



**PEMANFAATAN POTENSI ENERGI POLARITAS ASAM LEMAK
UNTUK PERBAIKAN SIFAT FISIKA, KIMIA DAN NILAI KALOR
MINYAK NABATI**

DISERTASI

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK MESIN
MINAT : KONVERSI ENERGI**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Doktor Teknik



WAHYUDI
NIM : 137060200111006

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

DISERTASI

**PEMANFAATAN POTENSI ENERGI POLARITAS ASAM LEMAK UNTUK
PERBAIKAN SIFAT FISIKA, KIMIA DAN NILAI KALOR MINYAK NABATI**

WAHYUDI

137060200111006

Telah dipertahankan didepan komisi penguji
pada tanggal 18 April 2018
dinyatakan telah memenuhi syarat
untuk memperoleh gelar Doktor Teknik

Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping I

Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.

Agung Sugeng Widodo, S.T., M.T, Ph.D.

Pembimbing Pendamping 2

Dr.Eng.Widya Wijayanti, S.T, M.T.

Malang,

Universitas Brawijaya
Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin
Ketua Program Doktor Teknik Mesin

Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19590703 198303 1 002



IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI : PEMANFAATAN POTENSI ENERGI POLARITAS ASAM LEMAK UNTUK PERBAIKAN SIFAT FISIKA, KIMIA DAN NILAI KALOR MINYAK NABATI

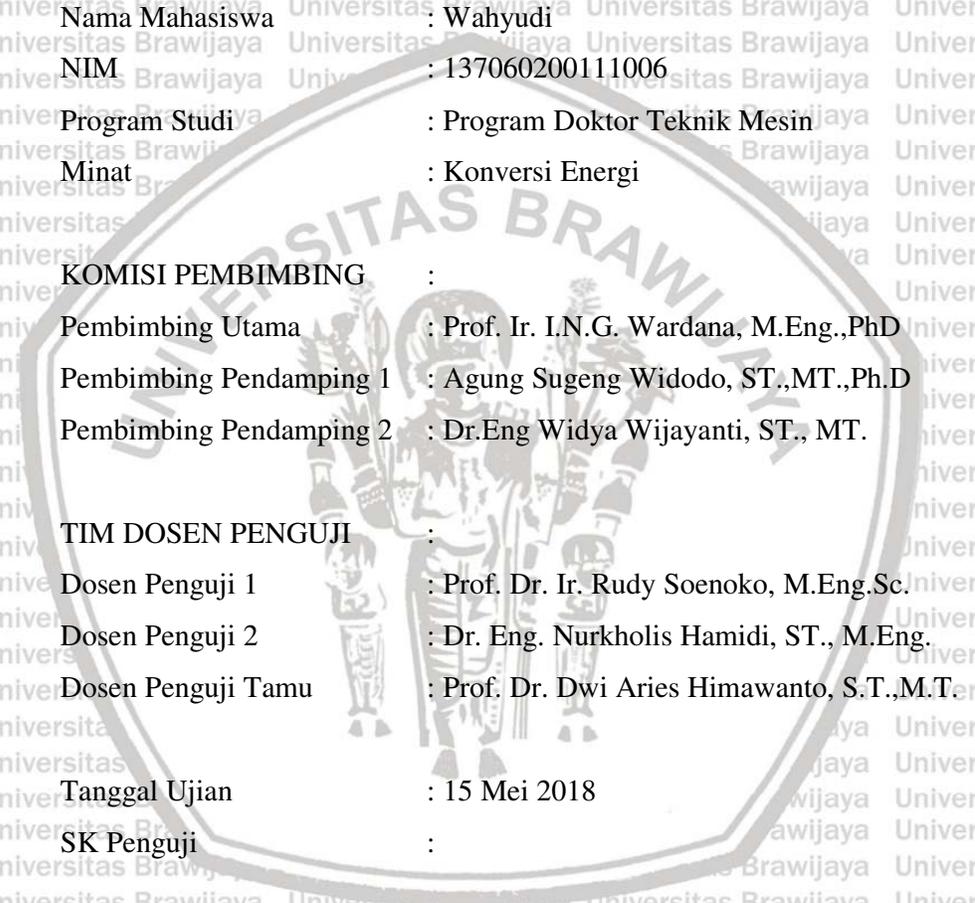
Nama Mahasiswa : Wahyudi
 NIM : 137060200111006
 Program Studi : Program Doktor Teknik Mesin
 Minat : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING :
 Pembimbing Utama : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng.,PhD
 Pembimbing Pendamping 1 : Agung Sugeng Widodo, ST.,MT.,Ph.D
 Pembimbing Pendamping 2 : Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI :
 Dosen Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.
 Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.
 Dosen Penguji Tamu : Prof. Dr. Dwi Aries Himawanto, S.T.,M.T.

Tanggal Ujian : 15 Mei 2018

SK Penguji :





PERNYATAAN ORIGINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah DISERTASI ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah DISERTASI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia DISERTASI dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 18 April 2018

Mahasiswa,



Wahyudi
137060200111006





RIWAYAT HIDUP

Wahyudi, lahir di Bantul, 23 Agustus 1970, anak dari ayah H. Pardjiono Hudiprasetyo dan Ibu Hj. Sugiyatmi, SD di Bantul, SMP sampai SMA di kota Yogyakarta, lulus SMA tahun 1988, lulus program sarjana teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada tahun 1995, lulus program magister teknik mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada tahun 2002. Pengalaman kerja sebagai dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta tahun 1997 hingga sekarang.

Malang, 18 April 2018

Penulis





UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, dengan rahmat, hidayah dan petunjukNya penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dapat terselesaikan karena bantuan, masukan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Rektor, Dekan Fakultas Teknik dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya, atas pemberian kesempatan untuk studi dan penggunaan fasilitas selama studi.
2. Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng.,PhD, sebagai Pembimbing Utama yang selalu banyak memberikan bimbingan, arahan dan motivasi.
3. Agung Sugeng Widodo, ST.,MT.,Ph.D, sebagai Pembimbing Pendamping 1 yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan motivasi.
4. Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., MT. , sebagai Pembimbing Pendamping 2 yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan motivasi.
5. Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. , sebagai Dosen Penguji yang banyak memberikan saran dan masukan.
6. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST.,M.Eng., selaku Dosen Penguji yang banyak memberikan saran dan masukan.
7. Prof. Dr. Dwi Aries Himawanto, S.T.,M.T., yang telah meluangkan waktu sebagai Dosen Penguji Tamu.
8. Segenap dosen dan staf Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
9. Pimpinan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, atas dorongan dan dukungan selama penyelesaian studi S3.
10. Ayah dan ibu, H Pardijono HP (Alm) dan Hj. Sugiyatmi, ayah dan ibu mertua, H Soetarjono dan Hj. Winarsih Budi Hastuti, istri, Purbandini Enny Wijayanti, SH dan anak-anak, M Faishal Thariq, M Arkanuddin Hanif dan M Arfan Aliy, yang selalu memberikan doa dan dukungan.



11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT memberikan balasan berlipat ganda atas kebaikan Bapak/Ibu/
Saudara semuanya.

Malang, 18 April 2018

Penulis



RINGKASAN

Wahyudi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, April 2018, *Pemanfaatan Potensi Energi Polaritas Asam Lemak Untuk Perbaikan Sifat Fisika, Kimia dan Nilai Kalor Minyak Nabati*, Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng.,PhD, Agung Sugeng Widodo, ST.,MT.,Ph.D dan Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., MT.

Pemanfaatan minyak nabati untuk bahan bakar alternatif sangat dibutuhkan. Kelemahan minyak nabati sebagai bahan bakar adalah viskositasnya yang tinggi. Jika dibandingkan dengan minyak diesel, nilai kalor minyak nabati relatif rendah. Minyak nabati tersusun dari asam lemak. Panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan asam lemak berpengaruh pada sifat minyak nabati. Minyak jarak, minyak sawit dan minyak kelapa memiliki asam lemak penyusun dominan yang berbeda. Minyak jarak didominasi asam lemak tak jenuh ganda, minyak sawit didominasi asam lemak tak jenuh tunggal, sedangkan minyak kelapa didominasi asam lemak jenuh. Perubahan struktur asam lemak pada minyak mempengaruhi sifat-sifatnya. Perubahan struktur dapat diperoleh dengan cara pencampuran dan pemanasan minyak nabati. Asam lemak takjenuh ganda memiliki methylene *allylic* dan *bis-allylic* yang relatif lebih lemah ikatannya dibanding posisi ikatan yang lain. Asam lemak takjenuh ganda dan asam lemak jenuh cenderung bersifat polar. Polaritas asam lemak diperkirakan dapat membantu proses perubahan struktur asam lemak takjenuh ganda pada proses pencampuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran polaritas dan komposisi asam lemak terhadap sifat campuran minyak nabati, terutama viskositas, nilai kalor, densitas dan flash point.

Minyak jarak dengan rantai karbon panjang dan tingkat ketidakjenuhan tinggi dicampur dengan minyak kelapa dengan rantai karbon yang pendek dan tingkat ketidakjenuhan rendah. Percampuran dilakukan pada berbagai variasi komposisi. Selanjutnya campuran dipanaskan pada temperatur 90°C dan diaduk selama 30 menit. Pengukuran sifat minyak meliputi densitas, viskositas, nilai kalor dan *flash point*. Selain itu juga dilakukan pengukuran komposisi asam lemak pada setiap campuran. Cara yang sama dilakukan untuk campuran minyak sawit dan minyak kelapa.

Campuran minyak nabati dengan asam lemak jenuh dan tak jenuh tunggal menghasilkan komposisi asam lemak yang linier dengan komposisi asam lemak minyak nabati penyusunnya. Hal tersebut terbukti pada pencampuran minyak sawit dan minyak kelapa. Minyak nabati dengan asam lemak tak jenuh ganda seperti minyak jarak, menghasilkan perubahan komposisi asam lemak yang berbeda dari minyak penyusunnya. Pada pencampuran minyak jarak dengan minyak kelapa, polaritas asam lemak membantu putusannya ikatan asam lemak menjadi rantai yang lebih pendek dan derajat ketidakjenuhan rendah. Perubahan komposisi asam lemak pada campuran menyebabkan perubahan sifat minyak seperti densitas, viskositas, nilai kalor dan *flash point*. Densitas, viskositas dan nilai kalor tidak hanya dipengaruhi oleh panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan, namun juga dipengaruhi oleh jumlah molekul polar pada minyak nabati. *Flash point* minyak dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan dan panjang rantai karbonnya.

Kata kunci : asam lemak, viskositas, nilai kalor, minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit



SUMMARY

Wahyudi, *Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya*, April 2018, *Utilization Fatty Acid Polarity To Improve Physical and Chemical Properties and Heating Value of Vegetable Oil*, : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng.,PhD, Agung Sugeng Widodo, ST.,MT.,Ph.D dan Dr.Eng Widya Wijayanti, ST., MT.

Utilization of vegetable oil for alternative fuels is needed. The weakness of vegetable oil as a fuel is its high viscosity. When compared with diesel oil, the calorific value of vegetable oil is relatively low. Vegetable oil composes of fatty acids. The length of the carbon chain and the degree of unsaturation of fatty acid affect the properties of the vegetable oil. Jatropha oil, palm oil, and coconut oil contain different dominant fatty acids. Jatropha oil is predominantly polyunsaturated fatty acid, palm oil is dominated by monounsaturated fatty acids, while coconut oil is dominated by saturated fatty acids. Changes in the structure of fatty acids in the oil affect its properties. Structural changes can be obtained by mixing and heating of vegetable oils. The polyunsaturated fatty acids have methylene allylic and bis-allylic which are relatively weaker in bonds than other bonding positions. Polyunsaturated and saturated fatty acids tend to be polar. Fatty acid polarity is expected to assist the process of changing the structure of polyunsaturated fatty acids in the mixing process. The aim of this research is to determine the influence of polarity and fatty acid compositions on mixed oil properties, i.e. viscosity, heating value, density and flash point.

Jatropha oil with long carbon chains and high unsaturation levels were mixed with coconut oil with short carbon chains and low unsaturation levels. Mixing was done on a variety of compositions. The mixture was heated at 90°C and stirred for 30 minutes. The properties being evaluated include density, viscosity, heating value and flash point. Next, the measurement of fatty acid composition in each mixture was conducted. The same procedure was done for palm oil and coconut oil mixture.

A mixture of vegetable oils with saturated and monounsaturated fatty acids produce a linear fatty acid composition with that of the vegetable oil fatty acid constituent. This is evident in the mixing of palm oil and coconut oil. Vegetable oils with polyunsaturated fatty acids such as jatropha oil, result in changes in a different composition from that of fatty acids of the vegetable oil constituent. In mixing jatropha oil with coconut oil, the polarity of fatty acids helps to break the bonds of fatty acids into shorter chains and low degrees of unsaturation. Changes in the fatty acid composition of the mixture cause changes in oil properties such as density, viscosity, heat value and flash point. Density, viscosity, and heating value are not only influenced by carbon chain length and degree of unsaturation in the vegetable oil but are also influenced by the number of polar molecules. Flash point of oil is affected by the degree of unsaturation and the length of its carbon chain.

Keywords: fatty acid, viscosity, calorific value, jatropha oil, coconut oil, palm oil



PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia dan petunjuk-Nya. Dengan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul “Pemanfaatan Potensi Polaritas Asam Lemak untuk Perbaikan Sifat Fisika, Kimia dan Nilai Kalor Minyak Nabati”.

Disertasi ini disusun berdasarkan penelitian tentang pengaruh struktur asam lemak dan polaritas asam lemak terhadap sifat minyak nabati. Minyak nabati yang dipilih adalah minyak jarak, minyak sawit dan minyak kelapa. Ketiga minyak nabati tersebut memiliki struktur asam lemak yang jauh berbeda. Polaritas minyak nabati dapat dimanfaatkan untuk mempermudah perubahan struktur asam lemak pada pencampuran minyak nabati. Polaritas juga mempengaruhi sifat-sifat minyak nabati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak nabati dapat ditingkatkan sifat-sifatnya, seperti penurunan viskositas dan peningkatan nilai kalor, dengan cara sederhana, yaitu dengan pencampuran dan sedikit pemanasan.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran untuk penyempurnaan kami terima dengan senang hati. Untuk itu diucapkan banyak terimakasih.

Malang, 18 April 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI.....	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI.....	v
RIWAYAT HIDUP.....	vii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ix
RINGKASAN.....	xi
SUMMARY.....	xiii
PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxv
DATAR LAMPIRAN.....	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Review.....	7
2.2 Kerangka Teori.....	10
2.2.1 Minyak Nabati.....	10
2.2.2 Asam Lemak.....	11
2.2.3 Sifat minyak nabati.....	13
2.2.4 Pengaruh struktur asam lemak terhadap sifat minyak nabati.....	15
2.2.5 Treatment Minyak Nabati.....	17
BAB 3 KERANGKA KONSEP PENELITIAN.....	19
3.1 Kandungan asam lemak pada bahan minyak.....	19
3.2 Sifat Asam Lemak pada bahan minyak.....	19
3.3 Pengaruh Komposisi Asam Lemak.....	20

3.4	Hipotesa	21
3.5	Skema Kerangka Konsep	25
BAB 4 METODE PENELITIAN		27
4.1	Bahan	27
4.2	Komposisi Asam Lemak	27
4.3	Metode	28
4.3.1	Pengujian pengaruh pemanasan pada struktur asam lemak	28
4.3.2	Pengujian pengaruh polaritas pada perubahan komposisi asam lemak	30
4.3.3	Pengujian perubahan sifat campuran minyak nabati	30
4.3.4	Penyajian gambar molekul asam lemak	33
4.3.5	Penyajian data	34
BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN		35
5.1	Peningkatan Sifat Minyak Nabati dengan Mengubah Panjang Rantai Asam Lemak dalam Campuran Minyak Jarak dan Minyak Kelapa	35
5.1.1	Komposisi Asam lemak	35
5.1.2	Densitas	43
5.1.3	Viskositas	45
5.1.4	Nilai Kalor	47
5.1.5	Titik Nyala (<i>Flash Point</i>)	48
5.2	Pengaruh polaritas dalam perbaikan sifat fisik dan kimia campuran minyak nabati	51
5.2.1	Komposisi asam lemak	51
5.2.2	Pengaruh polaritas asam lemak dan pemanasan pada asam lemak takjenuh	54
5.2.3	Perbandingan campuran minyak jarak-minyak kelapa dan campuran minyak sawit-minyak kelapa	56
5.2.4	Densitas	59
5.2.5	Viskositas	60
5.2.6	Nilai Kalor	61
5.2.7	Titik Nyala	62
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		63
6.1	Kesimpulan	63
6.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA		67



LAMPIRAN





DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
	Gambar 1-1 Posisi methylene di sekitar ikatan rangkap	4
	Gambar 2-1 Struktur trigliserida	10
	Gambar 2-2 Klasifikasi asam lemak	12
	Gambar 2-3 Konfigurasi asam lemak tak jenuh ; (a) konfigurasi cis (b) konfigurasi trans	12
	Gambar 2-4 Posisi allylic dan bis-allylic	13
	Gambar 2-5. Pengaruh fitur asam lemak terhadap sifat minyak nabati	16
	Gambar 2-6 Klasifikasi polaritas asam lemak	17
	Gambar 2-7. Reaksi transesterifikasi	18
	Gambar 3-1 Eicosatrienoic acid	19
	Gambar 3-2 Lauric Acid	20
	Gambar 3-3 Perubahan posisi ikatan rangkap pada pemanasan minyak jarak	22
	Gambar 3-4 Skema pemicu putusnya ikatan pada cis-11,14,17 eicosatrienoic acid	23
	Gambar 3-5 Perubahan struktur asam lemak pada pengadukan dan pemanasan	23
	Gambar 3-6 Skema kerangka konsep	25
	Gambar 4-1. Skema peralatan untuk pencampuran minyak	29
	Gambar 4-2 Timbangan digital	31
	Gambar 4-3 Viskometer NDJ 8 S	32
	Gambar 4-4 Parr 6050 Bomb Calorimeter	33
	Gambar 4-5 Aplikasi MarvinSketch	34
	Gambar 5-1 Perubahan posisi ikatan rangkap dan perubahan cis 8,11,14 eicosatrienoic acid menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek	39
	Gambar 5-2. Grafik kandungan asam lemak jenuh, takjenuh tunggal dan takjenuh ganda tiap komposisi campuran minyak	40
	Gambar 5-3 Grafik Rata-rata panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan asam lemak terhadap komposisi campuran minyak	41
	Gambar 5-4 Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak jarak-minyak kelapa dengan komposisi 10 -60% minyak jarak	42
	Gambar 5-5 Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak jarak-minyak kelapa dengan komposisi 70 -90% minyak jarak	42

Gambar 5-6 . Densitas campuran minyak jarak dan minyak kelapa dan derajat ketidakjenuhan.....	44
Gambar 5-7. Densitas campuran minyak jarak dan minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon.....	44
Gambar 5-8 Viskositas campuran minyak jarak – minyak kelapa dan derajat ketidakjenuhan.....	45
Gambar 5-9 Viskositas campuran minyak jarak – minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon.....	45
Gambar 5-10. Nilai kalor campuran minyak jarak – minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon.....	48
Gambar 5-11. Nilai kalor campuran minyak jarak – minyak kelapa dan derajat ketidakjenuhan.....	48
Gambar 5-12 Flash point campuran minyak jarak – minyak kelapa dan derajat ketidakjenuhan.....	49
Gambar 5-13. Flash point campuran minyak jarak – minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon.....	49
Gambar 5-14 . Kandungan asam lemak jenuh, takjenuh tunggal dan takjenuh ganda tiap komposisi campuran minyak jarak-minyak kelapa	53
Gambar 5-15 . Kandungan asam lemak jenuh, takjenuh tunggal dan takjenuh ganda tiap komposisi campuran minyak sawit-minyak kelapa.....	53
Gambar 5-16 Isomerisasi Cis-8,11,14 eicosatrienoic acid pada pemanasan minyak jarak	54
Gambar 5-17 Posisi allylic dan bis-allylic pada cis-11,14,17 eicosatrienoic acid.....	55
Gambar 5-18 Ilustrasi putusnya ikatan pada cis-11,14,17 eicosatrienoic acid.....	55
Gambar 5-19. Derajat ketidakjenuhan asam lemak terhadap komposisi campuran minyak.....	56
Gambar 5-20 Rata-rata panjang rantai karbon asam lemak terhadap komposisi campuran minyak.....	57
Gambar 5-21 . Persentase asam lemak polar dan non polar pada campuran minyak.....	57
Gambar 5-22 Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak sawit dan minyak kelapa.....	58
Gambar 5-23. Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak jarak dan minyak kelapa.....	59
Gambar 5-24. Densitas campuran minyak terhadap komposisi campuran minyak.....	59
Gambar 5-25 . Viskositas campuran minyak terhadap komposisi campuran minyak.....	60

Gambar 5-26. Nilai kalor campuran minyak terhadap komposisi campuran minyak.....61

Gambar 5-27. Titik nyala terhadap komposisi campuran minyak.....62

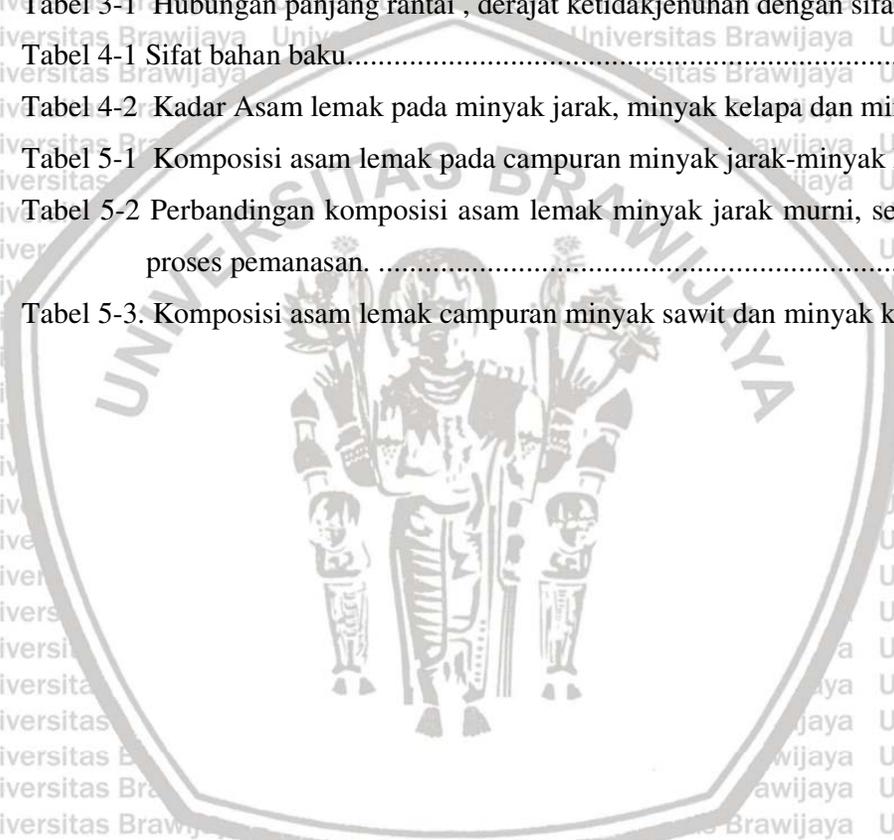






DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 1-1	Viskositas dan Nilai Kalor beberapa minyak nabati.....	2
Tabel 2-1	Asam lemak yang sering terdapat pada bahan bakar nabati.....	13
Tabel 3-1	Hubungan panjang rantai , derajat ketidakjenuhan dengan sifat asam lemak ...	21
Tabel 4-1	Sifat bahan baku.....	27
Tabel 4-2	Kadar Asam lemak pada minyak jarak, minyak kelapa dan minyak sawit.....	28
Tabel 5-1	Komposisi asam lemak pada campuran minyak jarak-minyak kelapa	36
Tabel 5-2	Perbandingan komposisi asam lemak minyak jarak murni, sebelum dan setelah proses pemanasan.	37
Tabel 5-3	Komposisi asam lemak campuran minyak sawit dan minyak kelapa	52







DATAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Naskah publikasi	73





BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Ketersediaan bahan bakar fosil semakin lama semakin menipis, sehingga dibutuhkan adanya bahan bakar alternatif. Banyak penelitian yang ditujukan untuk memperoleh bahan bakar cair dari bahan terbarukan. Minyak nabati merupakan alternatif bahan bakar yang paling potensial.

Minyak nabati dapat dipakai secara langsung ataupun dicampur dengan minyak diesel untuk mengoperasikan motor bakar. Penggunaan campuran minyak nabati dan minyak diesel telah diuji oleh beberapa peneliti (Forson, Oduro, & Hammond-Donkoh 2004)(Pramanik 2003). Penggunaan 100% minyak nabati juga memungkinkan dengan sedikit modifikasi pada sistem bahan bakar (De Almeida et al 2002) (Misra & Murthy 2010).

Kekurangan minyak nabati sebagai bahan bakar diesel adalah, tingginya viskositas, tingginya *pour point*, tingginya *flash point*, tingginya *cloud point*, tingginya densitas dan reaktivitas rantai karbon tak jenuh (Demirbas 2008) dan tingginya emisi Nox, rendahnya stabilitas oksidasi serta kandungan energi yang lebih rendah (Knothe 2008).

Masalah utama yang terkait dengan penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar adalah tingginya viskositas. Viskositas mempengaruhi kemudahan pengkabutan bahan bakar (Demirbas 2009) (Singh & Singh 2010). Viskositas tinggi dapat menyebabkan ukuran droplet yang lebih besar, penguapan lebih sulit dan sempitnya sudut semprotan injeksi (Allen & Watts 2000). Selain itu, masalah yang perlu diperhatikan adalah lebih rendahnya nilai kalor minyak nabati dibanding dengan minyak diesel. Nilai kalor adalah salah satu parameter dalam pemilihan bahan bakar, *Heating value* (panas pembakaran) adalah jumlah energi pemanasan yang dikeluarkan oleh pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar. Nilai kalor minyak nabati lebih rendah dari minyak diesel karena kadar oksigen yang lebih tinggi. Nilai kalor minyak diesel adalah 44.8 MJ/kg. Nilai kalor beberapa minyak nabati dapat dilihat pada Tabel 1-1. Rendahnya nilai kalor bahan bakar menyebabkan turunnya daya mesin dan meningkatnya kebutuhan bahan bakar.

Tabel 1-1 *Viskositas dan Nilai Kalor beberapa minyak nabati*

Minyak Nabati	Densitas	Viskositas Kinematik	Nilai Kalor
	kg/m ³ at 15°C	cSt	MJ/kg
<i>Castor</i>	955	251	37.4
<i>Coconut</i>	918	29.35	34.4-37.1
<i>Corn</i>	910	31-35	39.5
<i>Cottonseed</i>	915	34	38.7-39.5
<i>Crambe</i>	905	54	40.5
<i>Jathropa</i>	940	246.5	36.3-38.8
<i>Linseed</i>	924	26-27	39.3-39.5
<i>Mahua</i>	960	25	36
<i>Neem</i>	919	50	-
<i>Palm</i>	918	23.6	39.0-39.5
<i>Peanut</i>	903	40	39.8
<i>Rapeseed</i>	912	35-37	39.7
<i>Sesame</i>	913	36	39.4
<i>Soybean</i>	914	29-33	39.6
<i>Safflower</i>	914	31	39.5
<i>Sunflower</i>	916	34-36	39.6

Sumber (Misra & Murthy 2010)(Karmakar, Karmakar, & Mukherjee 2010)(Singh & Singh 2010)

Beberapa metode telah digunakan untuk menurunkan viskositas minyak nabati, yaitu pirolisis, pencampuran dan transesterifikasi (Jain & Sharma 2010) (Sharma, Singh, & Upadhyay 2008). Cara yang paling mudah adalah pencampuran minyak nabati dengan minyak diesel. Persentase minyak nabati sampai dengan 50%, selebihnya adalah minyak diesel. Seiring dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil, cara ini tidak akan berkelanjutan.

Transesterifikasi adalah reaksi *triglyserida* dengan alkohol membentuk ester dan gliserol. Proses ini membutuhkan alkohol dan katalis. Reaksi transesterifikasi biasanya dilakukan pada temperatur 60 – 70 °C dalam waktu 60 menit (Benjumea, Agudelo, & Agudelo 2008).

Pirolisis adalah metode konversi satu zat ke zat lain melalui panas tanpa adanya udara atau oksigen. Pirolisis bisa dilakukan dengan bantuan katalis maupun tanpa katalis. Ikatan karbon pada minyak nabati mulai putus pada 250 °C. Pirolisis minyak nabati menghasilkan alkana, alkena, alkadiena dan asam karboksilat (Lima et al 2004).

Minyak nabati tersusun dari *triglyserida* (90% sampai 98 %) dan sedikit *mono* dan *diglyserida*. *Triglyserida* tersusun dari tiga molekul asam lemak dan satu molekul glicerol. *Triglyserida* mengandung oksigen dalam jumlah yang signifikan. Struktur molekul asam lemak mempunyai panjang rantai karbon dan jumlah ikatan ganda yang bervariasi (Agarwal & Agarwal 2007).

Penelitian tentang pengaruh asam lemak terhadap sifat minyak nabati telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Sifat minyak nabati dipengaruhi oleh komposisi asam lemak penyusunnya (Martínez et al. 2014). Hoekman telah melakukan review terkait pengaruh panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan asam lemak terhadap sifat minyak, seperti viskositas, densitas, nilai kalor, *cetane number* dan *cloud point* (Hoekman et al. 2012). Hal yang sama disampaikan juga oleh Knothe (2005). Panjang rantai, posisi, jumlah dan bentuk ikatan rangkap berpengaruh pada viskositas (Knothe & Steidley 2005).

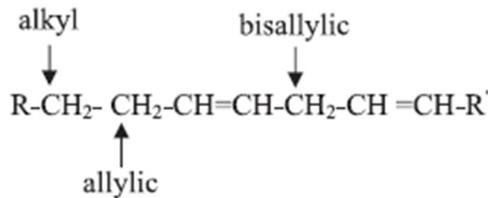
Dua fitur komposisi dari asam lemak yang paling penting dalam menentukan sifat bahan bakar adalah panjang rantai asam lemak dan derajat ketidakjenuhan. Semakin panjang rantai karbon asam lemak akan meningkatkan viskositas, titik beku, titik tuang, *cold filter plugging point* (CFPP), nilai kalor dan *cetane number*. Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan akan menyebabkan turunnya viskositas, titik beku, titik tuang, CFPP, nilai kalor, *cetane number* dan stabilitas oksidasi. Selain itu, tingginya derajat ketidakjenuhan akan meningkatkan densitas dan iodine value (Hoekman et al. 2012).

Indonesia merupakan salah satu wilayah penghasil jarak, kelapa dan sawit. Minyak jarak merupakan salah satu minyak nabati *non-edible* paling potensial (Silitonga et al. 2011). Namun viskositas minyak jarak relatif tinggi dibanding minyak nabati lainnya. Minyak kelapa dan minyak sawit memiliki viskositas yang relatif rendah, namun keduanya merupakan minyak *edible*.

Minyak jarak tersusun dari asam lemak yang sebagian besar adalah asam tak jenuh ganda dengan rantai panjang. Minyak kelapa tersusun dari asam laurat ($C_{12}H_{24}O_2$), asam palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) dan asam myristat ($C_{14}H_{28}O_2$) yang merupakan asam lemak jenuh dengan rantai sedang. Minyak sawit memiliki asam lemak rantai sedang yaitu asam palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) dan asam oleat ($C_{18}H_{34}O_2$).

Asam lemak jenuh dan tak jenuh ganda cenderung bersifat polar, sedangkan asam lemak tak jenuh tunggal bersifat non-polar (Parcerisa et al. 1997) (Murali et al. 1993). Polaritas asam lemak mempengaruhi gaya interaksi antar molekul. Gaya interaksi tersebut juga berpengaruh terhadap sifat minyak, seperti viskositas dan densitas (Rodrigues et al.

2006) (Refaat 2009). Minyak jarak dan minyak kelapa didominasi asam lemak polar, sedangkan minyak sawit didominasi asam lemak non-polar.



Gambar 1-1 Posisi *methylene* di sekitar ikatan rangkap

Gambar 1-1 menunjukkan posisi *methylene* pada asam lemak tak jenuh. *Methylene* (CH_2) di sekitar ikatan rangkap (*allylic* dan *bisallylic*) merupakan posisi yang paling lemah ikatannya (Lin, Zhu, & Tavlarides 2014). Pemanasan dapat menjadi penyebab putusya ikatan karbon tersebut. Asam lemak mulai terdekomposisi pada suhu $250\text{ }^\circ\text{C}$ (Lima et al. 2004). Gaya tarik dari molekul polar diperkirakan berpotensi mempermudah putusya ikatan karbon.

Upaya untuk memperbaiki sifat minyak nabati diantaranya adalah mengubah komposisi asam lemak penyusunnya (Knothe 2008). Salah satu cara perubahan komposisi adalah dengan mencampur beberapa minyak nabati. Sebagian besar penelitian dalam pencampuran minyak nabati dari bahan baku yang berbeda hanya terfokus pada bahan baku dengan sedikit variasi komposisi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peran polaritas dan komposisi asam lemak terhadap sifat campuran minyak, terutama viskositas, densitas, flash point dan nilai kalor. Sifat-sifat tersebut, terutama viskositas, sangat penting dalam penggunaan minyak sebagai bahan bakar (Allen & Watts 2000). Penelitian dilakukan terhadap minyak jarak, minyak kelapa, dan minyak sawit. Ketiga minyak memiliki perbedaan kandungan asam lemak. Bahan-bahan tersebut termasuk bahan yang paling potensial (Hoekman et al. 2012). Penelitian ini sangat penting untuk memperoleh campuran minyak nabati yang memiliki sifat mendekati minyak diesel. Minyak hasil campuran dengan sifat yang optimal dapat dilanjutkan untuk pemrosesan bahan bakar selanjutnya seperti transesterifikasi, *dilution* dan pirolisis.

1.2 Rumusan Masalah

Kelemahan minyak nabati sebagai bahan bakar adalah tingginya viskositas dan rendahnya nilai kalor. Sifat-sifat tersebut sangat penting pada penggunaan bahan bakar. Viskositas yang tinggi mempersulit pengkabutan bahan bakar, sedangkan rendahnya nilai kalor mempertinggi konsumsi bahan bakar. Minyak jarak adalah minyak *non-edible* yang potensial untuk alternatif bahan bakar. Viskositas minyak jarak relatif tinggi dibanding minyak nabati lainnya.

Upaya perbaikan sifat minyak nabati telah banyak dilakukan, seperti pirolisis, transesterifikasi dan pencampuran dengan minyak diesel. Kebanyakan upaya tersebut tidak memperhatikan struktur asam lemak minyak nabati.

Sifat minyak nabati dipengaruhi oleh struktur asam lemak yang terkandung pada minyak. Struktur asam lemak yang mempengaruhi sifat adalah panjang rantai karbon, derajat ketidakteraturan. Selain itu sifat minyak nabati juga dipengaruhi oleh polaritas asam lemak.

Perbaikan sifat minyak nabati dapat dilakukan dengan perubahan struktur asam lemak penyusunnya. Cara perubahan struktur untuk perbaikan sifat minyak yang mudah dan ekonomis adalah dengan pencampuran antara minyak nabati. Asam lemak pada minyak nabati ada yang bersifat polar maupun non polar. Polaritas asam lemak berpotensi mempermudah perubahan struktur asam lemak tersebut. Perlu dipertimbangkan untuk menggunakan minyak nabati yang mengandung asam lemak polar.

Untuk itu perlu dilakukan penelitian **untuk membuktikan bagaimana peran polaritas asam lemak terhadap perubahan sifat fisika, kimia dan kandungan energi dari pencampuran minyak nabati.**

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah perbaikan sifat minyak nabati melalui perubahan komposisi asam lemaknya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan campuran minyak nabati dengan sifat yang lebih baik untuk bahan bakar.
2. Memberi kontribusi pada pengembangan bahan bakar terbarukan.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Review

Minyak nabati merupakan bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel. Penelitian penggunaan minyak nabati untuk bahan bakar telah dilakukan oleh banyak peneliti. Kemungkinan penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar adalah dengan pemakaian langsung (De Almeida et al. 2002)(Misra & Murthy 2010), pencampuran dengan minyak diesel, pirolisis dan transesterifikasi (Jain & Sharma 2010). Diantara minyak nabati yang digunakan adalah minyak jarak, minyak sawit dan minyak kelapa.

Ada dua bahan baku yang berbeda banyak dari yang lain, yaitu kelapa dan jarak. Minyak kelapa adalah minyak yang paling jenuh dan ditandai dengan viskositas relatif rendah dan bilangan setana tinggi. Minyak jarak meskipun menunjukkan stabilitas oksidasi yang sangat baik dan pada saat yang sama memiliki sifat *cold flow* sangat baik, tidak memenuhi tiga spesifikasi bahan bakar utama yaitu, bilangan setana, viskositas dan densitas (Giakoumis 2013).

Minyak nabati tersusun dari berbagai macam asam lemak. Komposisi asam lemak pada minyak nabati mempengaruhi sifat-sifat minyak nabati tersebut. Perbedaan sifat minyak dari sumber yang berbeda dipengaruhi oleh panjang rantai asam lemak dan jumlah ikatan rangkap karbon-karbon pada rantainya (Misra & Murthy 2010). Penelitian tentang pengaruh komposisi asam lemak terhadap sifat minyak nabati dan biodiesel telah dilakukan oleh beberapa peneliti (Hoekman et al. 2012).

Derajat ketidakjenuhan (rata-rata jumlah ikatan ganda) berhubungan erat dengan Bilangan Iod (Giakoumis 2013) (Gopinath, Puhan, & Nagarajan 2009). Korelasi statistik tinggi ($R^2 > 0.60$) juga diperoleh untuk bilangan setana, densitas, titik tuang, kandungan karbon, jumlah atom karbon, rasio udara-bahan bakar stoikiometri dan suhu distilat. Ketidakjenuhan juga berkorelasi signifikan dengan viskositas kinematik, nilai kalor, titik awan dan titik nyala (Giakoumis 2013).

Bahan baku minyak jenuh (seperti yang berasal dari kelapa, sawit dan lemak) memiliki kelebihan dalam bilangan setana dan stabilitas oksidasi (dan emisi NO_x biasanya lebih rendah), namun menunjukkan *cold flow* yang buruk, viskositas kinematik yang lebih

tinggi, titik nyala yang relatif lebih rendah dan nilai kalor yang lebih rendah (Giakoumis 2013). Sebaliknya, peningkatan ketidakjenuhan akan menurunkan viskositas kinematik, meningkatkan *cold flow property* dan nilai kalor, tetapi juga menurunkan CN dan stabilitas oksidasi (Giakoumis 2013) (Ramos et al. 2009).

Pinzi melakukan studi pengaruh struktur kimia biodiesel pada sifat pembakaran mesin diesel pada mesin injeksi mekanik. Hasil yang didapatkan antara lain bahwa semakin panjang rantai akan meningkatkan viskositas kinematik. Sedangkan semakin tinggi tingkat ketidakjenuhan akan menurunkan viskositas. Nilai kalor bahan bakar secara langsung berkorelasi dengan panjang rantai (Pinzi et al. 2013).

Hoekman telah melakukan review terhadap penelitian-penelitian terkait komposisi biodiesel dan sifat-sifatnya. Komposisi asam lemak penyusun biodiesel, terutama berkaitan dengan panjang rantai dan tingkat ketidakjenuhan berpengaruh pada sifat biodiesel. Semakin panjang rantai karbon akan berpengaruh pada meningkatnya viskositas, titik awan (CP), titik tuang (PP), *cold filter plugging point* (CFPP), bilangan setana dan nilai kalor. Sedangkan semakin tinggi tingkat ketidakjenuhan berpengaruh pada turunnya viskositas, CP, PP, CFPP, nilai kalor dan stabilitas oksidasi. Di sisi lain, semakin tinggi tingkat ketidakjenuhan akan berpengaruh pada naiknya densitas dan bilangan iod (Hoekman et al. 2012).

Sifat lain yang perlu diperhitungkan pada asam lemak adalah polaritas. Asam lemak polar cenderung meningkatkan ikatan hidrogen dibanding asam lemak non polar. Hal tersebut menyebabkan hidrokarbon non-polar memiliki viskositas yang lebih rendah (Teeter & Cowan 1956).

Tingginya viskositas minyak nabati merupakan alasan utama modifikasi minyak nabati sebagai bahan bakar. Modifikasi yang dilakukan biasanya adalah modifikasi secara fisik dan secara kimia, berupa pencampuran dengan minyak diesel, pirolisis, hidrogenasi dan transesterifikasi (Lanjekar & Deshmukh 2016). Selain modifikasi dengan cara tersebut, ada juga modifikasi dengan cara genetik (Lanjekar & Deshmukh 2016).

Pada pencampuran minyak nabati dengan minyak diesel, viskositas campuran bisa sangat bervariasi. Campuran 30% minyak nabati merupakan batas dimana bahan bakar dapat digunakan tanpa mengganti injector diesel (Abollé, Kouakou, & Planche 2009).

Penelitian penggunaan minyak jarak sebagai bahan bakar diantaranya dilakukan oleh Pramanik (2003). Dari sifat dan hasil tes pada mesin, dapat disimpulkan bahwa 40-

50% minyak jarak dapat digunakan sebagai pengganti minyak diesel tanpa modifikasi mesin dan tanpa pemanasan dari campuran.

Forson telah melakukan penelitian penggunaan minyak jarak pada mesin diesel silinder tunggal. Dalam penelitian tersebut digunakan berbagai variasi campuran minyak jarak dengan minyak diesel, baik dengan pemanasan awal maupun tanpa pemanasan awal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak jarak dapat digunakan dengan mudah sebagai pengganti minyak diesel (Forson, Oduro, & Hammond-Donkoh 2004).

Penelitian penggunaan minyak kelapa sebagai bahan bakar diantaranya dilakukan oleh How dan kawan-kawan. Minyak kelapa dengan minyak diesel dicampur untuk bahan bakar *multicylinder engine*. Mesin dioperasikan dengan bahan bakar diesel murni dan bahan bakar campuran minyak diesel dengan 10%, 30% dan 50% minyak kelapa. Mesin berhasil dioperasikan dengan tiga variasi campuran minyak diesel dan minyak kelapa (C10, C30 dan C50) pada dua variasi *throttle settings* (75% dan 50%) (How et al. 2012).

Lima et al. (2004) meneliti pirolisis dari minyak kedelai, minyak sawit dan minyak kastor pada suhu 350 – 400°C. Hasil pirolisis minyak sawit yang sebagian besar berupa asam lemak jenuh adalah alkana, alkena, alkadiena dan asam karboksilat (Lima et al. 2004).

Karakteristik masing-masing asam lemak telah diteliti oleh Knothe (2007). Karena pengaruh asam lemak terhadap sifat bahan bakar nabati, disampaikan juga kemungkinan pengembangan sifatnya antara lain bilangan setana, *exhaust emmissions*, nilai kalor, *low-temperature properties*, viskositas kinematik dan stabilitas oksidasi. Knothe juga menyampaikan kemungkinan perubahan komposisi asam lemak untuk perbaikan sifat-sifat biodiesel (Knothe 2005).

Beberapa peneliti telah melakukan upaya untuk memperbaiki sifat-sifat minyak nabati dan biodiesel sebagai bahan bakar dengan melakukan pencampuran beberapa jenis minyak nabati. Hal tersebut dimaksudkan untuk mengkombinasikan sifat asam lemak dari berbagai minyak nabati.

Moser telah melakukan penelitian pengaruh pencampuran biodiesel dari berbagai minyak nabati (sawit, kedelai, canola dan bunga matahari) terhadap sifat biodiesel. Bilangan Iod dan stabilitas oksidasi dari biodiesel minyak kedelai meningkat dengan pencampuran dengan biodiesel minyak lainnya. CFPP dari biodiesel minyak sawit mengalami peningkatan setelah pencampuran (Moser 2008).

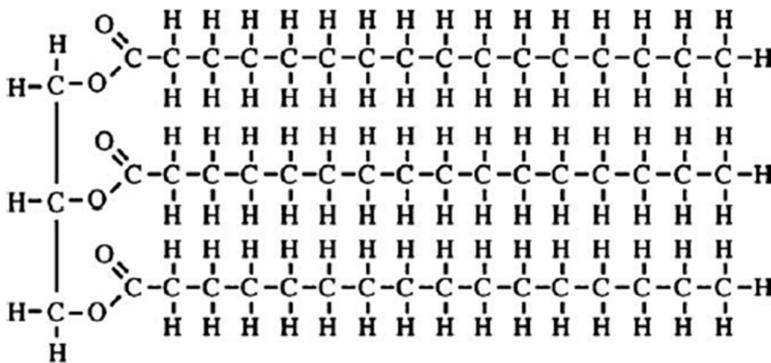
Yusup dan Khan melakukan penelitian campuran minyak sawit dan minyak biji karet. Densitas, viskositas kinematik, nilai kalor, nilai asam, kandungan asam lemak bebas, indeks bias, mono-, di- dan trigliserida dan kandungan belerang dari campuran relatif linier dengan sifat bahan bakunya (Yusup & Khan 2010).

Karena pentingnya viskositas dan nilai kalor pada bahan bakar, maka upaya untuk memperbaiki sifat tersebut pada minyak nabati perlu dilakukan. Penelitian yang secara khusus membahas upaya perbaikan sifat, terutama viskositas dan nilai kalor, dengan perubahan komposisi asam lemak belum pernah dilakukan. Cara yang efisien untuk perubahan komposisi asam lemak minyak nabati adalah dengan pencampuran antara minyak nabati yang berbeda.

2.2 Kerangka Teori

2.2.1 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan senyawa trigliserida, yaitu senyawa yang memiliki tiga ikatan ester pada gliserol. Trigliserida tersusun dari tiga molekul asam lemak dan gliserol. Asam lemak pada minyak nabati dapat homogen ataupun heterogen. Struktur trigliserida disampaikan pada Gambar 2-1



Gambar 2-1 Struktur trigliserida (Ong et al. 2011)

Jarak adalah pohon tahan kekeringan yang termasuk dalam keluarga *Euphorbiaceae*, yang banyak terdapat di Amerika, Asia Tenggara, India dan Afrika. Jarak sangat mudah untuk ditanam dan tumbuh hampir di mana-mana. Hasil dapat diperoleh selama 50 tahun dengan kandungan minyak yang tinggi sekitar 37 % atau lebih. Minyak jarak memiliki sifat berharga seperti keasaman rendah, stabilitas yang baik dibandingkan

dengan minyak kedelai dan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan sawit. Selain itu, minyak jarak memiliki bilangan setana lebih tinggi dibandingkan dengan diesel yang membuatnya menjadi bahan bakar alternatif yang baik dengan tidak ada modifikasi yang diperlukan dalam mesin (Divakara et al. 2010).

Negara dengan lahan tanaman kelapa terbesar adalah Indonesia yang memiliki lahan tanaman kelapa seluas 3,88 juta hektar (97% diantaranya adalah perkebunan rakyat), menghasilkan produksi 3,2 juta ton setara kopra (Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia 2010). Minyak kelapa tersusun dari asam lemak jenuh dengan rantai sedang. Viskositas minyak lebih rendah dari minyak jarak.

Minyak kelapa dibuat dari buah kelapa. Tanaman kelapa merupakan famili *Palmae* dan genus *Cocos*. Bahan baku utama minyak kelapa adalah daging kelapa. Karena kadar asam laurat paling tinggi dibandingkan dengan asam lemak lain, maka minyak kelapa tergolong dalam minyak asam laurat. Berdasarkan derajat ketidakjenuhannya, minyak kelapa termasuk kelompok *non drying oils*.

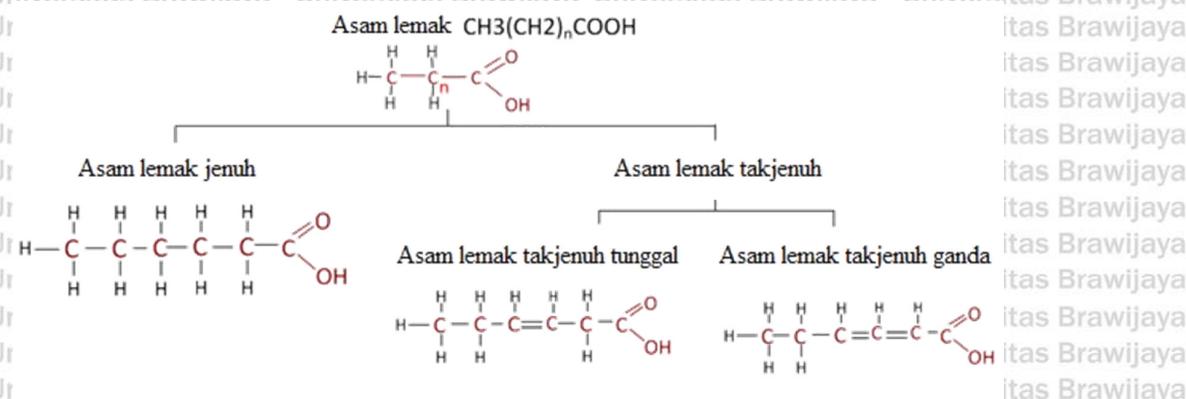
Tanaman sawit berasal dari Afrika, tetapi produksi sawit terbesar terdapat di Asia Tenggara, terutama Malaysia dan Indonesia. Sawit merupakan tanaman yang menghasilkan produksi per area per tahun paling efisien (Issariyakul & Dalai 2014).

2.2.2 Asam Lemak

Asam lemak adalah senyawa alifatik yang memiliki gugus karboksil. Asam lemak merupakan penyusun utama minyak nabati. Secara alami, asam lemak dapat berupa asam lemak bebas maupun terikat sebagai gliserida.

Asam lemak yang tidak terikat pada gliserol disebut asam lemak bebas (*free fatty acid*). Komponen terbesar pada minyak nabati adalah trigliserida yaitu >95%. Selain itu ada asam lemak bebas dan komponen lainnya.

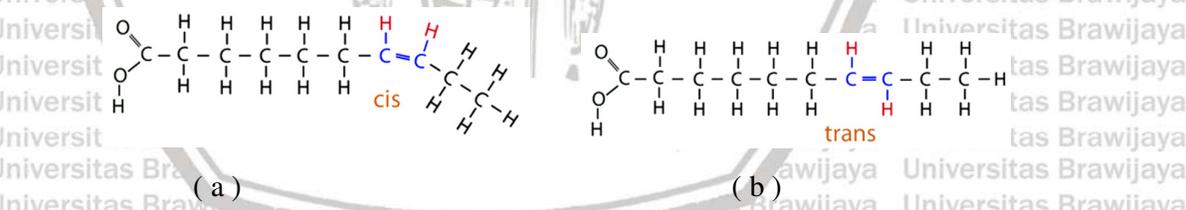
Berdasarkan ikatan karbonnya, asam lemak dapat dikelompokkan menjadi **asam lemak jenuh** dan **asam lemak tak jenuh** (Gambar 2-2). Asam lemak tak jenuh mempunyai minimal satu ikatan rangkap, sedangkan asam lemak jenuh tidak mempunyai ikatan rangkap.



Gambar 2-2 Klasifikasi asam lemak

Asam lemak jenuh tidak mudah bereaksi (lebih stabil) dibandingkan asam lemak tak jenuh. Reaksi lebih mudah terjadi pada ikatan rangkap.

Asam lemak tak jenuh mempunyai minimal satu ikatan rangkap. Ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh dapat memiliki bentuk *cis* atau *trans* (Gambar 2-3). Jika atom hidrogen berada pada sisi yang sama, konfigurasi disebut *cis*. Polarisasi atom H mengakibatkan rantai asam lemak *cis* berbentuk melengkung. Pada konfigurasi *trans*, posisi atom H tidak pada sisi yang sama sehingga tidak terjadi efek polarisasi. Hal tersebut membuat rantai molekul relatif lurus.



Gambar 2-3 Konfigurasi asam lemak tak jenuh ; (a) konfigurasi *cis* (b) konfigurasi *trans*

Pada asam lemak tak jenuh, posisi *allylic* adalah *methylene* (CH_2) yang berdekatan hanya dengan satu ikatan rangkap. *Methylene* yang terletak di antara dua ikatan rangkap adalah posisi *bis-allylic* (Gambar 2-4). Posisi *bis-allylic* sekitar 2,5 kali lebih reaktif dibanding posisi *allylic* (Pullen & Saeed 2012).

(Haşimoğlu et al. 2008). Viskositas tinggi dapat menyebabkan ukuran droplet yang lebih besar, penguapan lebih sulit dan sempitnya sudut semprotan injeksi (Allen & Watts 2000). Hal tersebut dapat menyebabkan pembakaran yang kurang baik secara keseluruhan dan emisi yang tinggi. Viskositas minyak nabati murni jauh lebih tinggi dari viskositas minyak diesel.

2. Densitas

Densitas adalah sifat fisik yang digunakan untuk menghitung volume bahan bakar yang diperlukan pada suatu pembakaran. Oleh karena itu, efek densitas pada pengoperasian mesin sangat penting. Karena pompa injeksi bahan bakar memompa bahan bakar berdasar volume, bukan berdasar massa, maka besarnya bahan bakar yang disuntikkan tergantung pada densitasnya. Dengan demikian, rasio udara - bahan bakar dan kandungan energi dalam ruang pembakaran dipengaruhi oleh densitas bahan bakar.

3. Cold Flow Properties

Cold flow properties adalah salah satu pertimbangan yang penting bagi pengguna bahan bakar nabati. Secara umum, semakin panjang rantai karbon, semakin tinggi titik leleh, dan semakin buruk kinerja pada suhu rendah (Refaat 2009). Bahan baku dengan struktur asam lemak sangat jenuh menghasilkan bahan bakar nabati dengan *cold flow properties* yang buruk, sedangkan bahan baku dengan struktur asam lemak tak jenuh tinggi menghasilkan bahan bakar yang memiliki kinerja yang lebih baik.

4. Cetane Number

Cetane number (CN) adalah ukuran karakteristik kualitas penyalaan bahan bakar itu. Bahan bakar nabati biasanya memiliki CN lebih tinggi dari minyak solar. Bahan bakar nabati yang didominasi asam lemak jenuh memiliki CN lebih tinggi dari bahan bakar nabati dari bahan baku yang kurang jenuh. Peningkatan derajat ketidakjenuhan menyebabkan penurunan CN (Knothe 2005).

Cetane Number (CN) banyak digunakan sebagai parameter kualitas bahan bakar diesel yang berkaitan dengan waktu *delay* pengapian dan kualitas pembakaran. *Cetane Number* yang memadai diperlukan untuk kinerja mesin yang baik.

5. Bilangan Iod

Bilangan iod merupakan ukuran derajat ketidakjenuhan. Asam lemak tak jenuh mudah bergabung dengan iodium. Bilangan iodium didefinisikan sebagai banyaknya iodium (dalam gram) yang dapat diserap oleh 100 gram asam lemak. Bilangan Iod (*Iodine*

Value) secara langsung berkaitan dengan ketidakjenuhan asam lemak (Hoekman et al. 2012).

6 Titik Nyala

Titik nyala berbanding terbalik dengan volatilitas bahan bakar. Spesifikasi titik nyala bahan bakar nabati dimaksudkan untuk mencegah kontaminasi oleh kotoran yang sangat *volatile*, terutama kelebihan metanol yang tersisa setelah proses pengupasan produk (Hoekman et al. 2012).

7 Nilai Kalor

Karena kandungan oksigen yang tinggi, minyak nabati memiliki nilai kalor lebih rendah dari minyak diesel. Semakin meningkat panjang rantai karbon asam lemak (untuk tingkat jenuh konstan) fraksi massa oksigen berkurang, sehingga nilai kalor meningkat (Demirbas 2008).

8 Pelumasan

Pelumasan mengacu pada pengurangan gesekan antara permukaan padat dalam gerak relatif. Pelumasan yang baik dalam bahan bakar diesel sangat penting untuk melindungi sistem injeksi bahan bakar. Bahan bakar nabati dari semua bahan baku umumnya dianggap sebagai memiliki pelumasan yang sangat baik. Asam lemak bebas dan monogliserida adalah pelumas yang sangat efektif (Knothe 2005).

9 Stabilitas Oksidatif

Bahan bakar yang tidak stabil dapat menyebabkan peningkatan viskositas, serta pembentukan gusi, sedimen, dan deposit lainnya. Stabilitas oksidatif tidak hanya ditentukan oleh sifat komposisi asam lemak, tetapi juga oleh umur bahan bakar nabati dan kondisi-kondisi penyimpanan. Stabilitas oksidasi dipengaruhi oleh ketidakjenuhan. Secara umum, ketidakjenuhan yang lebih tinggi menyebabkan kurangnya stabilitas (Knothe 2005).

2.2.4 Pengaruh struktur asam lemak terhadap sifat minyak nabati

Fitur komposisi dari asam lemak umumnya dianggap sebagai yang paling penting dalam menentukan sifat bahan bakar adalah panjang rantai asam lemak dan derajat ketidakjenuhan. Pengaruh dari kedua fitur tersebut pada sifat minyak diuraikan berikut ini.

Viskositas semakin tinggi dengan semakin banyaknya kadar asam lemak rantai panjang. Semakin panjang rantai molekul, gaya interaksi antar molekul relatif lebih kuat.

Hal tersebut menyebabkan viskositas campuran semakin tinggi (Knothe & Steidley 2007).

Viskositas berhubungan erat dengan tingkat kejenuhan, dimana semakin jenuh, maka viskositas semakin rendah. Konfigurasi ikatan rangkap mempengaruhi viskositas, dimana konfigurasi *trans* memberikan viskositas lebih tinggi dari *cis* (Knothe 2005). Kebanyakan minyak alami didominasi oleh ikatan rangkap *cis*, tetapi minyak jelantah bisa memiliki kadar konfigurasi *trans* yang cukup tinggi (Refaat 2009). Lokasi ikatan rangkap dalam rantai asam lemak memiliki sedikit pengaruh pada viskositas.

Secara umum, densitas minyak nabati sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar. Densitas sangat dipengaruhi oleh tingkat kejenuhan asam lemak, dimana semakin jenuh maka densitas meningkat. Densitas minyak nabati juga dipengaruhi oleh panjang rantai. Rantai yang panjang menyebabkan densitas berkurang (Refaat 2009).

Nilai titik nyala dipengaruhi oleh panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan. Semakin panjang rantai karbon suatu asam lemak, titik nyala semakin tinggi. Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan menyebabkan titik nyala semakin rendah (Carareto et al. 2012).

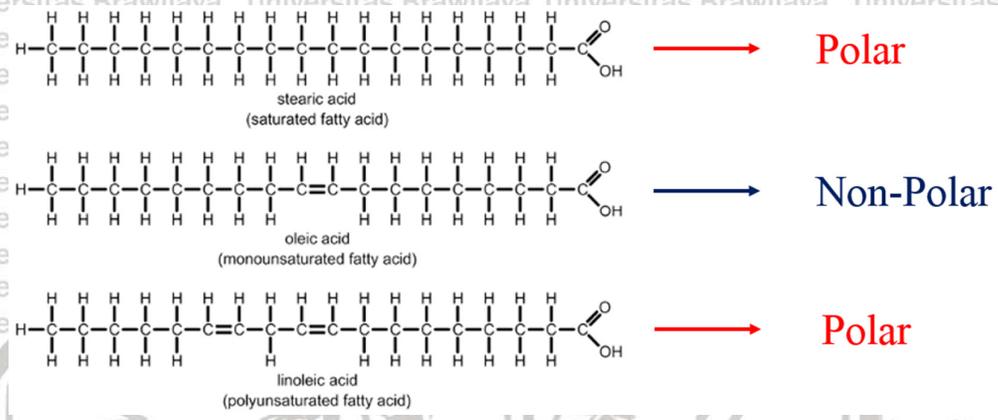
Tingkat kejenuhan memiliki pengaruh pada nilai kalor. Kandungan energi per massa pada asam lemak tak jenuh lebih rendah (MJ/kg), tetapi konten energi volumetriknya lebih tinggi (MJ/gal) dibanding asam lemak jenuh (Knothe 2005). Semakin panjang rantai karbon suatu asam lemak, fraksi massa oksigen berkurang, sehingga nilai kalor meningkat (Demirbas 2008). Pengaruh fitur asam lemak terhadap sifat minyak nabati dapat dilihat pada gambar berikut.

FAME Properties	Viscosity	Density	CP, PP, CFPP	Cetane Number	Iodine Number	Heating Value, MJ/kg	Lubricity	Oxidative Stability
FAME Composition								
FAME Blend Level (from B0 to B20)	↑	↑	↑	↓↑	↑	↓	↑	↓
Average Chain Length	↑	-	↑	↑		↑		
Chain Branching			↓	↓				
Degree of Unsaturation	↓	↑	↓	↓	↑	↓	-	↓
Alcohol Length and Branching	↑		↓	-				

Gambar 2-5. Pengaruh fitur asam lemak terhadap sifat minyak nabati (Hoekman et al. 2012)

Selain derajat ketidakjenuhan dan panjang rantai, hal lain yang mempengaruhi sifat minyak nabati adalah polaritas asam lemak penyusunnya. Asam lemak jenuh dan tak jenuh

ganda cenderung bersifat polar, sedangkan asam lemak tak jenuh tunggal bersifat non polar (Parcerisa et al. 1997) (Murali et al. 1993). Gambar 2-6 menunjukkan klasifikasi polaritas asam lemak. Polaritas asam lemak mempengaruhi gaya interaksi antar molekul. Gaya interaksi tersebut juga berpengaruh terhadap sifat minyak, seperti viskositas dan densitas (Rodrigues et al. 2006) (Refaat 2009).



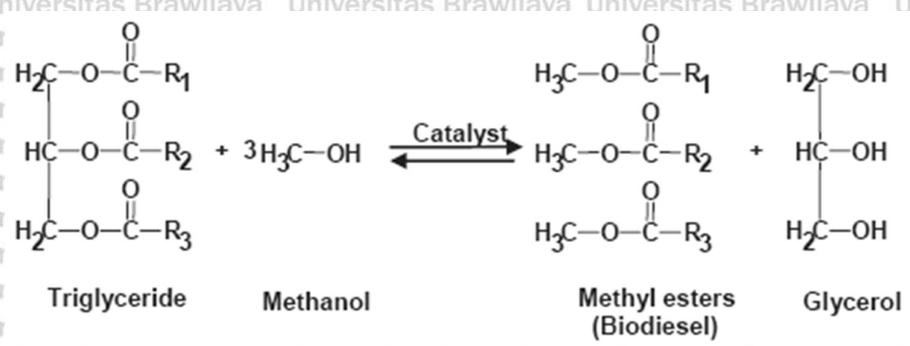
Gambar 2-6 Klasifikasi polaritas asam lemak

2.2.5 Treatment Minyak Nabati

Beberapa upaya telah dilakukan untuk mengembangkan turunan minyak nabati agar mendekati sifat dan kinerja bahan bakar diesel berbasis hidrokarbon. Metode yang biasa dipakai setidaknya empat cara: pirolisa, mikroemulsi, pengenceran dan transesterifikasi (Singh & Singh 2010).

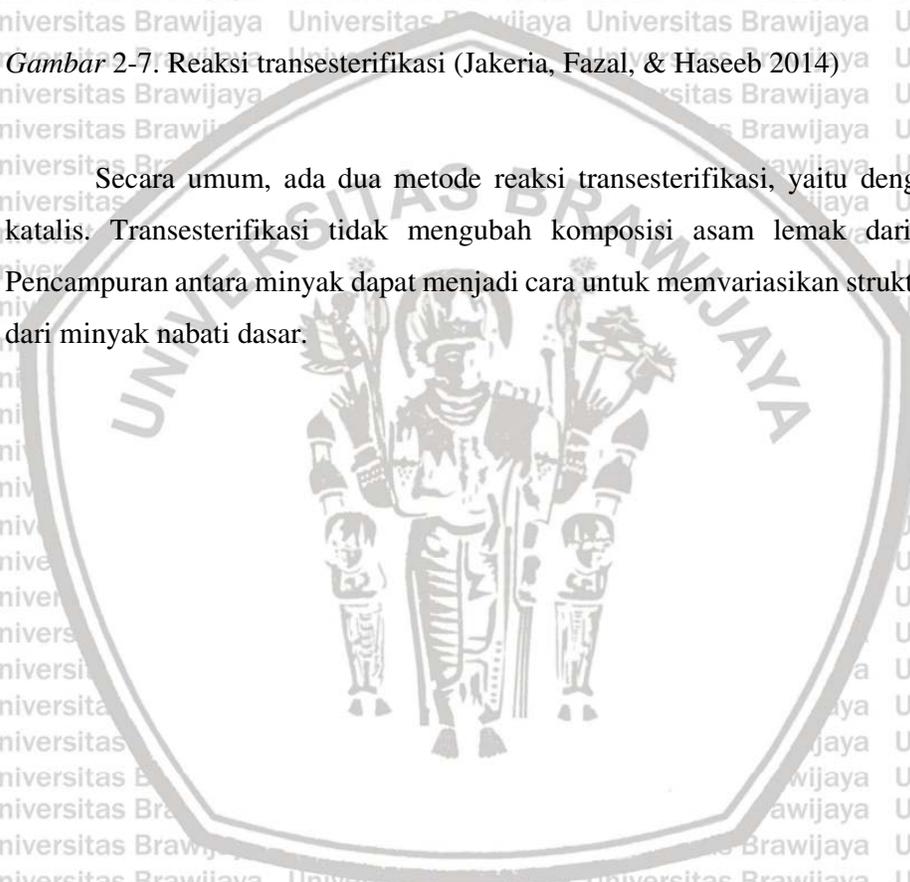
Pirolisis adalah metode konversi satu zat ke zat lain melalui panas atau panas dengan bantuan katalis tanpa adanya udara atau oksigen. Prosesnya sederhana, tanpa limbah, bebas polusi dan efektif dibandingkan dengan proses cracking lainnya. Pada proses pengenceran, minyak nabati dicampur dengan minyak diesel untuk mendapatkan minyak dengan viskositas yang layak untuk menjalankan mesin.

Transesterifikasi (juga disebut alkoholisasi) adalah reaksi antara trigliserida dengan alkohol yang menghasilkan ester dan gliserol. Katalis biasanya digunakan untuk memperbaiki laju reaksi dan hasil. Gambar 2-7 menunjukkan skema reaksi transesterifikasi.



Gambar 2-7. Reaksi transesterifikasi (Jakeria, Fazal, & Haseeb 2014)

Secara umum, ada dua metode reaksi transesterifikasi, yaitu dengan atau tanpa katalis. Transesterifikasi tidak mengubah komposisi asam lemak dari bahan baku. Pencampuran antara minyak dapat menjadi cara untuk memvariasikan struktur asam lemak dari minyak nabati dasar.



BAB 3 KERANGKA KONSEP PENELITIAN

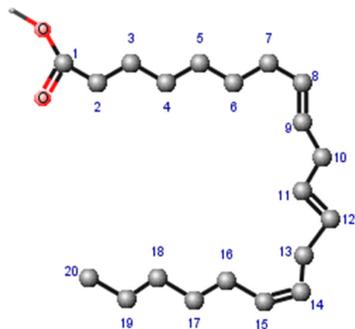
3.1 Kandungan asam lemak pada bahan minyak.

Minyak jarak kaya akan asam lemak tak jenuh ganda, minyak sawit banyak mengandung asam lemak tak jenuh tunggal, sedangkan minyak kelapa kaya akan asam lemak jenuh. Minyak jarak memiliki kandungan asam lemak yang paling dominan adalah eicosatrienoic acid (C20:3). Asam lemak yang dominan pada minyak kelapa adalah *lauric acid* (C12:0) dan *myristic acid* (C14:0), sedangkan pada minyak sawit, asam lemak yang dominan adalah *cis-9 oleic acid* (C18:1).

3.2 Sifat Asam Lemak pada bahan minyak

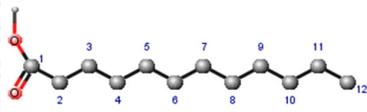
Asam lemak dengan ikatan tunggal disebut asam lemak jenuh. Asam lemak yang setidaknya mempunyai satu ikatan rangkap disebut asam lemak tidak jenuh. Asam lemak jenuh lebih sulit bereaksi dibanding asam lemak tak jenuh. Sifat minyak nabati ditentukan oleh sifat asam lemak penyusunnya.

Eicosatrienoic acid merupakan penyusun utama minyak jarak. *Eicosatrienoic acid* (Gambar 3-1) adalah asam lemak rantai panjang dengan rantai karbon sepanjang 20 dan memiliki 3 ikatan rangkap. Berat molekul *eicosatrienoic acid* adalah 306.48. Karena merupakan asam lemak dengan rantai panjang, gaya interaksi antar molekul relatif besar, sehingga *eicosatrienoic acid* memiliki viskositas yang tinggi.



Gambar 3-1 *Eicosatrienoic acid*

Minyak kelapa terutama mengandung *lauric acid*. *Lauric acid* (Gambar 3-2) merupakan asam lemak rantai jenuh dengan panjang rantai karbon 12. Berat molekul *lauric acid* adalah 200.32, viskositas kinematik 2.43 mm²/s, densitas 0.8694 gr/cm³ dan nilai kalor HV=37.968 MJ/kg (Knothe & Steidley 2007) (Ramírez-Verduzco, Rodríguez-Rodríguez, & Jaramillo-Jacob 2012). Karena merupakan asam lemak dengan rantai sedang, gaya interaksi antar molekul relatif lebih kecil, sehingga *lauric acid* memiliki viskositas yang lebih rendah.



Gambar 3-2 Lauric Acid

3.3 Pengaruh Komposisi Asam Lemak

Sifat minyak nabati dipengaruhi oleh panjang rantai dan tingkat kejenuhan asam lemak penyusunnya. Hubungan antara panjang rantai dan tingkat kejenuhan dengan sifat minyak nabati adalah sebagai berikut:

➤ Viskositas

Viskositas dipengaruhi oleh tingkat ketidakjenuhan dan panjang rantai asam lemak. Semakin panjang rantai karbon menyebabkan meningkatnya viskositas, sedangkan berkurangnya tingkat ketidakjenuhan juga menyebabkan meningkatnya viskositas (Hoekman et al. 2012). Berat molekul lebih berpengaruh pada viskositas daripada tingkat ketidakjenuhan (Hong, Jeon, & Lee 2014). Asam lemak dapat bercampur dalam keadaan cair karena terjadinya gaya interaksi antar molekul yang disebut gaya van Der Waals. Gaya van Der Waals dipengaruhi polaritas, ukuran molekul, jumlah atom dan bentuk molekul. Gaya interaksi antar molekul tersebut berpengaruh pada viskositas.

Viskositas semakin tinggi dengan semakin banyaknya kadar asam lemak rantai panjang. Semakin panjang rantai molekul, gaya interaksi antar molekul relatif lebih kuat. Hal tersebut menyebabkan viskositas campuran semakin tinggi (Knothe & Steidley 2007).

➤ Densitas

Densitas campuran minyak dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhannya. Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan suatu minyak, semakin tinggi densitasnya

(Hoekman et al. 2012). Asam lemak tak jenuh ganda lebih cenderung bersifat polar (Parcerisa et al. 1997) (Murali et al. 1993), maka gaya interaksi antar molekul yang terjadi adalah interaksi dipole-dipole. Gaya interaksi ini lebih besar daripada interaksi pada molekul non-polar, menyebabkan jarak antar molekul menjadi lebih rapat dan berpengaruh pada densitas.

Panjang rantai karbon juga berpengaruh pada densitas, dimana semakin panjang rantai karbon, maka ukuran molekul semakin besar. Hal tersebut menyebabkan semakin tingginya densitas (Rodrigues et al. 2006).

➤ **Nilai Kalor**

Semakin tinggi rata-rata panjang rantai karbon asam lemak, fraksi massa oksigen berkurang, sehingga nilai kalor meningkat (Demirbas 2008), sebaliknya semakin tingginya derajat ketidakjenuhan asam lemak akan memberikan sedikit pengaruh pada berkurangnya nilai kalor minyak (Hoekman et al. 2012).

➤ **Titik Nyala**

Nilai titik nyala dipengaruhi oleh panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan. Semakin panjang rantai karbon suatu asam lemak, titik nyala semakin tinggi. Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan menyebabkan titik nyala semakin rendah (Carareto et al. 2012).

Tabel 3-1 Hubungan panjang rantai, derajat ketidakjenuhan dengan sifat asam lemak (Hoekman et al. 2012) (Carareto et al. 2012).

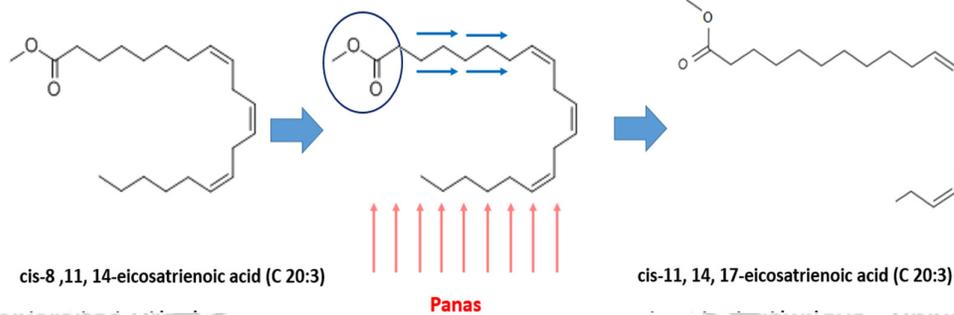
	Sifat Asam Lemak			
	Densitas	Viskositas	Nilai Kalor	Titik Nyala
Peningkatan Fitur				
Panjang rantai	↑	↑	↑	↑
Derajat Ketidakjenuhan	↑	↓	↓	↓

3.4 Hipotesa

➤ **Pengaruh pemanasan minyak terhadap struktur asam lemak.**

Minyak jarak murni banyak mengandung *cis-8,11,14 eicosatrienoic acid*. Pada asam lemak tersebut terdapat 3 ikatan rangkap. Posisi ikatan rangkap asam lemak tersebut memiliki 2 *methylene allylic* dan 2 *bis-allylic*.

Polaritas *cis-8,11,14 eicosatrienoic acid* (C 20:3) menyebabkan perubahan posisi ikatan rangkap menjauhi kepala (gugus karboksil) yang dipicu dengan pemanasan. *Cis-8,11,14 eicosatrienoic acid* (C 20:3) berubah menjadi *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* (C 20:3).

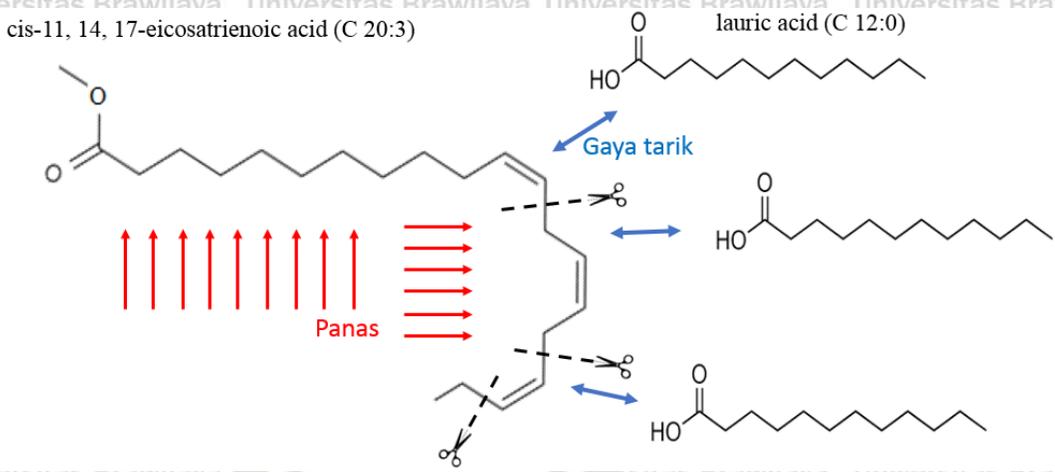


Gambar 3-3 Perubahan posisi ikatan rangkap pada pemanasan minyak jarak

➤ **Pengaruh polaritas asam lemak terhadap perubahan struktur.**

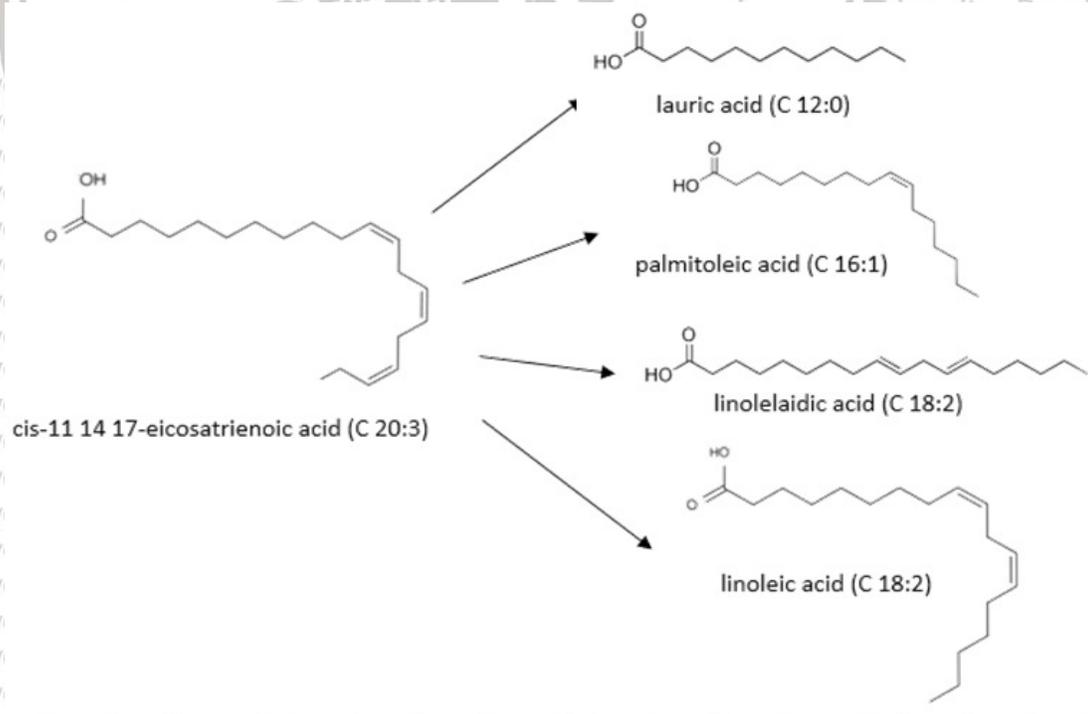
Pada pemanasan dan pencampuran dengan minyak kelapa, *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* (C 20:3) diperkirakan akan berubah menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek. Viskositas minyak kelapa jauh lebih rendah dari viskositas minyak jarak.

Pencampuran dengan minyak jarak menyebabkan viskositas awal campuran minyak menjadi lebih rendah dibanding viskositas minyak jarak murni. Selain itu, minyak kelapa mengandung asam lemak yang bersifat polar, sehingga memiliki gaya interaksi yang lebih besar. Pemanasan yang diberikan ditambah dengan gaya tarik molekul polar dari minyak kelapa tersebut mempermudah pemutusan ikatan karbon di sekitar ikatan rangkap.



Gambar 3-4 Skema pemacu putusnya ikatan pada *cis*-11,14,17 eicosatrienoic acid

Berdasarkan posisi *methylene allylic* dan *bis-allylic* pada *cis*-11,14,17 eicosatrienoic acid, diperkirakan asam lemak yang terbentuk terutama adalah *linolelaidic* (C 18:2), *linoleic* (C 18:2), *palmitoleic* (C 16:1), dan *lauric* (C 12:0). Gambar 3-5 menunjukkan perkiraan perubahan struktur asam lemak pada campuran minyak jarak dan minyak kelapa.



Gambar 3-5 Perubahan struktur asam lemak pada pengadukan dan pemanasan

Asam lemak penyusun minyak sawit kebanyakan adalah asam lemak tak jenuh tunggal, sehingga minyak sawit cenderung non-polar. Pada pencampuran minyak sawit dan

minyak kelapa, diperkirakan perubahan komposisi asam lemak akan linier dengan komposisi asam lemak minyak penyusunnya.

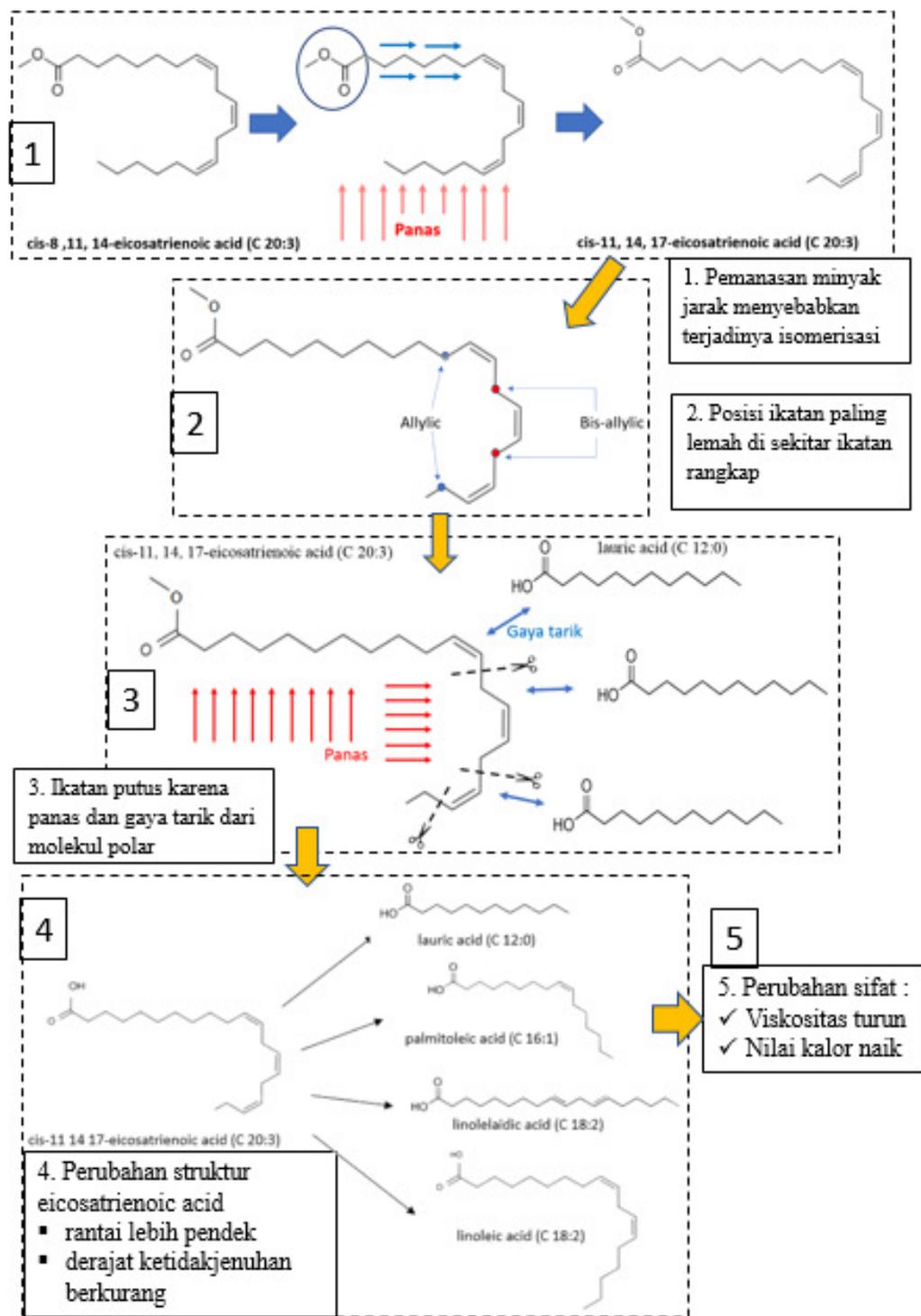
➤ **Perubahan perubahan struktur asam lemak terhadap perubahan sifat minyak**

Berdasarkan uraian di atas, pencampuran minyak jarak dan minyak kelapa memungkinkan perubahan komposisi asam lemaknya. Pencampuran minyak nabati tersebut dalam kondisi dan komposisi yang tepat akan menyebabkan perubahan struktur asam lemak, sehingga akan diperoleh minyak nabati dengan komposisi asam lemak yang berbeda. Perubahan komposisi asam lemak tersebut diharapkan memberikan efek positif pada minyak nabati. Rantai karbon yang lebih pendek menyebabkan berkurangnya viskositas. Sedangkan berkurangnya derajat ketidakjenuhan asam lemak diharapkan meningkatkan nilai kalor minyak.



3.5 Skema Kerangka Konsep

Skema kerangka konsep disajikan pada gambar berikut :



Gambar 3-6 Skema kerangka konsep



BAB 4 METODE PENELITIAN

4.1 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak jarak, minyak kelapa dan minyak sawit. Beberapa sifat bahan baku tersebut disajikan pada Tabel 4-1 berikut.

Tabel 4-1 Sifat bahan baku

Sifat	Minyak Jarak	Minyak Kelapa	Minyak Sawit
Nilai Kalor (MJ/kg)	36.398	34.403	39.012
Density pada 40°C (kg/m ³)	941.28	885.95	844.87
Viskositas Kinematik pada 40°C (cSt)	246.47	29.35	23.60
Flash Point (°C)	224	249	312

4.2 Komposisi Asam Lemak

Komposisi asam lemak minyak jarak dan minyak kelapa diukur menggunakan Gas Chromatography. Perbandingan komposisi asam lemak kedua minyak nabati ditampilkan pada Tabel 4-2.

Asam lemak penyusun minyak jarak kebanyakan merupakan asam lemak tidak jenuh. Minyak kelapa kebanyakan tersusun dari asam lemak jenuh. Kandungan asam lemak pada minyak jarak dan minyak kelapa disampaikan pada tabel berikut.

Tabel 4-2. *Kadar Asam lemak pada minyak jarak, minyak kelapa dan minyak sawit*

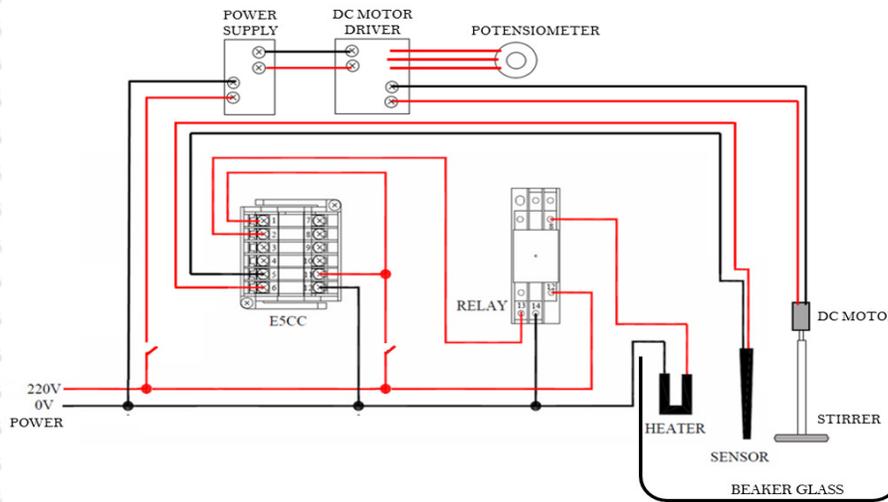
Asam lemak	Singkatan	Minyak kelapa	Minyak sawit	Minyak jarak
Caproic	C 6:0	0.35		
Caprilic	C 8:0	6.49		
Capric	C 10:0	5.79		
Lauric	C 12:0	47.22	0.26	
Tridecanoic	C 13:0	0.7		
Myristoleic	C 14:1	18.55		
Pentadecanoic	C 15:0	0.19		
Palmitic	C 16:0		35.27	1.79
Palmitoleic	C 16:1	9.41		
Cis-9-Oleic	C 18:1		43.82	14.78
Linoleic	C 18:2	3.08	12.51	2.17
Linolelaidic	C 18:2	8.23		
Cis 11,14 Eicosadienoic	C 20:2			0.6
Cis-8,11,14-Eicosatrienoic	C 20:3			80.66

4.3 Metode

4.3.1 Pengujian pengaruh pemanasan pada struktur asam lemak

Pemanasan minyak sampai dengan 90°C diperkirakan menyebabkan terjadinya perubahan struktur asam lemaknya. Sebanyak 1000 ml minyak jarak ditempatkan pada suatu gelas beaker. Selanjutnya dilakukan pengadukan dan pemanasan minyak tersebut.

Pengadukan dilakukan pada temperatur 90°C selama 30 menit, menggunakan alat pemanas dan pengaduk. Skema alat pemanas dan pengaduk disampaikan pada Gambar 4.1.



Gambar 4-1. Skema peralatan untuk pencampuran minyak

Komposisi asam lemak dari minyak jarak tersebut diukur menggunakan *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu 2010. Langkah pengujian adalah, sebanyak 0,5 ml sampel ditambah dengan 1,5 ml larutan natrium metanolik, dipanaskan pada suhu 70°C selama 5 – 10 menit sambil dikocok. Selanjutnya sampel didinginkan, kemudian ditambahkan dengan 2 ml *Boron trifluoride metanoat* dan dipanaskan pada suhu 70°C selama 5 – 10 menit. Sampel didinginkan kembali, kemudian diekstrak dengan 1 ml Heptan dan 1 ml NaCl jenuh. Diambil lapisan atas, kemudian dimasukkan ke dalam Eppendorf. Kemudian sebanyak 1 µl diinjeksikan pada GC.

GC dikondisikan pada :

Detektor : FID

Suhu : 260°C

Metode : Methylester 37 gcm

Kolom : CP-Sil

Length : 30 m

4.3.2 Pengujian pengaruh polaritas pada perubahan komposisi asam lemak.

Pencampuran minyak jarak dengan minyak kelapa yang mengandung asam lemak polar diperkirakan dapat menyebabkan perubahan panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhannya. Untuk membuktikan hal tersebut, sebanyak 900 ml minyak jarak dicampurkan dengan 100 ml minyak kelapa sehingga total volume adalah 1000 ml (perbandingan volume 90:10). Campuran tersebut ditempatkan pada suatu gelas beaker.

Selanjutnya dilakukan pengadukan dan pemanasan campuran tersebut. Pengadukan dilakukan pada temperatur 90°C selama 30 menit.

Cara yang sama dilakukan pada variasi campuran yang lain dengan perbandingan volume 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50, 40 : 60, 30 : 70, , 20 : 80, 10 : 90. Selanjutnya dilakukan pengujian komposisi asam lemak dari campuran minyak jarak dan minyak kelapa menggunakan *Gas Chromatography* (GC) Shimadzu 2010.

Sebagai pembanding dari minyak nabati yang relatif non-polar, digunakan minyak sawit. Pembuatan sampel campuran minyak sawit dan minyak kelapa dilakukan dengan cara yang sama.

4.3.3 Pengujian perubahan sifat campuran minyak nabati.

Untuk membuktikan perubahan sifat minyak pada setiap komposisi campuran, pada setiap sampel yang telah dibuat, dilakukan pengukuran viskositas, nilai kalor dan komposisi asam lemak. Pengukuran dimaksudkan untuk mengetahui perbedaan sifat minyak pada tiap komposisi campuran.

1) Pengukuran densitas



Gambar 4-2 Timbangan digital

Sebanyak 50 ml sampel pada suhu 40°C dimasukkan pada gelas ukur. Selanjutnya sampel tersebut diukur massanya menggunakan timbangan digital.

Timbangan digital yang digunakan adalah Fujitsu FS-AR210

Densitas (ρ) sample dihitung dengan rumus :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dimana : m = massa (gram)

V = volume (liter)

2) Pengukuran viskositas

Pengukuran viskositas sampel dilakukan menggunakan NDj 8 S Viscometer.

Sejumlah 800 ml sampel ditempatkan pada gelas beaker dan dikondisikan pada temperatur 40°C. Tipe rotor dan kecepatan putar rotor disesuaikan dengan perkiraan

viskositas. Sampel ditempatkan pada viskometer sehingga rotor tercelup seluruhnya.

Viskometer akan menunjukkan data viskositas sampel.



Gambar 4-3 Viskometer NDJ 8 S

3) Pengukuran Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan sesuai metode ASTM D 240 - 02, menggunakan *Bomb Calorimeter* Parr 6050. Panas pembakaran (nilai kalor) diperoleh dengan membakar sejumlah sampel pada sebuah bom kalorimeter oksigen.

Massa sampel yang dibutuhkan mengikuti perhitungan berikut

$$g = \frac{26,454}{Q}$$

Dimana : g = massa sample (gram)

Q = perkiraan nilai kalor (MJ/kg)

Sebanyak 1 ml ditambahkan ke dalam bomb menggunakan pipet. Setelah sampel dan fuse ditempatkan, perlahan bomb diisi oksigen sampai tekanan 30 atm pada temperatur ruang. Suhu air kalorimeter diatur 1,6 – 2,0°C di bawah temperatur jaket.

Kalorimeter dirangkai pada jacket dan pengaduk mulai diputar. Selanjutnya dibiarkan selama 5 menit untuk mencapai keseimbangan, Nilai kalor sampel tercatat di layar komputer.



Gambar 4-4 Parr 6050 Bomb Calorimeter

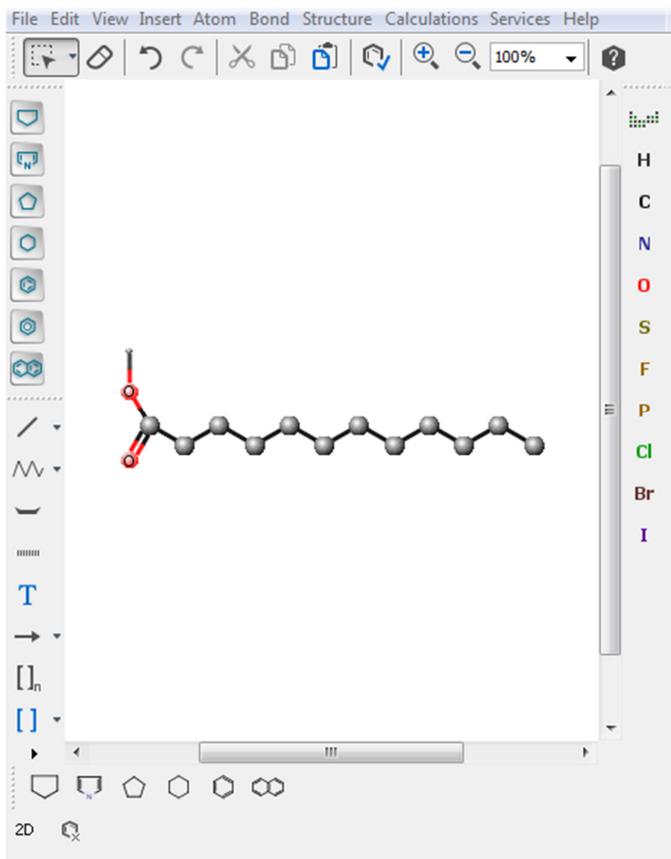
4) Pengukuran Titik Nyala

Titik Nyala diukur menggunakan metode *Cleveland Open Cup*. Sampel minyak dipanaskan, selanjutnya nyala api uji dengan ukuran yang tepat diarahkan secara berkala ke uap di atas sampel. Suhu minyak di mana uap meledak ditandai sebagai titik nyala.

4.3.4 Penyajian gambar molekul asam lemak.

Penyajian gambar molekul dilakukan dengan software MarvinSketch. MarvinSketch adalah software yang dibuat oleh ChemAxon. Aplikasi MarvinSketch ini dapat diunduh dari chemaxon.com. MarvinSketch dapat dijalankan di atas beberapa platform sistem operasi seperti Windows, Mac OS dan Linux. Untuk mengoperasikan MarvinSketch dibutuhkan *Java Runtime Environment*.

Aplikasi MarvinSketch dimaksudkan untuk membuat gambar struktur molekul, reaksi kimia, maupun menyajikan sifat-sifat dari struktur. Software ini mempermudah pembuatan gambar dan animasi molekul. Gambar 4. 5 adalah tampilan aplikasi MarvinSketch.



Gambar 4-5 Aplikasi MarvinSketch

4.3.5 Penyajian data.

Data komposisi asam lemak disajikan dalam bentuk tabel. Untuk mempermudah pembahasan, data-data sifat dibandingkan dengan panjang rantai dan derajat ketidakteraturan disajikan dalam bentuk grafik.

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Peningkatan Sifat Minyak Nabati dengan Mengubah Panjang Rantai Asam

Lemak dalam Campuran Minyak Jarak dan Minyak Kelapa

5.1.1 Komposisi Asam lemak

Minyak Jarak memiliki komposisi asam lemak yang didominasi oleh asam lemak tak jenuh, sedangkan minyak kelapa didominasi oleh asam lemak jenuh dengan rantai relatif pendek. Komposisi asam lemak campuran kedua minyak tersebut disajikan pada *Tabel 5-1*.

Pada *Tabel 5-1* terlihat bahwa *icosatrienoic acid* merupakan penyusun utama minyak jarak. *Eicosatrienoic acid* adalah asam lemak rantai panjang dengan rantai karbon sepanjang 20 dan memiliki 3 ikatan rangkap. Berat molekul *icosatrienoic acid* adalah 306.48. Karena merupakan asam lemak dengan rantai panjang, gaya interaksi antar molekul relatif besar, sehingga *icosatrienoic acid* memiliki viskositas yang tinggi.

Minyak kelapa mengandung 47.22% *lauric acid*. Asam laurat merupakan asam lemak rantai jenuh dengan panjang rantai karbon 12. Berat molekul asam laurat adalah 200.32, viskositas kinematik 2.43 mm²/s, densitas 0.8694 gr/cm³ dan nilai kalor HV=37.968 MJ/kg (Knothe & Steidley 2007) (Ramírez-Verduzco, Rodríguez-Rodríguez, & Jaramillo-Jacob 2012). Karena merupakan asam lemak dengan rantai sedang, gaya interaksi antar molekul relatif lebih kecil, sehingga asam laurat memiliki viskositas yang lebih rendah.

Tabel 5-1 Komposisi asam lemak pada campuran minyak jarak-minyak kelapa

Asam lemak	Rumus	Kadar minyak Jarak											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
<i>Caproic</i>	C 6:0	0.38											
<i>Caprilic</i>	C 8:0	6.80	6.53	6.56	6.41	5.97	5.85	5.71	5.22	3.9	2.82		
<i>Capric</i>	C 10:0	6.03	5.8	5.78	5.61	5.37	5.18	4.92	4.44	3.54	2.34		
<i>Lauric</i>	C 12:0	48.46	47.44	47.06	45.82	44.85	43.11	40.66	37.6	32.39	21.57		
<i>Tridecanoic</i>	C 13:0	0.32								0.23			
<i>Myristoleic</i>	C 14:1	18.35	18.55	18.33	17.83	17.55	16.87	15.82	14.43	12.75	7.99		
<i>Pentadecanoic</i>	C 15:0	0.11											
<i>Palmitic</i>	C 16:0												1.20
<i>Palmitoleic</i>	C 16:1	8.90	9.46	9.44	9.44	9.57	9.65	9.6	9.46	9.73	9.45		
<i>Cis-9 Oleic</i>	C 18:1	7.72											9.82
<i>Linoleic</i>	C 18:2	2.93	12.17	3.2	3.4	3.19	3.67	4.2	4.8	5.79	7.28		
<i>Linolelaidic</i>	C 18:2			9.56	11.32	13.17	15.33	17.9	23.06	30.63	43.17	1.42	
<i>Linolenic</i>	C 18:3					0.1		0.18			0.84		
<i>Cis-11 Eicosenoic</i>	C 20:1							0.23			0.92		
<i>Cis-11,14 Eicosadienoic</i>	C 20:2												0.37
<i>Cis-8,11,14 Eicosatrienoic</i>	C 20:3							0.24	0.28		0.98		
<i>Cis-11,14,17 Eicosatrienoic</i>	C 20:3												87.19
<i>Docosanoic</i>	C 22:0		0.07	0.1	0.18	0.25	0.36	0.56	0.73	1.05	2.26		

Dari Tabel 4.2 dan Tabel 5.1 terdapat komposisi asam lemak minyak jarak murni yang tidak diproses pemanasan dan komposisi asam lemak minyak jarak murni yang dipanaskan pada temperatur 90°C selama 30 menit. Untuk mempermudah perbandingan kedua kondisi tersebut, data disajikan pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5-2 Perbandingan komposisi asam lemak minyak jarak murni, sebelum dan setelah proses pemanasan.

Asam lemak	Singkatan	Sebelum pemanasan	Setelah pemanasan
Palmitic	C 16:0	1,79	1,20
Palmitoleic	C 16:1		
Cis-9-Oleic	C 18:1	14,78	9,82
Linoleic	C 18:2	2,17	
Linolelaidic	C 18:2		1,42
Cis 11,14 Eicosadienoic	C 20:2	0,6	0,37
Cis-8,11,14-Eicosatrienoic	C 20:3	80,66	
Cis-11,14,17-Eicosatrienoic	C 20:3		87.19

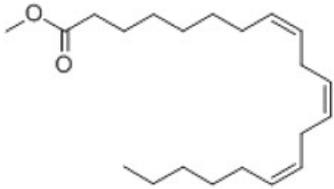
Dari Tabel 5.2 terlihat bahwa terjadi perubahan struktur asam lemak yang dominan pada minyak jarak yaitu cis 8,11,14 eicosatrienoic acid. Asam lemak tersebut merupakan asam lemak rantai panjang yang memiliki tiga ikatan rangkap. Posisi ikatan rangkap pada rantai ke 8, 11 dan 14. Pemanasan dan pengadukan minyak jarak murni menyebabkan perubahan posisi ikatan rangkap pada rantai ke 11, 14 dan 17. Dari Tabel 5.1 dan Tabel 5.2 terlihat bahwa minyak jarak murni yang telah dipanaskan mengandung cis-11,14,17 eicosatrienoic acid sekitar 87.19 %. Perubahan posisi ikatan rangkap pada eicosatrienoic acid ditunjukkan pada Gambar 5.1. Proses pemanasan ini tidak menyebabkan putusya ikatan rantai karbon.

Namun pada pemanasan dengan pencampuran 10% minyak kelapa terjadi pemutusan ikatan karbon, dimana *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* (C 20:3) berubah menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek. Pada pencampuran minyak jarak tersebut dengan minyak kelapa disertai pemanasan menyebabkan putusya ikatan karbon disekitar ikatan rangkap. Hal ini terjadi karena elektron pada ikatan rangkap bergerak lebih bebas, sehingga ikatan rangkap lebih tidak stabil dan mudah bereaksi. Minyak kelapa mengandung asam lemak yang bersifat polar, sehingga memiliki gaya interaksi yang lebih besar. Pemanasan yang diberikan ditambah dengan gaya tarik molekul polar dari minyak kelapa tersebut

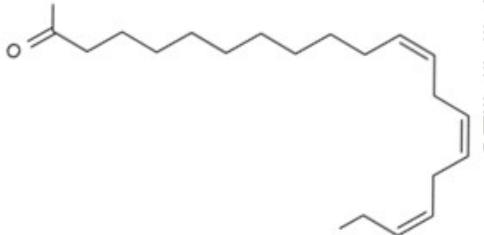
mempermudah pemutusan ikatan karbon di sekitar ikatan rangkap. Asam lemak yang terbentuk dari perubahan *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* tersebut terutama adalah linolelaidic (C 18:2), linoleic (C 18:2), palmitoleic (C 16:1), dan lauric (C 12:0). Seperti yang terlihat pada Tabel 5-1 pada pencampuran 90% minyak jarak dengan 10% minyak kelapa, kadar eicosatrienoic acid turun menjadi 0.98 %, sedangkan *linolelaidic acid* terbentuk sebanyak 43.17 %, *linoleic acid* sebanyak 7.28%, *palmitoleic acid* sebanyak 9.45 %, dan *lauric acid* sebanyak 21.57 %. Gambar 5-1 menunjukkan perubahan struktur *cis-8,11,14 eicosatrienoic acid* menjadi asam lemak yang lebih pendek.

Pada campuran minyak dengan kadar minyak kelapa 10 % sampai dengan 40%, semakin banyak persentase minyak kelapa, viskositas awal campuran minyak menjadi semakin rendah. Hal tersebut menyebabkan semakin tingginya persentase *lauric acid* yang terbentuk. Ini menyebabkan penurunan persentase asam lemak tak jenuh ganda terlihat cukup drastis (Gambar 5-2). Namun pada campuran yang dominan minyak kelapa, viskositas awal campuran minyak relatif jauh lebih rendah, demikian juga kadar *eicosatrienoic acid*, sehingga perubahannya terlihat tidak signifikan. Kondisi di atas juga berpengaruh pada tingkat ketidakjenuhan dan rata-rata panjang rantai karbon seperti pada Gambar 5-3.

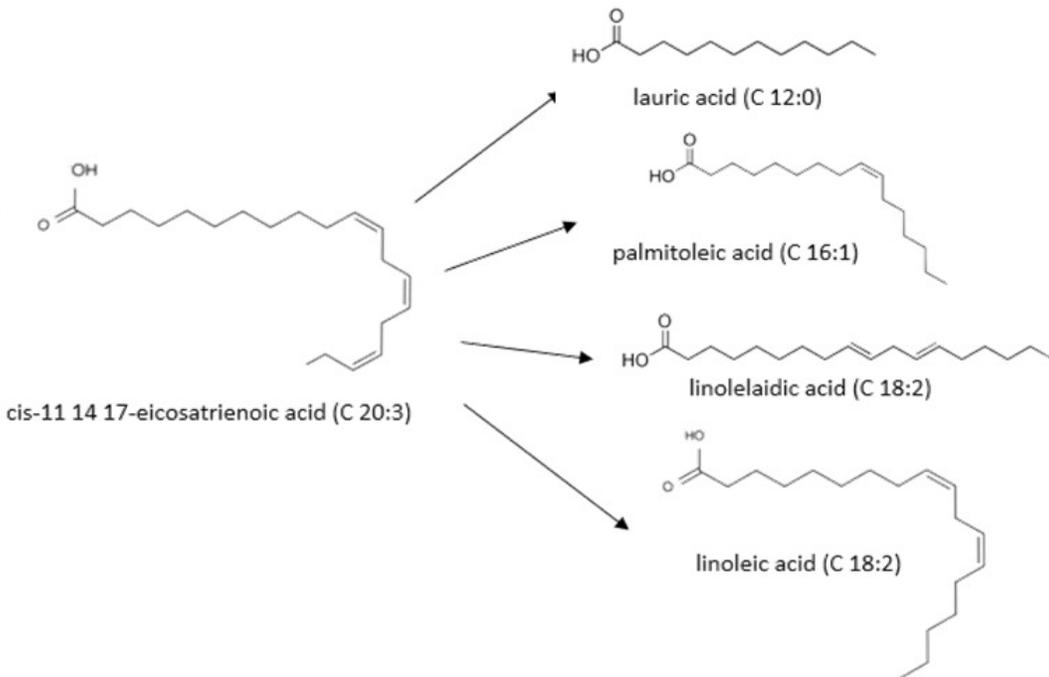




(a) *cis-8,11,14-eicosatrienoic acid* (C 20:3): minyak jarak murni sebelum dipanaskan



(b) *cis-11,14,17-eicosatrienoic acid* (C 20:3): minyak jarak murni setelah dipanaskan



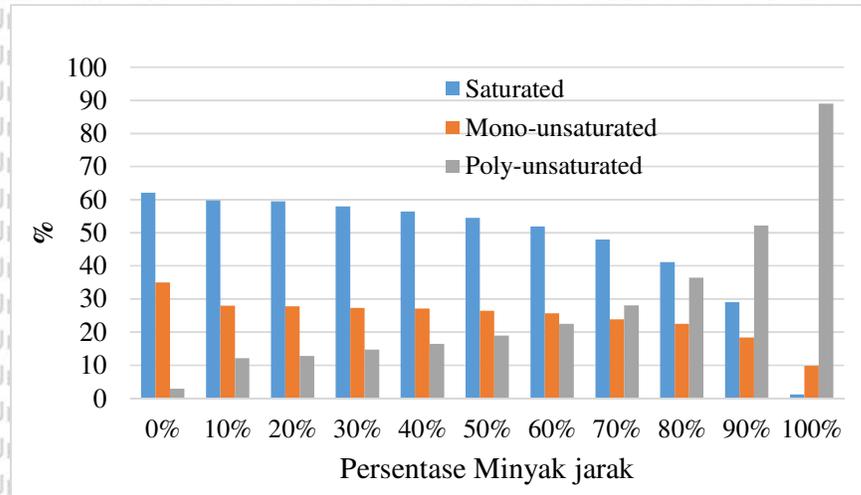
c) Perubahan struktur *cis 11,14,17 eicosatrienoic acid* menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek.

Gambar 5-1 Perubahan posisi ikatan rangkap dan perubahan *cis 8,11,14 eicosatrienoic acid* menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek

Dari Tabel 5-1 terlihat bahwa dengan semakin tingginya persentase minyak jarak, maka persentase *linolelaidic acid* (C 18:2) juga semakin meningkat. *Linolelaidic acid* merupakan asam lemak dengan panjang rantai C 18 dan memiliki dua ikatan rangkap.

Sedangkan semakin tingginya persentase minyak kelapa, maka persentase *lauric acid* (C 12:0) dan *myristoleic acid* (C 14:1) juga semakin tinggi.

Meningkatnya kadar *linolelaidic acid* berarti meningkatkan derajat ketidakjenuhan campuran minyak dan rata-rata panjang rantai karbon. Sebaliknya semakin banyaknya persentase *lauric acid* berarti semakin rendah derajat ketidakjenuhan suatu campuran, dan semakin rendah pula rata-rata panjang rantainya.



Gambar 5-2. Grafik kandungan asam lemak jenuh, takjenuh tunggal dan takjenuh ganda tiap komposisi campuran minyak

Gambar 5-2 menunjukkan persentase asam lemak jenuh maupun tidak jenuh pada tiap komposisi campuran minyak jarak – minyak kelapa. Dari grafik tersebut terlihat bahwa minyak kelapa murni didominasi oleh asam lemak jenuh, sedangkan minyak jarak murni didominasi oleh asam lemak tak jenuh. Semakin tinggi persentase campuran minyak jarak, kadar asam lemak jenuh semakin berkurang. Asam lemak takjenuh tunggal lebih dominan pada lemak non polar, sedangkan asam lemak jenuh dan asam lemak takjenuh ganda lebih dominan pada lemak polar (Parcerisa et al, 1997) (Murali et al, 1993).

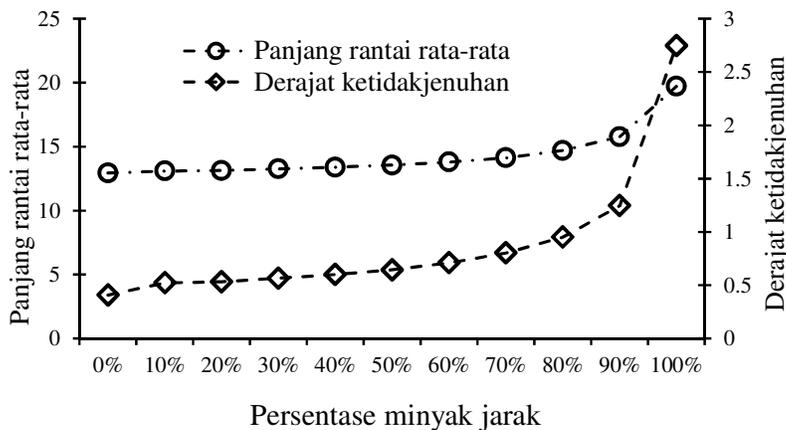
Berdasarkan hasil pengujian Gas Chromatography, dilakukan perhitungan derajat ketidakjenuhan dan rata-rata panjang rantai karbon tiap komposisi campuran minyak. Kay rule mixing equation dapat digunakan untuk perhitungan tersebut (Gopinath, Puhon, & Nagarajan 2009). Persamaan 1 dan persamaan 2 berikut digunakan untuk menghitung panjang rantai karbondan derajat ketidakjenuhan campuran minyak.

$$\text{Panjang rantai karbon} = \sum_i \frac{n_i C_i}{100} \text{ pers 1)}$$

$$\text{Derajat ketidakjenuhan} = \sum_i \frac{n_i B_i}{100} \text{ pers 2)}$$

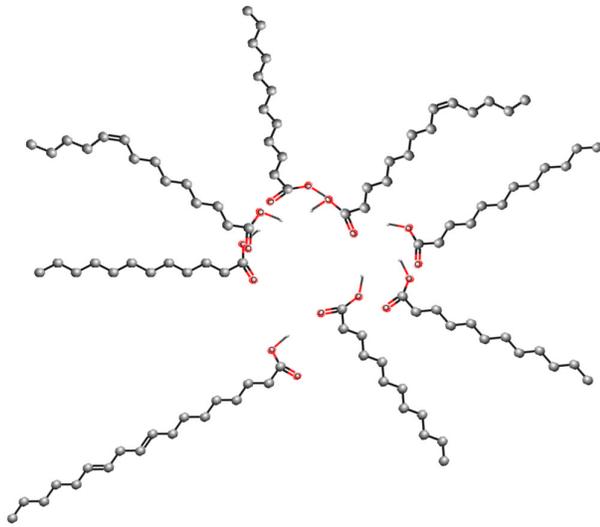
Untuk tiap komponen asam lemak, ni adalah persentase berat asam lemak, C_i adalah jumlah atom karbon pada asam lemak dan B_i adalah derajat ketidakjenuhan asam lemak pada komponen tersebut.

Hasil perhitungan disajikan pada Gambar 5-3. Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin tinggi persentase minyak jarak pada campuran, semakin tinggi pula derajat ketidakjenuhan campuran tersebut dan semakin tinggi rata-rata panjang rantai karbon. Namun rata-rata panjang rantai karbon tidak linier dengan persentase campuran kedua minyak. Demikian juga derajat ketidakjenuhannya. Ini mempertegas kejadian di Gambar 5-2.



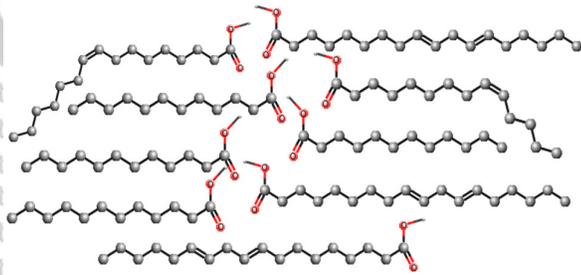
Gambar 5-3 Grafik Rata-rata panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan asam lemak terhadap komposisi campuran minyak

Pada persentase minyak jarak 0% sampai dengan 70%, perubahan panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan relatif linier. Perubahan drastis terjadi pada persentase 80% sampai dengan 100% minyak jarak. Hal tersebut terjadi karena minyak kelapa tersusun dari asam lemak jenuh dengan rantai pendek, sehingga relatif lebih stabil.



Gambar 5-4 Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak jarak-minyak kelapa dengan komposisi 10 -60% minyak jarak.

Pada komposisi 10-60% minyak jarak, asam lemak yang dominan adalah *lauric acid* (C 12:0) dan *myristoleic acid* (C 14:1). Asam lemak tersebut mempunyai rantai karbon yang relatif lebih pendek. Gaya intermolekuler lebih kecil jika panjang rantai asam lemak lebih pendek. Hal tersebut menyebabkan jarak antar molekul lebih renggang, seperti diilustrasikan pada Gambar 5-4..



Gambar 5-5 Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak jarak-minyak kelapa dengan komposisi 70 -90% minyak jarak

Pada komposisi 70-90% minyak jarak, asam lemak yang dominan adalah *lauric acid* (C 12:0) dan *linolelaidic acid* (C 18:2). Asam lemak tersebut mempunyai rantai karbon yang relatif lebih panjang. Gaya intermolekuler lebih besar jika rantai karbon pada asam lemak lebih panjang. Hal tersebut menyebabkan polaritas dan gaya intermolekuler lebih besar, sehingga jarak antar molekul lebih rapat.

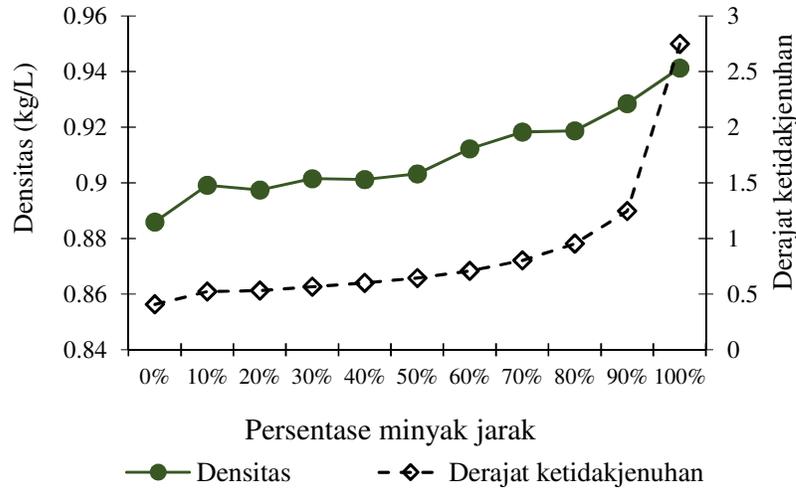
5.1.2 Densitas

Banyaknya massa bahan bakar yang dapat diinjeksikan ke ruang bakar tergantung densitas bahan bakar tersebut. Dengan demikian perbandingan udara bahan bakar (AFR) dan kandungan energy dari bahan bakar yang masuk pada suatu ruang bakar dipengaruhi oleh densitas bahan bakar tersebut.

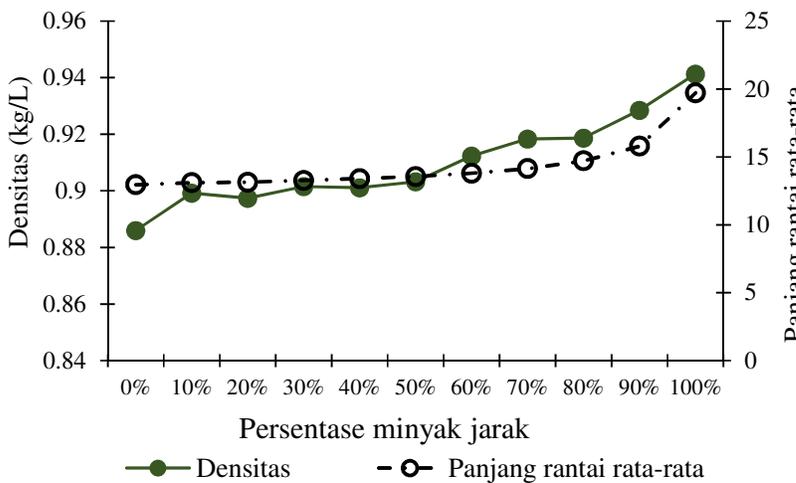
Densitas minyak kelapa murni pada 40 °C adalah 0,886 kg/liter, sedangkan densitas minyak jarak murni pada 40 °C sebesar 0,941 kg/liter. Densitas campuran bertambah besar dengan semakin tingginya persentase minyak jarak pada campuran minyak tersebut. Gambar 5-6 dan Gambar 5-7 menunjukkan densitas campuran minyak jarak dan minyak kelapa, dibandingkan dengan derajat ketidakjenuhan dan rata-rata panjang rantai karbon.

Densitas campuran minyak dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhannya. Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan suatu minyak, semakin tinggi densitasnya (Hoekman et al. 2012). Gambar 5-6 menunjukkan densitas dan derajat ketidakjenuhan minyak kelapa, minyak jarak dan campurannya. Asam lemak tak jenuh ganda lebih cenderung bersifat polar (Parcerisa et al. 1997) (Murali et al. 1993), maka gaya interaksi antar molekul yang terjadi adalah interaksi dipole-dipole. Gaya interaksi ini lebih besar daripada interaksi pada molekul non-polar, menyebabkan jarak antar molekul menjadi lebih rapat dan berpengaruh pada densitas. Dari grafik terlihat bahwa semakin tinggi derajat ketidakjenuhan, maka densitas semakin meningkat.

Gambar 5-7 menunjukkan densitas dan rata-rata panjang rantai karbon dari minyak kelapa, minyak jarak dan campurannya. Semakin panjang rantai karbon, maka ukuran molekul semakin besar. Hal tersebut menyebabkan semakin tingginya densitas (Rodrigues et al. 2006).



Gambar 5-6 . Densitas campuran minyak jarak dan minyak kelapa dan derajat ketidakkjenuhan

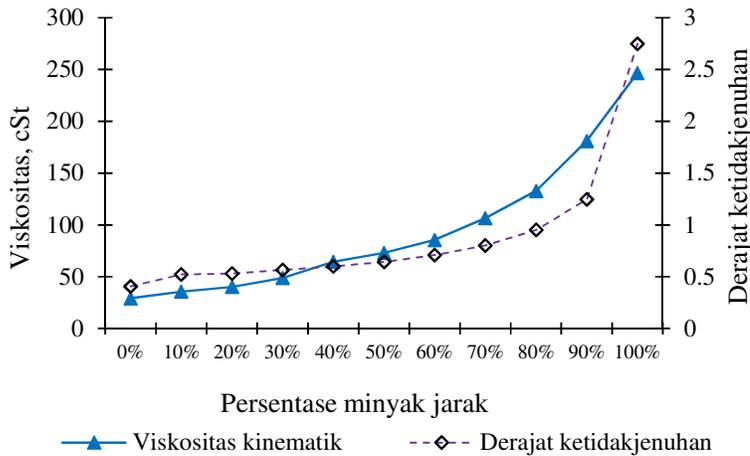


Gambar 5-7. Densitas campuran minyak jarak dan minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon

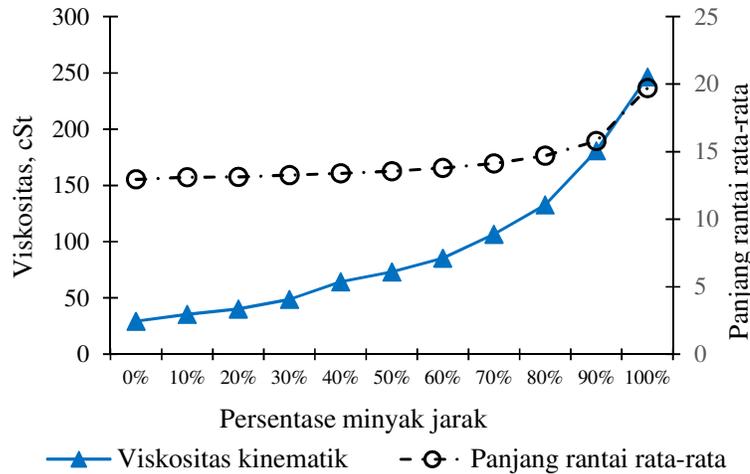
Pada pencampuran minyak sawit dengan minyak kedelai yang telah dilakukan peneliti sebelumnya, densitas campuran berkisar antara 0.909 g/ml sampai 0.925 g/ml (Mobin Siddique et al. 2010). Perubahan yang tidak terlalu besar karena rentang panjang rantai karbon dan derajat ketidakkjenuhan kedua minyak tidak terlalu besar.

5.1.3 Viskositas

Viskositas merupakan salah satu sifat yang sangat penting pada bahan bakar, karena berpengaruh pada pengkabutan bahan bakar. Viskositas yang tinggi menyebabkan besarnya ukuran butiran, sulitnya pengkabutan dan sempitnya sudut injeksi kabut (D. Agarwal & Agarwal 2007).



Gambar 5-8 Viskositas campuran minyak jarak – minyak kelapa dan derajat ketidakjenuhan



Gambar 5-9 Viskositas campuran minyak jarak – minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon

Viskositas dipengaruhi oleh tingkat ketidakjenuhan dan panjang rantai asam lemak. Semakin panjang rantai karbon menyebabkan meningkatnya viskositas, sedangkan berkurangnya tingkat ketidakjenuhan juga menyebabkan meningkatnya viskositas (Hoekman et al. 2012). Tetapi dalam penelitian ini terjadi hal sebaliknya di mana viskositas

meningkat dengan meningkatnya tingkat ketidakjenuhan. Hal ini terjadi karena berat molekul lebih berpengaruh pada viskositas daripada tingkat ketidakjenuhan (Hong, Jeon, & Lee 2014). Minyak nabati tersusun dari beberapa molekul asam lemak. Asam lemak dapat bercampur dalam keadaan cair karena terjadinya gaya interaksi antar molekul yang disebut gaya van Der Waals. Gaya van Der Waals dipengaruhi polaritas, ukuran molekul, jumlah atom dan bentuk molekul. Viskositas dipengaruhi oleh gaya interaksi antar molekul tersebut.

Perubahan komposisi asam lemak terjadi akibat pencampuran minyak jarak dengan minyak kelapa. Perubahan komposisi tersebut berpengaruh pada viskositas minyak. Gambar 5-8 dan Gambar 5-9 menunjukkan besarnya viskositas kinematik minyak jarak, minyak kelapa dan campurannya. Viskositas minyak kelapa pada 40 °C adalah 29.35 mm²/s. Dibandingkan dengan minyak kelapa, minyak jarak memiliki viskositas yang relatif tinggi yaitu 246.47 mm²/s pada 40 °C, hampir 9 kali lipat dari viskositas minyak kelapa.

Gambar 5-9 menunjukkan grafik viskositas dan rata-rata panjang rantai karbon terhadap komposisi campuran minyak. Viskositas semakin tinggi dengan semakin banyaknya kadar asam lemak rantai panjang. Semakin banyak persentase minyak jarak, semakin banyak pula kadar asam lemak dengan rantai panjang. Semakin panjang rantai molekul, gaya interaksi antar molekul relatif lebih kuat. Hal tersebut menyebabkan viskositas campuran semakin tinggi (Knothe & Steidley 2007).

Dilhat dari viskositas kinematik minyak jarak, viskositas kinematik campuran semakin rendah dengan semakin bertambahnya persentase campuran minyak kelapa. Nilai viskositas campuran minyak bervariasi antara 35.59 mm²/s sampai dengan 180.94 mm²/s. Viskositas campuran minyak sesuai dengan tingkat ketidakjenuhan dan panjang rantai karbon. Karena rata-rata panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan tidak linier dengan persentase campuran minyak, maka perubahan viskositas campuran juga tidak linier dengan persentase campuran minyak. Pencampuran minyak jarak dengan minyak kelapa dengan perbandingan 90% : 10% menurunkan viskositas minyak jarak sekitar 27,59 %, sedangkan pencampuran dengan perbandingan 80% : 20% dapat menurunkan viskositas sekitar 47,41%. Hal ini disebabkan oleh perubahan panjang rantai dan tingkat ketidakjenuhan yang drastis pada komposisi tersebut (Gambar 5-3). Berkurangnya persentase asam lemak jenuh dan asam lemak takjenuh ganda yang cenderung polar menyebabkan melemahnya gaya interaksi antar molekul, sehingga viskositas turun.

Dari penelitian sebelumnya, viskositas campuran minyak sawit dengan minyak kedelai berubah secara linier dari 29,3 cP untuk minyak sawit murni sampai dengan 36,7 cP untuk minyak kedelai murni (Mobin Siddique et al. 2010). Minyak kedelai mengandung lebih banyak asam lemak polar, namun tidak demikian untuk sawit. Selain itu rentang panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan kedua minyak tidak terlalu besar.

5.1.4 Nilai Kalor

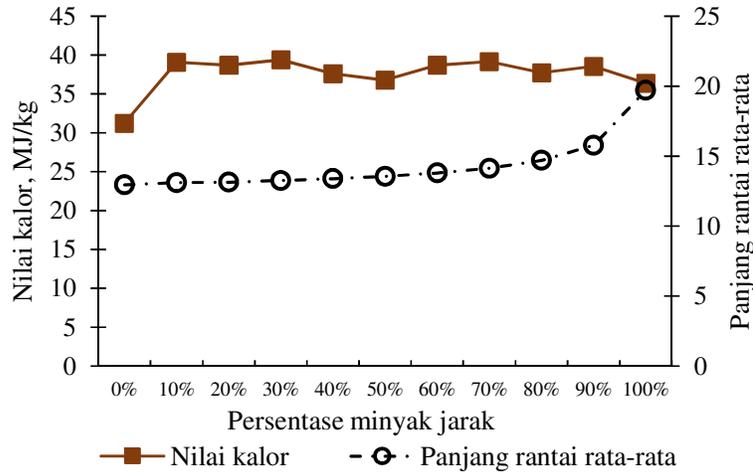
Nilai kalor minyak jarak tercatat sebesar 36,4 MJ/kg, sedangkan nilai kalor minyak kelapa sebesar 36,2 MJ/kg. Nilai kalor minyak jarak naik setelah dicampur dengan minyak kelapa dengan perbandingan volume 90%:10% dan seterusnya. Demikian juga dengan nilai kalor minyak kelapa yang naik signifikan setelah dicampur dengan minyak jarak.

Gambar 5-10 dan Gambar 5-11 menunjukkan nilai kalor dari variasi campuran minyak jarak – minyak kelapa. Pada campuran minyak ini, semakin tinggi persentase minyak jarak, rata-rata panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan asam lemak semakin tinggi. Kedua hal tersebut saling mempengaruhi nilai kalor minyak, sehingga nilai kalor campuran lebih tinggi dari nilai kalor minyak murni penyusunnya. Nilai kalor campuran minyak meningkat, namun hampir sama pada semua komposisi campuran. Hal tersebut disebabkan karena semakin panjang rantai karbon akan mempertinggi nilai kalor, di sisi lain semakin tinggi derajat ketidakjenuhan akan sedikit menurunkan nilai kalor.

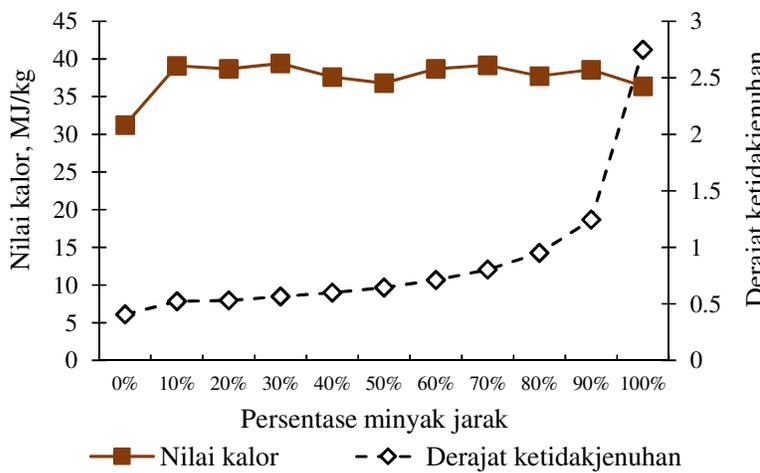
Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa semakin tinggi rata-rata panjang rantai karbon asam lemak, nilai kalor minyak meningkat, sebaliknya semakin tingginya derajat ketidakjenuhan asam lemak akan memberikan sedikit pengaruh pada berkurangnya nilai kalor minyak (Hoekman et al. 2012).

Peningkatan nilai kalor campuran minyak adalah 1,65 % - 8,9 % dibandingkan dengan nilai kalor minyak kelapa murni. Sedangkan jika dilihat dari minyak jarak murni, peningkatan nilai kalor campuran minyak adalah 1,06 % - 8,27 %.

Dalam campuran minyak mahua dan simarouba yang mengandung 46,3% dan 59,1% asam oleat, ditemukan bahwa pengaruh rasio campuran terhadap nilai kalor minyak tidak signifikan. Nilai kalor yang diperoleh dari berbagai campuran minyak hampir sama satu sama lain yaitu sekitar 37 MJ / kg (Jena et al. 2010).



Gambar 5-10. Nilai kalor campuran minyak jarak – minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon



Gambar 5-11. Nilai kalor campuran minyak jarak – minyak kelapa dan derajat ketidaksaturan

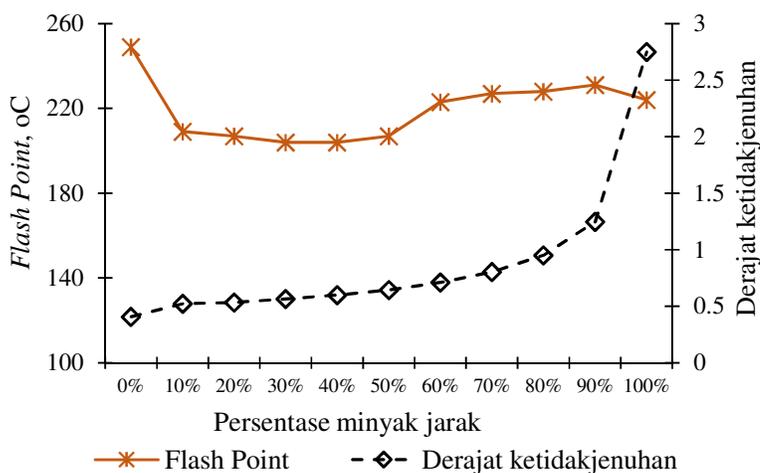
5.1.5 Titik Nyala (*Flash Point*)

Flash point termasuk sifat yang penting pada bahan bakar cair. *Flash point* adalah temperatur terendah dimana suatu cairan menghasilkan sejumlah uap yang cukup untuk menyala jika terdapat pemicu. Sifat tersebut terkait dengan kemampuan penyalaan dari bahan bakar. Semakin tinggi *flash point* akan menyebabkan bahan bakar semakin sulit terbakar.

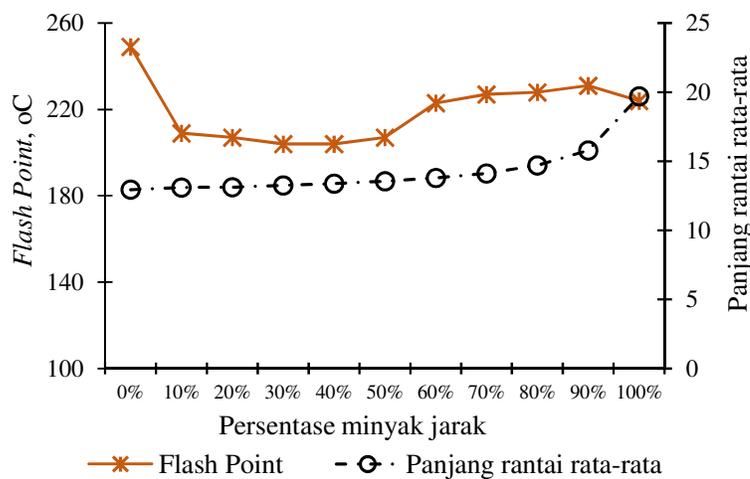
Dari pengujian diperoleh, *flash point* minyak jarak adalah 224 °C, sedangkan *flash point* minyak kelapa adalah 249 °C. Pencampuran kedua minyak pada berbagai komposisi

campuran menghasilkan *flash point* yang sedikit lebih rendah daripada minyak murni.

Grafik *flash point* campuran minyak dapat dilihat pada Gambar 5-12.



Gambar 5-12 Flash point campuran minyak jarak – minyak kelapa dan derajat ketidakjenuhan



Gambar 5-13. Flash point campuran minyak jarak – minyak kelapa dan rata-rata panjang rantai karbon

Setelah pencampuran kedua minyak tersebut, *flash point* semakin turun. Karena pencampuran dengan minyak jarak, maka derajat ketidakjenuhan campuran meningkat. Meningkatnya derajat ketidakjenuhan membuat asam lemak semakin reaktif, sehingga *flash point* turun. Pada campuran 10% minyak jarak, *flash point* turun menjadi 209 °C. Sampai dengan kadar 50% minyak jarak, derajat ketidakjenuhan dan panjang rantai relatif konstan, sehingga tidak terjadi perubahan pada *flash point*.

Pada persentase 60% - 90 % minyak jarak, *flash point* meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh semakin meningkatnya panjang rantai karbon. Semakin panjang rantai karbon, maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk menguapkan minyak, sehingga *flash point* meningkat (a K. Agarwal 2005).

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Mejia pada pencampuran biodiesel castor dengan biodiesel sawit. *Flash point* campuran meningkat dengan semakin banyaknya persentase biodiesel castor. Peningkatan signifikan terjadi pada campuran 20% palm biodiesel. *Flash point* biodiesel sawit adalah 164 °C, sedangkan *flash point* biodiesel castor adalah 286 °C (Mejía, Salgado, & Orrego 2013).



5.2 Pengaruh polaritas dalam perbaikan sifat fisik dan kimia campuran minyak nabati

5.2.1 Komposisi asam lemak

Minyak Jarak memiliki komposisi fatty acid yang didominasi oleh asam lemak tak jenuh dan minyak kelapa didominasi oleh asam lemak jenuh dengan rantai sedang.

Komposisi asam lemak campuran kedua minyak tersebut disajikan pada Tabel 5-1.

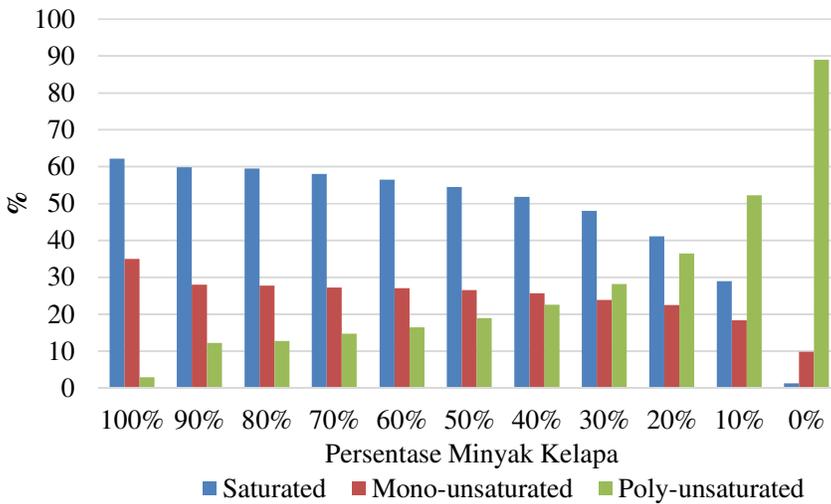
Komposisi asam lemak campuran minyak sawit-minyak kelapa disajikan pada Tabel 5-3.



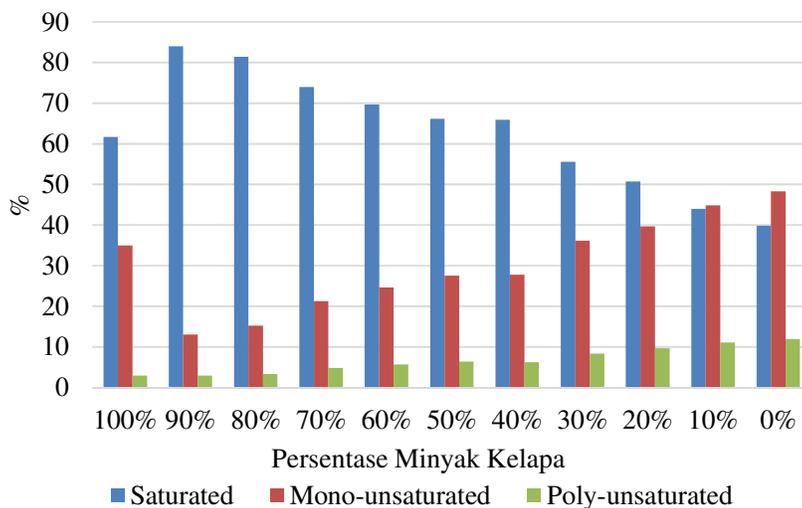
Tabel 5-3. Komposisi asam lemak campuran minyak sawit dan minyak kelapa

Asam lemak	Rumus	Persentase Minyak Sawit											
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	
<i>Hexanoic</i>	C6:0	0.38	0.26	0.24	0.18	0.16	0.15						
<i>Octanoic</i>	C8:0	6.80	5.35	5.21	4.03	3.47	3.25	3.43	1.90	1.28	0.55		
<i>Decanoic</i>	C10:0	6.03	5.37	5.38	4.11	3.51	3.22	3.17	1.84	1.23	0.53		
<i>Lauric</i>	C12:0	48.46	38.92	37.72	30.73	26.78	24.2	23.75	14.77	10.21	4.45	0.24	
<i>Myristoleic</i>	C14:1	18.35											
<i>Tetradecanoic</i>	C14:0		17.23	15.31	13.25	11.81	9.99	8.56	6.08	4.65	2.50	1.01	
<i>Palmitic</i>	C16:0		13.99	14.88	18.50	20.78	22.20	24.53	27.61	29.78	32.25	34.82	
<i>Palmitoleic</i>	C16:1	8.90								0.14	0.17	0.17	
<i>Octadecanoic</i>	C18:0		2.92	2.66	3.02	3.05	3.03	2.47	3.17	3.34	3.51	3.48	
<i>Trans 9 elaidic</i>	C18:1		12.89	14.97	20.88	24.19	27.00	27.30	35.44	38.78	43.82	47.17	
<i>Cis 9 oleic</i>	C18:1	7.72	0.18	0.24	0.35	0.44	0.48	0.54	0.67	0.76	0.90	0.93	
<i>Linolelaidic</i>	C18:2		2.92	3.40	4.86	5.72	6.39	6.26	8.39	9.52	10.95	11.77	
<i>Linoleic</i>	C18:2	2.93								0.14	0.17	0.19	
<i>Arachidic</i>	C20:0				0.11	0.12	0.13		0.16	0.19	0.22	0.22	

Persentase berbagai derajat ketidakjenuhan asam lemak dari tiap variasi komposisi campuran minyak kelapa dan minyak jarak ditunjukkan pada Gambar 5-14. Minyak kelapa tersusun dari asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh tunggal. Sedangkan minyak jarak didominasi oleh asam lemak tak jenuh ganda. Semakin banyak persentase minyak jarak pada campuran minyak, asam lemak jenuh dan tak jenuh tunggal semakin berkurang. Perubahan drastis pada persentase minyak jarak 90% dan 100% (10% dan 0% minyak kelapa).



Gambar 5-14 . Kandungan asam lemak jenuh, takjenuh tunggal dan takjenuh ganda tiap komposisi campuran minyak jarak-minyak kelapa

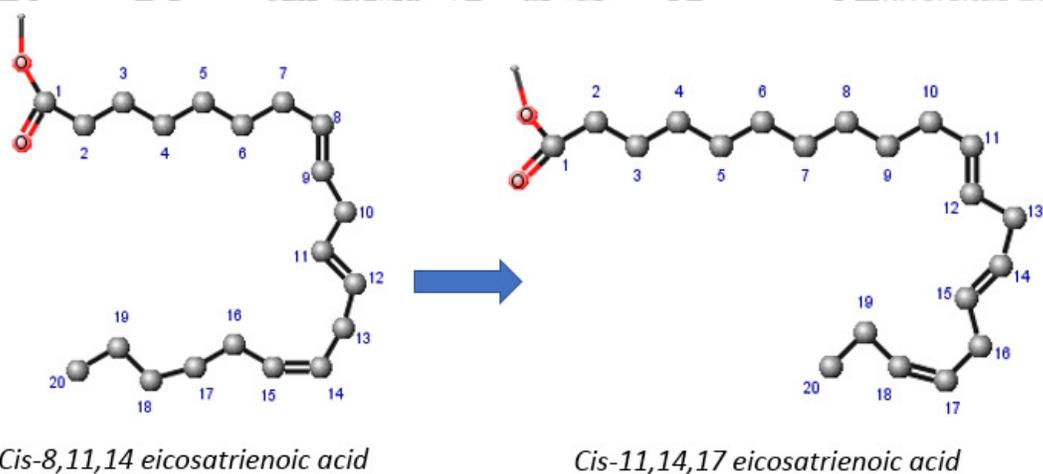


Gambar 5-15 . Kandungan asam lemak jenuh, takjenuh tunggal dan takjenuh ganda tiap komposisi campuran minyak sawit-minyak kelapa

Gambar 5-15 menunjukkan persentase berbagai derajat ketidakjenuhan asam lemak pada minyak kelapa, minyak sawit dan variasi campurannya. Semakin bertambah persentase minyak sawit pada campuran, semakin berkurang kadar asam lemak jenuh. Asam lemak tak jenuh ganda pada variasi campuran tidak melebihi 12%.

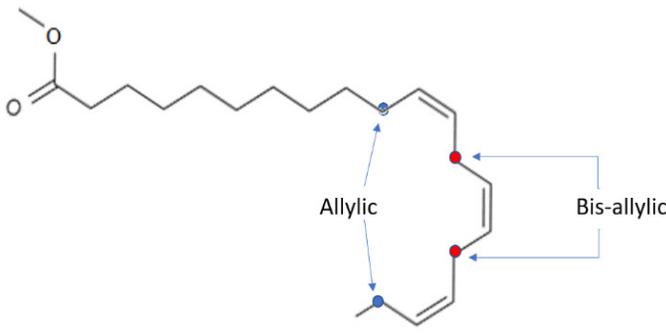
5.2.2 Pengaruh polaritas asam lemak dan pemanasan pada asam lemak takjenuh.

Asam lemak mulai terdekomposisi pada suhu 275 °C. Pada proses dekomposisi termal, reaksi yang terjadi adalah isomerisasi, polimerisasi dan pirolisis (Lin, Zhu, & Tavlarides 2014). Minyak jarak murni banyak mengandung *cis-8,11,14 eicosatrienoic acid*. Pemanasan minyak jarak murni menyebabkan terjadinya proses isomerisasi pada *cis-8,11,14 eicosatrienoic acid*. Energi thermal menyebabkan polaritas *cis-8,11,14 eicosatrienoic acid* (C 20:3) mendorong posisi ikatan rangkap menjauhi gugus karboksil, sehingga berubah menjadi *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* (C 20:3) (Gambar 5-16).



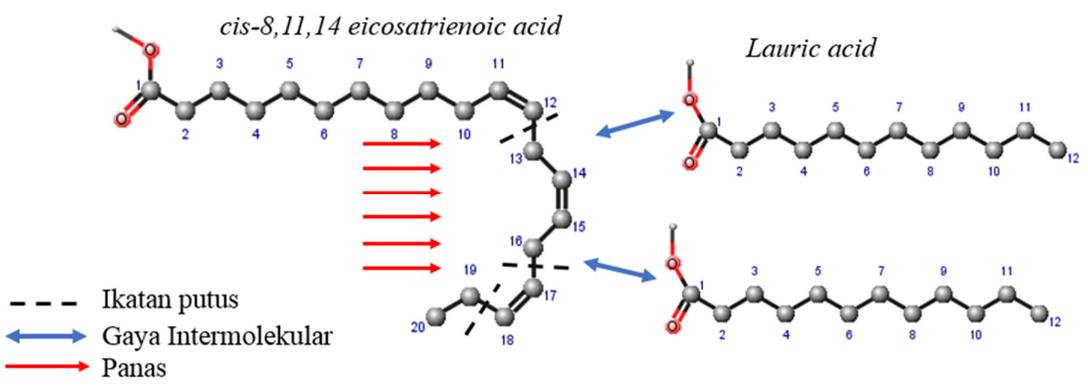
Gambar 5-16 Isomerisasi *Cis-8,11,14 eicosatrienoic acid* pada pemanasan minyak jarak

Cis-11,14,17 eicosatrienoic acid memiliki 3 ikatan rangkap. Posisi ikatan rangkap asam lemak tersebut menyebabkan adanya 2 *methylene allylic* dan 2 *bis-allylic*. Posisi *allylic* adalah *methylene* (CH₂) yang berdekatan hanya dengan satu ikatan rangkap. *Methylene* yang terletak di antara dua ikatan rangkap adalah posisi *bis-allylic* (Pullen & Saeed 2012). *Methylene allylic* dan *bis-allylic* mempunyai ikatan yang paling lemah diantara ikatan lain pada molekul tersebut (Issariyakul & Dalai 2014). Posisi *methylene allylic* dan *bis-allylic* pada *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* diperlihatkan pada Gambar 5-17 berikut.



Gambar 5-17 Posisi allylic dan bis-allylic pada cis-11,14,17 eicosatrienoic acid

Pada pemanasan dan pencampuran dengan minyak kelapa, *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* (C 20:3) putus menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek. Viskositas minyak kelapa jauh lebih rendah dari viskositas minyak jarak. Pencampuran dengan minyak jarak menyebabkan viskositas awal campuran minyak menjadi lebih rendah dibanding viskositas minyak jarak murni. Selain itu, minyak kelapa mengandung asam lemak yang bersifat polar, sehingga memiliki gaya interaksi yang lebih besar. Pemanasan yang diberikan, ditambah dengan gaya tarik molekul polar dari minyak kelapa tersebut mempermudah pemutusan ikatan karbon di sekitar ikatan rangkap. Proses tersebut diilustrasikan pada Gambar 5-18.



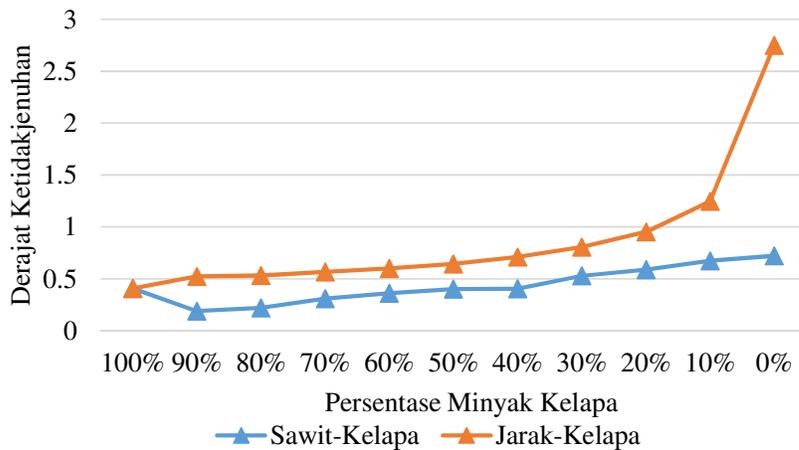
Gambar 5-18 Ilustrasi putusnya ikatan pada cis-11,14,17 eicosatrienoic acid

Berdasarkan *Tabel 5-1* pada campuran minyak jarak-minyak kelapa, asam lemak yang terbentuk terutama adalah *linolelaidic* (C 18:2), *linoleic* (C 18:2), *palmitoleic* (C 16:1), dan *lauric* (C 12:0). Hal tersebut sesuai dengan posisi *methylene allylic* dan *bis-allylic* pada *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid*.

Asam lemak penyusun minyak sawit kebanyakan adalah asam lemak tak jenuh tunggal, sehingga minyak sawit cenderung non-polar. Pada pencampuran minyak sawit dan minyak kelapa, perubahan komposisi asam lemak linier dengan komposisi asam lemak minyak penyusunnya.

5.2.3 Perbandingan campuran minyak jarak-minyak kelapa dan campuran minyak sawit-minyak kelapa.

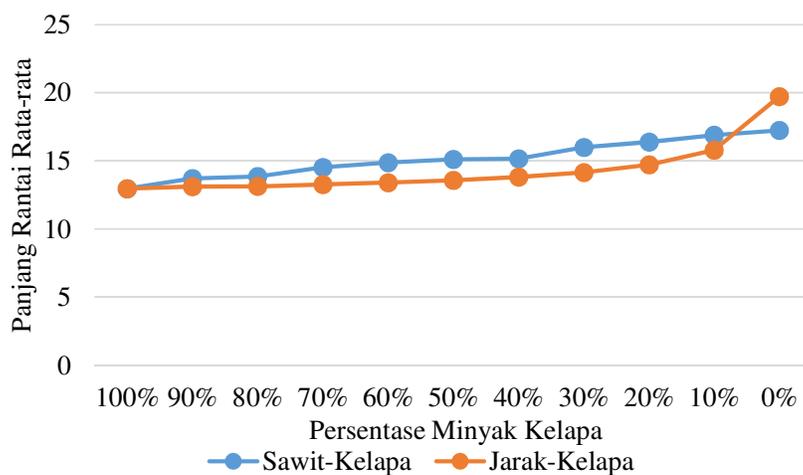
Berdasarkan data pada *Tabel 5-1* dan *Tabel 5-3* dapat dihitung rata-rata panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan setiap variasi komposisi campuran minyak. Persamaan untuk kedua perhitungan tersebut menggunakan pers 1) dan pers 2).



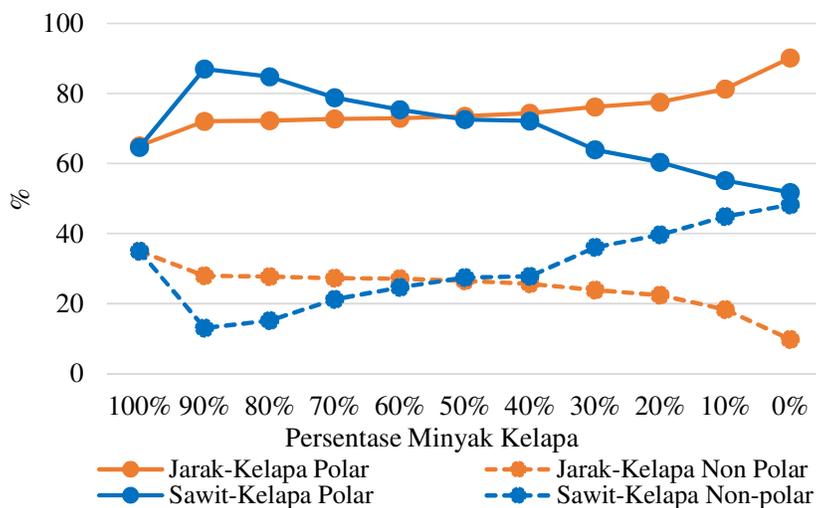
Gambar 5-19. Derajat ketidakjenuhan asam lemak terhadap komposisi campuran minyak

Derajat ketidakjenuhan kedua variasi campuran disajikan pada *Gambar 5-19*. Derajat ketidakjenuhan minyak kelapa dan minyak sawit kurang dari 1 dan demikian juga derajat ketidakjenuhan campuran keduanya. Sedangkan derajat ketidakjenuhan minyak jarak adalah 2,75. Derajat ketidakjenuhan campuran minyak jarak dan minyak kelapa meningkat secara linier dengan semakin banyaknya persentase minyak jarak. Perubahan derajat ketidakjenuhan secara drastis terjadi pada campuran minyak dengan 90% dan 100% minyak jarak (10% dan 0% minyak kelapa). Hal tersebut mengindikasikan bahwa polaritas bekerja lebih kuat untuk memutuskan ikatan rantai pada campuran yang lebih banyak minyak jaraknya. Dari *Gambar 5-19* terlihat bahwa derajat ketidakjenuhan campuran minyak jarak-minyak kelapa lebih tinggi dari derajat ketidakjenuhan campuran minyak sawit – minyak kelapa.

Panjang rata-rata rantai karbon disajikan pada Gambar 5-20. Panjang rata-rata rantai karbon kedua variasi campuran meningkat dengan bertambahnya persentase minyak sawit maupun minyak jarak. Pertambahan rata-rata panjang rantai karbon pada campuran minyak sawit dan minyak kelapa terlihat linier. Panjang rata-rata rantai karbon pada campuran minyak sawit– minyak kelapa lebih tinggi daripada panjang rata-rata rantai karbon campuran minyak jarak-minyak kelapa. Hal tersebut membuktikan pengaruh polaritas untuk memutuskan rantai karbon pada campuran minyak jarak-minyak kelapa.



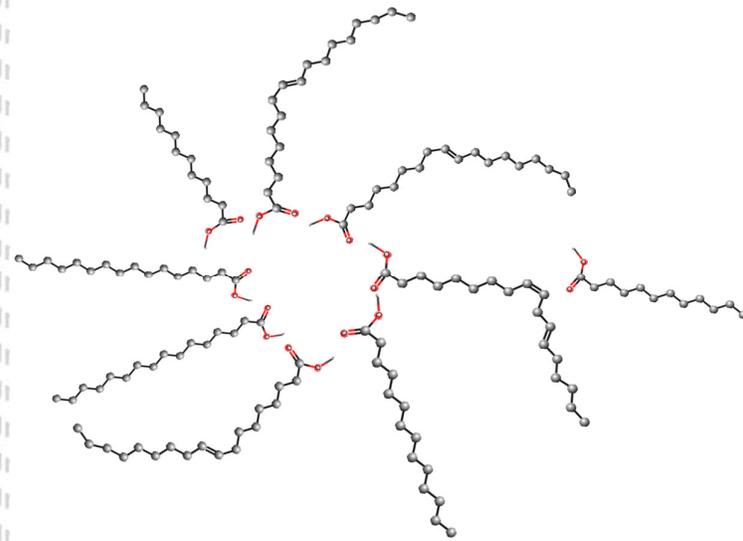
Gambar 5-20 Rata-rata panjang rantai karbon asam lemak terhadap komposisi campuran minyak



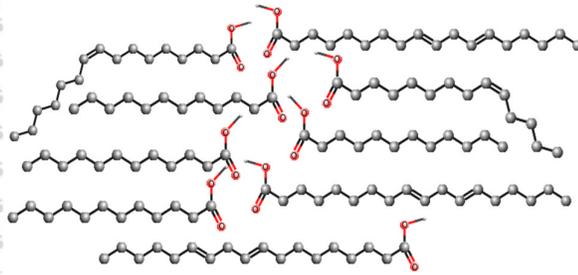
Gambar 5-21 . Persentase asam lemak polar dan non polar pada campuran minyak

Asam lemak jenuh dan tak jenuh ganda cenderung bersifat polar, sedangkan asam lemak tak jenuh tunggal cenderung bersifat non-polar (Murali et al. 1993)(Parcerisa et al. 1997). Berdasarkan persentase kandungan asam lemak pada campuran minyak, dapat dihitung persentase asam lemak polar dan non-polar, seperti disajikan pada Gambar 5-21. Pada campuran minyak jarak-minyak kelapa, semakin banyak persentase minyak jarak, jumlah molekul polar menjadi semakin banyak. Sedangkan pada campuran minyak sawit-minyak kelapa, semakin banyak persentase minyak sawit, maka persentase molekul polar semakin berkurang.

Gambar konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak sawit dan minyak kelapa disajikan pada Gambar 5.-22 berikut. Asam lemak pada minyak sawit sebagian besar merupakan asam lemak non-polar, sehingga gaya tarik antar molekul lebih dominan antar gugus karboksil. Hal tersebut menyebabkan gugus karboksil saling mendekat dan ekor asam lemak saling menjauh, dengan demikian jarak antar molekul menjadi relatif renggang. Sedangkan pada campuran minyak jarak dan minyak kelapa yang tersusun dari asam lemak polar, gaya intermolekuler lebih kuat, sehingga molekul tertata lebih rapi. Kondisi tersebut berpengaruh pada sifat minyak.



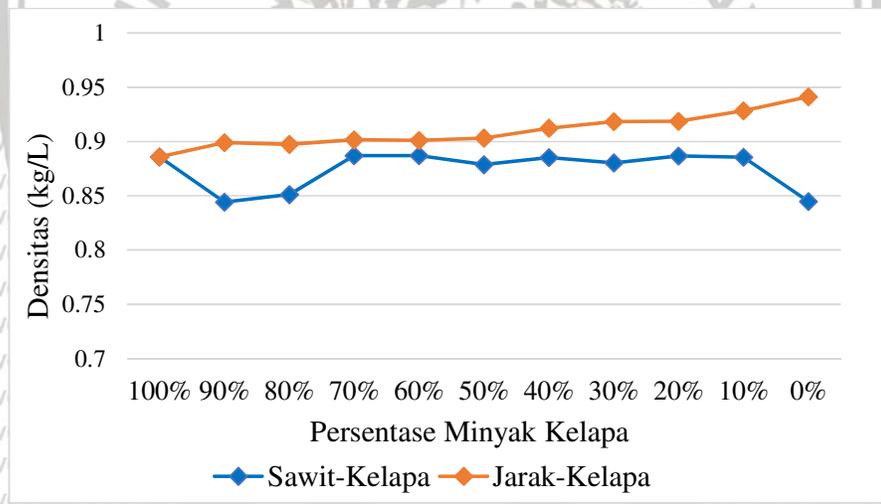
Gambar 5-22 Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak sawit dan minyak kelapa



Gambar 5-23. Ilustrasi konfigurasi molekul asam lemak pada campuran minyak jarak dan minyak kelapa

5.2.4 Densitas

Densitas bahan bakar mempengaruhi awalan injeksi, tekanan injeksi, dan karakteristik semprotan bahan bakar, sehingga mempengaruhi pembakaran dan emisi. Densitas berpengaruh pada sejumlah sifat bahan bakar lainnya seperti nilai kalor dan viskositas (Varatharajan & Cheralathan 2012).



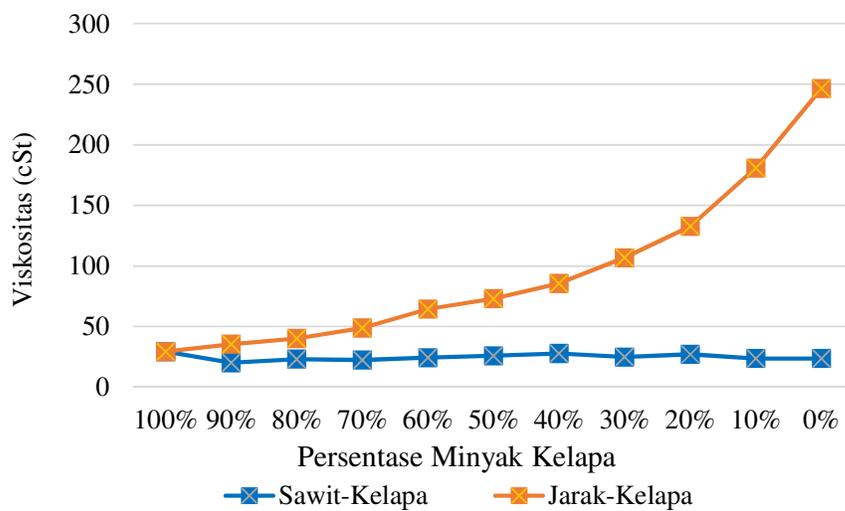
Gambar 5-24. Densitas campuran minyak terhadap komposisi campuran minyak

Densitas campuran minyak kelapa dan minyak jarak lebih tinggi daripada campuran minyak kelapa dan minyak sawit (Gambar 5-24). Dilihat dari Gambar 5-19 dan Gambar 5-20, campuran minyak sawit – minyak kelapa memiliki derajat ketidakjenuhan lebih rendah daripada derajat ketidakjenuhan campuran minyak jarak–minyak kelapa dan memiliki rata-rata panjang rantai karbon lebih tinggi daripada rata-rata panjang rantai karbon campuran minyak jarak– minyak kelapa. Hal tersebut akan mengarah pada densitas yang

lebih tinggi, namun campuran minyak jarak-minyak kelapa yang memiliki lebih banyak molekul polar, lebih tinggi densitasnya. Semakin banyak molekul polar maka gaya interaksi antar molekul akan lebih kuat, sehingga molekul akan tertata lebih rapat. Hal tersebut berpengaruh pada densitas.

5.2.5 Viskositas

Viskositas kinematik didefinisikan sebagai gaya intermolekuler yang menghambat cairan untuk mengalir. Viskositas adalah sifat yang paling penting dari setiap bahan bakar karena ini mengindikasikan ketahanan bahan terhadap geser atau aliran. Oleh karena itu, viskositas mempengaruhi pengoperasian peralatan injeksi bahan bakar dan pengkabutan.



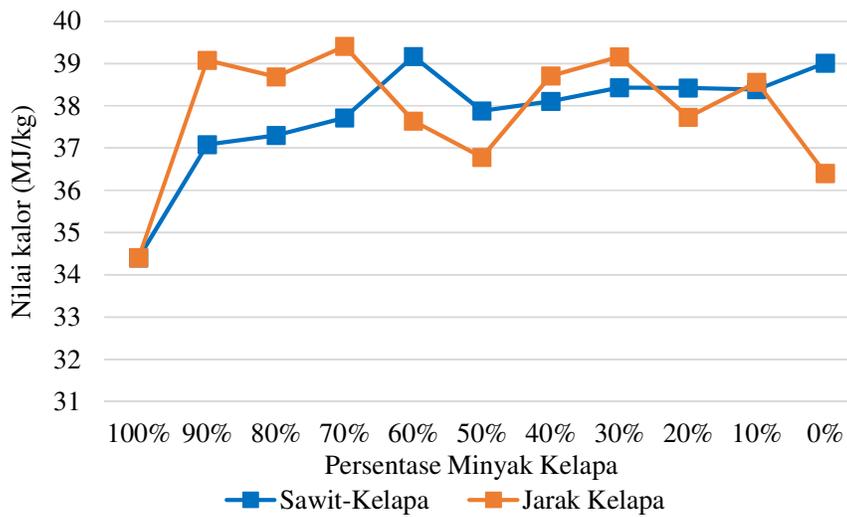
Gambar 5-25 . Viskositas campuran minyak terhadap komposisi campuran minyak

Gambar 5-25 menunjukkan viskositas campuran minyak terhadap komposisi campuran. Campuran minyak sawit-minyak kelapa memiliki panjang rata-rata rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan yang mengarah ke viskositas yang lebih tinggi dibandingkan viskositas campuran minyak jarak-minyak kelapa. Namun viskositas campuran minyak jarak - minyak kelapa lebih tinggi daripada viskositas campuran minyak sawit - minyak kelapa. Dalam hal ini jumlah molekul polar lebih berpengaruh terhadap viskositas campuran minyak. Jumlah molekul polar campuran minyak jarak-minyak kelapa lebih tinggi daripada jumlah molekul polar campuran minyak sawit- minyak kelapa. Gaya intermolekuler lebih besar pada molekul polar. Hal tersebut meningkatkan viskositas minyak.

5.2.6 Nilai Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi yang dikeluarkan oleh pembakaran tiap satu satuan bahan bakar. Pada minyak yang kadar asam lemak polarnya lebih tinggi, nilai kalornya lebih rendah. Dari Gambar 5-26 terlihat bahwa, pada campuran minyak dengan persentase 70%-90%, campuran minyak jarak-minyak kelapa memiliki nilai kalor yang lebih tinggi. Hal tersebut berhubungan dengan perbedaan kadar asam lemak polar dari kedua macam campuran minyak. Ketika kadar asam lemak polar hampir sama, seperti pada campuran dengan persentase minyak kelapa 40% - 60%, nilai kalor lebih dipengaruhi oleh panjang rantai karbon. Campuran minyak sawit- minyak kelapa memiliki panjang rata-rata rantai karbon yang lebih tinggi, sehingga nilai kalornya lebih tinggi.

Dalam persentase minyak kelapa 10% sampai 40%, meskipun kandungan asam lemak polar dari campuran minyak jarak-minyak kelapa lebih tinggi dari pada campuran minyak sawit-minyak kelapa dan panjang rata-rata rantai karbonnya pun lebih pendek, nilai kalornya cenderung lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa ikatan rangkap yang bergerak menjauh dari gugus karboksil *cis-8,11,14 eicosatrienoic acid* karena energi panas menjadi *cis-11,14,17 eicosatrienoic acid* dan beberapa asam lemak polar dalam minyak kelapa tidak mampu memutus rantai panjang, menyebabkan polaritas molekul menurun sementara rantai karbon tetap panjang.

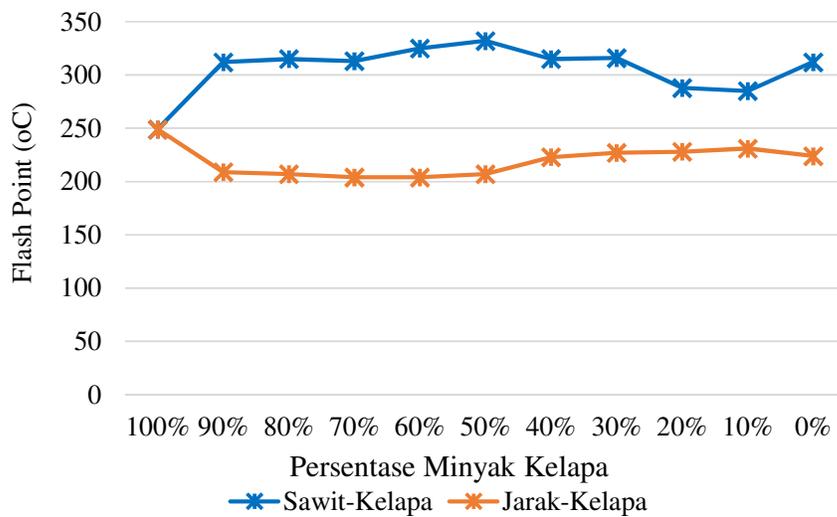


Gambar 5-26 Nilai kalor campuran minyak terhadap komposisi campuran minyak

5.2.7 Titik Nyala

Titik nyala adalah suhu di mana suatu bahan bakar akan menyala saat terkena nyala api atau percikan api. Titik nyala berbanding terbalik dengan volatilitas bahan bakar.

Gambar 5-27 menunjukkan nilai titik nyala dari variasi campuran minyak jarak – minyak kelapa dan variasi campuran minyak sawit – minyak kelapa. Titik nyala campuran minyak sawit-minyak kelapa lebih tinggi daripada campuran minyak jarak-minyak kelapa. Hal tersebut disebabkan karena derajat ketidakjenuhan campuran minyak sawit-minyak kelapa lebih rendah dan panjang rata-rata rantai karbonnya lebih tinggi dibanding dengan campuran minyak jarak-minyak kelapa. Nilai titik nyala dipengaruhi oleh panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan (Carareto et al. 2012).



Gambar 5-27. Titik nyala terhadap komposisi campuran minyak

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Minyak jarak terutama tersusun dari *eicosatrienoic acid*, menyebabkan minyak jarak memiliki densitas dan viskositas yang tinggi. Upaya untuk memperbaiki sifat minyak jarak sebagai bahan bakar dilakukan dengan pemanasan dan pemanfaatan polaritas asam laurat dari minyak kelapa.

➤ Pengaruh pemanasan pada temperatur 90°C

Pada proses pemanasan minyak jarak sampai dengan temperatur 90°C dalam waktu 30 menit, menghasilkan perubahan struktur *cis 8,11,14-eicosatrienoic acid*. Energi panas mengakibatkan pergeseran posisi ikatan rangkap pada *eicosatrienoic acid* menjauhi gugus karboksil. Isomer *eicosatrienoic acid* yang terjadi adalah *cis 11,14,17-eicosatrienoic acid*. Proses ini tidak mengakibatkan putusannya ikatan molekul.

➤ Pengaruh polaritas terhadap perubahan struktur asam lemak

Pencampuran minyak jarak dengan minyak kelapa menghasilkan perubahan komposisi asam lemak. Kedua minyak didominasi asam lemak polar. Asam lemak polar memberikan gaya intermolekular yang mempermudah terjadinya pemutusan ikatan karbon pada saat pemanasan. *Cis 11,14,17-eicosatrienoic acid* berubah menjadi asam lemak dengan rantai yang lebih pendek dan derajat ketidakjenuhan yang lebih rendah. Perubahan tersebut diakibatkan oleh adanya energi panas dan gaya intermolekuler karena polaritas asam laurat.

Hal tersebut membuktikan bahwa energi polaritas dapat dimanfaatkan untuk mempermudah pemutusan ikatan asam lemak. Pada proses ini, *eicosatrienoic acid* yang terdiri dari 3 ikatan rangkap, berubah menjadi *linoleaidic acid*, *linoleic acid*, *palmitoleic acid* dan *lauric acid*.

Perubahan struktur asam lemak pada proses pencampuran minyak nabati tergantung pada bahan bakunya. Minyak nabati dengan asam lemak jenuh dan tak jenuh tunggal menghasilkan komposisi asam lemak yang linier dengan komposisi asam lemak minyak nabati penyusunnya. Hal tersebut dibuktikan pada pencampuran minyak sawit dan minyak kelapa. Minyak nabati dengan asam lemak tak jenuh ganda seperti minyak jarak, menghasilkan perubahan komposisi asam lemak yang berbeda dari asam lemak minyak

penyusunnya. Pencampuran asam lemak polar dengan asam lemak polar lainnya menyebabkan perubahan komposisi asam lemak.

➤ **Peran polaritas asam lemak terhadap sifat minyak.**

Perubahan komposisi asam lemak pada campuran menyebabkan perubahan sifat minyak seperti densitas, viskositas, nilai kalor dan *flash point*. Hasil pengujian densitas, viskositas, nilai kalor dan flash point pada campuran minyak jarak dan minyak kelapa maupun campuran minyak sawit dan minyak kelapa membuktikan bahwa polaritas asam lemak berpengaruh pada sifat-sifat minyak tersebut.

✓ **Densitas**

Pada campuran minyak jarak dan minyak kelapa, terjadi perubahan derajat ketidakjenuhan dan rata-rata panjang rantai karbon yang signifikan. Semakin pendek rantai karbon, maka ukuran molekul semakin berkurang. Semakin kecil ukuran molekul, gaya intermolekuler juga semakin berkurang, sehingga jarak antar molekul semakin renggang. Hal tersebut menyebabkan semakin rendahnya densitas.

Semakin banyak persentase asam lemak polar, gaya intermolekuler semakin besar, sehingga molekul tertata lebih rapat. Hal tersebut menyebabkan meningkatnya densitas. Jadi densitas tidak hanya dipengaruhi oleh panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan, namun juga dipengaruhi oleh jumlah molekul polar pada minyak nabati.

✓ **Viskositas**

Sebagaimana densitas, viskositas juga dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan, rata-rata panjang rantai karbon dan polaritas asam lemak. Semakin pendek rantai karbon, maka ukuran molekul semakin berkurang. Rantai karbon yang semakin pendek juga menyebabkan berkurangnya gaya interaksi antar molekul, sehingga menyebabkan viskositas semakin rendah.

Pada perbandingan viskositas campuran minyak jarak dan minyak kelapa dengan viskositas campuran minyak sawit dan minyak kelapa, terbukti bahwa polaritas asam lemak lebih berpengaruh terhadap viskositas dibanding pengaruh dari panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan asam lemak.

✓ Nilai kalor

Perubahan panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan pada campuran minyak jarak dan minyak kelapa berpengaruh pada meningkatnya nilai kalor campuran.

Nilai kalor minyak kelapa meningkat setelah ada campuran minyak jarak. Hal tersebut disebabkan karena semakin tinggi persentase asam lemak dengan rantai karbon yang lebih panjang. Di sisi lain, derajat ketidakjenuhan minyak jarak semakin berkurang setelah pencampuran dengan minyak kelapa. Hal tersebut berakibat pada naiknya nilai kalor minyak.

Pada perbandingan nilai kalor campuran minyak jarak dan minyak kelapa dengan nilai kalor campuran minyak sawit dan minyak kelapa, terbukti bahwa persentase asam lemak polar lebih berpengaruh terhadap nilai kalor dibanding pengaruh dari panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan asam lemak.

✓ Flash point

Flash point minyak dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan dan panjang rantai karbonnya. Selain dipengaruhi oleh panjang rantai karbon dan derajat ketidakjenuhan, juga dipengaruhi oleh polaritas asam lemak.

Dengan pemanfaatan polaritas minyak nabati ini, viskositas kinematik minyak jarak menjadi turun sedangkan nilai kalornya meningkat, sehingga diperoleh campuran minyak dengan sifat yang lebih baik.

6.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan untuk kelanjutan penelitian adalah:

1. Perlu dilakukan penelitian pengaruh panjang rantai karbon, derajat ketidakjenuhan dan polaritas asam lemak untuk beberapa macam minyak nabati lainnya.
2. Penggunaan data-data penelitian tersebut untuk menyusun prediksi sifat campuran minyak pada beberapa variasi komposisi campuran, sehingga diperoleh komposisi campuran minyak nabati yang optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Abollé, Abollé, Loukou Kouakou, & Henri Planche. (2009). "The Viscosity of Diesel Oil and Mixtures with Straight Vegetable Oils: Palm, Cabbage Palm, Cotton, Groundnut, Copra and Sunflower." *Biomass and Bioenergy* 33(9): 1116–21. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953408000056> (February 26, 2018).
- Agarwal, a K. (2005). "Experimental Investigations of the Effect of Biodiesel Utilization on Lubricating Oil Tribology in Diesel Engines." *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.* 219(5): 703–13. <http://pid.sagepub.com/lookup/doi/10.1243/095440705X11239>.
- Agarwal, Deepak, & Avinash Kumar Agarwal. (2007). "Performance and Emissions Characteristics of Jatropha Oil (Preheated and Blends) in a Direct Injection Compression Ignition Engine." *Applied Thermal Engineering* 27(13): 2314–23. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1359431107000361>.
- Allen, C A W, & K C Watts. (2000). "Comparative Analysis of the Atomization Characteristics of Fifteen Biodiesel Fuel Types." *Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers* 43(2): 207–11.
- De Almeida, S. C A; et al. (2002). "Performance of a Diesel Generator Fuelled with Palm Oil." *Fuel* 81(16): 2097–2102. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236102001552>.
- Benjumea, Pedro, John Agudelo, & Andrés Agudelo. (2008). "Basic Properties of Palm Oil Biodiesel-Diesel Blends." *Fuel* 87(10–11): 2069–75.
- Carareto, Natália D.D. et al. (2012). "Flash Points of Mixtures Containing Ethyl Esters or Ethylic Biodiesel and Ethanol." *Fuel* 96: 319–26. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236112000506> (April 28, 2017).
- Demirbas, Ayhan. (2008). "Relationships Derived from Physical Properties of Vegetable Oil and Biodiesel Fuels." *Fuel* 87(8–9): 1743–48.
- Demirbas, Ayhan. (2009). "Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels." *Energy Conversion and Management* 50(1): 14–34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2008.09.001>.
- Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia. (2010). *Roadmap Industri Pengolahan Kelapa*. Jakarta.
- Divakara, B N, H D Upadhyaya, S P Wani, & C L Laxmipathi Gowda. (2010). "Biology and Genetic Improvement of Jatropha Curcas L.: A Review." *Applied Energy* 87(3): 732–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.013>.
- Forson, F. K., E. K. Oduro, & E. Hammond-Donkoh. (2004). "Performance of Jatropha Oil Blends in a Diesel Engine." *Renewable Energy* 29(7): 1135–45.
- Giakoumis, Evangelos G. (2013). "A Statistical Investigation of Biodiesel Physical and Chemical Properties, and Their Correlation with the Degree of Unsaturation." *Renewable Energy* 50: 858–78.

- Gopinath, a, S Puhan, & G Nagarajan. (2009). "Relating the Cetane Number of Biodiesel Fuels to Their Fatty Acid Composition: A Critical Study." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering* 223(4): 565–83.
- Gopinath, A, Sukumar Puhan, & G Nagarajan. (2009). "Theoretical Modeling of Iodine Value and Saponification Value of Biodiesel Fuels from Their Fatty Acid Composition." *Renewable Energy* 34(7): 1806–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.023>.
- Haşimoğlu, Can et al. (2008). "Performance Characteristics of a Low Heat Rejection Diesel Engine Operating with Biodiesel." *Renewable Energy* 33(7): 1709–15. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960148107002625>.
- Hoekman, S. Kent et al. (2012). "Review of Biodiesel Composition, Properties, and Specifications." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(1): 143–69.
- Hong, In Kwon, Gil Song Jeon, & Seung Bum Lee. (2014). "Journal of Industrial and Engineering Chemistry Prediction of Biodiesel Fuel Properties from Fatty Acid Alkyl Ester." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 20(4): 2348–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2013.10.011>.
- How, H.G., Y.H. Teoh, H.H. Masjuki, & M.A. Kalam. (2012). "Impact of Coconut Oil Blends on Particulate-Phase PAHs and Regulated Emissions from a Light Duty Diesel Engine." *Energy* 48(1): 500–509. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544212007712>.
- Issariyakul, Titipong, & Ajay K. Dalai. (2014). "Biodiesel from Vegetable Oils." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31: 446–71.
- Jain, Siddharth, & M.P. Sharma. (2010). "Prospects of Biodiesel from Jatropha in India: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(2): 763–71. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032109002366>.
- Jakeria, M.R., M.A. Fazal, & A.S.M.A. Haseeb. (2014). "Influence of Different Factors on the Stability of Biodiesel: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30: 154–63. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113006837> (February 11, 2018).
- Jena, Prakash C., Hifjur Raheman, G.V. Prasanna Kumar, & Rajendra Machavaram. (2010). "Biodiesel Production from Mixture of Mahua and Simarouba Oils with High Free Fatty Acids." *Biomass and Bioenergy* 34(8): 1108–16. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953410000942> (February 19, 2018).
- Karmakar, Aninidita, Subrata Karmakar, & Souti Mukherjee. (2010). "Properties of Various Plants and Animals Feedstocks for Biodiesel Production." *Bioresource Technology* 101(19): 7201–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.079>.
- Knothe, G. (2005). "Dependence of Biodiesel Fuel Properties on the Structure of Fatty Acid Alkyl Esters." *Fuel processing technology* 86: 1059–70. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382004001894> (November 7, 2014).
- Knothe, Gerhard. (2008). "'Designer' biodiesel: Optimizing Fatty Ester Composition to Improve Fuel Properties." *Energy and Fuels* 22(2): 1358–64.
- Knothe, Gerhard, & Kevin R Steidley. (2005). "Kinematic Viscosity of Biodiesel Fuel Components and Related Compounds. Influence of Compound Structure and Comparison to Petrodiesel Fuel Components." *Fuel* 84(9): 1059–65.

- <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236105000475>.
- Knothe, Gerhard, & Kevin R Steidley. (2007). "Kinematic Viscosity of Biodiesel Components (Fatty Acid Alkyl Esters) and Related Compounds at Low Temperatures." *Fuel* 86(16): 2560–67. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236107000865>.
- Lanjekar, R.D., & D. Deshmukh. (2016). "A Review of the Effect of the Composition of Biodiesel on NOx Emission, Oxidative Stability and Cold Flow Properties." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 54(x): 1401–11. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115011132>.
- Lima, Daniela G. et al. (2004). "Diesel-like Fuel Obtained by Pyrolysis of Vegetable Oils." *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 71(2): 987–96. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237004000038> (February 11, 2018).
- Lin, Ronghong, Yiying Zhu, & Lawrence L. Tavlarides. (2014). "Effect of Thermal Decomposition on Biodiesel Viscosity and Cold Flow Property." *Fuel* 117: 981–88. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236113009757> (February 26, 2018).
- Martínez, G., N. Sánchez, J.M. Encinar, & J.F. González. (2014). "Fuel Properties of Biodiesel from Vegetable Oils and Oil Mixtures. Influence of Methyl Esters Distribution." *Biomass and Bioenergy* 63: 22–32. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0961953414000440>.
- Mejía, J.D., N. Salgado, & C.E. Orrego. (2013). "Effect of Blends of Diesel and Palm-Castor Biodiesels on Viscosity, Cloud Point and Flash Point." *Industrial Crops and Products* 43: 791–97. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669012004967> (January 1, 2018).
- Misra, R. D., & M. S. Murthy. (2010). "Straight Vegetable Oils Usage in a Compression Ignition Engine - A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(9): 3005–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.010>.
- Mobin Siddique, Bazlul et al. (2010). "Physico-Chemical Properties of Blends of Palm Olein with Other Vegetable Oils." *Grasas y Aceites* 61(4): 423–29. <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/1054/1064> (February 19, 2018).
- Moser, Bryan R. (2008). "Influence of Blending Canola, Palm, Soybean, and Sunflower Oil Methyl Esters on Fuel Properties of Biodiesel." *Energy and Fuels* 22(6): 4301–6.
- Murali, H S, M S Mohan, K S Mania, & R Sankaran. (1993). "Polar and Nonpolar Lipids and Their Fatty Acid Composition of a Few Fusarium Species." *Journal of the American Oil Chemists' Society* 70(10): 1039–41.
- Ong, H.C., T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, & R.S. Norhasyima. (2011). "Comparison of Palm Oil, Jatropha Curcas and Calophyllum Inophyllum for Biodiesel: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8): 3501–15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111002085> (February 11, 2018).
- Parcerisa, Javier, Daryl G Richardson, Magdalena Rafecas, & Rafael Codony. (1997). "Fatty Acid Distribution in Polar and Nonpolar Lipid Classes of Hazelnut Oil (Corylus Avellana L.)." *J. Agric. Food Chem* 8561(97): 3887–90.
- Pinzi, Sara et al. (2013). "The Effect of Biodiesel Fatty Acid Composition on Combustion

and Diesel Engine Exhaust Emissions.” *Fuel* 104: 170–82.

Pramanik, K. (2003). “Properties and Use of Jatropha Curcas Oil and Oiesel Fuel Blends in Compression Ignition Engine.” *Renewable Energy* 28(2): 239–48.

Pullen, James, & Khizer Saeed. (2012). “An Overview of Biodiesel Oxidation Stability.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(8): 5924–50. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032112004170> (February 26, 2018).

Ramírez-Verduzco, Luis Felipe, Javier Esteban Rodríguez-Rodríguez, & Alicia del Rayo Jaramillo-Jacob. (2012). “Predicting Cetane Number, Kinematic Viscosity, Density and Higher Heating Value of Biodiesel from Its Fatty Acid Methyl Ester Composition.” *Fuel* 91(1): 102–11. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0016236111003942>.

Ramos, María Jesús et al. (2009). “Influence of Fatty Acid Composition of Raw Materials on Biodiesel Properties.” *Bioresource Technology* 100(1): 261–68.

Refaat, a. a. (2009). “Correlation between the Chemical Structure of Biodiesel and Its Physical Properties.” *International Journal of Environmental Science & Technology* 6(4): 677–94. <http://link.springer.com/10.1007/BF03326109>.

Rodrigues, Jorge de A. et al. (2006). “Correlating Chemical Structure and Physical Properties of Vegetable Oil Esters.” *Journal of the American Oil Chemists’ Society* 83(4): 353–57. <http://link.springer.com/10.1007/s11746-006-1212-0>.

Sharma, Y.C., B Singh, & S.N. Upadhyay. (2008). “Advancements in Development and Characterization of Biodiesel: A Review.” *Fuel* 87(12): 2355–73. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001623610800029X>.

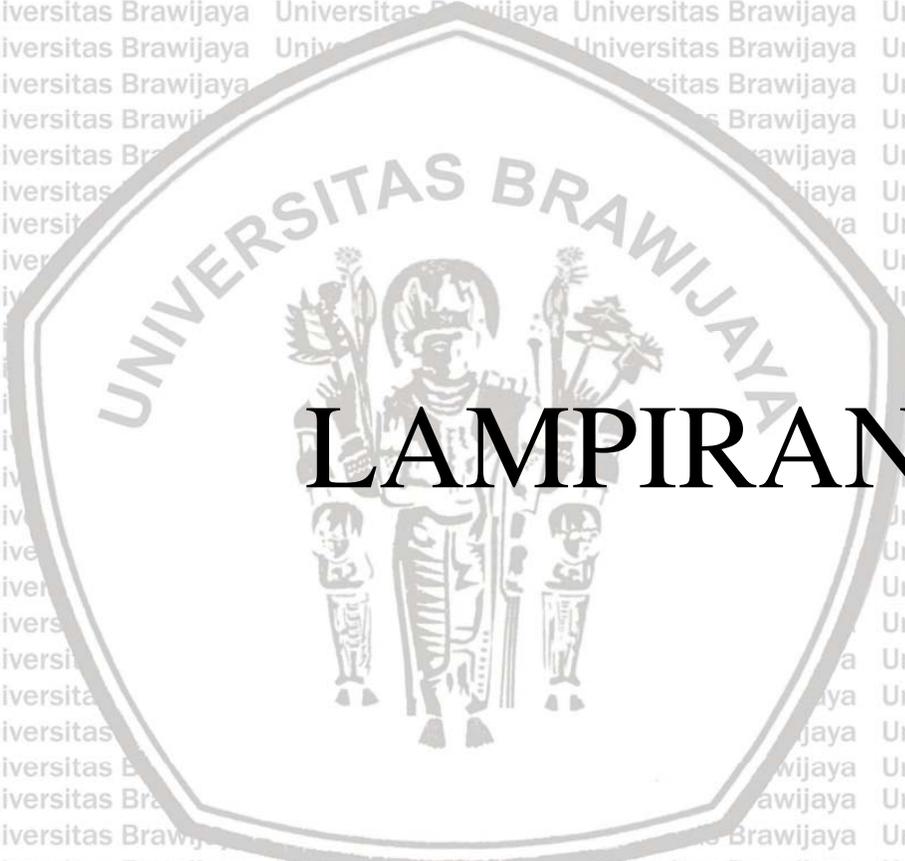
Silitonga, A.S. et al. (2011). “A Review on Prospect of Jatropha Curcas for Biodiesel in Indonesia.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15(8): 3733–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.011>.

Singh, S.P., & Dipti Singh. (2010). “Biodiesel Production through the Use of Different Sources and Characterization of Oils and Their Esters as the Substitute of Diesel: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(1): 200–216. <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VMY-4WXB2C1-1/2/1d997f156b08b291cb124c5b6ff9aa91>.

Teeter, Howard M., & John C. Cowan. (1956). “Viscometric Properties of Higher Fatty Acids and Their Derivatives.” *Journal of the American Oil Chemists’ Society* 33(4): 163–69. <http://doi.wiley.com/10.1007/BF02638205> (January 15, 2018).

Varatharajan, K., & M. Cheralathan. (2012). “Influence of Fuel Properties and Composition on NO X Emissions from Biodiesel Powered Diesel Engines: A Review.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16(6): 3702–10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.056>.

Yusup, Suzana, & Modhar Khan. (2010). “Basic Properties of Crude Rubber Seed Oil & Crude Palm Oil Blend as a Potential Feedstock for Biodiesel Production with Enhanced Cold Flow Characteristics.” *Biomass and Bioenergy* 34(10): 1523–26. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410001170> (January 15, 2018).



LAMPIRAN



LAMPIRAN 1. DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

No	Judul Artikel	Nama Jurnal	Status	Quartile	Indeks Scopus	List of Predators	Faktor Dampak
1	Improving Vegetable Oil Properties by Transforming Fatty Acids Chain Length in Jatropha Oils and Coconut Oils Blends	Energies	Published	Q1	Ya	Tidak	2.262
2	The Role of Polarity in the Improvement of Physical and Chemical Properties of Vegetable Oil Blends	Industrial Crops & Products	Submitted	Q1	Ya	Tidak	3.181