



**PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT RHEOLOGI MINYAK JARAK PAGAR
(*Jatropha curcas* Linn.)**

Oleh

**ULFAH KURNIATI
G 621 02 022**



UPT PERTANIAN	
Tgl. Terima	3-12-07
No. Surat	File. Pertanian & alus.
No. Klas	H
No. Inventaris	240
No. Klas	

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2007**

**PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT RHEOLOGI MINYAK JARAK PAGAR
(*Jatropha curcas* Linn.)**

O l e h

**ULFAH KURNIATI
G 621 02 022**

**Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknologi Pertanian
Pada
Jurusan Teknologi Pertanian**

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
JURUSAN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN DAN KEHUTANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2007**

RIWAYAT HIDUP



ULFAH KURNIATI, lahir pada tanggal 10 April 1984 di Ujung Pandang dari pasangan Ayah Mabur dan Ibu Sitti. Rosdianah. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara.

Pendidikan formal yang pernah dilalui adalah:

1. Memasuki jenjang pendidikan Sekolah Dasar (SD) Negeri Maccini Sombala I Makassar pada tahun 1990 – 1996.
2. Memasuki jenjang pendidikan Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Makassar pada tahun 1996 – 1999.
3. Memasuki jenjang pendidikan Sekolah Menengah Umum (SMU) Negeri 2 Makassar pada tahun 1999 – 2002.
4. Melanjutkan pendidikan pada Universitas Hasanuddin, Fakultas Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian dengan Program Studi Teknik Pertanian pada tahun 2002 dan menamatkan kuliah pada tahun 2007 setelah dipertanggungjawabkan skripsinya.

Selama melanjutkan pendidikan di Universitas pernah menjadi asisten Menggambar Teknik pada tahun 2005 dan Teknologi Pengolahan Hasil pertanian pada Tahun 2006. Pernah menjabat sebagai koordinator Divisi Prossessing Agritech Study Club Program Studi Teknik Pertanian Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, Makassar Periode 2006/2007.

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : PENGARUH SUHU TERHADAP SIFAT RHEOLOGI
MINYAK JARAK PAGAR (*Jatropha curcas* Linn.)
Nama Mahasiswa : ULFAH KURNIATI
Stambuk : G 621 02 022
Program Studi : Teknik Pertanian

Makassar, November 2007

Disetujui oleh:
Tim Pembimbing,



Dr. Ir. Djunaedi Muhidong, M.Sc
Pembimbing I



Dr. Ir. Salengke, M.Sc
Pembimbing II

Ketua Jurusan
Teknologi Pertanian



Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M. Eng
Nip. 131 857 068

Ketua Panitia
Ujian Sarjana



Dr. Ir. Supratomo, DEA
Nip. 131 126 178

Tanggal Pengesahan : November 2007

ABSTRAK

Konsumsi bahan bakar diesel berbasis petroleum di sektor otomotif maupun industri kian meningkat dan perbandingan antara volume produksi dan konsumsi dalam negeri sudah semakin tidak seimbang. Selain itu adanya isu lingkungan seperti pemanasan global kian menuntut penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Dengan demikian untuk memenuhi kebutuhan dan tuntutan tersebut di atas, maka perlu dicari bahan bakar alternatif baik sebagai pencampur maupun sebagai pengganti bahan bakar diesel.

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas. L.*) merupakan salah satu sumber minyak nabati yang sangat prospektif untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar diesel. Akan tetapi, viskositas minyak jarak pagar lebih tinggi dibandingkan dengan solar atau minyak diesel, sehingga tidak dapat digunakan tanpa pencampuran dengan solar. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat rheologi minyak jarak mentah dan minyak jarak hasil transesterifikasi pada berbagai suhu.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran viskositas minyak jarak mentah maupun minyak jarak hasil transesterifikasi pada berbagai suhu dan kecepatan spindle. Setelah itu, nilai energi aktivasi untuk viskositas pada kedua jenis minyak tersebut ditentukan.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa minyak jarak mentah dan minyak jarak hasil transesterifikasi secara rheologi bersifat *dilatant*. Pengaruh suhu terhadap viskositas cukup signifikan untuk kedua jenis minyak. Meskipun demikian, viskositas minyak hasil transesterifikasi relative lebih stabil dibanding viskositas minyak mentah. Hal ini juga dapat diperkirakan dari nilai energi aktivasi yang lebih rendah pada minyak hasil transesterifikasi. Selain pengaruhnya terhadap stabilitas viskositas, proses transesterifikasi secara umum dapat menurunkan viskositas minyak jarak.

Ulfah Kurniati (G 621 02 022). "The Temperature Effect of Rheology Characteristic for Jatropha oil (*Jatropha curcas. L*)". Counselor: Dr. Ir. Junaedi Muhidong, M.Sc dan Dr. Ir. Salengke, M.Sc

ABSTRACT

Consumption of diesel fuel base on petroleum in otomotif and industrial sector be more increased, volume comparison between domestic consumption and production has not more balance. Exception of that, environment issue like global warm pursue to use of fuel which in more friendly environment. So to fulfilled the demand and requirement above, so need to find alternative fuel as a mixture and as a change of diesel fuel.

Jatropha curcas is one of biofuel source that very prospective for using as diesel fuel. But, the viscosity of *Jatropha* oil is more high than diesel fuel. So it can't be used without diesel mixture. Because of that, this research is done with purpose for oil that has been transesterification at various temperature.

In this research, done measuring viscosity *Jatropha* crude oil and *Jatropha* oil that has been transesterification at various temperature and spindle speed. After that, determine value of activation energy for viscosity to both types of oil.

The output of this research, that showing *Jatropha* crude oil and *Jatropha* that has been transesterification in characteristic rheology is dilatant. The temperature effect of viscosity enough significant to both types of oil. Nevertheless, the viscosity of *Jatropha* oil that has been transesterification relative more stable than viscosity of crude oil. This matter also can be estimated from lower value activation energy of oil that has been transesterification. Besides the effect of stability viscosity, process transesterification in general can degrade the viscosity of *Jatropha* oil.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya maka penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul *"Pengaruh Suhu Terhadap Sifat Rheologi Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas* Linn.)"* sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin.

Selama pelaksanaan studi, penelitian maupun penyusunan skripsi ini tidak lepas dari peran serta berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr.Ir.Djunaedi Muhidong,M.Sc dan Dr.Ir.Salengke.M.Sc sebagai dosen pembimbing atas kesabaran dan segala arahan yang telah diberikan mulai dari penyusunan sampai selesainya skripsi ini.
2. Ayah dan Bunda Tercinta atas segala kasih dan sayang serta doanya.
3. Sahabat, teman dan siapapun yang pernah mengisi hari-hariku atas cinta dan tawa saat kesetresan membayangiku.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Amin.

Makassar, November 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
RIWAYAT HIDUP.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I. PENDAHULUAN	
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Tujuan.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Tanaman Jarak Pagar	3
2.2. Pemanenan Buah.....	4
2.2.1. Kriteria Panen	4
2.2.2. Teknik Pemanenan.....	4
2.2.3. Pengeringan Buah dan Biji.....	5
2.2.4. Penyimpanan biji	6
2.3. Ekstraksi Minyak Biji Jarak Pagar	6
2.3.1. Pengepresan Mekanis.....	7
• Pengepresan Hidrolik	7
• Pengepresan Berulir	7
2.3.2. Kombinasi Pengepresan Mekanis Dengan Ekstraksi Pelarut	8
2.4. Minyak Jarak Pagar.....	8
2.5. Proses Produksi Biodiesel.....	13
2.5.1. Proses Transesterifikasi	13
2.5.2. Pemurnian Minyak	16
2.6. Fluida	17
2.6.1. Jenis Spindel.....	19
• Concentric Cylinder viscometry	19
• Co-axial Cylinder	19
• Cone and Plate Viscometry	20
• Parallel Plate Viscometry	20
2.6.2. Model Rheology	21
• Model Power Law	21
• Model Herschel-Bulkley	22

2.6.3. Viskositas	23
• Viskositas Tampak	23
• Pengaruh Suhu Terhadap Viskositas	23
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu	25
3.2 Bahan dan Alat	25
3.3 Metode Pengamatan	25
3.4 Prosedur Penelitian	26
3.4.1. Penyiapan Bahan	26
3.4.2. Pengukuran Viskositas Minyak Jarak Mentah	26
3.4.3. Proses Transesterifikasi Minyak Jarak Mentah	27
3.4.4. Pengukuran Viskositas Minyak Jarak	28
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Minyak Jarak Pagar	29
4.2. Proses Transesterifikasi	29
4.3. Kecepatan Spindel	32
4.4. Viskositas.....	36
4.5. Suhu.....	38
V. KESIMPULAN	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Sifat Fisik Minyak Jarak Pagar	8
2.	Type Fluida Berdasarkan Nilai n dan δ_0	22
3.	Kandungan FFA Biodiesel Minyak Jarak Pagar	30

DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Persamaan Reaksi Transesterifikasi	15
2.	Diagram alir proses pembuatan biodiesel dengan katalis basa	16
3.	Hubungan antara Shear Stress-Shear Rate berdasarkan Type Fluida	22
4.	Grafik Hubungan Kec. Spindel (rpm) dan Torque (%) untuk Minyak Murni.....	32
5.	Grafik Hubungan Kec. Spindel (rpm) dan Torque (%) untuk Minyak Hasil Transesterifikasi	33
6.	Grafik Hubungan Kecepatan Spindle (rpm) dan Nilai Torque (dyne-cm) untuk Minyak Murni	34
7.	Grafik Hubungan Kec. Spindel (rpm) dan Torque (dyne-cm) untuk Minyak Hasil Transesterifikasi	35
8.	Grafik Hubungan Viskositas dan Kecepatan Spindel untuk Minyak Jarak Murni	36
9.	Grafik Hubungan Viskositas dan Kecepatan Spindel untuk Minyak Jarak Hasil Transesterifikasi	37
10.	Grafik Hubungan Suhu dan Viskositas pada kecepatan 100 rpm	39
11.	Grafik Persamaan Arrhenius dalam Hubungan Antara <i>App. Viscosity</i> dan Suhu	40



DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
1.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Murni pada Suhu 30 °C	45
2.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Murni pada Suhu 40 °C	45
3.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Murni pada Suhu 60 °C	46
4.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Murni pada Suhu 80 °C	46
5.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 30 °C	47
6.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 40 °C	47
7.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 60 °C	48
8.	Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 80 °C	48
9.	Hasil Regresi Linier untuk Penentuan Nilai Energi Aktivasi untuk Viskositas Minyak Jarak Mentah Pada Kecepatan Putar Spindel 100 rpm.....	49
10.	Hasil Regresi Linier untuk Penentuan Nilai Energi Aktivasi untuk Viskositas Minyak Jarak Mentah Pada Kecepatan Putar Spindel 100 rpm.....	50

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Negara-negara di dunia, termasuk Indonesia mengalami ketergantungan terhadap minyak bumi. Pertambahan jumlah penduduk yang disertai dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat berdampak pada makin meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi dan aktivitas industri. Hal ini tentu saja menyebabkan kebutuhan bahan bakar cair juga semakin meningkat. Para ahli memperkirakan bahwa sekitar 30 tahun ke depan bahan bakar yang berasal dari fosil akan habis, sementara cadangan gas bumi hanya cukup hingga sekitar 50 tahun lagi. Mengingat jumlah pasokan dan cadangan minyak bumi Indonesia semakin berkurang disertai oleh kenaikan harga minyak bumi dunia yang meningkat tajam hingga mencapai level USD 70 per barel maka sudah saatnya dikembangkan sumber energi terbarukan berbahan baku minyak nabati, yaitu biodiesel. Biodiesel dapat digunakan baik secara murni atau dicampur dengan petrodiesel tanpa memerlukan perubahan pada mesin diesel kendaraan atau mesin lain yang menggunakannya. Penggunaan biodiesel juga bersifat ramah lingkungan, dapat diperbaharui (*renewable*), serta mampu mengeliminasi emisi gas buang dan efek rumah kaca.

Salah satu sumber minyak nabati yang sangat prospektif untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel adalah biji jarak pagar (*Jatropha curcas L*). Hal ini dikarenakan minyak jarak pagar tidak termasuk

kategori minyak makan (*edible oil*) sehingga pemanfaatannya sebagai biodiesel tidak akan mengganggu penyediaan kebutuhan minyak makan nasional, kebutuhan industri oleokimia, maupun ekspor CPO. Tanaman jarak pagar merupakan tanaman tahunan yang tahan kekeringan sehingga mampu tumbuh dan berkembang dengan baik di lahan marginal seperti di wilayah Indonesia Timur.

Minyak yang dihasilkan dari jarak pagar sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Sebagai perbandingan, bahan baku minyak diesel merupakan hidrokarbon yang mengandung 8-10 atom karbon per molekul. Sebaiknya hidrokarbon dalam minyak jarak pagar mengandung 16-18 atom karbon permolekul sehingga viskositas minyak jarak lebih tinggi (lebih kental) dan daya pembakarannya sebagai bahan bakar lebih rendah. Kekentalan minyak jarak pagar murni hasil pengepresan adalah sekitar 40 cp. Dengan tingkat pemanasan yang mencapai 70^o C, kekentalan minyak jarak dapat diturunkan hingga mencapai 8-10 cp (Hambali, dkk. 2005).

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat rheologi minyak jarak mentah dan minyak jarak hasil transesterifikasi pada berbagai suhu.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas L*)

Tanaman jarak pagar termasuk famili Euphorbiae, satu famili dengan karet dan ubi kayu. Klasifikasi tanaman jarak pagara adalah sebagai berikut:

Divisi	: Spermatophyta
Subdivisi	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledonae
Ordo	: Euphorbiales
Famili	: Euphorbiaceae
Jenis	: <i>Jatropha</i>
Spesies	: <i>Jatropha curcas</i> linn. (Haryadi, 2005)

Tanaman jarak pagar merupakan tanaman tahunan yang tahan kekeringan. Tanaman ini juga mampu tumbuh dengan cepat dan kuat di lahan yang beriklim panas, tandus, dan berbatu. Wilayah yang cocok sebagai tempat tumbuhnya adalah dataran rendah hingga ketinggian 300 m dpl. Namun, sebaran tumbuh dapat mencapai ketinggian 1.000 m dpl dengan temperatur tahunan sekitar 18,0-28,5 °C (Hambali, dkk, 2005).

Semua bagian tanaman jarak pagar ini berguna. Daunnya untuk makanan ulat sutera, antiseptic, dan antiradang, sedangkan getahnya untuk penyembuhan luka dan pengobatan lain. Yang paling tinggi manfaatnya adalah daging buahnya bias untuk pupuk hijau dan produksi gas, sementara bijinya untuk pakan ternak (dari varietas tak beracun) dan

yang pengujian sudah terbukti adalah untuk bahan bakar pengganti minyak diesel (solar) dan minyak tanah (Manurung, 2005).

2.2. Pemanenan Buah

Pemanenan buah merupakan kegiatan penting dalam agribisnis tanaman jarak pagar agar diperoleh kualitas hasil yang baik. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemanenan buah jarak pagar antara lain kriteria panen, teknik pemanenan, pengeringan dan penyimpanan biji (Prawitasari, 2005).

2.2.1. Kriteria Panen

Pemanenan buah dilakukan setelah biji masak, yaitu sekitar 90 hari setelah terjadi pembungaan. Biji masak dicirikan dengan kulit buah berubah dari hijau muda menjadi kuning kecoklatan atau hitam mengering. Ciri lainnya yaitu kulit buah terbuka sebagian secara alami. Ketika kulit buah membuka berarti biji dibagian dalam telah masak (Qazuini, 2005).

Panen yang dilakukan lebih awal akan menurunkan kandungan minyak. Sementara bila panen terlambat dapat menyebabkan buah pecah sehingga banyak biji yang berjatuhan ke tanah (Prawitasari, 2005).

2.2.2. Teknik Pemanenan

Teknik pemanenan dapat dilakukan dengan mengguncang atau memukul dahan berulang-ulang hingga buah terlepas dari dahan dan jatuh, kemudian dikumpulkan. Namun cara ini kurang efektif. Teknik pengumpulan yang lebih baik adalah dengan memetik buah secara langsung dari dahan. Tingkat kemasakan buah dalam satu malai (tros)

tidak bersamaan. Pemanenan yang dilakukan per buah menjadi tidak efektif dan memerlukan biaya yang tinggi. Oleh karena itu umumnya panen dilakukan per malai dengan syarat 50% buah per malai sudah mengering (masak fisiologis). Pemanenan dilakukan dengan menggunakan pisau tajam. Tangkai malai di bawah buah dipotong. Untuk pohon yang tinggi pemanenan buah dilakukan dengan menggunakan alat Bantu berupa galah (Prawitasari, 2005).

2.2.3. Pengeringan Buah dan Biji

Pengeringan dilakukan dengan cara buah jarak di jemur ditempat yang teduh bila biji jarak tersebut akan dijadikan benih. Untuk tujuan pembibitan, penjemuran tidak boleh dilakukan dibawah sinar matahari langsung. Hal ini dikarenakan terpaan sinar matahari langsung berdampak negatif terhadap kelangsungan hidup biji. Bila buah jarak ditujukan untuk diambil minyaknya, penjemuran dapat dilakukan dibawah sinar matahari langsung. Buah jarak dikeringkan hingga semua buah terbuka dengan sendirinya. Setelah buah jarak terbuka semua, selanjutnya biji dikeluarkan dari cangkang buah dan dibersihkan. Biji jarak kembali dijemur selama 1 hari. Bila kurang kering, biji mudah bercendawan dan cepat rusak. Biji jarak harus dikeringkan hingga kandungan airnya mencapai 5-7%. Kualitas minyak jarak dipengaruhi oleh kadar air dan asam lemak bebas. Yang bermutu top, kadar keduanya kurang dari 1% (Wirahadi, 2006).

2.2.4. Penyimpanan Biji

Biji jarak yang telah mencapai kadar air sekitar 5 – 7 % sebaiknya segera disimpan. Biji jarak yang telah kering disimpan dalam karung plastik. Penyimpanan dilakukan digudang yang kering dan tidak terkena sinar matahari langsung serta penumpukan karung tidak bersinggungan dengan lantai. Pada penyimpanan di suhu ruang, kelangsungan hidup biji jarak dengan tujuan pembibitan dapat dipertahankan sekitar hingga satu tahun, tetapi disarankan lama penyimpanan biji untuk tujuan pembibitan sekitar dua bulan. Mengingat biji jarak memiliki kandungan minyak yang cukup tinggi maka penyimpanan biji tidak boleh dilakukan dalam waktu yang lama. Bila memungkinkan, biji jarak yang telah dikeringkan harus segera dioleh (Prawitasari, 2005).

2.3. Ekstraksi Minyak biji Jarak Pagar

Tanaman jarak pagar menghasilkan biji yang terdiri dari 60% berat kernel (daging biji) dan sekitar 40% berat kulir. Inti biji (kernel) jarak pagar mengandung sekitar 50 % minyak sehingga dapat diekstrak menjadi minyak jarak dengan cara mekanis maupun ekstraksi pelarut seperti heksan. Minyak jarak pagar merupakan jenis minyak yang memiliki komposisi trigliserida yang mirip dengan minyak kacang tanah. Tidak jarak kaliki (*Ricinus communis*), kandungan asam lemak esensial dalam minyak jarak pagar cukup tinggi sehingga sebenarnya dapat dikonsumsi sebagai minyak makan, asalkan toksin yang berupa phorbol ester dan curcin dapat dihilangkan (Purnama, 2005).



Menurut Ketaren (1986), ekstraksi adalah suatu cara untuk mendapatkan minyak atau lemak dari bahan yang diduga mengandung minyak atau lemak. Adapun ekstraksi bermacam-macam yaitu: rendering, pengepresan mekanis dan ekstraksi dengan menggunakan pelarut.

2.3.1. Pengepresan Mekanis

Pengepresan mekanis merupakan cara pemisahan minyak dari bahan biji-bijian. Cara ini paling sesuai untuk memisahkan minyak dari bahan yang kadar minyaknya tinggi yaitu 30-70%. Dua cara yang umum digunakan pada pengepresan mekanis biji jarak yaitu pengepresan hidrolis (hydraulic pressing) dan pengepresan berulir (*screw pressing*) (Ketaren 1986).

- Pengepresan Hidrolis (*hydraulic pressing*)

Pengepresan hidrolis adalah pengepresan dengan menggunakan tekanan. Tekanan dapat digunakan sekitar 140,6 kg/cm. Besarnya tekanan akan mempengaruhi minyak yang dihasilkan (Darsam dan K.M. Afandi, 1991).

- Pengepresan Berulir (*screw pressing*)

Pres berulir yang digerakkan oleh tenaga motor. Hasil ekstraksi masih terdapat sebagian ampas bahan, sehingga perlu dipisahkan lagi dengan cara lain. Salah satu kelebihan pengepresan berulir adalah proses dapat dilakukan dengan kontinu sehingga kapasitas lebih besar (Darsam dan K.M. Afandi, 1991).

2.3.2. Kombinasi Pengepresan Mekanis Dengan Ekstraksi Pelarut

Teknik pengepresan mekanis juga dapat dikombinasikan dengan teknik ekstraksi menggunakan pelarut. Walaupun mutu yang dihasilkan bila menggunakan metode ekstraksi dengan pelarut cukup bagus, tetapi dari segi biaya produksi sangat mahal (Irwanto, 1979).

2.4. Minyak Jarak Pagar

Tanaman jarak pagar menghasilkan biji yang memiliki kandungan minyak cukup tinggi, yaitu sekitar 30-50%. Minyak yang dihasilkan dari jarak pagar sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Sebagai perbandingan, bahan baku minyak diesel adalah hidrokarbon yang mengandung 8-10 atom karbon per molekul. Sementara hidrokarbon yang terkandung pada minyak jarak pagar adalah 16-18 atom karbon permolekul sehingga viskositas minyak jarak lebih tinggi (lebih kental) dan daya pembakarannya sebagai bahan bakar masih lebih rendah (William, 1996).

Tabel 1. Sifat Fisik minyak Jarak Pagar

Sifat fisik	Satuan	Nilai
Titik nyala (Flash point)	$^{\circ}\text{C}$	236
Densitas pada 15°C (Density at 15°C)	g/cm^3	0.9177
Viskositas pada 30°C (Viscosity at 30°C)	mm^2/s	49.15
Residu karbon (Carbon residue (on 10% distillation residue))	$\%(\text{m}/\text{m})$	0.34
Kadar abu sulfat (Sulfated ash content)	$\%(\text{m}/\text{m})$	0.007
Titik Tuang (Pour point)	$^{\circ}\text{C}$	-2,5
Kadar air (water content)	ppm	935
Kadar sulfur (Sulfur content)	ppm	< 1
Bilangan asam (Acid value)	Mg KOH/g	4,75
Bilangan iod (iodine value)	g iod/100 dg minyak	96,5

Sumber: Gubitzi, et al., 1999

Minyak jarak memiliki keistimewaan yang sangat banyak yaitu, tidak berubah sifat (dalam suhu panas maupun dingin bahkan sampai -17° C. sifat spesifik lain minyak ini, banyak dipakai sebagai bahan industri karena gugusan hidroksil yang letaknya dekat dengan ikatan rangkap. Keistimewaan lainnya, sebagian besar asam lemaknya tidak jenuh. Asam lemak yang ikut menyusun trigliserida minyak jarak adalah palmiat (2%), stearat (1%), oleat(7%), linoleat (4,5-5%) dan risinoleat (85-95%) (Qazuini, 2005).

Minyak jarak pagar mentah terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak. Sebuah proses tranesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Viskositas dari minyak jarak juga lebih tinggi dibandingkan dengan solar, dan daya pembakarannya sebagai bahan bakar masih rendah. Oleh karena itu, agar minyak jarak dapat digunakan sebagai bahan bakar (biodiesel) maka perlu dilakukan proses tranesterifikasi. Proses ini akan mengubah trigliserida menjadi metil ester (biodiesel) dan gliserin. Transesterifikasi bertujuan untuk menurunkan viskositas minyak jarak pagar dan meningkatkan daya pembakarannya sehingga dapat digunakan sesuai standar minyak diesel untuk kendaraan bermotor (Hambali, 2005).

Penggunaan minyak nabati secara langsung sebagai bahan baker untuk mesin diesel mempunyai kendala terutama berkaitan dengan sifat-sifat minyak nabati yaitu viskositas tinggi, volatilitas rendah dan

mengandung senyawa tak jenuh / berikatan rangkap lebih dari satu (*polyunsaturated*). Sifat-sifat ini dapat diperbaiki dengan beberapa cara yaitu pirolisis, mikroemulsifikasi, pencampuran, dan transesterifikasi (Srivastava dan Prasad, 2000). Diantara ke empat proses tersebut hanya transesterifikasi yang menghasilkan produk yang dikenal dengan nama biodiesel (Knothe, 2005).

Bila dibandingkan dengan bahan bakar diesel/solar, biodiesel bersifat ramah lingkungan, dan memiliki sifat pelumasan terhadap piston mesin karena termasuk kelompok minyak tidak mongering. Meski aman digunakan minyak jarak (*Jatropha oil*) ternyata tidak bisa sepenuhnya diinjeksikan ke kendaraan bermesin diesel sebagai bahan pengganti solar. Peralnya, minyak dari tumbuhan yang banyak tumbuh di bumi pertiwi ini memiliki kekentalan melampaui solar. Kekentalan minyak jarak murni hasil pengepresan adalah sekitar 40 cp. Sedangkan kekentalan minyak solar yang banyak dijual di SPBU sekitar 2-8 cp. Dengan tingkat pemanasan yang mencapai 70⁰C, kekentalan minyak jarak dapat diturunkan hingga 90% lebih, yaitu mencapai angka 8-10 cp. Dengan demikian, semakin tinggi tingkat pemanasannya, semakin turun juga tingkat kekentalan minyak jarak tersebut (Priyanto, 2005).

Pemanfaatan minyak jarak pagar (CJO) sebagai bahan baku dalam pelumas memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan penggunaan minyak bumi. Minyak bumi merupakan minyak hasil turunan dari proses destilasi petroleum, yang tidak mudah disabunkan

(*nonsaponible*), tidak mempunyai kombinasi asam lemak dan ketika dimurnikan tidak teroksidasi membentuk gum. Dengan memiliki viskositas yang luas, koefisien gesek rendah, daya hantar panas yang efektif, serta volume persediaan yang cukup besar dan harga relative lebih murah, pelumas dari minyak bumi digunakan oleh hampir semua sektor industri manufaktur di Indonesia maupun Negara-negara lainnya. Meskipun demikian, kelemahan dari penggunaan minyak bumi sebagai bahan baku dalam memproduksi pelumas adalah kemampuannya membasahi logam hanya terbatas pada suhu tertentu (tidak lebih dari 200 °C) dan daya pelumas biasanya berkurang pada suhu yang lebih tinggi, serta sukar membentuk emulsi dengan air (Gumbira, 2004).

Cloud point adalah temperatur pada saat bahan bakar mulai tampak "berawan" (*cloudy*). Hal ini timbul karena munculnya kristal-kristal (padatan) di dalam bahan bakar. Meski bahan bakar masih bisa mengalir pada titik ini, keberadaan kristal dalam bahan bakar di dalam filter, pompa, dan injector. Sedangkan *pour point* adalah temperatur terendah yang masih memungkinkan terjadinya aliran bahan bakar. Dibawah *pour point* bahan bakar tidak lagi bisa mengalir karena terbentuknya kristal/gel yang menyumbat aliran bahan bakar.

Kecepatan alir bahan bakar melalui injektor akan mempengaruhi derajat atomisasi bahan bakar di dalam ruang bakar. Selain itu, viskositas bahan bakar juga berpengaruh langsung terhadap kemampuan bahan bakar tersebut bercampur dengan udara. Dengan demikian, viskositas

bahan bakar yang tinggi seperti minyak jarak pagar tidak diharapkan pada bahan bakar mesin diesel. Oleh karena itulah penggunaan minyak jarak pagar secara langsung pada mesin diesel menuntut digunakannya mekanisme pemanas bahan bakar sebelum memasuki system pompa dan injeksi bahan bakar (Bernando, 2003).

Namun demikian, kelemahan-kelemahan tersebut dapat diatasi melalui penggunaan minyak nabati dan hewani, karena dengan karakteristik atom-atom unsur pembentukannya yang memiliki gugus polar dan ikatan rangkap, pelumas menjadi mudah mengalir pada plat yang bersuhu tinggi, serta mudah membentuk emulsi jika dibubuhi emulsifier. Emulsi yang terbentuk relative tinggi, sehingga mampu melakat pada bidang logam basah atau lembab. Hal tersebut mengakibatkan penggunaan minyak nabati dan hewani berprospek baik dimasa depan, karena kemampuannya dalam memenuhi fungsi pelumasan (mampu menurunkan gesekan diantara bagian-bagian mesin atau plat logam yang bergerak), fungsi pendinginan (membantu meratakan penyebaran panas yang timbul dari bagian yang kritis), fungsi pembersihan dan pelarutan, serta fungsi proteksi atau perlindungan (mencegah kerusakan logam yang ditujukan untuk oksidasi dan korosi) memiliki tingkat kemampuan yang hamper sama baiknya dengan pelumas yang dihasilkan dari minyak bumi. Meskipun demikian, pemanfaatan minyak jarak sebagai salah satu minyak nabati juga memiliki kelemahan, karena mudah menghasilkan senyawa polimer pada suhu tinggi akibat mengandung asam lemak tak jenuh yang

bersifat labil dan mudah teroksidasi membentuk senyawa-senyawa dengan bobot molekul rendah (aldehida dan keton). Hal tersebut ditandai dengan warna pelumas menjadi lebih gelap, peningkatan berbobot jenis, serta penurunan nilai viskositas dan daya lumas (Gumbira, 2004).

Secara teknis, biodiesel memiliki kinerja yang lebih baik daripada solar. Solar yang dicampur biodiesel memberikan angka cetane yang lebih tinggi hingga 64. Sebagai perbandingan, solar biasa memberikan angka cetane 48 sedangkan Pertamina DEX (*Diesel Environment Ekstra*) 53. Semakin tinggi angka cetane, semakin aman emisi gas buangnya. Pemakaian biodiesel juga tidak memerlukan modifikasi mesin, berfungsi sebagai pelumas sekaligus membersihkan injektor, serta dapat mengurangi emisi karbondioksida, partikulat berbahaya dan sulfur oksida (Giwangkara, 2006).

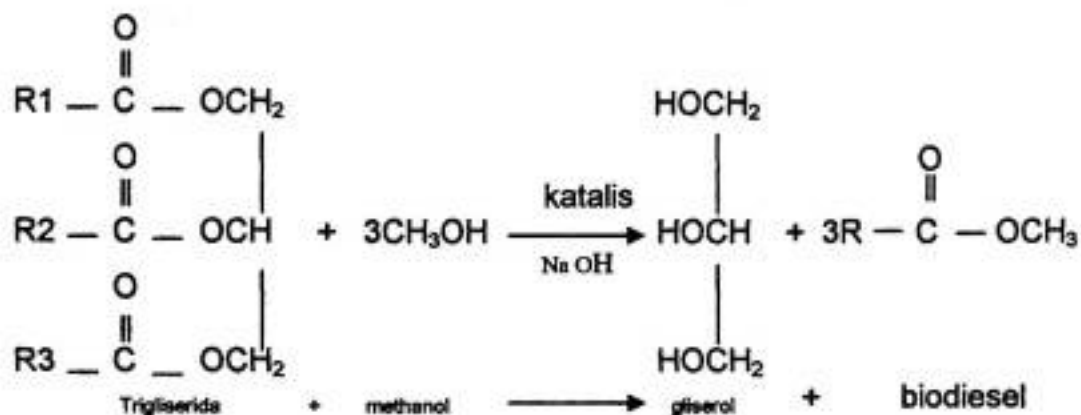
2.5. Proses Produksi Biodiesel

2.5.1. Proses Transesterifikasi

Minyak nabati mengandung 90-98% trigliserida sebagai komponen utamanya dan sejumlah kecil mono dan digliserida. Trigliserida adalah ester dari tiga asam lemak rantai panjang (8-22 atom karbon) yang terikat pada gugus gliserol. Asam lemak dibedakan berdasarkan panjang rantai karbon dan jumlah ikatan rangkapnya. Pada minyak nabati terkandung ada lima jenis asam lemak yang terkandung di dalamnya yaitu oleat ($C_{18}H_{34}O_2$), stearat ($C_{18}H_{36}O_2$), palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$), linoleat ($C_{18}H_{32}O_2$), linolenat ($C_{18}H_{30}O_2$), asam lemak jenis lainnya ada dalam jumlah yang sangat kecil.

Jika asam lemak terlepas dari trigliseridanya maka akan menjadi asam lemak bebas. Kandungan FFA dalam minyak nabati umumnya 1,5%, namun ada juga yang lebih besar dari 5% bergantung pada jenis minyak dan cara pengolahannya (Anonim, 2006).

Metil ester (Biodiesel) dari minyak jarak pagar dapat dihasilkan melalui proses transesterifikasi trigliserida dari minyak jarak. Pada umumnya alkohol dengan atom C lebih sedikit mempunyai kereaktifan yang lebih tinggi daripada alkohol dengan atom C yang lebih banyak (Kirk and Othmer, 1980) sehingga dalam proses ini dipilih methanol karena merupakan alkohol yang paling reaktif. Transesterifikasi adalah penggantian gugus alkohol dari ester dengan alkohol lain dalam suatu proses yang menyerupai hidrolis. Namun berbeda dengan hidrolis, pada proses transesterifikasi bahan yang digunakan bukan air melainkan alkohol. Umumnya katalis yang digunakan adalah NaOH atau KOH. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi yang bersifat *reversible*. Karena sifatnya *reversible*, maka pergeseran ke kanan (kearah produk) biasanya dilakukan dengan alkohol secara berlebih dari kesetimbangan stoikiometri. Dalam reaksi alkoholis, alkohol bereaksi dengan ester dan menghasilkan ester baru. Pada proses transesterifikasi terjadi pemutusan ikatan rangkap atom C yang dapat menurunkan kadar viskositas dari minyak nabati (Anonim, 2006).



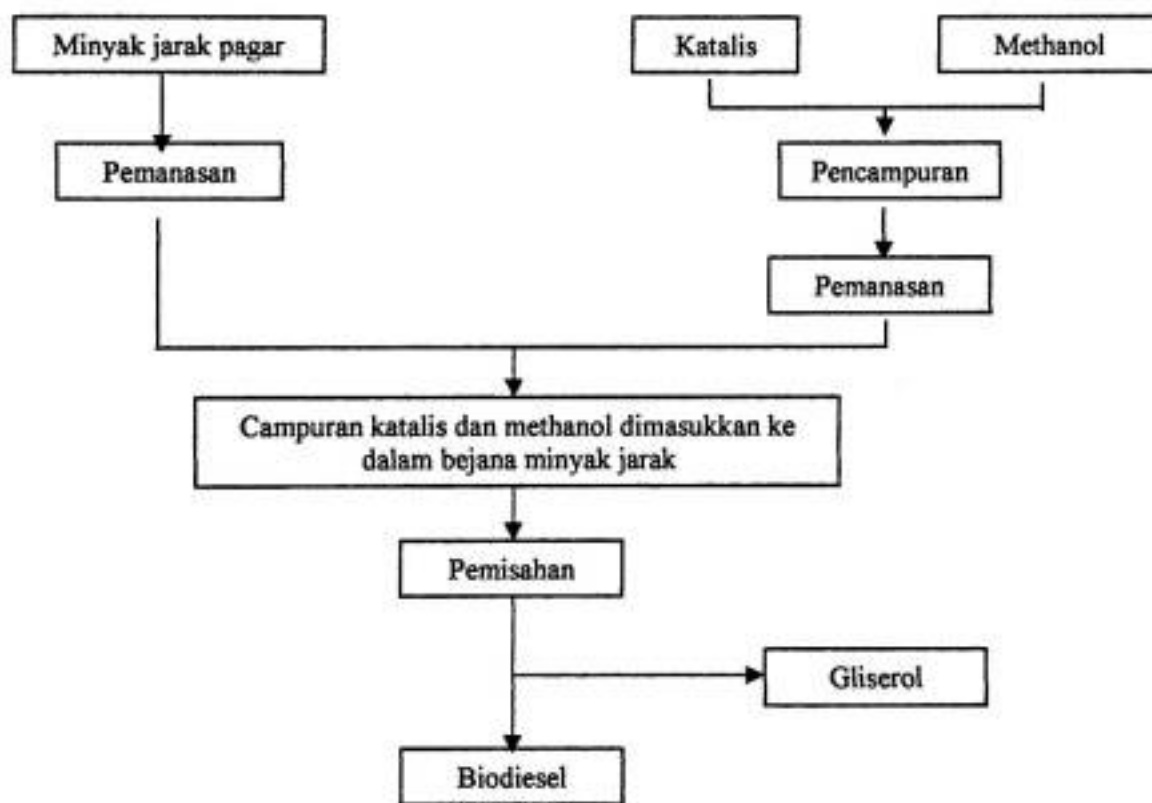
Gambar 1. Persamaan reaksi Transesterifikasi
R1, R2, R3 : hidrokarbon rantai panjang dari asam lemak

Faktor utama yang mempengaruhi rendemen ester yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi adalah rasio molar antara trigliserida dan alkohol, jenis katalis yang digunakan, suhu reaksi, waktu reaksi, kandungan air dan kandungan asam lemak bebas pada bahan baku yang dapat menghambat reaksi. Faktor lain yang mempengaruhi kandungan ester pada biosiesel, diantaranya kandungan gliserol, jenis alkohol yang digunakan pada reaksi transesterifikasi, jumlah katalis sisa, dan kandungan sabun (Hambali, dkk., 2005).

Proses produksi biodiesel skala laboratorium, reaktan yang digunakan dapat berupa methanol ataupun etanol. Jenis katalis yang digunakan adalah KOH dan NaOH. Apabila reaktannya methanol, maka perbandingan antara trigliserida dan methanol yang dipakai adalah 10:1. katalis yang digunakan adalah KOH 1,3%. Proses pembuatan diawali dengan mengisi bejana dengan minyak jarak dan dipanaskan pada suhu 50-55^oC. Katalis (KOH) dilarutkan dalam methanol pada bejana yang



berbeda. Campuran katalis dan methanol dimasukkan kedalam bejana minyak jarak. Untuk menghindari terjadinya penguapan matanol, campuran katalis dan methanol dimasukkan langsung pada bagian bawah bejana minyak jarak. Metil ester (biodiesel) sudah dapat diperoleh setelah 30 menit dan dapat dipisahkan dari gliserol yang terbentuk setelah didiamkan selama 24 jam (Hambali, dkk., 2005).



Gambar 2. Diagram alir proses pembuatan biodiesel dengan katalis basa

2.5.2. Pemurnian Minyak

Tujuan utama proses pemurnian minyak adalah untuk menghilangkan rasa dan bau yang tidak enak, mencegah timbulnya warna yang tidak menarik, serta memperpanjang masa simpan minyak sebelum digunakan. Pada proses pembuatan minyak biodiesel dari minyak jarak,

minyak perlu dimurnikan terlebih dahulu untuk menghilangkan senyawa pengotor yang terkandung dalam minyak jarak kasar. Senyawa pengotor yang masih terkandung di dalam minyak jarak dapat menyebabkan rendahnya kualitas biodiesel yang dihasilkan sehingga mesin tidak dapat berjalan dengan baik bahkan dapat merusak bagian alat pada mesin diesel (Khumi, 1982).

2.6. Fluida

Fluida adalah zat yang dapat berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan, dan gaya ini dibagi dengan luas permukaan tersebut adalah tegangan geser rata-rata pada permukaan itu. Tegangan geser pada suatu titik adalah nilai batas perbandingan gaya geser dengan berkurangnya luas hingga menjadi titik tersebut (Streeter, 1985).

Bahan yang bukan fluida tidak dapat memenuhi definisi fluida. Bahan plastic akan berubah bentuk sejumlah tertentu yang sebanding dengan gaya, tetapi secara kontinu bila tegangan yang diterapkan itu lebih rendah daripada tegangan geser serahnya. Hampa sempurna diantara pelat-pelat akan mengakibatkan perubahan bentuk dengan laju yang semakin meningkat. Jika pasir ditempatkan diantara kedua plat tersebut, maka gesekan Coloumb akan memerlukan gaya yang terhingga untuk menghasilkan gesekan yang kontinu. Maka, plastic dan zat padat tidak termasuk klasifikasi fluida (Streeter, 1985).

Fluida diklasifikasikan sebagai fluida *Newtonian* dan fluida *Non-Newtonian*. Dalam fluida *Newtonian* terdapat hubungan linear antara besarnya *tegangan geser (Shear Stress)* yang diterapkan dan *laju perubahan bentuk (Shear Rate)* yang diakibatkan.

Adapun persamaan untuk hubungan μ disebut viskositas dinamik (Pers. 1)

$$\delta = -\eta \dot{\gamma} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dalam fluida *Non-Newtonian* terdapat hubungan yang tidak linear antara besarnya *tegangan geser (Shear Stress)* yang diterapkan dengan *laju perubahan bentuk sudut (Shear rate)*. Suatu *Plastic Ideal (Bingham Plastic)* mempunyai *tegangan serah (Yield Stress)* tertentu dan hubungan linear yang konstan antara δ dan $\dot{\gamma}$. Suatu *zat tiksotropik (Dilatant-Fluids)*, seperti tinta cetak mempunyai viskositas yang tergantung pada perubahan bentuk sudut zat langsung sebelumnya dan mempunyai kecenderungan untuk mengental bila tidak bergerak. Suatu zat yang mempunyai *tegangan serah (Yield Stress)* tertentu dan hubungan tak linear antara δ dan $\dot{\gamma}$ membentuk kurva cembung, zat tersebut dikenal sebagai *Casson-type plastic*. Sifat yang lazim dimiliki oleh fluida yaitu *Pseudoplastic*. Zat ini merupakan zat yang terdapat hubungan tak linear antara δ dan $\dot{\gamma}$, dimana hubungan tersebut membentuk kurva cembung (Sharma, 2000).

Parameter sifat rheologi pada fluida non-Newtonian dapat diperkirakan dari hubungan antara *shear stress* dan *shear rate* dengan menggunakan *rotational viskometer*, seperti viskometer Brookfield LV, RV,

atau DV. Operasi parameter dari viskometer juga ditentukan oleh jenis spindel yang digunakan. (Brookfield, 2007)

2.6.1. Jenis Spindel

- *Concentric Cylinder viscometry* (Steffe, 1996)

Concentric cylinder viscometer merupakan salah satu jenis viskometer yang umum digunakan untuk menentukan nilai dari *shear rate*.

Adapun nilai *shear rate* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{\gamma} = \frac{2\omega Rc^2 Rb^2}{(Rc^2 - Rb^2)} (\text{sec}^{-1}) \dots \dots \dots (2)$$

Nilai *shear stress* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = \frac{M}{2\pi Rb^2 L} (\text{dyne/cm}^2) \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

M = nilai torque (7187 x % Torque x 0.01) (dyne/cm²)

ω = kecepatan sudut $\left(\frac{2\pi}{60}\right)N$ N = rpm

Rb = jari-jari spindel (cm)

Rc = jari-jari wadah (cm)

L = panjang spindel (cm) (Heldman, 1975).

- *Co-axial Cylinder* (Steffe, 1996)

Coaxial cylinder dapat ditemukan pada jenis *UL Adapter, Small Sample Adapter, Sistem Thermosel, DIN Adapter, Spiral Adapter* dan *PVS Rheometer*.

Adapun nilai *shear rate* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{2Rc^2}{Rc^2 - Rb^2} \right) \omega \text{ (sec}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (4)$$

Nilai *shear stress* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = \frac{M}{2\pi R^2 b L} \text{ (dyne/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (5)$$

- *Cone and Plate Viscometry* (Steffe, 1996)

Menggunakan peralatan *Cone and Plate Viscometer*, nilai *shear stress* dan *shear rate* biasanya membentuk kurva yang tepat karena perhitungannya cukup sederhana.

Adapun nilai *shear rate* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{\gamma} = \frac{\omega}{\tan \theta} \text{ (sec}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (6)$$

Nilai *shear stress* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = \frac{3M}{2\pi r^3} \text{ (dyne/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

θ = sudut cone ($^\circ$)

r = jari-jari cone (cm)

- *Parallel Plate Viscometry* (Steffe, 1996)

Parallel Plate Viscometer terdiri dari dua disk dengan jari-jari r dan dibatasi dengan celah (*gap*) h.

Adapun nilai *shear rate* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{\gamma} = \frac{\omega r}{h} \text{ (sec}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (8)$$

Nilai *shear stress* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = \frac{3M}{2\pi r^3} \left[1 + \frac{1}{3} \frac{d \ln M}{d \ln \gamma} \right] \text{ (dyne/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

r = jari-jari spindel (cm)

h = *gap* (cm)

2.6.2. Model Rheology

- *Model Power law*

Banyak model *rheology* yang digunakan untuk menggambarkan bahan pada saat mengalir dan mengalami perubahan bentuk. Dalam banyak kasus, kurva antara tegangan geser (δ) dan laju perubahan bentuk ($\dot{\gamma}$) untuk kurva bahan *pseudoplastic* dan *dilatant-fluid* dapat digambarkan dengan menggunakan model sederhana *power-law* pada persamaan berikut:

$$\delta = m \dot{\gamma}^n \dots\dots\dots (10)$$

$$\text{Log } \delta = \text{log } m + n \text{ log } \dot{\gamma} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

m = Koefisien Ketetapan (Pa sⁿ)

n = Indeks sifat aliran (Unit)

Fluida *Newtonian* merupakan masalah utama dalam model ini. Dimana n =1 dan m adalah viskositas dinamik. Jika n < 1, fluida disebut *pseudoplastic*. Jika n > 1, fluida disebut sebagai *dilatant* (Sharma, et al., 2000).

- *Model Herschel-Bulkley*

Didalam model *Herschel-Bulkley* (Pers. 3), faktor tegangan serah (τ_0) sering ditambahkan untuk menggambarkan sifat *Casson-type plastic*:

$$\delta = m \dot{\gamma}^n + \delta_0 \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{Log } \delta = \text{log } m + n \text{ log } \dot{\gamma} + \delta_0 \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

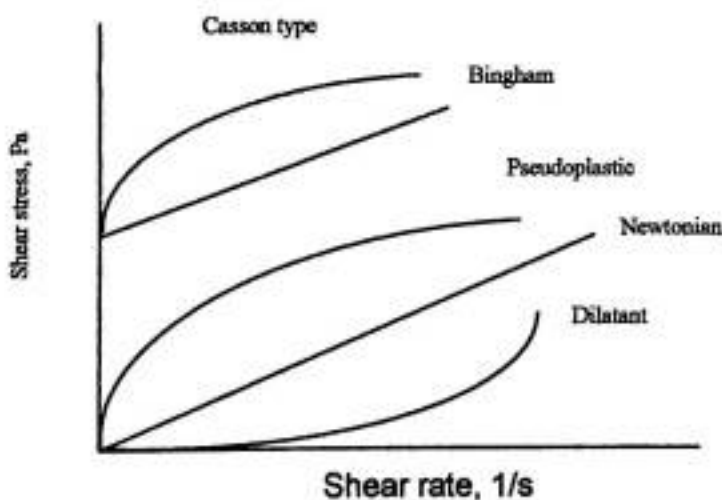
m = Koefisien Ketetapan (Pa s^n)

n = Indeks sifat aliran (Unit)

δ_0 = Tegangan serah (dyne/cm^2)

Tabel 2. Type fluida berdasarkan nilai n dan δ_0

n	δ_0	Type fluida
1	0	Newtonian
1	$\neq 0$	Bingham
< 1	0	Pseudoplastic
> 1	0	Dilatant
< 1	$\neq 0$	Casson-type fluida



Gambar 3. Hubungan antara shear stress-shear rate

2.6.3. Viskositas

- Viskositas tampak

Informasi tambahan dapat diperoleh dari *basic shear* (shear stress-shear rate) pada Gambar 1. dan persamaan yang menunjukkan data didalamnya. Tegangan serah (τ_0), jika ada, dapat dibaca pada Gambar 1. viskositas tampak dapat dihitung pada keadaan laju perubahan bentuk (*Shear rate*) tertentu.

Dimana dapat dilihat pada persamaan:

$$\eta_0 = \frac{\delta}{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots (14)$$

Dimana δ adalah *shear stress* yang berhubungan dengan *shear rate*. η_0 merupakan parameter penting dalam mempelajari perubahan bentuk fluida menjadi encer, yang mana nilai viskositas yang dimiliki terbatas pada nilai shear-rate yang rendah (Rao, 1999).

- Pengaruh suhu terhadap viskositas

Viskositas pada fluida dapat menurun dengan adanya peningkatan suhu. Untuk beberapa produk biologi, pengaruh suhu terhadap viskositas dapat digambarkan dengan *persamaan Arrhenius*,

seperti yang ditunjukkan pada persamaan:

$$\eta_T = \eta_0 \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right) \dots\dots\dots (15)$$

Atau

$$\eta_T = K \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right) \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

η_T = Viskositas (mPa s)

η_0 = Viskositas pada suhu tertentu (mPa s)

Ea = Penambahan Energi (J mol⁻¹)

R = Gas Konstan (8.314)(J mol⁻¹ K⁻¹)

T = Suhu (°K) (Rao, 1999).

Viskositas fluida diukur dari tahanannya untuk mengalir atau gesekan dalamnya. Viskositas suatu minyak dinyatakan oleh jumlah detik yang digunakan oleh volume tertentu dari minyak untuk mengalir melalui lubang diameter kecil tertentu. Makin rendah jumlah detiknya, berarti makin rendah viskositasnya. Alat yang digunakan di Amerika Serikat untuk menentukan viskositas minyak adalah *viskosimeter Saybolt* dan *orifis universal*. Seluruh faktor pelumasan, gesekan antara bagian yang bergerak, keausannya, dan kebocorannya dipengaruhi oleh viskositasnya (Bosch, 1978).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-April 2007. Di laboratorium Energi Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian dan Laboratorium Pengolahan Pangan, Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Hasanuddin.

3.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji jarak, air, methanol, dan NaOH

Alat yang digunakan adalah blender, pengukus (steam), alat pengepres hidrolis, kain saring, *water-bath*, gelas ukur, gelas piala 2L, gelas piala 500ml, *magnetic stirrer*, aluminium foil, viskometer DV-E, spindel #2, thermometer, dan alat tulis menulis.

3.3. Metode Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan adalah mengukur viskositas minyak jarak pada berbagai suhu serta memperhatikan pengaruh suhu terhadap sifat minyak jarak itu sendiri.

Pengamatan dilakukan dengan 2 sampel yaitu minyak jarak murni dan minyak jarak yang telah melalui proses transesterifikasi (*crude biodiesel*). Proses transesterifikasi adalah proses yang digunakan untuk

mengubah minyak dasar menjadi biodiesel dan membuang asam lemak bebas (*gliserol*)

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Penyiapan Bahan

1. Menyiapkan buah jarak pagar \pm sebanyak 48 kg.
2. Mengeringkan jarak pagar tersebut di bawah sinar matahari langsung, hingga semua buah terbuka sendirinya.
3. Biji dikeluarkan dari cangkang lalu dibersihkan.
4. Biji jarak dijemur kembali selama 1 hari di bawah sinar matahari langsung. Berat biji jarak yang digunakan sekitar 8,3 kg.
5. Biji jarak yang telah kering, kulit bijinya dibuka dan kernelnya dikeluarkan.
6. Setelah itu dilakukan pengukusan selama \pm 30 menit kemudian dipress dengan menggunakan alat pengepres hidrolik. Tujuan pengukusan disini adalah untuk mengumpulkan protein yang ada pada biji, dan agar pengepresan lebih optimal.
7. Biji yang telah dikempa menghasilkan minyak jarak mumi dan bungkil. Volume minyak mentah yang dihasilkan \pm 2600 ml.

3.4.2. Pengukuran Viskositas Minyak Jarak Mentah

1. Menyiapkan 3 buah gelas ukur dan menuangkan sekitar 300 ml minyak jarak mentah tersebut ke dalam masing-masing gelas ukur.
2. Mengukur sifat viskositas minyak jarak mentah pada suhu 25°C.

3. Semua gelas ukur yang berisi minyak dimasukkan ke dalam water-bath yang suhunya telah dikontrol dan dipertahankan pada suhu 40°C.
4. Viskositas minyak jarak di dalam gelas ukur diukur dengan cepat sehingga suhu minyak tetap.
5. Setelah semua minyak jarak tersebut telah diukur viskositasnya pada suhu yang telah ditetapkan, gelas ukur yang berisi minyak jarak dimasukkan kembali ke dalam *water-bath* dan suhu *waterbath* diubah (menjadi 60°C dan 80°C).
6. Mengulangi prosedur 4, dan 5 Menentukan hubungan antara suhu dan viskositas dari minyak jarak dengan menggunakan persamaan

Arhenius
$$\eta_r = K \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right) \dots\dots\dots (16)$$

$$\text{Log } \eta_r = \text{Log } K + \frac{Ea}{2.303} \cdot \frac{1}{T} \dots\dots\dots (16b)$$

7. Setelah pengukuran viskositas minyak mentah selesai, proses transesterifikasi kemudian dilakukan

3.4.3. Proses Transesterifikasi Minyak Jarak Mentah

1. Pada proses transesterifikasi skala laboratorium, reaktan yang digunakan adalah Metanol. Dan katalisnya yaitu NaOH
2. Apabila reaktannya Methanol maka perbandingan antara trigliserida dan methanol yang dipakai adalah 10:1. Katalis yang digunakan adalah NaOH 0.35% berdasarkan bobot minyak yang akan diproses.
3. Mula-mula minyak mentah dipanaskan dalam gelas piala berpengaduk sampai temperatur ± 55-60 °C



4. Pengadukan dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* atau motor pengaduk dengan laju pengadukan 110-150 rpm
5. Katalis NaOH dilarutkan dalam methanol pada bejana yang berbeda.
6. Campuran katalis dan methanol dimasukkan ke dalam bejana minyak jarak. Kemudian diaduk sampai larutan terlihat homogen.
7. Minyak jarak yang telah melau proses transesterifikasi, selanjutnya dimasukkan ke dalam bejana corong pemisah. Hal ini bertujuan agar metil ester dan gliserol lebih mudah dipisahkan.
8. Minyak jarak yang telah ditransesterifikasi sudah dapat diperoleh setelah 30 menit dan dapat dipisahkan dari gliserol yang terbentuk setelah didiamkan selama 24 jam.
9. Gliserol berada pada lapisan atas dari larutan, sedangkan metil ester berada pada bagian bawah larutan.

3.4.4. Pengukuran Viskositas Minyak Jarak

Untuk prosedur pengukuran viskositas minyak jarak hasil transesterifikasi, tahapnya sama dengan prosedur pada pengukuran minyak jarak mentah.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Minyak Jarak Pagar

Dalam penelitian ini, volume minyak jarak pagar yang dihasilkan dari pengepresan secara hidrolik \pm 2600 ml dari jumlah berat biji \pm 8,3 kg. Hal ini sesuai dengan pendapat Hambali, dkk(2005) yang menyatakan bahwa pada pengepresan hidrolik jumlah minyak yang dihasilkan dapat mencapai \pm 80% dari kadar minyak yang terdapat pada daging biji. Sebelum melakukan pengepresan secara mekanis, sebaiknya dilakukan pengukusan pada daging biji yang akan dikempa terlebih dahulu selama 30 menit (Manurung, 2005). Hal ini bertujuan untuk menggumpalkan protein yang ada dalam biji jarak pagar sehingga proses ekstraksi berjalan secara efisien. Ini mungkin disebabkan penggunaan alat pengepres hidrolik yang sudah efisien sehingga minyak yang dihasilkan dari pengepresan tersebut cukup maksimal. Lama pengukusan juga mempengaruhi rendemen minyak yang dihasilkan. Banyaknya minyak yang dapat diekstraksi tergantung dari pada lamanya pengepresan, tekanan yang diberikan, kandungan minyak dari bahan asal sedang minyak yang tersisa pada bungkil bervariasi sekitar 4 – 9% (Genisa, J, 2003).

4.2. Proses Transesterifikasi

Pada penelitian ini, trigliserida dikonversi menjadi metal ester (biodiesel) secara transesterifikasi. Trigliserida direaksikan dengan methanol kemudian ditambahkan katalis basa yaitu NaOH sehingga akan diperoleh metal ester dan gliserol sebagai produk samping yang dapat dimanfaatkan sebagai pembuatan sabun.

Berdasarkan proses transesterifikasi yang dilakukan pada penelitian kali ini, minyak hasil transesterifikasi yang dihasilkan sebanyak 913.1 ml. Ini berarti Rendemen proses yang dihasilkan hanya $\pm 39.7\%$ dari 2600 ml minyak jarak mumi. Hal ini sesuai pendapat Hambali, dkk (2005) bahwa, Faktor utama yang mempengaruhi rendemen ester yang dihasilkan pada reaksi transesterifikasi adalah rasio molar antara trigleserida dan alkohol, jenis katalis yang digunakan, suhu reaksi, waktu reaksi, kandungan air dan kandungan asam lemak bebas pada bahan baku yang dapat menghambat reaksi. Faktor lain yang mempengaruhi kandungan ester pada biosiesel, diantaranya kandungan gliserol, jenis alkohol yang digunakan pada reaksi transesterifikasi, jumlah katalis sisa, dan kandungan sabun.

Untuk kasus minyak tanaman dengan kandungan asam lemak bebas (FFA) tinggi, sebelum dilakukan proses transesterifikasi dengan katalis basa dilakukan proses esterifikasi. Katalis yang digunakan pada proses esterifikasi adalah dengan katalis asam. Untuk kasus kandungan lebih kecil dari 2 % cukup dilakukan netralisasi.

Tabel 3. Kandungan FFA Biodiesel Minyak Jarak Pagar (Suess, 2002)

Kandungan FFA Bahan Baku (%)	Rendemen Proses (%)	Kandungan FFA Biodiesel (%)
1.97	90.01	0.06
3.39	85.92	0.06
5.31	82.69	0.06
6.76	71.01	0.08
8.58	66.38	0.14
10.41	59.31	0.17
11.97	Transesterifikasi gagal	
13.46	Transesterifikasi gagal	

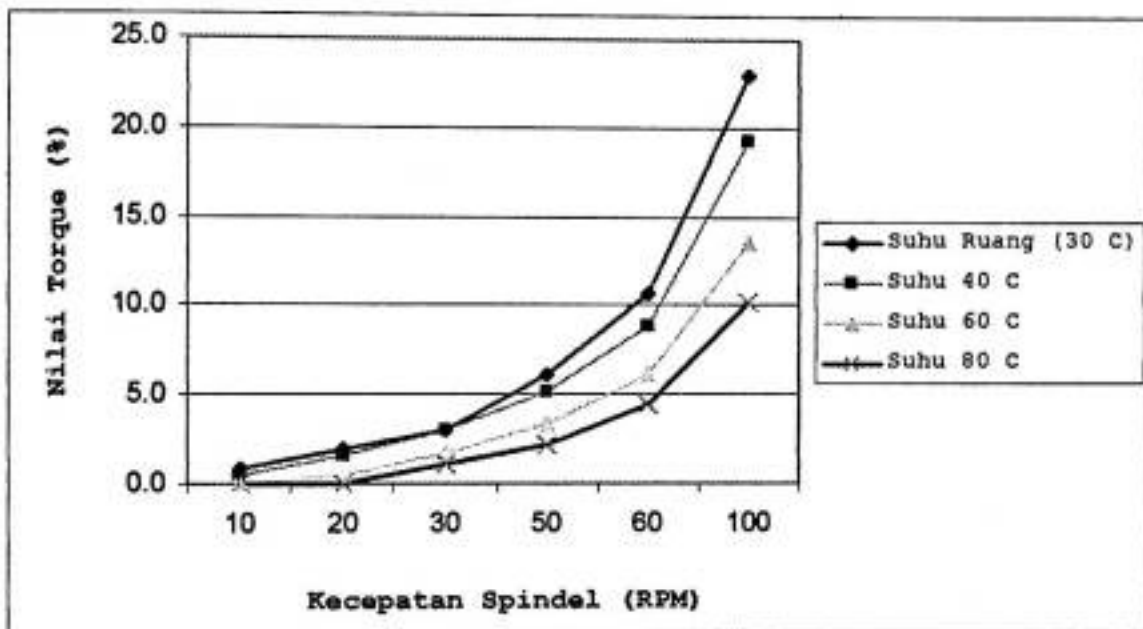
Berdasarkan tabel di atas, semakin tinggi kandungan asam lemak bebas akan semakin sedikit menghasilkan biodiesel, bahkan kandungan asam lemak bebas yang tinggi proses transesterifikasi mengalami kegagalan. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan yang dilakukan oleh Suess (2002) dengan perlakuan kandungan FFA menunjukkan semakin besar kandungan asam lemak bebas semakin kecil rendemen biodiesel yang didapatkan.

Selain faktor-faktor yang disebutkan di atas, laju pengadukan juga sangat mempengaruhi kadar metal ester yang diproduksi. Kedua faktor inilah yang merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam pembuatan biodiesel CJO, agar dihasilkan biodiesel yang lebih banyak dan produk samping (gliserol) yang lebih sedikit. Laju pengadukan yang besar akan menyebabkan terbentuknya penyabunan. Dimana trigliserida akan bereaksi dengan NaOH membentuk sabun. Hal ini mengakibatkan produk metal ester yang diperoleh makin berkurang. Namun, apabila laju pengadukan lebih kecil (lambat), maka waktu yang dibutuhkan trigliserida untuk bereaksi dengan methanol membentuk metal ester semakin lama.

Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa penambahan methoksida belum dapat memberikan hasil yang lebih baik karena viskositas dari minyak jarak yang dihasilkan masih tinggi. Sedangkan tujuan utama reaksi transesterifikasi adalah untuk menurunkan viskositas kinematik minyak nabati. Selain itu, juga akan terbentuk penyabunan. Hal ini akibat konversi yang terlalu rendah, setelah reaksi dilakukan trigliserida yang tidak terkonversi menjadi metal ester bereaksi dengan NaOH membentuk sabun.

4.3. Kecepatan Spindel (rpm) dan Nilai Torque (%)

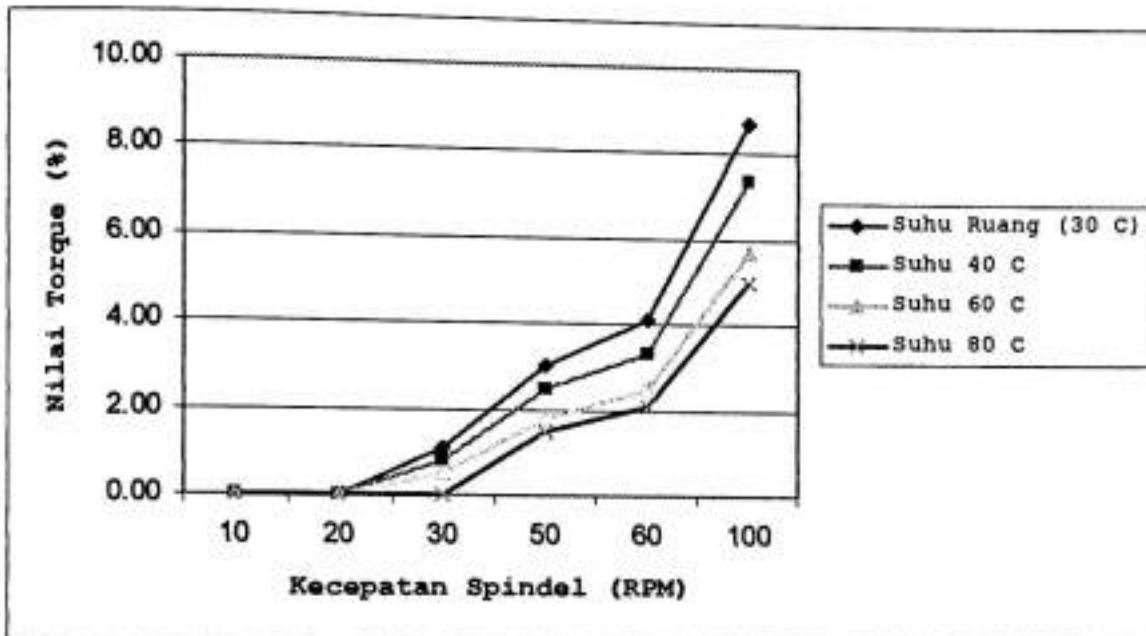
Seperti yang diketahui, kecepatan spindel nilai torque sangat berperan penting dalam mengetahui sifat rheologi dari fluida. Nilai torque dapat berubah-ubah berdasarkan perlakuan kecepatan spindel dan kekentalan (viskositas) fluida.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kec. Spindel dan Torque untuk Minyak Murni

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai torque yang paling besar terdapat pada perlakuan dengan Kecepatan Spindel yang paling besar pula. Nilai Torque pada perlakuan 10, 20, 30, 50, 60, dan 100 rpm pada suhu ruang (30°C) untuk minyak murni yaitu 0.8, 1.9, 3, 6.1, 10.6, 23 %.

Seperti yang terlihat pada grafik di atas, nilai torque pada setiap suhu tidak dapat dipertanggung jawabkan. Ini disebabkan nilai torque pada perlakuan kecepatan spindel yang kecil menunjukkan nilai di bawah rata-rata (under-range). Jika hal ini tetap dilakukan, maka data yang didapat tidak akurat.

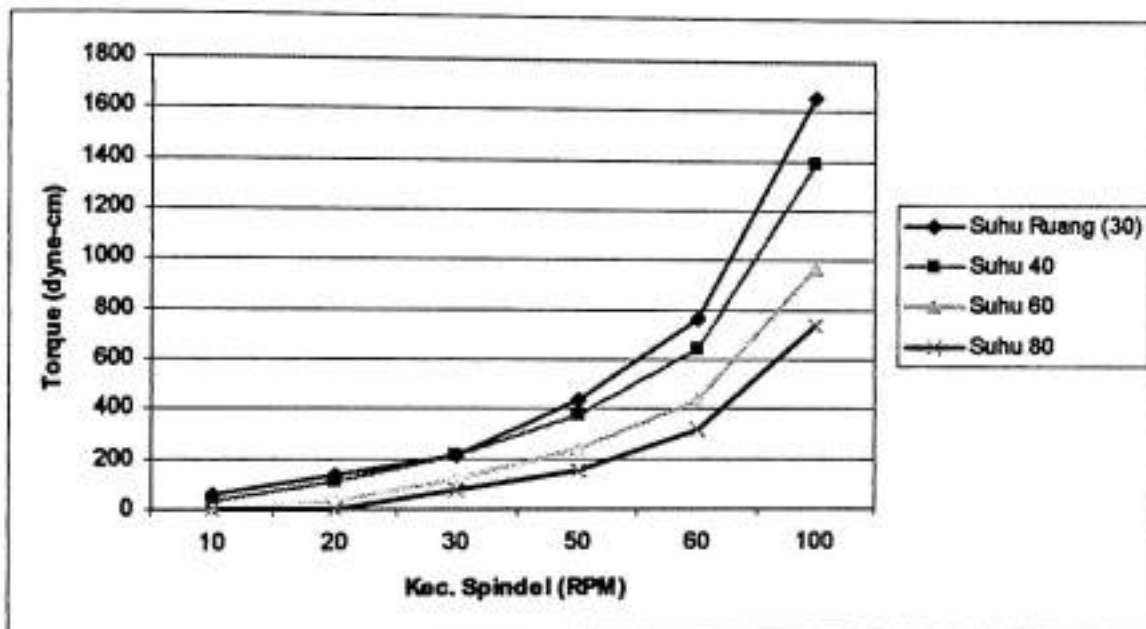


Gambar 5. Grafik Hubungan Kec. Spindel (rpm) dan Torque (%) untuk Minyak Hasil Transesterifikasi

Seperti halnya minyak mumi, nilai torque yang paling besar terdapat pada perlakuan dengan Kecepatan Spindel yang paling besar pula. Nilai Torque pada perlakuan 10, 20, 30, 50, 60, dan 100 rpm pada suhu ruang (30°C) untuk minyak hasil transesterifikasi yaitu 0, 0, 1.10, 3.00, 4.10, 8.70 %. Pada minyak hasil transesterifikasi, nilai torque yang muncul pada display viskometer semuanya menunjukkan nilai yang di bawah rata-rata. Hal ini menyebabkan data yang dihasilkan tidak akurat.

Berdasarkan kedua grafik di atas, data nilai torque yang muncul pada display viskometer sebagian besar berada di bawah rata-rata (*under-range*). Hal ini terjadi karena spindel yang digunakan terlalu kecil, sehingga stress yang diberikan tidak sesuai dengan fluida yang ada. Hal ini sesuai dengan pendapat (Brookfield, 2007) yang menyatakan bahwa, jika nilai torque berada dibawah rata-rata (<10%) maka kecepatan mesti dinaikkan atau spindel mesti diganti.

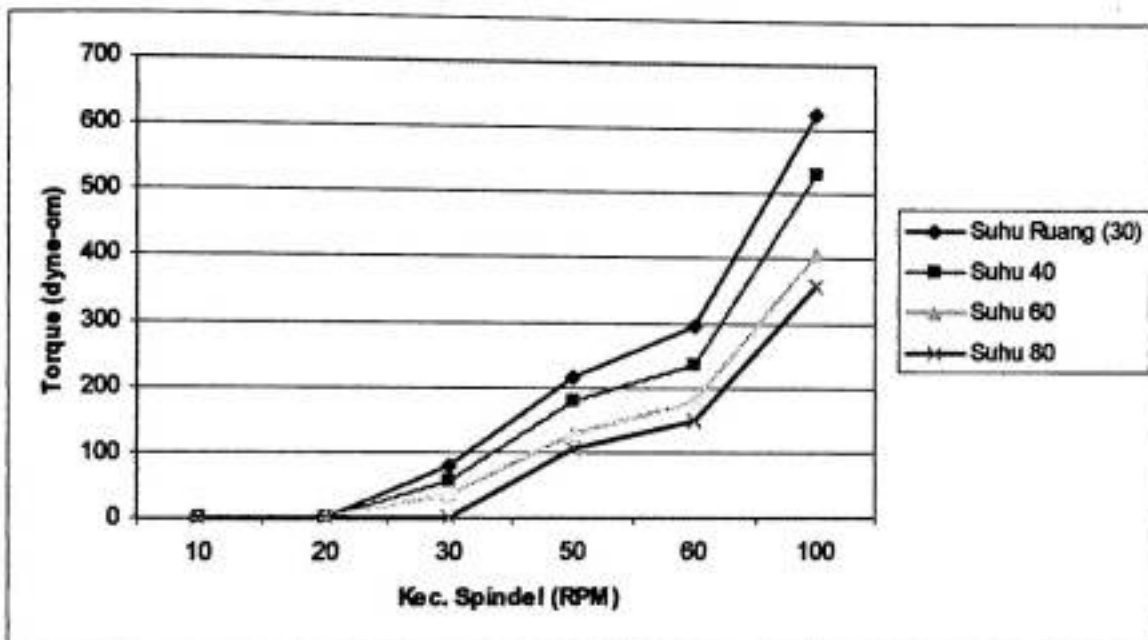
Nilai torque berbanding lurus dengan kecepatan spindle. Hal ini berarti bahwa nilai torque berbanding lurus dengan kecepatan spindle. Nilai torque antara minyak mumi dan minyak hasil transesterifikasi menunjukkan penurunan sekitar 60 %, ini disebabkan karena viskositas pada minyak hasil transesterifikasi juga menurun.



Gambar 6. Grafik Hubungan Kecepatan Spindle dan Nilai Torque untuk Minyak Murni

Seperti yang kita ketahui, nilai torque pada pengukuran sifat rheologi sangat berhubungan dengan apa yang disebut *Shear-Stress*. Sedangkan nilai kecepatan spindle, berhubungan dengan *Shear-Rate*. Kedua faktor inilah yang dapat menggambarkan seperti apakah sifat dari fluida. Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai torque pada tiap kecepatan spindle berbeda. Semakin besar kecepatan spindle yang diberikan, semakin besar pula nilai torque yang ada. Pada Gambar 7, nilai torque pada masing masing suhu membentuk kurva cekung. Hal ini berarti bahwa sifat fluida pada minyak jarak

mentah termasuk dalam golongan *dilatant-fluid (Shear-Thickening)*. Adapun nilai torque (dyne-cm) pada Full Scale Range untuk minyak jarak murni pada suhu 30 °C yaitu 57.496, 136.553, 215.61, 438.407, 761.822, 1653.01.



Gambar 7. Grafik Hubungan Kecepatan Spindel dan Nilai Torque untuk Minyak Hasil Transesterifikasi

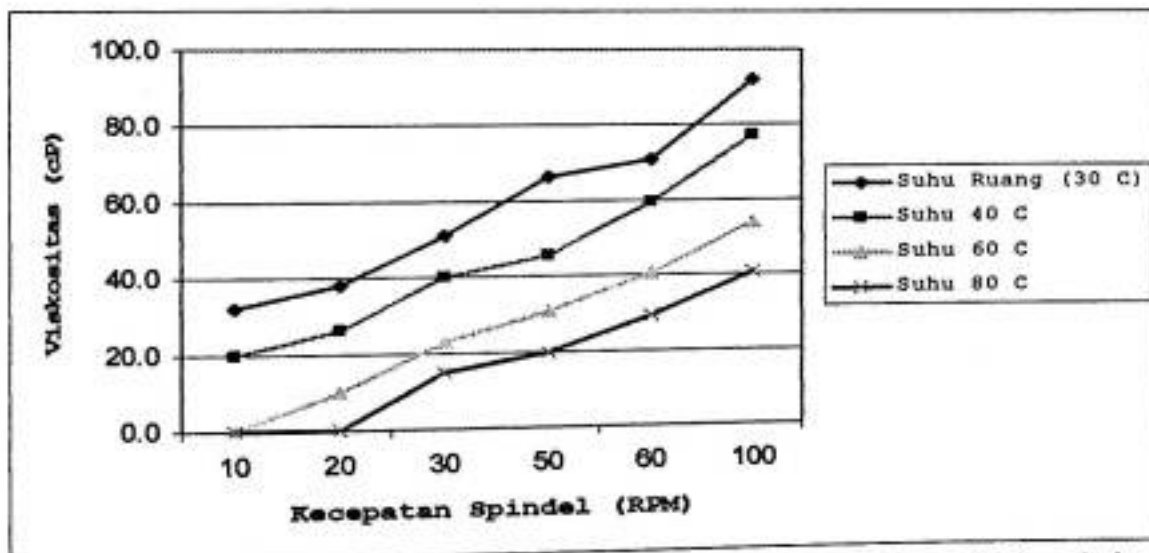
Seperti halnya pada minyak jarak mentah, nilai torque pada minyak hasil transesterifikasi membentuk kurva cekung. Tetapi jika diperhatikan secara seksama, kurva pada minyak hasil transesterifikasi menunjukkan kurva yang hampir membentuk garis lurus (linier). Hal ini disebabkan karena viskositas pada minyak jarak telah diturunkan melalui proses transesterifikasi. Untuk nilai torque (dyne-cm) pada Full Scale Range untuk minyak jarak hasil transesterifikasi pada suhu 30 °C yaitu 0, 0, 79.057, 215.61, 294.667, 625.269 dyne-cm.

Hanya saja pada beberapa titik pada perlakuan kecepatan spindle awal (10, 20, dan 30 RPM), nilai torque tidak menunjukkan perubahan. Berdasarkan kedua grafik di atas, data nilai torque yang muncul pada display viskometer

sebagian besar berada dibawah nilai yang dapat diterima (*under-range*). Hal ini terjadi karena spindle yang digunakan terlalu kecil, sehingga stress yang diberikan tidak sesuai dengan fluida yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran spindle yang seharusnya digunakan adalah spindle yang lebih besar sehingga didapatkan nilai torque yang dapat diterima (> 10% dari nilai full scale).

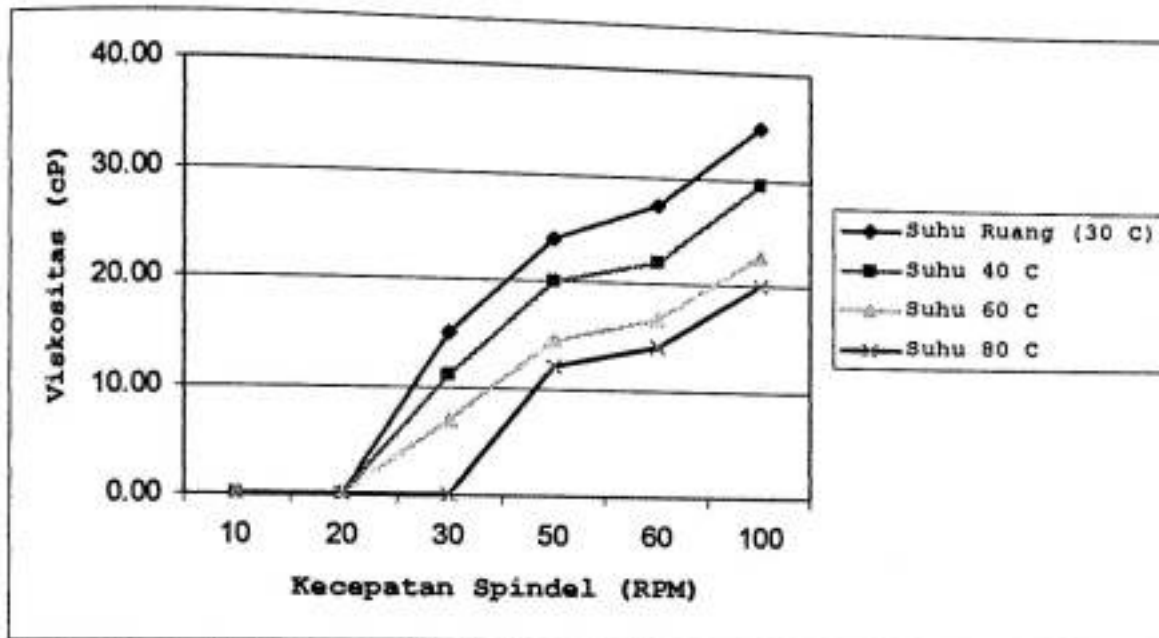
Berdasarkan grafik yang ditunjukkan di atas, nilai dari torque (dyne-cm) berbanding lurus dengan kecepatan spindle. Makin besar kecepatan spindle yang diberikan, maka makin besar nilai torque yang ada.

4.4. Viskositas



Gambar 8. Grafik Hubungan Viskositas dan Kecepatan Spindel untuk Minyak Jarak Murni

Berdasarkan grafik di atas, nilai viskositas (cP) yang ditunjukkan pada display untuk setiap kecepatan spindle pada suhu ruang (30 °C) yaitu 32 cP, 38 cP, 51 cP, 66.4 cP, 70.7 cP, dan 92 cP. nilai viskositas pada grafik diatas merupakan viskositas yang tertera pada display viskometer.



Gambar 9. Grafik Hubungan Viskositas dan Kecepatan Spindel untuk Minyak Jarak Hasil Transesterifikasi

Berdasarkan grafik di atas, nilai viskositas yang ditunjukkan pada display untuk setiap kecepatan spindel pada suhu ruang (30°C) yaitu 0 cP, 0 cP, 15 cP, 24 cP, 27 cP, dan 34.80 cP. nilai viskositas pada grafik di atas merupakan viskositas yang tertera pada display viskometer.

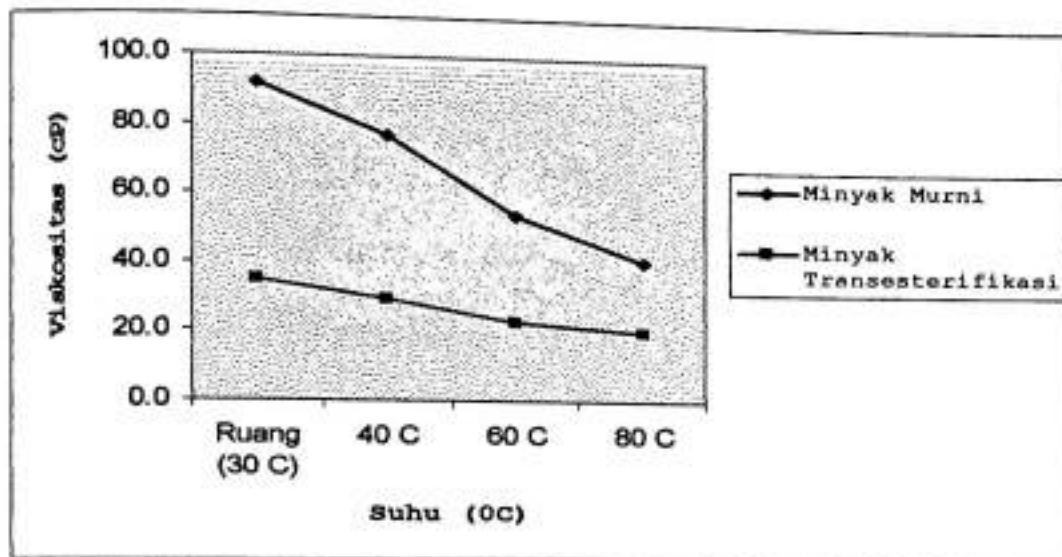
Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat nilai viskositas tertinggi dari minyak mumi terdapat pada suhu ruang (30°C) dan kecepatan spindel yang tinggi pula. Nilai dari viskositas sangat berhubungan erat dengan suhu. Salah satu parameter yang dipakai dalam mengetahui sifat rheologi dari fluida yaitu tingkat kekentalannya atau biasa disebut dengan viskositas. Hal ini sesuai dengan pendapat Heldman (1975) yang menyatakan bahwa dalam mempelajari sifat rheologi dari suatu bahan kita harus mengetahui Viskositas Fluida (cP), Indeks Sifat Aliran Fluida (unit), dan Koefisien Ketetapan Fluida (Pa S^n).

Viskositas adalah tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi. Biasa dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositasnya semakin tinggi, tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Karakteristik ini sangat penting dalam mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Atomisasi bahan bakar sangat tergantung pada viskositas tahanan injeksi, serta ukuran lubang injektor. Viskositas yang lebih tinggi dapat membuat bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang lebih besar dengan momentum tinggi dan memiliki kecenderungan bertumbukan dengan dinding silinder yang relatif dingin.

Fluida dengan viskositas tinggi lebih sulit untuk dialirkan dibandingkan dengan fluida dengan viskositas rendah. Bila energi pengairan yang tersedia tetap, maka fluida dengan viskositas tinggi akan mengalir dengan kecepatan lebih rendah. Seperti yang diketahui, minyak nabati memiliki viskositas yang sangat tinggi. Hal inilah yang mendasari perlu dilakukannya proses kimia, transesterifikasi untuk menurunkan harga viskositas minyak tumbuhan hingga mendekati viskositas solar. Perbedaan viskositas antara minyak jarak mentah dengan biodiesel juga bisa digunakan sebagai salah satu indikator dalam proses produksi biodiesel (Knothe, 2005).

4.5. Suhu

Peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan dari nilai viskositas fluida. Ini dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan bahwa makin besar suhu yang ada maka viskositas dari fluida akan semakin kecil.



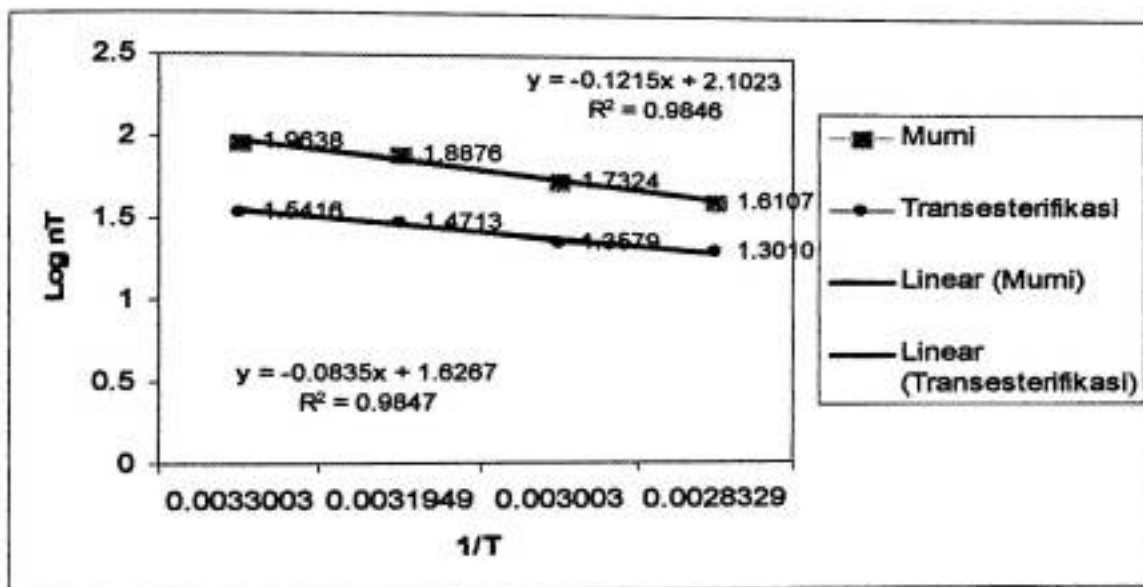
Gambar 10. Grafik Hubungan Suhu dan Viskositas pada kecepatan 100 rpm

Dari hasil yang diperoleh dapat dilihat nilai viskositas minyak jarak murni pada suhu terendah (suhu ruang) sebesar 92.26 cP dan viskositas pada suhu tertinggi (80⁰C) menurun hingga 40.67 cP.

Sedangkan nilai viskositas pada minyak jarak hasil transesterifikasi pada suhu terendah (suhu ruang) sebesar 34.60 cP dan viskositas pada suhu tertinggi (80⁰C) menurun hingga 20.53 cP. Hal ini sesuai dengan pendapat Unggul (2006), bahwa dengan tingkat pemanasan yang mencapai 70⁰C, kekentalan minyak jarak dapat diturunkan hingga 50% lebih. Dengan demikian, semakin tinggi tingkat pemanasannya, semakin turun juga kekentalan minyak nabati tersebut.

Berdasarkan Gambar 10. dapat dilihat bahwa pada minyak murni, suhu sangat berpengaruh terhadap penurunan viskositas. Viskositas dapat turun dengan cepat berdasarkan perubahan suhu. Sedangkan pada minyak transesterifikasi, viskositas minyak jarak tidak mengalami penurunan secara drastis. Ini berarti viskositas yang dimiliki oleh minyak jarak hasil transesterifikasi lebih stabil dibandingkan dengan minyak jarak murni.

Pengaruh suhu terhadap viskositas dapat ditentukan dengan persamaan Arrhenius. Persamaan Arrhenius cocok digunakan untuk menjelaskan perubahan kimia dan perubahan fisika pada produk-produk biologis. Sensitivitas perubahan mekanis terhadap suhu tergantung dari arah gerakan dan energi aktivasi (E_a) (Chang, 2000).



Gambar 11. Grafik Persamaan Arrhenius dalam Hubungan Antara *App. Viscosity* dan Suhu

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai persamaan arrhenius pada minyak mumi lebih besar dibandingkan dengan nilai yang ditunjukkan pada proses transesterifikasi. Persamaan Arrhenius berhubungan dengan teori-teori *chemical-kinetic*. Diasumsikan bahwa generasi minyak akan bergantung pada variable-variabel waktu, temperature, tekanan, dan konsentrasi reaktan.

Energi aktivasi pada minyak mumi sebesar 14613.244 J/mol, sedangkan nilai energi aktivasi pada minyak hasil transesterifikasi sebesar 9955.919 J/mol. Berdasarkan hasil perhitungan energi aktivasi, dapat dilihat bahwa energi pada

minyak mentah jauh lebih besar dari pada minyak yang telah ditransesterifikasi. Hal ini membuktikan bahwa makin kental minyak jarak, maka makin tinggi energi aktivasi yang dibutuhkan. Hal ini sesuai dengan yang ditunjukkan pada Gambar 11 bahwa pada minyak murni, suhu sangat berpengaruh terhadap penurunan viskositas. Viskositas dapat turun dengan cepat berdasarkan perubahan suhu. Sedangkan pada minyak transesterifikasi, viskositas minyak jarak tidak mengalami penurunan secara drastis. Ini berarti viskositas yang dimiliki oleh minyak jarak jarak hasil transesterifikasi lebih stabil dibandingkan dengan minyak jarak murni. Hal ini membuktikan bahwa proses transesterifikasi sangat berpengaruh terhadap kestabilan viskositas dari minyak jarak. Energi yang dibutuhkan untuk memecahkan ikatan karbon-karbon dan karbon-oksigen 40000-60000 J/mol. Dengan adanya energi serendah itu (Mis Tissot, 1969 dan Connan, 1974) menduga bahwa ada peranan katalis murni dalam generasi minyak. Persamaan laju menunjukkan pengaruh dari perubahan konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi. Persamaan Arrhenius menggambarkan pengaruh dari perubahan suhu pada tetapan reaksi dan tentunya laju reaksi. Katalis akan menyediakan rute agar reaksi berlangsung dengan energi aktivasi yang lebih rendah.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sifat rheologi minyak jarak pagar adalah Dilatant-Fluid.
2. Energi aktivasi yang dibutuhkan pada minyak murni sebesar 14613.244 J/mol Sedangkan nilai energi aktivasi pada minyak hasil transesterifikasi sebesar 9955.919 J/mol. Energi aktivasi yang dimiliki minyak hasil transesterifikasi lebih stabil dibandingkan dengan minyak murni. Ini berarti viskositas minyak hasil transesterifikasi lebih dibandingkan dengan minyak murni.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2006. **Biodiesel**. <http://id.wikipedia.org/wiki/>. Tanggal access 09/11/06
- Anonim, 2007. **Brookfield Digital Viscometer Model DV-E**. <http://www.brookfieldengineering.com>. Tanggal access 30 Mei 2007
- Bernando, A., Howard-Hildige, R., O'Connel, A., Nichol, R., Ryan, J., Rice, B., Roche, E., Leahy, J., 2003. **Oil as A Fuel for Diesel Transport Engineer, Industrial Crops and Product**.
- Bosch, 1978. **Automotive Hand Book**. Eurolingua Profesional Language Servis, London.
- Cannon, 1974. **Source Rock Study**. [http://Panganplus Artikel Teknologi Pangan.htm](http://Panganplus_Artikel_Teknologi_Pangan.htm) Tanggal access 20 Juni 2007
- Chang, Y.P, P.B. Cheah, dan C.C. Seow, 2000. **Plasticizing-Antiplasticizing Effect of Water on Physical Properties of Tapioca Starch Films in Glassy State**. Journal of Food Science Vol. 65(3). <http://Konsep-Transisi-Glass-dalam-Bahan-Pangan.html>. Tanggal access 20 Juni 2007
- Darsam; K.M. Afandi, 1981. **Petunjuk Praktek Alat / Mesin Pengolahan Hasil Pertanian 3**. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Jakarta
- Giwangkara, 2006. **Rahasia Biodiesel, Solar Masa Depan**. [http://Bahanbakarnabati, Artikel Umum](http://Bahanbakarnabati_Artikel_Umum). Tanggal access 30 Mei, 2007.
- Gumbira E. Sa'id; C.D. Galuh, 2004. **Pengembangan Pelumas Berbasis Sumber Daya Alam yang Dapat Diperbaharui**. <http://webmaster@mma.ipb.ac.id>. Tanggal access 30 Mei 2007.
- Hambali, E., Dadang, Prawitasari, T., Suryani A., and Haryadi, 2005. **Development of Jatropha curcas Linn. for Biodiesel**. SBRC, LPPM-IPB, Bogor.
- Haryadi, 2005. **Budi Daya Tanaman Jarak (Jatropha curcas) sebagai Sumber Bahan Alternatif Biofuel**. Focus Grup Diskusi (FGD) Deputi Bidang Pengembangan Sisteknas, Kementrian Negara Riset dan Teknologi. Puspiptek, Serpong.
- Heldman, Dennis R., 1975. **Food Process Engineering**. Reprint Edition. Michigan State University. The Avi Publishing Company, Inc.
- Irwanto, A.K., 1987. **Ekonomi Engineering di Bidang Mekanisasi Pertanian**. Fatemeta-IPB, Bogor.

- Ketaren, S., 1986. **Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan**. UI-Press. Jakarta.
- Khurmi, R.S.;J.K. Gupta, 1982. **Machine Design**. Eurasia Publishing House, New Delhi.
- Knothe, G., 2005. **Dependence of Biodiesel Fuel Properties on The Structure of Fatty Acid Alkyl Esters**. Fuel Processing Technology.
- Manurung, 2005. **Minyak Jarak Pengganti Solar**. Ajangkita Forum. <http://www.kompas.co.id/kompas-cetak/0503/15/utama/161815.htm>. Tanggal access 09/11/06
- Priyanto, 2005. **Agar Minyak Jarak Bisa 100 % Gantikan Solar**. Investor Daily (24-25/12/05). <http://NowForum-TheLatestInformationOfBiodiesel.htm>. Tanggal access 09/11/06
- Qazuini, 2005. **Minyak Jarak Alternatif lain Bahan Bakar**. <http://HotNews/www/CyberTokoh.com/themes/Default/footer.php>. Tanggal access 09/11/06
- Rao, M. Anandha, 1999. **Rheology of Fluid and Semisolid Foods**. Department of Food Science and Technology. Cornell University. Geneva, New York.
- Sharma, Shri. K; Mulvaney, Steven. J; Rizvi, Syed S. H., 2000. **Food Process Engineering**. Cornell University, New York.
- Srivastava, A dan R. Prasad, 2000. **Triglycerides-based Diesel Fuels**. Renewable and sustainable energy reviews.
- Steffe, James F., 1996. **Rheological Methods In Food Process Engineering**. 2nd Edition. Michigan State University. Freeman Press. East Lansing, USA.
- Streeter, Victor L. dan Wylie E. Benjamin, 1985. **Fluid Mechanics**. Eight Edition. Penerjemah: Arko Prijono, Mekanika Fluida. Erlangga, Jakarta.
- Suess, A.A.A., 2002. **Biodiesel dari Minyak Jelantah**. Kompas Sabtu 20 Juli
- Williams, D.F dan W.H. Schmitt, 1996. **Chemistry and Technology of the Cosmetics and Toiletries Industry**. 2nd Edition. Blackie Academic & Profesional, London.
- Wirahadi, 2006. **Permintaan Biji dan Minyak Jarak Tak Terbatas**. <http://www.trubus.com/trubus442>. Tanggal access 07/10/06

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Mumi pada Suhu 30 °C

Suhu (°K)	MURNI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
Ruang (303)	A1	10	0.8	57.496	32.0
		20	1.9	136.553	38.0
		30	3.0	215.61	51.0
		50	6.1	438.407	66.4
		60	10.6	761.822	70.7
		100	23.0	1653.01	92.0
	A2	10	0.8	57.496	32.0
		20	2.0	143.74	40.0
		30	3.9	280.293	52.0
		50	6.4	459.968	67.2
		60	10.7	769.009	71.3
		100	23.0	1653.01	92.0
	A3	10	0.7	50.309	28.0
		20	2.0	143.74	40.0
		30	3.9	280.293	52.0
		50	6.4	459.968	67.2
		60	10.7	769.009	71.3
		100	23.2	1667.384	92.8

Sumber; Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 2. Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Mumi pada Suhu 40 °C

Suhu (°K)	MURNI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
313	B1	10	0.5	35.935	20.0
		20	1.6	114.992	26.0
		30	3.0	215.61	40.0
		50	5.2	373.724	45.3
		60	8.9	639.643	59.3
		100	19.3	1387.091	77.2
	B2	10	0.5	35.935	20.0
		20	1.2	86.244	24.0
		30	2.9	208.423	39.0
		50	5.3	380.911	45.9
		60	8.7	625.269	58.0
		100	18.4	1322.408	73.6
	B3	10	0.5	35.935	20.0
		20	1.3	93.431	24.0
		30	2.9	208.423	39.0
		50	5.2	373.724	45.3
		60	8.8	632.456	58.7
		100	18.8	1351.156	75.2

Sumber; Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 3. Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Murni pada Suhu 60 °C

Suhu (°K)	MURNI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
333	C1	10	0.0	0	0.0
		20	0.5	35.935	10.0
		30	1.7	122.179	23.0
		50	3.3	237.171	30.6
		60	6.1	438.407	40.7
		100	13.5	970.245	54.0
	C2	10	0.0	0	0.0
		20	0.5	35.935	10.0
		30	1.8	129.366	24.0
		50	3.5	251.545	31.2
		60	6.1	438.407	40.7
		100	13.5	970.245	54.0
	C3	10	0.0	0	0.0
		20	0.5	35.935	10.0
		30	1.8	122.179	24.0
		50	3.3	237.171	30.6
		60	6.3	438.407	42.0
		100	13.7	970.245	54.8

Sumber, Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 4. Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Murni pada Suhu 80 °C

Suhu (°K)	MURNI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
353	D1	10	0.0	0	0.0
		20	0.0	0	0.0
		30	1.1	79.057	15.0
		50	2.1	150.927	19.8
		60	4.4	316.228	29.3
		100	10.2	733.074	40.8
	D2	10	0.0	0	0.0
		20	0.0	0	0.0
		30	1.3	93.431	17.0
		50	2.0	143.74	19.4
		60	4.5	323.415	30.0
		100	10.0	718.7	40.0
	D3	10	0.0	0	0.0
		20	0.0	0	0.0
		30	1.2	86.244	16.0
		50	2.2	158.114	20.5
		60	4.5	323.415	30.0
		100	10.3	740.261	41.2

Sumber, Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 5. Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 30 °C

Suhu (°K)	TRANSESTERIFIKASI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
Ruang (303)	A1	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	1.10	79.057	15.00
		50	3.00	215.61	24.00
		60	4.10	294.667	27.30
		100	8.70	625.269	34.80
	A2	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	1.20	86.244	16.00
		50	3.10	222.797	24.80
		60	4.10	294.667	27.30
		100	8.70	625.269	34.80
	A3	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	1.10	79.057	15.00
		50	3.00	215.61	24.00
		60	4.00	287.48	27.00
		100	8.60	618.082	34.20

Sumber, Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 6 Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 40 °C

Suhu (°K)	TRANSESTERIFIKASI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
313	B1	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	0.80	57.496	11.00
		50	2.50	179.675	20.00
		60	3.30	237.171	22.00
		100	7.40	531.838	29.60
	B2	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	1.00	71.87	13.00
		50	2.50	179.675	20.00
		60	3.30	237.171	22.00
		100	7.40	531.838	29.60
	B3	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	1.00	71.87	13.00
		50	2.50	179.675	20.50
		60	3.20	229.984	21.60
		100	7.50	539.025	29.80

Sumber, Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 7. Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 60 °C

Suhu (°K)	TRANSESTERIFIKASI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
333	C1	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	0.50	35.935	7.00
		50	1.80	129.366	14.40
		60	2.50	179.675	16.70
		100	5.70	409.659	22.80
	C2	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	0.60	43.122	8.00
		50	1.80	129.366	14.40
		60	2.50	179.675	16.70
		100	5.70	409.659	22.80
	C3	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	0.50	35.935	7.00
		50	1.90	136.553	14.80
		60	2.40	172.488	16.40
		100	5.70	409.659	22.80

Sumber, Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 8. Data dan Hasil Perhitungan untuk Minyak Hasil Transesterifikasi pada Suhu 80 °C

Suhu (°K)	TRANSESTERIFIKASI	RPM	Torque (% FS)	Torque (dyne-cm)	cP Display
353	D1	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	0.00	0	0.00
		50	1.50	107.805	12.00
		60	2.10	150.927	14.00
		100	5.00	359.35	20.00
	D2	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	0.00	0	0.00
		50	1.50	107.805	12.00
		60	2.10	150.927	14.70
		100	5.00	359.35	20.80
	D3	10	0.00	0	0.00
		20	0.00	0	0.00
		30	0.00	0	0.00
		50	1.60	114.992	12.80
		60	2.10	150.927	14.00
		100	5.20	373.724	20.80

Sumber, Data Primer Setelah Diolah 2007

Lampiran 9

Hasil Regresi Linier untuk Penentuan Nilai Energi Aktivasi untuk Viskositas Minyak Jarak Mentah pada Kecepatan Putar Spindel 100 rpm (Persamaan 16)

Regression Statistics	
Multiple R	0.99968
R Square	0.99937
Adjusted R Square	0.99905
Standard Error	0.00486
Observations	4.00000

$$\eta_T = K \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right) \dots\dots (16)$$

$$\text{Log } \eta_T = \text{Log } K + \frac{Ea}{2.303 T} \dots\dots (16b)$$

ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1.00000	0.07487	0.07487	3169.55671	0.00032
Residual	2.00000	0.00005	0.00002		
Total	3.00000	0.07492			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-0.55416	0.04186	-13.23802	0.00566	-0.73428	-0.37405	-0.73428	-0.37405
X Variable 1	763.20758	13.55637	56.29882	0.00032	704.87923	821.53593	704.87923	821.53593

T	1/T (x)	η	$\log \eta (y)$	log K	K	Ea
303	0.00330	92	1.96379	-0.55416	0.27915	14613.24395
313	0.00320	77.2	1.88762			
333	0.00300	54	1.73239			
353	0.00283	40.8	1.61066			



Lampiran 10

Hasil Regresi Linier untuk Penentuan Nilai Energi Aktivasi untuk Viskositas Minyak Jarak Hasil Transesterifikasi pada Kecepatan Putar Spindel 100 rpm (Persamaan 16)

$$\eta_T = K \exp\left(\frac{Ea}{RT}\right) \quad \dots\dots (16)$$

Regression Statistics	
Multiple R	0.99077
R Square	0.98162
Adjusted R Square	0.97244
Standard Error	0.01804
Observations	4.00000

$$\text{Log } \eta_T = \text{Log } K + \frac{Ea}{2.303} \cdot \frac{1}{T} \quad \dots\dots (16b)$$

ANOVA				
	df	SS	MS	Significance F
Regression	1.00000	0.03475	0.03475	0.00923
Residual	2.00000	0.00065	0.00033	
Total	3.00000	0.03540		

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95.0%	Upper 95.0%
Intercept	-0.18498	0.15534	-1.19078	0.35591	-0.85335	0.48340	-0.85335	0.48340
X Variable 1	519.96896	50.30499	10.33633	0.00923	303.52407	736.41384	303.52407	736.41384

T	1/T (x)	η	log η (y)	log K	K	Ea
303	0.00330	34.8	1.54158	-0.18498	0.65317	9955.91944
313	0.00320	29.6	1.47129			
333	0.00300	22.8	1.35793			
353	0.00283	20	1.30103			