Mass Transfer*. CRC Press, 1997.
- [2] F. Dullien, *Porous Media. Fluid Transport and Pore Structure*. Academic Press, 1992.
- [3] B. Prastowo, "Bahan Bakar Nabati Asal Tanaman Perkebunan Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Tanah Untuk Rumah Tangga," *Perspektif*, vol. 6, no. 1, pp. 10–18, 2007.
- [4] G. Soebiyakto, "Karakteristik Nyala Api Pembakaran Premixed Minyak Nabati Dengan Induksi Medan Magnet Dan Penambahan Bio Aditif," Universitas Brawijaya Malang, 2020.
- [5] B. T. Y. Ping and C. Y. May, "Valuable minor constituents of commercial red palm olein: carotenoids, vitamin E, ubiquinones and sterols," *J. Oil Palm Res.*, vol. 12, no. 1, pp. 14–24, 2000.
- [6] F. Naughton, "Castor Oil," in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, New York: John Wiley, 2001.
- [7] G. Timu, N. Finahari, and G. Soebiyakto, "Analisa penggunaan minyak jarak pagar (*jatropha curcas* oil) sebagai campuran bahan bakar biodiesel," *Proton*, vol. 4, no. 2, pp. 16–22, 2012.

- [8] Bursatriannyo, "Teknik Penjernihan Minyak Biji Kapas Sebagai Minyak Makan," *Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan*, 2013. <http://perkebunan.litbang.pertanian.go.id/teknik-penjernihan-minyak-biji-kapas-sebagai-minyak-makan/> (accessed Sep. 01, 2020).
- [9] H. Ashton, *The Royal Horticultural Society New Encyclopedia of Herbs & Their Uses*, Revision. London: Dorling Kindersley, 2004.
- [10] Haryono, Solihudin, E. Ernawati, and F. Arifiadi, "Biodiesel Dari Minyak Biji Kapuk (Ceiba Pentandra) Terozonasi Melalui Proses Dengan Bantuan Ultrasonik," *J. Tek. Kim.*, vol. 13, no. 2, pp. 61-66, 2019.
- [11] S. Wijayanti, "Pemanfaatan minyak biji kapuk (ceiba pentandra) menjadi methyl ester dengan proses esterifikasi transesterifikasi," in *Semnastek UMJ*, 2015, pp. 2460 - 8416, [Online]. Available: jurnal.ftumj.ac.id/index.php/semnastek.
- [12] I. M. T. Pertanian, "Biodiesel Nyamplung, Di antara Jenuhnya Jarak Pagar dan Tuntutan Kebutuhan Bioenergi," *Majalah Online Traksi*, 2010.

