

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangunan Berkelanjutan.

Pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) menemukan momentum pada Konferensi Tingkat Tinggi Bumi (KTT-Bumi) di Rio de Janeiro, Brazil pada tahun 1992. KTT-Bumi menegaskan kembali konsensus antar bangsa tentang urgensinya kelestarian lingkungan hidup atau urgensinya memecahkan masalah lingkungan global. Hal tersebut mengartikulasikan pentingnya menempatkan pelestarian lingkungan hidup sebagai salah satu prioritas pembangunan yang menjadi bagian integral dari pembangunan sektor lainnya.

Pembangunan berkelanjutan diartikan sebagai pembangunan yang menempatkan kebutuhan masa kini dengan tetap menjaga hak generasi yang akan datang. Pembangunan berkelanjutan menjamin adanya keadilan sosial antar generasi. Pembangunan berkelanjutan juga dapat diartikan sebagai pembangunan nasional yang melestarikan fungsi dan kemampuan ekosistem (UU no.23 tahun 1997 tentang pencemaran lingkungan). Pembangunan berkelanjutan juga memperhatikan daya guna lingkungan hidup dan kelestarian lingkungannya agar kualitas lingkungan tetap terjaga. Kelestarian lingkungan yang tidak terjaga, dapat menyebabkan daya dukung lingkungan berkurang atau bahkan akan hilang. Daya dukung lingkungan merupakan kemampuan lingkungan hidup untuk mendukung kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Pelestarian lingkungan hidup sebagaimana tertuang pada UU no.23 tahun 1997 dapat dimaknai sebagai upaya

untuk menjaga kelangsungan daya dukung dan daya tampung lingkungan hidup agar kualitas kehidupan dapat terjaga.

Komisi Dunia untuk Lingkungan dan Pembangunan (*World Commission on Environment and Development*) atau yang lebih dikenal dengan nama *Brundtland Commission* mempublikasikan laporannya pada tahun 1987, dengan memberikan konsep baru tentang pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Dalam *Brundtland Report*, “Pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan yang memenuhi kebutuhan masa sekarang tanpa mengurangi kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya” (Tolba dan Biswat 1991).

Barbier (1987) memformulasikan *sustainable development* dengan merujuk pada pembangunan ekonomi berkelanjutan yaitu adanya interaksi optimal antara ekologi, ekonomi, dan sosial, yang dapat dicapai melalui *trade-off* yang adaptif dan dinamis (Barbier 1987). Tantangan pembangunan berkelanjutan adalah upaya untuk menjamin kesejahteraan dengan tetap menjaga kelestarian sumber daya alam dengan pemanfaatan secara bijak.

Munasinghe (1993) menyampaikan bahwa pembangunan berkelanjutan mencakup 3 unsur yaitu ekonomi, ekologi dan sosial. Ekonomi adalah dengan berbasiskan penggunaan sumber daya yang efisien. Ekologi adalah dengan menjaga keanekaragaman hayati. Sedangkan sosial adalah dengan menjaga kestabilan sistem social-budaya, yang antara lain menghindari konflik keadilan antar generasi.

Kebijakan pembangunan perlu melakukan integrasi pada fungsi ganda yaitu ekonomi dan lingkungan, dengan melihat indikator keberhasilannya seperti: keberlanjutan lingkungan lokal, keberlanjutan penggunaan sumber daya alam,

peningkatan lapangan kerja, keberlanjutan ekonomi, efektifitas biaya dan kemandirian teknologi.

Biodiesel sebagai bioenergi merupakan salah satu cara mengurangi pemanfaatan energi tidak terbarukan dan menggantikannya dengan energi terbarukan. Secara ekologis, pemanfaatan biodiesel mampu mengurangi pencemaran udara dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Ayeter et. al., 2019; EPA, 2010). Salah satu dampak lanjutannya adalah peningkatan kualitas udara yang menunjang kesehatan masyarakat, serta berkurangnya gas rumah kaca sebagai salah satu faktor penyebab perubahan iklim. Penggunaan biodiesel juga merupakan upaya untuk meningkatkan ketahanan energi, karena biodiesel adalah sumber daya yang terbarukan dan tersedia secara lokal. Berbeda dengan bahan bakar fosil dimana kebutuhan energi berbasis fosil di Indonesia masih menggantungkan dari import. Penggunaan biodiesel juga bisa mendorong pemanfaatan lahan untuk penanaman bahan baku biodiesel, yang secara langsung akan membantu petani untuk mendapatkan penghasilan. Dengan demikian pemanfaatan biodiesel selain akan berpengaruh dalam memperbaiki kondisi lingkungan, sekaligus bisa meningkatkan kemandirian ekonomi dan mendorong kestabilan sosial yang merupakan tiga pilar pembangunan berkelanjutan.

B. Kemiri Sunan sebagai Biodiesel

1. Morfologi tanaman Kemiri Sunan (*Reutealis trisperma*, Blanco, Airy Shaw)

Kemiri Sunan berasal dari Philipina. Kemiri sunan saat ini banyak tumbuh secara alami di berbagai wilayah di Indonesia, antara lain di Jawa Barat. Nama lain

dari kemiri sunan yaitu Kemiri china, jarak Bandung, muncang leuweung, jarak kebo dan kaliki banten.

Kemiri sunan termasuk tanaman tahunan dengan batang pohon berukuran sedang, daun yang rindang dan lebar, sistem perakaran yang dalam. Tanaman ini cocok sebagai alternatif tanaman konservasi untuk rehabilitasi lahan marginal menjadi lahan yang lebih produktif. Kemiri Sunan memulai usia panen antara 4-8 tahun dihitung sejak mulai ditanam dan bisa mencapai usia sampai 40 tahun. Buah Kemiri sunan akan jatuh dengan sendirinya ketika usianya telah cukup, sehingga memudahkan proses panen.

Karakteristik pohon Kemiri Sunan sebagai tertuang dalam Peraturan Menteri Pertanian Nomor:74.1/Permentan/OT.140/11/2011 Tanggal: 14 Nopember 2011 tentang Pedoman Budi daya Kemiri Sunan (*Reutealis Trisperma/Blanco Airy Shaw*) adalah berikut:

- a. Taksonomi dari Kemiri Sunan sebagai berikut:
 - i. Division: *Magnoliophyta*
 - ii. Class: *Magnoliopsida*
 - iii. Sub class: *Rosidae*
 - iv. Family: *Euphorbiaceae*
 - v. Genus: *Reutealis Airy Shaw*
 - vi. Ordo: *Euphorbiales*
 - vii. Species: *Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw*
 - viii. Lokal

ix. Nama: Kemiri sunan, Kemiri cina, kemiri racun, muncang leuweung, jarak bandung, jarak kebo, kaliki banten.

b. Morfologi dari Kemiri Sunan adalah sebagai berikut:

- i. Pohon: tinggi antara 10 - 15 m
- ii. Batang: berbatang tunggal.
- iii. Tunas bercabang tiga secara simetris.
- iv. Batang pohon muda berwarna cokelat, batang pohon tua berwarna abu-abu kehitaman, permukaan kulit batangnya kasar.
- v. Tajuk: payung – bulat
- vi. Kanopi rimbun dan lebar
- vii. Diamater batang bisa > 40 cm
- viii. Percabangan mendatar yang simetris berjumlah 3 secara lateral
- ix. Daun kemiri sunan umumnya berbentuk menjantung (cordata), tulang daun menyirip, tekstur permukaan daunnya halus, serta daging daun seperti kertas.
- x. Bunga: jantan, betina dan hermaprodit terdapat dalam satu pohon.
- xi. Bentuk buah adalah bulat hingga bulat telur, berbulu lembut, agak pipih.
- xii. Memiliki 1-3 ruang yang berisi biji. Kulit buah berwarna hijau waktu muda, setelah matang berwarna hijau kekuningan sampai kecoklatan. Kulit buah tebalnya sekitar 3-5 mm dan membungkus biji di dalamnya.
- xiii. Buah matang berukuran sekitar 5-7 cm, dengan panjang 5-6 cm. Daging buah berwarna putih.
- xiv. Penyerbukan: allogami (angin)

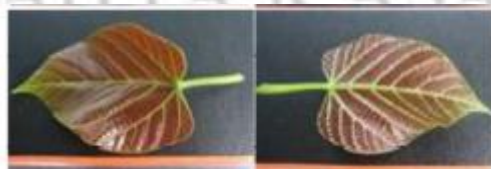
- xv. Perakaran: kuat dengan pertumbuhan akar lateral.
- xvi. Akar tunggang masuk dalam jauh ke dalam tanah, penetrasi bisa mencapai kedalaman 9 meter, sementara akar lateralnya berada pada permukaan tanah sampai kedalaman sekitar 1 meter.



Gambar 4. Tajuk pohon Kemiri Sunan Muda



Gambar 5. Tajuk pohon Kemiri Sunan Tua



Gambar 6. Daun muda Kemiri Sunan



Gambar 7 Daun tua Kemiri Sunan



Gambar 8 Bunga Kemiri Sunan



Gambar 9. Buah Kemiri Sunan

c. Keunggulan Kemiri Sunan

Tanaman Kemiri Sunan mempunyai keunggulan sebagai berikut:

- i. Pertumbuhan relatif cepat dengan wilayah pengembangan dari dataran rendah hingga 1.000 m di atas muka laut).
- ii. Berbentuk pohon dengan ketinggian mencapai 15-20 meter.

- iii. Merupakan tanaman menahun dengan mahkota yang rindang, kanopi lebar, struktur daun sangat rapat dengan ranting banyak sehingga mampu menahan butiran air hujan sehingga tidak langsung menimpa tanah
- iv. Mempunyai perakaran dalam yang dapat berguna untuk meningkatkan penyerapan air tanah dan mencegah longsor sehingga sangat baik sebagai tanaman pelindung untuk mencegah erosi. Merupakan tanaman konservasi, penanaman Kemiri Sunan yang lestari, bisa menghutankan kembali lahan kritis termasuk area bekas tambang.
- v. Relatif mudah ditanam.
- vi. Dapat tumbuh subur di lahan marjinal sehingga tanaman ini tidak akan bersaing dengan tanaman pangan.
- vii. Mempunyai produktivitas dan rendemen yang relatif tinggi.
- viii. Masa panen mulai umur empat (4) tahun dan mulai mencapai puncak berbuah pada umur delapan (8) tahun.
- ix. Kemiri Sunan dapat mencapai umur 50 tahun.
- x. Kemiri Sunan dengan pertajukannya yang besar maka dapat menyerap CO₂ relatif besar sehingga mampu berkontribusi mengatasi masalah *global-warming*.

Minyak Kemiri Sunan mengandung racun sehingga tidak dapat dikonsumsi. Komposisi minyak terdiri dari asam a-elaeostearic 51%, asam linoleic 19%, asam oleic 12%, asam palmitic 10% dan asam stearic 9%. Asam a-elaeostearic pada minyak mengindikasikan adanya kandungan racun pada minyak (Vossen dan Umali, 2002). Minyak Kemiri Sunan juga dapat digunakan untuk bermacam fungsi

seperti, insektisida alami yang efektif untuk membasmi hama dan bahan pengawet cat pada kapal (Pranowo et.al. 2014).

Tanaman Kemiri Sunan disamping dapat diambil biji buahnya sebagai biodiesel, sekaligus juga baik untuk konservasi lahan. Tidak sebagaimana pohon Jarak/jathropa yang perdu, pohon Kemiri Sunan rindang, dengan ketinggian mencapai 15 m, dengan umur sampai 50 tahun. Pertumbuhan yang cepat, dimana umur 4 tahun sudah mulai berbuah, dengan daunnya yang lebar, sehingga akan dapat mengikat CO₂ lebih banyak, dan akar yang dapat memegang tanah dengan kuat dan kapasitas mengikat air yang tinggi (Pranowo et. al 2014).

d. Sebaran pohon Kemiri Sunan

Kemiri Sunan dalam tahap pengembangan di Desa Sumur, Kecamatan Musuk, Kabupaten Boyolali, Provinsi Jawa Tengah, yang sudah menjadi desa percontohan untuk menanam Kemiri Sunan seluas 13 hektare di lahan marginal. Populasi tanaman Kemiri Sunan banyak dijumpai di Kabupaten Garut dan Majalengka, Jawa Barat. Sejak tahun 2008 tanaman Kemiri Sunan menyebar ke berbagai wilayah di Indonesia dengan bermacam agro-ekosistem seperti Jawa Tengah, Jawa Timur, NTT, NTB, Riau, Jambi, Bangka, dan Kalimantan Timur (Pranowo et al., 2014). Kemiri Sunan terdapat di Jakarta sejumlah 3.500 pohon, Bekasi sejumlah 30.000 pohon, Kuningan sejumlah 10.000 pohon, Majalengka sejumlah 10.000 pohon, Jati Gede sejumlah 10.000 pohon, Bandung sejumlah 3.000 pohon (Wulandari, 2015). Luasan lahan perkebunan Kemiri Sunan di Jawa Barat mencapai sekitar 1000 hektar (Dinas Perkebunan Provinsi Jawa Barat, 2018). Beberapa kota di Jawa Timur yang terdapat tanaman Kemiri Sunan dengan jumlah

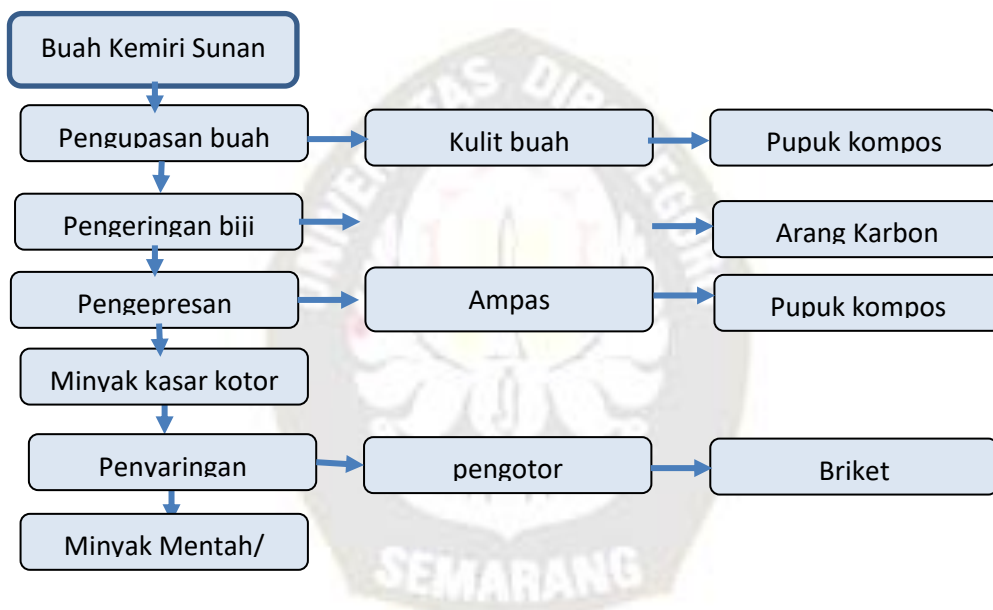
terbesar ada di Ngawi dengan jumlah 40.000 pohon, Lamongan sejumlah 13.000 pohon. Nusa Tenggara bisa dijumpai tanaman Kemiri Sunan seperti di Nusa Penida-Bali sejumlah 15.000 pohon, Lombok sejumlah 14.500 pohon dan Timor sejumlah 20.000 pohon. Di Sulawesi Utara dikembangkan perkebunan Kemiri Sunan pada lahan seluas 2.798 hektar (Republika, 30 September 2021)

2. Metode Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan

Biodiesel Kemiri Sunan diperoleh dengan melakukan ekstraksi minyak yang ada pada biji buah Kemiri Sunan. Adapun proses pembuatan biodiesel melalui beberapa tahapan: pemilihan bahan baku, pengupasan biji, pengeringan biji, ekstraksi dan pemurnian (Pranowo et. al. 2014). Pemilihan bahan baku penting, karena rendemen minyak dan kualitas minyak sangat dipengaruhi oleh bahan baku. Buah yang terlalu matang, meskipun menghasilkan rendemen minyak yang tinggi, namun kadang menghasilkan FFA yang tinggi juga, sehingga akan mempengaruhi proses pembuatan biodiesel. Pengeringan dilakukan untuk menurunkan kadar air yang ada pada biji hingga skitar 7-10%. Ekstraksi dilakukan dengan beberapa cara, antara lain: pengepresan dilakukan untuk mendapatkan minyak dari biji buah Kemiri Sunan, sehingga diperoleh minyak kasar Kemiri Sunan.

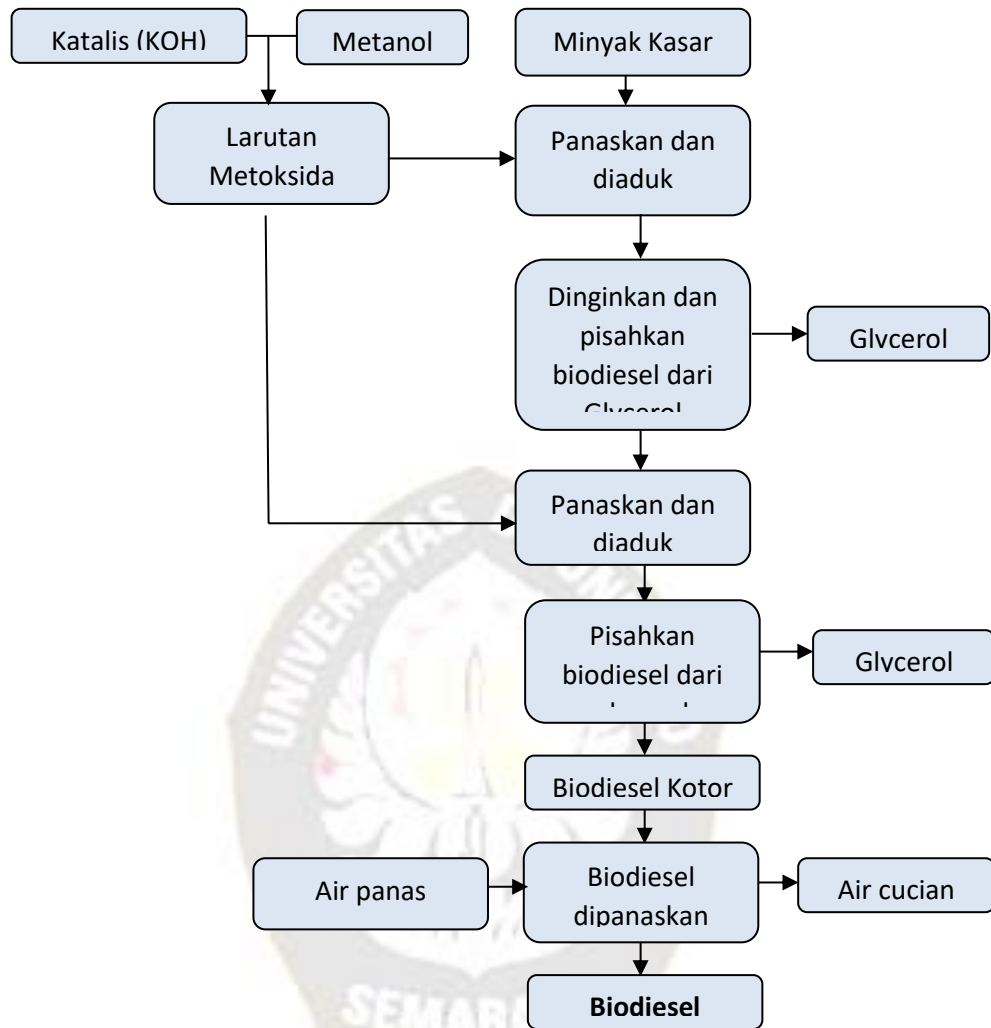
Penelitian pembuatan biodiesel dari Kemiri Sunan masih relatif sedikit.. Anggraini et.al (2013), melakukan karakterisasi Biodiesel dari minyak Kemiri Sunan dengan menggunakan katalis KOH. Aunillah dan Pranowo (2012) menganalisis properti biodiesel menggunakan proses transesterifikasi Dua Tahap. Holilah et. al (2014) meneliti pengaruh jumlah katalis terhadap produksi biodiesel dari Kemiri Sunan. Anggraini et al (2013) mengevaluasi karakteristik biodiesel dari

minyak Kemiri Sunan dengan Katalis KOH pada proses transesterifikasi. Joelianingsih, et al (2016) menganalisis pemakaian katalis homogen pada proses esterifikasi dan transesterifikasi. Murni, et al., (2016) menganalisis produksi biodiesel dengan katalis H₂SO₄ pada esterifikasi dan katalis KOH pada transesterifikasi. Ritonga et al (2016) menganalisis penambahan *Co-Solvent* Aseton pada proses reaksi dan transesterifikasi menggunakan katalis Natrium Silikat.



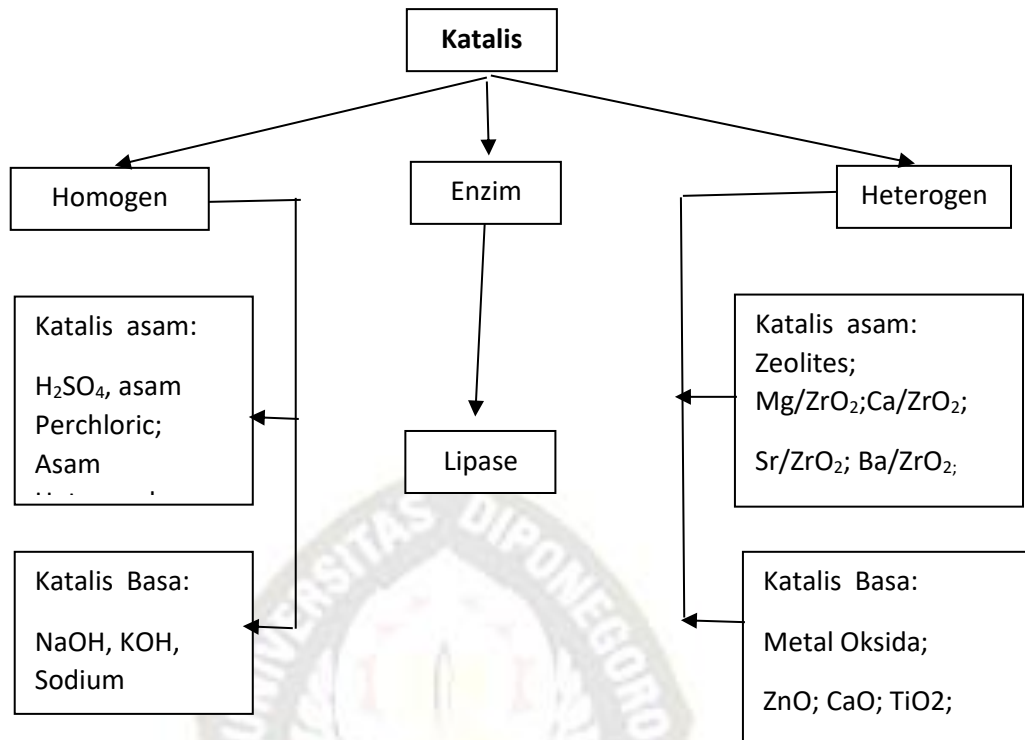
Gambar 10 Diagram alir Ekstraksi biji buah Kemiri Sunan

Widyasanti et al, (2017), menganalisis faktor suhu pada proses transesterifikasi. Nurjanah et al (2019) melakukan analisis tentang beberapa proses transesterifikasi pada produksi biodiesel Kemiri Sunan. Garusty et al. (2020) menganalisis karakteristik Biodiesel dengan penggunaan bermacam katalis. Haryono et al. (2020) menganalisis penggunaan katalis heterogen Silika terimpregnasi Kalsium Oksida pada karakteristik biodiesel Kemiri Sunan. Sari et al. (2020) melakukan penelitian pengaruh waktu reaksi dan penggunaan solvent.



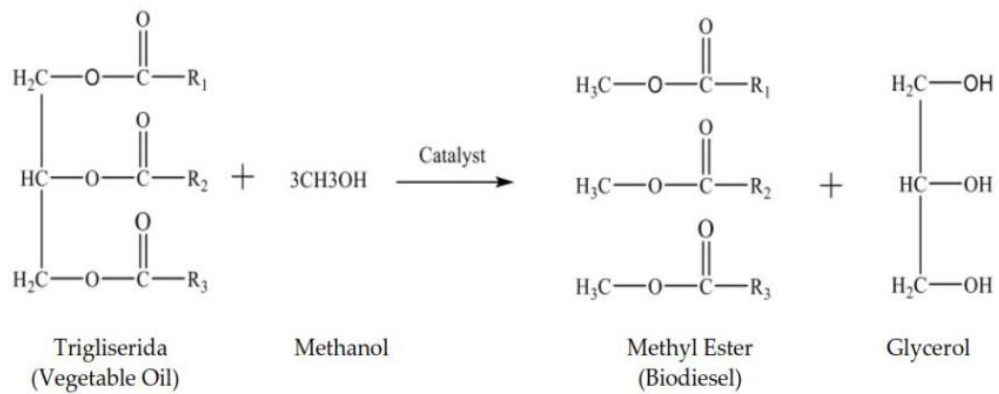
Gambar 11. Diagram Pembuatan Biodiesel dari minyak Kemiri Sunan

Pembuatan Biodiesel umumnya menggunakan katalis sebagaimana pada gambar 2.8. Katalis basa NaOH dan KOH dipandang merupakan katalisator yang lebih baik dibanding jenis katalis lainnya. Namun demikian, kelemahan katalis tersebut adalah kesulitan pada proses memisahkan campuran reaksi sehingga tidak dapat digunakan kembali (Santoso et.al., 2013).



Gambar 12. Diagram Macam macam Katalis

Penggunaan katalis homogen pada pembuatan biodiesel juga menyebabkan proses pemurnian menjadi sulit (Djenar dan Lintang, 2012; Anggraini et.al 2013). Demikian juga produk biodiesel yang dihasilkan pada beberapa parameter tidak memenuhi standar ASTM (Holilah et. al, 2014; Aunillah dan Pranowo, 2012; Abas dan Purwanti, 2011). Penggunaan katalis homogen juga tidak menguntungkan karena terbentuknya produk samping berupa sabun dan sulit memisahkan antara hasil biodiesel dengan katalis (Julianti et.al, 2014, Santoso et.al, 2013). Dengan adanya kelemahan tersebut, maka alternatif yang dapat dilakukan pada pembuatan biodiesel adalah menggunakan katalis heterogen.



R₁, R₂, R₃ = Fatty Acid of Biodiesel Oil

Gambar 13. Proses reaksi kimia pembuatan biodiesel

Tabel 3. Sifat Fisika Kimia Minyak Mentah dari biji Kemiri Sunan

No	Parameter	Nilai
1.	Bilangan Asam, mg KOH/g	13,26
2.	Kadar Asam Lemak bebas, %	6,63
3.	Kadar Air %	9,6
4.	Densitas kg/m ³	985,49
5.	Viskositas Kinematik mm ² /s (c St)	26,57
6.	Rendemen %	43,33
7.	Penampakan minyak mentah	Kuning Kecoklatan

Sumber: (Hendra 2014)

SEKOLAH PASCASARJANA

Tabel 4 Sifat Fisika Kimia Minyak Biodiesel Dari Minyak Biji Kemiri Sunan

No	Parameter	Nilai	Standar Biodiesel SNI
1.	Bilangan Asam, mg KOH/g	0,76	0,80
2.	Kadar Asam Lemak bebas, %	0,38	-
3	Kadar Air %	0,05	0,05
4	Densitas kg/m ³	865	850-890
5	Viskositas Kinematik (cSt)	5,41	2,3-6,0
6	Bilangan Penyabunan mg	101,8	-
7	KOH/g	104,55	Min 96,5
8	Kadar ester alkil % massa	109,7	Maks 115
9	Bilangan Iod g I ₂ /100g	59,08	Min 51
10	Bilangan cetana		-
11	Penampakan minyak Biodiesel	Kuning encer	

Sumber: (Hendra 2014)



Gambar 14. Biodiesel Kemiri Sunan

(Sumber Hendra 2014)

Dengan semakin signifikan permintaan biodiesel, metode baru untuk meningkatkan produksi biodiesel terus dilakukan penelitian. Metode komersial produksi biodiesel memerlukan waktu dan energi yang intensif. Pada proses

pembuatan biodiesel konvensional, memerlukan reaktan dipertahankan pada suhu 60°C selama 1-2 jam dan hasil 97-98% (Chand, 2008). Sedangkan Al-Widyan & Al-Shouykh, (2002) melaporkan proses transesterifikasi limbah minyak sawit menjadi biodiesel dengan asam sulfat sebagai katalis, 3 jam waktu reaksi dan hasil ester mencapai 90%. Dias et al, (2008), menggunakan proses biodiesel dengan pengadukan mekanik memberikan hasil dari ester hingga 97% dalam 60 menit, pada perbandingan molar 1: 6 (minyak- metanol) di 70°C. Veljkovic et al, (2006), melaporkan produksi biodiesel dari minyak biji tembakau menggunakan dua reaksi langkah dengan kondisi optimum dalam 30 menit pada suhu 60°C dari suhu reaksi dan hasil dari FAME sekitar 91%.

Aunillah dan Pranowo (2012) melakukan proses transesterifikasi dua tahap. Bahan baku minyak Kemiri Sunan dipanaskan sampai suhu 60°C. Kemudian minyak direaksikan dengan 80% larutan metoksida dan diaduk selama 45 menit. Tahap ke duaminyak dipanaskan kembali sampai suhu 60 °C dan ditambah 20% larutan metoksida dan dipanaskan selama 30 menit. Biodiesel yang diperoleh adalah 88% dari minyak kasar Kemiri Sunan.

Djenar dan Lintang (2012) dengan tahapan esterifikasi dan dilanjutkan transesterifikasi dapat menghasilkan metil ester sebesar 99,5 %. Holillah et al., (2013) menemukan *Yield* biodiesel meningkat dari 81,24% pada konsentrasi katalis 0,5% dan maksimum *yield* sebesar 84,71% pada konsentrasi katalis 1%. Ketika konsentrasi katalis dinaikkan dari 1,5%-2,0%, *yield* biodiesel berkurang menjadi 74,35% dan 57,65%.

3. Life Cycle Assesment (LCA) Produksi Biodiesel

Life Cycle Assessment (LCA) adalah metodologi holistik yang dikembangkan pada tahun 1980 an, yang merupakan *tool* untuk menilai potensi dampak lingkungan suatu produk dengan mempertimbangkan setiap langkah dari rantai komoditas dari “*the cradle to the grave*”. Metodologi LCA meliputi 4 tahapan sebagai mana dikembangkan dalam ISO 14040-2006 yaitu:

1. *Goal and scope definition,*
2. *Inventory of extractions and emissions,*
3. *Impact assessment*
4. *Interpretation*

Saat membandingkan biodiesel dan bahan bakar fosil, LCA tampaknya menjadi alat yang tak terhindarkan mengingat dampak lingkungan di seluruh rantai produksi biodiesel/komoditas agar tidak terjadi pertukaran polusi yang tidak memberikan *benefit* terhadap lingkungan.

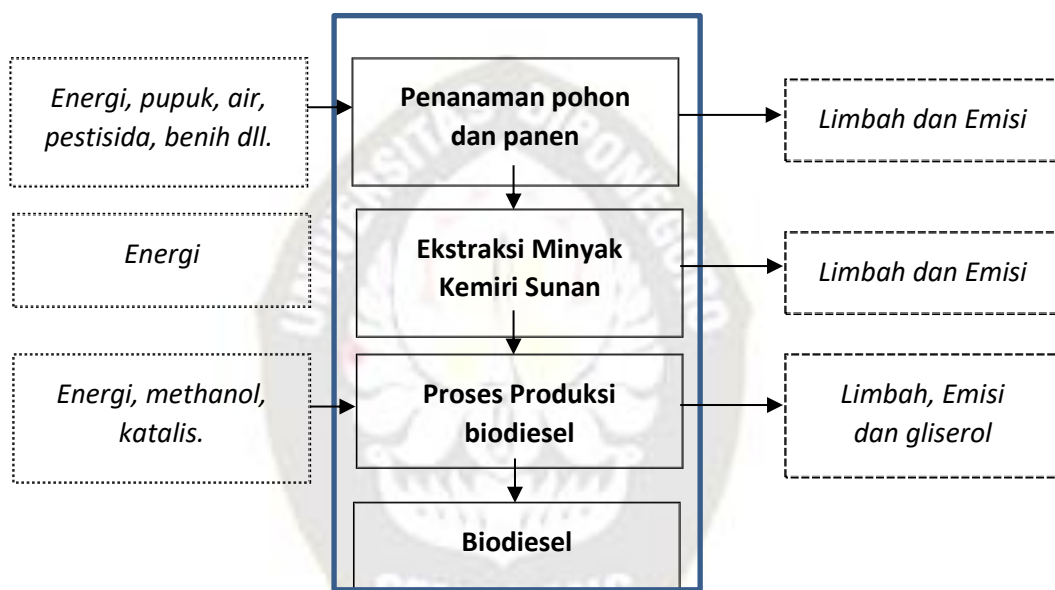
Tumbuhan untuk bisa bertahan hidup membutuhkan energi yang dihasilkan dari proses fotosintesis. Proses fotosintesis yang merupakan proses biokimia memerlukan bantuan cahaya matahari. Proses fotosintesis pada tumbuhan terjadi pada bagian daun yang merupakan bagian yang memiliki zat hijau daun (klorofil). Zat hijau daun yang berperan dalam proses penyerapan cahaya matahari.

Proses fotosintesis pada tumbuhan memerlukan bahan antara lain karbondioksida (CO₂) dan menghasilkan oksigen. Proses fotosintesis pada tumbuhan ini, memerlukan beberapa bahan, antara lain:

- Klorofil

- Cahaya matahari
- Air
- Karbondioksida

Proses kimia yang terjadi didalam proses fotosintesis adalah sebagai berikut:



Gambar 15. Batasan LCA Biodiesel

C. Motor Diesel Pembakaran Dalam

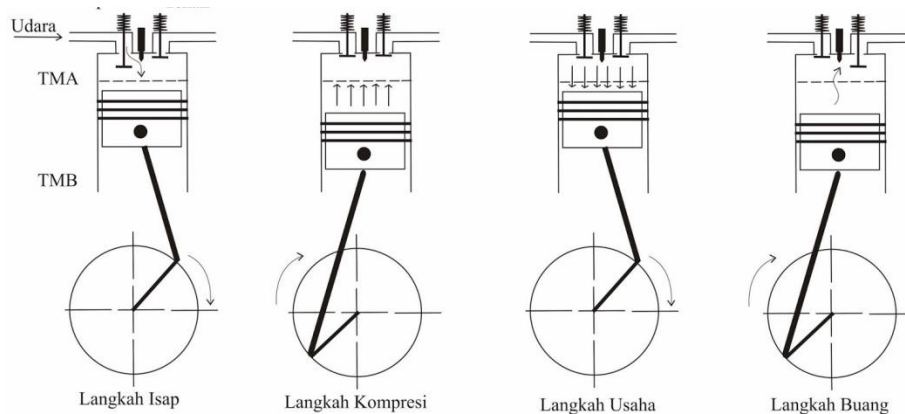
1. Prinsip Kerja Motor Diesel.

Sistem penggerak mula yang banyak digunakan sampai saat ini adalah mesin kalor, yaitu mesin yang dapat mengubah energi kalor menjadi energi mekanik. Energi kalor tersebut diperoleh pada proses pembakaran bahan bakar. Mesin kalor dibagi menjadi dua kategori yaitu mesin pembakaran luar dan mesin pembakaran dalam. Mesin pembakaran luar yaitu mesin yang proses pembakaran bahan bakar terjadi di luar mesin tersebut, yang selanjutnya energi kalor dari gas hasil pembakaran

dipindahkan ke fluida kerja mesin, seperti pada mesin Uap. Mesin pembakaran dalam atau motor bakar adalah mesin yang proses pembakaran bahan bakar terjadi di dalam motor bakar itu sendiri, sehingga gas pembakaran yang dihasilkan sekaligus merupakan fluida kerja.

Motor diesel adalah jenis motor bakar, dimana pembakaran pada motor tersebut melalui proses penyalaan kompresi udara bertekanan tinggi pada silinder. Pembakaran terjadi karena udara dikompresikan dengan perbandingan kompresi yang tinggi, dengan kisaran rasio kompresi 14-22. Kompresi yang tinggi mengakibatkan udara bertekanan dan temperatur yang melebihi tekanan dan suhu untuk penyalaan bahan bakar. Pembakaran pada motor diesel terjadi antara bahan bakar diesel dengan oksigen. Gas panas yang dihasilkan oleh proses pembakaran dapat menggerakkan torak (*piston*) yang dihubungkan dengan poros engkol (*crank shaft*) oleh batang penghubung (*connecting rod*). Gerak translasi yang terjadi pada torak menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi tersebut mengakibatkan gerak bolak-balik torak.

Motor diesel empat langkah (*four stroke engine*) menghasilkan satu kali siklus kerja dengan melakukan empat kali langkah torak atau dua kali putaran engkol,. Prinsip kerja motor diesel empat langkah dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 16. Siklus Kerja Motor Diesel 4 langkah
(Sumber: <http://www.marineworld.web.id>)

a. Langkah hisap

Torak bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) menuju ke Titik Mati Bawah (TMB), katup masuk membuka dan katup buang tertutup. Udara mengalir ke dalam silinder melalui katup masuk.

b. Langkah kompresi

Katup masuk dan katup buang menutup, torak bergerak dari titik TMB ke TMA menekan udara yang ada di dalam silinder yang menyebabkan tekanan naik dan suhu naik. Setelah torak mencapai TMA, bahan bakar disemprotkan.

c. Langkah Usaha

Pada langkah ini kedua katup dengan posisi tertutup. Bahan bakar yang sudah berbentuk kabut disemprotkan ke dalam silinder yang bertemperatur tinggi, maka bahan bakar akan terbakar dan berekspansi menekan torak untuk melakukan kerja sampai torak mencapai TMB.

d. Langkah buang

Ketika torak hampir mencapai TMB, katup buang akan membuka, sedangkan katup masuk masih tertutup. Ketika torak bergerak menuju TMA sisa

gas pembakaran dibuang keluar dari silinder. Akhir langkah buang adalah ketika torak mencapai TMA. Siklus tersebut akan berulang lagi.

2. Parameter Motor

Beberapa parameter yang sering digunakan pada mesin piston kerja bolak-balik (*reciprocating engine*) adalah:

a. Perbandingan Kompresi (ϵ)

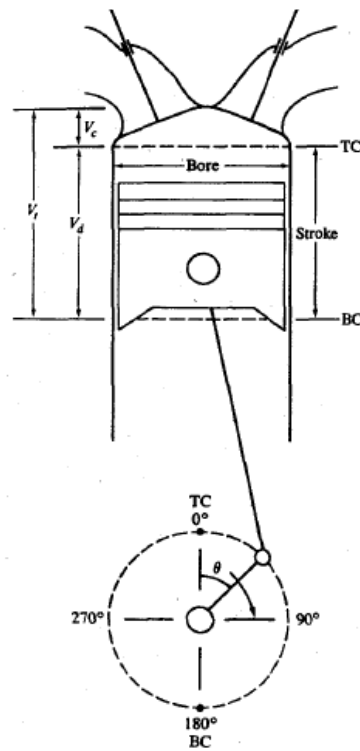
Definisi dari perbandingan kompresi adalah suatu nilai perbandingan yang ditentukan oleh besarnya volume langkah silinder dan volume ruang bakar. Volume langkah silinder adalah keadaan ketika torak berada di titik paling bawah sampai dengan torak pada posisi titik paling atas, seperti persamaan berikut.

$$\epsilon = \frac{\text{volume silinder maksimum}}{\text{volume silinder minimum}} = \frac{V_d + V_c}{V_c} \quad (1)$$

V_d = Volume langkah

V_c = Volume ruang bakar

Nilai perbandingan kompresi tinggi terjadi ketika volume ruang bakarnya kecil dan volume silindernya besar. Semakin tinggi perbandingan kompresi menyebabkan maka tenaga yang dihasilkan oleh motor semakin tinggi.



Gambar 17. Geometri Motor Pembakaran (Heywood, 1988)

b. Torsi Mesin (T)

Torsi adalah suatu energi yang merupakan ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Besaran torsi merupakan besaran turunan yang digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan oleh suatu benda yang berputar terhadap porosnya. Apabila suatu benda berputar dengan gaya sentrifugal sebesar F , benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar d , maka torsinya adalah:

$$\mathbf{T} = \mathbf{F} \times \mathbf{d} \quad (\text{Newton-meter}) \quad (2)$$

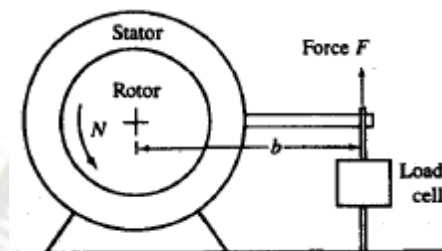
dimana:

$T = \text{Torsi (Newton-meter)}$

$F = \text{ gaya sentrifugal (Newton)}$

$d = \text{ jarak pembebanan dengan sumbu perputaran (meter)}$

Torsi menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan jika ada usaha melawan torsi dengan besar yang sama dan arah yang berlawanan maka benda tersebut akan berhenti.



Gambar 18. Skema Kerja Dynamometer (Heywood, 1988)

Daya Motor (P)

Daya poros pada motor dapat dihitung jika torsi diketahui nilainya. Dynamometer digunakan untuk melakukan pengukuran torsi pada poros motor bakar. Prinsip kerja dari dynamometer adalah dengan memberi beban yang berlawanan terhadap arah putaran sampai putaran mendekati 0 rpm. Beban tersebut nilainya akan sama dengan torsi poros. Prinsip dasar dari dynamometer sebagaimana gambar 18. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa pengukuran torsi pada poros (rotor) dengan cara pengereman dengan stator yang dikenai beban sebesar W . Mesin dijalankan kemudian pada poros disambungkan dengan dynamometer. Pembebanan diteruskan sampai poros mesin mendekati berhenti berputar. Beban maksimum yang terbaca adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros mesin. Dengan demikian perkalian antara gaya

dengan jaraknya adalah sebuah torsi, sehingga torsi pada poros dapat diketahui dengan rumus:

$$T = w \times d \text{ (N-m)} \quad (3)$$

dimana :

T = torsi (N-m)

w = beban (N)

d= jarak pembebanan dengan pusat perputaran (m)

Jumlah energi yang dihasilkan mesin setiap waktunya adalah yang disebut dengan daya mesin. Kalau energi yang diukur pada poros mesin dayanya disebut daya poros.



$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{60} \text{ (KW)} \quad (4)$$

dimana :

P = daya mesin

T = torsi mesin (Nm)

N = Putaran mesin (RPM)

a. Perbandingan udara dan bahan bakar (Air and Fuel Ratio)

Perbandingan udara dan bahan bakar didefinisikan sebagai perbandingan massa udara dan massa bahan bakar atau massa udara dibagi dengan massa bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang silinder. Perbandingan Udara dan bahan bakar adalah :

$$\frac{A}{F} = \frac{\text{Massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} \quad (\%) \quad (5)$$

b. Perbandingan ekuivalen (*Equivalence ratio*)

Perbandingan ekuivalen terjadi ketika ada cukup oksigen hadir untuk mengkonversi semua bahan bakar menjadi sepenuhnya produk teroksidasi, kondisi ini disebut stoikiometri. Ini berarti bahwa hanya produk dari Reaksi pembakaran adalah CO₂, H₂O dan N₂. Dalam mesin pembakaran internal, Kondisi stoikiometri jarang dicapai, karena itu berarti pencampuran yang sempurna antara bahan bakar dan udara. Perbandingan ekuivalen adalah ukuran dari seberapa jauh dari kondisi stoikiometri mesin beroperasi. Perbandingan udara dan bahan bakar persamaan adalah:

$$\phi = \frac{\frac{A}{F}_{\text{stoikiometrik}}}{\frac{A}{F}_{\text{aktual}}} \quad (6)$$

c. Tekanan efektif Rem (*Brake mean effective pressure/Bmep*)

Tekanan efektif rem merupakan parameter kemampuan mesin untuk menghasilkan daya relatif terhadap ukuran mesin. Bmep memungkinkan untuk membandingkan mesin yang berbeda ukurannya. Bmep didefinisikan sebagai daya mesin per siklus dibagi dengan volume silinder mesin (Heywood, 1988). Bmep untuk mesin empat langkah dapat dihitung dengan:

$$Bmep = \frac{P}{V_d \times N} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (7)$$

P = Daya motor

V_d = Volume silinder.

$$V_d = \pi/4 D^2 S$$

D = diameter silinder

S = Langkah torak

N = Putaran mesin per detik (Rotation per second/RPS)

d. Konsumsi bahan bakar spesifik/ Be (*Brake Specific fuel consumption /BSfc*)

Konsumsi bahan bakar spesifik didefinisikan sebagai parameter konsumsi bahan bakar suatu mesin per luaran (*output*) daya. Parameter tersebut dapat menjadi ukuran seberapa efisien mesin tersebut dan memungkinkan untuk membandingkan konsumsi bahan bakar dari mesin yang berbeda. Persamaan untuk konsumsi bahan bakar spesifik adalah:

$$Be = \frac{\dot{m}_{bb}}{P} \quad (\text{gr/KWH}) \quad (8)$$

\dot{m}_{bb} = massa bahan bakar

P = Daya motor

e. Efisiensi Thermis bahan bakar (*Fuel conversion efficiency*)

Parameter kinerja mesin dapat dilihat juga dari efisiensi konversi bahan bakar pada mesin. Efisiensi konversi merupakan kemampuan suatu mesin dalam mengkonversi energi pada bahan bakar untuk menjadi daya mesin (Heywood, 1988). Hal ini dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{P}{\dot{m}_{bb} \times L_{hv}} = \frac{1}{Be \times L_{hv}} \quad (\%) \quad (9)$$

η_{th} = Efisiensi Thermis

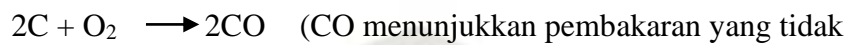
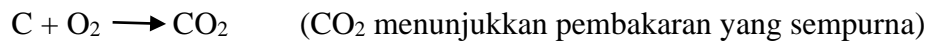
L_{hv} = nilai kalor bahan bakar, yaitu panas yang dapat dilepaskan oleh bahan bakar pada pembakaran sempurna

3. Parameter Pembakaran dan Pelepasan Kalor

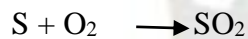
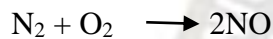
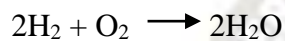
Pembakaran merupakan suatu reaksi kimia dari unsur kimia bahan bakar terhadap oksigen. Adapun unsur bahan bakar adalah :

- Karbon (Zat arang) dengan unsur kimia C
- Hidrogen (Zat air) dengan unsur kimia H₂
- Nitrogen (Zat lemas) dengan unsur kimia N₂
- Sulphur (Zat belerang) dengan unsur kimia S₂

Reaksi kimia pembakaran tersebut adalah :



sempurna)



Unsur penting dari udara adalah kandungan oksigen, yang jika dilihat konsentrasinya adalah dalam prosentase berat: 23% O₂ dan 77% N₂, prosentasi volume: 21% O₂ dan 79% N₂ (Heywood, 1988).

Langkah-langkah dari proses pembakaran pada motor adalah:

- a. Penyemprotan (injeksi) bahan bakar oleh *injector* ke ruang bakar motor/silinder.
- b. Proses pemecahan bahan bakar dari partikel besar menjadi partikel yang lebih kecil.
- c. Pengabutan bahan bakar yaitu perubahan partikel kecil menjadi kabut.
- d. Penguapan bahan bakar dimana kondisi untuk terjadinya pembakaran
- e. Penyalaan bahan bakar
- f. Pembakaran bahan bakar

Proses pembakaran merupakan kekuatan pendorong pada mesin pembakaran dalam, di mana daya dan emisi gas buang yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran. Ada beberapa parameter penting pembakaran seperti, waktu pencampuran, dan penguapan.

a. Pencampuran (*mixing*)

Pembakaran didefinisikan sebagai proses di mana bahan bakar bereaksi dengan oksidator/oksigen dan menghasilkan energi. Untuk terjadinya reaksi yang baik, maka diperlukan bahan bakar dan oksidator benar-benar menjadi campuran. Agar bahan bakar dapat bereaksi dengan oksidator dengan baik maka mereka harus dalam keadaan kontak, sehingga pencampuran bahan bakar dan oksidator itu perlu (Heywood, 1988). Waktu yang diperlukan untuk terjadinya pencampuran disebut waktu pencampuran. Pada mesin pembakaran dalam dengan torak, waktu pencampuran sangat penting karena torak bergerak dengan kecepatan tinggi dan waktu terbatas.

b. Pembakaran tertunda (*Ignation delay*)

Pembakaran tertunda adalah waktu antara awal injeksi dan awal pembakaran. Pada mesin pembakaran dalam dengan torak, pembakaran tertunda adalah sama dengan waktu pencampuran

c. Penguapan (*Evaporation*)

Bahan bakar cair umumnya digunakan pada mesin pembakaran dalam. Agar bahan bakar cair mudah menyala di dalam ruang pembakaran, maka harus bahan bakar harus menguap sehingga dapat bercampur baik dengan

udara. Bahan bakar yang menguap dengan baik akan bercampur dengan udara karena mereka adalah gas.

d. Pembakaran dengan pencampuran awal (*Premixed combustion*).

Pada mesin pembakaran dalam, bahan bakar harus disemprotkan sebelum pembakaran dapat mulai. Selama pembakaran tertunda, bahan bakar bercampur dengan udara dan membentuk campuran yang mudah terbakar. Campuran bahan bakar dan udara akan terbakar sangat cepat dan disebut pencampuran awal pembakaran karena bahan bakar bercampur lebih dahulu dengan senyawa oksidator sebelum campuran tersebut terbakar.

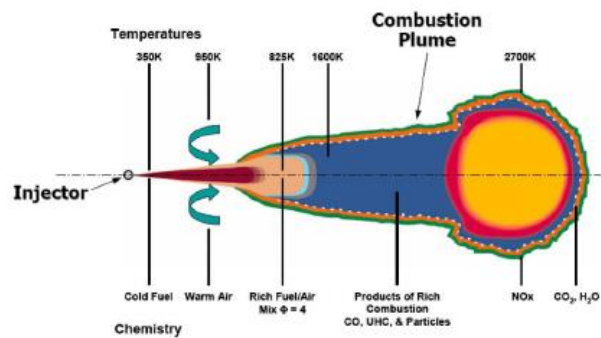
e. Pembakaran tanpa pencampuran awal (*Non Premixed combustion*).

Apabila bahan bakar tidak dicampur dengan baik, tetapi masih memiliki tekanan dan suhu yang cukup, dan terdapat oksidator, maka bahan bakar masih dapat menyala. Dalam hal ini bahan bakar dan udara akan bercampur selama pembakaran. Ini adalah apa yang disebut pembakaran tanpa pencampuran awal (Heywood, 1988). Pada mesin diesel dengan pembakaran tanpa pencampuran awal menyebabkan api difusi.

f. Api Difusi (*Diffusion flame*).

Api difusi terjadi ketika waktu pencampuran terlalu singkat untuk mencampur semua bahan bakar dan udara. Api difusi merupakan hasil dari pembakaran *non-premixed* dan dibatasi oleh tingkat pencampuran. Ini sering juga disebut api pencampuran dikendalikan. Api difusi memiliki wilayah kepadatan oksigen tinggi dan daerah kepadatan bahan bakar yang

tinggi. Api difusi menciptakan padatan udara dengan densitas tinggi di lapisan luar dan daerah kepadatan bahan bakar yang tinggi di lapisan dalam (Merker dkk, 2006).



Gambar 19. Api Difusi (Merker et al, 2006).

4. Emisi Gas Buang Motor Diesel

a. Polutan

Terdapat emisi yang tidak diinginkan pada gas buang dari mesin diesel. Emisi yang tidak diinginkan sering disebut sebagai polutan. Komponen yang paling umum dikenal dari gas buang adalah CO₂. CO₂ adalah produk utama dari stoikiometri pembakaran bersama dengan H₂O. Dengan kata lain, akan ada emisi CO₂ selama ada proses pembakaran (Merker et al. 2006).

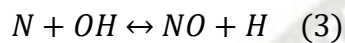
Selain polutan, terdapat emisi lainnya yang juga ditemukan pada gas buang mesin diesel yaitu:

i. Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen Oksida adalah istilah yang digunakan untuk semua jenis nitrogen oksida, seperti NO dan NO₂. Emisi nitrogen oksida dapat terbentuk melalui tiga cara yaitu:

ii. NO_x Thermal

NO_x thermal merupakan NO_x hasil pembakaran pada suhu tinggi, dan merupakan penyumbang terbesar emisi NO_x. Sebagian besar emisi NO_x ini molekul NO yang selanjutnya akan mengoksidasi ke NO₂. Thermal NO dikendalikan oleh mekanisme Zeldovich, yang terdiri dari tiga reaksi dasar:



Reaksi (1) dan (2) adalah eksponensial tergantung pada suhu dan dengan demikian peningkatan kecil pada suhu dapat menyebabkan peningkatan besar pada emisi NO_x. Reaksi pertama, yang diberikan oleh persamaan (1), adalah dikenal memiliki suhu aktivasi yang sangat tinggi karena nitrogen ikatan rangkap tiga yang harus rusak. Pada 1800 K, reaksi (1) berlangsung 7-8 kali lebih lambat dari reaksi (2) dan (3), tapi Reaksi (1) memiliki perkembangan yang sangat cepat dari 1800K dan ke atas (Heywood 1988).

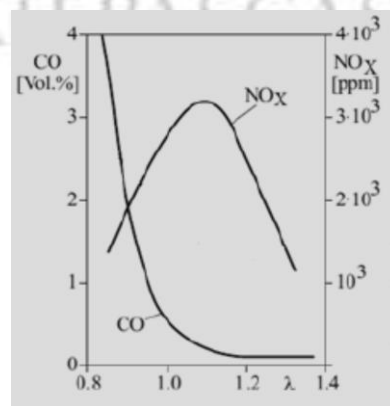
iii. NO_x Prompt.

Pembentukan NO_x Prompt merupakan pembentukan NO_x yang terjadi depan api atau di lapisan luar api difusi. Pembentukan NO_x Prompt berbeda dari pembentukan NO_x termal karena NO_x prompt terjadi ketika elemen bahan bakar bereaksi dengan molekul N₂ di udara. NO_x Prompt juga berbeda dari NO_x termal dimana itu dapat terbentuk ketika suhu mencapai 1000°K (McAllister 2011).

iv. NO_x Bahan Bakar

NOx Bahan bakar berarti NOx yang dihasilkan oleh bahan bakar yang berisi nitrogen alami, bereaksi sebagai reaksi pertama Zeldovich (Heywood 1988). Pembentukan NOx ini terjadi pada saat yang sama dengan mekanisme pembentukan NOx lain. Jumlah NOx bahan bakar biasanya tidak diperhitungkan dibandingkan dengan total emisi NOx. Suhu yang sangat tinggi di dalam ruang bakar mesin diesel, maka terjadi pembentukan NOx thermal. Jika proses pembakaran stoikiometri akan dihasilkan suhu yang lebih tinggi, yang mendorong pembentukan Nox, meskipun juga tergantung kepada oksigen yang tersedia. Reaksi stoikiometri akan membakar habis semua bahan bakar dengan pembentukan NOx yang tinggi terjadi pada kondisi udara yang sedikit kurus (Merker et al. 2006).

Campuran yang gemuk suatu bahan bakar di ruang bakar akan menghasilkan emisi NOx rendah, tapi sebagai kompensasinya akan dihasilkan CO tinggi. Korelasi antara CO dan NOx ditunjukkan pada Gambar 2.17. Puncak NOx terjadi ketika λ (lamda adalah perbandingan antara *air fuel ratio* teoritis dengan praktik) berada di atas 1, yang berarti kondisi hampir stoikiometri (Merker et al. 2006).



Gambar 20. Korelasi antara NOx dengan CO (Merker et.al 2006).

v. Partikulat /Particulate matter (PM)

Partikulat (PM) adalah setiap partikel padat atau tetesan cairan yang tersebar di gas buang atau di udara. PM dapat terdiri dari banyak bahan yang berbeda, termasuk debu, kotoran, tanah dan jelaga. Struktur dan sifat PM sangat tergantung pada kondisi gas buang serta bahan bakar yang digunakan. PM dapat berupa tetesan cairan dan partikel padat, dimana partikel yang berbeda dapat bergabung setelah proses pembakaran. Jelaga adalah salah satu jenis partikel akumulasi. Jelaga terbentuk pada bahan bakar yang gemuk selama pembakaran, dan merupakan hasil dari pembakaran tidak sempurna. Sebagian besar jelaga teroksidasi setelah terbentuk, tetapi beberapa jelaga dibawa keluar melalui knalpot (Merker et al. 2006).

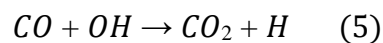
vi. Karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) merupakan hasil oksidasi parsial suatu bahan bakar selama pembakaran. CO terbentuk jika tidak ada cukup oksigen untuk menghasilkan CO₂. Emisi CO sangat tergantung pada rasio ekuivalen, dan konsentrasi CO meningkat dengan meningkatnya rasio ekuivalen. Berlawanan dengan jelaga, pembentukan CO adalah salah satu reaksi dasar pada proses pembakaran hidrokarbon (Merker et al. 2006). Pembentukan CO selama pembakaran dapat diringkas oleh berikut

reaksi:



R merupakan CH radikal dan reaksi menunjukkan bahwa hidrokarbon lengkap RH akhirnya membentuk CO. CO bereaksi lebih lanjut menjadi CO₂ jika ada oksigen yang tersedia. Ketika CO₂ terbentuk, maka proses pembakaran selesai. Oksidasi CO menjadi CO₂ terjadi pada tingkat yang lebih lambat (Merker et al. 2006). Oksidasi CO menjadi CO₂ dapat dilihat pada reaksi dibawah:



b. Emisi gas buang dan perubahan iklim.

i. Emisi Gas buang

Gas buang suatu motor pada terdiri dari senyawa seperti Nitrogen (N), Karbon Dioksida (CO₂) dan uap air. Namun demikian terdapat senyawa lain dalam jumlah yang relatif besar yang dapat membahayakan kesehatan atau lingkungan. Emisi yang tidak diinginkan sering disebut sebagai polutan. CO₂ tidak dianggap sebagai polutan dengan alasan bahwa hal itu tidak menimbulkan bahaya kesehatan langsung, dan juga karena itu adalah produk utama dari stoikiometri pembakaran bersama dengan H₂O. Dengan kata lain, akan selalu ada emisi CO₂ selama ada proses pembakaran.

Beberapa senyawa gas buang yang merupakan polutan akibat adanya pembakaran bahan bakar fosil di dalam mesin yang dianggap berbahaya terhadap kesehatan diantaranya adalah oksida sulfur (SO_x), oksida nitrogen (NO_x), oksida karbon (CO), hidrokarbon (HC), logam berat tertentu dan partikulat.

Table 5. Polutan pada gas buang motor diesel dan asalnya

Emisi	Asal	Di dalam mesin
NOx	NOx terutama terbentuk ketika oksigen dan nitrogen bereaksi pada suhu tinggi dalam pembakaran produk. NOx juga dapat terbentuk selama pembakaran dan sebagai akibat dari nitrogen dalam bahan bakar.	Membentuk dalam produk setelah pembakaran. Terutama di <i>pre-mixed</i> pembakaran dan di luar lapisan api difusi, di mana terdapat suhu tinggi dan terdapat banyak oksigen.
CO	CO adalah hasil dari pembakaran tidak lengkap. Hal ini terjadi jika tidak cukup oksigen dalam campuran untuk bereaksi dengan semua bahan bakar	CO terbentuk jika ada terlalu banyak bahan bakar di ruang pembakaran. Juga bentuk di lapisan dalam dari api difusi, di mana ada lebih bahan bakar dari udara
PM	PM adalah partikel yang tidak terbakar yang lebih besar dari molekul normal. Mereka terdiri dari Partikel kecil cairan nukleasi serta akumulasi partikel padat lebih besar	Partikulat biasanya terbentuk di bahan bakar yang kaya dari daerah api difusi. Pembentukan tepat dari partikel adalah kompleks, karena ada beberapa jenis dan sumber PM

Lindstorm (2015)

c. Dampak polutan terhadap kesehatan

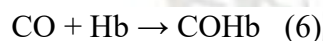
i. Belerang dioksida (SO_x)

Belerang dioksida (SO_x) jika terhirup saat bernapas maka akan bereaksi dengan air (H₂O) di dalam saluran pernapasan dan akan membentuk asam sulfat (H₂SO₄). Sulfat tersebut akan merusak jaringan dan menyerang selaput lendir pada

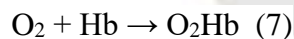
hidung, tenggorokan dan saluran nafas yang bisa sampai ke paru-paru. Bila SO_3 yang terhisap maka akan membentuk asam sulfat yang merupakan zat yang lebih berbahaya (Soemirat 2015).

ii. Gas karbon monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sehingga keberadaannya sering tidak terdeteksi. Gas karbon monoksida dapat menimbulkan rasa pedih pada mata, saluran pernapasan dan paru-paru. Bila gas karbon monoksida masuk ke dalam darah melalui pernapasan maka akan bereaksi dengan hemoglobin darah, yang akan membentuk karboksihemoglobin - COHb (Rukaesih, 2004).



Hemoglobin jika bereaksi dengan oksigen akan membentuk oksihemoglobin (O_2Hb) dan dialirkan menuju ke sel-sel jaringan tubuh.



Afinitas gas karbon monoksida terhadap hemoglobin mencapai 300 kali lebih besar daripada oksigen, sehingga hemoglobin yang telah mengikat oksigen masih dapat diserang oleh gas karbon monoksida, membentuk:



Kondisi tersebut menyebabkan gas karbon monoksida menghambat fungsi utama hemoglobin yaitu untuk membawa oksigen ke jaringan tubuh.

iii. Campuran NO dan NO_2

Campuran NO dan NO_2 sebagai bahan pencemar udara biasa menggunakan lambang NO_x . Ambang batas NO_x di udara adalah sebesar 0,05 ppm. Keberadaan

NO_x di udara tidak beracun secara langsung kepada manusia. Namun NO_x jika bereaksi dengan bahan-bahan pencemar lain akan dapat menimbulkan fenomena asap-kabut (*smog*). Asap kabut dapat menyebabkan berkurangnya daya pandang, iritasi pada mata dan saluran pernapasan, menjadikan tanaman layu, dan menurunkan kualitas materi.

iv. Senyawa timbel (Pb)

Kandungan senyawa timbel (Pb) di udara dapat terdeposisi pada tanaman sehingga bahan pangan dapat terkontaminasi. Keracunan senyawa timbel yang ringan dapat menyebabkan gejala seperti sakit kepala, mudah lelah dan depresi. Keracunan senyawa timbal yang lebih besar menyebabkan kerusakan otak, ginjal dan hati (Laila dan Shofwati, 2013)

Tugaswati (2016), mengategorikan bahan pencemar berdasarkan karakteristik kimia dan dampaknya di lingkungan. Bahan pencemar yang terkandung di dalam gas buang kendaraan bermotor dikelompokkan sebagai berikut:

- 1) Oksida sulfur, Oksida nitrogen, ozon, oksida lainnya dan partikulat, merupakan bahan pencemar yang terutama mengganggu saluran pernafasan.
- 2) Hidrokarbon, Karbon monoksida dan timbel/timah hitam merupakan bahan pencemar yang dapat menimbulkan pengaruh racun sistemik.
- 3) Hidrokarbon merupakan bahan pencemar yang dianggap menjadi penyebab penyakit kanker.
- 4) Kebisingan dan debu jalanan dapat mengganggu kenyamanan.

d. Dampak emisi gas buang pada lingkungan

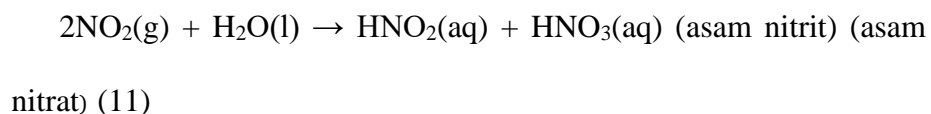
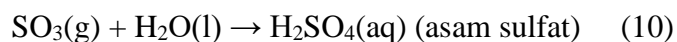
i. Karbon Dioksida (CO₂)

Gas karbon dioksida merupakan gas yang tidak berbahaya, namun meningkatnya komposisi gas karbon dioksida di udara dapat menyebabkan meningkatnya suhu permukaan bumi yang disebut sebagai pemanasan global. Gas karbon dioksida, uap air, metana (CH₄) dan senyawa Chloro Fluoro Carbon (CFC) dapat berlaku seperti kaca yang dapat melewatkan sinar ultraviolet tetapi akan menahan radiasi sinar inframerah. Radiasi panas yang dipancarkan oleh permukaan bumi akan terperangkap karena diserap oleh gas-gas rumah kaca. Efek rumah kaca dapat berfungsi seperti selimut yang akan menjaga suhu permukaan bumi pada kisaran rata-rata 15°C, sedangkan jika tanpa karbon dioksida dan uap air di atmosfer, suhu rata-rata permukaan bumi diperkirakan sekitar -25°C. Efek rumah kaca sangat penting dalam menentukan kehidupan di bumi. Namun demikian, meningkatnya kadar dari gas rumah kaca di atmosfer akan dapat menyebabkan suhu permukaan bumi menjadi terlalu tinggi yang dapat menyebabkan berbagai macam kerugian.

ii. Emisi gas NO_x dan SO₂.

Gas NO_x dan SO₂ jika ke udara akan dapat bereaksi dengan uap air di awan dan akan membentuk asam nitrat (HNO₃) dan asam sulfat (H₂SO₄) yang merupakan jenis asam kuat. Ketika awan tersebut turun ke bumi berupa hujan, maka air hujan akan bersifat asam (pH-nya lebih kecil dari 5,6), yang disebut sebagai hujan asam. Air hujan dengan pH kurang dari 5,7 disebut sebagai hujan asam. Terbentuknya hujan asam adalah:

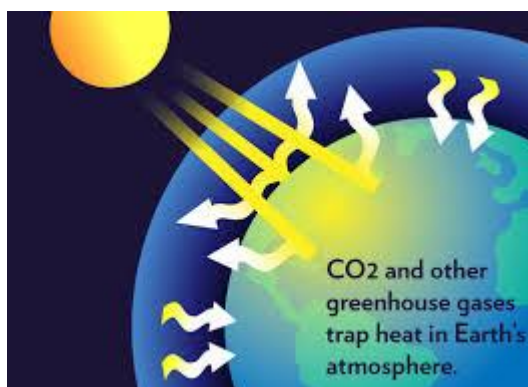




Hujan asam akan menyebabkan tanah dan sistem perairan menjadi bersifat asam. Kandungan asam tinggi pada tanah akan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman produksi., Hujan asam akan menyebabkan terganggunya makhluk hidup di dalam system perairan. Selain itu hujan asam secara langsung menyebabkan rusaknya bangunan (karat, lapuk). Smog merupakan salah satu bentuk pencemaran udara yang disebabkan oleh tingginya kadar gas NO_x, SO₂ dan O₃ di udara

e. Perubahan Iklim

Perubahan iklim terjadi tak lepas sebagai dampak adanya gas rumah kaca (GRK). GRK yang terpenting karena konsentrasinya yang tinggi di atmosfer adalah CO₂ dan CH₄. GRK bersifat transparan sehingga cahaya matahari bergelombang pendek dapat menembus sampai ke permukaan bumi. Cahaya matahari akan dipantulkan kembali ke atmosfer setelah mengenai permukaan bumi dalam bentuk sebagai sinar infra merah (*Infra red*). GRK tidak transparan terhadap gelombang infra merah, namun akan menyerapnya dan gelombang itu terperangkap di dalam atmosfer. Dampak dari hal tersebut adalah suhu atmosfer naik yang dinamakan sebagai Efek rumah kaca (ERK). Kadar yang besar GRK di atmosfer akan menyebabkan ERK semakin besar yang berakibat terhadap peningkatan suhu atmosfer.



Gambar 21. Efek Rumah Kaca

Budianto (2001) mendefinisikan bahwa perubahan iklim global merupakan akibat naiknya intensitas efek rumah kaca di atmosfer yang disebabkan adanya gas dalam atmosfer yang menyerap sinar panas yaitu sinar inframerah yang dipancarkan oleh bumi. Kementerian Lingkungan Hidup (2001) mendefinisikan perubahan iklim adalah berubahnya kondisi fisik atmosfer bumi antara lain suhu dan distribusi curah hujan yang membawa dampak luas terhadap berbagai sektor kehidupan manusia. Perubahan fisik ini tidak terjadi hanya sesaat tetapi dalam kurun waktu yang panjang.

Definisi yang umumnya diterima berdasarkan Pasal 1 Konvensi Perserikatan Bangsa Bangsa (PBB) mengenai Perubahan Iklim adalah: “Perubahan iklim ialah berubahnya iklim yang diakibatkan langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan selain itu juga berupa perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan”.

Menurut (IPCC) *Third Assessment Report* (IPCC 2001) bahwa negara berkembang di Asia paling rentan (*vulnerable*) terhadap adanya perubahan iklim. Secara detil dilaporkan bahwa daerah dengan populasi penduduk padat,

ketergantungan tinggi terhadap sumber daya alam, seperti halnya Indonesia, akan rentan terhadap efek yang akan disebabkan oleh adanya perubahan iklim, antara lain:

i. Dampak pada cadangan pangan.

Menurut Matthew (1997) Indonesia dengan kenaikan CO₂ dapat mempertahankan produksi pada kenaikan 2,3% dengan catatan kondisi irigasi yang baik, namun produksi padi akan mengalami penurunan -4,4% jika kondisi sistem pengairan tidak diperbaiki;

ii. Dampak pada sumber air.

Daerah terdampak terbesar adalah pesisir yang rendah dan padat penduduk yang secara signifikan akan menyebabkan genangan air, demikian juga kekeringan akan berdampak terhadap kawasan lahan kering dan dataran tinggi;

iii. Dampak pada kesehatan manusia.

Kawasan dengan kepadatan penduduk yang tinggi akan rawan dengan penyakit malaria dan demam berdarah. IPCC (1998) menyatakan bahwa akan terjadi peningkatan kasus malaria di Asia sampai 27%, demam berdarah sampai 47% dan kaki gajah sampai 17%;

iv. Dampak pada spesies vegetasi dan ekosistem.

Kondisi perubahan temperatur akan menyebabkan adanya perubahan spesies vegetasi dan ekosistem. Daerah dataran tinggi akan mengalami perubahan spesies vegetasi yang akan didominasi oleh spesies vegetasi dataran rendah;

v. Dampak pada kenaikan muka laut.

Perubahan iklim yang membawa dampak terhadap naiknya permukaan laut juga akan sangat mempengaruhi Indonesia yang memiliki garis pantai lebih dari 80.000 km. Apalagi sebagian besar kegiatan sosial dan ekonomi masyarakat terkonsentrasi di daerah pantai dan kota pantai, terutama pantai-pantai landai yang sangat rentan terhadap perubahan tinggi muka laut.

D. Bahan Bakar Motor Diesel

Industri minyak menghasilkan beberapa produk bahan bakar dengan karakteristik dan sifat yang beragam, contohnya adalah minyak diesel/solar. Solar merupakan jenis bahan bakar untuk motor diesel, yang diperoleh dengan pemisahan fraksi selama destilasi minyak bumi sampai terbentuk fraksi solar dengan titik didih antara 250°C sampai 300°C. Parameter kualitas solar antara lain adalah bilangan Setana, yang menunjukkan karakteristik pembakaran solar pada motor diesel dan kemampuan *anti-knocking*. Bilangan setana yang lebih besar pada solar menunjukkan kualitas solar yang lebih baik.

1. Properti minyak Solar.

Minyak solar memiliki karakteristik:

- a. Berwarna agak kekuningan dan berbau.
- b. Pada temperatur suhu kamar tidak menguap.
- c. Kandungan sulfur yang relatif lebih besar dibanding dengan bensin dan minyak tanah.
- d. Flash point pada kisaran 40°C sampai 100°C.
- e. Akan terbakar secara spontan pada suhu sekitar 300°C.
- f. Kandungan panas sekitar 10.500 kcal/kg.

Beberapa persyaratan untuk menghasilkan pembakaran yang baik, maka kriteria kualitas solar adalah:

- a. Tidak membeku pada suhu yang rendah.
- b. Terbakar dengan mudah.
- c. Sifat anti knocking yang baik sehingga motor bersuara lembut.
- d. Viskositas yang baik, sehingga dapat disemprotkan oleh *injector* ke dalam mesin dengan kualitas yang baik.
- e. Relatif tidak terjadi perubahan struktur, bentuk dan warna selama penyimpanan.
- f. Kandungan sulfur serendah mungkin, sehingga tidak berpengaruh buruk terhadap motor dan polusi lingkungan.

2. Macam bahan bakar motor diesel

Bahan bakar untuk motor diesel di Indonesia dikenal sebagai solar. Produk solar dari Pertamina antara lain biosolar, dexlite dan Pertamina Dex. Parameter bahan bakar tersebut antara lain ditandai dengan besarnya angka setana. Angka ini menunjukkan salah satu karakteristik kualitas solar. Bahan bakar diesel dengan angka setana murni, akan mempunyai angka 100 dengan sifat sangat mudah terbakar.

Setana dipilih sebagai suatu standar untuk menunjukkan kemudahan pembakaran relatif dari bahan bakar motor diesel. Bahan bakar solar mempunyai jumlah hidrokarbon yang berbeda, sedangkan setana hanya mempunyai satu unsur. Bahan bakar motor diesel harus menyala saat dikompresikan di dalam silinder. Karena setana paling mudah menyala di dalam ruang pembakaran motor diesel,

maka salah satu kualitas bahan bakar solar ditandai dengan angka setana yang semakin tinggi.

Angka setana dari bahan bakar motor diesel merupakan angka rata-rata dari semua angka setana dari berbagai hidrokarbon yang terdapat di dalam bahan bakar tersebut. Sifat mudah terbakar dari minyak solar dapat berpengaruh terhadap kinerja mesin diesel. Bahan bakar dengan angka setana rendah akan menghasilkan motor diesel berjalan lambat dan memiliki emisi gas buang yang lebih tinggi yang menunjukkan pembakaran yang tidak efisien. Angka setana yang rendah akan membuat mesin sulit dinyalakan. Sedangkan bahan bakar dengan angka setana tinggi akan menyala lebih mudah dan menghasilkan pembakaran yang lebih efisien, yang dapat meningkatkan daya mesin. Mesin diesel akan menghasilkan pembakaran yang efisien ketika memakai bahan bakar solar dengan angka setana pada kisaran 55. Angka setana yang lebih tinggi tidak secara otomatis akan menghasilkan tenaga lebih besar, efisiensi bahan bakar lebih besar atau penurunan emisi. Beberapa negara menetapkan standar untuk angka setana untuk bahan bakar motor diesel pada angka antara 40-51.

Di Indonesia, Dexlite memiliki angka setana minimal 51 dengan kandungan sulfur minimal 1.200 part per milion (ppm). Secara kualitas, Dexlite lebih baik dibandingkan Bio Solar yang merupakan varian terendah bahan bakar diesel Pertamina dengan angka setana 48 dan kandungan sulfur maksimal 2.500 ppm. Namun demikian, Dexlite kualitasnya di bawah Pertamina Dex yang punya angka setana 53 dengan kandungan sulfur lebih rendah dari 300 ppm.

3. Sifat dan kualitas pembakaran

Minyak solar dapat menghasilkan kinerja mesin yang maksimal jika terjadi pembakaran sempurna di dalam ruang bakar. Udara yang dikompresikan di dalam ruang bakar dengan tekanan kompresi pada kisaran 20 – 30 kgf/cm², sehingga akan menghasilkan temperature di dalam ruang bakar pada kisaran 650–750°C. Pembakaran yang sempurna dapat terjadi ketika bahan bakar (berupa kabut) diinjeksikan ke dalam ruang bakar motor yang di dalamnya terdapat udara panas yang cukup sehingga akan mampu untuk menyalakan bahan bakar. Pembakaran yang terjadi akan menyebabkan tekanan di dalam ruang bakar akan naik secara mendadak dan menghasilkan tenaga. Pembakaran yang sempurna tidak akan menyebabkan adanya ketukan (knocking) di dalam mesin.

Sifat Umum Sifat umum minyak solar sesuai spesifikasi ditunjukkan pada pengujian:

– Specific Gravity 60/60°F, ASTM D 1298

– Density 15°C, ASTM D 1298

i. Sifat Penguapan (volatility)

Minyak solar ketika dapat diuapkan secara sempurna dan terdistribusikan merata di dalam ruang bakar maka akan dapat terbakar sempurna. Ketika bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna maka menyebabkan proses pembakaran di dalam mesin terjadi dengan mudah, pemanasan mesin dan akselerasi. Jika minyak solar sulit untuk menguap maka akan sulit pula untuk start mesin dan rendahnya akselerasi mesin. Tingkat penguapan yang rendah menunjukkan terdapat fraksi

yang lebih berat di dalam minyak solar. Sifat penguapan minyak solar yang sesuai dengan spesifikasi dilakukan dengan pengujian:

- Distilasi ASTM D 86
- Flash Point ASTM D 93.

Detonasi pada mesin diesel dapat terjadi karena adanya keterlambatan pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar. Hal tersebut terjadi karena adanya akumulasi bahan bakar di dalam ruang bakar sehingga ketika terbakar maka akan terjadi ledakan secara berturut turut. Jarak waktu antara bahan bakar diinjeksikan ke ruang bakar sampai terbakar, disebut sebagai waktu tunda (*delay period*) yang dinyatakan dalam menit. Waktu tunda yang lama menyebabkan akan terjadi akumulasi bahan bakar. Hal tersebut berakibat akan terjadi penyalaan yang spontan dan dapat menyebabkan kenaikan tekanan yang mendadak dan berakibat terjadi ketukan yang besar di ruang bakar. Suara yang keras yang ditimbulkan yang disebut sebagai *Diesel Knock*. Sifat mutu pembakaran merupakan salah satu ukuran sifat bahan bakar minyak solar dimana minyak solar yang bermutu rendah akan mempunyai waktu tunda lebih lama.

ii. Density

Density merupakan kerapatan bahan bakar. Kerapatan bahan bakar berpengaruh terhadap daya motor dan asap gas buang. Hal tersebut karena dengan volume bahan bakar yang sama pada bahan bakar yang berbeda kerapatannya maka jika dimasukkan ke dalam silinder menyebabkan berat semakin besar. Untuk melakukan penghematan konsumsi bahan bakar maka dapat dilakukan dengan

melakukan pengaturan terhadap jumlah penyemprotan bahan bakar kedalam silinder.

iii. Sifat Pengkaratan (*corrosivity*)

Disamping Hidrokarbon yang merupakan unsur utama pada bahan bakar, beberapa unsur lain diantaranya adalah oksigen, nitrogen, sulfur dan logam. Sulfur merupakan senyawa yang paling bersifat korosif pada bahan bakar. Proses pembakaran bahan bakar menyebabkan senyawa sulfur akan teroksidasi oleh oksigen yang akan menghasilkan oksida sulfur. Jika oksida sulfur bereaksi dengan uap air maka akan terbentuk asam sulfat. Asam sulfat dapat bereaksi dengan logam. Kandungan senyawa sulfur pada minyak solar dapat dilihat dari tingkat keasaman minyak solar tersebut. Besar sifat keasaman bahan bakar maka akan menyebabkan sifat pengkaratan bahan bakar tersebut semakin besar.

iv. Sifat Kebersihan (*cleanless*)

Kebersihan minyak solar terkait dengan keberadaan kotoran yang terdapat di dalam minyak solar. Keberadaan kotoran pada bahan bakar akan mempengaruhi mutu bahan bakar yang dapat berakibat terhadap kegagalan operasi dan merusak mesin. Beberapa jenis kotoran pada bahan bakar diantaranya adalah berupa air, lumpur, endapan berupa abu atau karbon yang merupakan sisa pembakaran.

Sifat kebersihan minyak solar sesuai spesifikasi ditunjukkan pada pengujian :

- Color ASTM, ASTM D 1500
- Water content, ASTM D 96
- CCR (10 % vol. bottom), ASTM D 189
- Ash content, ASTM D 482

– Sediment by Extraction, ASTM D 473

v. Sifat Viskositas

Karakteristik kemampuan mengalir minyak solar disebut sebagai viskositas dinamik dan viskositas kinetik. Viskositas dinamik merupakan ukuran tahanan zat cair untuk mengalir, sedangkan viskositas kinetik merupakan ketahanan zat cair untuk mengalir sebagai akibat dari gaya berat. Karakteristik viskositas rendah ditunjukkan dengan kemudahan zat tersebut mengalir, sedangkan viskositas tinggi ditunjukkan dengan zat tersebut sulit mengalir. Minyak bumi atau produk turunannya memiliki viskositas yang tinggi karena minyak tersebut mempunyai kandungan hidrokarbon berat (berat molekul besar), sedangkan viskositas rendah berarti minyak tersebut mengandung banyak hidrokarbon ringan.

Viskositas minyak solar terkait dengan kemudahan mengalir pada pemompaan, kemudahan menguap untuk pengkabutan dan kemampuan melumasi pada *plungers*. Bahan bakar dengan viskositas rendah berpengaruh terhadap tingkat keausan pada komponen pompa bahan bakar, sedangkan bahan bakar dengan viskositas tinggi menyebabkan kerja pompa dan injektor menjadi lebih berat. Sifat viskositas minyak solar sesuai spesifikasi ditunjukkan pada pengujian :

– Viskositas Kinematik, ASTM D 445

– Pour Point, ASTM D 97

Viskositas bahan bakar dinyatakan dengan centi Stokes (cSt) adalah ukuran sejumlah liquid yang mengalir karena pengaruh gaya gravitasi pada viscometer pada kondisi temperature tertentu (40°C). Nilai Viskositas diperoleh dengan mengalikan hasil pengukuran dengan konstanta viscometer sesuai dengan kalibrasinya. Nilai

viskositas biodiesel relatif lebih rendah dibandingkan dengan solar. Hal tersebut akan mempengaruhi penyemprotan bahan bakar yang kurang sempurna di ruang bakar dibandingkan solar (Bawane et. al. (2014).

vi. Volatilitas /penguapan

Kemampuan penguapan dari bahan bakar disebut dengan volatilitas. Volatilitas bahan terkait dengan kemudahan pada saat start, distribusi ke silinder dan pemanasan motor (Anggarani, et al, 2013). Volatilitas bahan bakar yang terlalu besar menyebabkan penguapan ke udara secara berlebih yang berupa *evaporative emission*.

vii. Titik nyala.

Titik nyala adalah suhu paling rendah yang dicapai pada pemanasan minyak untuk menghasilkan uap terbakar ketika bersinggungan dengan nyala api atau panas. Standar titik nyala bahan bakar biodiesel sesuai dengan SNI adalah 100°C. Sedangkan pada biodiesel umumnya lebih tinggi (Kartika et.al, 2012).

viii. Residu karbon.

Residu karbon merupakan karbon yang tersisa setelah penguapan dan pembakaran. Bahan bakar minyak yang diuapkan akan meninggalkan residu karbon. Standar residu karbon maksimum 10 %.

ix. Titik Tuang

Titik tuang merupakan suhu paling rendah minyak membeku atau berhenti mengalir. Standar titik tuang bahan bakar diesel sebesar -15°C.

x. Bilangan Setana (*Cetane Number*).

Kualitas penyalaaan bahan bakar merupakan kemampuan untuk menyala ketika diinjeksikan ke dalam udara tekan di dalam silinder mesin diesel. Kualitas penyalaaan bahan bakar diukur dengan suatu indeks yang disebut dengan bilangan Setana. Bahan bakar dengan kualitas penyalaaan baik akan dapat menyala meskipun dengan sedikit keterlambatan penyalaaan, sedangkan bahan bakar dengan kualitas penyalaaan yang jelek akan menyala dengan terlambat. Kualitas penyalaaan bahan bakar merupakan salah satu sifat penting dari suatu bahan bakar motor diesel terutama pada motor kecepatan tinggi. Tidak hanya menentukan mudahnya penyalaaan dan *start* ketika mesin dalam keadaan dingin, kualitas penyalaaan bahan bakar berpengaruh terhadap kualitas pembakaran yang diperoleh dari bahan bakar tersebut. Bahan bakar dengan kualitas penyalaaan yang baik dapat menyebabkan operasi mesin yang lebih halus, tidak bising terutama terlihat pada saat beban rendah.

Penentuan angka setana dilakukan dengan mencampur dua macam bahan bakar yang akan diuji. Bahan bakar yang akan dicampur adalah Hexadecane ($C_{16}H_{34}$) atau bernama "*n-Cetane*" yang mempunyai angka setana 100 dengan hepta methyl nonane dengan angka setana 15. Angka setana diperoleh dengan menggunakan rumus: $\% n-Cetane + 0,15 (\% \text{ hepta methyl nonane})$. Angka setana pada motor diesel merupakan ukuran ketahanan bahan bakar terhadap terjadinya detonasi.

Angka setana tinggi pada bahan bakar menyebabkan bahan bakar akan cepat terbakar ketika disemprotkan ke dalam silinder pada akhir kompresi, sedangkan bahan bakar dengan angka setana rendah memerlukan waktu untuk

terbakar (*ignition delay*) yang menimbulkan detonasi karena terjadinya akumulasi bahan bakar dan kenaikan tekanan yang tiba-tiba. Dampak lain adalah bahan bakar belum semua terbakar saat pembuangan terjadi sehingga akan banyak asap yang keluar sebagai gas buang.

Semakin rendah angka setana berakibat *ignition delay*. Jika angka setana turun dari 53 menjadi 41 akan terjadi *ignition delay* sebesar sekitar 2 derajat engkol dan penurunan dari 53 ke 38 menyebabkan kenaikan tekanan sampai 50% (Jackson dan Morton 2003). Semakin rendah angka setana maka kebisingan bertambah sebagai akibat dari bahan bakar yang terbakar pada saat hampir bersamaan dalam jumlah besar yang merupakan akumulasi bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor ketika bahan bakar tidak langsung terbakar. Karena bahan bakar terbakar hampir bersamaan menyebabkan tekanan naik dengan seketika yang menyebabkan timbul suara yang sangat keras.

Hubungan antara angka setana dengan suhu yang diperlukan untuk pembakaran adalah berbanding terbalik. Semakin rendah angka setana dari minyak solar maka memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk membakarnya. Angka setana juga berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar, sehingga semakin rendah angka setana maka semakin menurun kebutuhan bahan bakar karena nilai bakar nya sedikit lebih tinggi (Jackson dan Morton 2003).

4. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari mono-alkil ester dari fatty acid rantai panjang, yang diperoleh dari minyak tumbuhan atau lemak binatang (Soerawidjaja, 2005).

Biodiesel diproduksi dari tumbuhan atau hasil tumbuhan yang mengandung minyak dan lemak hewan dengan melalui berbagai proses kimiawi yang dikenal dengan nama transesterifikasi, dimana minyak mentah bereaksi dengan methanol dan katalis potassium hidroksida (Kousoulidou et. al., 2008). Lebih lanjut, biodiesel juga dapat diperoleh dengan proses esterifikasi. Biodiesel termasuk bahan yang tidak beracun, *biodegradable*, dan dapat digunakan pada mesin tanpa banyak melakukan modifikasi mesin (Mustafa dan Gerpen, 2001). Biodiesel yang paling banyak digunakan adalah Rape Methyl Ester (RME) di Eropa dan Soybean Methyl Ester (SME) di Amerika Serikat, keduanya dikenal sebagai Fatty Acid Methyl Esters (FAME).

Biodiesel mudah penggunaannya karena dapat dicampur dengan minyak solar dalam berbagai konsentrasi yang berbeda. Biodiesel dapat digunakan dalam bentuk murni dengan kandungan 100% biodiesel yang disebut sebagai B100 atau biodiesel yang dicampur dengan bahan bakar solar dengan konsentrasi tertentu (BXX) (Knothe, G. 2005). Campuran biodiesel dikategorikan oleh persen biodiesel dalam campuran. Sistem yang disebut "faktor B" bekerja sebagai berikut:

- a. B5: konsentrasi 5 persen biodiesel, 95 persen solar
- b. B10: konsentrasi 10 persen biodiesel, 90 persen solar
- c. B20: konsentrasi 20 persen biodiesel, 80 persen solar

d. B99: konsentrasi 99 persen biodiesel, 1 persen solar

e. B100: merupakan biodiesel murni

Standar biodiesel diatur dengan menggunakan beberapa standar, seperti ASTM (Amerika serikat), EN (Uni Eropa) dan SNI (Indonesia). Karakteristik Fisika dan Kimia Biodiesel seperti tabel 2.3.

Tabel 6. Karakteristik Fisika dan Kimia Biodiesel

Parameter	Unit	Indonesia SNI 7182- 2015	Eropa EN 14214	USA ASTM D6751
Specific Gravity/berat jenis @40° C	Kg/m ³	850-890	860-900	860-900
Kinematic Viskosity/Viskositas Kinematik@40° C	cSt	2.3- 6,0	3,5-5	1,9-6
Cetane Number/angka setana	-	Min. 51	51	47
Flash Point/ titik nyala	°C	Min 100	Min 101	130
Could Point/ titik kabut	°C	Max. 8		-3 -12
Phosfor /Kadar Fosfor	mg/kg	Max.10	10	Max. 1
Copper Strip corrosion/ korosi plat tembaga		Max. no.3	Class 1	Max.no.3
Carbon Residue/ residu karbon				
Origin sample/sampel asli		Max. 0,05		Max.0,05
10% destilate volum/ 10% volume destilasi	% vol	Max. 0,03	0,3	
Water and sediment/ air dan sedimen	% vol	Max. 0,05	Max.0,05	Max.0,05
Distillation temperature @ 90% dist Vol.	°C	Max 360		Max 360
Sulfated ash/ Abu tresulfatkan	% mass	Max. 0,02	Max.0,02	Max.0,02
Sulphur	Mg/kg	Max 100	Max 10	Max. 50
Acid number/ angka asam	MgKOH/g	Max 0,8	0,5	Max 0,5
Free Glycerol/ Gliserol bebas	% mass	Max. 0,02	0,02	Max.0,02
Total Glycerol/total glicerol	% mass	Max 0,24	0,25	Max 0,24
Esther Alkyl content/kadar ester alkil	% mass	Min 96,5	Min 96,5	-
Iodium Number	% mass	Max 116	120	-

Sumber: BSN 20015; Kousoulidou et. al, 2008; Kartika et. al. 2012; Sudrajat et.al. 2007

E. Kinerja dan Emisi Biodiesel

Beberapa penelitian penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar pada motor diesel yang telah dilakukan antara lain:

Anggarani et. al. (2013), melakukan penelitian dengan menggunakan minyak Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) pada mesin diesel generator 5 KVA, dalam bentuk Nyamplung murni, campuran biodiesel dengan 50% minyak

solar, dan Minyak solar murni sebagai acuan. Hasil menunjukkan terjadinya bertambahnya waktu *start* dingin dan *start* panas, konsumsi bahan bakar campuran 50% solar – biodiesel nyamplung bertambah sebesar 10.8% dan bahan bakar 100% biodiesel nyamplung menyebabkan konsumsi bahan bakar bertambah sebesar 16.8%. Analisis emisi gas buang menunjukkan terjadinya penurunan emisi CO₂ pada pemakaian bahan bakar biodiesel nyamplung, dan terjadi peningkatan emisi gas CO dan HC. Terjadi peningkatan emisi gas NO_x dan opasitas gas buang pada pemakaian biodiesel nyamplung.

Penggunaan campuran biodiesel Nyamplung dengan solar pada konsentrasi 20% dan 50% (CB 20 dan CB50) dilakukan oleh Rao et.al. (2013). Hasil penelitian menemukan bahwa terjadi sedikit penurunan tenaga pada semua semua kecepatan, namun menghasilkan peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar pada CB 20 jika dibandingkan dengan solar. Pada penggunaan biodiesel Nyamplung murni (CB 100) menunjukkan tekanan silinder puncak maksimum (6,61 bar lebih tinggi dibandingkan dengan solar) yang merupakan tekanan puncak silinder yang optimum pada campuran biodiesel. Tidak ada perubahan tenaga signifikan pada mesin diesel dengan kecepatan rendah. Lebih lanjut diperoleh hasil bahwa kondisi operasi mesin yang optimal diperoleh dengan penggunaan biodiesel Nyamplung murni (CB 100), jika dilihat dari aspek konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi thermal mesin. Data emisi pada penggunaan biodiesel Nyamplung sebagai campuran pada minyak solar menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan biodiesel Nyamplung akan menyebabkan penurunan asap, Hidrokarbon dan partikel. Namun ada sedikit peningkatan pada Karbon Monoksida (CO) dan

Nitrogen Oksida NO_x). Penggunaan biodiesel Nyamplung murni (CB 100) menunjukkan penurunan emisi jika dibandingkan dengan bahan bakar solar.

Penggunaan campuran biodiesel dengan beberapa macam bahan baku biodiesel dilakukan oleh Rahman et.al. (2013). Penelitian ini melakukan kajian terhadap penggunaan campuran biodiesel Nyamplung dan biodiesel minyak sawit terhadap kinerja mesin dan emisi pada kondisi mesin idel putaran tinggi (1000 RPM, 1200 RPM dan 1500 RPM) dengan beban 10%, 12% dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada putaran tinggi, campuran biodiesel sawit dan biodiesel Nyamplung menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik rem yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Namun ketika jumlah campuran biodiesel ditingkatkan, konsumsi energi juga meningkat. Karena nilai kalor biodiesel Nyamplung lebih tinggi jika dibandingkan dengan biodiesel sawit, hasil menunjukkan bahwa biodiesel Nyamplung menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik rem yang lebih tinggi. Emisi CO dan HC berkurang dengan peningkatan prosentase campuran bahan bakar, dan pada semua hasil pengujian menunjukan emisi lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Pada CB20 menghasilkan emisi yang paling rendah untuk Emisi CO dan HC. Peningkatan emisi NO_x pada campuran dengan konsentrasi rendah tidak berarti jika dibandingkan dengan solar, namun pada konsentrasi campuran 20%, emisi meningkat secara signifikan. Temperatur gas buang lebih rendah untuk semua campuran biodiesel pada semua kondisi pengujian. Rendahnya temperature gas buang menunjukkan pembakaran bahan bakar yang lebih baik. CB 20 menghasilkan temperature gas buang paling rendah. Jika dibandingkan dengan biodiesel sawit

maka biodiesel Nyamplung menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi. Pada kondisi 1000 RPM 10% beban dan 1200 RPM 12% beban, terjadi penurunan temperature gas buang yang signifikan pada semua campuran biodiesel.

Penelitian efek tekanan injeksi pada penggunaan bahan bakar biodiesel Nyamplung campuran terhadap kinerja mesin dilakukan oleh Kumar dan Dhananjaya (2014). Tekanan injeksi ditetapkan sebesar 120 bar, 150 bar dan 180 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik rem minimum diperoleh pada CB 20 dan tekanan injeksi 150 bar. Sedangkan efisiensi thermal maksimum rem diperoleh pada CB 20 dan tekanan injeksi 150 bar. Kumar dan Dhananjaya menyimpulkan bahwa tekanan injeksi optimum adalah pada 150 bar dan untuk mendapatkan kinerja mesin diesel yang optimal campuran biodiesel Nyamplung CB 20 dengan tekanan injeksi 150 Bar.

Penelitian kinerja mesin diesel dengan beberapa variasi rasio kompresi dengan menggunakan bahan bakar biodiesel Nyamplung dilakukan oleh Bawane et. al. (2014). Campuran biodiesel Nyamplung ditetapkan adalah CB 25, CB 50 dan CB 75, sedangkan rasio kompresi ditetapkan pada 17,5:1, 16,5:1, 15,5:1 dan 14,5:1. Tekanan injeksi ditetapkan sebesar 210 Bar dengan sudut *timing* injeksi pada 27° sebelum titik mati atas. Hasil penelitian adalah Efisiensi thermal Rem sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar pada semua rasio kompresi. Hal tersebut disebabkan biodiesel Nyamplung memiliki volatilitas yang rendah sehingga atomisasi dan pengabutan yang kurang sempurna berakibat homogenitas campuran dengan udara kurang baik, dan akhirnya menurunkan pelepasan kalor pembakaran, maka efisiensi thermal dari mesin menjadi turun.

Konsumsi bahan bakar spesifik rem lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar. Hal tersebut karena nilai kalor dari biodiesel Nyamplung lebih rendah dibanding solar, sehingga tenaga yang dihasilkan lebih rendah pada konsumsi bahan yang sama dengan bahan bakar solar. Temperatur gas buang pada biodiesel Nyamplung ditemukan lebih rendah pada semua kondisi rasio kompresi. Hal tersebut karena viskositas biodiesel Nyamplung yang rendah sehingga meningkatkan penyemprotan di ruang bakar yang kurang sempurna antara bahan bakar dengan udara dibandingkan dengan solar. Emisi CO lebih tinggi pada perbandingan kompresi yang rendah, dan akan berkurang pada kompresi yang lebih tinggi. Hal tersebut karena pembakaran akan berlangsung lebih sempurna pada rasio kompresi yang tinggi. Secara keseluruhan emisi CO untuk biodiesel Nyamplung lebih tinggi jika dibanding bahan bakar solar. Hal ini karena volatilitas biodiesel Nyamplung yang rendah sehingga campuran yang tidak sempurna pada ruang bakar yang berakibat pembakarann kurang sempurna yang berakibat tingginya emisi CO. Biodiesel Nyamplung mengeluarkan emisi CO₂ dengan prosentase yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak solar pada rasio kompresi tinggi. Hal ini karena biodiesel Nyamplung memiliki kandungan oksigen, sehingga kandungan karbon relative lebih sedikit pada volume yang sama bahan bakaryang dikonsumsi pada rasio compresi yang sama. Emisi HC berkurang dengan meningkatnya rasio kompresi, hal ini karena pada rasio kompresi yang tinggi pembakaran berlangsung lebih baik sehingga emisi HC akan lebih sedikit. Namun karena volatilitas biodiesel Nyamplung yang rendah dan campuran yang kurang sempurna di ruang bakar, maka emisi HC lebih tinggi jika dibandingkan dengan emisi dari solar. Emisi NOx

adalah lebih tinggi pada rasio kompresi rendah, karena temperature tertinggi terjadi pada rasio kompresi ini.

Penelitian penggunaan campuran *jathropa oil* dan *cottonseed*, yang di *blending* dengan bahan bakar solar dilakukan oleh Sharma, et. al. (2012). Adapun paduan campuran tersebut adalah JCB 40 dan JCB 60. Dalam pengujian pada beberapa variasi beban dari mesin diesel 1 silinder 4 langkah, dengan parameter konsumsi bahan bakar spesifik, daya rem, Efisiensi thermal, dan Efisiensi mekanik, menunjukkan bahwa kedua campuran biodiesel tersebut menunjukkan parameter hasil yang mendekati dengan menggunakan bahan bakar diesel /solar Kajian terhadap penggunaan bahan bakar biodiesel yang berbasis lemak binatang dan minyak kedelai terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang dilakukan oleh Canakci et. al, (2001), Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua macam bahan bakar menghasilkan penurunan pada partikel, CO dan hidrokarbon yang tidak terbakar. Namun kedua biodiesel menunjukkan kenaikan pada emisi Nox dengan 11% and 13% pada minyak lemak dan minyak kedelai. Meskipun demikian konversi energi pada kedua biodiesel tersebut sama dengan menggunakan bahan bakar konvensional.

Penelitian terhadap penggunaan minyak sayur bekas sebagai bahan bakar mesin diesel dilakukan oleh Kazunori et. al. (2001). Dalam rangka untuk menurunkan kandungan NOx pada gas buang, maka dilakukan proses emulsi minyak sayur bekas dengan menggunakan air. Pada penggunaan tanpa emulsi, emisi asap lebih rendah jika dibandingkan dengan minyak diesel, dengan efisiensi thermal sama dengan minyak diesel, sedangkan kandungan Nox lebih tinggi 13%

pada beban penuh. Penambahan emulsi air, memberikan dampak signifikan pada penurunan emisi Nox, konsentrasi emulsi air 15% memberikan efek paling baik, yaitu penurunan 18% Nox dan peningkatan efisiensi thermal sebesar 4,5%.

Evaluasi kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar biodiesel campuran antara limbah minyak kelapa sawit dan limbah minyak sayur, dengan minyak diesel dilakukan oleh Mensah et. al. (2013). Adapun campuran biodiesel dilakukan dengan dengan variasi 5%, 10% dan 20% limbah minyak sayur maupun limbah minyak sawit. Hasil menunjukkan kandungan sulfur limbah minyak sawit dan minyak sayur lebih rendah dari bahan minyak diesel, dengan angka cetane pada kedua biodiesel lebih tinggi daripada minyak diesel. Kinerja mesin pada campuran 10% dan 20% limbah minyak sawit menunjukkan daya rem, efisiensi thermal yang lebih tinggi, tetapi gas buang yang lebih rendah pada semua kondisi beban. Messah et. al. (2012) menyimpulkan bahwa campuran 10% dan 20% dapat menjadi energi alternatif bahan bakar pada mesin diesel tanpa perlu melakukan modifikasi mesin.

Penelitian kinerja pembakaran dan emisi gas buang dari pembakaran campuran biodiesel minyak sawit dengan mengeksplorasi korelasi antara emisi dan tekanan pompa bahan bakar di atas kisaran dari ekivalensi rasio (ER) dilakukan oleh Ng dan Gan (2010). Penelitian eksperimental ini menunjukkan bahwa pembakaran yang optimal dalam sistem burner tanpa bertekanan terjadi dengan kisaran sempit dari nilai ER 0,75-0,85. Kualitas pembakaran diimbangi dengan peningkatan NO ketika kandungan Biodisel Palm Oil Methy Ester dinaikkan.

De Almeida et. al. (2001) membuktikan bahwa mesin diesel dapat disesuaikan untuk dijalankan dengan minyak kelapa sawit dan dengan

meningkatnya suhu minyak sawit, kinerja dan daya tahan mesin diesel meningkat. Minyak sawit mempunyai viskositas rendah, pembakaran yang lebih baik dan deposit karbon berkurang bila dipanaskan pada 100°C. Namun, konsumsi bahan bakar spesifik minyak sawit di mesin diesel sedikit lebih tinggi dari bahan bakar diesel.

Kinerja diesel sawit dengan 4-nonil asam asetat fenoksi (NPAA) sebagai aditif untuk mengontrol NO dan CO di mesin diesel dilakukan oleh Kalam dan Masjuki (2008). Temuan-temuan bahwa campuran diesel sawit dengan 1% dari NPAA menghasilkan daya rem yang lebih tinggi dan lebih rendah spesifik konsumsi bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar diesel dan diesel sawit. Karena karakteristik oksidatif biodiesel menyebabkan korosi dan keausan untuk bagian-bagian mesin. Dengan menggunakan aditif *anti-wear*, itu menunjukkan pengurangan yang signifikan sifat tersebut.

Lin et. al. (2006) melakukan penelitian terhadap konsumsi bahan bakar dan efisiensi energi pada mesin diesel dalam kondisi *steady state*, dengan berbagai macam campuran biodiesel dengan minyak diesel. Hasil menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik meningkat bersama dengan dengan meningkatnya kandungan biodiesel pada campuran. Hal tersebut karena nilai kalor dari bahan bakar biodiesel minyak sawit yang lebih rendah, Sapuan et.al. (1996) menyimpulkan bahwa tenaga luaran yang dihasilkan hampir sama antara minyak sawit murni, campuran biodiesel dan minyak diesel murni. Pemakaian bahan bakar dari minyak sawit tidak menimbulkan efek yang merusak, dalam jangka pendek pemakaian.

Banapurmath et. al. (2008) melakukan penelitian tentang efek penggunaan *Jatropha oil methyl esters* (JOME) terhadap daya motor. Terjadi peningkatan efisiensi ketika beban dinaikkan pada pemakaian biodiesel Jarak pagar. Efisiensi thermal pada pemakaian biodiesel JOME adalah 29%, ini adalah lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Hal ini disebabkan oleh terjadinya campuran yang kurang sempurna sebagai akibat dari volatilitas yang rendah, viskositas dan densitas yang tinggi dari biodiesel Jarak pagar.

Pramanik (2003) menemukan bahwa tidak ada perbedaan yang significant pada kinerja motor antara minyak diesel dengan biodiesel jarak murni. Konsumsi bahan bakar spesifik berkurang karena viskositas biodiesel jarak yang rendah. Efisiensi thermal 26,1% dicapai ketika bahan bakar dicampur antara biodiesel dengan minyak diesel sampai dengan 50%. Campuran dengan kandungan biodiesel yang lebih rendah menunjukkan temperature gas buang yang sedikit lebih tinggi.

Chauhan et. al. (2010) melakukan kajian pemakaian biodiesel jarak yang dipanaskan dan tidak dipanaskan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa biodiesel Jarak tanpa pemanasan, kinerjanya lebih rendah dibandingkan dengan minyak diesel. Ketika bahan bakar dipanaskan, viskositas turun, yang berakibat kinerja mesin meningkat. Pemanasan bahan bakar juga berakibat efisiensi thermal meningkat dan konsumsi bahan bakar spesifik lebih rendah dibanding minyak diesel. Hasil studi menunjukkan bahwa temperature pemanasan yang optimal adalah 80°C. Oleh karena itu pemakaian biodiesel jarak yang dipanaskan adalah pengganti yang baik untuk bahan bakar diesel.

Jindal et. al. (2010) menunjukkan bahwa peningkatan rasio kompresi yang dibarengi dengan tekanan injeksi akan mengakibatkan peningkatan efisiensi thermis dan konsumsi bahan bakar pada pemakaian biodiesel jarak. Kinerja tertinggi terjadi ketika tekanan injeksi pada 250bar dan rasio kompresi 18, dimana konsumsi bahan bakar spesifik meningkat sebesar 10% dan efisiensi thermos meningkat sebesar 8,9%.

Agarwal dan Agarwal (2007) melakukan kajian biodiesel Jarak yang dilakukan *preheat* dan dicampur methanol. Pemanasan antara 90°C – 100°C, adalah suhu yang cukup untuk menurunkan viskositas yang mendekati minyak diesel. Konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi thermis yang optimal dicapai ketika tekanan injeksi 200 bar untuk biodiesel yang dengan pemanasan awal. Konsumsi bahan bakar spesifik meningkat dengan peningkatan proporsi campuran bahan bakar biodiesel pada seluruh beban motor. Namun Efisiensi thermis lebih rendah pada penggunaan proporsi biodiesel yang lebih besar.

Kinerja mesin diesel berbahan bakar biodiesel jarak menggunakan Exhaust Gas Recirculation (EGR) diterliti oleh Pradep dan Sharma (2007). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan EGR menurunkan Efisiensi Thermis, Prosentase penurunan efisiensi thermis pada range 0-25% adalah 4,9% untuk biodiesel Jarak. Penurunan ini disebabkan oleh efek dominan dilusi yang akan meninggalkan gas buang di ruang pembakaran.

Haldar et. al. (2009), melakukan pengujian menggunakan biodiesel Jarak yang telah dilakukan proses *degumming*. Degumming adalah proses kimia untuk menghilangkan getah, sehingga viskositas dan angka cetane biodiesel meningkat.

Campuran 20% biodiesel Jarak yang telah di degumming, memberikan yang lebih baik pada konsumsi bahan spesifik dan efisiensi termis.

Kalam dan Masjuki (2004) melakukan kajian karakteristik emisi gas buang, dengan biodiesel minyak sawit yang dilakukan pemanasan awal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan CO, HC dan PM lebih rendah, jika dibandingkan dengan minyak diesel dan biodiesel Sawit yang diemulsi. Pemanasan biodiesel akan menyebabkan penurunan viskositas yang mendekati level bahan bakar diesel, sehingga tingkat pengabutan dan penyempotan bahan bakar lebih baik yang menjadikan pembakaran lebih sempurna. Namun demikian kandungan NO_x lebih tinggi pada biodiesel yang di preheated, jika dibandingkan dengan minyak diesel dan biodiesel yang diemulsi. Lebih lanjut Kalam dan Masjuki (2008) melakukan kajian terhadap penggunaan *additive* 4-Nonyl phenoxy acetic acid (NPAA), untuk mengontrol NO dan CO pada motor diesel. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan *additive* 4-Nonyl phenoxy acetic acid (NPAA), memberikan hasil adanya penurunan NO_x, CO dan HC jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Penggunaan *additive* anti korosi juga dapat secara signifikan menurunkan kandungan emisi NO_x pada gas buang motor diesel (Kalam dan Masjuki, 2002).

Efek antioxidant *additive* terhadap pembentukan polutan dari pembakaran bahan bakar biodiesel sawit telah dilakukan oleh Gan and Ng (2010). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan jenis additive dan kuantitas pada campuran biodiesel akan memberikan hasil pengendalian polutan yang efektif, jika dibandingkan dengan metode lainnya.

Kousoulidou et.al. (2010) melakukan kajian penggunaan biodiesel *Blend* pada mesin diesel common-rail dan membandingkan dengan standar Euro 3 untuk mobil beban ringan. Hasil menunjukkan bahwa biodiesel Sawit menyebabkan penurunan emisi PM dan NOx hanya berbeda sedikit dengan standar emisi.

Chauhan et. al. [2010] melakukan studi efek pemanasan awal bahan bakar biodiesel Jarak terhadap emisi gas buang pada motor diesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi NO meningkat, sejalan dengan peningkatan temperature bahan bakar. Namun emisi CO, HC, dan asap terjadi penurunan, sedangkan emisi CO₂ mengalami kenaikan.

Banapurmath et. al. (2008) melakukan kajian karakteristik emisi pada mesin diesel pembakaran langsung, tekanan tinggi dengan menggunakan bahan bakar biodiesel Jarak. Daya mesin, kandungan asap, HC dan CO lebih tinggi dibandingkan dengan minyak diesel standar. Namun emisi NOx lebih rendah jika dibandingkan dengan minyak diesel. Sebaliknya pada penelitian Agarwal and Agarwal (2001) terhadap penggunaan biodiesel *blend* sebagai bahan bakar motor diesel, menunjukkan parameter emisi, seperti CO₂, CO, HC dan asap, akan mengalami kenaikan ketika proporsi campuran biodiesel meningkat, jika dibandingkan dengan minyak diesel.

Hasil studi Kumar et. al. (2003) menunjukkan bahwa level asap minyak Jarak, 4,4 BSU, Jatropha methyl ester, 4 BSU dan Campuran Jatropha-methanol, 4.1 BSU, yang menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari minyak diesel (3.8 BSU). Disamping itu, emisi HC dan CO naik sedikit pada Jatropha methyl ester dan campuran Jatropha methanol dibandingkan dengan diesel oil. Namun emisi NO

lebih rendah dengan minyak Jarak disbanding dengan minyak diesel, dan semakin rendah pada penggunaan dengan campuran jarak-Methanol.

Reddy and Ramesh (2006), menemukan bahwa dengan memajukan waktu penyalaan bahan bakar dan meningkatkan tekanan injeksi, akan menurunkan HC, CO dan Asap pada penggunaan biodiesel jarak sebagai bahan bakar pada motor diesel. Disamping itu emisi NO juga turun, dengan menaikkan tekanan injeksi dan memajukan waktu penyalaan. Pradeep dan Sharma [2007), menemukan bahwa penggunaan exhaust gas recirculation (EGR) dapat menurunkan emisi NO pada penggunaan biodiesel minyak jarak. Namun dengan 15% EGR adalah level optimal untuk mereduksi emisi NO_x, tanpa menimbulkan dampak pada kinerja dan emisi yang lain.

Emisi CO, CO₂, NO dan HC pada biodiesel jarak yang di *degumming* pada beban tinggi. Namun pada beban rendah, emisi biodiesel Jarak hampir sama dengan penggunaan minyak diesel Haldar et. al. (2009). Jindal et. al. (2008), menganalisis bahwa meningkatnya rasio kompresi dan tekanan injeksi, maka emisi HC, NO, Asap, dan temperature gas buang, lebih rendah, pada penggunaan biodiesel minyak jarak murni, jika dibandingkan dengan minyak diesel. Lebih lanjut, Jindal et. al. (2008) menemukan bahwa pemanasan awal dan campuran biodiesel yang rendah akan dapat menurunkan emisi.

Tabel 7 Perbandingan Kinerja Biodiesel Pada Motor diesel

BTE	Biodiesel Sawit	Biodiesel Jarak	Biodiesel Nyamplung
Brake Thermal Efficiency (BTE) Naik	De Almada et.al (2001); Kalam dan Masjuki [2008].	Pramanik [2003], Chauhan et al. [2010], Agarwal (2007); Rasio Jindel (2007); Haldar (2010)	Rao et.al. (2013); Kumar dan Dhananjaya (2014); Bawane et. al. (2014)
Brake Thermal Efficiency (BTE) Turun		Blend J20: Agarwal and Agarwal [2007], JOME: Banapurmath et al. [2007]; Pradeep and Sharma [2007]	Rahman et.al. (2013),

Tabel 8. Perbandingan Emisi Gas Buang Biodiesel

	Minyak Sawit	Minyak Jarak	Minyak Nyamplung
CO ₂ naik		Agarwal dan Agarwal (2001) Chauhan et al. [2010], Haldar et al. (2009)	
CO ₂ turun			Riesta Anggarani, et al (2013), Rahman et.al (2013), Bawane et al. (2014)
NO _x naik	Kalam and Masjuki (2004) Kousoulidou et al. (2008)		Rahman et.al (2013), Rao et. al (2013) Riesta Anggarani, et al (2013)
NO _x turun	Kalam and Masjuki (2008);	Banapurmath et al. (2008); Kumar et al. (2003);	

HC/C O naik	Kalam and Masjuki [2004]	Reddy and Ramesh [2006]; Pradeep and Sharma [2007]; Haldar et al. [2009] Banapurmath et al. (2008); Agarwal and Agarwal (2001); Kumar et al. (2003)	Bawane et al. (2014)
HC/C O turun	NPAA additive: Kalam and Masjuki [2008], Preheated: Kalam and Masjuki [2004]	Chauhan et al. [2010]; Reddy and Ramesh (2006); Degummed Jatropha blend: Haldar et al. [2009]	Rao et. al (2013) Rahman et.al (2013),
Opasi tas asap naik		Banapurmath et al. (2008), Agarwal and Agarwal (2001), Kumar et al. [2003)	Riesta Anggarani, et al (2013),
Opasi tas asap turun		Chauhan et al. [2010], Reddy and Ramesh [2006]	Rao et. al (2013)

SEKOLAH PASCASARJANA