

**PEMBUATAN BIODIESEL DARI  
KEMIRI SUNAN  
(*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw)  
DAN PEMANFAATAN HASIL SAMPING**



**PEMBUATAN BIODIESEL DARI  
KEMIRI SUNAN  
(*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw)  
DAN PEMANFAATAN HASIL SAMPING**

**Penyusun:**

Dibyو Pranowo  
Muhammad Syakir  
Bambang Prastowo  
Maman Herman  
Asif Aunillah  
Sumanto



Hak cipta dilindungi undang-undang  
© IAARD Press, 2014

---

Katalog dalam terbitan

---

Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (*Reutealis trisperma*  
(Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping/  
Penyusun, Dibyo Pranowo [*et al.*] - Jakarta: IAARD Press,  
2014

vii, 100 hlm.: ill. ; 21 cm

633.85

1. Kemiri Sunan    2. Biodiesel    3. Hasil Samping

I. Pranowo, Dibyo    II. Pusat Penelitian dan  
Pengembangan Perkebunan

---

ISBN : 978-602-1250-35-9

Penyunting :

Prof. Dr. Elna Karmawati

Dr. Sabarman Damanik

Disain sampul dan tata letak :

Agus Budiharto

**IAARD Press**

Jalan Ragunan No.29, Pasarminggu, Jakarta 12540

Telp. +62 21 7806202, Faks.: +62 21 7800644

Alamat Redaksi :

Jalan Ir. H. Juanda No. 20, Bogor 16122

Telp. +62 251 8321746. Faks. +62 251 8326561

e-mail: [iaardpress@litbang.deptan.go.id](mailto:iaardpress@litbang.deptan.go.id)

## KATA PENGANTAR

Kemiri sunan (*Reutalis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) merupakan salah satu komoditas tanaman penghasil minyak nabati non edibel yang prospektif sebagai bahan baku biodiesel. Disamping produktivitasnya yang tinggi, rendemen minyak kasar dari kernelnya dapat mencapai lebih dari 50%, dengan rata-rata angka asam lemak bebasnya cukup rendah. Habitusnya yang berupa pohon dengan kanopi daun yang lebar dan sistem perakaran tunjangnya sangat sesuai untuk digunakan sebagai tanaman konservasi.

Buku ini menyajikan proses pembuatan biodiesel dari minyak kasar kemiri sunan dan pemanfaatan hasil sampingnya disertai bahasan yang mendetil peralatan dan langkah-langkah operasionalnya. Bahan-bahan yang disajikan dalam buku ini bersumber dari hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan selama kurun waktu sekitar 4 tahun terakhir disertai dengan sumber referensi terkait lainnya. Buku ini juga memuat uraian tentang karakteristik tanaman, pemanenan dan penanganan hasil panen buah segar, ekstraksi, dan pengolahan minyak mentahnya menjadi bahan baku yang siap diproses menjadi biodiesel.

Penyusun menyadari bahwa buku ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk penyempurnaannya. Semoga buku ini bermanfaat dalam rangka mendukung pengembangan kemiri sunan di masyarakat dan dapat mendorong berkembangnya industri bahan bakar yang memanfaatkan minyak nabati non pangan dari hulu sampai ke hilir.

Bogor, Januari 2014

Penyusun,



## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>II. BIODIESEL</b> .....	7
2.1. Definisi Biodiesel .....	7
2.2. Status Perkembangan Biodiesel di Dunia.....	8
<b>III. TANAMAN KEMIRI SUNAN</b> .....	12
3.1. Daun .....	12
3.2. Bunga .....	13
3.3. Buah .....	15
<b>IV. PENGOLAHAN MINYAK KEMIRI SUNAN</b> .....	19
4.1. Pemanenan Buah Kemiri Sunan .....	19
4.2. Pengeringan Biji .....	21
4.3. Pengupasan Biji .....	23
4.4. Ekstraksi Minyak.....	24
4.5. Penjernihan Minyak Nabati .....	29
4.6. Karakteristik Minyak Kemiri Sunan .....	31
<b>V. PENGOLAHAN BIODIESEL KEMIRI SUNAN</b> .....	34
5.1. Proses Pembuatan Biodiesel .....	35
5.2. Analisis Asam Lemak Bebas .....	46
5.3. Perbandingan Standar Mutu Biodiesel .....	47
5.4. Mutu Biodiesel Kemiri Sunan .....	51
<b>VI. REAKTOR BIODIESEL</b> .....	62
<b>VII. PEMANFAATAN HASIL SAMPING KEMIRI SUNAN</b> .....	77
7.1. Produksi Bio Briket .....	77
7.2. Biogas dari Bungkil .....	78
PENUTUP .....	84
DAFTAR PUSTAKA .....	88

INDEKS .....	96
PROFIL PENULIS .....	101



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Target penggunaa biodiesel pada berbagai negara .....	9
Tabel 2.	Penggunaan jenis biofuel di beberapa negara	10
Tabel 3.	Komposisi daging biji kemiri sunan .....	17
Tabel 4.	Perbandingan teknik ekstraksi terhadap rendemen pada beberapa sumber minyak nabati .....	29
Tabel 5.	Perbandingan rendemen dan karakter minyak pada 2 varietas kemiri sunan .....	31
Tabel 6.	Asam lemak penyusun kemiri sunan .....	32
Tabel 7.	Perbandingan standar mutu biodiesel di berbagai negara .....	48
Tabel 8.	Mutu biodiesel kemiri sunan .....	52
Tabel 9.	Perbedaan kelebihan pada reaktor awal dan reaktor pengembangan atau reaktor multifungsi .....	65

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Habitus pohon kemiri sunan .....	5
Gambar 2. Bentuk daun kemiri sunan .....	13
Gambar 3. Bunga kemiri sunan: Bunga jantan, bunga betina dan bunga hermaphrodit .....	14
Gambar 4. Rangkaian bunga kemiri sunan .....	14
Gambar 5. Buah kemiri sunan di pertanaman .....	15
Gambar 6. Buah dan benih kemiri sunan pada berbagai tingkat kemasakan: 24, 26, dan 28 minggu setelah berbunga (MSB) .....	16
Gambar 7. Bagian-bagian buah kemiri sunan. Buah (a), biji yang masih melekat pada aksis pusat (b), kernel (c), biji (d), endosperma (e), dan kotiledon (f) .....	16
Gambar 8. Variasi jumlah biji per buah kemiri sunan asal Garut dan Majalengka .....	17
Gambar 9. Bentuk bagian kemiri sunan: cabang bunga (a), bunga jantan (b), bunga jantan yang memperlihatkan staminal <i>column</i> dan <i>disk gland</i> (c), bunga betina(d), buah(e), dan biji (f) .....	18
Gambar 10. Berbagai jenis minyak nabati: minyak kesambi, minyak kemiri sayur, minyak kelapa, minyak kelapa, minyak kemiri sunan, minyak kelapa sawit, dan minyak nyamplung ..	20
Gambar 11. Pengeringan secara alami menggunakan panas matahari: biji kemiri sunan (kiri) dan kernelnya (kanan).....	23
Gambar 12. Alat pengering elektronik (oven/dryer) .....	23
Gambar 13. Alat pengupas buah kemiri sunan .....	24
Gambar 14. Pengepresan biji menggunakan dongkrak hidrolik manual .....	25

Gambar 15. Alat pres hidrolis elektronik.....	26
Gambar 16. Alat press berulir: <i>double stage screw expeller</i> (a) dan <i>single stage screw expeller</i> (b) .....	27
Gambar 17. Salah satu desain single screw press .....	27
Gambar 18. Teknik ekstraksi minyak menggunakan pelarut (kiri) dan Teknik pemisahan minyak dari pelarut (kanan) .....	28
Gambar 19. Alat penyaring minyak nabati tipe putar (a) dan tipe horizontal (b) .....	30
Gambar 20. Struktur Asam $\alpha$ -eleostrearat.....	32
Gambar 21. Diagram alir ekstraksi minyak dari tanaman kemiri sunan .....	33
Gambar 22. Reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol .....	37
Gambar 23. Diagram proses pembuatan biodiesel .....	39
Gambar 24. Rangkaian peralatan pembuatan biodiesel skala laboratorium .....	40
Gambar 25. Proses pemisahan biodiesel dengan gliserol melalui pengendapan .....	41
Gambar 26. Proses pencucian biodiesel mentah menggunakan air di dalam labu pemisah ....	41
Gambar 27. Proses pengeringan biodiesel .....	43
Gambar 28. Biodiesel murni dari berbagai sumber minyak (metil ester) .....	44
Gambar 29. Biodiesel kemiri sunan B100 yang digunakan pada mobil diesel dan pompa air	45
Gambar 30. Biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan menggunakan reaktor biodiesel .....	45
Gambar 31. Rumus bangun asam malvalat dan asam sterkulat.....	60

Gambar 32. Beberapa contoh reaktor biodiesel yang ada di lapangan .....	63
Gambar 33. Reaktor biodiesel (a) Reaktor awal, (b) Reaktor pengembangan atau multifungsi ...	64
Gambar 34. Detail bagian-bagian reaktor biodiesel .....	66
Gambar 35. Tangki A dan Tangki B reaktor biodiesel .....	67
Gambar 36. Kondensor .....	68
Gambar 37. Heater dan termokopel .....	70
Gambar 38. Gelas indikator .....	71
Gambar 39. Pompa input-output .....	72
Gambar 40. Pompa vakum .....	72
Gambar 41. Kaca kontrol .....	73
Gambar 42. Corong input katalis .....	74
Gambar 43. Sistem agitator reaktor (a) dan drive motor reaktor biodiesel multifungsi (b) .....	75
Gambar 44. Aliran cairan tipe radial (a) dan axial (b).....	76
Gambar 45. Bentuk impeller pada agitator tipe radial (a) dan axial (b) .....	76
Gambar 46. Bungkil (a) dan Briket Kemiri Sunan (b) .....	78
Gambar 47. Kompur Biobriket .....	78
Gambar 48. Skema instalasi reaktor biogas bungkil kemiri sunan .....	81
Gambar 49. Penyiapan umpan biogas. Starter (kotoran+air) (a) dan (b); (bungkil kemiri sunan + air) (c) .....	82
Gambar 50. Memasukkan umpan ke dalam digester biogas. Memasukkan umpan (a), Inkubasi 3 – 7 hari (b), Kompur biogas (c) .....	82
Gambar 51. Plastik penampung biogas .....	83
Gambar 52. Limbah padat dan cair dari proses pembangkitan biogas .....	83

# I. PENDAHULUAN

Pemanasan global yang memicu terjadinya perubahan iklim telah menjadi perhatian masyarakat dunia. Wacana ini diangkat ke acara Earth Summit di Rio de Janeiro, Brazil, pada tahun 1992 yang menghasilkan Kerangka Konvensi untuk Perubahan Iklim (*United Nation Framework Convention on Climate Change-UNFCCC*) dan ditandatangani oleh 167 negara. Kerangka ini mengikat secara moral semua negara-negara industri untuk menstabilkan emisi CO<sub>2</sub>. Indonesia ikut mendukung konvensi ini melalui Undang Undang No. 6 Tahun 1994 mengenai perubahan iklim dan Undang Undang No. 17 Tahun 2004 tentang pengesahan Protokol Kyoto. Sebagai negara berkembang yang sedang membangun, Indonesia perlu mempercepat pengembangan industri dan transportasi dengan tingkat emisi rendah melalui pemanfaatan teknologi bersih dan efisien serta pemanfaatan energi terbarukan (*renewable energy*).

Dalam kaitan ini, Indonesia telah menyampaikan kepada UNFCCC hasil penyusunan Komunikasi Nasional Pertama (*First National Communication*) pada tahun 1999 dan *Indonesia Second National Communication Under The United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) pada tahun 2009 sebagai bukti keseriusannya dalam menangani perubahan iklim. Salah satu rencana pemerintah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca di bidang energi adalah penggunaan bahan bakar yang lebih bersih dan penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT).

Emisi CO<sub>2</sub> dapat berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, seperti batubara, minyak bumi, dan gas bumi; emisi dari industri dan konversi lahan. Menurut Boden *et al.* (2013),

penggunaan bahan bakar fosil dan produksi semen merupakan sumber utama emisi CO<sub>2</sub> di dunia yang mencapai 9,67 miliar ton karbon atau setara dengan 35,4 miliar ton CO<sub>2</sub>. Jumlah ini mencapai 45,9% dari total emisi CO<sub>2</sub>.

Indonesia menempati urutan 15 dari seluruh negara di dunia yang menghasilkan CO<sub>2</sub> dari bahan bakar fosil pada tahun 2008 dengan total emisi sebesar 111 juta metrik ton karbon. Emisi dari BBM telah menjadi sumber utama emisi fosil dengan total 36,6 % dari total emisi CO<sub>2</sub> yang telah dikeluarkan (Boden *et al.*, 2011). Oleh karena itu, perlu dicari teknologi bersih, efisien, dan terbarukan (*renewable energy*) untuk mengurangi emisi karbon dari BBM.

Selain itu, ketergantungan pada penggunaan bahan bakar minyak untuk keperluan sehari-hari di berbagai bidang serta semakin menipisnya persediaan minyak bumi di Indonesia telah mendorong pemerintah mengeluarkan peraturan melalui Perpres Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, sebagai upaya untuk mengembangkan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar minyak yang berasal dari fosil. Pengembangan bioenergi dari sumber bahan nabati merupakan langkah yang sangat strategis. Langkah nyata pemerintah Indonesia dalam pengembangan bahan bakar nabati adalah diterbitkannya beberapa kebijakan pemerintah terkait dengan penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati, diantaranya:

- Intruksi Presiden No.1 tahun 2006 tertanggal 25 Januari 2006 tentang penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai bahan bakar lain.
- Peraturan Presiden No. 5/2006 tanggal 25 Januari 2006 tentang Kebijakan Ekonomi Nasional. Pokok isinya adalah pada tahun 2025 ditargetkan bahan energi terbarukan harus sudah mencapai lebih dari 5% dari kebutuhan energi

nasional, sedangkan BBM ditargetkan menurun sampai di bawah 20%.

- Keputusan Menteri Koordinator Bidang Perekonomian Nomor: Kep. 11/Mekon/02/2006, tentang tim koordinasi program aksi penyediaan dan pemanfaatan energi alternatif. Pengembangan biofuel yang dilakukan dalam program aksi tersebut meliputi kegiatan penyediaan bahan baku (sektor hulu/Dep. Pertanian), pengolahan (sektor tengah/Dep. Perindustrian), pemanfaatan biofuel (sektor hilir/Dep. ESDM), dan kegiatan pendukung lainnya.

Permasalahan pemanasan global dan ketergantungan akan bahan bakar minyak merupakan suatu hal yang penyelesaiannya dapat dilakukan secara terpadu dan saling menutupi. Pengurangan laju pemanasan global melalui penghijauan atau reboisasi sekaligus yang dapat menghasilkan energi melalui penggunaan tanaman penghasil bioenergi yang juga dapat berfungsi sebagai tanaman konservasi.

Pemilihan jenis tanaman yang digunakan merupakan titik temu penyelesaian kedua masalah di atas sekaligus memiliki peran dalam melestarikan lingkungan dan memiliki nilai ekonomis yang mampu menggerakkan ekonomi kerakyatan. Namun demikian, tanaman yang akan digunakan sebagai penghasil bioenergi hendaknya bukan merupakan tanaman penghasil pangan atau yang berkompetisi dengan keperluan pangan.

Hingga saat ini sumber utama penghasil bioenergi yang paling siap adalah tanaman kelapa sawit. Dalam skala ekonomi tanaman ini sangat ekonomis, terbukti dari banyaknya tanaman ini dikembangkan di berbagai wilayah di Indonesia. Namun perlu diingat, hasil dari tanaman kelapa sawit ini adalah minyak makan yang merupakan satu dari sembilan bahan pokok penduduk Indonesia. Jika terlalu banyak minyak

kelapa sawit yang digunakan sebagai bioenergi maka akan mengganggu stabilitas harga dan ketersediaan minyak makan di pasaran. Oleh karena itu, pengembangan tanaman penghasil bioenergi sedapat mungkin diarahkan ke tanaman yang bukan menghasilkan pangan.

Pada waktu yang lalu, telah dikembangkan tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas* L.) dan jarak kepyar (*Ricinus communis* L.) di berbagai daerah di Indonesia. Namun tipe tanaman jarak pagar dan jarak kepyar yang bersifat perdu, tidak dapat digunakan sebagai tanaman konservasi. Indonesia sebagai salah satu negara dengan *megadiversity* memiliki beberapa tanaman yang berpotensi sebagai penghasil bioenergi, sekaligus sebagai tanaman konservasi, salah satunya adalah Kemiri Sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw). Kemiri Sunan ini berbeda dengan jenis Kemiri Sayur (*Aleurites moluccana*) yang biasa digunakan untuk bahan bumbu dapur.

Potensi yang dimiliki tanaman ini cukup besar, berbentuk pohon dengan mahkota yang sangat rindang dengan ranting yang banyak, perakaran yang dalam serta dapat mencapai tinggi lebih dari 15 meter (Herman *et al.*, 2010). Profil tanaman seperti ini sangat baik untuk digunakan sebagai tanaman konservasi karena sistem perakarannya mempunyai kapasitas mengikat tanah secara kuat dan kapasitas memegang air (*water holding capacity*) yang tinggi. Ukuran daunnya yang lebar dengan pertumbuhannya yang relatif cepat dan rimbun dapat mengikat karbondioksida dan menghasilkan oksigen yang banyak serta dapat menahan percikan air hujan yang besar sehingga bahaya *run-off* dapat dikurangi sampai seminimal mungkin. Demikian juga dengan batangnya yang keras dan kokoh dapat menahan terpaan angin (*wind breaker*) yang besar sekalipun (Gambar 1).





Sumber : M. Herman (2009)

Gambar 1. Habitus pohon kemiri sunan

Tanaman kemiri sunan yang dibudidayakan secara baik dapat menghasilkan buah setelah berumur lebih dari 3 tahun, namun tanaman yang berumur lebih dari 10 tahun menghasilkan buah yang lebih banyak (Aguilar dan Oyen, 2002). Ditinjau dari potensi hasil buah dan bijinya, kemiri sunan memiliki potensi hasil yang relatif tinggi dibandingkan dengan kemiri sayur (*Aleurites moluccana*). Bijinya banyak mengandung minyak dengan rendemen berkisar 40–60%. Kandungan minyaknya yang relatif tinggi merupakan potensi utama dari tanaman ini. Minyak nabati yang dihasilkan tanaman ini merupakan sumber bahan bakar nabati (BBN) yang sangat potensial dengan berbagai variasi derivasinya seperti gliserol, asam lemak bebas, terpenin, dan bahan oleokimia lainnya.

Potensi lainnya yang dimiliki tanaman ini adalah dari kulit buah dan bungkil sisa ekstraksinya yang berpotensi sebagai sumber atau bahan dasar dalam pembuatan pupuk organik dan pakan ternak. Sesuai dengan nama umumnya,

yaitu kemiri racun maka buah dari tanaman ini mengandung bahan yang bersifat racun sehingga mempunyai potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai bahan dasar biopestisida.

Untuk menunjang pengembangan kemiri sunan secara luas, telah dilepas dua varietas kemiri sunan, yaitu Kemiri Sunan 1 sesuai dengan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 4000/Kpts/SR.120/9/2011 dan Kemiri Sunan 2 sesuai dengan Keputusan Menteri Pertanian Nomor 4044/Kpts/SR.120/9/2011. Kedua varietas tersebut memiliki keunggulan spesifik masing-masing.

Kemiri Sunan 1 memiliki rendemen sebesar 38,10-42,00%. Nilai ini lebih kecil dari rendemen minyak Kemiri Sunan 2, yaitu sebesar 47,21-56,00 %. Selain itu, kualitas minyak Kemiri Sunan 1 memiliki karakter yang kurang baik untuk digunakan sebagai bahan dasar biodiesel, dilihat dari lebih tingginya asam lemak bebas dibanding Kemiri Sunan 2. Tingginya asam lemak bebas pada minyak, dapat mempengaruhi biaya produksi biodiesel. Oleh karena pengembangan kemiri sunan 1 hanya ditujukan untuk konservasi lahan, namun jika ingin mengembangkan untuk konservasi sekaligus digunakan untuk menghasilkan bahan baku biodiesel, disarankan menggunakan varietas Kemiri Sunan 2.

## II. BIODIESEL

### 2.1. Definisi Biodiesel

Biodiesel merupakan alternatif pengganti bahan bakar solar untuk mesin diesel. Selain dapat digunakan secara langsung pada mesin tanpa modifikasi, juga ramah lingkungan (Xu dan Wu, 2003). Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati (Ramos *et al.*, 2009), lemak hewan (Saraf dan Thomas, 2007), maupun minyak goreng bekas (Sunthitikawinsakul dan Sangatith, 2012).

Pemikiran menggunakan minyak nabati secara langsung untuk mesin diesel sudah dilakukan sejak lebih dari 100 tahun lalu oleh penemunya sendiri, Rudolf Diesel pada tahun 1885 dengan menggunakan minyak nabati untuk menggerakkan mesin dieselnnya. Namun hingga akhir hayatnya pada tahun 1913, visi Rudolf Diesel dalam pengembangan minyak nabati sebagai bahan bakar belum tercapai bahkan terhenti karena perkembangan produksi minyak solar dari fosil dengan harga yang relatif murah. Pengembangan biodiesel mulai marak lagi dibicarakan setelah terjadinya krisis kekurangan bahan bakar yang disertai dengan kenaikan harga minyak bumi yang cukup tinggi.

Disamping sifatnya yang menyerupai solar, biodiesel memiliki kelebihan antara lain:

- Bahan bakar yang ramah lingkungan karena menghasilkan emisi yang jauh lebih baik (bebas sulfur, *smoke number* rendah) sesuai dengan isu-isu global (Rajan dan Kumar, 2009), asap buangan biodiesel tidak hitam, asap gas buang berkurang 75% dibanding solar biasa, *cetane number* lebih tinggi (>57) sehingga efisiensi pembakaran lebih baik dibandingkan dengan minyak solar.

- *Biodegradable* (dapat terurai), lebih dari 90% biodiesel dapat terurai dalam 21 hari (Mudge dan Pereira, 1999; Speidel *et al.*, 2000).
- *Renewable energy* karena terbuat dari bahan alam yang dapat diperbarui.
- Mempunyai sifat pelumasan yang lebih baik dibanding solar sehingga mesin dapat bertahan lebih lama.
- Titik bakar lebih tinggi dibandingkan solar sehingga memudahkan dalam penyimpanan dan penanganan.
- Biodiesel tidak membutuhkan tangki khusus sehingga dapat langsung digunakan tanpa modifikasi.
- Biodiesel dapat dicampur dengan solar dengan berbagai perbandingan.
- Secara relatif, bau dari gas buang biodiesel lebih baik dibanding solar, adakalanya bau gas buangnya seperti *pop corn* tergantung bahan baku yang digunakan.
- Motor diesel tidak membutuhkan modifikasi khusus untuk menggunakan biodiesel.
- Mengurangi emisi gas buang; *particulate matter* (PM), total *hydrocarbon* (THC), dan *carbon monoxide* (CO), tetapi menambah *nitrogen oxides* (NOx) (Knothe *et al.*, 2006; López *et al.*, 2009).
- Biodiesel mengandung sulfur yang lebih rendah dibandingkan solar sehingga tidak terlalu banyak mengeluarkan zat toksik (Harrington, 1986; USEPA, 2002).
- Keuntungan komparatif dalam penggunaan biodiesel dapat menyeimbangkan antara pertanian, pengembangan ekonomi, dan lingkungan (Meher *et al.*, 2006)

## 2.2. Status Perkembangan Biodiesel Dunia

Masalah energi telah menjadi masalah semua negara. Hampir semua negara terus berupaya meningkatkan produksi

biofuel di antaranya dengan menetapkan beberapa kebijakan sehingga target-target produksi biofuel dapat dicapai. Target penggunaan biofuel dari berbagai negara disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Target penggunaan biodiesel pada berbagai negara

Negara	Target saat ini	Target Mendatang
Argentina	B7	n.a.
Australia: New South Wales (NSW)	B2	NSW: B5 (2012)
Brazil	B5	n.a.
Kanada	B2-B3 (in 3 provinces)	B2 (nationwide) (2012)
Columbia	B10	B20 (2012)
Costa Rica	B20	n.a.
Europe union	*	-
India	-	B20 (2017)
Indonesia	B2.5	B5 (2015); B20 (2025)
Korea	B2	B2.5 (2011); B3 (2012)
Malaysia	B5	n.a.
Philipina	B2	B5 (2011)
Thailand	B3	B5 (2011)

\*Tiap negara anggota memiliki target dan capaian tertentu

B = Biodiesel

B2 = 2% campuran biodiesel, B5 = 5% campuran biodiesel, dst.

Sumber: *International Energy Agency* (2011)

Berdasarkan target-target dari beberapa negara di atas, yang semuanya menekankan pada penggunaan biofuel terutama biodiesel maka prospek pengembangan biodiesel cukup cerah. Produksi biodiesel dunia juga mengalami

peningkatan dari tahun ke tahun. Dalam hal penggunaan biofuel untuk transportasi, kawasan Eropa didominasi oleh biodiesel, sedangkan Amerika dan Asia lebih didominasi oleh bioetanol (Tabel 2).

Tabel 2. Penggunaan jenis biofuel di beberapa negara

		2009-2011		2021	
		Total	Share of biofuel	Total	Share of biofuel
<b>Basis Energi (1000toe)</b>	Argentina				
	Bensin	4	2,7%	4	3,4%
	Diesel	9	3,2%	11	4,0%
	Australia				
	Bensin	15	1,3%	17	1,5%
	Diesel	16	3,1%	18	3,0%
	Brazil				
	Bensin	23	47%	29	64%
	Diesel	40	4%	54	5%
	Canada				
	Bensin	30	2,6%	32	3,4%
	Diesel	26	0,7%	28	1,6%
	China				
	Bensin	61	1,8%	104	1,3%
	EU				
	Bensin	103	2,7%	103	8,3%
	Diesel	189	5,1%	200	8,3%
	USA				
Bensin	409	5,4%	412	10,9%	
Diesel	215	0,9%	249	1,5%	

Sumber: OECD dan FAO Secretariats (2012)

Teknologi proses pengolahan biodiesel telah mengalami kemajuan yang pesat hingga beberapa tahun terakhir, antara lain akibat melonjaknya harga minyak bumi

yang telah melewati \$100/barel. Gejala ini merupakan kesempatan untuk melakukan substitusi bahan bakar fosil oleh bahan bakar nabati.

### III. TANAMAN KEMIRI SUNAN

Kemiri sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw), atau dikenal dengan nama kemiri cina, hal ini karena pada awalnya, tanaman ini dikembangkan secara besar-besaran dalam area perkebunan di daerah Karawaci dan Cilongok (Tangerang) sebagai tanaman penghasil minyak yang dimanfaatkan untuk pengawet kayu pada perahu oleh pedagang yang berasal dari cina. Nama lain dari tanaman ini adalah kemiri racun, muncang leuweung, jarak bandung, jarak kebo, atau kaliki banten.

Kemiri sunan merupakan tanaman tahunan, klasifikasi tanaman berdasarkan USDA (2008) sebagai berikut:

Dunia : Plantae

Divisi : Magnoliophyta

Kelas : Magnoliopsida

Ordo : Euphorbiales

Famili : Euphorbiaceae

Genus : *Reutealis* Airy Shaw sinonim *Aleurites*

Species: *R. trisperma* (Blanco) Airy Shaw

#### 3.1. Daun

Bentuk daun bundar telur seperti jantung, pertulangan daun menyirip, tepi helaian daun bergelombang, dan tekstur permukaan daun halus (Herman dan Pranowo, 2010). Daunnya relatif agak besar, dengan panjang sekitar 13-18 cm, lebar 11-19 cm (Balittri, 2011). Daun tersebut mempunyai tangkai daun yang relatif panjang sekitar  $\pm 16$  cm, daun-daun tersusun pada ujung ranting. Pada permulaan musim penghujan muncul daun-daun muda berwarna cokelat kemerahan disertai perbungaan yang sangat lebat.



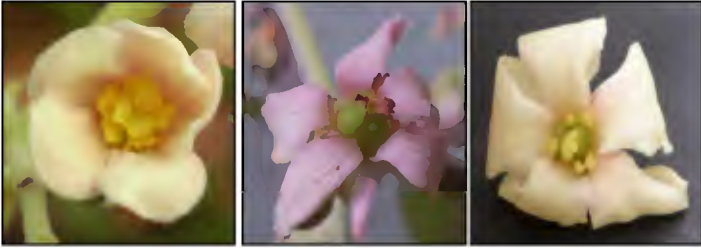


Sumber: Randriani *et al.* (2009)

Gambar 2 . Bentuk daun kemiri sunan

### 3.2. Bunga

*Reutealis trisperma* memiliki bunga terminal yang tersusun dalam rangkaian bunga majemuk yang disebut infloresensia (*inflorescentia*). Infloresensia *R. trisperma* termasuk tipe *panicle* yang terdiri atas tangkai utama, cabang primer, dan cabang sekunder seperti pada bunga mangga (*Mangifera indica* L.). Panjang tandan bunga berkisar antara 4-30 cm dan lebar tandan bunga berkisar antara 4-21 cm, dengan jumlah bunga berkisar 10-58 bunga per tandan (termasuk bunga yang masih kuncup). Bunga tunggal berukuran diameter sekitar 10-12 mm. Penelitian yang dilakukan oleh Ajijah *et al.* (2009) menunjukkan bahwa *R. trisperma* memiliki bunga jantan (tidak memiliki putik), bunga betina (tidak memiliki benang sari), dan bunga hermaphrodit (bunga sempurna dan lengkap) (Gambar 3). Hasil ini berbeda dengan penelitian Aguilar dan Oyen (2002) yang melaporkan bahwa *R. trisperma* memiliki 2 jenis bunga dalam satu pohon, yaitu bunga jantan dan bunga betina.



Sumber: Ajjah *et al.* (2009)

Gambar 3. Bunga kemiri sunan: Bunga jantan, bunga betina, dan bunga hermaprodit



Sumber: M. Herman (2010)

Gambar 4. Rangkaian bunga kemiri sunan

Kemiri sunan termasuk tanaman *trimonoecious* atau *monoeco-polygamus*, yaitu bunga hermaprodit, jantan, dan betina terdapat dalam satu pohon. Tanaman berbunga mulai bulan April dan mencapai puncaknya pada bulan Juni-Agustus. Buah dapat dipanen pada bulan Oktober sampai Maret dan membutuhkan waktu 6 bulan dari awal masa pembungaan sampai masa panen buah.

### 3.3. Buah

Buah berbentuk bulat, bersudut tiga, seperti jantung jika dilihat secara membujur, berdiameter 5-6 cm, memiliki 3 lokus, masing-masing berisi satu biji. Buah muda berwarna hijau dan berwarna hijau kecokelatan setelah masak. Buah terdiri atas lapisan eksokarp, mesokarp, endokarp, lapisan arilus, dan biji. Buah termasuk ke dalam buah kendaga (*rhegma*), berkendaga tiga (*tricoccus*), jika masak pecah menjadi tiga bagian, masing-masing pecah, dan mengeluarkan biji.

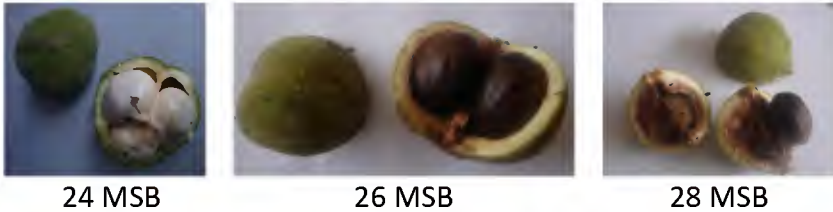


Sumber: D. Pranowo (2009)

Gambar 5. Buah kemiri sunan di pertanaman

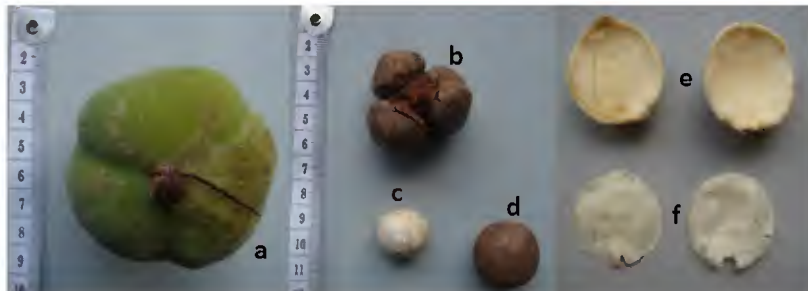
Buah muda kemiri sunan berwarna hijau dan berubah menjadi hijau kecokelatan ketika menua (Gambar 6). Kulit buah menjadi lunak dan mudah terlepas dari biji. Buah berbentuk bulat, bersudut tiga, seperti jantung jika dilihat secara membujur, berdiameter 5-6 cm, memiliki 3 lokus,

masing-masing berisi satu biji. Bagian buah kemiri sunan dapat dilihat pada Gambar 7.



Sumber: Tresniawati (2013)

Gambar 6. Buah dan benih kemiri Sunan pada berbagai tingkat kemasakan: 24, 26, dan 28 minggu setelah berbunga (MSB)



Sumber: Tresniawati (2013)

Gambar 7. Bagian-bagian buah kemiri sunan. Buah (a), biji yang masih melekat pada aksis pusat (b), kernel (c), biji (d), endosperma (e), dan kotiledon (f)

Buah kemiri sunan terdiri atas 2-4 butir biji di dalamnya (Gambar 8), tetapi yang dominan adalah 3 butir/buah. Buah kemiri sunan terdiri atas sabut atau husk, kulit biji atau cangkang dan inti biji atau kernel. Komposisinya adalah kulit buah 62-68%, kulit biji 11-16% dan kernel 16-27%

(Herman dan Pranowo, 2011). Kernel inilah yang mengandung minyak kasar cukup tinggi (>50 %).



Sumber: Herman dan Pranowo (2011)

Gambar 8. Variasi jumlah biji per buah kemiri sunan

Kadar air awal biji kemiri sunan yang sudah matang fisiologi masih cukup tinggi, berkisar 19-34% (Tresniawati, 2013). Kadar air yang tinggi pada biji ini dapat menyebabkan terjadinya reaksi hidrolisis yang mengubah minyak atau lemak menjadi asam lemak bebas (ALB) dan gliserol. Kadar air awal biji kemiri sunan dipengaruhi oleh kematangan buah.

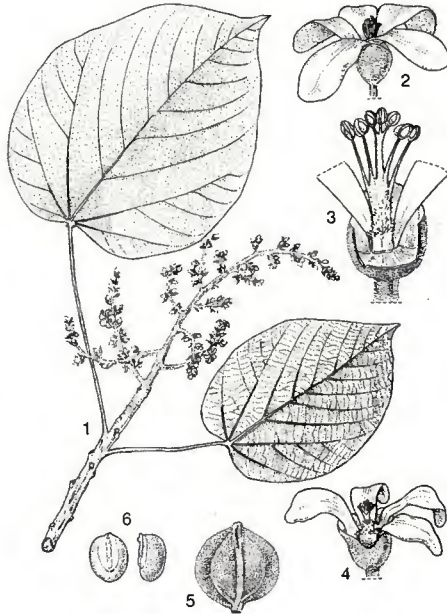
Tabel 3. Komposisi daging biji kemiri sunan

Analisa	Nilai rata-rata
Kadar Air (% wb)	10,23
Kadar Minyak (% db)	51,34
Kadar Serat (% db)	7,29
Kadar Protein (% db)	17,06
Kadar Abu (% db)	3,30
Kadar Karbohidrat ( by difference)	10,78

Sumber: Berry (2008)

Rendemen minyak kemiri sunan bergantung pada varietas tanaman, kondisi iklim, tanah, dan teknik pengelolaan pascapanen yang digunakan. Pada beberapa penelitian juga didapatkan angka rendemen yang beragam, yaitu 51,34%

(Berry, 2008), 62,0% (Martin *et al.*, 2010), 38,7-50,0% (Herman dan Diby, 2011).



Sumber: Aguilar dan Oyen (2002)

Gambar 9. Bentuk bagian kemiri sunan: cabang bunga (a), bunga jantan (b), bunga jantan yang memperlihatkan staminal *colomn* dan *disk gland*(c), bunga betina(d), buah(e), dan biji (f)

## **IV. PENGOLAHAN MINYAK KEMIRI SUNAN**

Untuk menghasilkan minyak nabati yang sesuai untuk digunakan sebagai bahan baku biodiesel memerlukan beberapa tahap proses mulai dari pemilihan bahan baku (saat panen), pengupasan buah, pengeringan bahan baku, ekstraksi minyak, dan penjernihan minyak.

### **4.1. Pemanenan Buah Kemiri Sunan**

Pemilihan bahan baku yang tepat sangat penting dalam pengolahan biodiesel, selain mempengaruhi rendemen minyaknya juga mempengaruhi kualitas minyak yang dihasilkan. Warna minyak nabati dari setiap jenis tanaman berbeda seperti terlihat pada Gambar 10. Hal ini menunjukkan bahwa komponen kimia masing-masing jenis tanaman tersebut berbeda.

Walaupun kadangkala buah yang lewat matang rendemen minyaknya lebih tinggi, namun kandungan asam lemak bebasnya (ALB) juga dapat menjadi tinggi. Minyak yang memiliki kadar ALB tinggi dapat meningkatkan biaya produksi, proses lebih lama, dan menurunkan rendemen biodiesel. Oleh karena itu, bahan atau buah yang dipilih sebaiknya telah matang secara fisiologis. Buah yang telah matang fisiologis ditandai dengan kulit buah berwarna kuning kecokelatan, bila diremas kulit buahnya terasa lembut dan empuk, dan kulit biji berwarna cokelat. Buah siap panen akan diperoleh kurang lebih 6 bulan setelah pembungaan, morfologi warna buah hijau kecokelatan, kulit buah lunak, dan kulit biji berwarna cokelat. Buah kemiri sunan yang telah matang fisiologis secara alami akan jatuh dengan sendirinya. Oleh karena itu

pemanenan cukup dilakukan dengan cara mengambil buah yang telah jatuh.



Sumber: D. Pranowo (2013)

Gambar 10. Berbagai jenis minyak nabati: minyak kesambi, minyak kemiri sayur, minyak kelapa, minyak kemiri sunan, minyak kelapa sawit, dan minyak nyamplung.

Keterlambatan pemanenan buah menyebabkan perubahan biokimia di dalam kernel. Perubahan warna ke arah yang lebih gelap menunjukkan adanya proses hidrolisis dan peningkatan kandungan beberapa unsur kimia yang



merupakan komponen di dalam kernel seperti kandungan asam lemak bebas dan sifat fisik minyak seperti viskositas atau kekentalannya. Minyak kemiri sunan digolongkan jenis minyak nabati yang mudah mengering. Menurut Ketaren (1986), minyak nabati yang mudah mengering adalah jenis minyak dengan banyak ikatan rangkap seperti minyak kacang kedelai, kemiri, biji karet, dan lain-lain.

Buah kemiri sunan yang telah matang secara fisiologis akan jatuh dengan sendirinya, oleh karena itu pemanenan cukup dilakukan secara mengambil biji yang telah jatuh di tanah. Buah yang dapat dipanen dapat diketahui dari perubahan warna kulit buah dari warna hijau dan menjadi hijau kecokelatan ketika menua.

#### **4.2. Pengerinan Biji**

Biji yang telah dipisahkan dari buahnya memiliki kadar air yang tinggi sehingga perlu dikeringkan terlebih dahulu. Kondisi kadar air yang demikian belum dapat menghasilkan minyak kasar kemiri sunan (MKKS) yang optimal dan akan berpengaruh terhadap karakter fisik MKKS yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu dikeringkan terlebih dahulu hingga mencapai kurang dari 7%. Pengerinan dapat dilakukan baik terhadap biji kemiri sunan ataupun kernelnya.

Pengerinan adalah operasi perpindahan panas dan massa secara transien dengan beberapa laju proses, seperti transformasi fisik atau kimia yang dapat menyebabkan perubahan mutu hasil maupun mekanisme perpindahan panas dan massa tersebut (Tambunan *et al.*, 2001). Dasar proses pengerinan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara yang lebih sedikit atau udara yang mempunyai kelembaban udara nisbi yang

rendah, dan terjadilah penguapan. Pengeringan dilakukan dengan menghembuskan udara atau gas panas yang tidak jenuh pada bahan yang akan dikeringkan. Air dapat menguap pada suhu yang lebih rendah dari titik didihnya karena perbedaan kandungan uap air dibidang antar muka bahan padat-gas dengan kandungan uap air pada fase gas. Dengan prinsip seperti ini maka biji kemiri sunan dapat dikeringkan, seperti halnya biji-bijian lainnya.

Metode pengeringan biji kemiri sunan yang digunakan untuk mendapatkan minyak yang baik dapat dilakukan dengan pengeringan alami, buatan maupun pengeringan gabungan.

- Pengeringan alami (dengan cara penjemuran)  
Pengeringan alami merupakan metode penurunan kadar air suatu bahan untuk memperoleh tingkat kadar air yang seimbang dengan kelembaban nisbi udara atmosfer menggunakan panas matahari.
- Pengeringan buatan  
Pengeringan buatan ini menggunakan bahan bakar sebagai sumber panas (bahan bakar cair, padat, dan listrik). Ada beberapa tipe pengeringan buatan, antara lain sistem kondensasi, konvensional, dan vakum. Contoh alat pengering buatan antara lain oven, tray dryer, dan lain-lain.
- Pengeringan gabungan  
Pengeringan gabungan adalah pengeringan dengan energi sinar matahari dan bahan bakar minyak atau biomass yang menggunakan konveksi paksa (udara panas dikumpulkan dalam kolektor kemudian dihembuskan ke bahan).



Sumber: A. Aunillah (2013)

Gambar 11. Pengeringan secara alami menggunakan panas matahari: biji kemiri sunan (kiri) dan kernelnya (kanan).



Sumber : A. Aunillah (2013)

Gambar 12. Alat pengering elektronik (oven/dryer)

#### 4.3. Pengupasan Biji

Pemisahan kernel dari kulit biji kemiri sunan dapat dilakukan dengan manual maupun mekanis. Secara mekanis dapat dilakukan dengan menggunakan alat pemecah (Gambar 13).



Sumber: D. Pranowo (2011)

Gambar 13. Alat pengupas buah kemiri sunan

Prinsip kerja alat ini adalah pengupasan kulit buah akibat gesekan buah dengan konkaf di dalam ruang di antara silinder yang berputar pada kecepatan tertentu. Mesin jenis ini dilengkapi dengan separator sehingga biji kemiri sunan selama pengupasan sekaligus dipisahkan dari kulit buah, gagang, atau kotoran lainnya. Dengan demikian dapat dihasilkan biji yang sudah bersih terpisah dari kotoran

#### 4.4. Ekstraksi Minyak

Biji kemiri sunan yang telah kering, kemudian diekstraksi untuk mendapatkan minyak kasar kemiri sunan (MKKS). Biji kemiri sunan sebaiknya segera diekstrak karena dapat menurunkan rendemen biji dan kualitas minyak yang ditandai dengan meningkatnya nilai ALB (asam lemak bebas).

Ekstraksi adalah suatu cara untuk mendapatkan minyak atau lemak dari bahan yang diduga mengandung minyak atau lemak. Ada beberapa metode ekstraksi, yaitu dengan metode pemanasan, metode penekanan pengepresan hidrolis (*hidrolic press*), metode pengepresan berulir (*screw press*), dan metode pelarutan (*solvent extractor*).

❖ Metode pengepresan hidrolik (*hydraulic press*)

Pengepresan hidrolik adalah pengepresan dengan menggunakan tekanan. Tekanan yang digunakan dapat sekitar  $140,6 \text{ kg/cm}^2$ . Besarnya tekanan yang digunakan akan mempengaruhi jumlah minyak yang dihasilkan. Metode pengepresan merupakan metode sederhana untuk mendapatkan minyak dari biji. Menurut Bailey (1959), metode pengepresan merupakan metode terbaik untuk biji-bijian yang mengandung minyak sebesar 30-70%. Keuntungan dari proses ini adalah ekonomis, mudah dioperasikan dan dirawat, dapat dioperasikan dengan tangan atau listrik, dan operator hanya membutuhkan pelatihan minimum.



Sumber: Herman *et al.* (2009)

Gambar 14. Pengepresan biji menggunakan dongkrak hidrolik manual



Sumber: A. Aunillah (2013)

Gambar 15. Alat pres hidrolik elektronik

❖ Metode pengepresan berulir (*screw press*)

Metode pengepresan berulir merupakan metode ekstraksi yang lebih maju dan telah diterapkan di industri pengolahan minyak. Cara ekstraksi ini paling sesuai untuk memisahkan minyak dari bahan yang kadar minyaknya di atas 10%. Prinsip operasinya adalah bahan mendapat tekanan dari ulir yang berputar dan dengan sendirinya terdorong keluar. Minyak keluar melalui celah di antara ulir dan penutup yang dapat berupa pipa atau lempengan besi berongga yang mempunyai celah dengan ukuran tertentu, sedangkan ampasnya keluar dari tempat yang lain. Tipe alat pengepres berulir yang digunakan dapat berupa pengepres berulir tunggal (*single screw press*) atau pengepres berulir ganda (*twin screw press*).

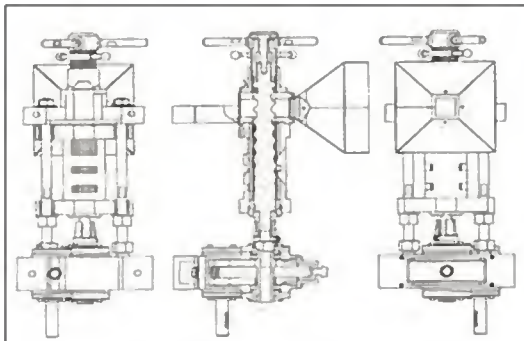
Pengepresan dengan pengepresan berulir memiliki beberapa kelebihan, yaitu:

- a) Kapasitas produksi menjadi lebih besar karena proses pengepresan dapat dilakukan secara kontinyu.
- b) Menghemat waktu proses produksi karena tidak diperlukan perlakuan pendahuluan, yaitu pengecilan ukuran dan pemasakan/pemanasan biji.
- c) Rendemen yang dihasilkan lebih tinggi (pada beberapa kasus tergantung dari bentuk dan sifat bijinya)



Sumber: Suparlan *et al.* (2010) (a) dan D. Pranowo (2011) (b)

Gambar 16. Alat press berulir: *double stage screw expeller* (a) dan *single stage screw expeller* (b)

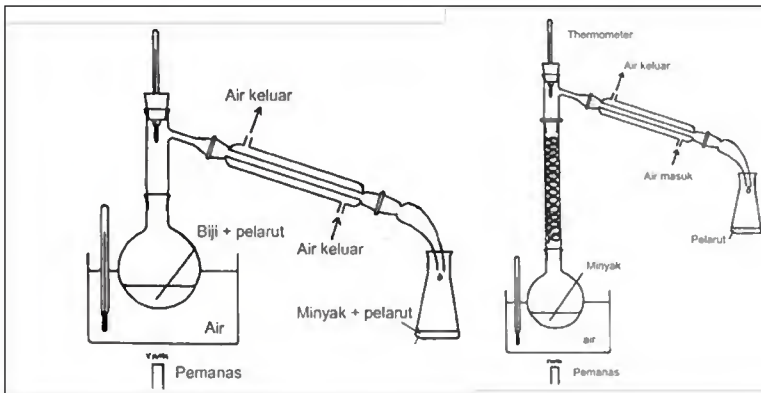


Sumber: Dagan (2009)

Gambar 17. Salah satu desain *single screw press*

❖ Metode pelarutan (*solvent extractor*)

Ekstraksi dengan pelarut adalah pemisahan antar bagian dari suatu bahan berdasarkan pada perbedaan sifat melarut dari masing-masing bagian bahan terhadap pelarut yang digunakan. Bahan yang akan diekstrak dicampurkan bahan pelarut yang baru dalam jumlah sama besar sampai tercapai suatu keseimbangan. Prinsipnya, minyak yang bersifat non polar dilarutkan atau dibilas menggunakan pelarut yang bersifat non polar sehingga minyak akan ikut keluar bersama dengan pelarut. Kemudian pelarut dan minyak dipisahkan berdasarkan perbedaan titik didih larutan.



Sumber : Faiers, A (2008)

Gambar 18. Teknik ekstraksi minyak menggunakan pelarut (kiri) dan teknik pemisahan minyak dari pelarut (kanan)

Keuntungan dari teknik ekstraksi minyak nabati menggunakan pelarut mampu menghasilkan rendemen minyak lebih tinggi dibandingkan metode yang lain. Namun biaya operasionalnya mahal dan membutuhkan ketelitian yang tinggi.



Teknik ekstraksi sangat berpengaruh terhadap rendemen dan hasil minyak yang dihasilkan. Pada Tabel 4, digambarkan bahwa hasil pengepresan biji kemiri sunan yang berupa bungkil sebenarnya masih mengandung minyak cukup tinggi, yaitu sebesar 12,9 %.

Tabel 4. Perbandingan teknik ekstraksi terhadap rendemen pada beberapa sumber minyak nabati

Jenis sumber	Kandungan minyak pada hasil teknik ekstraksi		Total
	Pengepresan (%)	Pelarut Hexan* (%)	
Jarak pagar	29,2	19,9	49,1
Jarak kepyar	23,8	11,1	34,9
Kemiri sunan	49,1	12,9	62

Ket \*: menggunakan bungkil sisa pengepresan (Martin *et al.*, 2010)

Jika biji kemiri sunan langsung dipres akan diperoleh minyak kasar sekitar 30 % dengan warna cokelat kehitaman dan bungkil 70% berwarna cokelat keputihan. Namun jika biji kemiri sunan dikupas terlebih dahulu kemudian daging buah dan kernelnya dikeringkan sampai dengan kadar air 7% baru dilakukan pengepresan maka akan diperoleh minyak kasar yang lebih baik dan lebih banyak, yaitu 53% minyak kasar yang berwarna kuning jernih dan 47% bungkil yang berwarna putih (Herman dan Pranowo, 2009).

#### 4.5. Penjernihan Minyak Kemiri Sunan

Proses penjernihan minyak digunakan untuk menghilangkan bau dan pengotor sehingga minyak lebih tahan disimpan. Dalam membuat biodiesel, pengotor pada minyak harus dihilangkan karena dapat menurunkan kualitas biodiesel dan enjin tidak dapat berjalan sempurna.

Minyak hasil ekstraksi kadangkala juga masih bercampur dengan pengotornya, oleh karena itu perlu dijernihkan terlebih dahulu sebelum diproses menjadi biodiesel. Minyak hasil ekstraksi menggunakan *screw press* cenderung lebih kotor dibandingkan *hidrolic press*. Proses penjernihan dilakukan dengan metode adsorpsi, pengendapan, atau penyaringan. Proses penjernihan dengan metode adsorpsi dapat dikatakan kurang efisien karena membutuhkan waktu yang lama agar pengotor dapat terserap ke bahan adsorbent. Cara dengan proses pengendapan biasanya membutuhkan waktu 2-3 hari, sedangkan jika menggunakan penyaringan minyak yang dihasilkan dapat langsung digunakan. Keunggulan penyaringan minyak nabati tipe putar adalah mudah dipindahkan (*portable*), mudah operasional, penggunaan energi rendah, saringan mudah diganti, dan ukuran saringan dapat diatur sesuai kebutuhan.



(a)



(b)

Sumber: Dokumentasi (a) A. Aunillah (2011) dan (b) FACT Fondation (2010)

Gambar 19. Alat penyaring minyak nabati tipe putar (a) dan tipe horisontal (b)

#### 4.6. Karakteristik Minyak Kemiri Sunan

Rendemen dan kualitas minyak kemiri sunan dipengaruhi oleh faktor internal (genetik) dan faktor lingkungan. Di antara 2 varietas kemiri sunan yang telah dilepas oleh Kementerian Pertanian yaitu Kemiri Sunan 1 dan Kemiri Sunan 2, memiliki rendemen dan karakter minyak yang berbeda.

Tabel 5. Perbandingan rendemen dan karakter minyak pada 2 varietas kemiri sunan

Variabel	Satuan	Kemiri Sunan 1	Kemiri Sunan 2
<b>Rendemen minyak</b>	%	38,10-42,00	47,21-56,00
<b>Bilangan asam</b>	Mg KOH/g minyak	4,6-7,79	2,40-6,30
<b>Bilangan Penyabunan</b>	%	181,97-192,5	177,87-202,51
<b>Bilangan Iod</b>	%	127,8-129,09	111,45-120,31
<b>Viskositas</b>	Mm <sup>2</sup> /s (cST)	110,17-114,11	101,23-112,61
<b>Densitas</b>	g/L	0,939-0,941	0,935-0,939

Sumber: Syafaruddin dan Wahyudi (2012)

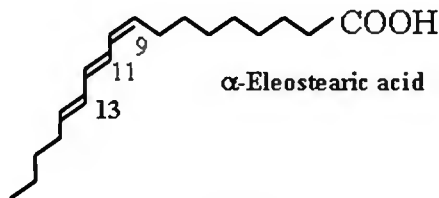
Selain rendemen minyak, bilangan asam merupakan parameter yang harus diperhatikan dalam penentuan kualitas minyak nabati. Bilangan asam menunjukkan kerusakan yang terdapat pada minyak nabati. Bilangan asam yang nilai kecil menunjukkan bahwa kualitas minyak tersebut semakin baik karena tingkat kerusakan trigliserida juga semakin kecil.

Tabel 6. Asam lemak penyusun kemiri sunan

Asam lemak	Konsentrasi <sup>a</sup>	Konsentrasib
Asam palmitat	10%	8,32%
Asam stearat	9%	3,73%
Asam oleat	12 %	10%
Asam linoleat	19%	12,3%
Asam $\alpha$ -eleostrearat	51%	-
Asam behenat	-	4,7%
Asam palmitoleat	-	1,28%
Asam linolenat	-	0,29%
Asam miristat	-	0,01%

Sumber : <sup>a</sup>Aguilar dan Oyen (2002); <sup>b</sup>Berry (2008)

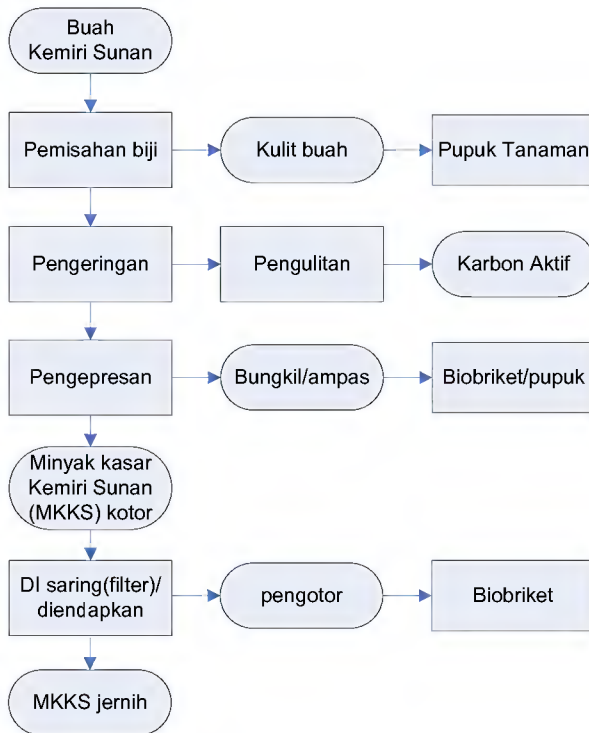
Pada penelitian Aguilar dan Oyen (2002) ditemukan bahwa asam  $\alpha$ -eleostrearat merupakan asam lemak penyusun utama minyak kemiri sunan, sedangkan pada penelitian Berry (2008) kandungan minyak kemiri sunan tidak ditemukan jenis asam lemak Asam  $\alpha$ -eleostrearat. Hal ini dikarenakan Asam  $\alpha$ -eleostrearat dapat terkonjugasi menjadi asam linoleat (9Z11E-C18:2) (Tsuzuki *et al.*, 2004 )



Sumber : Tsuzuki *et al.* (2004)

Gambar 20. Struktur asam  $\alpha$ -eleostrearat

Selanjutnya diagram alir ekstraksi minyak dari tanaman kemiri sunan adalah sebagai berikut :



Gambar 21. Diagram alir ekstraksi minyak dari tanaman kemiri sunan

## V. PENGOLAHAN BIODIESEL KEMIRI SUNAN

Minyak kemiri sunan memiliki nilai kalor yang hampir sama dengan bahan bakar konvensional, namun penggunaan secara langsung sebagai bahan bakar masih menemui kendala. Minyak kemiri sunan memiliki berat molekul, kekentalan (*viskositas*) dan titik nyala (*flash point*) yang jauh lebih besar dibandingkan solar dari fosil (bahan bakar mesin diesel). Berat molekul minyak kemiri sunan yang besar dapat merusak mesin karena membentuk deposit pada injektor. Viskositas yang tinggi dapat menghambat pompa injeksi pada mesin diesel dan tidak mampu menghasilkan pengkabutan (*atomization*) yang baik ketika minyak kemiri sunan disemprotkan ke dalam ruang pembakaran sehingga hasil dari injeksi tidak berwujud kabut yang mudah menguap melainkan tetesan bahan bakar yang sulit terbakar (Wedel, 1999). Pertimbangan lain, minyak kemiri sunan dalam mesin diesel akan terurai menjadi gliserin dan asam lemak. Asam lemak dapat teroksidasi atau terbakar relatif sempurna, tetapi gliserin akan membentuk senyawa akrolein dan terpolimerisasi menjadi senyawa plastis yang agak padat (Tickell, 1982) dan dapat membentuk deposit pada pompa injektor yang berdampak pada kerusakan mesin diesel (Barsic dan Humke, 1981).

Karakteristik seperti itu menyebabkan minyak nabati tidak memungkinkan penggunaannya secara langsung karena terdapat asam lemak bebas, gum, dan viskositasnya tinggi sehingga dapat mengganggu performa mesin diesel dan dapat mengakibatkan pengendapan pada mesin diesel (Rodrigues *et al.*, 2006). Korus *et al.* (2000) dan Sarin (2012) menyatakan, terdapat empat teknologi yang dapat digunakan agar minyak

nabati dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel tanpa menyebabkan masalah, yaitu mencampurkan dengan petrodiesel, pirolisis, dan mikroemulsifikasi dan transesterifikasi. Namun hanya transesterifikasi yang sejauh ini dapat menghasilkan produk yang sering disebut biodiesel (*alkil ester*) dengan produk sampingnya berupa gliserol

Biodiesel (*metil ester*) adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, maupun proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel sebagai bioenergi digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM) pada motor diesel.

### **5.1. Proses Pembuatan Biodiesel**

Pada prinsipnya membuat biodiesel dari minyak nabati pada skala laboratorium tidak jauh berbeda dengan membuat biodiesel pada skala besar lebih dari 100 liter. Pembuatan biodiesel di laboratorium lebih mudah dibanding membuat biodiesel pada skala besar karena pada skala laboratorium semua kondisi ideal dapat dikendalikan sedemikian rupa sehingga faktor-faktor external dan internal termasuk peralatan yang digunakan dapat dikondisikan secara sempurna.

Membuat biodiesel pada skala besar relatif lebih sulit dikendalikan dan membutuhkan ketelitian dan kecermatan tinggi. Kendala yang sering ditemukan pada pembuatan biodiesel skala besar adalah pada peralatan yang digunakan. Beberapa jenis minyak nabati memiliki karakter khusus, terutama pada stabilitas Asam Lemak Bebas (ALB) yang tidak stabil, seringkali nilainya bisa lebih dari 10 mg KOH/g minyak. Salah satu contoh jenis minyak yang memiliki karakter

demikian adalah minyak nabati yang berasal dari tanaman nyamplung. Oleh karena itu, penanganan minyak nabati dengan nilai ALB tinggi harus diperlakukan secara khusus. Penurunan nilai ALB yang tinggi sampai batas dimana proses transesterifikasi dapat dilakukan memerlukan keahlian dan proses yang lebih rumit.

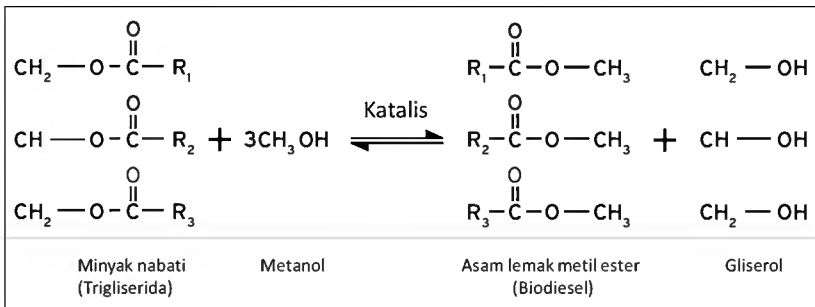
### **Transesterifikasi**

Transesterifikasi atau sering disebut dengan alkoholisis adalah suatu reaksi kimia pada lemak atau minyak dengan alkohol dengan bantuan katalis untuk menghasilkan ester atau gliserol (Sarin, 2012). Proses ini merupakan suatu reaksi kesetimbangan sehingga untuk mendorong reaksi bergerak ke kanan maka perlu digunakan alkohol dalam jumlah berlebih (Hambali *et al.*, 2007). Beberapa jenis alkohol yang dapat digunakan untuk proses transesterifikasi antara lain metanol, etanol, propanol, dan amil alkoho. Namun yang lebih sering digunakan adalah metanol karena lebih murah dan mudah penggunaannya.

Jumlah alkohol yang dianjurkan sekitar 1,6 kali jumlah yang dibutuhkan secara teoritis. Jumlah alkohol yang lebih dari 1,75 kali jumlah teoritis, tidak mempercepat reaksi bahkan mempersulit pemisahan gliserol selanjutnya (Swern, 1982). Sedangkan untuk transesterifikasi dengan katalis basa, nisbah mol metanol:minyak sebesar 6:1 adalah optimal (Freedman, 1984). Proses transesterifikasi pada dasarnya bertujuan mengubah [tri, di, mono] gliserida berberat molekul dan berviskositas tinggi yang mendominasi komposisi *refined fatty oil* menjadi asam lemak metil ester (*Fatty Acid methyl ester*/FAME). Proses ini menghasilkan metil ester dan hasil samping berupa gliserol. Gliserol ini dapat digunakan sebagai bahan sabun yang berfungsi sebagai pelembab kulit.



Dibawah ini reaksi transesterifikasi untuk pembuatan biodiesel.



Sumber: Dermibas (2008)

Gambar 22. Reaksi transesterifikasi trigliserida dengan metanol

Katalis yang digunakan dalam proses transesterifikasi dapat digunakan dari dua jenis, yaitu katalis basa dan asam. Katalis basa lebih sering digunakan dibandingkan katalis asam karena reaksinya lebih cepat (Fukuda, 2001), suhu reaksi lebih rendah, dan tingkat konversi lebih tinggi dibandingkan katalis asam. Katalis basa yang sering digunakan antara lain sodium hidroksida (NaOH), sodium metoksida (KOH), potassium hidroksida (NaOCH<sub>3</sub>), and potassium metoksida (CH<sub>3</sub>OK) (Sarin, 2012).

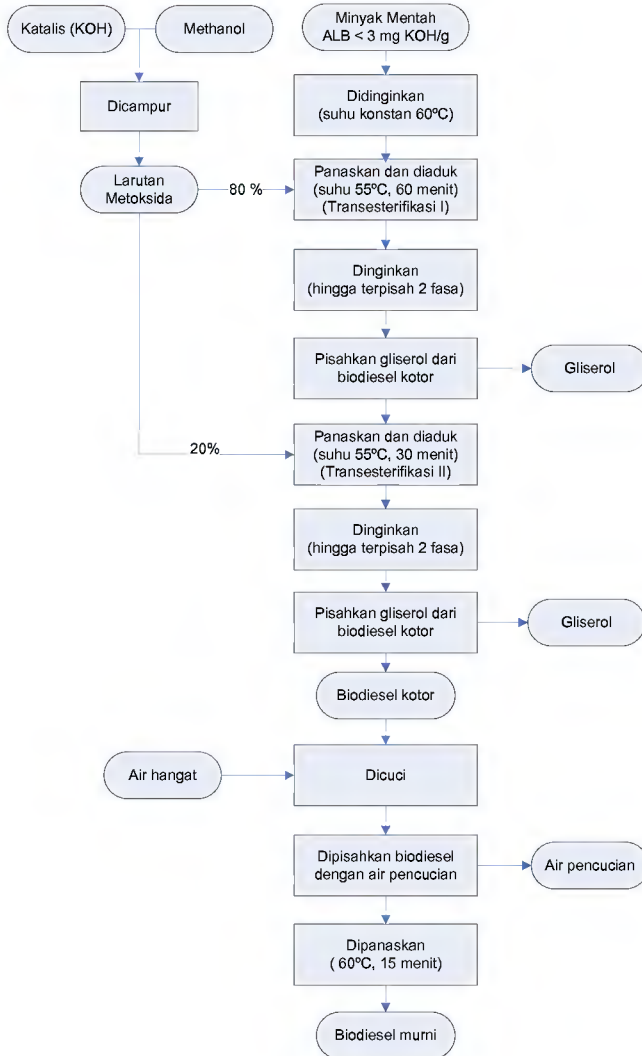
Proses pembuatan biodiesel skala laboratorium maupun skala pilot plant dilakukan seperti diagram pada Gambar 23. Peralatan yang digunakan untuk pembuatan biodiesel skala laboratorium dapat dilihat pada Gambar 24, sedangkan peralatan yang digunakan untuk mengolah biodiesel skala pilot plant adalah reaktor biodiesel.

Proses pembuatan biodiesel pada skala laboratorium dimulai dari penetapan angka ALB minyak nabati. Minyak

nabati yang akan diproses transesterifikasi harus memiliki kadar asam lemak bebas (ALB) rendah (maksimal 3 mgKOH/g). Kadar ALB yang tinggi dapat menyebabkan proses berjalan tidak sempurna. Kadar ALB pada kemiri sunan sangat bervariasi, tergantung dari genetik tanaman dan penanganan pasca panennya. Jika kadar ALB terlalu tinggi ( $> 3$  mgKOH/g) dapat diturunkan melalui proses esterifikasi atau melalui metode pembuatan minyak kering. Namun apabila nilai ALB sudah pada nilai  $< 3$  maka proses pembuatan biodiesel langsung ke proses transesterifikasi (transesterifikasi I) tanpa melalui proses esterifikasi.

Proses transesterifikasi dilakukan dengan cara mencampurkan minyak nabati dengan alkohol serta ditambah katalis basa. Proses transesterifikasi dilakukan pada suhu  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit. Pada proses ini juga dilakukan pengadukan untuk menyempurnakan proses transesterifikasi.

Selanjutnya diagram proses pembuatan biodiesel diuraikan sebagai berikut :



Gambar 23. Diagram proses pembuatan biodiesel



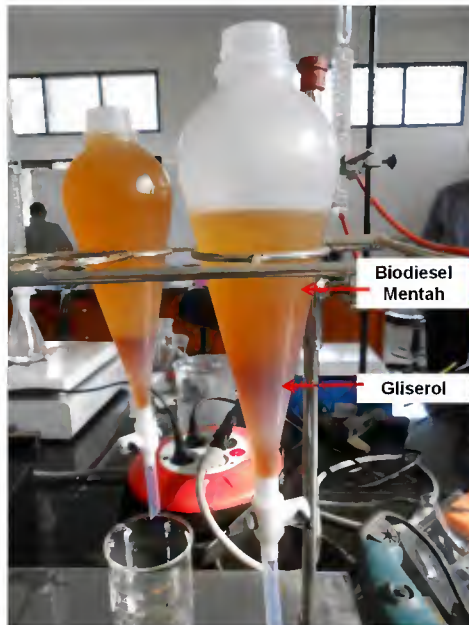
Sumber: M. Herman (2013)

Gambar 24. Rangkaian peralatan pembuatan biodiesel skala laboratorium

### Pemisahan Gliserol

Pemisahan gliserol dilakukan menggunakan tabung pemisah (Gambar 25). Metil ester yang dihasilkan akan terpisah dari gliserol karena proses pengendapan yang disebabkan oleh perbedaan massa jenis bahan. Untuk memisahkan gliserol dari metil ester cukup dengan mengeluarkan gliserol yang berada di bagian bawah dari metil ester secara grafitasi. Metil ester yang telah bebas dari gliserol selanjutnya dilakukan transesterifikasi kembali (transes-

terifikasi II) untuk menyempurnakan proses konversi minyak nabati mentah yang masih belum terkonversi menjadi metil ester. Proses ini memakan waktu sekitar 30 menit. Kemudian dipisahkan kembali gliserol yang terbentuk melalui proses pengendapan.



Sumber: M. Herman (2013)

Gambar 25. Proses pemisahan biodiesel dengan gliserol melalui pengendapan

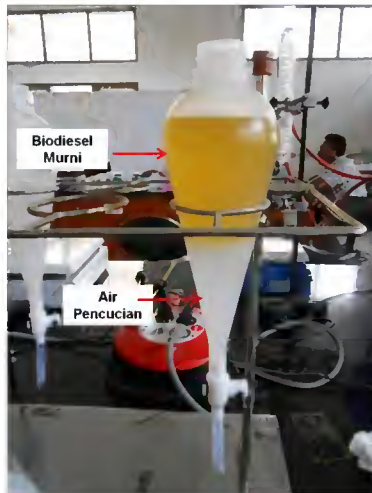
Biodiesel hasil dari proses transesterifikasi masih berbentuk biodiesel kotor. Biodiesel kotor ini masih mengandung sisa reaksi dan pengotor lain yang dapat menimbulkan masalah pada sistem pembakaran. Pengotor lain tersebut antara lain sisa-sisa katalis, metanol, dan gliserol

(atau air) dan perlu dimurnikan terlebih dahulu agar memenuhi standar biodiesel. Zat pengotor dapat menyebabkan kerusakan mesin atau menurunkan performa mesin jika kadarnya terlalu banyak dalam biodiesel. Kadar belerang dapat menyebabkan terjadinya keausan pada dinding silinder. Abu yang berasal dari mineral dan logam sabun yang tidak dapat larut dapat menyebabkan kerusakan nozzle dan menambah deposit dalam ruang bakar. Air dalam jumlah kecil dan terdispersi dalam biodiesel sebenarnya tidak berbahaya bagi bagian mesin-mesin tetapi jika dipakai di daerah dingin, air tersebut dapat membentuk kristal-kristal es kecil yang dapat menyumbat saringan pada mesin (Haryono, 2002).

### **Pencucian Biodiesel**

Proses pencucian dilakukan dengan menggunakan air bersih yang telah dipanaskan pada suhu 55 °C sambil di aduk. Pencucian dilakukan beberapa kali sampai pH air cucian netral atau tidak berwarna. Proses pencucian ini digunakan untuk menghilangkan sisa gliserol, metanol yang tidak bereaksi, katalis, serta sabun yang terbentuk selama proses pembentukan metil ester yang dapat larut dalam air.

Dengan penambahan air, pengotor-pengotor akan terikat pada air karena memiliki kepolaran yang sama sehingga air cucian menjadi keruh. Proses pencucian (*water washing*) dilakukan sampai sebanyak 2-3 kali hingga air cucian terlihat jernih yang menandakan semua pengotor telah hilang.



Sumber: M. Herman (2013)

Gambar 26. Proses pencucian biodiesel menggunakan air di dalam labu pemisah

### **Pengeringan Biodiesel**

Proses pengeringan diperlukan untuk menghilangkan air yang kemungkinan terperangkap di dalam biodiesel setelah proses pencucian. Proses pengeringan dilakukan dengan memanaskan biodiesel. Proses pengeringan selesai dengan indikasi biodiesel yang dihasilkan telah jernih dan bebas dari gelembung uap air (Gambar 27). Berbagai jenis biodiesel yang telah jernih dapat dilihat pada gambar 28.



Sumber: M. Herman (2013)

Gambar 27. Proses pengeringan biodiesel



Sumber: A. Aunillah (2013)

Gambar 28. Biodiesel murni dari berbagai sumber minyak  
(*metil ester*)

Biodiesel yang dihasilkan sebaiknya dianalisis terlebih dahulu untuk memastikan bahwa biodiesel tersebut telah memenuhi standar yang ada atau sesuai SNI. Setelah



diverifikasi dan memenuhi standar yang ada maka biodiesel dapat digunakan langsung pada mesin diesel baik yang berputaran rendah maupun tinggi (Soerawidjaja, 2009) (Gambar 29).



Sumber: M. Syakir (2013)

Gambar 29. Biodiesel kemiri sunan B100 yang digunakan pada mobil diesel dan pompa air



Sumber: D. Pranowo (2013)

Gambar 30. Biodiesel kemiri sunan yang dihasilkan menggunakan reaktor biodiesel

## 5.2. Analisis Asam Lemak Bebas

Bahan baku minyak nabati untuk diproses menjadi biodiesel harus dipersiapkan dengan sebaik-baiknya. Di atas telah dijelaskan mengenai proses ekstraksi minyak dari bahan baku berupa biji menjadi minyak sampai proses penyaringan. Untuk memperoleh biodiesel yang baik dengan proses yang efisien, salah satu persyaratannya adalah nilai Asam Lemak Bebas (ALB)/*Free Fatty Acid* (FFA) atau angka asam harus kurang dari 3 mg KOH/g minyak. Oleh karena itu, nilai ALB dari minyak nabati harus diketahui sebelum diproses menjadi biodiesel. ALB juga masih akan ditemukan dalam biodiesel yang nilainya akan menjadi salah satu parameter persyaratan kualitas biodiesel.

ALB adalah jumlah miligram KOH yang diperlukan untuk menetralkan asam bebas dalam satu gram minyak. Dalam SNI, ALB disebut sebagai angka asam. Analisis ALB dilakukan menggunakan bahan KOH 0,1 N yang distandarisi secara akurat dan bebas karbonat, campuran pelarut yang terdiri dari isopropil alkohol dan toluena serta larutan indikator *phenolphthalein*.

Penggunaan pelarut dari alkohol adalah untuk melarutkan minyak sehingga alkohol (etanol) yang digunakan konsentrasinya berada dikisaran 95-96% karena etanol 95% merupakan pelarut lemak yang baik. Sedangkan penggunaan indikator pp digunakan sebagai indikator pembuktian bahwa bahan tersebut bersifat asam atau basa. Setelah dititrisasi dengan NaOH, larutan alkohol dan minyak yang telah ditetesi indikator pp berubah warna menjadi merah muda. Hal ini membuktikan bahwa larutan tersebut bersifat basa.

Metode analisis ALB dilakukan dengan cara menambahkan larutan indikator *phenolphthalein* dalam

larutan pelarut dan dinetralsir dengan alkali hingga terbentuk warna pink tipis. Minyak yang akan dianalisis dicampur dengan dengan larutan yang telah dinetralkan, kemudian dititrasi dengan standar alkali hingga warna pink yang bertahan selama 30 detik. Metode analisis yang lebih lengkap dapat dilihat pada dokumen SNI 7182:2012: Biodiesel.

### **5.3. Perbandingan Standar Mutu Biodiesel**

Biodiesel sebelum digunakan harus dianalisis untuk memastikan telah memenuhi persyaratan standar mutu yang ada. Penetapan standar biodiesel antara satu negara dengan negara lainnya berbeda karena disesuaikan dengan ketersediaan bahan baku, jenis mesin yang digunakan, serta peraturan emisi dan standar bahan bakar di tiap negara. Bahan bakar diesel di eropa lebih banyak digunakan untuk mobil penumpang, sedangkan di Amerika serikat sering digunakan pada alat berat. Oleh karena itu tidak mengherankan terdapat beberapa perbedaan yang signifikan antara kedua standar. Perbandingan standar dan mutu biodiesel pada beberapa negara dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan standar mutu biodiesel di berbagai negara

Parameter Uji	Satuan	Eropa (EN14214/08)	USA (ASTM D 6751/07A)	Brasil (ANP Act 7/08)	Jepang	WWFC (World Wide Fuel Charter)	SNI-2012
<b>Densitas (20 °C)</b>	kg/m <sup>3</sup>	860-900 (15°C)	-	850- 900	860-900	860-900 (15 °C)	850-890 (40 °C)
<b>Viskositas Kinematik</b>	mm <sup>2</sup> /s	3,5-5,0	1,9-6,0	3,0-6,0	3,5-5,0	2,0-5,0	2,3-6,0 (15 °C)
<b>Kandungan Air dan Sedimen</b>	%-vol maks	-	0,05	-	-	0,05	0,05
<b>Titik Nyala</b>	°C min	101	93	100	120	100	100
<b>Temperatur Destilasi 90%</b>	°C maks	-	360	-	-	-	360
<b>Residu Karbon</b>	%-massa maks (100% residual destilasi)	-	0,05	0,05	-	0,05	0,05
	%-massa maks (10% residual distilasi)	0,3	-	-	0,3		0,3
<b>Abu tersulfatkan</b>	%-massa maks	0,02	0,02	0,02	0,02	0,005	0,02

<b>Korosi Lempeng Tembaga</b>	Maks	No.1	No.3	No.1	No.1	No.1	No.1(3jam pada 500 °C)
<b>Angka Asam</b>	Mg KOH/g maks	0,5	0,8	0,5	0,5	0,5	0,6
<b>Gliserol Bebas</b>	%-massa maks	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
<b>Gliserol total</b>	%-massa maks	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24
<b>Kand. metanol/Etanol</b>	%-massa maks	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	-
<b>Stabilitas Oksidasi</b>	Jam minimal	6	3	6	-	10	6
<b>Kand. Belerang</b>	%-massa maks	0,001	0,0015/ 0,05	0,005	0,001	0,001	100 (mg/kg)
<b>Kandungan Na+K</b>	mg/kg maks	5	5	5	5	5	-
<b>Kandungan Ca+Mg</b>	mg/kg maks	5	5	5	5	5	-
<b>Kandungan Fosfor</b>	%-massa maks	0,0004 atau 10 mg/kg	0,001 atau 10 mg/kg	0,001	10 mg/kg	4 mg/kg	10 mg/kg
<b>Angka setana</b>	Min	51	47	report	51	51	51
<b>Angka Iodium</b>	-	120	-	report	120	130 (maks)	115
<b>Mono-, Di-, Trigliserida</b>	%-massa maks	0,8/0,2/0,2	-	report	0,8/0,2/0,2	0,8/0,2/0,2	-

<b>Kadar Ester Metil</b>	%-massa min	96,5	-	96,5	96,5	96,5	96,5
<b>Kontaminasi Total</b>	%-massa maks	24	-	24	24	24	-
<b>Air</b>	mg/kg maks	500	-	500	500	500	-
<b>Asam Metil Linoleat</b>	%-massa maks	12	-	-	12	12	-
<b>Polysaturated ester (<math>\geq 4</math>)</b>	%-massa maks	1	-	-	-	-	-
<b>Kemampuan filtrasi aliran dingin</b>	%-massa maks	-	360	-	-	-	-

Sumber : Direktorat EBTKE (2013)

## 5.4. Mutu Biodiesel Kemiri Sunan

Secara umum parameter yang menjadi standar mutu biodiesel adalah densitas, titik nyala, angka setana, viskositas kinematik, abu sulfat, energi yang dihasilkan, bilangan iod, dan residu karbon. Biodiesel kemiri sunan yang dilakukan menggunakan proses transesterifikasi dua tahap menghasilkan biodiesel yang telah memenuhi semua mutu SNI 7182:2012 kecuali parameter residu karbon (Tabel 8).

### Massa Jenis

Massa jenis biodiesel lebih tinggi dibandingkan massa jenis pada bahan bakar diesel. Massa jenis biodiesel dipengaruhi oleh jenis asam lemak penyusun dan kemurniannya. Massa jenis akan semakin meningkat dengan semakin pendeknya rantai asam lemak dan semakin banyaknya ikatan rangkap.

Temperatur penetapan massa jenis tidak dipilih  $15^{\circ}\text{C}$  seperti halnya di kawasan eropa, karena titik awan/mendung biodiesel boleh mencapai  $18^{\circ}\text{C}$ . Temperatur  $40^{\circ}\text{C}$  dipilih karena selain sama dengan temperatur pengukuran viskositas, juga memudahkan pengendalian kestabilan temperatur peralatan pengukur (tidak di dekat temperatur kamar). Persyaratan angka 0,850 s/d 0,890 dipilih berdasar data massa jenis ester metil asam-asam lemak  $\text{C}_8$  s/d  $\text{C}_{24}$  pada  $40^{\circ}\text{C}$ .

Proses transesterifikasi yang dilakukan pada minyak kemiri sunan telah dapat menurunkan massa jenis yang awalnya  $909 \text{ kg/m}^3$  menjadi  $881,2 \text{ kg/m}^3$  (biodiesel kemiri sunan). Nilai ini masih masuk dalam standar mutu SNI.

Tabel 8. Mutu biodiesel kemiri sunan

Parameter dan satuannya	Batas nilai (SNI 7182:2006)	Batas nilai (SNI 7182:2012)	Hasil Pengujian Biodiesel Kemiri Sunan
Massa jenis pada 40 °C, kg/m <sup>3</sup>	850–890	850–890	881,2
Viskositas kinematik pada 40 °C, mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3–6,0	2,3–6,0	4,4
Angka setana	min. 51	min. 51	53,9
Titik nyala (mangkok tertutup), °C	min. 100	min. 100	129,5
Titik kabut, °C	maks. 18	maks. 18	12
Korosi bilah tembaga (3 jam, 50 °C)	maks. no. 3	maks. no. 1	No. 1.b
Residu karbon (%-b), - dalam contoh asli - dalam 10 % ampas distilasi	maks. 0,05 (maks. 0,3)	maks. 0,05 maks. 0,3	0,1298*
Air dan sedimen, %-vol.	maks. 0,05	maks. 0,05	0
Temperatur distilasi 90 %, °C	maks. 360	maks. 360	-
Abu tersulfatkan, %-b	maks. 0,02	maks. 0,02	0,02
Belerang, ppm-b (mg/kg)	maks. 100	maks. 100	13
Fosfor, ppm-b (mg/kg)	maks. 10	maks. 10	0,98
Angka asam, mg-KOH/g	maks. 0,8	maks. 0,6	0,1044
Gliserol bebas, %-b	maks. 0,02	maks. 0,02	0,0091
Gliserol total, %-b	maks. 0,24	maks. 0,24	0,2086
Kadar ester alkil, %-b	min. 96,5	min. 96,5	99,56
Angka iodium, %-b (g-I <sub>2</sub> /100 g)	maks. 115	maks. 115	95,24
Uji Halphen	negatif	-	Negatif
Nilai Kalor, MJ/Kg	-	-	39,7758
Kesetabilan Oksidasi - Periode induksi metode rancimat, mnt - Periode induksi metode petro oksidasi, mnt	-	360 37	-

Sumber: Aunillah dan Pranowo (2012)



## **Viskositas**

Viskositas adalah ketahanan aliran suatu cairan diakibatkan adanya gesekan internal antara cairan bergerak dan diam (Knothe, 2005a). Viskositas yang tinggi pada bahan bakar, dapat mempersulit proses pembentukan kabut pada saat atomisasi dan menyebabkan proses pembakaran tidak sempurna. Viskositas bahan bakar yang tinggi dapat mengakibatkan daya atomisasi rendah dan mesin kehilangan tenaga (Labeckas dan Slavinskas, 2006).

Proses transesterifikasi mampu menurunkan viskositas minyak kemiri sunan dari 99,012 cSt menjadi 4,4 cSt, atau mampu menurunkan viskositas hingga 90,51%. Standar mutu untuk viskositas berkisar antara 2,3-6 cSt, sehingga biodiesel kemiri sunan masuk dalam standar mutu SNI.

## **Angka Setana**

Menurut Antolin (2002), angka setana dapat mempengaruhi performa mesin seperti pembakaran, kestabilan, mudah digunakan, warna asap, suara, emisi CO dan HC. Angka ini akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya panjang rantai karbon asam lemak dan derajat kejenuhan (Knothe *et al.*, 1998; 2003).

Batas angka setana (min. 51) mengikuti standar eropa (min. 51). Nilai ini lebih tinggi dibandingkan standar di Amerika ( $\geq 40$ ) dan Brazil ( $\geq 42$ ). Nilai ini juga lebih besar dari syarat solar Indonesia (min. 45) sehingga pencampuran biodiesel kepada solar berpotensi atau bermanfaat untuk meningkatkan angka setana bahan bakar. Angka setana kemiri sunan adalah 53,9, angka ini memenuhi standar mutu SNI, sehingga aman untuk digunakan.

## Titik Nyala

Angka titik nyala (*flash point*) min. 100 °C dipandang cukup menjamin biodiesel ester metil bebas dari sisa-sisa metanol serta mengakomodasi kemungkinan keberadaan sejumlah kecil metil kaprilat (C<sub>8</sub>) dan metil kaprat (C<sub>10</sub>). Hasil pengujian titik nyala biodiesel kemiri sunan (129,5 °C) masuk dalam kriteria standar mutu SNI

## Titik Kabut

Suhu biodiesel mulai membeku/terbentuk kristal paraffin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar. Namun dikarenakan iklim yang bervariasi antar negara, menyebabkan kedua nilai tersebut tidak digunakan sebagai batasan, hanya didasarkan oleh standar nasional masing-masing negara pengguna. Pada standar Europe, sebagai ganti titik kabut, digunakan parameter *Cold filter plugging point*. Untuk Indonesia, angka titik awan 18 °C dipandang cukup untuk menjamin biodiesel masih bisa mengalir sekalipun digunakan di daerah dataran tinggi (pegunungan) pada cuaca dingin.

Parameter biodiesel kemiri sunan masuk dalam standar mut SNI biodiesel. Komposisi asam lemak minyak kemiri sunan didominasi oleh asam lemak tak jenuh, membuat biodiesel kemiri sunan memiliki titik kabut yang relatif rendah.

## Korosi Bilah Tembaga

*Crude petroleum* mengandung komponen sulfur yang kebanyakan dapat dipisahkan selama pemurnian. Keberadaan komponen sulfur di dalam produk petroleum dapat menyebabkan korosi pada beberapa jenis metal dan tingkat korosivitas ini tidak selamanya berbanding lurus dengan total sulfur. Sulfur ini menyebabkan efek yang berbeda tergantung dari struktur kimia sulfur yang terkandung di dalamnya.

Pengujian korosi bilah tembaga pada biodiesel kemiri sunan didapatkan nilai 1b, nilai ini masuk dalam SNI biodiesel. Nilai 1b menunjukkan bahwa, dalam pengujian terhadap lempeng tembaga menyebabkan hanya sedikit noda yang berwarna orange gelap pada lapisan lempeng tembaga (BSN, 2012).

### **Residu Karbon**

Parameter residu karbon adalah jumlah materi karbon yang tersisa setelah penguapan danpirolisis sampel bahan bakar dalam kondisi tertentu (Sarin, 2012). Adanya residu karbon yang tinggi dapat membentuk endapan yang akan menyebabkan timbulnya penyumbatan pada injektor atau menimbulkan kegagalan pada sistem bahan bakar. Belum masuknya parameter residu karbon pada biodiesel kemiri sunan menunjukkan bahwa proses pencucian masih kurang bersih. Agar residu karbon dapat memenuhi standar kriteria, perlu dilakukan proses pencucian yang lebih lama dan jumlah air yang lebih banyak. Selain itu dapat juga menggunakan penyaringan membran, agar batasan minimal standar mutu SNI dapat terpenuhi.

### **Air dan Sedimen**

Biodiesel bersifat higroskopis, dapat menyerap air dalam konsentrasi sampai 1000ppm selama penyimpanan. Setelah batas kelarutan terlampaui ( $\pm 1500$  ppm), air akan mengedap dibagian bawah tangki (Mittelbach, 1996). Air dan sedimen dapat menyebabkan masalah dalam sistem pembakaran dan mesin. Akumulasi sedimen dalam tangki penyimpanan dapat menghambat aliran bahan bakar dari tangki ke ruang pembakaran.

Selain itu Kadar air biodiesel yang tinggi dapat menyebabkan mikroba mudah tumbuh sehingga mengotori biodiesel dan menyebabkan korosi pada mesin. Selain itu adanya air dalam biodiesel dalam jangka waktu yang lama akan meningkatkan kadar asam lemak bebas (angka asam). Parameter standar mutu untuk seluruh regional sama, yaitu 50 mg/kg. Pengujian pada biodiesel kemiri sunan, menunjukkan bahwa biodiesel kemiri sunan masuk dalam standar mutu SNI.

### **Temperatur Destilasi**

Suhu destilasi merupakan parameter yang penting seperti halnya kadar alkil ester, yang digunakan untuk menentukan adanya bahan lain dalam biodiesel misalnya ester monoalkil. Dari beberapa negara, hanya negara Amerika Serikat dan Indonesia yang mensyaratkan parameter destilasi ( $360^{\circ}\text{C}$ ). Pada biodiesel kemiri sunan, belum pernah dilakukan pengujian terhadap parameter ini.

### **Abu Tersulfatkan**

Kadar abu menggambarkan jumlah kontaminan anorganik seperti padatan dan residu katalis, dan konsentrasi sabun logam yang dapat larut yang terkandung dalam biodiesel (Mittelbach, 1996). Adanya komponen tersebut akan teroksidasi selama pembakaran dan menyebabkan terbentuknya abu yang dapat menyebabkan penyumbatan pada injektor, pompa bahan bakar, piston, dan mesin (Sarin, 2012). Standar mutu di regional Eropa, Amerika Serikat, Jepang, dan Brazil, memiliki standar yang sama (0,02 %). Pengujian pada biodiesel kemiri sunan, didapatkan nilai yang memenuhi standar mutu SNI (0,02 %).

## **Belerang**

Kandungan belerang pada bahan bakar selain dapat mempengaruhi sistem kontrol emisi, namun juga mempengaruhi batasan belerang. Pengujian pada biodiesel kemiri sunan, didapatkan nilai yang memenuhi standar mutu SNI (13 mg/kg).

## **Fosfor**

Kandungan fosfor pada biodiesel berasal dari fosfolipid (lemak hewan dan minyak nabati) dan garam anorganik (minyak goreng) yang terdapat pada bahan baku (European Commission, 2007). Kandungan fosfor dalam biodiesel dapat merusak sistem kontrol emisi, oleh karena itu harus diminimalisir salah satunya dengan cara menggunakan bahan baku yang rendah kandungan fosfornya. Pengujian pada biodiesel kemiri sunan, didapatkan nilai yang memenuhi standar mutu SNI (0,98 mg/kg).

## **Angka Asam**

Angka asam menunjukkan adanya asam lemak bebas pada biodiesel. Tingginya asam lemak bebas dapat menyebabkan korosif dan menimbulkan jelaga atau kerak di injektor mesin. Pengujian pada biodiesel kemiri sunan, didapatkan nilai yang memenuhi standar mutu SNI (0,1044 mg KOH/g).

## **Gliserol Bebas dan Gliserol Total**

Kandungan gliserol bebas pada biodiesel ini dipengaruhi oleh proses produksi, tingginya nilai gliserol bebas menunjukkan kurangnya sempurnanya proses sparasi atau pencucian (European Commission, 2007). Pada tangki bahan bakar, gliserol akan mengendap dibagian bawah dan dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem injeksi. Oleh karena itu

kandungan gliserol bebas menjadi salah satu parameter standar mutu biodiesel.

Total gliserin digunakan untuk menentukan jumlah gliserol bebas dan gliserol terikat pada minyak (European Commission, 2007). Rendahnya jumlah total gliserol digunakan untuk mengetahui tingkat konversi minyak/lemak menjadi ester. Tingginya mono-, di-, dan trigliserida akan berikatan dengan senyawa polar lainnya seperti air, sabun, dan monogliserida yang dapat menyebabkan penyumbatan pada sistem injektor.

Pengukuran Gliserol bebas dan gliserol total dilakukan dengan menggunakan metode AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584. Hasil pengukuran terhadap biodiesel kemiri sunan, didapatkan nilai sebesar 0,0091% untuk gliserol bebas dan 0,2086% untuk gliserol total, keduanya masuk dalam standar mutu SNI biodiesel.

### **Kadar Ester Alkil**

Parameter kadar ester alkil digunakan untuk mengetahui adanya bahan pengotor lainnya. Rendahnya nilai kadar ester dari biodiesel murni kemungkinan disebabkan adanya reaksi yang tidak diinginkan atau adanya komponen tertentu pada bahan baku yang digunakan. Tingginya konsentrasi bahan yang tak tersabunkan misalnya sterol, sisa alkohol, dan gliserol dapat menurunkan kadar ester alkil dibawah standar yang telah ditetapkan. Standar mutu kadar alkil ester sama untuk semua regional, yaitu 96,5%. Pengujian biodiesel kemiri sunan, didapatkan nilai yang masuk standar mutu SNI (99,56%)

## Angka Iodium

Angka iodium merupakan parameter ketidakjenuhan senyawa metil ester. Nilai angka iodium pada biodiesel hampir sama nilainya dengan angka iodium yang ada pada bahan baku (Knothe, 2005b). Tingginya ikatan rangkap dalam biodiesel dapat menyebabkan metil ester terpolimerisasi dan membentuk deposit pada alat pengkabut dan piston. Selain itu juga angka iodium menunjukkan kecenderungan molekul tak jenuh bereaksi dengan oksigen di atmosfer dan berubah menjadi peroksida (Lapuerta, 2009).

Batasan angka iodium diperlukan sebagai tolok ukur empirik untuk membatasi kadar ester metil asam-asam lemak berikatan rangkap  $\geq 3$  yang mudah berpolimerisasi dan menyebabkan deposit dalam mesin diesel. Eropa dan Jepang menetapkan harga batas lebih tinggi, yaitu 120. Amerika Serikat tidak mau membatasi angka iodium karena sumber daya nabati utamanya (minyak kedelai) berangka iodium tinggi (117 s/d 143).

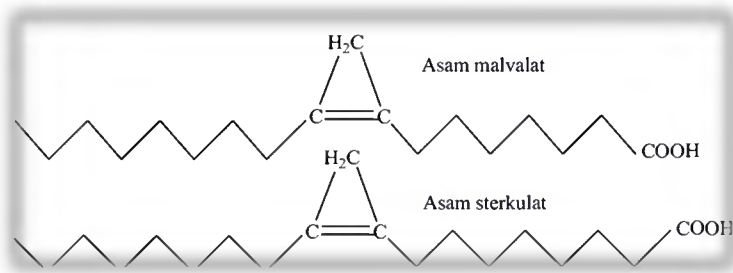
Indonesia menyaratkan nilai iodin sebesar 115. Angka iodin kemiri sunan didapatkan sebesar 95,24 mg  $I_2/100g$ . Nilai ini jauh menurund dari bahan baku minyak kemiri sunan, yaitu sebesar 123,02 mg  $I_2/100g$ . Ini menunjukkan bahwa biodiesel kemiri sunan dapat digunakan tanpa kekhawatiran ada ketidakstabilan ikatan rangkap pada biodiesel yang dapat menyebabkan metil ester terpolimerisasi dan membentuk deposit pada alat pengkabut dan piston

## Uji Halphen

Di Indonesia terdapat berbagai tumbuhan (umumnya dari marga *Malvaceae*) yang minyak-lemaknya mengandung asam lemak unik karena bergugus siklopropenoid. Gugus siklopropenoid adalah gugus yang berbentuk rangkaian

melingkar (siklo) menyerupai cincin dari propena pada suatu molekul/senyawa (Greenberg dan Harris, 1982). Asam lemak yang mengandung gugus siklopropenoid adalah asam malvalat (C-17) dan asam sterkulat (C-18) (Hudaya, 2011). Pada asam sterkulat dan asam malvalat terdapat ikatan rangkap sehingga termasuk sebagai asam lemak tak jenuh (Gambar 31).

Minyak yang mengandung gugus siklopropenoid antara lain minyak dari biji kepuh (*Sterculia foetida*) mengandung gugus siklopropenoid sekitar 50-70% (Greenberg dan Harris, 1982); minyak kulit biji durian mengandung 65,4%; minyak dari biji kapuk (*Ceiba pentandra*) mengandung 10,1%; minyak dari melinjo (*Gnetum gnemon*) mengandung 51,6%; dan minyak dari biji kapas (*Gossypium hirsutum*) mengandung kurang dari 1% (Berry, 1979).



Sumber: AOCS (2013)

Gambar 31. Rumus bangun asam malvalat dan asam sterkulat

Gugus siklopropenoid bersifat reaktif sehingga membuat biodiesel menjadi kental (*viscous*). Biodiesel yang kental tersebut dapat menyebabkan penyumbatan pada nozzle mesin/motor diesel (Hudaya *et al.*, 2011). Oleh karena itu, keberadaan gugus siklopropenoid di dalam biodiesel harus dihilangkan. Pada uji halpen, tidak ditemukannya gugus siklopropenoid pada biodiesel kemiri sunan.



## **Kestabilan Oksidasi**

Ketahanan biodiesel untuk tidak mengalami degradasi akibat otoksidasi (oksidasi oleh oksigen udara/atmosfir) dalam jangka waktu tertentu. Kestabilan oksidasi yang rendah dapat menyebabkan korosi pada komponen seperti saluran dan tangki bahan bakar. Selain itu juga dapat menghasilkan padatan/polimer yang dapat menyumbat nozzle dan filter bahan bakar. Iklim di Indonesia yang memiliki suhu dan kelembaban tinggi memungkinkan proses produksi yang cepat.

Stabilitas oksidasi berkaitan dengan kandungan bahan bakar (FAME) dan kondisi penyimpanan. Susunan kimia pada biodiesel menyebabkan biodiesel lebih sensitif untuk terjadinya oksidasi dari pada bahan bakar dari fosil. Semakin tinggi kandungan asam lemak tak jenuh, semakin rendah stabilitas oksidasi biodieselnnya. Hal ini akan mengakibatkan biodiesel tidak dapat disimpan dalam waktu yang lama karena harus terhindar dari cahaya dan udara bebas yang menjadi penyebab utama oksidasi.

Dengan tindakan pencegahan yang tepat, reaksi oksidasi dapat ditunda tetapi tidak sepenuhnya dicegah. Resistensi terhadap degradasi oksidatif adalah isu yang semakin penting bagi keberhasilan pengembangan bahan bakar alternatif. Pada biodiesel kemiri sunan, belum pernah dilakukan pengujian terhadap parameter ini.

## VI. REAKTOR BIODIESEL

Produksi biodiesel umumnya menggunakan metode *batch*, di mana dalam proses tersebut terjadi pencampuran serta pengadukan antara bahan baku utama biodiesel dan katalis secara bersamaan dan ada *idle time* sampai terpisah menjadi 2 lapisan. Proses pembuatan biodiesel dilakukan dalam reaktor. Reaktor adalah peralatan yang digunakan sebagai tempat terjadinya reaksi kimia untuk mendapatkan produk yang diinginkan. Performa reaktor berperan penting dalam operasional dan biaya operasi karena berpengaruh terhadap unit operasi yang lain (pemisahan, pengeringan, dan lain-lain).

Reaktor merupakan jantung pada sebagian besar proses kimia. Desain dan operasional reaktor menentukan kesuksesan dan kegagalan keseluruhan proses kimia. Reaktor merupakan komponen dasar untuk menkonversi bahan baku yang bernilai rendah menjadi produk yang mempunyai nilai jual lebih tinggi. Reaktor biodiesel digunakan untuk mengkonversi minyak nabati menjadi biodiesel yang mempunyai nilai jual lebih tinggi.

Reaktor biodiesel sudah banyak beredar di pasaran, dari skala laboratorium hingga skala produksi, dari tipe *batch* hingga kontinu, dari bahan besi hingga stainless steel. Pembuatnya juga beragam, ada yang dari Perguruan Tinggi (ITB, IPB, UGM, UNDIP, dan lain-lain), Lembaga Penelitian (BB Mektan, BB Pasca Panen, LIPI, BPPT), Pertamina, ataupun perusahaan swasta (PT. Rizki Anugrah Putra (RAP), PT. Pindad, dan PT. Rekayasa Industri). Beberapa contoh reaktor biodiesel yang sudah beredar di pasaran (Gambar 32).



Sumber: D. Pranowo (2012)

Gambar 32. Beberapa contoh reaktor biodiesel yang ada di lapangan

Permasalahannya desain reaktor yang beredar antara lain adalah (1) didesain hanya untuk mengolah minyak nabati yang spesifik, padahal dalam skala pedesaan/kerakyatan ketersediaan bahan baku spesifik tersebut tidak selalu ada, (2) tiap proses membutuhkan peralatan/tangki yang berbeda sehingga meningkatkan biaya investasi dan biaya transportasi, (3) tiap reaktor saling terintegrasi sehingga jika salah satu

terjadi masalah dapat menghambat proses produksi, dan (4) mengalami kesulitan untuk mengolah minyak nabati yang mempunyai bilangan asam  $> 10$ . Oleh karena itu, diperlukan adanya reaktor biodiesel yang dapat mengatasi semua masalah tersebut.

Reaktor yang dimaksud saat sudah berhasil dibuat dan dikembangkan, disebut reaktor multifungsi. Reaktor ini merupakan pengembangan dari reaktor yang telah ada sebelumnya. Kemampuan reaktor ini telah ditingkatkan (*upgrade*) sehingga mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan reaktor lama. Perbedaan antara reaktor awal dan reaktor multifungsi ini disajikan pada Gambar 33 dan Tabel 9.



(a)



(b)

Sumber: D. Pranowo (2012)

Gambar 33. Reaktor biodiesel Reaktor awal (a), Reaktor pengembangan atau multifungsi (b)

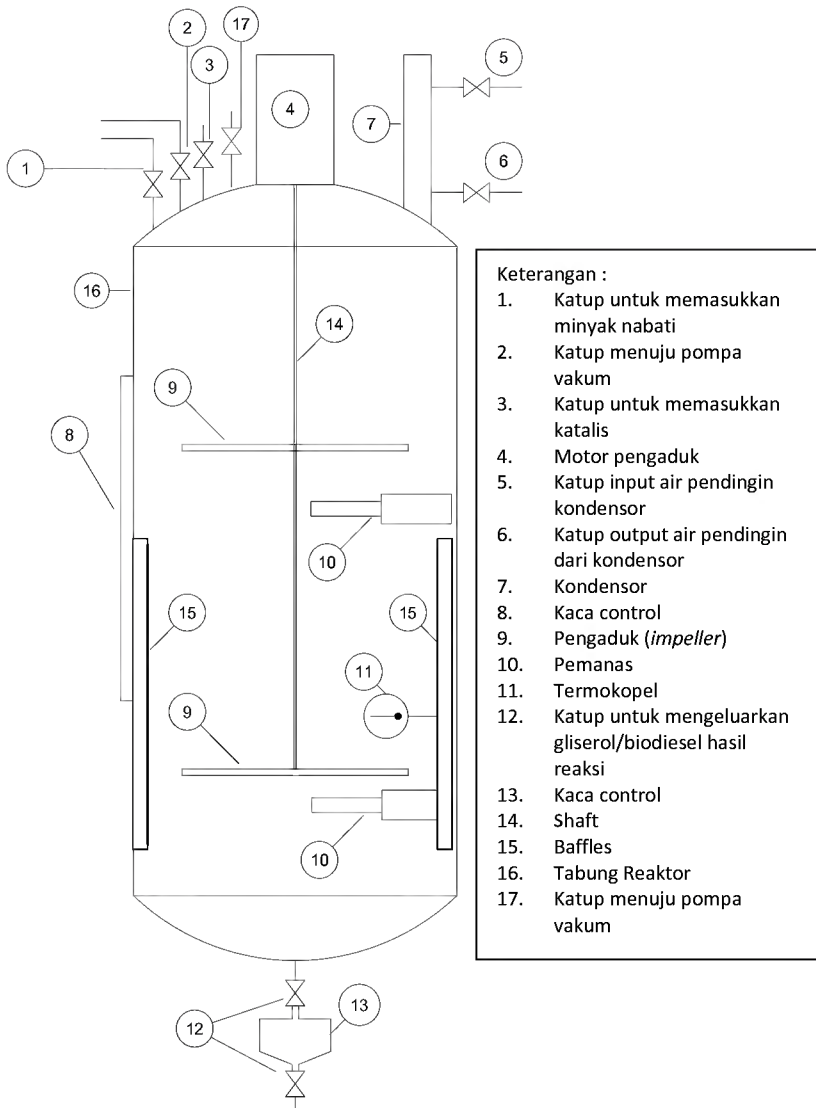
Bentuk geometri reaktor hampir silindris/mempunyai bentuk dasar melengkung (tanda ada sudut) untuk mengoptimalkan pencampuran (*mixing*) bahan dalam reaktor

dan mempunyai konstruksi berukuran (dimensi) standar (e.g. *International Standards Organization* dan *British Standards Institution*) yang memperhitungkan keefektifan pencampuran dan konsiderasi struktur. Sebaiknya reaktor biodiesel yang dibuat memiliki perbandingan diameter dan tinggi sebanyak 1:3. Jadi, jika diameter tangki reaktor memiliki diameter 1 meter maka tinggi reaktor 3 meter. Bentuk dan bagian-bagian reaktor disajikan pada Gambar 34.

Tabel 9. Perbedaan kelebihan pada reaktor awal dan reaktor pengembangan atau reaktor multifungsi

<b>Reaktor awal</b>	<b>Reaktor pengembangan</b>
Kondensor tunggal	Kondensor ganda
Bahan baku spesifik	Semua jenis minyak nabati
Kecepatan pengadukan konstan (500 rpm)	Kecepatan pengadukan dapat diatur (250-1450 rpm)
Suhu maksimal proses 90 °C	Suhu maksimal proses 120 °C
Penggunaan katalis banyak	Penggunaan katalis sedikit
Satu reaktor-satu proses	Multifungsi reaktor
6-8 jam/proses	4-6 jam/proses
Khusus ALB rendah	Berbagai tingkatan ALB
Rendemen 76-80%	Rendemen 87-92%

Bahan yang digunakan sebagai konstruksi reaktor harus menggunakan bahan yang tidak bereaksi dengan bahan bakar dan katalis yang digunakan misalnya stainless steel.



Sketsa : A. Aunillah

Gambar 34. Detail bagian-bagian reaktor biodiesel

## Kondensor

Kondensor pada reaktor biodiesel berfungsi untuk mengembunkan uap hasil proses sehingga dapat menurunkan tekanan atmosfer reaktor di bawah tekanan normal (76 cmHg) (Gambar 36). Turunnya tekanan atmosfer membuat proses pengeringan biodiesel dapat berlangsung di bawah titik didih normal (<100 °C). Pada sebagian besar reaktor biodiesel mini yang terdiri atas 2 tangki proses, hanya terpasang satu kondensor. Ini membuat hanya tangki yang memiliki kondensor saja yang dapat melakukan proses “pengeringan biodiesel”.



Sumber: D. Pranowo (2012)

Gambar 35. Tangki A dan Tangki B reaktor biodiesel

Proses yang dilakukan pada reaktor konvensional yang terdiri atas 2 tangki dilakukan dengan melakukan proses esterifikasi, transesterifikasi, dan pemisahan gliserol di tangki

yang tidak memiliki kondensor (tangki A) kemudian ditransfer ke tangki yang memiliki kondensor (tangki B). Proses ini memiliki beberapa kelemahan, di antaranya :

1. Ada waktu tunggu (*lead time*) pada tangki B karena mulai bekerja setelah proses pemisahan gliserol dilakukan pada tangki.
2. Pemandahan biodiesel dari tangki A ke tangki B, membutuhkan tambahan energi listrik dan ada waktu tunggu hingga semua biodiesel berpindah semua ke tangki B.
3. Jika salah satu tangki mengalami kerusakan, proses pengolahan biodiesel tidak dapat dilaksanakan.



Sumber: A. Aunillah (2012)

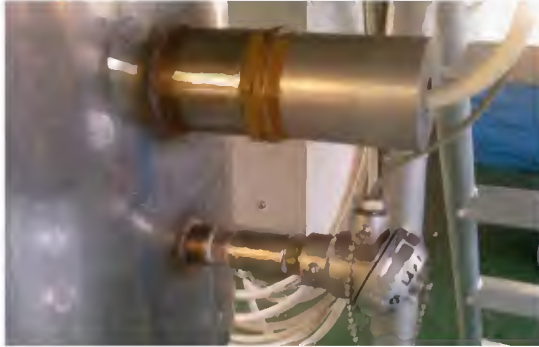
Gambar 36. Kondensor



Kelemahan tersebut dapat ditanggulangi dengan cara membuat kedua tangki tersebut dapat melakukan pengolahan biodiesel mulai dari esterifikasi hingga pengeringan. Salah satu komponen yang harus ada di tiap tangki adalah kondensor. Pada reaktor multifungsi ini, tiap tangki reaktor mempunyai satu buah kondensor sehingga tiap reaktor mampu digunakan dalam mengolah biodiesel dari minyak kasar hingga menjadi biodiesel yang sesuai standar.

### ***Heater dan termokopel***

Pada reaktor ini terdapat *heater* yang terintegrasi dengan *termokopel* (Gambar 37). Integrasi ini berfungsi untuk mengontrol pemanasan yang dilakukan pada reaktor karena tiap tahap pengolahan biodiesel membutuhkan suhu yang berbeda-beda. Jika suhu bahan di bawah suhu yang telah ditentukan, *heater* menyala dan suhu bahan meningkat. Begitu pula sebaliknya, *heater* akan mati jika melewati suhu yang telah ditentukan. Pada proses esterifikasi dan transesterifikasi membutuhkan suhu 60-80 °C, suhu pencucian 60 °C, dan proses pengeringan membutuhkan suhu 110-115 °C. Penempatan *heater* dan indikator sangat berpengaruh terhadap efektifitas pemanasan. Reaktor sebaiknya terdiri atas beberapa *heater* agar dapat mempercepat proses pemanasan. Misalnya reaktor terdiri atas beberapa *heater* sebaiknya diletakkan saling silang dan pada ketinggian yang berbeda sehingga pemanasan lebih merata. Selain itu sebaiknya tiap *heater* mempunyai pengatur saklar masing-masing sehingga kontrol suhu tetap dapat dilakukan jika jumlah minyak yang digunakan bervariasi.



Sumber: A. Aunillah (2012)

Gambar 37. Heater dan termokopel

### Gelas Indikator

Salah satu proses dalam pengolahan biodiesel adalah proses pemisahan (separasi) yang dilakukan untuk memisahkan produk hasil pengolahan dengan limbahnya. Pada proses esterifikasi terjadi reaksi antara asam lemak bebas dengan alkohol sehingga menghasilkan minyak (trigliserida dan *fatty acid metil ester*) dengan kandungan asam rendah dan limbah yang terdiri dari air dan metanol sisa. Densitas limbah (campuran air dan metanol) lebih berat dibandingkan minyak sehingga minyak berada di lapisan atas dan limbahnya di bagian bawah dengan batas yang jelas. Gelas indikator ini berguna untuk mengetahui bahwa proses pengambilan bahan hampir mencapai batasnya sehingga produk yang dihasilkan mempunyai tingkat kemurnian yang tinggi (Gambar 38). Pada reaktor yang baru ini, pemisahan gliserol dan air limbah pencucian sebaiknya dipisahkan secara perlahan (menggunakan gaya gravitasi), jangan menggunakan pompa sebagai pendorong karena dapat mengacaukan larutan yang telah mengendap.



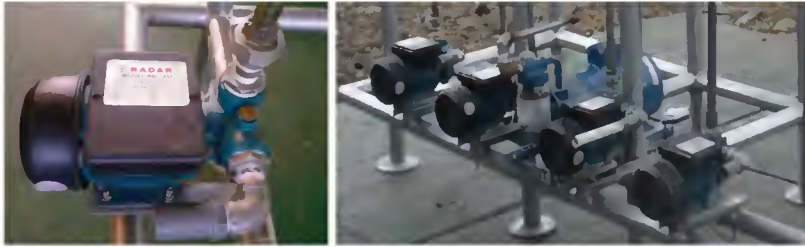
Sumber: A. Aunillah (2012)

Gambar 38. Gelas indikator

### **Pompa Input-Output**

Pompa yang dipasang terintegrasi pada reaktor biodiesel multifungsi ini ada 4 buah (Gambar 39), tiap-tiap pompa berfungsi untuk:

1. Input minyak mentah, pompa ini digunakan untuk mentransfer minyak mentah dari tangki penyimpanan menuju reaktor.
2. Input air pendingin, pompa ini digunakan untuk mengalirkan air ke tabung kondensor sehingga kondensor tetap dalam kondisi dingin dan dapat berfungsi sebagaimana mestinya.
3. Input air pencucian
4. Reversible biodiesel, pompa ini digunakan untuk mentransfer biodiesel mentah dari reaktor 1 ke reaktor 2.



Sumber: A. Aunillah (2012)

Gambar 39. Pompa input-output

### Pompa Vakum

Pompa vakum berfungsi untuk mengeluarkan gas-gas yang tidak dapat menyublim, misalnya gas amoniak (Gambar 40). Selain itu pompa vakum membantu mengeluarkan uap air dan sisa metanol yang tidak bereaksi pada proses pengeringan.



Sumber: A. Aunillah (2012)

Gambar 40. Pompa vakum

## **Kaca Kontrol**

Kaca kontrol ini terdapat di sisi luar kedua tabung reaktor (Gambar 41). Kaca kontrol berfungsi untuk mengontrol proses pengolahan dan proses pemisahan. Kaca kontrol ini terbuat dari bahan khusus sehingga dapat menahan suhu proses hingga 1000 °C.



Sumber: A. Aunillah (2012)

Gambar 41. Kaca kontrol

## **Corong Input Katalis**

Pada beberapa reaktor, teknik untuk memasukkan katalis ada berbeda-beda, ada yang secara manual (dituang) dan ada yang dialirkan melalui pipa (vakum). Permasalahannya pada proses pembuatan biodiesel, katalis yang telah ditentukan harus bereaksi semua dengan minyak. Penggunaan pipa untuk mengalirkan katalis dapat menyebabkan sebagian katalis tertinggal di pipa dan tidak bereaksi dengan minyak. Oleh karena itu, jika tidak mampu mengalirkan secara tuntas, proses memasukkan katalis sebaiknya dilakukan secara manual.

Tiap proses membutuhkan jumlah dan jenis reaktan/katalis yang berbeda sehingga pada reaktor perlu ada alat untuk memasukkan reaktan/katalis sewaktu-waktu. Corong input ini berada di bagian atas tangki reaktor dan berfungsi untuk memasukkan reaktan dan katalis (Gambar 40). Antara reaktor dan corong input terdapat kran sehingga selama tidak digunakan ditutup untuk menjaga tekanan reaktor.



Sumber: A. Aunillah (2012)

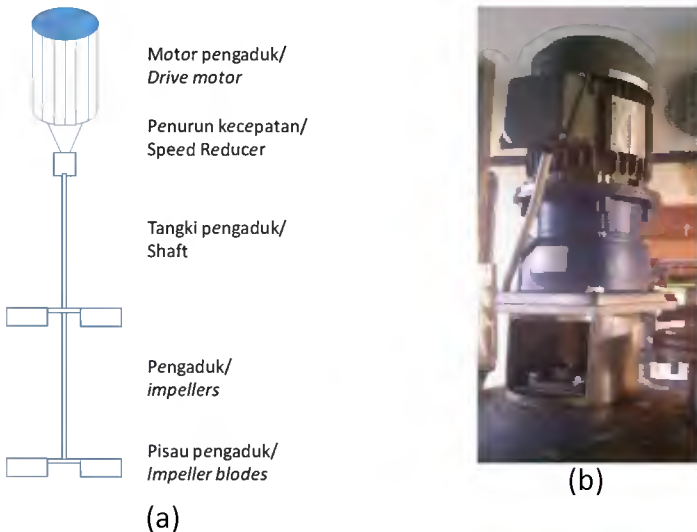
Gambar 42. Corong input katalis

### ***Agitator***

Sistem agitasi dalam reaktor terdiri atas motor pengaduk (*drive motor*), *speed reducer*, *mechanical seal*, *shaft*, *impeller*, *impeller blade*, dan *baffle* (Gambar 41). Sistem agitasi ini berfungsi agar pencampuran dapat dilakukan dengan merata dan meningkatkan luas pindah massa. *Speed reducer* berfungsi untuk meningkatkan kekuatan putaran dan memperkecil kecepatan putar *impeller*. *Baffle* terletak dinding

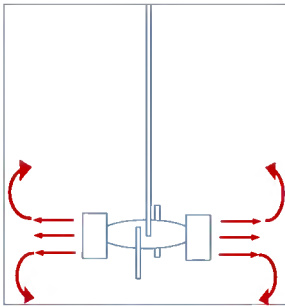
bagian dalam dan digunakan untuk memecah aliran cairan dalam rangka meningkatkan turbulensi dan efisiensi pencampuran.

Sistem agitator dapat diklasifikasi menjadi dua tipe, yaitu aliran radial dan aliran axial. Sistem agitator pada reaktor biodiesel multifungsi ini masuk dalam klasifikasi aliran radial. Pada tipe aliran radial ini aliran cairan mengikuti jari-jari tangki reaktor dan membutuhkan input energi yang lebih besar dibandingkan tipe axial. Dibandingkan dengan tipe radial, tipe axial efektif untuk mengangkat padatan dari dasar tangki. Perbedaan bentuk impeller dan aliran pada kedua tipe agitator dapat dilihat pada Gambar 42 dan 43. Untuk menghasilkan teknik pengadukan yang optimal, sebaiknya diameter pengaduk berukuran  $2/3$  diameter tabung.

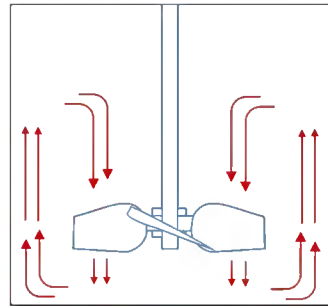


Sumber : (a) Sketsa A. Aunillah dan (b) A. Aunillah (2012)

Gambar 43. Sistem agitator reaktor (a) dan *drive motor* reaktor biodiesel multifungsi (b)



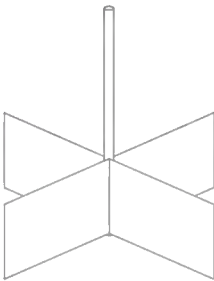
(a)



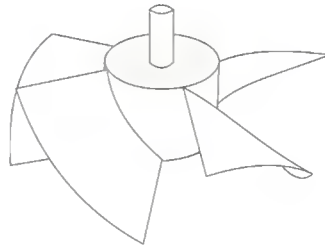
(b)

Sumber : Sketsa A. Aunillah

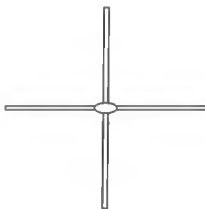
Gambar 44. Aliran cairan tipe radial (a) dan axial (b)



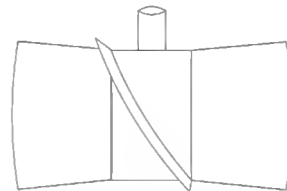
(a)



(b)



Sumber: Sketsa A. Aunillah



Gambar 45. Bentuk impeller pada agitator tipe radial (a) dan axial (b)



## **VII. PEMANFATAAN HASIL SAMPING KEMIRI SUNAN**

Dalam proses penanganan bahan baku dan ekstraksi minyak dari biji serta pembuatan biodiesel dihasilkan limbah yang masih bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Kulit buah yang merupakan bagian terbesar dari komponen buah akan dihasilkan limbah kulit buah sekitar 65%. Kulit buah mengandung hara N, P, dan K yang potensial sebagai sumber pupuk untuk tanaman. Kulit buah ini diproses melalui pengomposan dengan memanfaatkan mikroba pengurai menjadi kompos. Selain itu kulit buah dapat pula dikeringkan kemudian dibuat briket sebagai bahan bakar.

Bungkil yang merupakan hasil samping dalam proses ekstraksi minyak dari biji masih mengandung minyak 5-10% sehingga masih dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan memprosesnya menjadi briket. Selain itu, bungkil dapat pula dimanfaatkan sebagai umpan untuk menghasilkan biogas.

Gliserol yang merupakan hasil samping dalam proses pembuatan biodiesel merupakan bahan baku untuk pembuatan sabun dan kosmetik. Proses produksi briket, biogas, dan sabun dari limbah hasil samping pengupasan buah dan ekstraksi minyak serta proses pembuatan biodiesel sebagai berikut:

### **7.1. Produksi Biobriket**

- Bungkil kemiri sunan (Gambar 44a) dikeringkan dan dihaluskan dengan bahan tambahan arang sekam.
- Campuran bungkil kemiri sunan dan arang sekam ditambah dengan pati singkong, dicetak menjadi briket (Gambar 44b) dan dikeringkan.

- Briket bungkil kemiri sunan ini memiliki struktur yang padat dan mudah. Dinyalakan dengan kompor untuk arang briket (Gambar 45).



Sumber: D. Pranowo (2011)

Gambar 46. Bungkil (a) dan Briket Kemiri Sunan (b)



Sumber: D. Pranowo (2010)

Gambar 47. Kompor biobriket

## 7.2. Biogas dari Bungkil

### Bahan

Bahan utama terdiri atas bungkil biji kemiri sunan yang merupakan hasil samping (ampas) dari proses pengempaan

mekanik atau pemerasan biji menggunakan mesin *Screw press*. Bungkil kemiri sunan ini merupakan bungkil biji tanpa pengupasan kulit biji (Inti biji + cangkang). Sebelum dimasukkan ke dalam digester (reaktor biogas), bungkil direndam air selama 24 jam. Bakteri pengurai diperoleh dari kotoran sapi yang diinkubasikan di dalam reaktor selama 3-7 hari.

### **Peralatan Pembangkitan Biogas**

Peralatan utama untuk menghasilkan dan menampung biogas terdiri atas komponen-komponen yang dapat diuraikan sebagai berikut (Gambar 46) :

#### **1). Tangki Pencerna (*Digester*)**

- Volume total 400 liter dengan tinggi total  $\pm$  190 cm dan diameter 60 cm
- Material dari drum dan plat besi serta pipa besi dan penyambungan dilakukan dengan pengelasan
- Tangki pencerna dilengkapi dengan bak pemasukan umpan (bungkil), bak pengeluaran ampas dan saluran pengeluaran gas.

#### **2). Penampungan Gas**

- Volume penampung gas 1,5 m<sup>3</sup>
- Bahan terbuat dari plastik 250 mikron
- Katup pengaman adalah sistem pengontrol tekanan pada 4 cm air

#### **3). Umpan yang Digunakan**

- Umpan harian 2 kg bungkil + 20 liter air
- Kapasitas umpan total dalam tangki pencerna (*Digester*) 350 liter

## Prosedur Pengoperasian

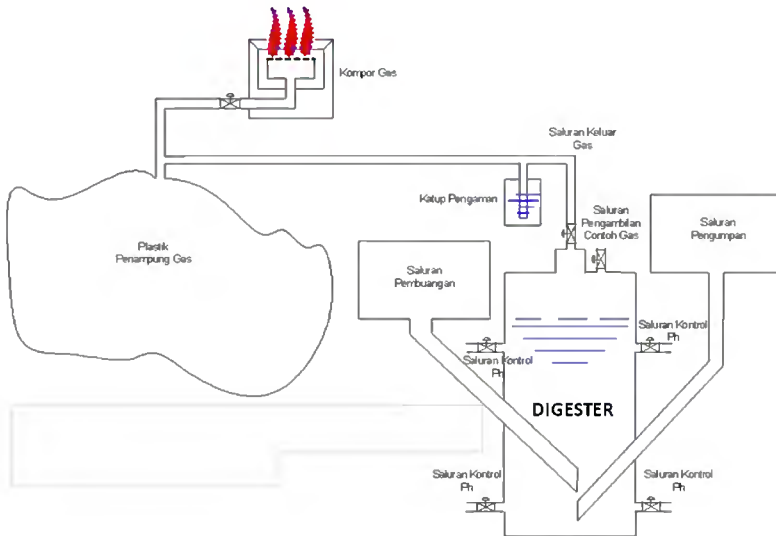
Prosedur pengoperasian dapat dibagi dalam dua tahapan. Tahapan persiapan dan tahapan harian. Tahapan persiapan dilakukan pada saat pemasangan instalasi sampai selesai/siap, dan akan dimulainya pembangkitan biogas (lihat skema Gambar 47). Pembentukan gas pertama kali berlangsung dalam waktu 3-7 hari. Setelah itu dilanjutkan dengan tahapan harian, yaitu tahapan yang berlangsung terus menerus setiap hari. Dalam tahapan ini dilakukan untuk memperoleh pembangkitan biogas dalam kapasitas yang konstan setiap hari. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan;

### 1). *Persiapan*

- Setelah instalasi terpasang, umpan awal dimasukkan ke dalam tangki pembangkitan biogas sebanyak 350 liter.
- Umpan awal berupa campuran air, kotoran sapi, dan cairan starter, dengan perbandingan berturut-turut 50% : 45% : 5%.
- Cairan starter berupa larutan yang telah mengandung bakteri-bakteri metanogenik dari limbah pembangkitan biogas lain yang sudah beroperasi.
- Selama 3 hari sejak umpan dimasukkan, saluran penampungan biogas masih dibuka (gas belum ditampung).
- Pada hari ke-4, dilakukan penambahan air sebanyak 10 liter ke dalam tabung pembangkitan biogas
- Ampas berupa cairan berlumpur (*slurry*) yang keluar dari saluran pembuangan ditampung dan biogas siap ditampung.
- Pada hari ke-5 s.d hari ke-7, umpan harian berupa campuran air, bungkil kemiri sunan dan sedikit ampas limbah padatan halus lainnya

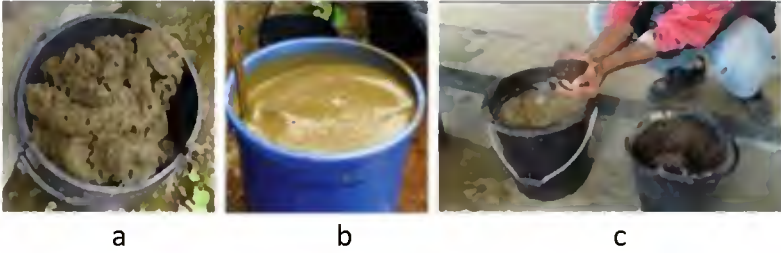
## 2). *Prosedur harian*

- Pemberian umpan harian berupa 100% bungkil kemiri sunan (20 liter air dan 2 kg bungkil kemiri sunan)
- Memasukkan larutan campuran air + bungkil ke dalam tangki melalui saluran masuk setiap hari
- Mengeluarkan larutan ampas dari saluran pengeluaran
- Volume ampas yang keluar = volume larutan umpan yang dimasukkan
- Ampas padat dan cair dipisahkan untuk dibuat pupuk organik kering (padat) dan pupuk organik cair.



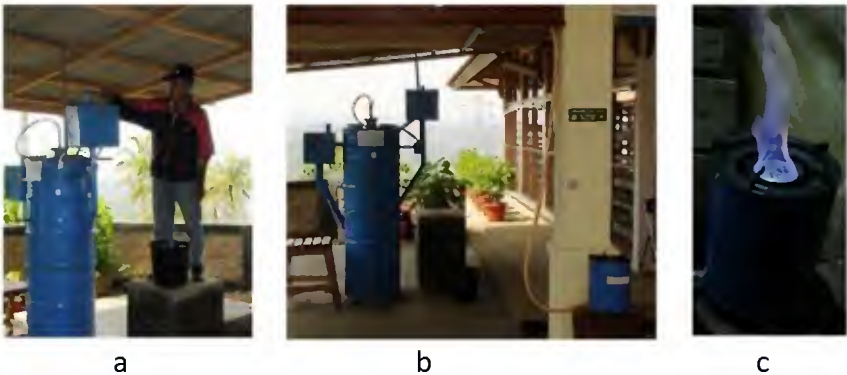
Sumber: Ibrahim *et al.* (2007)

Gambar 48. Skema instalasi reaktor biogas bungkil kemiri sunan



Sumber: D. Pranowo (2010)

Gambar 49. Penyiapan umpan biogas. Starter (kotoran+air) (a) dan (b) dan (bungkil kemiri sunan + air) (c)



Sumber: D. Pranowo (2010)

Gambar 50. Memasukkan umpan ke dalam digester biogas. Memasukkan umpan (a), Inkubasi 3–7 hari (b), dan Kompur biogas (c)



Sumber: D. Pranowo (2010)

Gambar 51. Plastik penampung biogas



Sumber: D. Pranowo (2010)

Gambar 52. Limbah padat dan cair dari proses pembangkitan biogas

## PENUTUP

Biodiesel (metil ester) adalah bioenergi atau bahan bakar nabati yang dibuat dari minyak nabati melalui proses transesterifikasi, esterifikasi, maupun proses esterifikasi-transesterifikasi. Biodiesel sebagai bioenergi digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti Bahan Bakar Minyak (BBM) pada motor diesel. Proses transesterifikasi pada dasarnya bertujuan mengubah [tri, di, mono] gliserida berberat molekul dan berviskositas tinggi yang mendominasi komposisi *refined fatty oil* menjadi asam lemak metil ester (FAME). Proses ini menghasilkan metil ester dan hasil samping berupa gliserol. Gliserol ini dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan sabun yang berfungsi sebagai pelembab kulit. Minyak nabati yang akan diproses transesterifikasi harus memiliki kadar Asam Lemak Bebas (ALB) rendah (maksimal 3 mgKOH/g). Kadar ALB yang tinggi dapat menyebabkan proses berjalan tidak sempurna. Kadar ALB pada kemiri sunan sangat bervariasi, tergantung dari genetik tanaman dan penanganan pasca panennya. Kadar ALB yang terlalu tinggi dapat diturunkan melalui proses esterifikasi atau melalui pembuatan minyak kering. Bahan baku minyak nabati untuk diproses menjadi biodiesel harus dipersiapkan dengan sebaik-baiknya mulai dari proses ekstraksi minyak dari bahan baku berupa biji menjadi minyak sampai proses penyaringan. Untuk memperoleh biodiesel yang baik dengan proses yang efisien, salah satu persyaratannya adalah nilai Asam Lemak Bebas (ALB)/*Free Fatty Acid* (FFA) atau angka asam harus kurang dari 3 mg KOH/g minyak. Oleh karena itu, nilai ALB dari minyak nabati harus diketahui sebelum diproses menjadi biodiesel. ALB juga masih akan ditemukan dalam biodiesel yang nilainya



akan menjadi salah satu parameter persyaratan kualitas biodiesel.

Secara umum parameter yang menjadi standar mutu biodiesel adalah densitas, titik nyala, angka setana, viskositas kinematik, abu sulfat, energi yang dihasilkan, bilangan iod, dan residu karbon. Sekarang ini beberapa negara telah mempunyai standar mutu biodiesel yang berlaku di negaranya masing-masing. Biodiesel kemiri sunan yang diproses melalui transesterifikasi dua tahap menghasilkan biodiesel yang telah memenuhi standar mutu SNI 7182:2012 kecuali parameter residu karbon. Produksi biodiesel umumnya menggunakan metode *batch*, di mana dalam proses tersebut terjadi pencampuran serta pengadukan antara bahan baku utama biodiesel dan katalis secara bersamaan dan ada *idle time* sampai terpisah menjadi 2 lapisan. Proses pembuatan biodiesel dilakukan dalam reaktor. Reaktor adalah peralatan yang digunakan sebagai tempat terjadinya reaksi kimia untuk mendapatkan produk yang diinginkan. Performa reaktor berperan penting dalam operasional dan biaya operasi karena berpengaruh terhadap unit operasi yang lain (pemisahan, pengeringan, dan lain-lain).

Reaktor merupakan jantung pada sebagian besar proses kimia. Desain dan operasional reaktor menentukan kesuksesan dan kegagalan keseluruhan proses kimia. Reaktor merupakan komponen dasar untuk menkonversi bahan baku yang bernilai rendah menjadi produk yang mempunyai nilai jual lebih tinggi. Reaktor biodiesel digunakan untuk mengkonversi minyak nabati menjadi biodiesel yang mempunyai nilai jual lebih tinggi. Reaktor biodiesel sudah banyak beredar di pasaran, dari skala laboratorium hingga skala produksi, dari tipe *batch* hingga kontinu, dari bahan besi hingga stainless steel. Permasalahan desain reaktor yang

beredardi pasaran antara lain: 1). didesain hanya untuk mengolah minyak nabati yang spesifik, padahal dalam skala pedesaan/kerakyatan ketersediaan bahan baku spesifik tersebut tidak selalu ada, 2). tiap proses membutuhkan peralatan/tangki yang berbeda sehingga meningkatkan biaya investasi dan biaya transportasi, 3). tiap reaktor saling terintegrasi sehingga jika salah satu terjadi masalah dapat menghambat proses produksi, dan 4). mengalami kesulitan untuk mengolah minyak nabati yang mempunyai bilangan asam  $> 10$ . Oleh karena itu, diperlukan reaktor biodiesel yang dapat mengatasi semua masalah tersebut. Reaktor yang dimaksud saat ini sudah berhasil dibuat dan dikembangkan oleh Badan Litbang Pertanian yang disebut reaktor multifungsi.

Reaktor ini merupakan pengembangan dari reaktor yang telah ada sebelumnya. Kemampuan reaktor ini telah ditingkatkan (*upgrade*) sehingga mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan reaktor sebelumnya. Bentuk geometri reaktor hampir silindris, mempunyai bentuk dasar melengkung (tanda ada sudut) untuk mengoptimalkan pencampuran (*mixing*) bahan dalam reaktor dan mempunyai konstruksi berukuran (dimensi) standar (e.g. *International Standards Organization* dan *British Standards Institution*) yang memperhitungkan keefektifan pencampuran dan konsiderasi struktur. Sebaiknya reaktor biodiesel yang dibuat memiliki perbandingan diameter dan tinggi 1:3. Jadi, jika diameter tangki reaktor memiliki diameter 1 meter maka tinggi reaktor 3 meter. Bahan yang digunakan sebagai kontruksi reaktor harus menggunakan bahan yang tidak bereaksi dengan bahan baku dan katalis yang digunakan misalnya stainless steel.

Dalam proses penanganan bahan baku dan ekstraksi minyak dari biji serta pembuatan biodiesel dihasilkan limbah

yang masih bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Kulit buah yang merupakan bagian terbesar dari komponen buah akan dihasilkan limbah kulit buah sekitar 65%. Kulit buah mengandung hara N, P, dan K yang potensial sebagai sumber pupuk untuk tanaman. Kulit buah ini diproses melalui pengomposan dengan memanfaatkan mikroba pengurai menjadi kompos. Selain itu kulit buah dapat pula dikeringkan kemudian dibuat briket sebagai bahan bakar. Bungkil yang merupakan hasil samping dalam proses ekstraksi minyak dari biji masih mengandung minyak 5-10% sehingga masih dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan memprosesnya menjadi briket. Selain itu, bungkil dapat pula dimanfaatkan sebagai umpan untuk menghasilkan biogas. Gliserol yang merupakan hasil samping dalam proses pembuatan biodiesel juga merupakan bahan baku yang dapat digunakan untuk pembuatan sabun dan kosmetik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antolín, G., FV. Tinaut, Y. Briceño, V. Castaño, C. Pérez and Al. Ramírez. 2002. Optimisation of biodiesel production by sunflower oil transesterification. *Bioresource Technology* 83: 111–114.
- Aguilar NO, and Oyen LPA. 2002. *Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw. In van der Vossen HAM, Umali BE (Editors): Plant Resources of South-East Asia No.14. Vegetable Oils and Fats. Bogor (ID): PROSEA. p112-115.
- Ajjah N, Wicaksono INA, Syafaruddin. 2009. Karakteristik Morfologi Bunga. *Dalam* Bunga Rampai Kemiri Sunan Penghasil Biodiesel: Solusi Masalah Energi Masa Depan. Unit Penerbitan dan Publikasi Balittri. Sukabumi.
- AOCS. 2013. Fatty Acids: Natural Alicyclic - STRUCTURES, OCCURRENCE AND BIOCHEMISTRY. [http://lipidlibrary.aocs.org/Lipids/fa\\_cycl/index.htm](http://lipidlibrary.aocs.org/Lipids/fa_cycl/index.htm). [12 Juni 2013].
- Aunillah A, Pranowo D. Karakteristik biodiesel kemiri sunan [*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw] menggunakan proses transesterifikasi dua tahap. *Buletin RISTR* 3 (3): 193-200.
- Balittri, 2011. Pelepasan Varietas Kemiri Sunan 1 dan Kemiri Sunan 2. Doc. Pelepasan Varietas. Balai penelitian Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri. Tidak dipublikasikan.
- Barsic N, Humke AL. 1981. Performance and Emissions Characteristics of a Naturally Aspirated Diesel Engine

with Vegetable Oil Fields. Northern Agricultural Energy Center, Peoria : Illinois

Bailey AE. 1959. Industrial Oil and Fat Products. New York. Interscholastic Publ. Inc.

Berry SK. 1979. Cyclopropenoid fatty acids in some Malaysian edible seeds and nuts. *Journal of Food Science and Technology* 17: 224-227.

Berry. 2008. Mempelajari Pengaruh Tekanan Kempa dan Suhu Terhadap Karakteristik Minyak Kemiri Sunan (*Aleurites trisperma*). [Skripsi] Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor.

Boden TA, Marland G, Andres RJ. 2013. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Boden, T.A., G. Marland, and R.J. Andres. 2011. Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

BSN. 2012. SNI 7182:2012 tentang Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.

Dagan. 2009. Blueprint Screw Press. Powered By Solidwork.

Demirbas A. 2008. Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines. Springer: Spain.

Direktorat Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. 2013. Informasi Teknis Biodiesel. Direktorat Bioenergi, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan

Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral : Jakarta

European Commission. 2007. White Paper On Internationally Compatible Biofuel Standards. Tripartite Task Force Brazil, European Union & United States Of America ([http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/standards\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/renewables/biofuels/standards_en.htm)), [5 Juni 2012]

Faiers, A .2008. CHAPTER 23: Summary of Some Laboratory Preparations In Chemistry In Perspective. <http://www.chembook.co.uk/>. [24 Oktober 2011].

Freedman B, Pryde Eh, Mounts Tl. 1984. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 61: 1638-1643.

Fukuda, H., Kondo,A., and Noda, H. 2001. Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *J. Biosci. Bioeng.*, 92: 405—416

Greenberg A, and Harris J. 1982. Cyclopropenoid Fatty Acid, *Journal of Chemical Education* 59: 539–543.

Hambali E, Suryani A, Dadang, Hariyadi, Hanafi H, Reksowardjoyo IK, Rivai M, Ihsanur M, Suryadarma P, Tjitrosemito S, Soerawidjaya TH, Prawitasari T, Prakoso T, Purnama W. 2007. Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel. Penebar Swadaya. Jakarta.

Harrington KJ. 1986. Chemical and physical properties of vegetable oil esters and their effect on diesel fuel performance. *Biomass* 9 (1): 1-17.

Haryanto B. Bahan Bakar Alternatif Biodiesel (Bagian I Pengenalan) .<http://library.usu.ac.id> [10 Okt 2013]

- Herman M, Pranowo D. 2009. Pengaruh Daya Tekan dan Warna Kernel Terhadap Rendemen Minyak. Bunga rampai Kemiri Sunan Penghasil Biodiesel: Solusi Mudah Energi Masa Depan. Unit Penerbitan dan Publikasi Balittri. Sukabumi.
- Herman M, N. Heryana, dan H. Supriadi, 2009. Prospek Kemiri Sunan Sebagai Penghasil Minyak Nabati. Bunga rampai Kemiri Sunan Penghasil Biodiesel: Solusi Mudah Energi Masa Depan. Unit Penerbitan dan Publikasi Balittri. Sukabumi.
- Herman M, Pranowo D. 2011. Karakteristik buah dan minyak kemiri minyak (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw) Populasi Majalengka dan Garut. *Buletin RISTRI 2* (1): 21-27.
- Hudaya T, Soerawidjaja TH, Liana. 2011. Studi Hidrogenasi Minyak Biji Kapok dengan Katalis Pd/C untuk Bahan Baku Biodiesel. Laporan Penelitian Lembaga Penelitian & Pengabdian Masyarakat. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Katolik Parahyangan.
- International Energy Agency. 2011. World Energy Outlook. International Energy Agency : France
- Ibrahim A, Wiji, Soerawidjaja TH, Tirto TB, Iman KR. 2007. Produksi Biogas dari Bungkil Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). Kelompok Studi Biodiesel ITB. Bahan Presentasi ITB. Bandung. Tidak dipublikasikan.
- Ketaren S. 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. UI-Press. Jakarta.
- Knothe G. 2005a. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Process. Technol.* 86:1059—1070

- Knothe G. 2005b. Analytical method for biodiesel. *In* The Biodiesel Handbook, ed. G. Knothe, J. V. Gerpen and J. Krahl. AOCS Press: Urbana
- Knothe G, Sharp CA, Ryan TW. 2006. Exhaust emissions of biodiesel, petrodiesel, neat methyl esters, and alkanes in a new technology engine. *Energy & Fuels* 20 (1): 403-408.
- Knothe G., M.O. Bagby., and T.W. Ryan. 1998. Precombustion of fatty acids and esters of biodiesel. A possible explanation for differing cetane numbers. *JAOCS*. 75(8):1007–1013
- Knothe G., A.C. Matheus., and T.W. Ryan. 2003. Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester. *Fuel* 82: 971–975
- Korus RA, Dwight SH, Narendra B, Charles LP, David CD. 2000. Transesterification Process to Manufacture Ethyl Ester of Rape Oil. Department of Chemical Engineering. University of Idaho : Moscow.
- Labeckas G. and S. Slavinskas. 2006. Performance of direct-injection off-road diesel engine on rapeseed oil. *Renew. Energy* 31(6): 849–863.
- Lapuerta M. 2009. Correlation for the estimation of the cetane number of biodiesel fuels and implications on the iodine number. *Energy Policy* 37: 4337–4344.
- López, JM, Gómez Á, Aparicio F, Javier Sánchez F. 2009. Comparison of GHG emissions from diesel, biodiesel and natural gas refuse trucks of the City of Madrid. *Applied Energy* 86 (5): 610-615.



- Martin C, Moure A, Martin G, Carrillo E, Dominguez H, Parajo PJ. 2010. Fractional characterization of jatropha, moringa, trisperma, castor, and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba. *Biomass and Bioenergy* 34: 533-538.
- Meher LC, Vidya Sagar D, Naik SN. 2006. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. *Renewable and sustainable energy reviews* 10 (3): 248-268.
- Mittelbach M. 1996. *Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: Specifications and quality control of biodiesel*. Bioresource Tech. 56:7-11.
- Mudge SM, Pereira G. 1999. Stimulating the biodegradation of crude oil with biodiesel preliminary results. *Spill Science & Technology Bulletin* 5: 353–355.
- OECD/FAO (2012), OECD-FAO Agricultural Outlook 2012-2021, OECD Publishing and FAO. [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2012-en](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2012-en), [4 Juni 2013].
- Randriani E, Tresniawati C, Wicaksono INA. 2009. Kekerabatan Plasma Nutfah Akses Sumedang. Bunga Rampai Kemiri Sunan Penghasil Biodiesel: Solusi Masalah Energi Masa Depan. Unit Penerbitan dan Publikasi Balittri. Sukabumi. Hlm: 61-66.
- Rajan K, Kumar KRS. 2009. The Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine with Sunflower Oil Methyl Ester. *International Journal of Chemical Engineering Research* 1 (1): 31–39.
- Ramos MJ, Fernández CM, Casas A, Rodríguez L, Pérez Á. 2009. Influence of fatty acid composition of raw materials on

- biodiesel properties. *Bioresource Technology* 100: 261–268.
- Rodrigues J, Cardoso F de P, Lachter ER, Estevão LRM, Lima E, Nascimento RSV. 2006. Correlating chemical structure and physical properties of vegetable oil esters. *JAACS* 83 (4): 353–357.
- Saraf S, Thomas B. 2007. Influence of feedstock and process chemistry on biodiesel quality. *Process Safety and Environmental Protection* 85: 360–364.
- Sarin A. 2012. Biodiesel: Production and Properties. RSC Publishing. UK.
- Soerawidjaja TH. 2009. Peran Kritis Biomassa dalam Penyediaan Energi dan Tantangan-tantangan litbangnya. Ceramah Pleno Pada Seminar Teknik Kimia Universitas Katolik Parahyangan di Bandung. Bandung, 23 April 2009.
- Speidel HK, Lightner RL, Ahmed I. 2000. Biodegradability of new engineered fuels compared to conventional petroleum fuels and alternative fuels in current use. *In* Twenty-First Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals. p: 879-897.
- Sunthitikawinsakul A, Sangatith N. 2012. Study on the quantitative fatty acids correlation of fried vegetable oil for biodiesel with heating value. *Procedia Engineering* 32: 219–224.
- Suparlan, Elita W, Ana NH. 2010. Evaluasi Aspek Teknis dan Finansial Penerapan Mesin Pengepres Biji Jarak untuk Memenuhi Kebutuhan Bahan Bakar Skala Pedesaan. *Jurnal Enjiniring Pertanian VIII* (1): 11-20.

- Swern D. Editor. 1982. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Ed Ke-4. Volume Ke-2. John Wiley and Sons. New York.
- Syafaruddin, Wahyudi A. 2012. Potensi varietas unggul kemiri sunan sebagai sumber energi bahan bakar nabati. *Perspektif* 11 (1): 59-67.
- Tambunan AH, Wulandari D, Hartulistiyono E, Nelwan LO. 2001. Pengeringan Industrial. Terjemahan dari : Sekamon Devahastin. IPB Press. Bogor.
- Tickell J. 1982. Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels. American Society of Agricultural Engineers. Michigan.
- Tresniawati C. 2013. Perubahan Fisik, Fisiologi dan Biokimia Selama Pemasakan Benih dan Study Rekalsitransi Benih Kemiri Sunan (*Reutealis trisperma* (Blanco) Airy Shaw). [Tesis] Sekolah Pasca Sarjana IPB. Bogor.
- Tsuzuki T, Tokuyama Y, Igarashi M, Nakagawa K, Ohsaki Y, Komai M, Miyazawa T. 2004.  $\alpha$ -Eleostearic Acid (9Z11E13E-18:3) Is Quickly Converted to Conjugated Linoleic Acid (9Z11E-18:2) in Rats. *The journal of Nutrition* 10 : 2634-2639
- [USDA] United State Departement of Agriculture. 2008. <http://www.usda.org>. Diakses 4 April 2010.
- USEPA. 2002. A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions. Draft Technical Report. USEPA
- Xu G, Wu. 2003. The investigation of blending properties of biodiesel and no.0 diesel fuel. *Journal of Jiangsu Polytechnic University* 15: 16-18.

## INDEKS

- Adsorpsi, 30  
Agitasi, 74  
Aguilar, 5, 13, 32  
Ajjah, x, 13, 14, 88  
Akrolein, 34  
ALB, 19, 37, 84,  
Aleurites moluccana, 4  
Aliran axial, 75  
Aliran radial, 75  
Andres, 88  
Angka Iodium, 58  
Angka setana, 53  
Asam Behenat, 32  
Asam lemak bebas, 5, 6,  
    17, 20, 24, 34, 37, 70, 84  
Asam Linoleat, 32  
Asam Linolenat, 32  
Asam malvalat, 59  
Asam Miristat, 32  
Asam Oleat, 32  
Asam palmitat, 32  
Asam Palmitoleat, 32  
Asam Stearat, 32  
Asam sterkulat, 59  
Asam  $\alpha$ -eleostearat, 32  
Atomization, 34  
Aunillah, 88  
Badan, 98  
Baffle, 74  
Bailey, 24, 88, 92  
Bakteri, 79  
Barat, 98, 100  
Barsic, 34, 88  
Batch, 62, 85  
Bau, 8, 29  
Berry, 17, 18, 32, 60, 88  
Biobriket, 77  
Biodegradable, 7  
Biodiesel, 7  
Biodiesel mentah, xi  
Biofuel, 8  
Biogas, 79  
Biopestisida, 6  
Boden, 1, 2, 88  
Brazil, 1  
Briket, 78  
Buah, 16  
Bunga betina, 13  
Bunga hermaphrodit, 13, 14  
Bunga jantan, 13  
Bungkil, vii, xii, 28, 29, 77,  
    78, 79, 80, 81, 82, 87  
Bungkil, 79  
Carbon monoxide, 8  
Cetane number, 7  
CO<sub>2</sub>, 1  
Corong input katalis, 73  
Dagan, xi, 89  
Densitas, 31, 70  
Deposit, 34

Derivasi, 5  
 Digester, 79, 82  
 Digester, 79  
 Drive motor, 74  
 Durian, 60  
 Earth Summit, 1  
 Ekstraksi, 24  
 Emisi, 1  
 Endosperma, 16  
 Esterifikasai, 38, 84  
 Euphorbiaceae, 12  
 Euphorbiales, 12  
 FAME, 36, 61, 84  
 Fatty Acid methyl ester, 36  
 Fatty Acid Methyl Ester, 61  
 Fernández, 91  
 Fosfor, 57  
 Freedman, 36, 89  
 Gliserol, 77  
 Gliserol, 36, 51, 57, 84, 87  
 Gliserol Terikat, 57  
 Gliserol Total, 57  
 Greenberg, 59, 60, 89  
 Gum, 34  
 Hambali, 36, 89  
 Harrington, 8, 89  
 Hasil Samping, 77  
 Herman, 3, 4, 16, 18, 29,  
     89, 90, 98  
 Hidrolisis, 17  
 Hudaya, 59, 60, 90  
 Humke, 34, 88  
 Husk, 16  
 Idle time, 62  
 Impeller, 74  
 Impeller blade, 74  
 Infloresensia, 13  
 Injektor, 34  
 Instalasi, 80  
 Intruksi Presiden, 2  
 Jarak bandung, 12  
 Jarak kebo, 12  
 Jarak kepyar, 4  
 Jarak pagar, 4, 100  
 Jawa, 98, 100  
 Kadar air, 17  
 Kadar Ester Alkil, 58  
 Kakao, 98, 99  
 Kaliki banten, 12  
 Kapas, 60  
 Kapuk, 60  
 Karakterisik, 30  
 Kelapa, 20  
 Kelapa sawit, 3, 20, 100  
 Kelembaban nisbi, 22  
 Kemiri racun, 5, 12  
 Kemiri sayur, 4, 5, 20  
 Kemiri sunan  
     Daun, 12  
     Habitus, 5  
     Kulit buah, 5  
 Kemiri sunan  
     Buah, 15  
     Bunga, 13

Klasifikasi, 12  
 Kemiri Sunan 1, 6  
 Kemiri Sunan 2, 6  
 Kepuh, 60  
 Keputusan Menteri, 3  
 Kernel, 16, 20  
 Kesambi, 20  
 Kesetabilan Oksidasi, 60  
 Kesetimbangan, 36  
 Ketaren, 21, 90  
 Keterlambatan, 20  
 Knothe, 8, 90  
 Kompor, 78  
 Konkaf, 24  
 Konservasi, 4  
 Kontinu, 62  
 Konvensi, 1  
 Konvensional, 67  
 Kopi, 98, 99  
 Korosi, 61  
 Korosi Bilah Tembaga, 54  
 Korus, 34, 90  
 Kotiledon, 16  
 Kulit biji, 16  
 Lemak hewan, 7  
 Lingkungan, 98  
 Listyati, x  
 López, 90  
 Magnoliophyta, 12  
 Magnoliopsida, 12  
 Malvaceae, 59  
 Mangga, 13  
 Marland, 88  
 Martin, 18, 29, 90  
 Massa jenis, 52  
 Matang fisiologi, 17  
 Matang fisiologis, 19  
 Mechanical seal, 74  
 Meher, 8, 91  
 Melinjo, 60  
 Methanol, 36, 70, 72  
 Minyak goreng bekas, 7  
 Minyak kering, 38, 84  
 Minyak nabati, 7  
 Monoeco-polygamus, 14  
 MSB, 16  
 Mudge, 7, 91  
 Mutu Biodiesel, 51  
 Nisbah mol, 36  
 Nitrogen oxides, 8  
 Non polar, 27  
 Nozzle, 42, 60, 61  
 Nyamplung, 20  
 Oyen, 5, 13, 32  
 Panen, 19  
 Pangan, 3, 4  
 Panicle, 13  
 Particulate matter, 8  
 Pati, 77  
 Pelumasan, 8  
 Pemanenan Buah, 19  
 Pembangkitan, 80  
 Pemilihan bahan baku, 19  
 Pemisahan biodiesel, xi, 41

Penampungan Gas, 79  
 Pencucian biodiesel, xi, 43  
 Penelitian, 98, 100  
 Pengawet kayu, 12  
 Pengendapan, 30  
 Pengepresan berulir, 26  
 Pengepresan hidrolik, 24  
 Pengeringan, 21  
     Alami, 22  
     Buatan, 22  
 Pengeringan biodiesel, xi,  
     44, 67  
 Pengeringan gabungan, 23  
 Penghijauan, 3  
 PENGOLAHAN MINYAK, 19  
 Pengupasan, 23  
 Penjernihan, 29  
 Penyaringan, 30  
 Perakaran, 4  
 Peraturan Presiden, 2  
 Perdu, 4  
 Perkebunan, 98, 99  
 Perkembangan Biodiesel, 8  
 Perpindahan panas, 21  
 Perpres, 2  
 Pertanian, 98, 100  
 Perubahan iklim, 1  
 Pompa vakum, 72  
 Pranowo, 3, 4, 17, 29, 52,  
     89, 90, 98  
 Protokol kyoto, 1  
 Pusat, 98, 100  
 Rajan, 7, 91  
 Ramos, 7, 91  
 Reaktor  
     Agitator, 74  
     Gelas Indikator, 70  
     Geometri, 65, 86  
     Heater, 69  
     Kaca control, 73  
     Kondensor, 67  
     Pompa, 71  
 Reaktor, 62, 85  
 Reboisasi, 3  
 Rendemen, 17  
 Reutealis, 12  
 Rodrigues, 34, 91  
 Rudolf Diesel, 7  
 Run-off, 4  
 Saraf, 7, 92  
 Sekam, 77  
 Shaft, 74  
 Sharp, 90  
 Siklopropenoid, 59  
 Single screw press, 26  
 Smoke number, 7  
 Solvent Extractor, 27  
 Speed reducer, 74  
 Speidel, 7, 92  
 Starter, 80  
 Sulfur, 7, 8, 54  
 Sunan, 98, 99  
 Sunthitikawinsakul, 7, 92

Suparlan, 26, 92  
Swern, 36, 92  
Syafaruddin, 31, 88, 92  
Tambunan, 21, 92  
Tanaman, 98  
Tangki khusus, 8  
Thomas, 7, 92  
Tickell, 34, 93  
Timur, 98  
Titik bakar, 8  
Titik Kabut, 54  
Titik nyala, 34  
Titik Nyala, 54  
Total hydrocarbon, 8  
Total sulfur, 54  
Transesterifikasi, 36  
Tresniawati, 16, 17, 93  
Trimonoecious, 14  
Tsuzuki, xi, 32, 93  
Twin screw press, 26  
Uji Halphen, 59  
UNFCCC, 1  
Universitas, 98, 100  
USDA, 12, 93  
USEPA, 8, 93  
Varietas, 6  
Viskositas, 20, 34  
Viskositas, 34, 53  
Water holding capacity, 4  
Wedel, 34, 93  
Wicaksono, 88  
Wind breaker, 4  
Xu, 7, 93



## PROFIL PENULIS



**Diby Pranowo**, lahir pada tahun 1961 di Ponorogo, Jawa Timur. Memperoleh gelar Sarjana Pertanian (Jurusan Budidaya Pertanian) di Universitas Sebelas Maret Surakarta yang diselesaikannya pada tahun 1985. Selepas dari kuliah berkarier sebagai Manajer PT. Paku Buana (1985-1986). Berkarier di lingkungan Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian sebagai peneliti budidaya tanaman sejak tahun 1989 hingga sekarang. Tugas yang pernah diembannya diantaranya sebagai Konsultan dan Manajemen pembangunan kebun kelapa di lahan pasang surut (1987-1993), Konsultan beberapa perusahaan di lahan kering (1993-1995) dan sebagai Pemimpin Bagian Proyek pada Sub Balitka Pakuwon (1994-1996). Jenjang jabatan Fungsional Peneliti Pertama diperoleh pada tahun 1991, Peneliti Muda tahun 1995, Peneliti Madya tahun 2003, dan Peneliti Utama diperoleh pada tahun 2013 hingga sekarang. Sejak tahun 2006 berkecimpung dan mendalami tanaman bioenergi, khususnya biodiesel. Karya ilmiahnya terkait budidaya tanaman perkebunan seperti kelapa, kelapa sawit, pandan, kakao, kopi, lada, cengkeh, pala, jambu mente, dan tanaman bioenergi seperti kemiri sunan dan jarak pagar tersebar di berbagai prosiding dan jurnal ilmiah.



**Muhammad Syakir**,. lahir pada tahun 1958 di Watampone, Sulawesi selatan. Memperoleh gelar Sarjana di Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Makassar pada Program Studi Agronomi, yang diselesaikannya tahun 1982. Pendidikan S2 dan S3 ditempuh di Institut

Pertanian Bogor masing-masing selesai pada tahun 1990 dan 2005. Berkarier di Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian sejak 1984 hingga sekarang. Tugas yang telah pernah diembannya diantaranya Kepala Bidang Kerjasama dan Pendayagunaan Hasil Penelitian Puslitbang Perkebunan (2005-2006), Kepala Seksi Pelayanan Teknis Balitro (1995-2001), Kepala Balai Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik (sekarang Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat) sejak 2006 sampai 2008, dan semenjak tahun 2008 hingga sekarang sebagai Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. Jenjang fungsional Peneliti Madya diperoleh pada tahun 2005 sampai sekarang. Karya tulis ilmiah tersebar di berbagai prosiding dan jurnal ilmiah baik di dalam maupun luar negeri.



**Bambang Prastowo**, lahir pada tahun 1952 di Yogyakarta. Memperoleh gelar sarjana dari Fakultas Teknologi Pertanian di Universitas Gadjah Mada (Jurusan Mekanisasi). Gelar Doktor di bidang mekanisasi pertanian diperoleh dari Institut Pertanian Bogor tahun 1983. Tugas yang telah diemban di antaranya Direktur Pengembangan Alat dan Mesin Pertanian, Direktorat Jenderal Bina Sarana Pertanian Departemen Pertanian (2000-2005), Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan (2005-2008). Gelar Profesor Riset di bidang Teknologi Pertanian dan Mekanisasi Pertanian diperoleh setelah orasi pada akhir tahun 2009. Sebagai peneliti yang aktif di bidang mekanisasi dan bioenergi, penulis telah aktif sebagai Ketua Tim Sertifikasi Nasional Alat dan Mesin Pertanian, Ketua Pantek Sarana dan Prasarana Pertanian Badan Standarisasi Nasional, aktif di Tim Nasional Pengembangan Bahan Bakar

Nabati, Tim Nasional Harga dan Subsidi Bahan Bakar Nabati Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral serta anggota Pantek Standarisasi Biofuel.



**Maman Herman**, lahir pada tahun 1962 di Sukabumi, Jawa Barat. Memperoleh gelar Sarjana Pertanian (Jurusan Ilmu Tanah) di Institut Pertanian Bogor pada tahun 1987. Berkariier di lingkungan Badan Litbang Pertanian, Kemnetrian Pertanian sebagai peneliti budidaya tanaman yang ditugaskan pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri (Puslitbangtri), sekarang Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan (Puslitbangbun) sejak tahun 1989 sampai sekarang. Tugas yang pernah diemban di antaranya sebagai Kepala Sub Bagian Seksi Pelayanan Teknis dan Jasa Penelitian pada Loka Penelitian Tanaman Sela Perkebunan dan Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri (sekarang Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar). Jenjang fungsional Peneliti Pertama diperoleh pada tahun 1992, Peneliti Muda tahun 1999 dan peneliti Madya diperoleh pada tahun 2003 sampai sekarang. Sejak tahun 2006 berkecimpung dan mendalami tanaman bioenergi, khususnya biodiesel. Karya ilmiahnya terkait budidaya tanaman perkebunan seperti kelapa, kelapa sawit, pandan, kakao, kopi, lada, cengkeh, pala, jambu mente, dan tanaman bioenergi seperti kemiri sunan dan jarak pagar tersebar di berbagai prosiding dan jurnal ilmiah.



**Asif Aunillah**, lahir pada tahun 1986 di Gresik, Jawa Timur. Memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian (Jurusan Teknologi Industri Pertanian) di Institut Pertanian Bogor pada tahun 2009. Berkarier di lingkungan Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian sejak tahun 2010 sampai sekarang. Jenjang fungsional Peneliti Pertama diperoleh pada tahun 2013. Tugas yang pernah diemban di antaranya sebagai staf bagian Pelayanan Teknis dan Jasa Penelitian Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar serta peneliti di bidang Bioenergi.



**Sumanto**, lahir pada tahun 1959 di Klaten, Jawa Tengah. Memperoleh gelar Sarjana Pertanian (Jurusan Agronomi) di Universitas Slamet Riyadi Surakarta pada tahun 1987. Berkarier di lingkungan Badan Litbang Pertanian sebagai peneliti budidaya tanaman pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Industri (Puslitbangtri) sekarang Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan (Puslitbangbun) yang ditugaskan sejak tahun 1989 sampai sekarang. Tugas yang pernah diemban di antaranya sebagai Kepala Sub Bidang Program Pada Pusat Penelitian Perkebunan. Pemimpin Bagian Proyek Penelitian dan Pengembangan Tanaman Perkebunan (2002-2006). Sejak tahun 2006 berkecimpung dan mendalami tanaman bioenergi, khususnya biodiesel. Karya ilmiahnya terkait budidaya tanaman perkebunan seperti kelapa, kelapa sawit, lada, kunyit, serai wangi, dan tanaman bioenergi seperti kemiri sunan dan jarak pagar tersebar di berbagai prosiding dan jurnal ilmiah.