



**PENGARUH CAMPURAN BIODIESEL MINYAK  
RUMPUT LAUT *GRACILARIA VERRUCOSA* PADA  
BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP UNJUK KERJA  
DAN EMISI GAS BUANG MESIN DIESEL**

**SKRIPSI**

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Mesin**

oleh  
**Mochamad Taufiq Ichsan**  
**5212412045**  
**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Mochammad Taufiq Ichsan


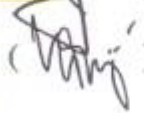
NIM : 5212412045

Program Studi : Teknik Mesin S1

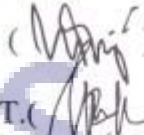


Judul : Pengaruh Campuran Biodiesel Minyak Rumput Laut *Gracilaria Verrucosa* pada Bahan Bakar Solar terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin S1 Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

### Panitia Ujian

		Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Rusiyanto S.Pd., MT. NIP. 197403211999031002		24/8/16
Sekretaris	: Samsudin Anis ST., MT., P.hD. NIP. 197601012003121002		23/8/16

### Dewan Penguji

Pembimbing I	: Samsudin Anis ST., MT., P.hD. NIP. 197601012003121002		23/8/16
Pembimbing II	: Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT. NIP. 196901061994031003		24/8/16
Penguji	: Widya Aryadi ST., M.Eng NIP. 197209101999031001		25/8/16

Ditetapkan tanggal :

Mengesahkan  
Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Qudus, M.T  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN


Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Mochammad Taufiq Ichsan  
NIM : 5212412045  
Program Studi : Teknik Mesin S1  
Fakultas : Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Campuran Biodiesel Minyak Rumput Laut *Gracilaria Verrucosa* pada Bahan Bakar Solar terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel**" ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan saya dalam skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, Agustus 2016  
Yang membuat pernyataan

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

  
Moch Taufiq Ichsan  
NIM 5212412045

## ABSTRAK

**Ichsan, Mochammad Taufiq. 2016.** Pengaruh Campuran Biodiesel Minyak Rumput Laut *Gracilaria Verrucosa* pada Bahan Bakar Solar terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Samsudin Anis ST, MT, Ph.D dan Dr. Dwi Widjanarko SPd, ST, MT.

Kata Kunci: Rumput laut, Biodiesel, Unjuk Kerja, Emisi gas buang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh campuran biodiesel *gracilaria verrucosa* pada bahan bakar solar terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel. Variasi campuran biodiesel yang digunakan adalah B-0, B-5, B-10 dan B-15 dan putaran mesin yang digunakan sebesar 1600, 1800, 2000, 2300 dan 2500 rpm.

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen. Produksi biodiesel minyak rumput laut menggunakan metode transesterifikasi. Pengujian unjuk kerja mesin diesel menggunakan *eddy current dynamometer*. Data hasil penelitian dianalisis dengan cara mengamati secara langsung hasil eksperimen kemudian menentukan dan menyimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan dalam bentuk grafik dan tabel. Dua hal yang diamati dalam penelitian ini adalah pengaruh variasi campuran biodiesel terhadap unjuk kerja yang dihasilkan dan pengaruh variasi campuran terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan penambahan campuran biodiesel pada bahan bakar solar. Semakin banyak campuran biodiesel yang ditambahkan semakin kecil unjuk kerja yang dihasilkan. Campuran biodiesel B-10 menghasilkan unjuk kerja dan emisi gas buang mesin diesel optimal dibanding campuran lainnya. Campuran biodiesel B-10 menghasilkan rata-rata torsi sebesar 116,9489Nm, sedangkan daya yang dihasilkan dengan rata-rata sebesar 24,9261 kW. Konsumsi bahan bakar optimal dihasilkan campuran B-15 dengan rata-rata sebesar 6,792 kg/m. Secara umum penggunaan campuran biodiesel dapat menghemat bahan bakar daripada solar murni. Penggunaan campuran biodiesel dapat menurunkan emisi  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan mesin diesel. Emisi gas buang terendah yang dihasilkan berada pada campuran B-10 dengan rata-rata sebesar 286 ppm.

## PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT berkat rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat diselesaikan proposal skripsi dengan judul “Pengaruh Campuran Biodiesel Minyak Rumput Laut *Gracilaria Verrucosa* pada Bahan Bakar Solar terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel” dalam rangka menyelesaikan studi Strata Satu untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Proposal skripsi ini dapat terselesaikan berkat bimbingan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan penuh kerendahan hati disampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Rusiyanto, S.Pd., M.T. Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
3. Samsudin Anis ST., MT., Ph.D. Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin sekaligus pembimbing I Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

4. Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Alm. Bapak serta Ibu dan Adik tercinta yang telah memberikan doa, semangat dan motivasi.
6. Teman-teman prodi S1 Teknik Mesin 2012 yang telah memberi banyak pelajaran hidup dan semangat.
7. Semua pihak yang telah memberi motivasi, saran, dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian proposal skripsi ini.

Penulis menyadari dalam skripsi ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan dunia pendidikan pada khususnya.

Semarang, Agustus 2016

  
Penulis

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Pembatasan Masalah .....	4
D. Rumusan Masalah .....	4
E. Tujuan Penelitian .....	5
F. Manfaat Penelitian .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
A. Kajian Teori.....	6
1. Rumput Laut <i>Gracilaria Verrucosa</i> .....	6
2. Minyak Rumput Laut.....	7
3. Biodiesel Minyak Rumput Laut.....	10
4. Solar.....	18
5. Unjuk Kerja Motor Diesel.....	20
a. Torsi .....	20
b. Daya .....	21
6. Emisi Gas buang dan Uji Emisi.....	21
a. Proses Pembakaran .....	21
b. Pembakaran pada Motor Diesel .....	22

c. Emisi Gas Buang pada Motor Diesel .....	24
d. Standar Emisi Gas Buang .....	26
e. Pengujian Emisi Gas Buang.....	28
B. Kajian Penelitian yang Relevan.....	29
C. Kerangka Pikir Penelitian .....	30
D. Hipotesis Penelitian .....	32
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
A. Bahan Penelitian.....	33
B. Alat dan Skema Penelitian.....	35
1. Alat Penelitian.....	35
2. Skema Peralatan Penelitian .....	36
C. Prosedur Penelitian .....	38
1. Diagram Alir Penelitian .....	38
2. Proses Penelitian .....	40
a. Pembuatan Biodiesel.....	40
b. Pengujian Performa Motor Diesel.....	44
3. Data Penelitian .....	49
4. Analisis Data .....	50
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN</b>	
A. Hasil Penelitian .....	51
1. Produksi Biodiesel Rumput Laut <i>Gracillaria Verrucosa</i> .....	51
2. Pengaruh Variasi Campuran Biodiesel terhadap Torsi, Daya dan Konsumsi Bahan Bakar .....	53
3. Pengaruh Variasi Campuran Biodiesel terhadap Emisi Gas Buang NO <sub>x</sub> .....	56
B. Pembahasan.....	57
1. Pengaruh Variasi Campuran Biodiesel terhadap Torsi, Daya dan Konsumsi Bahan Bakar .....	57
2. Pengaruh Variasi Campuran Biodiesel terhadap Emisi Gas Buang NO <sub>x</sub> .....	62
C. Keterbatasan Penelitian .....	64



<b>BAB V PENUTUP</b>	
A. Simpulan .....	65
B. Saran Pemanfaatan Hasil Penelitian .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>67</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>	<b>69</b>



## DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

<b>Simbol</b>	<b>Arti</b>
C	Carbon
$^{\circ}\text{C}$	Celcius
H	Hidrogen
P	Daya
T	Torsi
<b>Singkatan</b>	<b>Arti</b>
FFA	<i>Free Fatty Acid</i>
$\text{H}_2\text{SO}_4$	Asam Sulfat
KOH	Kalium Hidroksida
NaOH	Natrium Hidroksida
TMA	Titik Mati Atas
TMB	Titik Mati Bawah



**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1.1 Produksi Rumput Laut menurut Jenis <i>Gracillaria Verrucosa</i> tahun 2010 Pulau Jawa.....	2
2.1 Sifat Fisik dan Kimia Minyak Alga <i>C. Indica</i> dan <i>S. Hatei</i> .....	7
2.2 Sifat Fisik dan Kimia Biodiesel Minyak Rumput Laut <i>C. Indica</i> dan <i>S.Hatei</i> .....	12
2.3 <i>Properties</i> Biodiesel Alga <i>Spirulina</i> dan Alga Kolam .....	14
2.4 Uji <i>properties</i> biodiesel alga <i>scendesmus sp</i> , <i>nannochloropsis sp</i> , dan <i>dinoflagellate</i> .....	15
2.5 Sifat Fisik dan Kimia Solar dengan Biodiesel .....	17
2.6 Standar dan Mutu Bahan Bakar Solar .....	19
2.7 Standar Euro yang diterapkan beberapa negara di Asia.....	27
2.8 Standar Euro ACEA .....	28
3.1 Spesifikasi Mesin Diesel .....	34
3.2 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap torsi .....	49
3.3 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap daya .....	49
3.4 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap konsumsi bahan bakar.....	49
3.5 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap NO <sub>x</sub> .....	50
4.1 Sifat fisik dan Kimia Bahan Bakar.....	53
4.2 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap torsi .....	54
4.3 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap daya.....	54
4.4 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap konsumsi bahan bakar.....	55
4.5 Pengaruh variasi campuran biodiesel rumput laut terhadap NO <sub>x</sub> .....	56

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Rumput Laut <i>Gracilaria Verrucosa</i> .....	6
2.2 Diagram alir pembuatan minyak rumput laut menurut Xu <i>et.al.</i> ....	8
2.3 Diagram alir pembuatan minyak rumput laut menurut Nautiyal <i>et.al.</i> ....	9
2.4 Diagram alir pembuatan biodiesel minyak rumput laut menurut Majeed <i>et.al.</i> ....	11
2.5 Diagram alir pembuatan biodiesel minyak rumput laut menurut Xu <i>et.al.</i> .....	13
2.6 Reaksi transesterifikasi biodiesel .....	16
2.7 Skema pengoperasian <i>dynamometer</i> .....	20
2.8 Diagram proses pembakaran motor diesel .....	23
2.9 Kerangka pikir penelitian .....	31
3.1 Rangkaian pengujian performa mesin diesel .....	36
3.2 Diagram alir pelaksanaan penelitian .....	38
3.3 Diagram alir proses ekstraksi minyak rumput laut .....	40
3.4 Diagram alir pembuatan biodiesel rumput laut <i>gracilaria verrucosa</i> .....	43
3.5 Diagram alir pengujian performa mesin .....	48
4.1 Proses Produksi Biodiesel Rumput Laut.....	52
4.2 Hubungan antara Putaran dengan Torsi.....	57
4.3 Hubungan antara Putaran dengan Daya .....	59
4.4 Hubungan antara Putaran dengan Konsumsi Bahan Bakar.....	61
4.5 Hubungan antara Putaran dengan Emisi Gas Buang NO <sub>x</sub> .....	62

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1 Hasil Pengujian Performa Diesel Nissan SD22 Series .....	69
2. Hasil Uji Laboratorium Bahan Bakar .....	71
3. Perhitungan Performa Mesin.....	72
4 Pengujian Emisi Gas Buang NO <sub>x</sub> .....	76
5 Dokumentasi .....	78
6 Surat tugas dosen pembimbing dan penguji .....	79



# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Indonesia terdiri dari laut yang wilayahnya sekitar 70%, yang pantainya kaya akan berbagai jenis sumber hayati dan lingkungan yang berpotensi. Dewasa ini usaha-usaha pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan hidup terus dilakukan. Dengan adanya perluasan wilayah kedaulatan dan wilayah kekayaan alam perairan Indonesia, yang awalnya 2 juta km<sup>2</sup> menjadi 9 juta km<sup>2</sup> (Aslan, 1991:11).

Sebagai negara kepulauan dengan jumlah 17.504 pulau dan panjang garis pantai mencapai 81.000 km, Indonesia memiliki potensi yang sangat besar bagi pengembangan komoditi rumput laut, di mana kegiatan pengembangannya telah dilakukan di seluruh perairan Indonesia mulai dari Nangroe Aceh Darusalam sampai dengan Papua. Luas indikatif lahan yang dapat dimanfaatkan untuk budidaya komoditas rumput laut Indonesia mencapai 769.452 ha. Dari jumlah itu, baru sekitar 50% atau seluas 384.733 ha yang secara efektif dimanfaatkan, dan akan terus dimanfaatkan sehingga target produksi tahun 2014 sebesar 10 juta ton dapat dicapai (Kementerian Perdagangan, 2013:4).

Sedikitnya 555 jenis rumput laut telah diidentifikasi di perairan Indonesia, dimana 55 jenis diantaranya telah dimanfaatkan oleh masyarakat Indonesia sebagai makanan dan secara tradisional digunakan sebagai obat oleh masyarakat yang bermukim di daerah pesisir nusantara (Parenrengi, *et.al.* 2012:1). Komoditas rumput laut menjadi salah satu hasil laut yang diunggulkan dan

dikembangkan secara luas, tersebar di seluruh wilayah perairan Indonesia mencapai 384,73 ribu ha dengan target produksi pada tahun 2014 sebesar 10 juta ton (Kementerian Perdagangan, 2013:6). Prospek cerah rumput laut di Indonesia tampak jelas sebagai satu komoditas perdagangan, baik untuk memenuhi kebutuhan permintaan dari dalam maupun luar negeri (Aslan, 1991:12).

Rumput laut adalah makro *algae* yang termasuk dalam divisi *Thallophyta*, *Thallophyta* memiliki ciri-ciri struktur kerangka tubuh yang terdiri dari batang/thalus dan tidak memiliki daun serta akar. Di perairan Indonesia Jenis rumput laut yang paling banyak dimanfaatkan adalah *Gracilaria*, *Gelidium*, *Eucheuma*, *Hypnea*, *Sargasum* dan *Tubrinaria*. (Kementerian Perdagangan, 2013:3). Berdasarkan data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan RI tahun 2010 yang ditunjukkan Tabel 1.1, bahwa prosentase produksi tertinggi rumput laut jenis *gracillaria* di pulau Jawa ditempati oleh Provinsi Jawa Timur dengan prosentase 94%, kemudian diikuti oleh Jawa Tengah dengan 3,2% dan sisanya Jawa Barat serta DKI Jakarta (Kementerian Perdagangan, 2013: 6).

Tabel 1.1 Produksi Rumput Laut menurut Jenis *Gracilaria Verrucosa* tahun 2010 Pulau Jawa

Pulau Jawa	<i>Gracilaria Verrucosa</i> (ton)
DKI Jakarta	20
Banten	0
Jawa Barat	1.083
Jawa Tengah	1.388
D.I Yogyakarta	-
Jawa Timur	41.645
Total	44.136

Sumber : Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Kementerian Kelautan dan Perikanan RI.

Dikenal dengan kualitas yang baik dan banyak diminati oleh industri, rumput laut Indonesia mengandung sumber keraginan, agar-agar dan *alginate* yang cukup tinggi dan cocok digunakan untuk bahan baku industri makanan, pelembut. rasa, pencegah kristalisasi es krim dan obat-obatan. Disamping itu, rumput laut di Indonesia juga dapat digunakan sebagai bahan baku benang jahit operasi, dekorasi porselen (pengikat warna dan *plasticizer*), industri kain (pengikat warna), industri kertas (*lackuer* dan penguat serta pelican kertas), industri fotografi (pengganti gelatin), bahan campuran obat (obat penyakit: gondok, rematik, kanker (Kementerian Perdagangan, 2013:3).

Melihat ketersediaan dan terjangkaunya harga yang ada dipasaran rumput laut jenis *gracilaria verrucosa* yang melimpah di Indonesia khususnya di pulau Jawa serta kurangnya perhatian memanfaatkan rumput laut untuk bidang bahan bakar alternatif terbaru maka pada penelitian ini memanfaatkan rumput laut jenis *gracilaria verrucosa* sebagai bahan untuk pembuatan biodiesel rumput laut *gracilaria verrucosa* yang akan diaplikasikan pada mesin diesel.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas teridentifikasi beberapa masalah diantaranya sebagai berikut :

1. Indonesia merupakan negara kepulauan dimana sekitar 70%, yang pantainya kaya akan berbagai jenis sumber hayati dan lingkungan yang berpotensi, tetapi keberadaan rumput laut masih belum mendapatkan perhatian.



2. Produksi rumput laut jenis *gracilaria verrucosa* di Indonesia sangat melimpah, tetapi pemanfaatannya masih terbatas pada industri makanan, obat-obatan dan belum dimanfaatkan secara maksimal.
3. Rumput laut dapat dikonversi menjadi biodiesel melalui metode transesterifikasi, namun belum diaplikasikan pada dunia otomotif khususnya pada mesin diesel.

### **C. Pembatasan Masalah**

Mengingat ada beberapa faktor yang mempengaruhi unjuk kerja dan emisi gas buang pada motor diesel, maka hal yang diteliti dalam penelitian ini hanya dibatasi dengan ketentuan konversi rumput laut *gracilaria verrucosa* menjadi biodiesel rumput laut yang akan diaplikasikan pada pengujian performa mesin diesel. Adapun batasan lain yang akan diteliti pada pengujian performa mesin adalah torsi, daya dan konsumsi bahan bakar. Rumput laut yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *gracilaria verrucosa*.

### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini dirumuskan pada.

1. Bagaimana pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut dengan solar terhadap torsi, daya dan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan.
2. Bagaimana pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut dengan solar terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

### **E. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menguji pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut dengan solar terhadap torsi, daya dan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan.
2. Menguji pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut dengan solar terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

### **F. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kemanfaatan sebagai berikut:

1. Setelah menguji pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut dengan solar terhadap unjuk kerja berupa torsi, daya dan unjuk kerja yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan informasi tentang unjuk kerja optimal yang dihasilkan mesin sehingga akan mempengaruhi kinerja mesin.
2. Setelah menguji pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut dengan solar terhadap emisi gas buang yang dihasilkan sehingga nantinya diharapkan dapat menjadi alternatif bahan bakar di Indonesia yang ramah lingkungan di masa yang akan datang.

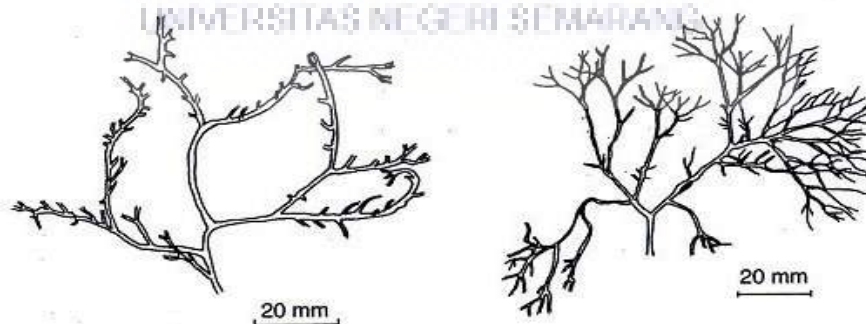
## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Kajian Teori

##### 1. Rumput Laut *Gracilaria Verrucosa*

Ganggang coklat dan merah merupakan kelas rumput laut utama yang memiliki nilai ekonomis penting di Indonesia. Sebagai contoh adalah genus *eucheuma*, *kappaphycus*, *hypnea* dan *gracilaria* dari kelas ganggang merah, serta *sargassum* dari kelas ganggang coklat. *Gracilaria* menghasilkan senyawa hidrokoloid yang kita kenal sebagai agar (Parenrengi, *et.al.* 2012:7). Di Indonesia rumput laut dari marga *gracilaria verrucosa* mempunyai berbagai nama menurut daerahnya, misalnya bulung sangu (Bali) dan rambu kasang (Jawa Barat). *Gracilaria Verrucosa* (Gambar 2.1) memiliki ciri *thalli* berbentuk silindris atau gepeng dengan percabangan, diatas percabangan umunya bentuk *thalli* agak mengecil, perbedaan bentuk dimana struktur dan asal usul pembentukan organ reproduksi sangat penting dalam perbedaan tiap spesies, warna *thalli* beragam mulai dari warna hijau-coklat, merah, pirang, merah-coklat serta substansi *thalli* menyerupai gel atau lunak seperti tulang rawan (Aslan, 1991:25).



Gambar 2.1 Rumput Laut *Gracilaria Verrucosa*  
Sumber: Aslan (1991:25)

Alga jenis ini termasuk kelompok penghasil agar-agar (*agarophyt*) dengan kandungan agarnya bervariasi menurut spesies dan lokasi pertumbuhannya yang umumnya berkisar antara 16%-45%. Pertumbuhan *gracilara* umumnya lebih baik di tempat dangkal daripada di tempat dalam. Suhu merupakan faktor penting untuk pertumbuhan dan pembiakan dimana suhu optimum untuk pertumbuhan antara 20-28<sup>0</sup>C, tumbuh pada kisaran kadar garam yang tinggi dan tahan sampai pada kadar garam 50 permil (Aslan, 1991:26).

## 2. Minyak Rumput Laut

Majeed *et.al.* (2015:613) menyatakan bahwa ekstraksi bubuk rumput laut menggunakan sistem pelarut n-heksan dan *diethyl ether* dapat menghasilkan minyak rumput laut dengan metode sonikasi. Analisis sifat fisik dan kimia (Tabel 2.1) dari minyak alga adalah sebagai berikut :

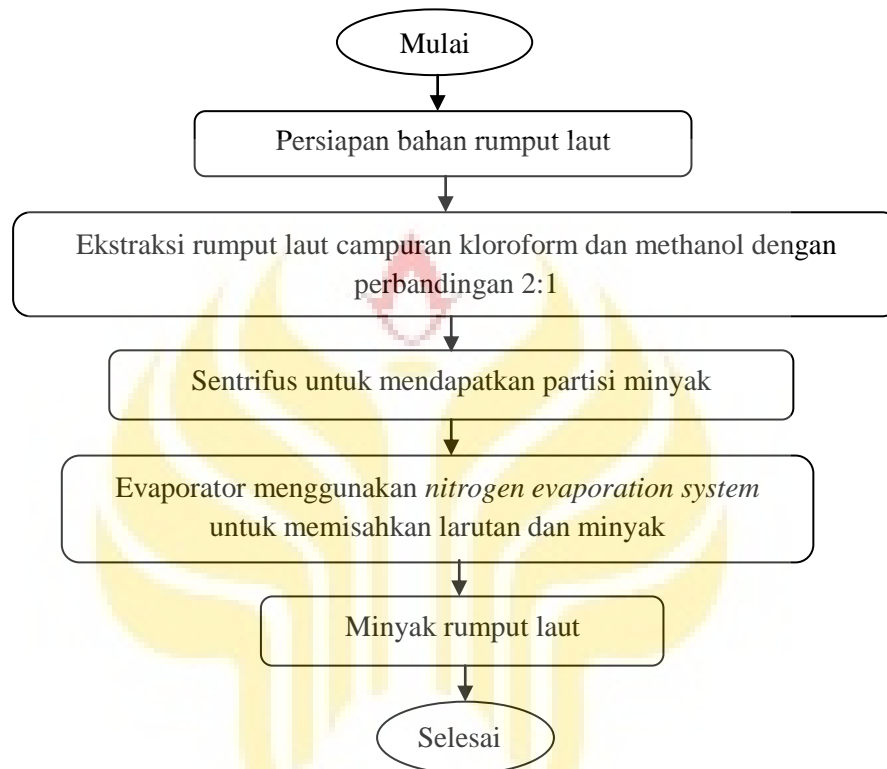
Tabel 2.1 Sifat Fisik dan Kimia Minyak Alga *C. Indica* dan *S. Hatei*

Parameters	Units	Methods	Limit	Alga Oil	
				<i>C.Indica</i>	<i>S. Hatei</i>
<i>Water content and sediments</i>	v/v%	ASTM D2709	Max 0,05	-	-
<i>Density</i>	mg/kg	EN 14214	0,86-0,90	0,953±0,15	0,912±0,12
<i>Kinematic viscosity</i>	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D445	1,9-6,0	42,9±1,2	40,7±0,81
<i>Acid value</i>	mg of KOH	ASTM D664	Max 0,50	0,37±0,03	0,41±0,04
<i>Cloud point</i>	( <sup>0</sup> C)	ASTM D2500	-	1	2
<i>Pour point</i>	( <sup>0</sup> C)	ASTM D97	-	-2	-4
<i>Flash point</i>	( <sup>0</sup> C)	ASTM D93	Min 130	209	198
<i>Iodine value</i>	G iodine/100g	EN 14111	Min 120	172±3,6	193±2,7
<i>Saponification value</i>	mg of KOH/g	ASTM D4052	-	85±1,8	87±1,6

Sumber : Majeed *et.al.* (2015:616)

Minyak rumput laut diekstrak dengan campuran kloroform dan methanol dengan perbandingan 2:1. Campuran disentrifus untuk mendapatkan partisi minyak kedalam pelarut, kemudian pelarut dievap menggunakan *nitrogen evaporation system* (lihat Gambar 2.2). Kandungan minyak yang diekstrak

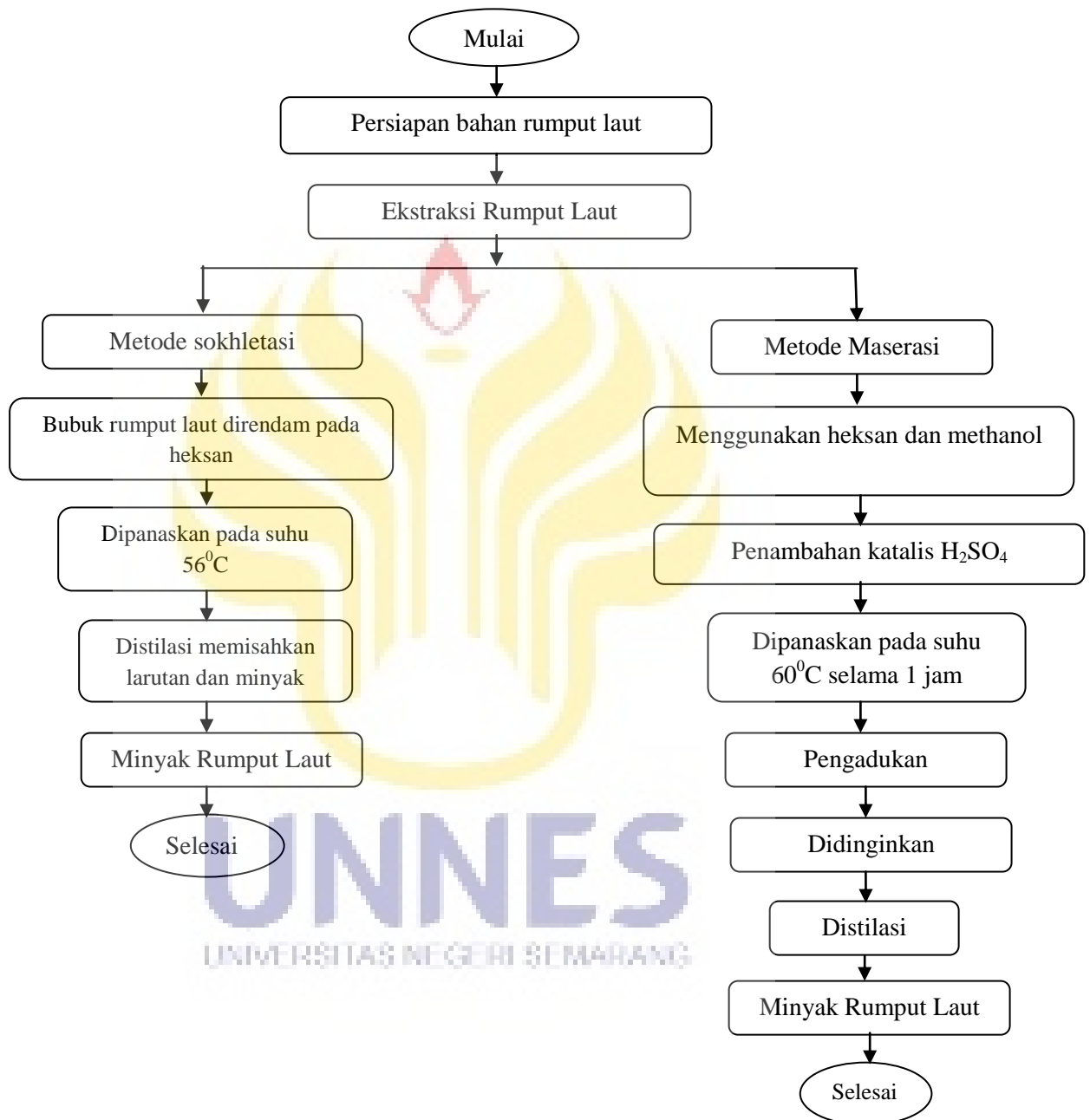
direpresentasikan sebagai prosentase berat sel kering (% , W/W) dengan minyak yang dihasilkan sebesar 48.30% (Xu *et.al.*, 2014:458).



Gambar 2.2 Diagram alir pembuatan minyak rumput laut menurut Xu *et.al.* (2014:458)

Nautiyal *et.al.* (2014:80) menyatakan bahwa terdapat dua metode untuk ekstraksi minyak rumput laut. Pertama, metode sokhletasi dimana bubuk rumput laut dilarutkan dengan pelarut heksan pada suhu  $56^{\circ}\text{C}$ . Larutan yang masih tercampur diminyak dipisahkan dengan cara distilasi. Kedua, biomassa berupa bubuk rumput laut kering ditempatkan pada reaktor. Selain larutan heksan dan methanol yang digunakan mengekstrak minyak, ditambahkan katalis  $\text{H}_2\text{SO}_4$  kedalam reaktor. Suhu ditahan pada  $60^{\circ}\text{C}$  selama satu jam dengan pengadukan. Selanjutnya didinginkan pada suhu ruangan dan didistilasi untuk memisahkan air

atau larutan. Metode yang kedua lebih optimal menghasilkan minyak dan biodiesel rumput laut jenis *spirulina*, *chlorella* dan alga kolam.

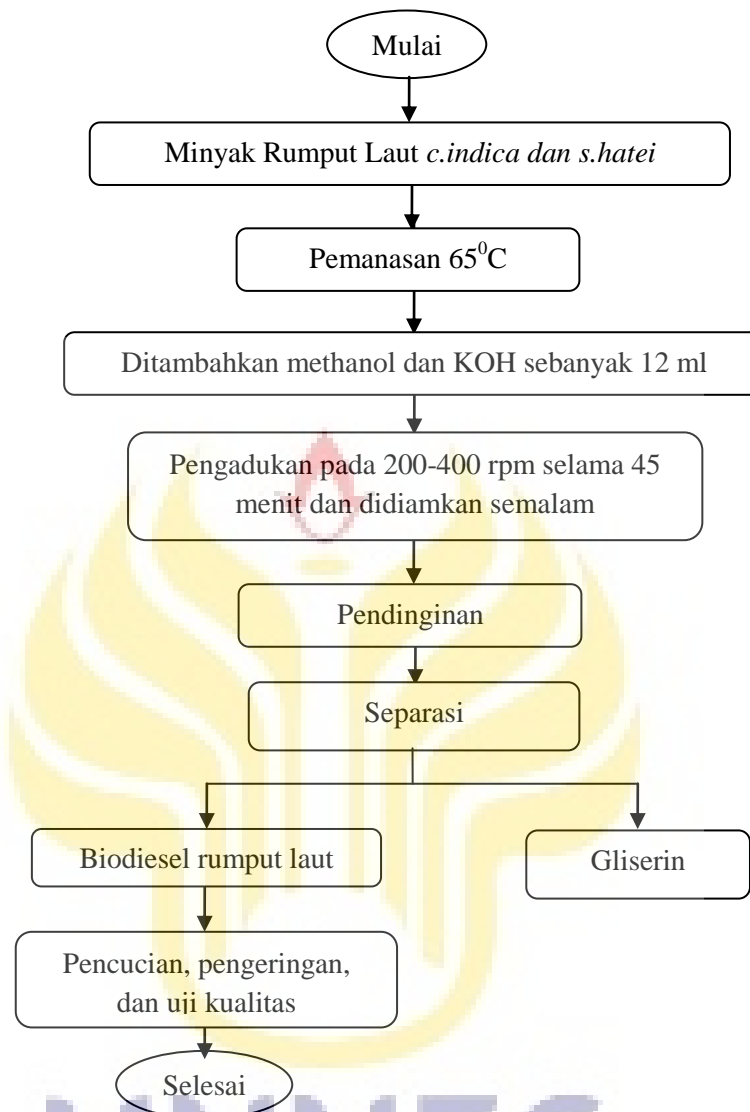


Gambar 2.3 Diagram alir pembuatan minyak rumput laut menurut Nautiyal *et.al.* (2014:80)

Chen *et.al.* (2012:209) menyatakan bahwa 75,4% pasta alga dicairkan pada suhu ruangan, dan dicampur dengan ethanol sebelum ditempatkan kedalam ekstraktor *chamber* bertekanan tinggi. Diberikan gas nitrogen ke dalam *chamber* pada tekanan 1,5 MPa. Suhu ekstraktor ditahan pada 120<sup>0</sup>C selama 50 menit. Sampel didinginkan pada suhu ruangan sebelum dilakukan pengurangan tekanan. Campuran ekstraksi minyak alga disentrifus dengan berat 2632 gram selama 5 menit untuk memisahkan antara minyak dan residu. Selanjutnya larutan dievaporasi menggunakan *rotary evaporator* untuk memisahkan minyak dan larutan.

### **3. Biodiesel Minyak Rumput Laut**

Menurut penelitian yang telah dilaporkan oleh Majeed *et.al.* (2015:613) tentang produksi biodiesel dari rumput laut untuk mengurangi polusi lingkungan menjabarkan proses pembuatan biodiesel minyak rumput laut berhasil dilakukan dengan metode transesterifikasi. Minyak rumput laut *c.indica* dan *s.hatei* masing-masing sebanyak 50 gram dipindahkan kedalam gelas pemisah dan dipanaskan pada suhu 65<sup>0</sup>C. Methanol KOH sebanyak 4.2 % berat/volume sekitar 12 ml ditambahkan ke minyak rumput laut diaduk pada 200-400 rpm selama 45 menit setelah itu didiamkan semalam (lihat Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Diagram alir pembuatan biodiesel minyak rumput laut menurut Majeed *et.al.* (2015:613)

Lapisan atas merupakan biodiesel dan bagian bawah gliserin. Biodiesel mentah dipisahkan dari gliserin menggunakan air sebanyak 25 ml menghasilkan randemen biodiesel rumput laut sebesar  $89,0 \pm 0,51$  %w/w (2,50 %w/w rumput laut kering) untuk jenis *c. indica* dan *s. hatei* sebesar  $90,6 \pm 0,36$  %w/w (2,81 %w/w rumput laut kering) dengan berat awal masing-masing jenis rumput laut



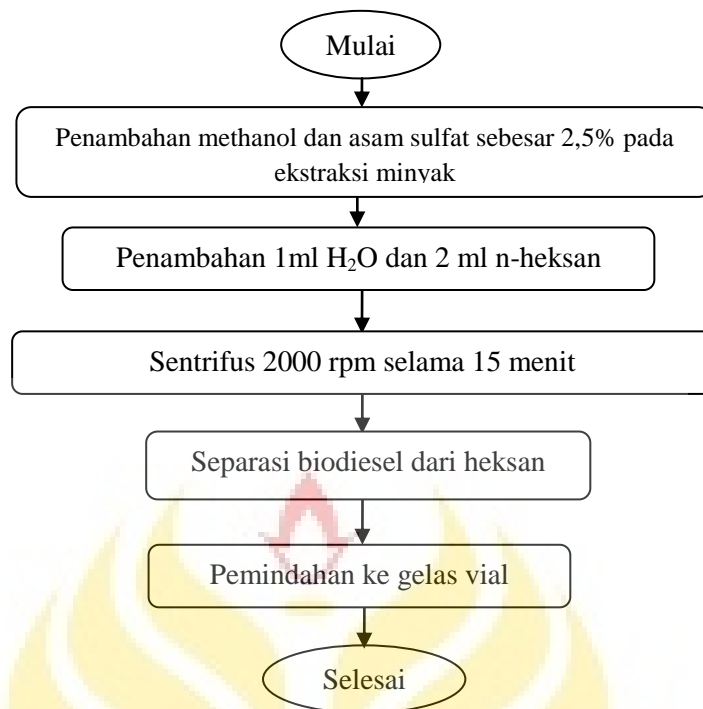
sebesar 2,25 kg. Tabel 2.2 menunjukkan uji kualitas randemen biodiesel minyak yang dihasilkan.

Tabel 2.2 Sifat Fisik dan Kimia Biodiesel Minyak Rumput Laut *C. Indica* dan *S. Hatei*

Parameters	Units	Methods	Limit	Biodiesel	
				<i>C.Indica</i>	<i>S. Hatei</i>
Water content and sediments	v/v%	ASTM D2709	Max 0,05	0,03±0,001	0,02±0,03
Density	mg/kg	EN 14214	0,86-0,90	0,873±0,21	0,869±0,15
Kinematic viscosity	mm <sup>2</sup> /s	ASTM D445	1,9-6,0	4,3±0,28	4,1±0,21
Acid value	mg of KOH	ASTM D664	Max 0,50	0,21±0,06	0,23±0,02
Cloud point	( <sup>0</sup> C)	ASTM D2500	-	-3	-5
Pour point	( <sup>0</sup> C)	ASTM D97	-	-9	-7
Flash point	( <sup>0</sup> C)	ASTM D93	Min 130	204	191
Iodine value	g iodine/100g	EN 14111	Min 120	175±2,7	179±2,1
Saponification value	mg of KOH/g	ASTM D4052	-	N/A	N/A

Sumber : Majeed *et.al.* (2015:616)

Biodiesel diproduksi melalui proses transesterifikasi. Methanol ditambahkan ke ekstrak minyak rumput laut serta ditambahkan katalis asam sulfat dengan prosentase 2,5%. Proses reaksi berlangsung selama 45 menit pada suhu 90°C. Kemudian ditambahkan 1 ml H<sub>2</sub>O dan 2 ml n-heksan. Larutan tersebut disentrifus pada 2000 rpm selama 15 menit untuk memisahkan air dari biodiesel atau heksan kemudian dipindahkan kedalam gelas vial menggunakan pipet Pasteur (Xu *et.al.*, 2014:458).



Gambar 2.5 Diagram alir pembuatan biodiesel minyak rumput laut menurut Xu *et.al.* (2014:458)

Nautiyal, *et.al.* 2014:80 menyatakan bahwa produksi biodiesel dari alga jenis *spirulina* dan alga kolam dengan metode ekstraksi menggunakan larutan heksan atau larutan lain (*single stage*) lebih optimal menghasilkan randemen biodiesel dari pada sokhletasi. Prosentase randemen biodiesel dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Yield of biodiesel (\%)} = \frac{\text{Grams of biodiesel produced}}{\text{Grams of the oil used}} * 100 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

*Yield of Biodiesel* = Randemen biodiesel yang dihasilkan (%)

*Grams of Biodiesel Produced* = Massa biodiesel yang di produksi (gram)

*Grams of Biodiesel Produced* = Massa minyak yang terpakai (gram)

Larutan heksan menghasilkan randemen biodiesel lebih banyak daripada kloroform. Randemen biodiesel yang dihasilkan dari alga kolam sebesar 74,60% dan *spirulina* sebesar 79,50%. kedua jenis alga tersebut menggunakan larutan heksan (*single stage*). Biodiesel yang dihasilkan memiliki nilai kalor sebesar 41,36 MJ/kg untuk jenis *spirulina* sesuai dengan standar minimal nilai kalor biodiesel yakni 41 MJ/kg sedangkan untuk jenis alga kolam nilai kalor yang dihasilkan sebesar 40,80 MJ/kg. Berikut ini *properties* biodiesel yang dihasilkan :

Tabel 2.3 *Properties* Biodiesel Alga *Spirulina* dan Alga Kolam

No.	Parameter	<i>Spirulina Biodiesel</i>	<i>Pond Water Algae Biodiesel</i>
1.	Density (kg/m <sup>3</sup> )	860	872
2.	Viscosity (mm <sup>2</sup> /s) at 40 <sup>0</sup> C	5,66	5,82
3.	Specific Gravity	0,865	0,878
4.	Acid Number (mg of KOH)	0,45	0,40
5.	Caloric Value (MJ/kg)	41,36	40,80
6.	Pour point ( <sup>0</sup> C)	-18	-16
7.	Flash point ( <sup>0</sup> C)	130	-
8.	Cooper strip corrosion	1(Slight Tarnish)	1

Sumber : Nautiyal *et.al.* (2014:87)

Chen *et.al.* (2012:209) menyatakan bahwa produksi biodiesel dari minyak *dinoflagellate* proses *degumming* diaduk dan dicampur 1% asam fosfor dan 10% air pada suhu 85<sup>0</sup>C selama satu jam untuk menghilangkan kandungan lemak. Beberapa variasi campuran minyak *dinoflagellate* dan FFA (*Free Fatty Acid*) diproduksi dari proses hidrolisis, dengan kandungan FFA sebesar 8,5%, 23% dan 96%.

Minyak hasil *degumming* diproses lanjut dengan katalis asam untuk menurunkan kadar FFA. Untuk keperluan tersebut sebanyak 5 gram sampel dicampur dengan 2 ml methanol dan 3,3% (g/100 mL) asam sulfur. Campuran diaduk pada suhu 65<sup>0</sup>C selama 120–180 menit. Sampel dengan FFA tertinggi, ditambahkan 2 ml methanol pada campuran dan proses esterifikasi diulang. Nilai

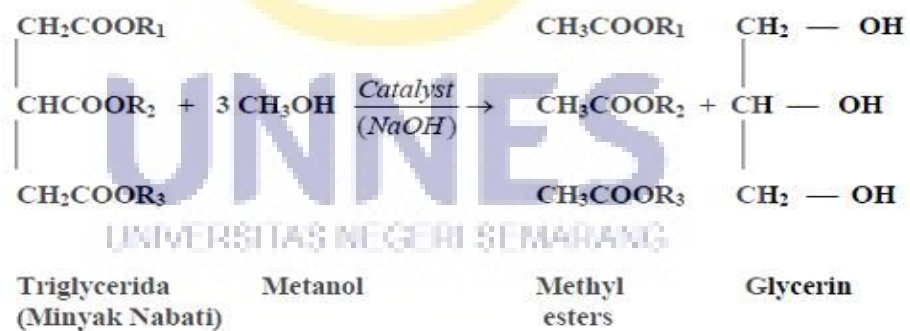
keasaman pada setiap sampel minyak ditentukan pada setiap 15 menit. Minyak yang ditreatment sebesar 5 gram dicampur dengan 2 ml methanol dengan katalis (KOH, NaOH atau KOCH<sub>3</sub>) sekitar 10% atau sekitar 100 ml pada suhu 65<sup>0</sup>C selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan sebesar 100 rpm. Setelah itu sampel di cuci dengan air ionisasi untuk memisahkan katalis dan methanol. Ditentukan kandungan relatif TAG (*Triacylglycerols*) dan FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*). Uji *properties* biodiesel yang dihasilkan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Uji *properties* biodiesel alga *scendesmus sp*, *nannochloropsis sp*, dan *dinoflagellate*

No.	Items	<i>Scendesmus sp</i>	<i>Nannochloropsis sp</i>	<i>Dinoflagellate</i>	Limitation	Test Methods
1.	Density at 15 <sup>0</sup> C (kg/L)	0,852	0,854	0,878	0,82-0,90	GB/T 2540
2.	Acid Value (mg of KOH)	0,52	0,46	0,44	0,80	GB/T 264
3.	Kinematic Viscosity at 40 <sup>0</sup> C(mm <sup>2</sup> /s)	4.15	5,76	3,74	1,9-6,0	GB/T 265
4.	Oxidative Stability at 110 <sup>0</sup> C(h)	5.42	1,93	1,02	>6	EN 14112
5.	After hydrogenation	60,3	42,4	11,2	-	-
6.	Moisture Content (%)	0,04	ND	0,07	0,05	SH/T 0246
7.	Sulfur Content (%)	0,02	0,06	0,04	<0,05	SH/T 0689
8.	Sulfated Ash (%)	ND	ND	0,01	<0,02	GB/T 2433-2001
9.	Free Glycerol (%)	ND	ND	ND	<0,02	SHT 0796-2007
10.	Phosporus Content (ppm)	2,4	4,5	2,8	10.0	ASTM D4951
11.	Methyl Ester content (%)	91,0	92,2	96,6	>96,5	EN 14103
12.	Distilation Temperature( <sup>0</sup> C)	266	300	368	<360	GB/T 6536
13.	Gross Heating Value (MJ/kg)	39,76	39,81	39,84	>35	GB/T 384-81

Sumber : Chen *et.al* (2012:213)

Biodiesel merupakan senyawa alkil ester yang diproduksi melalui proses alkoholisis (transesterifikasi) antara trigliserida dengan metanol atau etanol dengan bantuan katalis basa (Gambar 2.6). Biodiesel mempunyai rantai karbon antara 12 sampai 20 serta mengandung oksigen. Adanya oksigen pada biodiesel membedakannya dengan *petroleum diesel* (solar) yang komponen utamanya hanya terdiri dari hidrokarbon. Komposisi biodiesel dan solar sangat memiliki perbedaan dimana biodiesel terdiri dari metil ester asam lemak nabati, sedangkan solar terdiri hidrokarbon. Namun, biodiesel mempunyai sifat kimia dan fisika yang serupa dengan solar sehingga dapat digunakan langsung untuk mesin diesel atau dicampur dengan petroleum diesel. Pencampuran 20 % biodiesel ke dalam solar menghasilkan produk bahan bakar tanpa mengubah sifat fisik secara nyata. Produk ini di Amerika dikenal sebagai Diesel B-20 yang banyak digunakan untuk bahan bakar bus (Fauzi dan Huda, 2014: 8).



Gambar 2.6 Reaksi Transesterifikasi Biodiesel  
Sumber: Fauzi dan Huda (2014: 42)

Energi yang dihasilkan oleh biodiesel tidak jauh berbeda dengan solar, biodiesel menghasilkan energi sebesar 128.000 BTU sedangkan energi yang dihasilkan solar sekitar 130.000 BTU, sehingga torsi mesin dan daya yang dihasilkan juga sama. Walaupun kandungan kalori biodiesel serupa dengan petroleum diesel, tetapi karena biodiesel mengandung oksigen, maka flash pointnya lebih tinggi sehingga tidak mudah terbakar. Biodiesel juga tidak menghasilkan uap yang membahayakan pada suhu kamar, maka biodiesel lebih aman dari pada solar dalam penyimpanan serta penggunaannya (Fauzi dan Huda, 2014: 8).

Tabel 2.5 Sifat Fisik dan Kimia Solar dengan Biodiesel

No.	Parameter	Solar	Biodiesel
1.	<i>Specific Gravity</i> 16 <sup>0</sup> C	0,85	0,88
2.	<i>Viscosity</i> 20 <sup>0</sup> C	2,5	4,48
3.	Titik Didih <sup>0</sup> C	235	-
4.	<i>Flash Point</i> <sup>0</sup> C	52	-
5.	<i>Autoignition</i> <sup>0</sup> C	254	192
6.	Angka Cetan	40-55	52
7.	Nilai Kalor MJ/kg	45	41

Sumber: Fauzi dan Huda (2014: 54)

#### 4. Solar

Seiring dengan perkembangan teknologi, spesifikasi bahan bakar di Indonesia juga terus berkembang dari waktu ke waktu. Tahun 2006 Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral melalui Dirjen Migas mengeluarkan Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi No 3674 K/24/DJM/ 2006 mengenai standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar yang di pasarkan di dalam negeri dan No 3675 K/24/DJM/2006 (Lihat Tabel 2.6)

Kementerian Lingkungan Hidup (2006:23) menyatakan bahwa bahan bakar jenis solar (*automotive diesel fuel*) mempunyai porsi sebesar 47,42% dari total konsumsi bahan bakar untuk sektor transportasi. Solar pada dasarnya merupakan campuran dari hasil olahan minyak bumi yang disebut juga *middle distillates* dimana solar memiliki berat jenis lebih berat dari bensin namun lebih ringan dari minyak pelumas, dan umumnya tidak memiliki bahan additif tambahan. Solar memiliki karakteristik sebagai berikut ;

- a. Memiliki kandungan belerang lebih banyak.
- b. Berwarna gelap dan berbau khas.
- c. Tidak terlalu mudah menguap dalam temperatur normal.
- d. Memiliki *flash point* (titik nyala) sekitar 40°C sampai 100°C apabila disulut api.
- e. Memiliki *flash point* (titik nyala) sekitar 350°C apabila tanpa disulut api.
- f. Memiliki nilai kalor sebesar 45 MJ/kg (Fauzi dan Huda, 2014: 54).

Tabel 2.6 Standar dan Mutu Bahan Bakar Solar

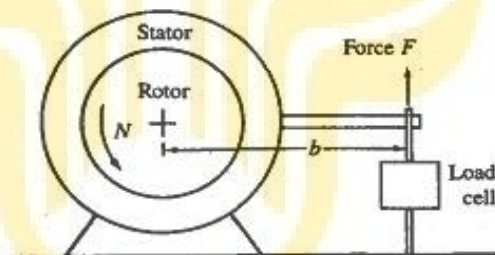
No.	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji	
			Min	Max	ASTM	Lain
1.	Bilangan Cetana					
	Angka Cetana atau		48	-	D613	-
	Indeks Cetana		45	-	D4737	-
2.	Berat Jenis (pada suhu 15 <sup>0</sup> C)	kg/m <sup>3</sup>	815	870	D 1298	-
					atau	
					D 4052	
3.	Viskositas ( pada suhu 40 <sup>0</sup> C)	mm <sup>2</sup> /s	2,0	5,0	D 445	-
			-	0,35		
4.	Kandungan Sulfur	% m/m		0,30	D 2622	-
				0,25	atau	-
				0,05	D 5453	-
				0,005	atau	-
					D 4294	
					atau	
					D 7039	
5.	Distilasi :				D 86	-
	90 % vol. penguapan	<sup>0</sup> C	-	370		-
6.	Titik Nyala	<sup>0</sup> C	60	-	D 93	-
7.	Titik Tuang	<sup>0</sup> C	-	18	D 97	-
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D 4530	-
					atau	
					D 189	
9.	Kandungan Air	mm/kg	-	500	D 6304	-
10.	<i>Biological growth</i> *)	kg/m <sup>3</sup>		Nihil		-
11.	Kandungan FAME *)	% v/v	-	10		-
12.	Kandungan Metanol*)	% v/v	Tak terdeteksi		D 4815	-
13.	Korosi bilah tembaga	Merit	-	Kelas I	D 130	-
14.	Kandungan Abu	% m/m	-	0,01	D 482	-
15.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473	-
16.	Bilangan Asam Kuat	mg	-	0	D 664	-
		KOH/g				
17.	Bilangan Asam Total	mg	-	0,6	D 664	-
		KOH/g				
18.	Penampilan Visual			Jernih dan		-
				terang		
19.	Warna	No.	-	3,0	D 1500	-
		ASTM				
20.	<i>Lubricity</i>					
	(HFRR wear scar dia.	micron	-	460	D 6079	-
	@60 <sup>0</sup> C)					

Sumber : Keputusan Direktur Minyak dan Gas Bumi No 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006



## 5. Unjuk Kerja Motor Diesel

Unjuk kerja atau performa motor diesel dapat dianalisa menggunakan alat dinamometer. Dinamometer merupakan suatu mesin elektro mekanik yang digunakan untuk mengukur torsi dan kecepatan dari tenaga yang diproduksi oleh suatu mesin motor atau penggerak berputar lain. Prinsip kerja dinamometer dimana rotor diputar oleh sumber daya motor yang ditest, dipasangkan secara mekanis, elektrik, magnetik, hidrolis dengan stator dalam keadaan setimbang. Torsi yang diberikan pada stator dengan rotor diukur dengan menyeimbangkan antara stator dengan beban (Heywood, 1988:46). Secara sederhana skema dinamometer pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Skema pengoperasian dynamometer Heywood (1988:46)

Berikut ini parameter yang akan dihitung pada unjuk kerja motor diesel menggunakan *dynamometer* :

### a. Torsi

Torsi yang dihasilkan mesin didefinisikan sebagai kemampuan motor atau mesin untuk melakukan kerja (Heywood, 1988:46). Secara teoritis, rumus yang digunakan untuk menghitung torsi adalah :

$$T = (F.b) \text{ (Nm)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

F = *Force* (N)

b = Panjang lengan pada dinamometer (m)

### **b. Daya**

Daya didefinisikan besarnya kerja motor selama waktu tertentu. Secara teoritis rumus daya mesin adalah :

$$P = \frac{2 \times \pi \times n \times T}{60 \times 1000} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

P = Daya ( kW)

n = Putaran mesin (rpm)

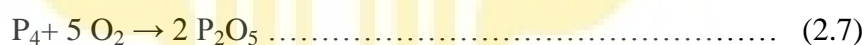
T = Torsi (Nm)

## **6. Emisi Gas Buang dan Uji Emisi**

### **a. Proses Pembakaran**

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan beberapa faktor yang mempengaruhi pembakaran yaitu: 1) Suhu yang cukup tinggi untuk menyalakan dan menjaga penyalaan bahan bakar. 2) Turbulensi atau pencampuran oksigen dan bahan bakar yang baik. 3) Waktu yang cukup untuk pembakaran yang sempurna (UNEP, 2006:12).

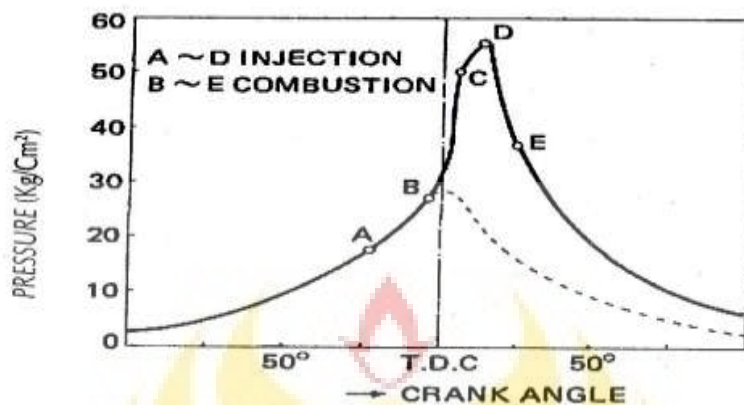
Pembakaran dapat dibedakan atas pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna. Pembakaran dianggap sempurna bila keseluruhan komponen unsurnya berubah menjadi oksida tertingginya seperti komponen-komponen  $H \rightarrow H_2O$ ;  $C \rightarrow CO_2$ ;  $S \rightarrow SO_3$ ; atau  $P \rightarrow P_2O_5$ . Hasil lainnya berupa oksida rendahnya, menunjukkan bahwa pembakaran itu merupakan pembakaran tidak sempurna. Biasanya pembakaran tidak sempurna berlangsung dalam oksigen berjumlah sedikit (Mulyono, 2010:139). Reaksi kimia pembakaran dapat dinyatakan seperti berikut :



#### **b. Pembakaran pada Motor Diesel**

Proses pembakaran tidak dapat terjadi secara langsung dan bersamaan, tetapi pembakaran terjadi secara bertahap dan membutuhkan waktu. Pada motor diesel yang diisap oleh torak dan dimasukkan ke dalam ruang bakar hanya udara, yang selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Diperlukan rasio kompresi 15-22 dan suhu udara kurang lebih  $600^{\circ}C$ . Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder yang cukup tinggi maka partikel-partikel bahan

bakar akan menyala dengan sendirinya sehingga membentuk proses pembakaran (Daryanto dan Setyabudi, 2013:17).



Gambar 2.8 Diagram Proses Pembakaran Motor Diesel  
Rabiman dan Arifin (2011:7)

Menurut Rabiman dan Arifin (2011:7) proses pembakaran pada mesin diesel terbagi menjadi 4 tahap yaitu :

1. Saat pembakaran tertunda (*Ignition Delay*) = A–B

Tahap ini merupakan tahap persiapan pembakaran. Bahan bakar disemprotkan oleh injektor berupa kabut ke udara panas dalam ruang bakar sehingga menjadi campuran yang mudah terbakar. Pada tahap ini bahan bakar belum terbakar atau dengan kata lain pembakaran belum dimulai, pembakaran akan dimulai pada titik B, peningkatan tekanan terjadi secara konstan, karena piston terus bergerak menuju TMA.

2. Saat perambatan api (*Flame propagation*) = B – C

Campuran yang mudah terbakar telah terbentuk dan merata di seluruh bagian dalam ruang bakar. Awal pembakaran mulai terjadi di beberapa bagian silinder. Pembakaran ini berlangsung cepat sehingga terjadilah letupan

(*explosive*). Letupan ini berakibat tekanan dalam silinder meningkat dengan cepat pula.

3. Saat pembakaran langsung (*Direct Combustion*) = C – D

Injektor terus menyemprotkan bahan bakar dan berakhir pada titik D. Karena injeksi bahan bakar terus berlangsung didalam udara yang bertekanan dan bersuhu tinggi, maka bahan bakar yang diinjeksi akan langsung terbakar. Pada tahap ini pembakaran dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga tahap ini disebut juga tahap pengontrolan pembakaran.

4. Saat Pembakaran Lanjut (*After Burning*) = D – E

Pada titik D, injeksi bahan bakar berhenti, namun bahan bakar masih ada yang belum terbakar. Pada periode ini sisa bahan bakar diharapkan akan terbakar seluruhnya. Apabila tahap ini terlalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran menurun.

**c. Emisi Gas Buang pada Motor Diesel**

Rabiman dan Arifin (2011:14) menyatakan bahwa emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel terdiri dari :

**1) Partikulat**

Gas buang motor diesel sebagian besar berupa partikulat dan berada pada dua fase yang berbeda, namun saling menyatu yaitu :

- a) Fase padat, terdiri dari residu/kotoran, abu, bahan korosif, butiran logam akibat keausan komponen mesin.
- b) Fase cair, terdiri dari minyak pelumas yang tidak terbakar.

Gas buang yang terbentuk cair akan meresap ke dalam fase padat, zat ini disebut partikel. Partikel-partikel tersebut berukuran mulai dari 100 mikron hingga kurang dari 0,01 mikron. Partikulat yang berukuran kurang dari 10 mikron memberikan dampak terhadap visibilitas udara karena partikulat tersebut akan memudarkan cahaya.

## **2) Pelumas Tidak terbakar**

Komponen ini penyumbang terbesar dalam gas buang, sebesar 40% berasal dari minyak pelumas dalam silinder yang tidak terbakar selama proses pembakaran. Komponen ini menyumbangkan asap berwarna keputih-putihan. Semakin banyak minyak pelumas yang ikut dalam proses pembakaran, semakin banyak warna putih dalam gas buang. Minyak pelumas yang tidak terbakar mengandung susunan karbon C dan H.

## **3) Residu/ Kotoran**

Partikulat pada gas buang motor diesel berasal dari partikel susunan bahan bakar yang masih berisikan kotoran kasar (abu, debu). Hal ini dikarenakan pemrosesan bahan bakarnya kurang baik. Bahan bakar diesel di Indonesia banyak mengandung kotoran, misalnya solar. Solar yang baik seharusnya tidak berwarna atau bening, namun yang kita jumpai dipasaran Indonesia solar biasanya berwarna agak gelap yang menandakan adanya kotoran dalam bahan bakar. Dengan demikian pada saat terjadi pembakaran, kotoran tersebut terurai dari susunan partikel yang lain dan tidak terbakar. Semakin banyak residu dalam bahan bakar, dengan motor secanggih apapun tetap akan dihasilkan gas buang dengan kepulan asap hitam.

#### 4) Sulfur

Sulfur pada bahan bakar yang berasal dari fosil berbentuk sulfur organik dan nonorganik. Pembakaran pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar fosil akan menghasilkan sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan sulfur trioksida ( $\text{SO}_3$ ) dengan perbandingan 30:1. Berarti sulfur dioksida merupakan bagian yang sangat dominan dalam gas buang mesin diesel.

#### 5) Lain-lain

Sekitar 8% gas buang motor diesel merupakan kumpulan dari bermacam-macam gas beracun diantaranya CO, HC,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{NO}_x$ . Gas buang tersebut meskipun hanya dalam jumlah yang kecil tetap memberikan andil dalam pencemaran udara.

#### 6) Bahan Bakar Tidak Terbakar

Bahan bakar yang tidak terbakar setelah proses pembakaran sekitar 7% dari seluruh gas buang mesin diesel. Bahan bakar yang tidak terbakar ini berupa karbon (C) yang terpisah dari HC akibat perengkahan selama terjadi pembakaran. Semakin banyak bahan bakar tidak terbakar yang keluar, semakin hitam warna asap gas buang yang dikeluarkan oleh motor.

#### d. Standar Emisi Gas Buang

Emisi kendaraan bermotor menjadi faktor yang dominan terhadap terjadinya pencemaran udara. Indonesia masih tertinggal dibandingkan negara-negara lain dalam membuat kemajuan penerapan standar emisi euro untuk mesin diesel. Saat ini negara-negara Asia belum memiliki standar emisi kendaraan yang telah diharmonisasi, dan sebagian besar negara di kawasan

ini, termasuk Indonesia, telah mengkaitkan program-program pengendalian emisi dengan persyaratan dari Eropa (Dewan Nasional Perubahan Iklim, 2010:19).

Negara-negara seperti Cina, India dan Singapura mulai melaksanakan standar euro 2 sebelum Indonesia. Di Cina, euro 3 telah berlaku sejak tahun 2008 sedangkan di Singapura, euro 4 telah berlaku sejak tahun 2005. India berencana untuk beralih ke euro 3 secara nasional dan ke euro 4 untuk kota-kota besar pada tahun 2009. Negara-negara Eropa telah menerapkan standar euro 4, yang menetapkan batas maksimum untuk tingkat kandungan sulfur dalam bahan bakar solar sebesar 50 ppm, dan bahkan hanya 10 ppm baru-baru ini (lihat Tabel 2.7).

Tabel 2.7 Standar Euro yang diterapkan beberapa negara di Asia

Country	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Indonesia									Euro 2						
Malaysia		Euro 1							Euro 2					Euro 4	
Singapore <sup>a</sup>		Euro 2													
Singapore <sup>b</sup>		Euro 2					Euro 4								
Thailand		Euro 2			Euro 3									Euro 4	
Vietnam									Euro 2						
India <sup>c</sup>		Euro 1				Euro 2								Euro 3	
India <sup>d</sup>	Euro 2					Euro 3								Euro 1	
china <sup>e</sup>		Euro 1			Euro 2				Euro 3					Euro 4	
china <sup>e</sup>															

Keterangan: a. bensin, b. Solar, c. Seluruh negeri, d. Kota besar, e. Beijing, Guangzhou, Shanghai

Sumber : Dewan Nasional Perubahan Iklim, 2010:20

Hingga saat ini kendaraan diesel di Indonesia masih menerapkan standar emisi Euro 2 baik itu kendaraan lama maupun kendaraan baru karena buruknya kualitas solar yang dijual di Indonesia. Di sisi lain, mesin diesel menimbulkan jauh lebih banyak polusi NO<sub>x</sub> dan partikulat dibandingkan dengan mesin bensin.



Berdasarkan *European Automobile Manufacturers Association* (ACEA) mengenai standar emisi gas buang euro 2 ditetapkan standar sebagai berikut :

Tabel 2.8 Standar Euro ACEA

No.	Standar Euro	NO <sub>x</sub> (g/km)	Massa Partikel (g/km)
1.	Euro 1	0,97 <sup>1)</sup>	0,14
2.	Euro 2	0,9 <sup>1)</sup>	0,1
3.	Euro 3	0,5	0,05
4.	Euro 4	0,25	0,025
5.	Euro 5	0,18	0,0045
6.	Euro 6	0,08	0,0045

Keterangan : 1) Menyatakan HC dan NO<sub>x</sub>

Sumber : ACEA, 2015

#### e. Pengujian Emisi Gas Buang

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama terdapat dua pangujian emisi gas buang diantaranya :

##### 1. Cara uji kendaraan bermotor kategori M, N, dan O berpengerak

###### penyalan cetus api pada kondisi idle

Cara uji ini digunakan untuk mengukur kadar gas karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) dengan menggunakan *gas analyzer* pada kondisi *idle* untuk kendaraan bermotor kategori M, N dan O berpengerak penyalan cetus api. Kategori M untuk kendaraan bermotor beroda empat atau lebih dan digunakan untuk angkutan orang. Kategori N untuk kendaraan bermotor beroda empat atau lebih dan digunakan untuk angkutan barang serta Kategori O untuk kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel.

## **2. Cara uji kendaraan bermotor kategori M, N, dan O berpengerak penyalan kompresi pada kondisi akselerasi bebas**

Cara uji ini digunakan untuk mengukur opasitas asap menggunakan smoke *opacymeter* pada kondisi akselerasi bebas kendaraan bermotor kategori M, N dan O berpengerak penyalan kompresi.

### **B. Kajian Penelitian yang Relevan**

Beberapa penelitian yang telah dilakukan terkait dengan biodiesel minyak rumput laut dan unjuk kerja serta emisi gas buang pada mesin diesel adalah sebagai berikut :

Penelitian berkaitan dengan biodiesel dari minyak mikroalga telah dilakukan oleh Widyastuti dan Dewi (2014: 40) disimpulkan bahwa :

Ekstraksi minyak mikroalga dengan metode maserasi dengan pelarut n-heksana menggunakan *orbital shaker* menghasilkan rendemen minyak yang paling besar, yaitu 15,775%. Sedangkan dari reaksi transesterifikasi minyak mikroalga dengan metanol menggunakan katalis KOH diperoleh *yield* biodiesel sebesar 59,85%.

Penelitian tentang putaran dan emisi gas buang mesin menggunakan bahan bakar alternatif yang dilakukan oleh Susila (2010:49) disimpulkan bahwa bahan bakar biodiesel biji karet B-10 menghasilkan kinerja mesin terbaik pada putaran 2550 rpm. Pada putaran ini diperoleh daya maksimum 36,95 PS, konsumsi bahan bakar spesifik terendah 0,256 kg/(PS.jam), efisiensi termal indikatif cukup tinggi yaitu 58,44%, kandungan CO terkecil 0,4%, dan opasitas gas buang sebesar 58,6% memenuhi Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2006, dan tidak perlu memodifikasi mesin.

Penelitian lain yang membahas unjuk kerja torsi dan daya mesin diesel telah dilakukan oleh Putra (2011:31) melaporkan bahwa torsi maksimum yang dihasilkan adalah 11,4375 Nm yang terjadi pada bahan bakar biosolar +6cc aditif pada  $\pm 90\%$  pembebanan. Sedangkan daya maksimum adalah 1,7965 kW yang terjadi pada bahan bakar biosolar +6cc aditif pada  $\pm 90\%$  pembebanan.

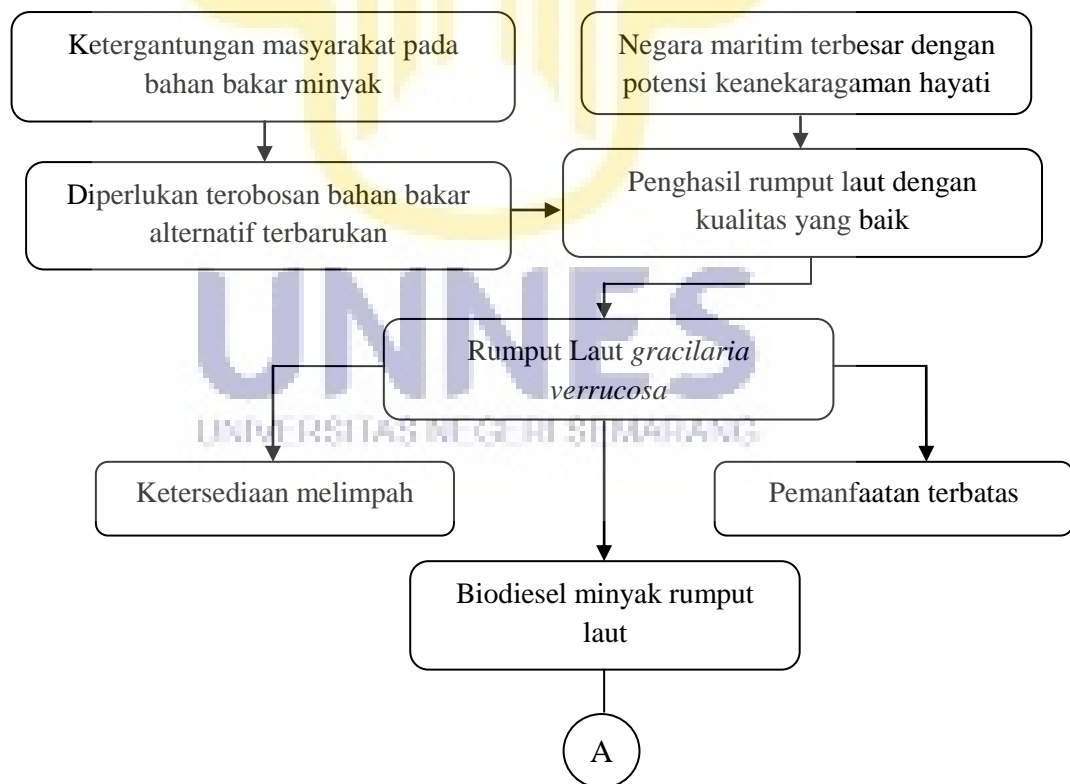
Melihat adanya keterkaitan dengan penelitian sebelumnya yakni produksi biodiesel dari mikroalga dan pengujian performa mesin diesel berupa torsi dan daya serta emisi gas buang mesin diesel menggunakan biodiesel bahan lain dengan penelitian yang akan dilakukan yakni pengujian performa mesin dan emisi gas buang menggunakan biodiesel minyak rumput laut *gracilaria verrucosa*

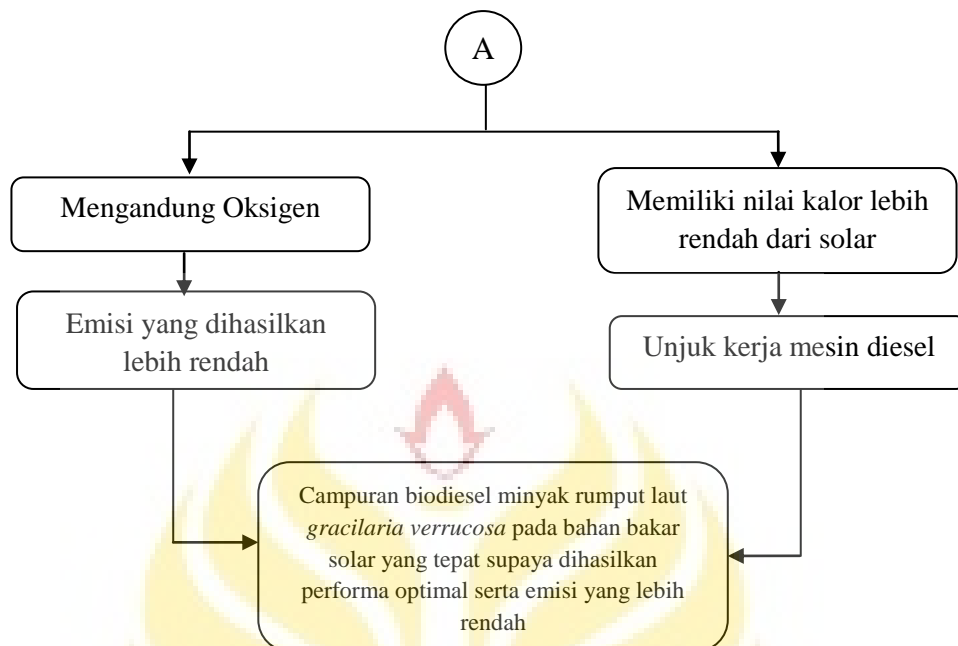
### **C. Kerangka Pikir Penelitian**

Minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Ketergantungan masyarakat terhadap penggunaan produk minyak bumi seperti bensin, solar dan produk lainnya sehingga diperlukan suatu terobosan penggunaan baha bakar alternatif terbarukan yang berasal dari tumbuhan dan tergolong sumber daya alam yang dapat diperbaharui. Disisi lain negara kita merupakan negara maritim yang sebagian besar wilayahnya terdiri atas lautan mencapai 70% dengan potensi sumber daya hayati yang sangat potensial di lautan seperti rumput laut. Rumput laut Indonesia dikenal dengan kualitas rumput laut yang baik sehingga sering diekspor ke luar negeri. Rumput laut yang dibudidayakan oleh masyarakat Indonesia adalah dari jenis *eucheuma* dan *gracilaria*. Namun ketersediaan rumput laut yang melimpah berbanding terbalik pada pemanfaatan rumput laut di

Indonesia hanya terbatas pada industri makanan, obat-obatan, fotografi serta Industri lainnya.

Melihat keterkaitan antara penggunaan bahan bakar minyak dan keberadaan rumput laut yang melimpah di lautan Indonesia diperlukan sebuah terobosan pembuatan biodiesel minyak rumput laut untuk campuran solar. Kandungan oksigen yang terkandung pada biodiesel nantinya akan menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah daripada solar. Nilai kalor yang dihasilkan biodiesel minyak rumput laut akan lebih rendah sehingga akan berpengaruh pada unjuk kerja mesin yang dihasilkan. Sehingga nantinya diharapkan akan didapatkan campuran biodiesel minyak rumput laut yang tepat dengan solar serta emisi gas buang rendah yang dihasilkan.





Gambar 2.9 Kerangka Pikir Penelitian

#### D. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian pada pembahasan di atas hipotesis dalam penelitian ini yaitu :

1. Ada pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut *gracilaria verrucosa* terhadap penurunan performa mesin berupa torsi dan daya yang dihasilkan mesin diesel.
2. Ada pengaruh campuran biodiesel minyak rumput laut *gracilaria verrucosa* terhadap penurunan emisi gas buang yang dihasilkan mesin diesel.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Simpulan**

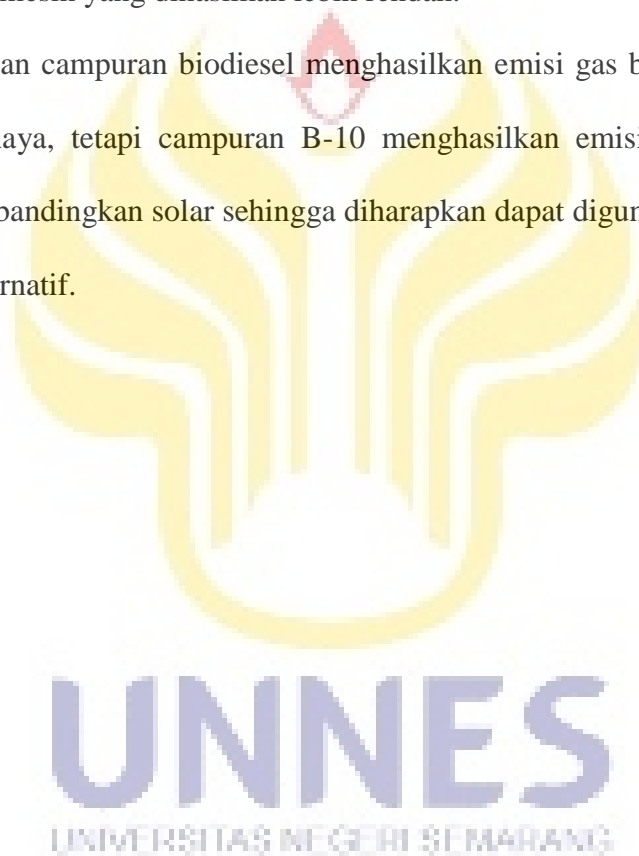
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Torsi dan daya yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan penambahan campuran biodiesel pada bahan bakar solar. Semakin banyak campuran biodiesel yang ditambahkan semakin kecil torsi dan daya yang dihasilkan. Campuran biodiesel B-10 menghasilkan daya dan torsi yang lebih optimal daripada campuran lainnya. Sedangkan pada konsumsi bahan bakar, campuran B-15 merupakan campuran yang lebih efisien dari solar murni maupun campuran lainnya. B-15 dapat menghemat konsumsi bahan bakar sekitar 6,792 kg/jam.
2. Emisi gas buang  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan mengalami penurunan karena biodiesel rumput laut mengandung oksigen dalam senyawanya, sehingga pembakaran di dalam mesin lebih sempurna dan hanya membutuhkan nisbah udara atau bahan bakar rendah. Campuran B-10 merupakan campuran biodiesel yang paling ramah terhadap lingkungan dibandingkan campuran lainnya karena emisi gas buang yang dihasilkan paling rendah dibandingkan solar murni dan campuran lainnya.

## **B. Saran Pemanfaatan Hasil Penelitian**

Adapun saran yang diberikan terhadap penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi campuran biodiesel terhadap performa dan emisi gas buang mesin diesel adalah sebagai berikut:

1. Menghindari penggunaan campuran biodiesel melebihi campuran B-10 karena performa mesin yang dihasilkan lebih rendah.
2. Penggunaan campuran biodiesel menghasilkan emisi gas buang  $\text{NO}_x$  dibawah batas bahaya, tetapi campuran B-10 menghasilkan emisi gas buang paling rendah dibandingkan solar sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ariwibowo, D., Fadjar, B., dan Suryo, T. 2011. Performa Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Teroksidasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 02: 91-96.
- Aslan, L. M. 1991. *Budidaya Rumput Laut*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Aziz, I. 2008. Uji Performance Mesin Diesel Menggunakan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia*.
- Bhikuning, A. 2013. Analisa Performa Mesin dengan Biodiesel Terbuat dari *Virgin Coconut Oil* pada Mesin Diesel. *Jurnal Teknik Mesin*. 06: 123-128.
- Chen, L., Liu, T., dan Zhang, W. 2012. Biodiesel Production from Algae Oil High in Free Fatty Acids by Two-Step Catalytic Conversion. *Bioresource Technology*. 111: 208–214.
- Daryanto dan Setyabudi, I. 2013. *Teknik Motor Diesel*. Bandung: Penerbit Alfabeta Bandung.
- Dewan Nasional Perubahan Iklim. 2010. *Peluang dan Kebijakan Pengurangan Emisi Sektor Transportasi*. Jakarta: Kemenkeu RI.
- Euro Standards*. Online <http://www.acea.be/news/article/euro-standards> (accessed 31/03/2016).
- Fauzi, O., dan Huda, N. 2014. Pemanfaatan Biodiesel dan Limbah Produksi. *Teaching Biomass Technologie at Medium Technical Schools*. Jakarta: Kemendikbud RI.
- Heywood, J.B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York : McGraw-Hill Publishing Company.
- Hutomo, A.P. 2014. Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Nyamplung Dan Uji Kinerja Pada Mesin Diesel. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2006. Laporan Pemantauan Rutin Tahunan Terhadap Kualitas Bahan Bakar Bensin Dan Solar di Indonesia. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup RI.
- Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. 2013. *Rumput Laut di Indonesia*. Jakarta: Kemendag RI.
- Keputusan Dirjen Migas 3675 K/24/DJM/2006. 2006. Standard dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan Didalam Negeri. Jakarta: ESDM.



- Majeed, A., Obaid, M., dan Sultana, R. 2015. Production of Biodiesel from Marine Algae to Mitigate Environmental Pollution. *Journal of Chemical Society*. 37: 612-620.
- Mulyono. 2010. *Oksidasi Reduksi dan Tata Nama Rumus Kimia Oksida*. Konsep Dasar Kimia untuk PGSD. 2: 138-140
- Nautiyal, P., Subramanian, K., dan Dastidar. 2014. Production and Characterization of Biodiesel from Algae. *Fuel Processing Technology*. 120: 79–88.
- Parenrengi, A., Syah, R., dan Suryati, E. 2012. *Budidaya Rumpun Laut Prnghasil Keraginan (Karaginofit)*. Jakarta: Kementerian Perikanan dan Kelautan.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05. 2006. Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Putra, E.N. 2011. Uji Eksperimental Bahan Bakar Campuran Biosolar dengan Zat Aditif terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Putaran Konstan. *Jurnal Teknik Mesin*.
- Rabiman dan Arifin, Z. 2011. *Sistem Bahan Bakar Motor Diesel*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Susila, I.W. 2010. Kinerja Mesin Diesel Memakai Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisa Emisi Gas Buang. *Jurnal Teknik Mesin*. 12: 43-50.
- Sasongko. 2016. Emisi Gas Buang dan Permasalahannya. Malang: Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Bidang Otomotif & Elektronika Malang
- Turnip, J. 2010. Pengujian dan Analisa Performansi Motor Bakar Diesel menggunakan Biodiesel Dimethyl Ester B-01 dan B-02.
- United Nations Environment Programme. 2006. *Bahan Bakar dan Pembakaran*. Jakarta: UNEP.
- Wisyastuti, C.R., dan Dewi, A.C. 2014. Sintesis Biodiesel dari Minyak Mikroalga *Chlorella Vulgaris* dengan Reaksi Transesterifikasi menggunakan Katalis KOH. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*. 03: 35-41.
- Xu, X., Kim, J.Y., dan Oh, Ri. 2014. Production of Biodiesel From Carbon Sources of Macroalgae *Laminaria Japonica*. *Bioresource Technology*. 169: 455–461.