

BAB I

PENDAHULUAN

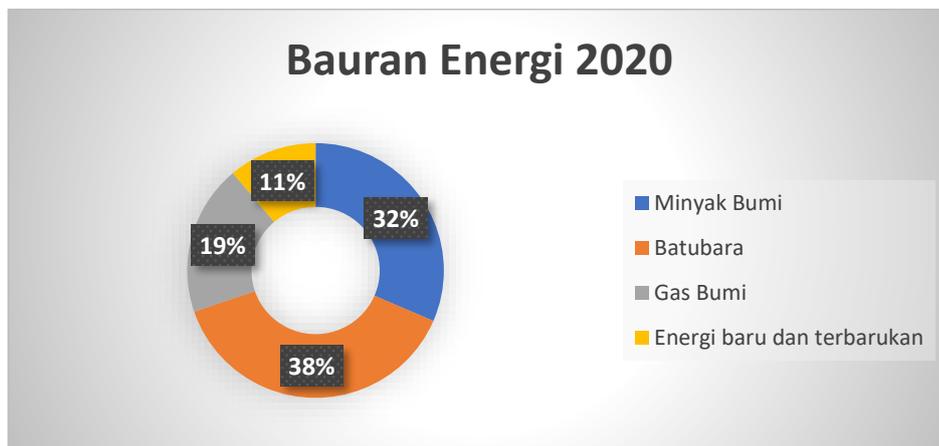
A. Latar Belakang

Peraturan Pemerintah (PP) No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional mendefinisikan bahwa sumber daya energi sebagai sumber daya yang pemanfaatannya dapat sebagai sumber daya atau energi. Sebagai sumber daya, terdapat dua kategori yaitu energi tak terbarukan dan energi terbarukan. Kelompok energi tak terbarukan atau dikenal sebagai energi fosil, diantaranya adalah minyak bumi, gas, batubara, nuklir. Adapun energi terbarukan termasuk diantaranya adalah tenaga air, panas bumi, Matahari, Biofuel, Biomassa, tenaga Laut dan tenaga angin.

Peraturan Presiden no. 22 tahun 2017 (Perpres 22 tahun 2017) tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menyebutkan bahwa sumber daya minyak bumi 151 milyar barel, cadangan 3,6 milyar barel, produksi 288 juta barel per tahun. Jika tidak ditemukan sumber baru maka minyak bumi usianya kurang dari 15 tahun; gas bumi 487 Triliun Cubic Feet (TCF), cadangan 98 TCF, produksi 3 TCF, umur 33 tahun; batubara sumberdaya 120, 5 milyar ton, cadangan sumber daya 32,4 milyar ton, produksi 393 juta ton, usia 82 tahun.

RUEN 2017 menargetkan optimalisasi bauran energi: Pada tahun 2025 kontribusi Energi Baru Terbarukan (EBT) paling sedikit 23% dan tahun 2050 paling sedikit 31 %. Pada tahun 2025 kontribusi minyak bumi lebih rendah dari 25% dan pada tahun 2050 lebih rendah dari 20%. pada tahun 2025 kontribusi batubara paling sedikit 30% dan pada tahun 2050 paling sedikit 25%. Pada tahun 2025 kontribusi Gas Bumi paling sedikit 22% dan paling sedikit 24% pada tahun 2050.

Pencapaian bauran energi pada tahun 2020 (gambar 1) dimana energi baru terbarukan pada kisaran 11 %, gas bumi pada angka 19 %, minyak bumi pada angka 31%, dan batubara pada angka 38%. Kalau dilihat dari data perbandingan konsumsi energi di Indonesia dalam kurun waktu 5 tahun antara tahun 2015 dengan 2020, terlihat adanya peningkatan penggunaan EBT sebesar 120% dari yang sebelumnya 5% menjadi 11%, penurunan konsumsi minyak bumi sebesar 30%, namun ada peningkatan konsumsi batubara sebesar 47%. (Siaran Pers Nomor: 126.Pers/04/Sji/2021 Tanggal: 7 April 2021)

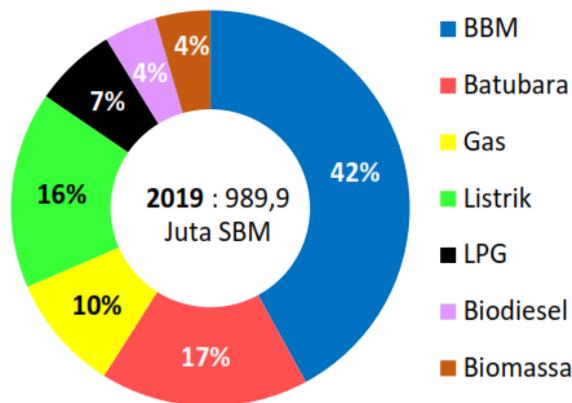


Gambar 1 Bauran Energi tahun 2020

(Siaran Pers Kemetretian ESDM Tanggal: 7 April 2021)

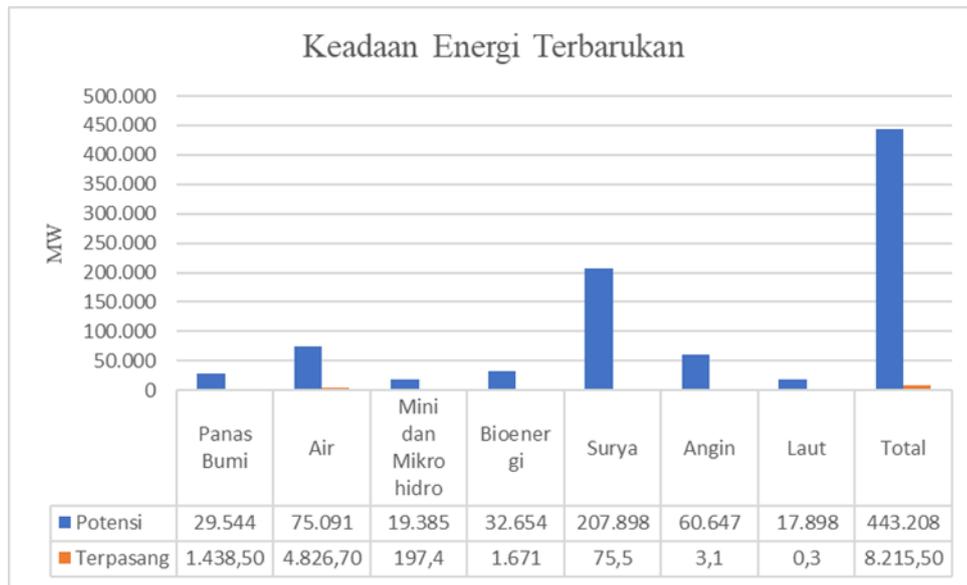
Outlook Energi Indonesia 2021 menyatakan bahwa Konsumsi Energi per Jenis pada tahun 2019 sebesar 989,9 juta Setara Barel Minyak (SBM) (Hilmawan, et al 2021) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2. Bahan Bakar Minyak (BBM) merupakan pengguna utama energi nasional seperti avgas, avtur, bensin, minyak tanah, solar, minyak diesel, dan minyak bakar, dimana penggunaan BBM tersebut terutama pada sektor transportasi. Data tersebut menunjukkan dominasi bahan bakar tak terbarukan sebagai sumber energi utama di Indonesia. Namun demikian

konsumsi Bahan Bakar Nabati (BBN) terutama biodiesel menunjukkan kecenderungan meningkat, terutama dengan adanya kewajiban penggunaan biodiesel.



Gambar 2. Konsumsi energi per jenis tahun 2019

Indonesia kaya dengan bermacam sumber energi terbarukan seperti tenaga air, *geothermal*, tenaga bayu, matahari, energi kelautan dan biomasa (gambar 3). Pada saat ini *geothermal* dengan potensi lebih dari 29.544 MW mempunyai kapasitas terpasang sebanyak 4%, tenaga air mempunyai potensi sebanyak 75.000 MW dengan kapasitas terpasang 6,5%. Mini-mikrohidro sumber dayanya sebesar 19.385 MW mempunyai kapasitas terpasang sebesar 1%. Biomasa dengan potensi sebanyak 32.654 MW mempunyai kapasitas terpasang sekitar 5%. Energi surya potensinya 207.898 MW mempunyai kapasitas terpasang sebesar 0,03%. Potensi Energi angin sebesar 60.647 MW mempunyai kapasitas terpasang 0,005%. Potensi keseluruhan energi terbarukan sebesar 443.208 MW sedangkan yang sudah dimanfaatkan sebesar 5 8.215 MW atau 1,8%. Data tersebut menunjukkan potensi sumber daya energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia belum dapat dimanfaatkan secara optimal.



Gambar 3. Pemanfaatan Energi Terbarukan di Indonesia
(Sumber: Perpres 22 tahun 2017)

Bahan bakar berbasis fosil sebagai energi yang tidak terbarukan, disamping mempunyai cadangan yang semakin terbatas, pada proses perubahan energi pada motor yang digunakan sebagai alat transportasi atau sistem pembangkitan tenaga yang lain, dapat berimplikasi dan mempunyai dampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan. Kajian *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPPC) menyatakan bahwa pembakaran bahan bakar berbasis fosil akan melepaskan emisi, diantaranya karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan sulfur dioksida (SO₂) yang berdampak terhadap permasalahan lingkungan, seperti pemanasan global, terjadinya hujan asam, kabut asap dan lain-lain. Pemanasan global berdampak terhadap manusia dan lingkungan (IPPC 2014a). Lebih lanjut dalam kajian *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPPC) bahwa dampak terjadinya perubahan iklim dapat menyebabkan berubahnya curah hujan dan mulai mencairnya salju di sebagian wilayah utara, yang berdampak terhadap sistem

hidrologi yang dapat berakibat kepada kondisi sumber daya air. *Glacier* berkurang di hampir seluruh dunia, yang mengakibatkan limpasan air pada daerah di bawahnya. Beberapa spesies darat, air tawar, dan laut mengalami perubahan pola aktifitasnya, baik yang bersifat musiman atau pola migrasinya. Perubahan iklim juga diyakini menyebabkan penurunan produksi pada beberapa tanaman pangan. Untuk mengurangi dampak perubahan iklim, maka Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) menetapkan batas perubahan temperatur global sebesar 2°C (IPPC 2014b). Untuk mencapai target ini, maka berarti menurunkan emisi gas buang CO₂, walaupun dalam kondisi permintaan energi yang semakin meningkat.

Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 (Perpres 5 tahun 2006) tentang Kebijakan Energi Nasional yang selanjutnya direvisi dengan PP No. 79 tahun 2014, secara bertahap akan mengubah paradigma penggunaan energi yang berbasis fosil dengan menggunakan sumber energi yang terbarukan. Pengelolaan Energi Nasional (BP-PEN) 2005-2025 mencanangkan biodiesel sebagai bahan substitusi BBM. *Blueprint* penggunaan biodiesel adalah 2% dari pemakaian solar tahun 2010 (720.000 kiloliter), 3% tahun 2015 (1,5 juta kiloliter) dan 5% pada tahun 2025 (4,7 juta kiloliter) (Perpres No. 5 tahun 2006). Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) nomor 12 tahun 2015 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati sebagai perubahan ke3 atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 32 tahun 2008, menetapkan pemanfaatan biodiesel sebagai campuran bahan bakar minyak sebesar 30% pada Januari 2020. Konsekuensi dari Permen ESDM tersebut adalah kebutuhan dan penyediaan bahan bakar biodiesel menjadi semakin besar.

Biodiesel merupakan campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang terdapat pada minyak dari tumbuhan atau dari lemak binatang. Biodiesel mempunyai karakteristik seperti minyak solar sehingga penggunaan biodiesel pada mesin tidak perlu banyak modifikasi terhadap motor (Mustafa dan Gerpen, 2001). Soerawidjaja (2005) menyatakan beberapa sifat biodiesel antara lain lebih ramah lingkungan, dapat dicampur langsung dengan minyak diesel, memiliki angka setana yang tinggi, kemampuan pelumasan yang tinggi, *biodegradable*, non toksik dan mudah digunakan.

Bahan baku utama biodiesel di Indonesia pada saat ini adalah berbasis pada *crude palm oil (CPO)* dari kelapa sawit, yang merupakan bahan pangan pokok di Indonesia. Penggunaan CPO sebagai bahan baku biodiesel dalam skala besar, tentu saja akan dapat bertentangan dengan PP No. 79, tahun 2014, dimana penggunaan energi terbarukan dari Bahan Bakar Nabati (BBN) dilakukan dengan tidak mengganggu ketahanan pangan. Produksi biodiesel dengan menggunakan bahan baku dari tanaman pangan dimungkinkan dapat menyebabkan meningkatnya harga pangan, oleh karena itu perlu alternatif berbagai sumber non pangan untuk bahan baku biodiesel.

Pengembangan kelapa sawit yang cukup masif di Indonesia seperti di Kalimantan dan Sumatra telah mengkonversi hutan alam menjadi perkebunan kelapa sawit, yang dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan hilangnya keanekaragaman hayati, dan berkurangnya populasi satwa, berkurangnya kuantitas air tanah, pencemaran air, perubahan iklim, perubahan tata guna lahan (Utami et. al., 2017; Giandadewi et. al., 2017).

Indonesia kaya dengan berbagai tanaman yang merupakan sumber minyak nabati sebagai pengganti bahan bakar fosil. Terdapat setidaknya 30 spesies tanaman yang potensial sebagai bahan pembuatan biodiesel. Selain kelapa sawit (*Elaeis oleifera*), tanaman bahan baku biodiesel antara lain: jarak pagar (*Jatropha curcas* L.), Kemiri Sunan, Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*), Kelapa (*Cocos nucifera*), kapuk Randu, Kepoh, Kacang tanah, Bintaro, Biji Karet (Kartika et al. 2012). Biji Kemiri Sunan memiliki kandungan minyak yang sampai 52% minyak kasar Kemiri Sunan (Hendra, 2014). Produktifitas lahan untuk biodiesel dari minyak Kemiri Sunan bisa mencapai 4 kali lebih besar dan 2 kali dibandingkan dengan Minyak Kelapa Sawit (Lathifan et. al., 2014; Aunillah dan Pranowo, 2014; Hendra, 2014). Komposisi minyak terdiri dari asam a-elaeostearic sebesar 51%, asam linoleic sebesar 19%, asam oleic 12%, asam palmitic 10%, asam stearic 9% (Vossen dan Umali, 2002). Kandungan Asam a-elaeostearic bersifat toksik, sehingga Kemiri Sunan tidak dapat dikonsumsi dan penggunaan sebagai biodiesel tidak akan terjadi kompetisi dengan keperluan untuk makanan. Minyak Kemiri Sunan juga dapat digunakan sebagai insektisida alami untuk membunuh hama dan bahan pengawet cat (Pranowo et.al., 2014).

Tanaman Kemiri Sunan dapat dijumpai di beberapa wilayah di Indonesia. Tanaman Kemiri Sunan ditemukan di desa Sumur Boyolali, sepanjang sabuk hijau waduk Gajah Mungkur, Wonogiri. Kemiri sunan juga dapat ditemukan di Kabupaten Majalengka, Subang, Sumedang, dan Garut, baik yang tumbuh secara alami maupun hasil kegiatan penanaman (Wulandari et. al., 2015). Kemiri sunan dikembangkan di Kabupaten Lampung Selatan Provinsi Lampung mencapai luasan

43.000 Ha (Fauzi et. al., 2018). Kemiri Sunan menunjukkan pertumbuhan dan perkembangan yang baik di lahan marginal seperti di Bangka Belitung, Nusa Tenggara Timur dan Jawa Barat (Pranowo et. al., 2015). Penanaman Kemiri Sunan mempunyai kelayakan secara ekonomi jika diusahakan pada luas lahan 60 Ha dengan umur usaha 50 tahun (Wulandari et. al., 2015).

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar untuk substitusi minyak solar bukannya tanpa adanya kelemahannya. *Centre for Sustainable Engineering* (2005) mempublikasikan karakteristik biodiesel sebagai bahan bakar. Kelebihan biodiesel dibanding minyak solar sebagai bahan bakar motor diesel dapat dilihat dari berbagai aspek seperti:

1. Aspek Lingkungan.

- a. Emisi CO₂ lebih rendah.
- b. Tidak mempunyai kandungan belerang (sulfur), dan secara umum kandungan partikelnya juga rendah.
- c. Tidak beracun dan terdegradasi secara biologis (biodegradable).
- d. Bahan terbarukan, karena berasal dari alam yang dapat diperbarui.
- e. Keuntungan komparatif penggunaan biodiesel adalah adanya keseimbangan antara ekonomi, pertanian dan lingkungan.

2. Kinerja sebagai bahan bakar.

- a. Titik nyala (flash point) yang tinggi sehingga meningkatkan keamanan selama proses *handling*.
- b. Angka cetane yang tinggi sehingga menurunkan kelambatan pembakaran dan detonasi.

- c. Ketika dicampur dengan minyak diesel dengan kandungan sulfur rendah, biodiesel dapat berfungsi untuk meningkatkan fungsi pelumasan, sehingga mesin lebih awet.
- d. Dapat digunakan tanpa masalah ketika dicampur dengan minyak diesel dengan prosentase tertentu.

Adapun Kekurangan Biodiesel jika dibandingkan dengan minyak diesel adalah:

1. Aspek Lingkungan.

- a. Emisi NO_x yang lebih tinggi.
- b. Meskipun sebagian besar emisi rendah, namun tetap masih ada, sehingga potensi terhadap gangguan kesehatan masih ada ketika konsentrasinya tinggi.

2. Kinerja sebagai bahan bakar.

- a. Viskositas yang tinggi, terutama pada suhu rendah, sehingga dapat mengganggu pada saat starting.
- b. Dapat menyebabkan kerusakan pada beberapa jenis *seal* yang berbahan karet tertentu.
- c. Mudah rusak jika tercampur dengan air.
- d. Metode produksi yang mahal, sehingga lebih harga mahal jika dibandingkan dengan minyak solar.

B. Perumusan Masalah

Minyak dari biji Kemiri Sunan (*Reutalis trisperma (Blanco) Airy Shaw*) mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai biodiesel. Hal tersebut dapat dilihat antara lain dari kandungan minyaknya yang lebih tinggi jika dibandingkan

dengan bahan baku biodiesel lainnya. Proses produksi biodiesel dengan metode yang sesuai dapat menghasilkan karakteristik biodiesel yang sesuai dengan Standar biodiesel. Namun demikian masih banyak pertanyaan yang terkait dengan penggunaan biodiesel dari minyak Kemiri Sunan sebagai bahan bakar pada motor diesel.

Rumusan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik fisika dan kimia biodiesel Kemiri Sunan yang diproses dengan metode transestrifikasi?
2. Bagaimanakah kinerja motor diesel yang memakai biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak solar dengan berbagai variasi perbandingan campuran?
3. Bagaimanakah kandungan emisi gas buang dari motor diesel yang memakai biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak solar dengan berbagai variasi perbandingan campuran?

C. Orisinalitas Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan mempunyai orisinalitas, karena berbeda dengan penelitian yang dilakukan para peneliti terdahulu. Kajian literatur menunjukkan beberapa penelitian tentang pembuatan biodiesel dari Kemiri Sunan. Parameter penelitian yang dipakai pada penelitian ini berbeda dengan parameter peneliti sebelumnya, yaitu prosentase katalis, temperatur reaksi, perbandingan minyak dengan methanol dan kecepatan pengadukan. Beberapa variabel tersebut menunjukkan orisinalitas dari penelitian ini.

1. Penelitian terdahulu yang terkait dengan pembuatan biodiesel Kemiri Sunan

Penelitian terdahulu yang terkait dengan dengan pembuatan biodiesel Kemiri Sunan sebagaimana pada Tabel 1 Anggraini et. Al. (2013) melakukan karakterisasi biodiesel dari minyak Kemiri Sunan dengan katalis KOH; Aunillah dan Pranowo (2012) meneliti karakteristik biodiesel Kemiri Sunan dengan transesterifikasi dua tahap; Joelianingsih et. al. (2016) melakukan sintesis biodiesel dari minyak Kemiri Sunan dengan Esterifikasi dan Transesterifikasi secara bertahap; Ritonga et. al. (2016) meneliti pungenan Co-Solvent Aseton dan katalis Heterogen Natrium Silikat; Widyasanti et. al. (2017) meneliti pengaruh suhu pada Transesterifikasi pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan; Anggraini (2018) meneliti pembuatan Biodiesel dari Minyak Kemiri Sunan; Nurjanah et. al. (2019) mengkaji perbedaan kapasitas pada transesterifikasi; Haryono et. al. (2020) meneliti penggunaan katalis heterogen Silika terimpregnasi Kalsium Oksida (CaO/SiO); Gustry et. al. (2020) meneliti penggunaan minyak Kemiri Sunan sebagai biodiesel.

Tabel 1 Penelitian Pembuatan Biodiesel Terdahulu Yang Terkait

No.	Nama, tahun,	Metode	Hasil/Simpulan/Saran
1	Anggraini et. al. (2013)	Transesterifikasi RETRO memakai katalis kalsium hidroksida dengan variasi katalis 0,5–2,0 % wt/wt minyak, dengan suhu reaksi 65 °C.	Yield biodesel Kemiri Sunan lebih tinggi pada konsentrasi katalis (0,5-1,0 %) sedangkan konsentrasi katalis (1,5-2.0 %) menghasilkan lebih rendah. Konsentrasi

			katalis 1% adalah kondisi optimum dengan hasil sebesar 83,33%.
2	Aunillah dan Pranowo, (2012)	Transesterifikasi 2 tahap, katalis KOH dengan minyak (0,2% w/w). Suhu 60 °C, waktu 45 menit.	Rendemen biodiesel kemiri sunan sebesar 88%. Residu karbon belum memenuhi standar SNI
3	Joelianingsih et. al. (2016)	Esterifikasi: Katalis H ₂ SO ₄ , waktu (2, 4,6 jam). Transesterifikasi: katalis KOH, rasio mol minyak terhadap metanol 1:6, suhu 65°C, kecepatan pengadukan 1300 rpm, waktu (0,5; 1; 1,5; 2 jam) dan diameter <i>magnetic stirrer</i> (4 dan 5 cm)	Esterifikasi optimum adalah 4 jam. Transesterifikasi optimum adalah 0,5 jam. Diameter <i>magnetic stirer</i> berpengaruh terhadap produksi biodiesel
3	Murni et.al. (2016)	Esterifikasi: katalis H ₂ SO ₄ , molar rasio minyak: metanol 1:5, katalis 0,5%-w/w) minyak, suhu 60°C dan waktu 2 jam. Transesterifikasi:	FFA berkurang menjadi 0,55% dengan katalis H ₂ SO ₄ (0,5% w/w) minyak, waktu 120 menit. Yield biodiesel 83% dengan katalis NaOH (0,75%-

		rasio molar minyak metanol 1:7, katalis NaOH (0,5 dan 0,75%-w/w), suhu 60°C.	w/w), waktu 90 menit. Biodiesel yang dihasilkan memiliki densitas 875 kg/m ³ , viskositas 2,35 cSt, <i>flash point</i> 163°C dan titik tuang -2,5°C.
5	Ritonga et. al. (2016)	Transesterifikasi minyak hasil pretreatmen sebanyak 40 gram dicampur dengan aseton (10%,20%, 30%), pengadukan 30 menit, katalis Natrium Silikat (1%, 3%, 5%) dan methanol (6:1 w/w) minyak, suhu (30°C, 40°C, 50°C) dan waktu (10, 30 dan 50 menit)	Kondisi optimal dengan yield sebesar 96,14%, katalis: minyak (3% w/w), Jumlah <i>co-solvent</i> 20%, selama 30 menit dan temperatur 40°C.
6	Widyasanti et. al. (2017)	Esterifikasi. Metanol: minyak 6:1 dan suhu 60°C, katalis H ₂ SO ₄ , 1% w/w dan waktu 2 jam.	Yield = 6,55%; densitas 1,036 g/ml; kadar air 0%(w/w); bilangan asam 0,862 mgKOH/g; viskositas 6,241 cSt dan bilangan iod 32,11 gI ₂ /100g.

		<p>Transesterifikasi: katalis KOH 1% w/w dan metanol:minyak 6:1, suhu 50°C, 65 °C, pengadukan 350 rpm, waktu 120 menit</p>	
7	Anggraini (2018)	<p>esterifikasi katalis H₂SO₄ minyak:metanol (3:1) waktu 2 jam. Transesterifikasi: katalis KOH (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 % w/w), rasio minyak:metanol (1:1; 2:1; 3:1 (w/w)), dan suhu 65°C, waktu 1 jam.</p>	<p><i>Yield</i> optimal sebesar 96,91%, dengan katalis KOH 1 % (w/w) minyak, rasio minyak:metanol 1:1 (w/w) dan suhu 65°C. Angka asam 0,41-0,56 mgKOH/gram; densitas 0,89-0,91 g/cm³; viskositas 8,28- 12,70 cSt; angka setana 58,2-63,3 dan residu karbon 0,23-0,59 % w/w.</p>
8	S Nurjanah et. al. (2019)	<p>Esterifikasi: katalis H₂SO₄ Transesterifikasi: minyak dan methanol 1:6 dengan katalis KOH 1% suhu 60°C.</p>	<p>Kadar air 0,07%, bilangan asam 1,76 mg- KOH/g minyak. 4 FAME adalah metil palmitat, metil linoleat, metil oleat dan metil linolenat.</p>

9	Sari et. al. (2020)	<p>Waktu reaksi (1,5; 2; 2,5 jam) dan perbandingan pelarut dengan minyak (0,25; 0,2; 0,17)</p> <p>Esterifikasi: Katalis H₂SO₄. suhu 60°C waktu 60 menit.</p> <p>Rasio minyak dan metanol (4:1 v/v), Transestrifikasi: suhu 50°C, waktu 30menit.</p>	<p>waktu optimal 2 jam, rasio pelarut terhadap minyak adalah 0,17. Densitas adalah 0,82 g/ml, viskositas 4,07cSt, FFA 1,4%, dan saponifikasi 274,4.</p>
10	Emmaputri et. al. (2018)	<p>Esterifikasi: katalis H₂SO₄.</p> <p>Transesterifikasi: katalis KOH, dengan 3 macam Suhu destilasi fraksinasi</p>	<p>Hasil: <i>Yield</i> 16,08%, viskositas kinematik 2,69 cSt, densitas 872,27g/cm³, kadar air0,22%; bilangan asam 0,27 mg KOH/g, bilangan iod 17,83 g-I₂/100 g, titik nyala 288,33°C; angka setana 71,5</p>
11	Hendra (2014)	<p>katalis HPO sebesar 0,5%, 0,75%, 1%, esterifikasi: perbandingan katalis - metanol adalah</p>	<p>Pada campuran metanol 20% (v/v) dan katalis NaOH 0,6% (v/v), menghasilkan:</p>

		<p>10%, 15%, 20% dengan HCl, dan H₂SO₄ sebesar 0,5%, 0,75% dan 1%.</p> <p>Transesterifikasi katalis-metanol sebesar 10%, 15%, 20% dengan KOH dan NaOH sebesar 0,2%, 0,4%, 0,6%.</p>	<p>Rendemen 79,92%, kadar air 0,05%, bilangan asam 0,76 mg KOH/g, FFA 0,38%, densitas 865 g/cm³, viskositas kinematik 5,41cSt, bilangan penyabunan 101,49 mg KOH/g, kadar alkil ester 104,55%, bilangan Iod 109,73 g I /100g, angka setana 59,08.</p>
12	Herizal dan Anwar (2015)	<p>Katalis garam Ni (NO₃)₂ · 6H₂O dan γAl₂O₃</p> <p>Proses hidrogenasi minyak kemiri sunan dilakukan dalam reaktor autoclave kapasitas 1 Lt pada suhu 200°C dan tekanan 3 atm selama 2 dan 3 jam, pengadukan 300 rpm. Katalis hidrogenasi yang digunakan adalah 10%, 20% dan 30% γ Al dengan jumlah</p>	<p>Hidrogenasi terhadap minyak Kemiri Sunan menggunakan katalis 30% Ni γ Al₂O₃ pada kondisi suhu 200°C, tekanan 3 bar, lamanya reaksi 3 jam dan katalis yang digunakan sebanyak 0,6% wt terhadap minyak telah dapat menurunkan angka iodium sebelumnya 129,34 g-I₂/100 g menjadi 112,02 g-I₂/100 g g-I₂/100 g. Perolehan biodiesel melalui tahapan</p>

		<p>katalis yang digunakan sebanyak 0,2; 0,4 dan 0,6% (w/w) terhadap minyak.</p> <p>Esterifikasi: Metanol 1,5 x FFA 3% H₂SO₄ T=60°C, t=3jam, 1.000RPM</p> <p>Transesterifikasi: Metanol / Kemiri Sunan 10:1 KOH 1%, T = 60°C t = 1 Jam RPM = 1000</p>	<p>hidrogenasi bahan baku dan proses esterifikasi serta transesterifikasi sebesar 86,65%.</p>
13	Haryono et. al. (2020)	<p>Esterifikasi: selama 1; 1,5; dan 2 jam, katalis H₂SO₄.</p> <p>Transesterifikasi: Katalis CaO/SiO dari cangkang telur dan sekam padi. Suhu 60°C, rasio mol minyak : metanol adalah 1:9, 2 jam, dan kadar katalis CaO/SiO 3%.</p>	<p>kadar FFA turun 12,5% (tanpa esterifikasi) menjadi 0,65%; 0,58%; dan 0,54%. Biodiesel yang disintesis dengan katalis CaO/SiO₂ pada transesterifikasi beberapa parameter telah sesuai standar SNI 7182-2015</p>
14	Khairunnisa et. al. (2014)	Esterifikasi:	Kondisi optimal pada perbandingan minyak

	<p>minyak dan metanol (1:1 w/w) dan 10% H₃PO, suhu 68°C, waktu 2 jam.</p> <p>Transesterifikasi: Minyak dan metanol dengan perbandingan 1:1; 1:2; 1:3; 1:4 dan 1:5 (w/w) dan 1,5% katalis CaO terhadap berat minyak.</p> <p>Kemudian diradiasi dengan gelombang mikro selama 3 menit</p>	<p>dan metanol 1:4 (w/w), menghasilkan nilai densitas terkecil sebesar 911,69 g/cm³ dan viskositas 36,8 cSt.</p> <p>Hasil uji GC-MS pada biodiesel diketahui terdapat 5 macam metil ester di dalam biodiesel yaitu metil palmitat, metil 11-oktadekanoat, metil stearat, metil a-eleostearat, dan metil linolenat.</p>
--	--	---

Kajian aspek kinerja motor diesel dan karakteristik emisi gas buang pada penggunaan bahan bakar dari biodiesel sudah banyak dilakukan, tetapi belum banyak penelitian penggunaan biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang melihat aspek kinerja mesin dan karakteristik emisi gas buang motor diesel. Penelitian selama ini menggunakan biodiesel yang antara lain dibuat dari minyak sawit, minyak kedelai, minyak jarak (*Jathropa oil*), Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum Methyl Esther*), biji kapas, biji bunga matahari dan sebagainya. Penelitian pengujian biodiesel dengan berbagai bahan baku sebagai mana tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2 Penelitian Pengujian bahan bakar Biodiesel Terdahulu Yang Terkait

No	Nama, tahun	Metode	Hasil/Simpulan/Saran
1	Riesta et. al. (2013)	<p>Biodiesel dari minyak nyamplung digunakan pada generator diesel daya 5 kVA.</p> <p>Pengujian biodiesel murni, campuran 50% dan menggunakan minyak solar sebagai acuan.</p>	<p>Terjadi peningkatan waktu <i>cold start</i> dan <i>start</i> panas pada penggunaan biodiesel nyamplung dibanding dengan acuan. Bahan bakar campuran 50% menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar sebesar 10.8% dan penggunaan biodiesel nyamplung 100% meningkat konsumsi bahan bakar sebesar 16.8%.</p> <p>Penggunaan biodiesel Nyamplung dan campurannya menyebabkan penurunan emisi gas CO₂, sedangkan emisi gas CO, NO₂, HC dan opasitas mengalami peningkatan.</p>
2	Rao et. al. (2009)	<p>Evaluasi kinerja dan emisi gas buang dari bahan bakar biodiesel dari minyak jarak</p>	<p>Hasil menunjukkan:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mesin bekerja dengan lembut sebagaimana

		<p>(<i>jathropa oil</i>) dan campuran dengan minyak diesel pada mesin diesel satu selinder dengan menggunakan pendingin udara</p>	<p>menggunakan minyak diesel.</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. <i>Jathropa oil</i> meningkatkan thermal efisiensi dibanding dengan minyak diesel. 3. Temperature gas buang lebih rendah dibandingkan dengan minyak diesel 4. Emisi CO₂ lebih rendah menggunakan <i>jathropa oil</i> 5. Emisi CO rendah ketika pada beban tinggi. 6. Emisi NOx lebih tinggi menggunakan <i>jathropa oil</i>. 7. Emisi asap lebih rendah pada <i>Jathropa oil</i>.
3	Mensah et. al. (2013)	Evaluasi kinerja mesin dengan menggunakan biodiesel dari limbah cangkang kelapa sawit membandingkan	Kinerja mesin dengan B 10 (90% minyak diesel + 10 limbah cangkang sawit) dan B 20 (80% minyak diesel

		<p>dengan minyak diesel.</p> <p>Kinerja mesin yang diamati meliputi Daya, efisiensi thermal, konsumsi bahan bakar spesifik, temperatur gas buang.</p>	<p>dan 20% limbah cangkang sawit) menghasilkan daya rem dan efisiensi thermal yang lebih tinggi, namun temperatur gas buang yang rendah pada semua kondisi beban dan B20 menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah, dibandingkan dengan semua jenis campuran.</p>
4	Wood et. al. (2015)	<p>Variasi konsumsi bahan bakar, torsi dan daya mesin dievaluasi pada motor diesel generator satu selinder dengan menggunakan bahan bakar biodiesel dari Rapeseed, Kedelai and Minyak Bunga matahari dan juga dengan minyak diesel EN 590.</p>	<p>Hasil penelitian:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Memundurkan 2 derajat dari standar awal injeksi pada biodiesel B50 menghasilkan torsi puncak dan penurunan tekanan selinder sebesar 5%. 2. Torsi terbesar diperoleh ketika memundurkan 1 derajat awal injeksi dari standar. <p>Namun hal tersebut</p>

			<p>menyebabkan penurunan tekanan selinder sebesar 4,4%.</p> <p>3. <i>Out put</i> torsi pada semua waktu injeksi ketika menggunakan B50 dan minyak kedelei B100 lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan minyak diesel, hal tersebut karena biodiesel mempunyai nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan minyak diesel.</p>
5	Solaimuthu et. al. (2015)	<p>Experimen laboratorium menggunakan bahan bakar dari biodiesel <i>madhuka Indica</i> dan campurannya dengan minyak diesel pada berbagai proporsi campuran. Engine dioperasikan pada</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa:</p> <p>1. Penggunaan EGR panas menghasilkan pelepasan panas yang lebih baik dan konsumsi bahan spesifik yang terendah.</p>

		<p>1500 RPM, dengan waktu injeksi 20° sebelum Titik mati Atas dengan tekanan nozzle pada 250 bar. <i>Selective catalytic converter</i> (SCR) dan <i>Exhaust gas Recirculation</i> (EGR) juga dipasang pada mesin.</p>	<p>2. Namun penggunaan EGR juga menyebabkan terbentuknya asap yang tinggi, yang akan dapat menyebabkan deposit karbon dan penurunan kualitas minyak pelumas dan mempercepat kerusakan mesin.</p> <p>3. Penggunaan SCR memberikan dampak penurunan NO_x, pada B100 prosentase penurunan NO_x mencapai angka 20% dibanding dengan mesin konvensional.</p> <p>4. Dari kesemua jenis campuran, B25 memberikan angka penuruann emisi yang terbesar dan kinerja mesin yang optimal pada beban penuh.</p>
--	--	---	--

6	Chong et. al. (2015)	<p>Experiment laboratorium untuk menyelidiki dan membandingkan aspek pengapian, pembakaran dan karakteristik emisi gas buang dari biodiesel minyak sawit dengan minyak diesel yang tanpa proses oxygenated.</p> <p>Kecepatan putaran mesin 2000-3000RPM dengan beban pengereman sampai 3 bar.</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa, pembakarann biodiesel minyak sawit mengalami percepatan pada pertengahan fase pembakaran, dan dapat melebihi minyak diesel pada aspek tingkat pelepasan kalor kumulatif, dengan angka sekitar 90% tingkat pelepasan kalor kumulatif. Ini menunjukkan bahwa oksigen yang ada pada biodiesel membantu melokalisasi daerah pembakaran. Hal tersebut mengakibatkan dapat meningkatkan efisiensi thermal dan meningkatkan nilai konsumsi bahan bakar spesifik, karena meningkatnya pembakaran dan rendahnya nilai kalor bahan bakar.</p>
---	----------------------	---	--

			<p>Harga NOx pada biodiesel minyak sawit lebih rendah, disbanding dari minyak diesel karena temperature pembakaran yang lebih rendah.</p>
7	Verma et. al. (2021)	<p>Mengevaluasi aspek bahan baku yang meliputi: sumber bahan baku biodiesel yang berbeda, teknologi konversi biodiesel, dan generasi kedua kinerja biodiesel dan karakteristik emisi</p>	<p>Efisiensi termal rem (BTE) untuk semua kondisi beban lebih rendah untuk biodiesel dan campuran. Meningkatkan persentase biodiesel dalam minyak diesel mengurangi BTE dibandingkan dengan diesel karena densitas dan viskositas yang lebih tinggi, dan nilai kalori rendah dari biodiesel</p> <p>Dengan peningkatan beban mesin, terjadi pengurangan BSFC dilaporkan untuk semua bahan bakar yang diuji.</p> <p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa</p>

			<p>sifat biodiesel seperti viskositas, nilai kalor yang lebih rendah dan lebih tinggi mempengaruhi daya rem mesin.</p> <p>Pengurangan daya ini disebabkan biodiesel dan campurannya memiliki nilai kalor yang lebih rendah daripada minyak diesel.</p> <p>Sedikit peningkatan NOx juga dilaporkan pada penggunaan berbagai biodiesel.</p> <p>Emisi CO lebih tinggi dengan beban mesin yang lebih tinggi.</p> <p>opasitas lebih tinggi pada biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar diesel karena berkurangnya volatilitas, viskositas yang lebih tinggi dan <i>mixing</i> antara bahan bakar dan udara yang tidak tepat.</p>
--	--	--	--

			<p>Persentase kandungan oksigen pada bahan bakar menyebabkan peningkatan emisi NO_x, karena adanya persentase oksigen pada biodiesel akan membentuk pembakaran bahan bakar yang sempurna dan juga meningkatkan suhu pembakaran di dalam ruang bakar</p>
8	Singh et. al. (2021)	<p>Mengevaluasi kinerja dan emisi gas buang motor diesel yang dioperasikan dengan menggunakan biodiesel jarak pagar (<i>Jatropha curcas</i>) dan campurannya.</p>	<p>Nilai kalor biodiesel jarak pagar yang lebih rendah menyebabkan efisiensi termal mesin mengalami penurunan dan konsumsi bahan bakar spesifik mengalami peningkatan. Kandungan oksigen yang tinggi pada <i>jatropha</i> mengurangi emisi HC, CO, dan PM, sementara emisi NO_x meningkat secara signifikan.</p>

9	Rajesh et. al. (2021)	<p>Biodiesel dibuat dengan menggunakan minyak kelapa. Esterifikasi dengan rasio methanol dengan minyak 10:1 dengan katalis H₂SO₄ 2,5% pada suhu 60C selama 90 menit dengan pengadukan 600 RPM</p> <p>Transesterifikasi dengan rasio methanol dengan minyak 6:1-12:1 dengan katalis KOH 0,5%-2% pada suhu 50C-65C selama 90 menit dengan pengadukan 600 RPM</p> <p>Pengujian pada mesin dilakukan pencampuran biodiesel dengan minyak diesel dengan (20%, 40%, 60% dan 80% berdasarkan volume)</p>	<p>Hasil biodiesel maksimum sebesar 92,6% diperoleh, ketika esterifikasi dilakukan dengan 10:1 metanol untuk rasio minyak, 2,5% asam sulfat pada 60 C selama 90 menit. Ini diikuti oleh transesterifikasi dengan parameter metanol menjadi minyak yang dioptimalkan rasio 8:1, 1,5% kalium hidroksida pada 60C selama 90 menit.</p> <p>Hasil tes mesin menunjukkan bahwa kinerja B20 lebih mendekati diesel B20 ditemukan 4,7% lebih rendah dari diesel. Emisi nitrogen oksida lebih tinggi untuk semua campuran biodiesel karena karakteristik pembakaran yang ditingkatkan. Namun,</p>
---	-----------------------	---	--

			<p>karbon monoksida, hidrokarbon dan asap berkurang 50%, 36,6% dan 42,9% masing-masing untuk B100 bila dibandingkan dengan diesel.</p>
10	Kondaiah et. al. (2021)	<p>Biodiesel dibuat dengan menggunakan minyak biji castor. Berbagai sifat biodiesel murni dan campuran dieselnnya (20, 40, 60 dan 80 berdasarkan volume) dianalisis.</p>	<p>Biodiesel dengan campuran yang berbeda diuji pada mesin satu silinder. Hasilnya menunjukkan bahwa pada beban 75%, campuran biodiesel 20% menunjukkan efisiensi thermal 26,49%, sedangkan minyak diesel pada beban yang sama memberikan 26,86%.</p> <p>Biodiesel menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,47 kg/kWH pada 75% beban, sedangkan menggunakan minyak diesel sebesar 0,32 kg/kWH. Hal tersebut karena lebih rendahnya</p>

			<p>nilai kalor dari biodiesel.</p> <p>Emisi CO lebih rendah dibandingkan dengan minyak diesel. Pada konsentrasi biodiesel yang rendah, kandungan oksigen pada biodiesel membantu pembakaran lebih sempurna, namun pada konsentrasi biodiesel yang lebih tinggi, dimana viskositas tinggi dan berat jenis yang rendah akan berakibat terganggunya pembakaran dan berakibat menghasilkan emisi CO</p> <p>Emisi CO₂ pada semua kombinasi campuran menunjukkan sedikit peningkatan dan menurun pada beban yang yang besar. Meningkatnya emisi CO₂ karena kandungan oksigen yang tinggi</p>
--	--	--	--

			<p>pada biodiesel mendorong pembentukan CO₂ pada pembakaran. Hal tersebut karena jumlah besar oksigen pada bahan bakar akan mengubah emisi CO menjadi CO₂.</p> <p>Emisi HC pada semua campuran bahan bakar biodiesel lebih rendah dari minyak diesel.</p>
11	Allami and Nayebzadeh (2021)	<p>Biodiesel dari limbah minyak goreng dan minyak diesel dicampur dengan perbandingan 10%:90% (B10), 25%:75% (B25), and 40%:60% (B40)</p> <p>Mesin diesel dioperasikan pada putaran konstan 1500 RPM untuk mengetahui kinerja pembakaran dan dan emisi dari mesin</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa memadukan bahan bakar diesel dengan biodiesel sedikit meningkatkan kinerja mesin dan perilaku pembakaran. Emisi gas buang juga menunjukkan penurunan, karbon monoksida (5–40%), hidrokarbon yang tidak (40–75%), dan opacity (8-25%). Hasil juga menunjukkan bahwa kinerja mesin (daya, torsi dan BSFC dan emisi (Co, CO₂, HC, NO_x dan opasitas secara</p>

			signifikan dipengaruhi oleh beban mesin.
--	--	--	--

2. Kebaruan Penelitian

Penelitian tentang kinerja dan gas buang dari biodiesel telah dilakukan oleh banyak peneliti. Biodiesel yang digunakan antara lain adalah dari kelapa sawit, minyak Jarak, minyak goreng bekas dan beberapa bahan baku yang lain. Penggunaan biodiesel dari minyak Kemiri Sunan sebagai bahan bakar pada motor diesel belum banyak ditemukan. Penelitian tentang biodiesel Kemiri Sunan masih pada tahapan proses pembuatan biodiesel dari biji buah yang paling optimal masih terus dilakukan dengan berbagai variasi proses. Oleh karena itu novelties dari penelitian ini adalah:

- a. Diketuainya karakteristik biodiesel Kemiri Sunan, yang dihasilkan pada proses reaksi dengan menggunakan beberapa macam konsentrasi katalis NaOH dan beberapa suhu reaksi.
- b. Diketuainya kinerja biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar dengan beberapa variasi campuran terhadap Daya, Torsi dan Konsumsi bahan bakar spesifik dari motor diesel.
- c. Diketuainya kinerja biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar dengan beberapa variasi campuran terhadap emisi gas buang (CO_2 , CO, NO_x , HC dan opasitas) dari motor diesel.

D. Tujuan Penelitian

1. Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh gambaran tentang potensi minyak Kemiri Sunan untuk dikembangkan menjadi biodiesel, sebagai sumber bahan bakar alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan. Analisis karakteristik biodiesel dari minyak Kemiri Sunan dan penggunaannya sebagai bahan bakar pada motor diesel akan menjadi kajian utama dalam penelitian .

2. Tujuan Khusus

- a. Menganalisis karakteristik fisika dan kimia biodiesel Kemiri Sunan yang dihasilkan pada proses reaksi dengan menggunakan beberapa macam konsentrasi katalis NaOH dan beberapa suhu reaksi.
- b. Menganalisis kinerja biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar dengan beberapa variasi campuran terhadap Daya Rem, Torsi dan Konsumsi bahan bakar spesifik pada motor diesel.
- c. Menganalisis kinerja biodiesel Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar dengan beberapa variasi campuran terhadap emisi gas buang (CO_2 , CO, NO_x , HC dan opasitas) pada motor diesel

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain :

1. Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.
 - a. Diketuainya karakteristik fisika dan kimia biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dihasilkan dari proses reaksi dengan menggunakan beberapa macam konsentrasi katalis NaOH dan beberapa suhu reaksi, sehingga dapat menjadi rujukan dalam

melakukan optimasi dan pengembangan sumber bahan bakar yang berbasis biodiesel,

- b. Diketuainya kinerja biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar (dexlite) dengan beberapa variasi campuran terhadap Daya, Torsi dan Konsumsi bahan bakar spesifik dari motor diesel, sehingga dapat menjadi rujukan pada pengembangan lebih lanjut untuk melakukan optimasi dan penyesuaian motor berbasis biodiesel dengan sistem yang sesuai.
- c. Diketuainya kinerja biodiesel dari minyak Kemiri Sunan yang dicampur dengan minyak Solar (dexlite) dengan beberapa variasi campuran terhadap emisi gas buang (CO_2 , CO, NO_x , HC dan opasitas) dari motor diesel sehingga dapat menjadi rujukan pada pengembangan lebih lanjut untuk melakukan optimasi dan penyesuaian motor berbasis biodiesel dengan sistem yang sesuai.

2. Pemerintah dan pembuat kebijakan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu rujukan dalam membuat kebijakan pengembangan energi terbarukan khususnya berbasis biodiesel dalam rangka menurunkan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan meningkatkan ketahanan energi Indonesia.