



**PERAN POLARITAS MINYAK NABATI  
TERHADAP KARAKTER SIDIK WARNA NYALA API SPRAY  
PEMBAKARAN MINYAK JARAK, KELAPA, SAWIT DAN KAPUK**

**DISERTASI**

Ditujukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Gelar Doktor



Oleh  
**AGUS WIBOWO**  
NIM. 107060200111019

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
2018**

**DISERTASI**

**PERAN POLARITAS MINYAK NABATI TERHADAP KARAKTER SIDIK  
WARNA NYALA APRI SPRAY PEMBAKARAN MINYAK JARAK, KELAPA,  
SAWIT DAN KAPUK**

**AGUS WIBOWO**

**107060200111019**

Telah dipertahankan didepan komisi penguji  
pada tanggal 7 Maret 2018  
dinyatakan telah memenuhi syarat  
untuk memperoleh gelar Doktor Teknik

**Komisi Pembimbing**

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping I

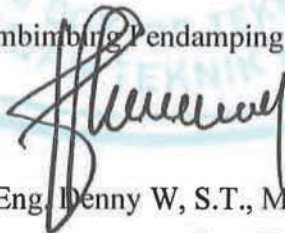


Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D.



Dr. Slamet Wahyudi, S.T., M.T.

Pembimbing Pendamping 2



Dr. Eng. Denny W, S.T., M.T.

Malang, **30 MAY 2018**

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





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM DOKTOR**



## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 691/JUN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**AGUS WIBOWO**

Dengan Judul Disertasi :

**PERAN POLARITAS MINYAK NABATI TERHADAP KARAKTER SIDIK WARNA NYALA API  
SPRAY PEMBAKARAN MINYAK JARAK, KELAPA, SAWIT DAN KAPUK**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 5\%$ , dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **9 Juli 2018**



Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D.  
NIP. 196705181994121001**

Ketua Program Studi S3 Teknik Mesin

**Prof. Ir. ING. Wardana, M.Eng., Ph.D.  
NIP. 195907031983031002**

**IDENTITAS TIM PENGUJI**

**JUDUL DISERTASI** : Peran Polaritas Minyak Nabati Terhadap Karakter  
Sidik Warna Nyala Api Spray Pembakaran Minyak  
Jarak, Kelapa, Sawit dan Kapok

Nama Mahasiswa : Agus Wibowo  
NIM : 107060200111019  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Konversi Energi

**KOMISI PEMBIMBING:**

Ketua : Prof. Ir. I.N.G. Wardana M.Eng., Ph.D.  
Anggota : Dr. Slamet Wahyudi, ST, M.Eng  
Anggota : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT.

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.  
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.  
Dosen penguji Tamu : Prof. Dr. Ir. Arif Hidayat, M.Si.

Tanggal Ujian : 17 Juli 2018

SK Penguji :



## PERSEMBAHAN

Sujud serta Syukur kepada Allah SWT, dengan berkah cinta dan kasih sayang-Nya yang telah memberikan penerangan, memberikan Ilham, memberikan kekuatan, serta membekaliku dengan ilmu. Atas karunia serta kemudahan yang Allah SWT berikan, akhirnya disertasi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rosulullah Muhammad SAW.

Kupersembahkan disertasi ini untuk:

1. Ayahanda Wardja terima kasih atas limpahan kasih sayang semasa hidupnya dan memberikan rasa rindu yang berarti.
2. Ibunda Suwarni terima kasih atas limpahan doa dan kasih sayang yang tak terhingga dan selalu memberikan yang terbaik.
3. Kedua mertuaku, Bapak Suwandi dan Ibu Solasih yang telah memberikan dorongan dan semangat dalam menempuh studi saya.
4. Pelabuhan hati “Indah Eko Cahyani” Sebagai tanda cinta kasihku, kupersembahkan karya ini buatmu, Terima kasih atas kasih sayang, perhatian, dan kesabaranmu yang telah memberikanku semangat dan inspirasi dalam menyelesaikan disertasi ini, semoga engkau pilihan yang terbaik buatku dan masa depanku, terima kasih.
5. Anak-anakku Widyan Hirzi Wibowo dan Zihni Hasyidan Wibowo yang memberikan dorongan dan semangat untuk menyelesaikan karya ini. Semoga dapat menjadikan anak-anakku sekalian untuk lebih rajin dalam belajar dan sukses mengejar cita-cita.





## RINGKASAN

Agus Wibowo, Program Doktor Teknik Mesin, Minat Konversi Energi, Maret 2018, Peran Polaritas Minyak Nabati Terhadap Karakter Sidik Warna Nyala Api Spray Pembakaran Minyak Jarak, Kelapa, Sawit Kapuk. Pembimbing Utama : Prof. Ir. ING. Wardana, M.Eng., Ph.D Pembimbing pendamping 1: Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT. Pembimbing Pendamping 2. Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST. MT.

Ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin berkurang dan menyebabkan harga fluktuatif dan dampak negatif dari bahan bakar fosil untuk mendorong para peneliti untuk mencari bahan bakar alternatif terbarukan. Biofuel dapat menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM), yaitu : bioetanol, biodiesel dan biomassa. Biodiesel untuk menggantikan solar, bioetanol untuk menggantikan premium dan biomassa untuk mengganti minyak tanah. Dengan demikian penting untuk mengadakan penelitian pada bidang biofuel khususnya minyak nabati.

Dalam penelitian ini Pengujian awal yang dilakukan adalah komposisi asam lemak dari minyak nabati minyak jarak, minyak kapok, minyak kelapa dan minyak sawit kemudian dilanjutkan dengan pengujian sifat fisik dan kimianya. Setelah itu dilakukan dengan pengujian nyala api spray pembakarannya untuk mengetahui pengaruh polaritas minyak nabati terhadap tahap pembakaran dan sidik warna pembakaran.

Tahap pembakaran yang terjadi pada minyak nabati: minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk yaitu pada minyak jarak dari 2, 3 dan 4 tahapan pembakaran seiring dengan meningkatnya tekanan, pada minyak kelapa 1 dan 2 tahapan pembakaran seiring dengan meningkatnya tekanan, sedangkan pada minyak sawit 1 tahapan pembakaran, pada minyak kapuk 1 tahapan pembakaran. Hal ini disebabkan karena adanya asam lemak jenuh dan tak jenuh pada minyak nabati yang mengakibatkan minyak jarak dengan kandungan asam lemak tak jenuh yang dominan sehingga lebih reaktif dalam pembakaran. Sedangkan pada minyak kelapa yang memiliki asam lemak tak jenuh lebih dominan tetapi dalam pembakaran lebih reaktif dibandingkan dengan minyak sawit dan kapuk dikarenakan pengaruh dari polaritas yang tinggi dari minyak kelapa.

Hasil sidik warna minyak nabati: minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk yaitu mendapatkan kedekatan warna jika dibandingkan dengan solar dari yang paling tinggi kerendah yaitu minyak kelapa, minyak jarak dan minyak sawit dan minyak kapuk hal ini dipengaruhi adanya polaritas dan kadar asam lemak jenuh dan tak jenuh yang mengakibatkan reaktifitas pembakaran minyak nabati berbeda-beda yang mengakibatkan sidik warna dari masing-masing minyak nabati menjadi khas.

Kata kunci : *Polaritas, asam lemak jenuh, asam lemak tak jenuh, sidik warna*





## SUMMARY

Agus Wibowo, Doctoral Program in Mechanical Engineering, Interest in Energy Conversion, March 2018 The Role of Polarity in Vegetable Oil on Character Finger Color of Spray Flame on Combustion of Jatropha Oil, Coconut, Palm and Kapok, Promotor: Ir. ING. Wardana, M. Eng., Ph.D. Co. Promotor 1: Dr. Slamet Wahyudi, ST. MT. Co. Promotor 2. Dr.Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST. MT.

The reduced availability of fossil fuels and causing fluctuating prices and the negative impact of fossil fuels to encourage researchers to look for renewable alternative fuels. Biofuel can replace Fuel, namely: bioethanol, biodiesel and biomass. Biodiesel to replace diesel, bioethanol to replace premium and biomass to replace kerosene. Thus it is important to conduct research on the biofuel field, especially vegetable oil.

In this research, the initial test is the fatty acid composition of vegetable oil of jatropha oil, kapok oil, coconut oil and palm oil, followed by testing the physical and chemical properties. After that is done by testing the flame of its combustion spray to determine the effect of vegetable oil polarity on burning stages and color combustion color.

Burning stages that occur in vegetable oil: jatropha oil, coconut oil, palm oil, kapok oil are on castor oil of 2, 3 and 4 combustion stages along with increasing pressure, on coconut oil 1 and 2 combustion stages along with increasing pressure, while on palm oil 1 stages of combustion, on kapok oil 1 stages of combustion. This is due to the presence of saturated and unsaturated fatty acids in vegetable oils that result in jatropha oil with the content of unsaturated fatty acids are dominant so that more reactive in combustion. While in coconut oil having unsaturated fatty acid more dominant but in combustion more reactive compared with palm oil and kapok because of influence from high polarity of coconut oil.

Result of color of vegetable oil: jatropha oil, coconut oil, palm oil, kapok oil which get color closeness when compared with diesel from the highest kerendah low, namely coconut oil, castor oil and palm oil and kapok oil this is influenced by polarity and acidity saturated and unsaturated fats that result in reactivation of different vegetable oils that result in the color prints of each vegetable oil being distinctive.

Keywords: *Polarity, saturated fatty acids, unsaturated fatty acids, finger color*

# 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, 7 Maret 2018

Mahasiswa,



Agus Wibowo  
107060200111019



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan hidayah-Nyalah disertasi ini mampu terselesaikan. Disertasi ini disusun guna memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan pada jenjang strata tiga (S3) Program Studi Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya, Malang. Sekaligus menjadi kesempatan bagi mahasiswa untuk mengaplikasikan semua teori dan materi yang diterima selama kuliah.

Pada kesempatan ini, dengan tulus penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Ir. ING Wardana, M. Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Doktor, Program Studi Teknik Mesin dan selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan kami dalam menyusun disertasi ini
2. Dr. Slamet Wahyudi, ST. M.Eng. Selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing kami dalam menyusun disertasi ini
3. Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan, ST., MT, Selaku Dosen Pembimbing III yang telah membimbing kami dalam menyusun disertasi ini.
4. Keluarga besar Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Pancasakti Tegal.
5. Rekan-rekan yang membantu terselesainya karya ilmiah ini, pada Program Doktor, Universitas Brawijaya Malang, yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Didalam tulisan ini disadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerahkan segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurangtepatan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Malang, Maret 2018.

Penulis





## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI .....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN .....	iv
RINGKASAN .....	v
SUMMARY .....	vi
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	v
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Manfaat .....	5
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1. Penelitian Sebelumnya .....	7
2.2. Minyak Nabati .....	25
2.2.1. Minyak Biji Kapuk (kapok Seed Oil) .....	25
2.2.2. Minyak Jarak ( <i>Jatropha Curcas Linnaeus</i> ) .....	26
2.2.3. Minyak sawit ( <i>Elais guinnensiss Jack</i> ) .....	26
2.2.4. Minyak Kelapa ( <i>Cocos Nucifera</i> ) .....	26
2.2.5. Struktur Molekul Asam Lemak Minyak Nabati .....	27
2.2.6. Klasifikasi Asam Lemak Minyak Nabati .....	28
2.2.7 Sifat-Sifat Fisik Minyak Nabati, Methyl Ester dan Solar .....	29
2.3 Biodiesel (Methyl Ester) .....	35
2.3.1 Kualitas Bio Diesel Methyl Ester .....	35
2.3.2 Spesifikasi Methyl Ester .....	37













**DAFTAR TABEL**

NO	JUDUL	Halaman
Tabel 2.1	Properties of Conventional diesel fuel (CDF), .....	21
Tabel 2.2	Kandungan minyak nabati asam lemak .....	28
Tabel 2.3	Sifat Fisika asam lemak .....	30
Tabel 2.4	Syarat kualitas biodiesel berdasarkan SNI 04-7182-2016 .....	37
Tabel 2.5	Syarat mutu minyak solar berdasarkan SNI 04-7182-2016 .....	38
Tabel 5.1	Komposisi asam lemak minyak jarak .....	65
Tabel 5.2	Komposisi asam lemak minyak kelapa .....	66
Tabel 5.3	Komposisi asam lemak minyak sawit .....	67
Tabel 5.4	Komposisi asam lemak minyak kapuk .....	67
Tabel 5.5	Sifat fisik dari minyak nabati dan solar .....	68
Tabel 5.6	Komposisi asam lemak minyak jarak, kelapa, sawit, dan kapuk .....	72
Tabel 5.7	Komposisi asam lemak dengan kandungan terbanyak .....	73
Tabel 5.8	Komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh pada minyak jarak, kelapa, sawit, dan kapuk .....	75





## DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL	Halaman
Gambar 2.1	Hasil keterlambatan injeksi .....	7
Gambar 2.2	Hubungan antara equivalent rasio dengan luas spray, lebar spray dan sudut spray .....	8
Gambar 2.3	Hasil frame spray pada B0, B5, B10, B15, B20 dan B25 .....	10
Gambar 2.4	Pengaruh Ceiba pentandra pencampuran biodiesel dengan solar pada stabilitas oksidasi .....	11
Gambar 2.5	Pemecahan katalis CaO .....	13
Gambar 2.6	Variasi delay pengapian bahan bakar pada tekanan injeksi 200 bar .....	15
Gambar 2.7	Karakteristik fisik minyak kelapa, B10 kelapa campuran biodiesel minyak dan diesel minyak bumi .....	17
Gambar 2.8	Perbandingan untuk densitas minyak neem dan campuran kelapa minyak biodiesel dan diesel .....	19
Gambar 2.9	Grafik hubungan equivalensi rasio dan emisi gas buang CO ...	22
Gambar 2.10	Grafik hubungan equivalensi rasio dan emisi gas buang NO <sub>x</sub> ...	23
Gambar 2.11	Struktur molekul (a) asam palmitat, (b) asam stearat, (c) asam arakhidat, (d) asam linoleat, (e) asam linolenat .....	27
Gambar 2.12	Model api pembakaran spray berdasarkan zonasi dan warna ....	46
Gambar 2.13	Model api pembakaran spray berdasarkan warna .....	47
Gambar 2.14	perbandingan warna, kode warna dan angka desimal pada sitem warna RGB, CMYK dan HSV .....	49
Gambar 3.1	Kerangka konsep penelitian .....	54
Gambar 4.1	Tahap Pengujian pada Proses Pengambilan Data .....	58
Gambar 4.2	Rangkaian Instrumen Penelitian .....	59
Gambar 5.1	Perbandingan jenis asam lemak dan jumlah prosentase pada minyak jarak, kelapa, sawi dan kapok .....	74
Gambar 5.2	Asam lemak jenuh dan tak jenuh pada minyak jarak, kelapa, sawit dan kapok .....	76
Gambar 5.3	Sifat asam lemak minyak nabati .....	76
Gambar 5.4	Proses pertumbuhan api spray minyak jarak dan tahap pembakaran pada tekanan (a)1700 psi, (b)1900 psi 2100 Psi .....	77
Gambar 5.5	Proses pertumbuhan api spray minyak kelapa dan tahap pembakaran tekanan (a) 1700 psi (b) 1900 psi dan (c) 2100 Psi .....	78
Gambar 5.6	Proses pertumbuhan api spray minyak sawit dan tahap pembakaran pada tekanan (a) 1700 psi, (b)1900 psi, dan (c) 2100 Psi .....	79
Gambar 5.7	Proses pertumbuhan api spray minyak kapuk dan tahap .....	





	pembakaran pada tekanan 2100 Psi .....	80
Gambar 5.8	Proses pertumbuhan api spray minyak solar dan tahap pembakaran pada tekanan (a) 1700, (b) 1900 psi dan (c) 2100 Psi .....	81
Gambar 5.9	Gabungan spray api minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak kelapa. ((a) tekanan 1700psia, (b) tekan 1900psia, (c) tekan 2100psia .....	82
Gambar 5.10	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1700 Psi .....	83
Gambar 5.11	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi .....	84
Gambar 5.12	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi .....	84
Gambar 5.13	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekan 1700 Psi .....	85
Gambar 5.14	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi .....	86
Gambar 5.15	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi .....	86
Gambar 5.16	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1700 Psi .....	87
Gambar 5.17	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi .....	87
Gambar 5.18	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi .....	88
Gambar 5.19	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi .....	88
Gambar 5.20	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1700 Psi .....	89
Gambar 5.21	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi .....	90
Gambar 5.22	Panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi .....	91
Gambar 5.23	Perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1700 psi .....	92
Gambar 5.24	Perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1900 psi .....	93





Gambar 5.25	Perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 2100 psi.....	94
Gambar 5.26	Gabungan perbandingan luas nyala api spray.....	95
Gambar 5.27	Gabungan Perbandingan Rasio Panjang Dan Lebar.....	96
Gambar 5.28	(a) Frame hasil nyala spray api dan (b) area pada spc (soot precursor), soz (soot oxidation zone), df (difusion flame), tnpz (thermal NO production zone).....	98
Gambar 5.29	Grafik gabungan analisa RGB api spray minyak jarak dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). pada tekanan 1700 Psi.....	100
Gambar 5.30	Grafik gabungan analisa RGB api spray minyak jarak dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). pada tekanan 1700 Psi.....	101
Gambar 5.31	grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kelapa dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). pada tekanan 1700 Psi.....	102
Gambar 5.32	Grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kelapa dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). pada tekanan 1700 Psi.....	104
Gambar 5.33	grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kelapa dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). pada tekanan 2100 Psi.....	105
Gambar 5.34	grafik gabungan analisa RGB api spray minyak sawit dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). pada tekanan 1700 Psi.....	106
Gambar 5.35	grafik gabungan analisa RGB api spray minyak sawit dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). pada tekanan 1900 Psi.....	108
Gambar 5.36	grafik gabungan analisa RGB api spray minyak sawit dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).....	109









## DAFTAR LAMPIRAN

NO	JUDUL	Halaman
Lampiran 1	Panjang dan Lebar Spray Api Minyak Jarak pada Tekanan 1700 psia	127
Lampiran 2	Panjang dan Lebar Spray Api Minyak Jarak pada Tekanan 1900 psia	128
Lampiran 3	Panjang dan lebar spray api minyak jarak pada tekanan 2100 psia	129
Lampiran 4	Panjang dan lebar spray api minyak kelapa pada tekanan 1700 psia	130
Lampiran 5	Panjang dan lebar spray api minyak kelapa pada tekanan 1900 psia	131
Lampiran 6	Panjang dan lebar spray api minyak kelapa pada tekanan 2100 psia	132
Lampiran 7	Panjang dan lebar spray api minyak sawit pada tekanan 1700 psia	133
Lampiran 8	Panjang dan lebar spray api minyak sawit pada tekanan 1900 psia	134
Lampiran 9	Panjang dan lebar spray api minyak sawit pada tekanan 2100 psia	135
Lampiran 10	Panjang dan lebar spray api minyak kapuk pada tekanan 2100 psia	136
Lampiran 11	Panjang dan lebar spray api minyak solar pada tekanan 1700 psia	137
Lampiran 12	Panjang dan lebar spray api minyak solar pada tekanan 1900 psia	138
Lampiran 13	Panjang dan lebar spray api minyak solar pada tekanan 2100 psia	139
Lampiran 14	Sidik warna nyala spray minyak jarak pada tekanan 1700 psi	140
Lampiran 15	Sidik warna nyala spray minyak jarak pada tekanan 1900 psi	141
Lampiran 16	Sidik warna nyala spray minyak jarak pada tekanan 2100 psi	142
Lampiran 17	Sidik warna nyala spray minyak kelapa tekanan 1700 psi	143
Lampiran 18	Sidik warna nyala spray minyak kelapa pada tekanan 1900 psi	144
Lampiran 19	Sidik warna nyala spray minyak kelapa pada tekanan 2100 psi	145
Lampiran 20	Sidik warna nyala spray minyak sawit pada tekanan 1700 psi	146





Lampiran 21	Sidik warna nyala spray minyak sawit pada tekanan 1900 psi	147
Lampiran 22	Sidik warna nyala spray minyak sawit pada tekanan 2100 psi	148
Lampiran 23	Sidik warna nyala spray minyak kapuk pada tekanan 2100 psi	149
Lampiran 24	Sidik warna nyala spray minyak solar pada tekanan 1700 psi	150
Lampiran 25	Sidik warna nyala spray minyak solar pada tekanan 1900 psi	151
Lampiran 26	Sidik warna nyala spray minyak solar pada tekanan 2100 psi	152
Lampiran 27	Analisa warna RGB (red grey blue) pada spe (soot precursor), soz (soot oxidation zone), df (difusion flame), tnpz (thermal NO production zone) pembakaran spray minyak jarak tekanan 2100 psia pada satu titik pengamatan	153
Lampiran 28	Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak jarak	154
Lampiran 29	Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak kelapa	155
Lampiran 30	Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak sawit	156
Lampiran 31	Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak kapuk	157
Lampiran 32	Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak solar	158
Lampiran 33	Frame api spray minyak Jarak pada tekanan 1700 Psi	159
Lampiran 34	Frame api spray minyak Jarak pada tekanan 1900 Psi	160
Lampiran 35	Frame api spray minyak Jarak pada tekanan 2100 Psi	161
Lampiran 36	Frame api spray minyak kelapa pada tekanan 1700 Psi	162
Lampiran 37	Frame api spray minyak kelapa pada tekanan 1900 Psi	163
Lampiran 38	Frame api spray minyak kelapa pada tekanan 2100 Psi	164
Lampiran 39	Frame api spray minyak sawit pada tekanan 1700 Psi	165
Lampiran 40	Frame api spray minyak sawit pada tekanan 1900 Psi	166
Lampiran 41	Frame api spray minyak sawit pada tekanan 2100 Psi	167
Lampiran 42	Frame api spray minyak kapok pada tekanan 2100 Psi	168
Lampiran 43	Frame api spray minyak solar pada tekanan 1700 Psi	169
Lampiran 44	Frame api spray minyak solar pada tekanan 1900 Psi	170
Lampiran 45	Frame api spray minyak solar pada tekanan 2100 Psi	171
Lampiran 46	Perhitungan kedekatan sidik warna minyak jarak dan solar	172
Lampiran 47	Perhitungan kedekatan sidik warna minyak kelapa dan solar	173









## DAFTAR NOTASI

## NOTASI KETERANGAN

A	Luas area
t	waktu
x1	Jarak titik awal sumbu x
x2	Jarak titik akhir sumbu x
y1	Jarak titik awal sumbu y
y2	Jarak titik akhir sumbu y
w	lebar
P1	Tekanan 1
P2	Tekanan 2
P3	Tekanan 3
p/l	Panjang perlebar
spc	Daerah soot precursor
soz	Daerah soot oxidation zone
df	Daerah difusion flame
tnpz	Daerah thermal NO production zone
R	Kode warna merah
G	Kode warna hijau
B	Kode warna biru
JO	Minyak jarak
CO	Minyak kelapa
PO	Minyak sawit
KO	Minyak kapuk
SO	Minyak Solar





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada laporan hasil penelitian (Erliza Hambali, 2007) menyatakan zat-zat penyusun utama minyak-lemak yaitu trigliserida, yaitu triester gliserol dengan asam-asam lemak (C8 – C24). Komposisi asam lemak dalam minyak nabati menentukan sifat fisik kimia dari minyak. Minyak nabati tersusun dari molekul-molekul *triglyceride* yang terdiri dari *glycerol* dengan rantai 3 karbon sebagai tulang punggung (rantai utama) dan 3 cabang asam lemak dengan rantai 18 karbon atau 16 karbon. Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon lurus dan panjang yang berisi 12 sampai 24 atom karbon. Salah satu ujung molekul asam lemak berisi kelompok asam *carboxylic* (COOH) dan ujung yang lainnya adalah *methyl* (CH<sub>3</sub>), (Audesirk T., dan Audesirk G., 1996). Biofuel dapat menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM), yaitu : bioetanol, biodiesel dan biomassa (Maharani dan Zuliyana, 2010). Biodiesel untuk menggantikan solar, bioetanol untuk menggantikan premium dan biomassa untuk mengganti minyak tanah. Minyak nabati mempunyai jenis dan komposisi asam lemak berbeda tergantung dari jenis tanamannya.

Asam lemak minyaknya nabati dapat dibedakan berdasarkan beberapa golongan. Menurut Herlina & Hendra (2002), berdasarkan kejenuhannya asam lemak dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu: 1. Asam lemak jenuh rantai pendek (*short chain fatty acid*) dengan jumlah atom karbonnya 2-6. Contoh asam *butanoat* C 4:0, asam *pentanoat* C 5:0, dan asam *hexanoat* C 6:0. 2. Asam lemak jenuh rantai medium (*medium chain fatty acid*) dengan jumlah atom karbonnya 8-18. Contoh asam *miristat* C 14:0, asam *palmitat* C 16:0, dan asam *stearat* C 18:0. 3. Asam lemak jenuh rantai panjang (*long chain fatty acid*) dengan jumlah atom karbonnya 20-30. Contoh asam *arakhidat* C 20:0, asam *behenat* C 22:0, dan asam *lignocerat* C24:0. Pada penelitian (mevy: 2016) Asam lemak berantai pendek dan menengah dapat menguap dan sedikit larut dalam air.

Asam lemak tak jenuh satu ikatan rangkap (*monounsaturated fatty acid*) merupakan asam lemak yang mengandung satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh akan memudahkan bereaksi dengan oksigen (mudah teroksidasi). Posisi ikatan rangkap juga menentukan bereaksi. Contohnya asam *palmitoleat* C16:1, dan asam *oleat* C18:1. Asam lemak jenuh



(*saturated fatty acid*) merupakan asam lemak yang mengandung ikatan tunggal pada rantai hidrokarbonnya. Asam lemak jenuh mempunyai rantai zig-zag yang dapat cocok satu sama lain, sehingga daya tarik vander waals tinggi antara molekul-molekulnya. Ini berarti diperlukan lebih banyak energi untuk memisahkannya, asam lemak jenuh bersifat lebih stabil (sulit bereaksi) dari pada asam lemak tak jenuh. Dengan adanya kandungan asam lemak yang berbeda pada minyak nabati akan mempengaruhi dalam proses pembakarannya.

Viscositas juga mempengaruhi pada pembakaran minyak nabati hal ini diteliti (Deshmukh D. et al,2012). Analisa juga menggunakan teknik perekaman video dengan teknik shadowgraphy yaitu menangkap gambar butiran droplet dengan cara menyinari sinar laser yang telah dilewatkan kaca cembung. Hasil analisa dari frame video menunjukkan minyak nabati memiliki ukuran yang lebih besar dibanding minyak diesel karena viskositas yang masih tinggi. Penelitian (Vijitra et. al., 2011) juga meneliti pengaruh viscositas dan suhu pemanasan pada spray minyak nabati dengan metode menguji bahan bakar pada mesin. Hasil yang diperoleh menunjukkan hubungan yang baik antara viskositas dan suhu minyak jarak pagar diperoleh hasil pemanasan yang optimal minyak jarak pagar menjadi sekitar 100°C cukup untuk mengurangi viskositas.

Hasil riset (Amir Khalid,2015) biodiesel memiliki panjang penetrasi lebih lama dan daerah semprot lebih besar dibandingkan dengan diesel. Peningkatan laju alir membuat intensitas spray meningkat, artinya lebih banyak bahan bakar yang diinjeksikan..

Fenomena ini terkait dengan meningkatnya kadar air akan cenderung meningkatkan viskositas kinematik bahan bakar, sehingga kinematik peningkatan viskositas akan membuat perlawanan kekuatan dan tegangan permukaan dari bahan bakar menjadi lebih tinggi panjang. Pembakaran untuk solar murni lebih panjang daripada biodiesel, sedangkan, daerah api yang lebih besar dihasilkan oleh rasio setara tinggi yang disemprot berisi partikel bahan bakar lebih yang membuat proses pembakaran mudah terjadi. Oleh karena itu, peningkatan kadar air dapat mengurangi emisi suhu api dan jelaga, karena efek dari kandungan oksigen dalam air.

Penelitian tentang pembakaran dari minyak nabati, baik dalam bentuk murni, hidrolis, maupun methyl ester telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pembakaran premixed minyak kelapa murni dan hidrolisis menunjukkan bahwa kecepatan pembakaran menurun ketika campuran udara bahan bakar dinaikkan (Wirawan, et. al.,





2013). Sedangkan, methyl ester minyak *jatropha curcas* lin yang dibakar pada persimpanagan *thermocouple* dan dialiri medan magnet laju pembakarannya meningkat (Wardana, 2011). Tetesan minyak *jatropha curcas Linnaeus* yang dibakar pada persimpangan *thermocouple* terbakar dua tahap, asam lemak terbakar lebih dahulu kemudian gliserol terbakar pada tahap kedua (Wardana, 2010). Minyak kelapa sawit mengandung asam lemak mirisat, stearat dan oleat, dimana asam lemak oleat mempunyai energi aktivasi terkecil, sehingga asam oleat lebih cepat teroksidasi disbanding dengan asam mirisat dan stearat (Disneli & Zaenal, 2009).

Sedangkan penelitian tentang methyl ester dan campurannya pada mesin diesel telah dilaksanakan oleh beberapa peneliti. Methyl ester minyak cocos nucefera dapat meningkatkan karakteristik pembakaran, menurunkan emisi gas buang dan opasitas mesin diesel (Kinoshita, et. al., 2007). Demikian juga methyl ester *jatropha curcas linnaeus* dapat digunakan sebagai campuran solar tanpa memodifikasi komponen system bahan bakar mesin diesel (Rakopoulus, 2008; Satyanarayana & Muraleedharan, 2011). Methyl ester dari minyak nabati angka cetannya lebih tinggi, sifat pelumasannya tinggi titik nyalanya lebih tinggi, tidak ada sulfur, oksigennya lebih 10% dan emisinya rendah (Sathiyagnanam, et.al., 2011; Shahid & Jamal, 2011; Myo 2008). Pembakaran methyl ester dan campurannya dimulai lebih awal dari pada solar (Ranganathan, 2011, Sathiyagnanam, laeng dan Saravanan, 2011). Methyl ester dari minyak nabati dapat digunakan untuk menggantikan sebagian bahan bakar solar tanpa dengan memodifikasi mesin. Waktu tunggu untuk menyala butiran lebih pendek disemua campuan dibanding solar karena jumlah *cetan number* lebih tinggi (Anand, et.al., 2009). Laju aliran massa minyak methyl ester sedikit lebih kecil dari pada minyak solar untuk ukuran butiran, sehingga waktu penguapan dan pembakaran butiran methyl lebih pendek dari minyak solar (Parilla & Cortes, 2010).

Beberapa masalah umum yang ditimbulkan dari pembakaran bahan bakar methyl ester dari minyak nabati secara langsung dalam mesin diesel, yaitu terkait dengan viskositasnya yang sepuluh kali lebih besar dari bahan bakar solar sehingga proses pembakaran dalam mesin kurang sempurna (Wardana, 2010; Ali, 2005; Ingle, et.al., 2011; Sathiyagnam, et. al., 2011). Vikositas minyak nabati yang tinggi akan mempengaruhi kemampuan bahan bakar bercampur dengan udara (Fattah, 2013). Efisiensi *thermos methy ester* dan campurannya lebih rendah dari solar (Ali, 2005;







Rangganathan, 2011; Shahid & Jamal, 2011). Methyl ester, memiliki viskositas lebih tinggi, sehingga ketika digunakan secara langsung dalam mesin diesel pengabutannya kurang cepat dan kinerja mesin lebih rendah (Demirbas, 2008). Penelitian yang lain (Fattah, 2013; Aydin & Bayindir, 2010; Rakopoulus, 2008) menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar methyl ester *gassibium herbaceum* menghasilkan daya mesin yang lebih rendah.

Pada penelitian tersebut diatas sebagian besar hanya mengamati karakteristik mesin diesel dengan bahan bakar methyl ester dan campurannya. Tetapi penelitian mengenai peranan polaritas minyak nabati, pada minyak jarak, minyak kapuk, minyak sawit dan minyak kelapa pada pembakaran spray belum dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui Peran Polaritas Minyak Nabati Terhadap Karakter Sidik Warna Nyala Api Spray Pembakaran Minyak Jarak, Kelapa, Sawit Kapuk.

Hasil kebaharuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperoleh tahap pembakaran pada minyak nabati akibat adanya peran polaritas dan jejak identitas pembakaran atau Sidik Warna Api Spray Bahan bakar (Sidik WASB) dan tahap pembakaran minyak nabati pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk.

### **1.2. Rumusan Masalah:**

Berdasarkan latar belakang yang telah di atas, permasalahan umum yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah bagaimanakah peran polaritas minyak nabati pada pembakaran spray pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk? Dengan permasalahan khusus:

1. Bagaimanakah tahap pembakaran minyak nabati pada Asam lemak tak jenuh, Asam lemak polaritas tinggi, Asam lemak jenuh dengan polaritas rendah terbakar?
2. Bagaimanakah sidik warna pembakaran minyak nabati pada Asam lemak tak jenuh, Asam lemak polaritas tinggi dan asam lemak jenuh dengan polaritas rendah terbakar?

### **1.3. Tujuan Penelitian:**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

Tujuan umum penelitian ini adalah mengungkap peran polaritas pada pembakaran spray minyak jarak, minyak kelapa minyak sawit dan minyak kapuk,. Dengan tujuan khusus:





1. Mengungkap bagaimana tahap tahap pembakaran minyak nabati pada Asam lemak tak jenuh, Asam lemak polaritas tinggi, Asam lemak jenuh dengan polaritas rendah terbakar.
2. Mengungkap bagaimana sidik warna pembakaran minyak nabati pada Asam lemak tak jenuh, Asam lemak polaritas tinggi dan asam lemak jenuh dengan polaritas rendah terbakar.

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini diarahkan agar dalam penyelesaian masalah dapat memenuhi sasaran dan penelitian lebih terarah, mendalam sehingga masalah dibatasi pada: Minyak yang digunakan adalah minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk yang belum mengalami proses transesterifikasi.

#### 1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan kontribusi ilmiah dalam kajian pengaruh polaritas minyak nabati pembakaran api spray pada pembakaran minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bidang bahan bakar khusus dari minyak nabati.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam pengembangan biofuel yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar mesin diesel.
4. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk mengambil kebijakan dalam menentukan pembuatan bahan bakar terbarukan.







## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

Ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin berkurang dan menyebabkan harga fluktuatif dan dampak negatif dari bahan bakar fosil untuk mendorong para peneliti untuk mencari bahan bakar alternatif terbarukan. Berdasar pada data Kementrian Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia (ESDM, 2006) prediksi cadangan minyak bumi Indonesia sekitar 9 milyar barrel, dengan tingkat produksi minyak mentah 500 juta barrel tiap tahun, dengan demikian diprediksi cadangan minyak bumi Indonesia akan habis kurang lebih dua puluh tiga tahun kedepan (Hambali, 2008). Biofuel dapat menggantikan Bahan Bakar Minyak (BBM), yaitu : bioetanol, biodiesel dan biomassa (Maharanidan Zuliyana, 2010). Biodiesel untuk menggantikan solar, bioetanol untuk menggantikan premium dan biomassa untuk mengganti minyak tanah. Minyak nabati mempunyai jenis dan komposisi asam lemak berbeda tergantung dari jenis tanamannya. Pada penelitian (Erliza Hambali,2007) Zat-zat penyusun utama minyak-lemak yaitu trigliserida, yaitu triester gliserol dengan asam-asam lemak (C8 – C24). Komposisi asam lemak dalam minyak nabati menentukan sifat fisik kimia dari minyak.

Penelitian ( Raphael, M. Jingural. 2010) melakukan studi minyak non-makanan untuk produksi biodiesel memiliki masa depan yang menjanjikan karena tidak bersaing dengan tanaman pangan dan tidak meningkatkan harga pangan. faktor kunci untuk memastikan kelayakan ekonomi dari produksi biodiesel. (Syers, J.at al ,2007 ; Singh, S. P., Singh, D, 2010) telah melaporkan bahwa minyak nabati non-makanan memiliki harga lebih rendah dari minyak nabati dapat dimakan. Upaya telah dilakukan untuk mengembangkan non minyak nabati sifat dan derivatif mendekati kinerja bahan bakar diesel berbasis hidrokarbon. Beberapa biodiesel yang telah diteliti dan dibahas adalah *Jatropha*, *Pongamia pinnata*, *Calophyllum inophyllum*, *Hevea brasiliensis*, *Azadirachta indica*, *Madhuca indica*, *Sterculia foetida*, *Lesquerella fendleri*, *Ricinus communis L.*, etc. (Ragit, S. at al. 2011 ). sifat fisik-kimia biodiesel kapuk randu Methyl Ester (CPME) yang dihasilkan dari bahan baku ini memiliki kemiripan dengan standar biodiesel internasional. Dapat disimpulkan bahwa bahan baku ini dapat dianggap sebagai sumber yang mungkin untuk masa depan biodiesel (Dewajani, H., 2008).

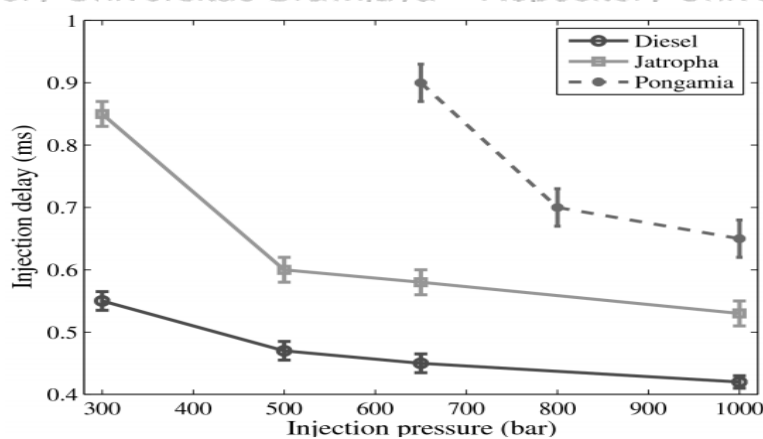


Minyak kelapa memiliki rantai karbon terpendek dalam kelompok minyak nabati (Yuan, W. et al, 2005) dan memiliki struktur kimia yang mirip dengan petro diesel.

Dengan demikian, minyak kelapa cocok untuk mesin Diesel. Sejauh ini, minyak kelapa digunakan sebagai bahan bakar untuk non-premixed, misalnya dalam pressure cooker (Kratzeisen, M., Müller, J, 2010). Biodiesel dapat diproduksi dari minyak sawit melalui proses transesterifikasi, dimana trigliserida (asam lemak bebas dan kadar air) dari minyak sawit bereaksi dengan alkohol (Etanol atau metanol) untuk membentuk etil atau metil ester (biodiesel) dan gliserol. ( Ramirez, J, 2015)

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian yang relevan yang telah dikembangkan oleh para peneliti pada biofuel dengan metologi, peralatan dan teknik pembakaran yang berbeda dapat dilihat pada tulisan dibawah ini. Penelitian dari (Deshmukh D. et al,2012) tentang karakterisasi spray minyak jarak dan minyak Pongamia menggunakan metode injeksi dari 200 bar sampai dengan 1700 bar dan variasi injeksi diberikan pada 200 ms sampai dengan 5000 ms. Analisa juga menggunakan teknik perekaman video dengan teknik shadowgraphy yaitu menangkap gambar butiran droplet dengan cara menyinari sinar laser yang telah dilewatkan kaca cembung dan hasil sprai ditangkap menggunakan video. Hasil dari frame video dianalisa hasil menunjukkan minyak jarak dan minyak pongamia memiliki ukuran yang lebih besar dibanding minyak diesel biasa dikarenakan viskositas yang masih tinggi pada minyak jarak dan minyak pongamia.



Gambar.2.1. Hasil keterlambatan injeksi (Deshmukh D. et al,2012)





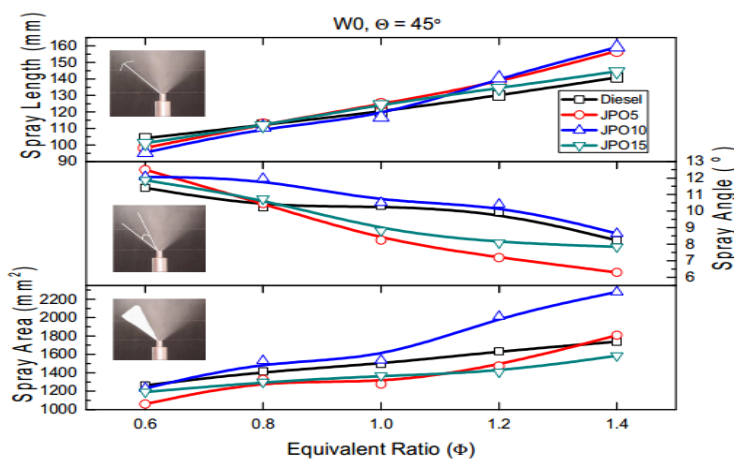
Kecepatan injeksi juga dianalisa, dan hasil analisa minyak jarak dan minyak pongamia mengalami sedikit keterlambatan dibanding minyak diesel. Campuran minyak pongamia dengan minyak diesel sebesar 30% juga di teliti hasil semprotan menunjukkan ukuran droplet mendekati minyak diesel dan penyebarannya juga identik dengan minyak diesel namun pada jumlah minyak yang tercurah mengalami sedikit pengurangan.

Penelitian (Vijitra et. al., 2011) dengan metode menguji bahan bakar pada mesin yang dijalankan secara konstan bahan bakar tersebut berupa campuran Jatropha-diesel, murni minyak jarak pagar dan diesel. Kecepatan mesin dijaga konstan pada kecepatan maksimum 1.500 rpm. Beban diukur dengan listrik dinamo meter. Tujuh kondisi beban (dari tidak ada beban ke penuh load) pengujian konsumsi bahan bakar, pengujian torsi daya dan pengujian analisa gas buang dilakukan untuk mendapat hasil yang diinginkan. Hubungan suhu-viskositas dilakukan analisa untuk mengeksplorasi kinerja minyak jarak pagar dan campuran sebagai diesel pengganti. Hasil yang diperoleh menunjukkan hubungan yang baik antara viskositas dan suhu minyak jarak pagar diperoleh hasil pemanasan yang optimal minyak jarak pagar menjadi sekitar 100°C acukup untuk mengurangi viskositas ke dalam jarak dekat dari batas ASTM dari viskositas untuk biofuel. Viskositas campuran Jatropha (hingga J20) juga ditemukan untuk menjadi dekat dengan batas ASTM. Dari hasil percobaan diperoleh, minyak jarak adalah ditemukan untuk menjadi bahan bakar alternatif yang menjanjikan untuk mesin dan dapat digunakan untuk pencampuran sampai J20 tanpa pengurangan apapun efisiensi termal. J5 menunjukkan efisiensi termal lebih baik dan energi dari diesel. Dari analisis optimum proporsi Jatropha campuran, hingga J10 menunjukkan sangat Penampilan yang bagus. Emisi CO<sub>2</sub> dengan minyak jarak pagar campuran sampai dengan beban maksimal lebih rendah dari itu dengan bahan bakar diesel. Pada beban adalah 50% atau lebih tinggi, J50 dan campuran yang lebih tinggi diproduksi CO<sub>2</sub> sekitar 20% lebih tinggi dari solar. 4. Emisi CO dengan minyak jarak pagar dan campuran yang jauh lebih tinggi dari solar di semua kondisi pembebanan, meskipun mesin selalu berlari lebih ramping dengan minyak jarak pagar dan campuran dari diesel.

Pada penelitian (Amir Khalid,2015) Blending adalah proses pencampuran minyak mentah Jatropha minyak dan diesel. Dalam percobaan ini campuran minyak jarak dan solar dalam jumlah tertentu akan menghasilkan campuran biodiesel. Selama



blending proses biodiesel akan diaduk terus menerus selama satu jam untuk menghasilkan campuran yang homogen. Suhu untuk diesel campuran dan biodiesel harus dicapai  $70^{\circ}\text{C}$ . Pengaduk diputar dengan kecepatan 270 rpm. Untuk persentase campuran JPO5, JPO10 dan JPO15 biodiesel acara tingkat campuran biodiesel diesel. biodiesel JPO5 berarti campuran 5vol% biodiesel dan 95vol% diesel dan selanjutnya identik dengan JPO10 dan JPO15. Percobaan dilakukan dengan premix injektor dalam sistem burner eksternal dan digunakan berbeda biodiesel campuran Jatropha JPO5 (5vol minyak% jatropha), JPO10 (10vol%) dan JPO15 (15vol%), Sebuah perbandingan karakteristik semprotan dibuat antara diesel standar dan rasio biodiesel yang berbeda: JPO5, JPO10 dan JPO15 dan kadar air varian di W0, W5, W10 dan W15. Hasil penelitian yang diringkas sebagai berikut;



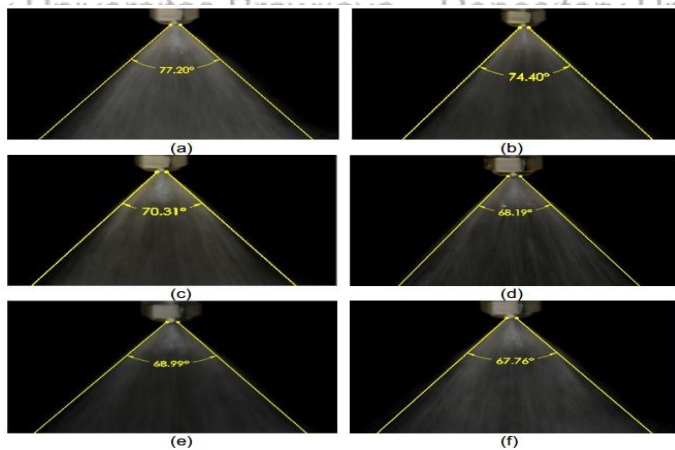
Gambar.2.2. hubungan antara equivalent rasio dengan luas spray, lebar spray dan sudut spray (Amir ,2015)

JPO biodiesel memiliki panjang penetrasi lebih lama dan daerah semprot lebih besar dibandingkan dengan diesel. Peningkatan laju alir membuat intensitas warna peningkatan semprot yang menunjukkan bahwa lebih bahan bakar sedang disuntikkan dan karenanya konsentrasi bahan bakar diesel di campuran meningkat. Fenomena ini terkait dengan meningkatnya kadar air akan cenderung meningkatkan viskositas kinematik bahan bakar sehingga kinematik peningkatan viskositas akan membuat perlawanan-kekuatan dan tegangan permukaan dari bahan bakar menjadi lebih tinggi panjang. Pembakaran untuk solar murni lebih panjang daripada mereka diesel dicampur dengan air, sedangkan, daerah api yang lebih besar dihasilkan oleh rasio setara tinggi



yang disemprot berisi partikel bahan bakar lebih yang membuat proses pembakaran mudah terjadi. Oleh karena itu, peningkatan kadar air dapat mengurangi emisi suhu api dan jelaga, karena efek dari kandungan oksigen dalam air.

Penelitian (Mohammad Nazri Mohd Jaafar et.al.,2011) bahan bakar minyak sawit berasal adalah salah satu alternatif tersebut, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam beberapa metode, seperti pemanasan, pencampuran dengan bahan bakar minyak lainnya, trans-esterifikasi dan lain-lain Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengkarakterisasi semprotan yang halus, dikelantang, dan minyak sawit dan campuran diesel. Lima campuran B5, B10, B15, B20 dan B25 secara fisik dicampur menggunakan lab skala dinamis ganda baling-baling mixer dan sifat fisik utama (kerapatan, viskositas dan permukaan ketegangan) yang memiliki efek utama pada pola semprot diukur. Sebuah partikel fase doppler analyzer (PDPA) digunakan untuk mengkarakterisasi spray. fotografi langsung digunakan untuk menentukan sudut semprot untuk campuran yang berbeda.

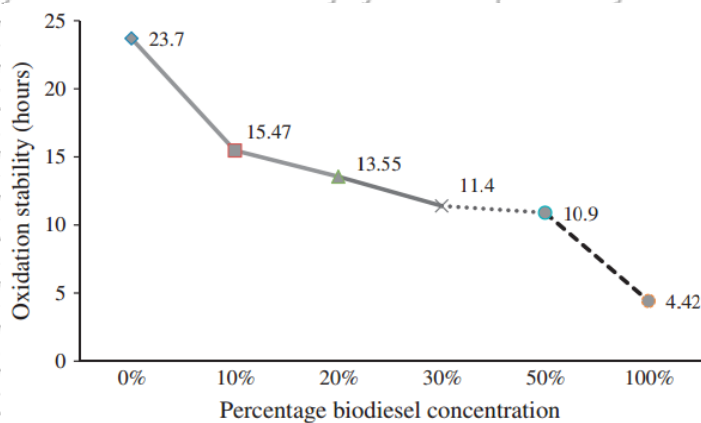


Gambar.2.3. hasil frame spray pada B0, B5, B10, B15, B20 dan B25 (M. Jaafar et.al.,2011)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagai persentase dari RBDPO meningkatkan dalam campuran, meningkat SMD dan sudut semprotan menurun. Persentase kenaikan dalam SMD dari B0 ke B25 adalah sekitar 15% sedangkan penurunan sudut semprotan adalah 9.44 °. Dapat disimpulkan bahwa campuran B5 dan B10 dapat digunakan dalam kekuasaan mesin tanpa modifikasi sistem bahan bakar. Namun evaluasi kinerja pembakaran harus dilakukan untuk semua campuran.



Penelitian (A.S. Silitonga, et.al, 2013) Dalam proses ini, minyak mentah C. minyak pentandra dengan 8:1 rasio molar metanol minyak dan 1% (v/v) H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ditambahkan ke minyak dipanaskan pada 60° C selama 2 jam pada 1200 rpm kecepatan pengadukan. Setelah reaksi selesai, produk tersebut dituangkan ke corong pisah untuk memisahkan kelebihan alkohol, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan kotoran yang disajikan dalam lapisan atas. Lapisan bawah dipisahkan dan menetap selama 4 jam. Kemudian, minyak diesterifikasi mengadakan evaporator rotary di 65° C dalam kondisi vakum selama 1 jam untuk menghilangkan metanol tambahan dan air. Setelah itu, minyak diesterifikasi direaksikan dengan 8:1 molar rasio metanol dan 1% (b/b) dari NaOH dan dipertahankan pada 50°C selama 1 jam pada 1200 rpm kecepatan pengadukan. Setelah menyelesaikan reaksi periode, biodiesel yang diendapkan dalam corong pisah selama 6 jam untuk gliserol terpisah dari biodiesel. Lapisan bawah yang berisi kotoran, kelebihan metanol dan gliserol ditarik off. C. pentandra metil ester yang dihasilkan dimasukkan ke dalam rotary evaporator untuk menghapus tetap metanol. Kemudian, metil ester adalah dicuci dengan air suling beberapa kali untuk menghilangkan kotoran gliserol entrained. Dalam proses ini, 50% (v/v) dari suling air pada 50° C disemprotkan di atas permukaan ester dan diaduk perlahan. Lapisan bawah dibuang dan lapisan atas dimasukkan ke dalam termos. Metil ester dikeringkan menggunakan CaCl<sub>2</sub> anhidrat untuk 1 hari kemudian Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selama 3 jam dan disaring oleh filter kertas. Akhirnya, metil ester selanjutnya dimurnikan menggunakan evaporator rotary pada 65° C selama 1 jam untuk menghilangkan air dari sepenuhnya biodiesel.



Gambar.2.4. Pengaruh Ceiba pentandra pencampuran biodiesel dengan solar pada stabilitas oksidasi. (A.S. Silitonga, et.al, 2013)



Sifat bahan bakar C. pentandra biodiesel dianalisis dan dibandingkan dengan J. curcas dan biodiesel sawit. Hasil tersebut viskositas kinematik C. Pentandra metil ester adalah  $4,61 \text{ mm}^2 / \text{s}$  dan nilai asam dikurangi menjadi  $0,38 \text{ mg KOH} / \text{g}$ . Hasil ini sedikit lebih tinggi daripada  $4,17 \text{ mm}^2 / \text{s}$ . Selain itu, kinematik viskositas J. curcas metil ester adalah  $4,48 \text{ mm}^2 / \text{s}$  dan  $4,45 \text{ mm}^2 / \text{s}$  untuk sawit metil ester. Hasil ini memenuhi dengan standar yang ditentukan oleh ASTM D445 ( $1,9-6,0 \text{ mm}^2 / \text{s}$ ). Oksidatif dan stabilitas penyimpanan telah menjadi salah satu masalah teknis utama yang mempengaruhi kualitas bahan bakar. Kandungan rantai asam lemak tak jenuh ganda dalam biodiesel adalah komponen utama yang mempengaruhi masalah, ini dapat dilihat bahwa metil ester sawit memiliki stabilitas oksidasi tertinggi  $10,50 \text{ h}$  diikuti oleh J. curcas metil ester ( $9,41 \text{ h}$ ) dan C. pentandra metil ester ( $4,42 \text{ h}$ ). Hasil memenuhi EN 14112 dari 6 jam kecuali C. pentandra metil ester. Stabilitas oksidatif miskin C. pentandra metil ester karena asam lemak siklopropenoid (asam malvalic) konten ( $18,5\%$ ), tingginya kandungan asam malvalic akan menyebabkan ketidakstabilan dan oksidasi resistansi rendah. Selain itu, stabilitas oksidasi miskin dikaitkan dengan tidak adanya lemak jenuh tak ganda asam yang pada akhirnya dapat menyebabkan pembentukan karet dan produk sampingan oksidasi lainnya. The petro-diesel merupakan perpaduan penting untuk meningkatkan oksidasi stabilitas biodiesel. Hal ini diyakini bahwa petro-diesel mengandung nol oksigen, C. pentandra metil ester memiliki stabilitas oksidasi yang buruk karena pencampuran dengan petro-diesel adalah untuk meningkatkan kualitas bahan bakar. menunjukkan stabilitas rata-rata nilai semua biodiesel-diesel memadukan sebagai fungsi konsentrasi biodiesel. Angka ini menunjukkan bahwa kinerja stabilitas blending mereka diterima dengan EN 14112 (Minimum  $6 \text{ h}$ ). Selanjutnya, sifat dari tiga metil ester dengan memadukan dengan petro-diesel hasil percobaan menunjukkan efek pencampuran dengan petro-diesel dan menunjukkan bahwa peningkatan yang signifikan dari akhir memadukan sifat. Dengan demikian, blending will menawarkan manfaat ganda untuk biodiesel dan petro-diesel.

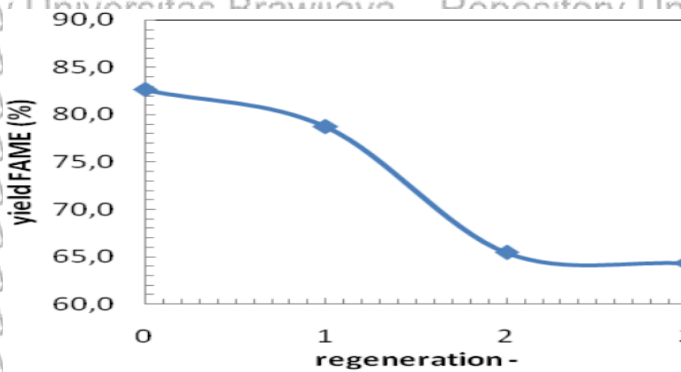
Penelitian (Endah Mutiara Marhaeni Putri, et al, 2012 ) dengan metode Transesterifikasi dilakukan dengan memasukkan metanol ke dalam labu leher tiga dengan variabel rasio  $01:10$ ,  $01:15$ , rasio mol  $01:20$  metanol. Kedua, menambahkan katalis  $\text{CaO}$  sebanyak  $7\%$  dari massa minyak inlet. Setelah campuran homogen, minyak kapuk dimasukkan kelabu leher tiga dan dipanaskan pada suhu variable  $40,50,60^\circ\text{C}$  di





14

1,2,3 jam pengadukan. Setelah reaksi, katalis CaO disaring dengan menggunakan kertas saring (0,7 m) dan kemudian kita memisahkan FAME dibentuk dengan gliserol menggunakan pemisah kaca corong. Analisis yang dilakukan adalah analisis konten dalam minyak menggunakan metode titrimetri, analisis density biodiesel, analisis viskositas biodiesel menggunakan Ostwaldz viskometer, dan analisis konten dari biodiesel yang dihasilkan.



Gambar 2.5. Pemecahan katalis CaO. (Endah, et al, 2012)

Dari penelitian ini beberapa kesimpulan hasil analisis dapat dilihat bahwa minyak biji kapuk dapat digunakan sebagai bahan baku untuk biodiesel. Tingkat tertinggi FAME diproduksi di bawah kondisi minyak untuk rasio mol metanol 1:15, suhu reaksi  $60^{\circ}\text{C}$ , dan waktu reaksi dari 1 jam, sebesar 88,576%. Katalis CaO dapat meregenerasi kembali 3 kali dengan hasil terkecil diperoleh dalam jumlah 64,300%.

Penelitian (S.Kathirvelu, et al, 2014) Dalam beberapa kali, sumber daya biomassa sedang dipertimbangkan sebagai alternatif untuk fosil bahan bakar untuk memecahkan masalah pemanasan global dan bencana energi. Di antara berbagai sumber biomassa, minyak nabati yang diamati menjadi bahan bakar pengganti yang sangat baik untuk digunakan dalam mesin diesel dan juga menarik untuk renewability nya. Karya ini bertujuan, produksi biodiesel, kinerja, knalpot dan analisis pembakaran mesin diesel berbahan bakar diesel bahan bakar dan biodiesel rapi CPOME (Ceiba pentandra Oil Methyl Ester). Itu proses transesterifikasi mengubah ceiba mentah FFA tinggi pentandra minyak ester metil-nya dalam dua langkah proses. Viskositas CPOME lebih dekat dan nilai kalori kurang dari itu diesel karena kandungan oksigen mereka. Sifat bahan bakar penting dibandingkan dengan yang bahan bakar diesel konvensional, tes mesin telah dilakukan pada berbagai kondisi beban untuk rasio kompresi 18, untuk mendapatkan



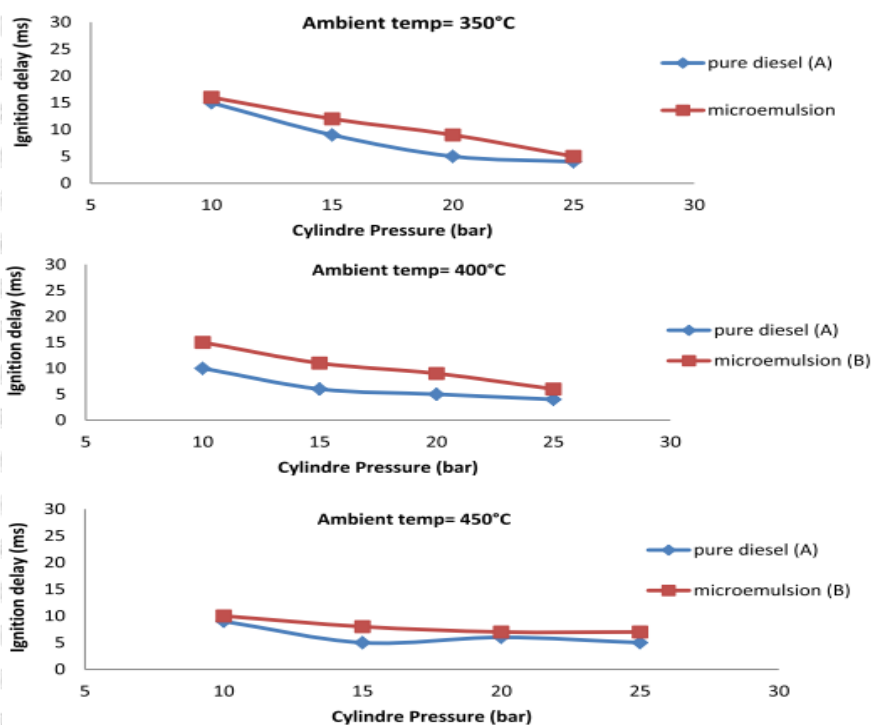
langkah-langkah perbandingan SFC, efisiensi termal brake, EGT dan emisi gas buang seperti CO, CO<sub>2</sub>, HC, Nox, Kepadatan asap dan pembakaran analisis untuk mengevaluasi perilaku CPOME (B100) dan diesel. efisiensi termal brake dibeban maksimum untuk CPOME adalah 6.26% kurang dari diesel untuk beban yang sama. Emisi CO, CO<sub>2</sub> hidrokarbon, oksida nitrogen berkurang. Telah diamati bahwa CPOME yang menghasilkan sejenis di silinder tekanan dan pola laju pelepasan panas sebagai bahan bakar diesel konvensional. Analisis eksperimental mengungkapkan bahwa CPOME rapi (B100) dapat digunakan sebagai bio-fuel alternatif untuk diesel di mesin diesel.

Dalam penelitian ini, (Awais, et al, 2015) Kapok, Ceiba pentandra metil ester minyak adalah diproduksi dengan menggunakan teknik microwave. Karena nilai asam tinggi, KSO itu pra-perawatan untuk memastikan tinggi tingkat konversi menjadi metil ester. Untuk mengurangi nilai asam dari KSO, asam reaksi esterifikasi dilakukan di bawah iradiasi microwave dengan bereaksi KSO dengan metanol (1: 6) dengan adanya asam sulfat (1,5 wt.%) sebagai katalis pada 60 ° C selama 5 menit. Nilai asam dari KSO diukur setelah pretreatment untuk memastikan bahwa itu lebih rendah dari 2% sebelum melanjutkan dengan reaksi transesterifikasi alkali-dikatalisasi. Kondisi operasi optimum untuk microwave transesterifikasi minyak biji Kapok termasuk suhu, katalis pemuatan, metanol untuk rasio molar minyak, dan waktu iradiasi diselidiki dengan menggunakan Response Surface Methodology (RSM) berdasarkan Desain Komposit Central (CCD). Maksimal konversi 98,9% diperoleh di bawah kondisi optimum 57,09 ° suhu reaksi C, 2,15% berat katalis (KOH) pemuatan, minyak metanol rasio molar 1: 9,85, dan waktu reaksi dari 3.29 min. Fourier Transform Infra-Red (FT-IR) spektroskopi dilakukan untuk memverifikasi konversi asam lemak menjadi metil ester. Sifat dari metil minyak Kapok ester diproduksi di bawah kondisi optimum dikarakterisasi dan ditemukan dalam perbandingan dengan ASTM internasional D 6751 dan EN standar 14214. Bahan bakar dari KOME diproduksi dengan microwave-dibantu dan metode pengadukan mekanik. Semua sifat bahan bakar (Kecuali stabilitas oksidasi) sesuai dengan internasional standar, yaitu, ASTM D 6751 dan EN 14214. Dibandingkan dengan penelitian di yang metode pengadukan mekanik yang digunakan, penelitian ini menyebabkan ditingkatkan sifat bahan bakar. Misalnya, cetane number, yang memainkan peran penting dalam pengapian bahan bakar, secara signifikan lebih tinggi dalam penelitian KOME



menggunakan pengadukan mekanik, stabilitas oksidasi dan aliran dingin sifat KOME menunjukkan perbaikan yang signifikan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

Penelitian (Mahir,et.al,2015) Pertama-tama, jumlah yang cukup bahan bakar diisi bahan bakar sistem metering. Setelah itu pompa bahan bakar dipompa keluar untuk memastikan bahwa seharusnya tidak ada udara yang terjebak di saluran bahan bakar. Filter digunakan untuk menghapus kotoran dari bahan bakar dalam sistem metering. Sekarang tekanan ruang bakar meningkat dan juga dipelihara konstan dengan bantuan kompresor dan regulator di diinginkan ambient tekanan silinder (10-bar, 15-bar, 20-bar, dan 25-bar) untuk melaksanakan pengamatan yang berbeda. Suhu piring panas di dalam ruang bakar meningkat dan juga dipertahankan konstan pada suhu yang diinginkan (350 C, 400 C dan 450 C) dengan bantuan listrik elemen pemanas, melekat dengan piring panas. Ketika tidak ada pembakaran di dalam ruang bakar, tidak ada intensitas cahaya yang terdeteksi oleh sensor foto sehingga osiloskop menunjukkan nol output. Fungsi osiloskop, indikator suhu, tekanan gauge, kompresor, sensor optik untuk memulai pembakaran dan transduser tekanan untuk memulai injeksi dipastikan menjadi baik.



Gambar 2.6. variasi delay pengapian bahan bakar pada tekanan injeksi 200 bar. (Mahir,et.al,2015)

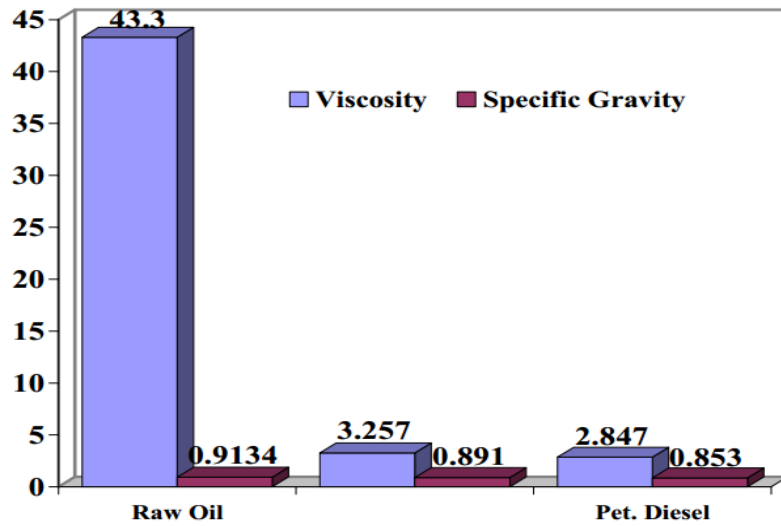


Variasi pengapian keterlambatan bahan bakar diesel dan mikro-emulsi minyak kelapa ditunjukkan pada Gambar. 6E8. Pada tekanan injeksi yang lebih rendah, penetrasi semprotan bahan bakar menuju plate permukaan yang panas lebih cepat dari penguapan semprot bahan bakar mikroemulsi (B) karena sifatnya viskositas lebih tinggi. Oleh karena itu mikroemulsi (B) memiliki pengapian menunda sebanding dengan bahan bakar diesel konvensional. bahan bakar diesel juga (A) adalah memiliki viskositas rendah dari mikroemulsi (B) yang mempromosikan atomisasi baik dari bahan bakar diesel (A) pada tekanan injeksi yang lebih rendah. Sebagai tekanan injeksi meningkatkan atomisasi dan penguapan mikroemulsi (B) meningkatkan tetapi penguapan diesel (A) lebih baik dari mikroemulsi (B) yang memajukan dimulai dari pembakaran bahan bakar karena pada tekanan injeksi yang lebih tinggi bahan bakar diesel (A) adalah memiliki delay pengapian lebih rendah dari mikroemulsi (B). tekanan udara ambien tinggi menciptakan penguapan awal bahan bakar dari tekanan udara rendah, yang mengurangi delay pengapian seperti dapat terlihat pada Gambar.6, suhu tinggi meningkatkan reaksi precombustion bahan bakar suhu lingkungan maka tinggi menggambarkan lebih rendah penundaan pengapian pada berbagai tekanan udara ambien. Mikroemulsi (B) memiliki kelompok asam lemak yang mempromosikan awal pembakaran [13], itu sebabnya petak menunjukkan bahwa pada rendah Tekanan injeksi pengapian penundaan mikroemulsi (B) mencapai yang Nilai mirip dengan bahan bakar diesel murni (A).

Penelitian (Oguntola, 2010) Dalam produksi skala Laboratorium biodiesel minyak kelapa, bahan 1 liter minyak kelapa, 200 ml etanol 99 +% murni, kalium hidroksida (KOH), blender, timbangan akurat untuk 0,1 gram, mengukur gelas untuk etanol dan minyak, tembus wadah plastik dengan bung dan sekrup-on cap, corong, botol untuk menetap dan mencuci, duct tape dan termometer. Sumber bahan baku utama yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah minyak kelapa, yang diproduksi secara lokal di Nigeria. Itu dibeli di pasar lokal di Ayetoro, Ogun, Nigeria. Oleh persamaan stoikiometri proses, 1 mol minyak kelapa diperlukan untuk bereaksi dengan 3 mol etanol untuk menghasilkan 3 mol biodiesel dan 1 mol gliserol. oilwas kelapa 100g digunakan untuk proses transesterifikasi. suhu reaksi untuk proses harus di bawah titik didih alkohol (etanol, 78 ° C). Oleh karena itu, suhu reaksi dari 65 ° C dipilih. peneliti yang berbeda telah melaporkan waktu reaksi yang berbeda untuk proses transesterifikasi



serta seluruh proses produksi biodiesel. yang dilaporkan waktu reaksi berkisar dari kurang dari 30 menit untuk lebih dari 120 menit waktu reaksi dari 120 menit karena terpilih. Sebagian peneliti telah menggunakan 0,1-1,2% (berat minyak) katalis untuk biodiesel produksi 0,8% KOH (berat minyak kelapa) konsentrasi karena itu dipilih sementara 20% ethanol digunakan. KOH



Gambar 2.7. karakteristik fisik minyak kelapa, B10 kelapa campuran biodiesel minyak dan diesel minyak bumi (Oguntola, 2010)

Hasil dari biodiesel sangat rendah dalam jumlah tetapi substansial jumlah volume yang diperlukan sebagai sampel sehingga secara efektif menyelidiki karakteristiknya, kebutuhan untuk memadukan biodiesel dengan minyak solar konvensional melalui rasio 10: 90; yang merupakan B10 (10% biodiesel). Sebuah minyak kelapa khas dikenakan profil asam lemak analisis menggunakan kromatografi gas, rantai karbon 12 memiliki nilai khas terbesar di persentase (54,5%) dari asam laurat tengah-tengah orang lain, yang menggambarkan minyak kelapa sebagai minyak laurat.

Ini berlaku menceritakan sifat minyak yang digunakan dalam produksi biodiesel. jumlah uji minyak kelapa mentah, minyak solar konvensional dan minyak kelapa biodiesel B10 campuran pada berbagai macam tes. Beberapa fisik penting Karakteristik minyak kelapa bahwa viskositas minyak kelapa sangat tinggi (43,3 mm<sup>2</sup> / s). Hal ini konsisten dengan hasil yang dilaporkan pada minyak nabati. viskositas tinggi minyak nabati murni mengurangi atomisasi bahan bakar dan peningkatan bahan bakar penetrasi semprot, yang akan bertanggung jawab untuk deposito mesin tinggi dan penebalan minyak



pelumas yang menyebabkan injeksi kokas dan stickening cincin mesin dan karena itu mengorbankan efisiensi mesin. Hal ini juga dapat disimpulkan dari Tabel 3 bahwa berat jenis minyak kelapa lebih tinggi (0,9134) dibandingkan dengan minyak diesel konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa minyak kelapa adalah padat daripada diesel No.2. Proses transesterifikasi menghasilkan biodiesel minyak 10.4g kelapa dan 67.4g gliserol, sementara 22.20g dari total massa bereaksi tidak bisa dipertanggungjawabkan.

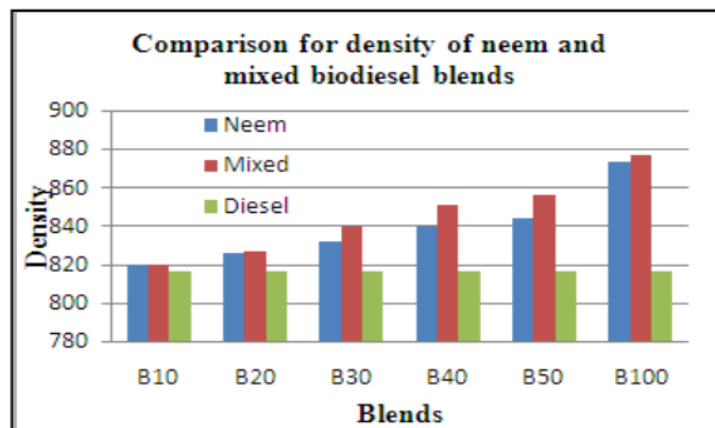
kerugian tersebut telah dikaitkan dengan beberapa un-bereaksi alkohol, katalis residu dan emulsi dihapus selama cuci tahap proses produksi, Sebagai akibat dari hasil yang rendah dari kelapa biodiesel mencatat, campuran B10 diproduksi. Perbandingan karakteristik fisik minyak kelapa, B10 campuran dan minyak solar yang dibuat pada gambar.7, teramati bahwa nilai viskositas sampel B10 adalah sejauh kurang dari yang diperoleh dengan sampel minyak kelapa mentah. Karena itu, efek penyemprotan yang dihasilkan selama injeksi bahan bakar ke ruang bakar dari mesin ditingkatkan. Hal ini penting dari perhitungan aritmatika bahwa persentase pengurangan viskositas adalah 92,48% dan ini menunjukkan perpaduan yang sangat menjanjikan yang akan meningkatkan sifat aliran dingin dari campuran biodiesel. Juga, bahwa B10 berat jenis (0,8305) adalah kurang dari minyak kelapa (0,9134). Telah dilaporkan bahwa, berat jenis memiliki korelasi dengan cetane number dan nilai kalor dari bahan bakar. Oleh karena itu, ini merupakan indikasi bahwa campuran biodiesel kurang padat dari minyak kelapa.

Penelitian (Pranil ,et.al,2010) Campuran minyak kelapa dan etanol dibuat di mana persentase etanol bervariasi 0-20% volume di 2% kenaikan dan kemudian dari 20-100% volume di 10% kenaikan. campuran dengan lebih dari 8% etanol akan memisahkan menjadi dua fase dalam beberapa menit. Surfaktan beroktan-1-ol kemudian ditambahkan ke dalam campuran sampai campuran menjadi stabil. Sampel disimpan untuk jangka waktu 7 hari untuk memastikan stabilitas. minyak (CCO dan VCO) dan diesel diukur menggunakan 50 mL piknometer pada 26 ° C. Sebuah viskometer Ostwald digunakan untuk mengukur viskositas kinematik pada 26 ° C dan 20 ° C. Sebuah bom kalorimeter. Dalam penelitian ini, bahan bakar hibrida yang terdiri dari minyak kelapa, etanol dan beroktan-1-ol disusun dengan tujuan untuk menguji kesesuaian mereka sebagai bahan bakar untuk mesin diesel. Densitas, viskositas dan kalor bruto nilai bahan bakar ini ditentukan dan bakar yang digunakan untuk menjalankan mesin diesel injeksi



langsung. Performa mesin dan emisi gas buang diselidiki dan dibandingkan dengan diesel dan minyak kelapa. Hasil: Hasil percobaan menunjukkan bahwa efisiensi mesin dari bahan bakar hybrid adalah sebanding dengan diesel. Sebagai persentase etanol atau angka oktan-1-ol meningkat, viskositas bahan bakar hybrid menurun dan efisiensi mesin meningkat. Emisi gas buang yang lebih rendah dari yang untuk diesel, kecuali karbon monoksida, yang meningkat. dapat disimpulkan bahwa bahan bakar hibrida dapat digunakan berhasil sebagai bahan bakar alternatif di mesin diesel tanpa modifikasi apapun dan bahan bakar ini ramah lingkungan.

Dalam penelitian (Nithyananda B.S,et.al, 2013), metil ester dari neem dan dicampur Pongamia dan kelapa yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi. Tujuan dari makalah ini adalah untuk menyelidiki sifat mekanik dan karakteristik kinerja biodiesel diekstrak dari Neem dan minyak Campuran. Tujuannya dicapai dengan transesterifing neem dan minyak dicampur menggunakan Unit transesterifikasi disiapkan dikembangkan in-house. penyelidikan eksperimental telah dilakukan untuk memeriksa sifat bahan bakar dan karakteristik kinerja biodiesel yang berbeda menyatu perbandingan untuk diesel. Karakteristik kinerja campuran dievaluasi pada beban variabel konstan rated kecepatan 1500rpm dan hasilnya dibandingkan dengan solar.



Gambar 2.8. Perbandingan untuk densitas minyak neem dan campuran kelapa minyak biodiesel dan diesel(Nithyananda B.S,et.al, 2013)

Sifat bahan bakar campuran yang berbeda dari biodiesel yang lebih dekat ke diesel dan menyatu B10 dan B20 memberikan hasil yang baik. Sifat bahan bakar B100 biodiesel tidak dalam perjanjian baik dengan diesel sehingga sangat dianjurkan untuk tidak menggunakan B100 biodiesel dalam mesin CI. Kesimpulan yang didapat hasil



eksperimen yang diperoleh saat operasi mesin diesel silinder tunggal dengan neem dan dicampur Pongamia dan biodiesel kelapa campuran. Campuran Pongamia dan kelapa dan neem campuran biodiesel dapat langsung digunakan di diesel mesin tanpa modifikasi mesin. Biodiesel campuran menunjukkan sifat bahan bakar yang lebih baik daripada biodiesel neem hingga berbaur B20. Efisiensi termal dari campuran biodiesel sedikit lebih rendah daripada diesel. Efisiensi termal dari campuran nimba biodiesel kecuali B20 sedikit lebih tinggi dari Pongamia campuran biodiesel. Konsumsi bahan bakar spesifik B10 campuran Pongamia dan neem biodiesel sangat dekat dengan konsumsi bahan bakar spesifik diesel pada semua beban. Untuk campuran B20 untuk B50 bahan bakar spesifik Konsumsi ditemukan lebih tinggi daripada diesel. Pongamia dan biodiesel kelapa dapat digunakan sebagai pengganti untuk diesel minyak bumi. Campuran Pongamia dan kelapa biodiesel dapat dianggap sebagai bahan bakar yang lebih baik dari biodiesel nimba meskipun efisiensi termal brake sedikit lebih rendah. Hasil biodiesel dari neem oil relatif lebih rendah daripada Pongamia campuran dan minyak kelapa.

Penelitian ( Yasin,et.al, 2015) Dalam penelitian ini percobaan yang dilakukan dengan menggunakan beban mesin yang berbeda; 20, 40, dan 60% pada kecepatan mesin konstan 2500 rpm. Koefisien variasi (COV) dan standar deviasi dari parameter yang digunakan untuk mengevaluasi variasi siklik dari parameter pembakaran pentahapan untuk ujian bahan bakar pada kondisi pengujian mesin tertentu. Diamati bahwa biodiesel kelapa memiliki rendah COV IMEP dibandingkan dengan diesel konvensional tetapi lebih tinggi di COV Pmax di mesin yang lebih tinggi beban masing-masing. Selain itu, biodiesel sawit cenderung memiliki kekambuhan lebih tinggi untuk distribusi frekuensi untuk tekanan maksimum. Hasil keseluruhan menunjukkan bahwa biodiesel sawit statistik cenderung untuk mencapai Pmax lebih tinggi tetapi IMEP lebih rendah bila dibandingkan dengan diesel konvensional pada beban mesin yang lebih tinggi. Ditemukan bahwa frekuensi distribusi untuk Pmax dan diesel konvensional yang tersebar pada beban mesin yang lebih tinggi. Penelitian ini terkait dengan variasi siklik mesin, yang diidentifikasi sebagai fundamental dan masalah mesin yang kompleks yang memberikan kontribusi untuk pembatasan campuran ramping, penurunan tenaga mesin, driveability miskin dan dapat meningkatkan suara dan getaran mesin. Selanjutnya, tambahan bahan bakar yang berbeda dengan sifat bahan bakar berbeda digunakan di





diesel mesin selain diesel konvensional adalah topik menarik lainnya untuk studi lanjutan. Dapat disimpulkan bahwa sifat bahan bakar biodiesel sawit telah mempengaruhi sebagian besar parameter pembakaran di mesin diesel.

Penelitian (Abdolsaeid, et al, 2016) Pengaruh rasio kesetaraan (didefinisikan sebagai rasio dari rasio bahan bakar / udara yang sebenarnya ke bahan bakar / rasio udara stoikiometri) pada profil temperatur dinding ruang bakar menunjukkan bahwa rata-rata temperatur dinding di PME pembakaran pada rasio kesetaraan 1.0 dan 1.2 meningkat sekitar 6% dan 9%, masing-masing, dibandingkan dengan rasio kesetaraan 0.8 1,25 nozzle. Ini berarti lebih tinggi rasio kesetaraan menghasilkan profil temperatur dinding tinggi di semua jenis bahan bakar diuji karena lebih banyak bahan bakar yang dibakar pada rasio kesetaraan yang lebih tinggi dan akibatnya banyak panas yang dilepaskan selama pembakaran. Namun, campuran kaya menyebabkan pembakaran tidak sempurna karena mereka membakar tanpa cukup udara. Dalam sebuah eksperimen bahwa peningkatan suhu perlahan-lahan dengan peningkatan rasio kesetaraan untuk bahan bakar biodiesel. Untuk mengetahui hubungan antara laju aliran bahan bakar dan kinerja pembakaran sistem, percobaan dilakukan dengan menggunakan nozel burner yang berbeda yang memiliki volumetrik yang berbeda laju aliran bahan bakar (1,25, 1,50 dan 1,75 USgal / h). aliran bahan bakar dapat digunakan untuk menghitung perkiraan emisi untuk mengikuti persyaratan peraturan di industri pembakaran terlepas dari tujuan desain ruang bakar. Profil temperatur dinding untuk setiap nozzle juga diukur, untuk rasio kesetaraan 1, pembakaran PME menggunakan 1,25 nozzle menghasilkan temperatur dinding maksimum (620 C) pada titik 6. Dengan menggunakan 1,50 dan 1,75 nozel, suhu dinding maksimum muncul pada titik 6 dengan 641,1 dan 681,1 C, masing-masing. Dibandingkan dengan 1,25 nozzle, suhu dinding ruang bakar meningkat 3% dan 10% dengan 1,50 dan 1,75 nozel, masing-masing, yang menunjukkan bahwa laju aliran volumetrik yang lebih tinggi dari PME digunakan dalam pembakaran. Pemanfaatan laju aliran bahan bakar volumetrik yang lebih tinggi dalam tes pembakaran membuat lebih bahan bakar dibakar dan akibatnya lebih banyak konten energi dalam bahan bakar dirilis dan mengarah ke peningkatan Suhu di dalam ruang sistem. Kesamaan yang dapat diamati dari grafik menegaskan bahwa profil temperatur dinding Pola adalah sama untuk semua bahan bakar. Dari grafik, dapat dilihat bahwa peningkatan suhu dari inlet dari ruang pembakaran (100 mm) hingga





mencapai jarak 500 mm. Suhu kemudian mulai menurun dari jarak 500 mm sampai akhir ruang pembakaran (900 mm). Bahkan, suhu tertinggi di dalam ruang bakar tercatat pada jarak 500 mm dari tungku inlet.

Tabel 2.1. Properties of conventional diesel fuel (CDF), palm biodiesel blends and palm methyl ester (PME) (Abdolsaeid, et.al, 2016).

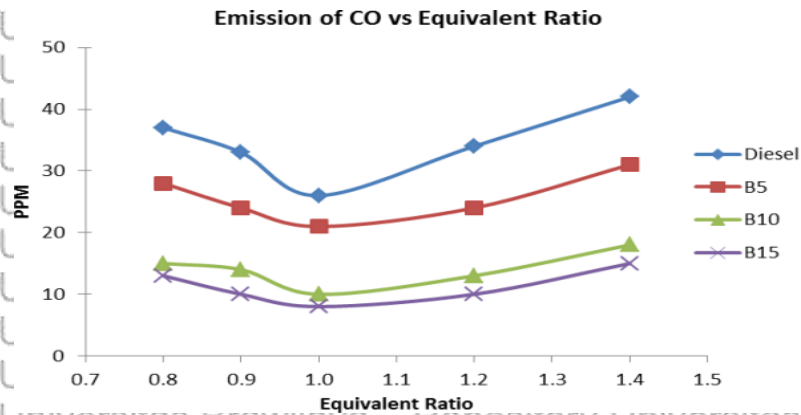
Properties	Fuels				
	CDF	B10	B20	B40	PME
% PME Volume	0	10	20	40	100
% CDF Volume	100	90	80	60	0
Density (kg/m <sup>3</sup> )	835.91	837.85	841.72	848.49	864.94
Kinematic Viscosity 40 °C (mm <sup>2</sup> /s)	3.0625	3.8379	3.9180	4.1510	4.5696
Surface Tension (mN/m)	29.57	29.83	30.17	30.60	32.03
Calorific Value (kJ/kg)	45,632	45,120	44,609	43,474	40,521

Kesimpulan percobaan pembakaran dilakukan dengan menggunakan PME, CDF dan campuran dari PME dengan CDF (B10, B20 dan B40). Kinerja pembakaran PME dibandingkan dengan diesel dalam berbagai kondisi. Dari hasil, ditemukan bahwa kerapatan, viskositas dan tegangan permukaan bahan bakar meningkat sebagai persentase biodiesel sawit di campuran meningkat, sedangkan nilai kalor dari bahan bakar menurun sebagai persentase biodiesel sawit dalam campuran meningkat. Suhu di dalam ruangan berkurang bila konten biodiesel berbasis minyak sawit meningkat dalam campuran bahan bakar. Ini berarti sawit pembakaran biodiesel berbasis minyak menghasilkan suhu yang lebih rendah di dalam ruangan dibandingkan dengan diesel bahan bakar. Selain itu, peningkatan laju aliran bahan bakar volumetrik meningkatkan suhu pembakaran. telapak tangan Energi 2016, 9, 97-9 dari 10 biodiesel berbasis minyak menunjukkan emisiona gas yang lebih rendah (NO<sub>x</sub> dan CO) dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Meningkatkan laju aliran bahan bakar volumetrik dalam pembakaran menghasilkan tingkat yang lebih tinggi dari emisi gas. NO<sub>x</sub> tinggi formasi terjadi untuk campuran ramping dengan kehadiran nitrogen yang tinggi dan suhu yang cukup, sedangkan CO yang tinggi terjadi pada campuran yang kaya dengan kehadiran oksigen rendah.

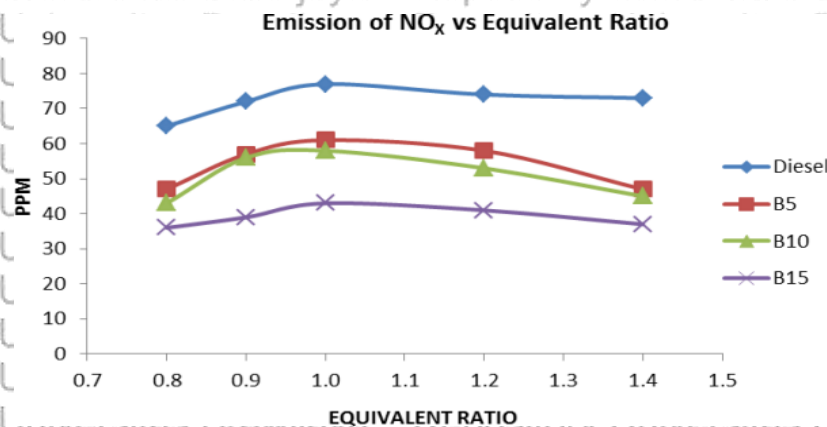
Penelitian (Ishak, et.al, 2016) ini menyelidiki pembakaran campuran biodiesel dibandingkan dengan bahan bakar diesel di berbagai rasio. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis campuran biodiesel yang berasal dari minyak sawit



dan solar pada rasio setara berbeda. rasio setara adalah didefinisikan sebagai rasio udara-bahan bakar yang sebenarnya untuk air fuel rasio stoikiometri.



Gambar 2.9. Grafik hubungan equivalensi rasio dan emisi gas buang CO (Ishak,et.al, 2016)



Gambar 2.10. Grafik hubungan equivalensi rasio dan emisi gas buang NO<sub>x</sub> (Ishak,et.al, 2016)

Dalam percobaan ini, perilaku setiap emisi cukup dibedakan pada setara rasio 1.0. pada B15 emisi, karena kandungan minyak sawit yang tinggi. Ini memiliki 69% pengurangan karbon monoksida, CO, pengurangan 44% dari oksida nitrogen, NO<sub>x</sub> dan 34% dari hidrokarbon yang tidak terbakar dibandingkan dengan bahan bakar diesel. Hal ini menunjukkan jumlah yang signifikan di pengurangan gas beracun dan menunjukkan peningkatan yang positif terhadap lingkungan Hidup. Percobaan dilakukan juga menunjukkan bahwa B5 lebih baik dari CDF karena nilai kalorinya. Walaupun demikian, kinerja B10 dan B15 masih dapat diterima. Dari study ini disimpulkan bahwa



biodiesel siap untuk digunakan pasar komersial. Beberapa biodiesel lebih baik daripada minyak diesel seperti B5.

Penelitian (Ahmet dan Canakci, 2013) dengan bahan biodiesel dihasilkan dari minyak goreng sawit limbah bahan baku yang dipasang di saluran bahan bakar dari silinder pertama untuk mendapatkan tekanan saluran bahan bakar, digunakan untuk menghasilkan tegangan output kemudian dikonversikan ke sinyal digital. Gas silinder dan sinyal tekanan saluran bahan bakar dicatat oleh komputer menggunakan perangkat digital Data tekanan gas silinder 50 siklus mesin dikumpulkan dengan resolusi 0,25 sudut engkol. Injektor membuka tekanan yang ditetapkan oleh pabrikan adalah 197 bar yang digunakan dalam perhitungan pengapian penundaan. Konsumsi bahan bakar ditentukan dengan menimbang bahan bakar yang digunakan untuk jangka waktu pada skala elektronik. Konsumsi Air diukur dengan menggunakan tajam bermata orifice dan cenderung manometer. Kelembaban relatif dan suhu lingkungan dimonitor oleh hygrometer. Enam termokopel digital yang berbeda dipantau suhu udara intake, bahan bakar, oli mesin, gas buang, pendingin inlet dan outlet. Dalam studi ini, tiga analisis gas yang berbeda digunakan untuk mengukur konsentrasi gas buang memberikan informasi tentang alat ukur dan ketidakpastian eksperimental karakteristik beban penuh dari mesin diesel rpm ditentukan pada 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 ( $\pm 25$ ) rpm kecepatan mesin konstan. Untuk tujuan ini, perlawanan dinamometer untuk mesin meningkat untuk menemukan maksimal output torsi dengan menjaga setiap putaran mesin konstan. Ujian Prosedur diulang untuk menemukan tingkat torsi maksimum untuk setiap bahan bakar pada putaran mesin konstan. Semua tes diselesaikan tanpa modifikasi pada mesin uji. Pengujian dilakukan dalam kondisi mapan yang disediakan dengan cukup menghangat suhu gas buang. Selama tes, mesin tidak menunjukkan kesulitan awal ketika pada bahan bakar metil ester, dan berjalan dengan baik di seluruh tes pada suhu kamar. Dalam penelitian ini, terlihat bahwa CO minimum, HC dan asap tingkat opacity diukur dengan menggunakan WPOME (Waste Palm Oil Methyl Ester) yang memiliki rasio kesetaraan udara-bahan bakar yang lebih tinggi dibandingkan dengan COME (canola oil methyl ester), sedangkan NO maksimum x emisi tercatat dengan penggunaan COME. bahwa rasio udara-bahan bakar yang lebih rendah rasio dipaksakan, biji metil ester minyak dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional disebabkan Jumlah udara kurang untuk pembakaran dan





menghasilkan pembakaran yang lebih tinggi suhu dan emisi NOx lebih tinggi. Perubahan emisi dapat dijelaskan dengan perbedaan karakteristik semprotan WPOME dan COME. Seperti disebutkan di Hasil injeksi, ketika mesin uji berbahan bakar biodiesel, SOI waktu terjadi lebih awal dari itu dari PBDF karena biodiesel ini bsfc tinggi, kepadatan, viskositas kinematik dan kompresibilitas rendah. Dengan memajukan SOI waktu dengan penggunaan biodiesel meningkatkan CO, emisi HC terbakar dan asap opacity, tetapi memiliki reverse efek pada NOx emisi. Seperti disebutkan dalam pendahuluan, beberapa peneliti memiliki menunjukkan bahwa diperoleh NOx tingkat emisi dengan penggunaan biodiesel dapat dikorelasikan dengan jumlah iodine (derajat ketidakjenuhan). Sebagai dilihat memiliki lebih tak jenuh asam lemak metil ester bila dibandingkan dengan WPOME. Dapat dikatakan bahwa perbedaan di NOx tingkat emisi antara WPOME dan COME adalah terkait dengan tingkat jenuh dari biodiesel. Namun, perlu dicatat bahwa hanya ada pengurangan emisi NOx untuk WPOME relative untuk PBDF pada 2000 tes kecepatan rpm karena perlambatan dalam SOI waktu dari WPOME bawah kondisi pengujian beban penuh. Pengapian penundaan dapat memiliki efek besar pada knalpot emis aksesori, karena menguasai proporsi bahan bakar terbakar. Meningkatkan fraksi bahan bakar terbakar dalam fase de premixed lipatan HC terbakar, emisi CO dan asap opacity, tapi di lipatan NOx tingkat emisi. Seperti disebutkan dalam pembakaran hasil, penundaan pengapian berkurang ketika menggunakan WPOME dan COME, masing-masing, dibandingkan dengan PBDF tersebut. Semakin pendek pengapian iklan delay vances durasi pembakaran, meningkatkan pres gas puncak silinder yakin dan suhu, dan meningkatkan pembentukan NOx. Oleh karena itu, emisi NOx lebih tinggi terutama disebabkan oleh biodiesel yang memiliki penundaan pengapian lebih pendek dan timing injeksi awal.

## 2.1 Minyak Nabati

Pada minyak nabati adalah minyak yang disarikan atau diekstrak dari tumbuhan pada minyak nabati terdapat molekul *triglyceride* yang tersusun *glycerol* dengan tiga rantai karbon dengan bagian utama tulang punggung (rantai utama) dan tiga cabang asam lemak yang memuat rantai delapan belas (18) karbon atau enam belas (16) karbon. Sedang untuk asam lemak merupakan rantai hidrokarbon lurus dan panjang yang berisi antara dua belas (12) sampai dengan dua puluh empat (24) atom karbon. Pada salah satu



ujung molekul asam lemak berisi kelompok asam *carboxylic* (COOH) dan pada ujung yang lain berisi *methyl* (CH<sub>3</sub>). (Audesirk T., dan Audesirk G., 1996).

Untuk molekul *triglyceride* tersusun dari atom-atom karbon dan hidrogen dengan hanya enam (6) atom oksigen per molekul. Dengan demikian kandungan minyak nabati mirip dengan hidrokarbon pada petroleum.

### 2.2.1. Minyak Biji Kapuk (*kapok seed oil*)

Minyak kapuk atau minyak *kapok seed oil* diperoleh dari biji buah randu atau *ceiba petandra* dengan proses pengekstraksian. Pada minyak *ceiba pentandra* biasanya terdapat asam lemak tidak jenuh sekitar 71,95%. Asam lemak yang paling banyak adalah asam linoleat C18:2. Minyak *ceiba pentandra* biasanya digunakan sebagai campuran pada industri minyak cat atau juga digunakan penerangan, minyak pelumas, dan dipakai sebagai bahan untuk melumasi katana atau pedang dijepang. Konversi *methyl ester* dari minyak randu sebesar 70% - 80%. Minyak randu ini sangat potensial untuk dijadikan bahan baku bio diesel.

Pada beberapa penelitian yang dikembangkan, minyak kapuk atau *ceiba pentandra* mengandung asam lemak jenuh (*saturated fatty acid*) antara lain yaitu : asam miristat (*myristic acid*), asam palmitat (*palmitic acid*), asam stearat (*stearic acid*), asam arakhidat (*arachidic acid*), asam linoleat (*linolenic acid*), asam oleat (*oleic acid*), dan asam palmitoleat (*palmitoleic acid*). Pada minyak kapuk untuk kandungan asam lemak yang dominan adalah asam lemak linoleat, oleat dan palmitat (Wang, et. al., 2012).

### 2.2.2. Minyak Jarak (*Jatropha Curcas Linnaeus*)

Minyak jarak mempunyai karakter fisik berupa cairan kental dan bening lebih encer jika dibanding dengan minyak nabati lain, warna minyak jarak biasanya kuning, dengan bau yang khas, dan tidak menjadi keruh jika disimpan dalam waktu yang lama dan juga tidak berasa. Untuk mendapatkan minyak jarak dilakukan dengan cara ekstraksi dan ditekan dengan pengepresan. Komposisi yang terkandung pada Minyak biji jarak mengandung asam palmitat, asam oleat, asam linoleat, asam miristat, asam stearat, asam arachidat, asam palmitoleat, asam linoleat dan asam gadoleat. Dan jika diprosentase pada asam penyusun minyak jarak terdiri atas duapuluh dua koma tujuh persen asam jenuh dan tujuh puluh tujuh koma tiga persen asam tak jenuh (Akbar, 2009).





### 2.2.3. Minyak sawit (*Elais guinnensis* Jack)

Minyak sawit mempunyai komponen utama trigliserida dengan kandungan sampai dengan sembilan puluh tiga persen. Selain dari trigliserida kandungan gliserida yang lain pada minyak sawit yaitu digliserida dengan prosentase empat koma tiga persen dan monogliserida nol koma sembilan persen. Selain dari gliserida, minyak sawit mengandung pengotor seperti: asam lemak bebas, dan gum dimana yang didalamnya terdapat phospholipid dan glikolipid. Hasil penelitian (Herman, S., & Khairat, 2004) komponen asam lemak bebas utama penyusun minyak sawit adalah palmitat (40-45%) dan oleat (39-45%). Komposisi minyak sawit sangat bervariasi, dan dipengaruhi dari spesies, tempat tumbuh, dan umur tanaman sawit.

Sumber daya kelapa sawit sangat berlimpah di negara tropis yaitu utamanya ada di Malaysia dan Indonesia. Menurut (Carter, C. et. al. 2007). Secara pasokan atau ketersediaan bahan dan harga bakar minyak sawit dianggap memiliki potensi tinggi sebagai bahan bakar masa depan.

### 2.2.4. Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*)

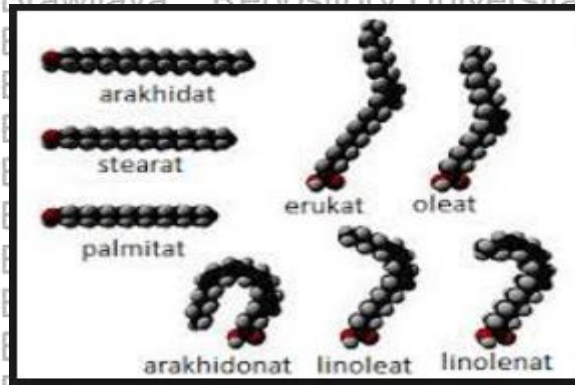
Minyak kelapa memiliki sifat yang mirip dengan minyak nabati lainnya yaitu merupakan senyawa yang tidak larut dalam air. Minyak kelapa memiliki komponen penyusun yang utama yaitu trigliserida dan non trigliserida. Pada minyak kelapa terdiri atas trigliserida yang merupakan ester dari gliserol dengan tiga molekul asam lemak. Komposisi asam lemak minyak kelapa terdiri enam puluh lima persen asam lemak jenuh dan limapuluh tiga persen asam lemak jenuh (Gunstone, 1996). Proses untuk memperoleh minyak kelapa dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu menggunakan cara kering, menggunakan cara basah dan menggunakan cara ekstraksi pelarut.

Hasil analisis dengan teknik external standard dari penelitian (mevy, et al: 2016) menunjukkan seluruh minyak terderivatisasi dengan menggunakan metode ini. konsentrasi kandungan asam lemak pada minyak kelapa murni yaitu pada asam kaprilat 6,11 mg/mL, pada asam kaprat 3,85 mg/mL, pada asam laurat 25,75 mg/mL, pada asam miristat 9,84 mg/mL, pada asam palmitat 4,45 mg/mL, pada asam stearat 1,36 mg/mL, pada asam oleat 3,94 mg/mL, dan pada asam linoleat 0,69 mg/mL.

### 2.2.5. Struktur Molekul Asam Lemak Minyak Nabati

Model struktur molekul asam lemak pada minyak nabati dapat dilihat Gambar 2.11. berikut :





Gambar 2.11: Struktur molekul (a) asam palmitat, (b) asam stearat, (c) asam arakhidat, (d) asam linoleat, (e) asam linolenat (Gunstone, 1996)

Untuk jenis kandungan asam lemak, rumus kimia, struktur ikatan kimia dan jumlah atom karbon dari minyak nabati dapat dilihat pada Tabel 2.2. Pada tabel tersebut disajikan data kandungan minyak nabati yang terdiri dari asam lemak jenuh, asam lemak tak jenuh dengan satu ikatan rangkap, asam lemak tak jenuh dengan lebih dari satu ikatan rangkap, getah, gliserol, dan air. Dari kandungan tersebut menyebabkan energi yang dimiliki minyak nabati lebih stabil, dan untuk memutuskan rantai panjang dan bercabang dari minyak nabati dibutuhkan energi yang cukup besar, sehingga minyak nabati lebih sulit terbakar.

Tabel 2. 2. Kandungan minyak nabati asam lemak (Gunstone, 1996)

No	Jenis kandungan asam lemak	Rumus kimia	Struktur ikatan kimia	Jumlah atom karbon	
1	Asam lemak jenuh	Kaprilat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	8:0	8
		Kaprat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	10:0	10
		Laurat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	12:0	12
		Miristat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	14:0	14
		Palmitat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	16:0	16
		Stearat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	18:0	18
		Arakhidat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	20:0	20
2	Asam lemak tak jenuh satu ikatan rangkap	Eikosanoat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	20:1	20
		Oleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	18:1	18
		Palmitoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	16:1	16
		Miristoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	14:1	14
3	Asam lemak tak jenuh > 1 ikatan rangkap	Linolenat	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	18:3	18
		linoleat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	18:2	18
4	Air	$\text{H}_2\text{O}$	-	-	
5	Getah	$\text{C}(\text{CH}_2\text{OH})_4$	5:0	5	
6	Gliserol	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$	3:0	3	
7	Solar	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ dan $\text{C}_{16}\text{H}_7\text{CH}_3$	33:0	33	



## 2.2.6. Klasifikasi Asam Lemak Minyak Nabati

Asam lemak minyaknya nabati dapat dibedakan berdasarkan beberapa golongan. Menurut Herlina & Hendra (2002), berdasarkan kejenuhannya asam lemak dibedakan menjadi tiga golongan, yaitu:

### 2.2.6.1. Asam Lemak Jenuh

Asam lemak jenuh atau (*saturated fatty acid*) yaitu merupakan asam lemak dengan kandungan ikatan tunggal pada rantai hidrokarbonnya. Asam lemak jenuh memiliki struktur rantai zig-zag yang dapat cocok satu sama lain, dengan demikian daya tarik vander waals tinggi antara molekul-molekulnya. Sehingga pada asam lemak jenuh diperlukan lebih banyak energi untuk memisahkannya, asam lemak jenuh juga bersifat lebih stabil atau (sulit bereaksi) jika dibandingkan asam lemak tak jenuh.

Penggolongan pada Asam lemak jenuh dibedakan menjadi tiga, yaitu:

#### 1. Asam lemak jenuh rantai pendek

Asam lemak jenuh pada minyak nabati dengan rantai pendek (*short chain fatty acid*) pada kelompok ini rantai karbonnya memiliki dua sampai dengan enam 2-6.

Contoh asam lemak jenuh rantai pendek yaitu: asam *butanoat* dengan rantai karbon empat C 4:0, asam *pentanoat* dengan rantai karbon lima C 5:0, dan asam *hexanoat* dengan rantai karbon enam C 6:0.

#### 2. Asam lemak jenuh rantai medium

Asam lemak jenuh pada minyak nabati dengan rantai medium (*medium chain fatty acid*) pada kelompok ini jumlah atom karbonnya memiliki 8-18. Contoh asam lemak dengan rantai sedang yaitu: asam miristat dengan rantai karbon empat belas C 14:0, asam palmitat dengan rantai karbon enam belas C 16:0, dan asam *stearat* dengan rantai karbon delapan belas C 18:0.

#### 3. Asam lemak jenuh rantai panjang

Asam lemak jenuh pada minyak nabati dengan rantai panjang (*long chain fatty acid*) pada kelompok ini jumlah atom karbonnya antara dua puluh sampai dengan tiga puluh 20-30. Contoh asam lemak dengan rantai panjang yaitu: asam arakhidat dengan rantai karbon duapuluh C 20:0, asam behenoat dengan rantai karbon duapuluh dua C 22:0, dan asam lignocerat dengan rantai karbon duapuluh empat C 24:0.



### 2.2.6.2. Asam lemak tak jenuh dengan satu ikatan rangkap

Asam lemak tak jenuh dengan satu ikatan rangkap (*monounsaturated fatty acid*) yaitu asam lemak dengan kandungan satu ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Akibat ikatan rangkap pada asam lemak tak jenuh dapat memudahkan reaksi dengan oksigen atau mudah teroksidasi. Contoh asam lemak tak jenuh dengan satu ikatan rangkap yaitu: asam palmitoleat dengan rantai karbon enam belas C16:1, dan asam oleat dengan rantai karbon delapan belas C18:1.

### 2.2.6.3. Asam Lemak tak jenuh dengan banyak ikatan rangkap

Asam lemak tak jenuh dengan banyak ikatan rangkap (*polyunsaturated fatty acid*) yaitu asam lemak dengan kandungan banyak ikatan rangkap pada rantai hidrokarbonnya. Dengan banyaknya ikatan rangkap maka besar tingkat ketidakjenuhan molekul akan naik, tetapi semakin rendah kecenderungan titik lelehnya hal ini disebabkan gaya dispersi atau gaya tarik vander waals lemah. Gaya vander waals diperlukan agar molekul mampu tertarik dan membentuk ikatan sehingga bisa membentuk ikatan yang stabil dan kuat dan bentuk ikatan rangkap C=C dapat tersusun rapi. Contoh Asam Lemak tak jenuh dengan banyak ikatan rangkap yaitu: asam linoleat dengan rantai karbon delapan belas C18:0 dan asam linolenat dengan rantai karbon delapan belas C18:3, asam arakhidonat dengan rantai karbon dua puluh C20:4 dan asam nervoneat dengan rantai karbon dua puluh empat C24:1.

### 2.2.7. Sifat-Sifat Fisik Minyak Nabati

Komposisi Asam lemak jenuh akan mempengaruhi sifat fisik yang dimiliki, dengan semakin panjang rantai karbon (C), maka semakin meningkat atau semakin tinggi titik lebur dan titik didihnya, dan pada asam lemak tak jenuh, dengan semakin banyak ikatan rangkap maka memiliki sifat fisik yang semakin rendah pada titik lebur dan titik didihnya dan memiliki sifat yang semakin lebih mudah bereaksi. Sifat dari asam lemak pada minyak nabati:

#### 1. Kaprilat

Asam kaprilat adalah asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $C_7H_{15}COOH$  memiliki berat molekul seratus empat puluh empat gram per mol 144,24 gr/mol, dan memiliki jumlah rantai karbon delapan 8:0, dengan titik lebur asam lemak pada temperature tujuh belas derajat celcius  $17^{\circ}C$ , memiliki titik didih pada





temperatur dua ratus tiga puluh sembilan derajat celcius  $239^{\circ}\text{C}$ , serta titik nyalanya pada temperatur sembilan puluh lima derajat celcius  $95^{\circ}\text{C}$ .

Tabel 2.3. sifat fisika asam lemak (schrenbach, 2002; Bangboye, Hansen, 2008)

No	Parameter	Rumus kimia	Berat molekul (gr/mol)	Titik lebur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Titik didih ( $^{\circ}\text{C}$ )	Titik nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	Angka cetan	Nilai kalor (kkal/mol)
1	Kaprilat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	144,24	17	239	95	-	-
	methyl ester kaprilat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOCH}_3$	158,24	-40	193	81	35,1	-
2	Kaprat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	172,17	32	269	129	-	-
	methyl ester kaprat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOCH}_3$	186,29	-18	224	110	47,9	-
3	Laurat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	200,32	44	304	165	-	-
	methyl ester laurat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOCH}_3$	213,34	5	262	143	61,1	1920
4	Miristat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	228,38	54	251	196	-	-
	methyl ester miristat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOCH}_3$	242,29	19	295	172	73,5	2250
5	Palmitat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	256,43	63	271	201	-	-
	methyl ester palmitat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOCH}_3$	270,53	31	415	175	74,4	2385
6	Stearat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	284,48	69	232	206	-	-
	methyl ester stearat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOCH}_3$	298,49	39	442	178	76,3	2696
7	Arakhidat	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	312,54	75	-	208	-	-
	methyl ester arakhidat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOCH}_3$	326,57	50	-	181	77,1	-
8	Eikosoanoat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	300,44	14	38	95	-	-
	methyl ester eikosoanoat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOCH}_3$	314,47	-	-	82	35,3	-
9	Oleat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	285,98	16	195	180	-	-
	methyl ester oleat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_8\text{COOCH}_3$	296,46	-20	-	111	57,2	2828
10	Palmitoleat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	253,41	20	54	124	-	-
	methyl ester palmitoleat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOCH}_3$	264,41	-	-	108	45,8	-
11	Miristoleat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	226,36	22	59	117x	-	-
	methyl ester miristoleat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOCH}_3$	240,39	-	-	102	43,2	-
12	Linolenat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	278,44	-11	231	61	-	-
	methyl ester linolenat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOCH}_3$	292,47	-52	-	53	21,6	2750
13	Linoleat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	280,45	-5	230	77	-	-
	methyl ester linoleat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOCH}_3$	294,48	-35	-	66	36,8	2794
14	Eikosoanoat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$	300,44	14	38	95	-	-
	methyl ester eikosoanoat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOCH}_3$	314,47	-	-	82	35,3	-
15	Oleat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	285,98	16	195	180	-	-
	methyl ester oleat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_8\text{COOCH}_3$	296,46	-20	-	111	57,2	2828
16	Palmitoleat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	253,41	20	54	124	-	-
	methyl ester palmitoleat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOCH}_3$	264,41	-	-	108	45,8	-
17	Miristoleat <sup>1)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	226,36	22	59	117	-	-
	methyl ester miristoleat <sup>2)</sup>	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOCH}_3$	240,39	-	-	102	43,2	-

## 2. Kaprat

Asam kaprat yaitu asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $\text{C}_9\text{H}_{19}\text{COOH}$ , memiliki berat molekul seratus tujuh puluh dua point tujuh belas gram per mol 172,17 gr/mol, dan memiliki jumlah rantai karbon sepuluh 10:0, titik lebur asam lemak pada temperature tiga puluh dua derajat celcius  $32^{\circ}\text{C}$ , dengan titik didih pada temperatur dua ratus enam puluh sembilan derajat celcius  $269^{\circ}\text{C}$ , dan memiliki titik nyala pada temperatur seratus duapuluh sembilan derajat celcius  $129^{\circ}\text{C}$ .





### 3. Laurat

Asam laurat yaitu asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $C_{11}H_{23}COOH$ , memiliki berat molekul duaatus point tiga dua gram per mol 200,32 gr/mol, dan jumlah rantai karbon empat belas 14:0, mempunyai titik lebur pada temperatur empat puluh empat derajat celcius  $44^{\circ}C$ , dengan titik didih pada temperatur tiga ratus empat derajat celcius  $304^{\circ}C$ , dan titik nyala pada temperatur seratus enam puluh lima derajat celcius  $165^{\circ}C$ .

### 4. Miristat

Asam miristat yaitu asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $C_{13}H_{27}COOH$ , memiliki berat molekul dua ratus dua point tiga puluh delapan gram per mol 228,38 gr/mol, dan jumlah rantai karbon empat belas 14 : 0, titik lebur pada temperature lima puluh empat point empat derajat celcius  $54,4^{\circ}C$ , dengan titik didih pada temperature seratus empat puluh sembilan derajat celcius  $149^{\circ}C$ , dan titik nyala pada temperature seratus sembilan puluh enam derajat celcius  $196^{\circ}C$ .

### 5. Palmitat

Asalm palmitat yaitu asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $C_{15}H_{31}COOH$ , memiliki berat molekul dua ratus lima puluh enam point dua puluh tujuh gram per mol 256,27 gr/mol, jumlah rantai karbon enam belas 16:0, dengan titik lebur pada temperature enam puluh tiga derajat celcius  $63^{\circ}C$ , titik didih pada temperatur dua ratus tujuh puluh satu derajat celcius  $271^{\circ}C$ , dan titik nyalan pada temperatur dua ratus satu derajat celcius  $201^{\circ}C$ .

### 6. Stearat

Asam stearat yaitu asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $C_{17}H_{35}COOH$  dengani berat molekul dua ratus delapan puluh empat point empat puluh delapan gram per mol 284,48 gr/mol, memiliki rantai karbon delapan belas 18:0, suhu titik lebur pada temperatur enam puluh sembilan derajat celcius  $69^{\circ}C$ , suhu titik didih pada temperatur dua ratus tiga puluh dua derajat celcius  $232^{\circ}C$  dan suhu titik nyalanya pada temperatur dua ratus enam derajat celcius  $206^{\circ}C$ .

### 7. Arakhidat

Asam arakhidat yaitu asam lemak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $C_{19}H_{39}COOH$ , dengan berat molekul tiga ratus dua belas point lima puluh empat gram per mol 312,54 gr/mol, memiliki rantai karbon dua puluh 20:0, suhutitik lebur





34

pada temperatur tujuh puluh enam point satu derajat celcius  $76,1^{\circ}\text{C}$ , suhu titik didih pada temperatur dua ratus empat puluh derajat celcius  $240^{\circ}\text{C}$ , dan suhu titik nyala pada temperatur dua ratus delapan derajat celcius  $208^{\circ}\text{C}$ .

#### 8. Eikosanoat

Asam eikosanoat yaitu asam lemak tak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $\text{C}_{19}\text{H}_{27}\text{COOH}$ , dengan berat molekul dua ratus empat puluh point nol dua gram per mol  $240,02 \text{ gr/mol}$ . memiliki panjang rantai karbon dua puluh  $20:1$ , suhu titik lebur pada temperatur empat belas derajat celcius  $14^{\circ}\text{C}$ , suhu titik didih pada temperatur tiga puluh delapan derajat celcius  $38^{\circ}\text{C}$  dan suhu titik nyala pada temperatur sembilan puluh lima derajat celcius  $95^{\circ}\text{C}$ . asam lemak ini mempunyai 20 atom karbon dengan 1 ikatan ganda untuk gugus metil.

#### 9. Oleat

Asam oleat yaitu asam lemak tak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $\text{C}_{17}\text{H}_{33}\text{COOH}$ , dengan berat molekul dua ratus delapan puluh lima point sembilan puluh delapan gram per mol  $285,98 \text{ gr/mol}$ , jumlah panjang rantai karbon delapan belas  $18:1$ , suhu titik lebur enam belas derajat celcius  $16^{\circ}\text{C}$ , suhu titik didih seratus sembilan puluh lima derajat celcius  $195^{\circ}\text{C}$ , suhu titik nyala pada temperatur seratus delapan puluh derajat celcius  $180^{\circ}\text{C}$  dan asam lemak ini memiliki 18 atom karbon dengan 1 ikatan ganda pada gugus metil.

#### 10. Palmitoleat

Asam palmitoleat yaitu asam lemak tak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $\text{C}_{15}\text{H}_{29}\text{COOH}$ , dengan berat molekul dua ratus lima puluh tiga point empat puluh satu gram per mol  $253,41 \text{ gr/mol}$ , memiliki panjang rantai karbon enam belas  $16:1$ , suhu titik lebur pada temperatur dua puluh derajat celcius  $20^{\circ}\text{C}$ , suhu titik didih pada temperatur lima puluh empat derajat celcius  $54^{\circ}\text{C}$  dan suhu titik nyala pada temperatur seratus dua puluh empat derajat celcius  $124^{\circ}\text{C}$ . asam lemak ini memiliki 16 atom karbon, dengan 1 ikatan ganda pada gugus metil.

#### 11. Miristoleat

Asam miristoleat yaitu asam lemak tak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia  $\text{C}_{13}\text{H}_{25}\text{COOH}$ , dengan berat molekul dua ratus dua puluh empat point dua puluh gram per mol  $224,20 \text{ gr/mol}$ , memiliki panjang rantai karbon empat belas  $14:1$ , suhu titik lebur pada temperatur dua puluh dua derajat celcius  $22^{\circ}\text{C}$ , suhu titik didih pada



temperatur lima puluh sembilan derajat celsius 59°C. asam lemak ini memiliki 14 atom karbon dengan 1 ikatan ganda, pada gugus metil.

12. Linolenat

Asam linoleat yaitu asam lemak tak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia C<sub>17</sub>H<sub>29</sub>COOH, dengan berat molekul dua ratus tujuh puluh delapan point empat puluh empat gram per mol 278,44 gr/mol, memiliki panjang rantai karbon delapan belas 18:3n-6, suhu titik lebur pada -11°C, suhu titik didih pada temperatur dua puluh tiga derajat celsius 23°C, suhu titik nyala pada temperatur enam puluh derajat celsius 61°C dan Asam lemak ini memiliki 18 atom karbon, dengan 2 ikatan ganda untuk gugus metil. Sifat akibat dari kandungan asam linolenat yang banyak pada minyak yaitu akan mudah mengering dan akan mudah teroksidasi. Selanjutnya kecepatan laju oksidasi suatu asam lemak juga dipengaruhi oleh kadar pH, jika asam lemak memiliki pH rendah maka asam lemak semakin lebih cepat teroksidasi.

13. Linoleat

Asam linoleat yaitu asam lemak tak jenuh rantai panjang yang memiliki rumus kimia C<sub>17</sub>H<sub>31</sub>COOH, dengan berat molekul dua ratus delapan puluh point empat puluh lima gram per mol 280,45 gr/mol, suhu titik lebur pada temperatur -5°C, suhu titik didih pada temperatur dua puluh tiga derajat celsius 23°C, suhu titik nyala pada temperatur pada tujuh puluh tujuh derajat celsius 77°C dan asam lemak ini memiliki 18 atom karbon dengan 2 ikatan ganda untuk gugus metil. Sifat minyak yang memiliki kandungan asam linoleat yang tinggi minyak akan mudah mengering, tetapi pada kecepatan laju oksidasi lebih lambat teroksidasi jika dibandingkan asam linolenat.

14. Getah

Getah memiliki rumus struktur molekul C(CH<sub>2</sub>OH)<sub>4</sub>, dengan berat molekul seratus tiga puluh enam point tiga belas gram per mol 136,13 gr/mol, dengan panjang rantai karbon 5:0, suhu titik nyala pada temperatur dua ratus tujuh puluh lima derajat celsius 275°C, memiliki nilai kalor 5817,05 kal/gram dengan tingkat keasaman pH = 8,6. Secara alami getah berisi tiga 3 mfraksi yaitu : pertama fraksi yang paling banyak atau paling besar yaitu polisakarida, kedua yaitu fraksi dengan kandungan sedang (kurang lebih ± 10% dari berat getah) pada fraksi kedua berisi protein kompleks dan yang ketiga adalah fraksi yang sangat sedikit atau sangat rendah (kurang lebih ± 1%





dari berat getah) yang berupa glikoprotein yang merupakan hasil penelitian (Fenyo, *et. Al.*, 1990; Islam, *et. al.*, 1998; dan Yeal, *et. Al.*, 2006).

### 15. Gliserol

Gliserol pertama kali ditemukan dari campuran minyak zaitun oleh Scheele pada tahun 1779. Selanjutnya pada tahun 1784 Scheele berhasil menemukan gliserol dari minyak nabati dan lemak hewan. Berikutnya pada tahun 1811, Chevreul memberikan nama hasil penemuan Scheele dengan “gliserin” yang asal mulanya dari bahasa Yunani yaitu “glyseros” yang memiliki arti manis. Pada tahun berikutnya yaitu tahun 1823 Chevreul memperoleh hak paten untuk pertama kalinya untuk industri gliserin, yang berkembang menjadi industri yang besar yaitu untuk industri produksi lemak dan sabun. Gliserin merupakan nama dagang atau nama komersial dari produk yang terdiri pencampuran dari gliserol dan sejumlah kecil air. Pada tahun 1836 rumus kimia gliserol berhasil ditemukan oleh Pelouze pada tahun 1883, kemudian Barthelot dan Luce mempublikasikan rumus kimia dari gliserol yaitu  $C_3H_5(OH)_3$ . Fungsi dan aplikasi kegunaan gliserol sangat beragam, terutama digunakan sebagai pewarna, sebagai penyemprotan hama, sebagai zat anti beku, sebagai pembersih dan pencegah korosi, digunakan pada kosmetik, pada krim gigi, pada bahan peledak, pada pelarut, pada pemrosesan logam, pada pelunak kertas pembasah fotografi, dan pada obat-obatan (Kirk dan Othmer, 1980).

Gliserol memiliki sifat fisika antara lain : suhu titik lebur pada temperatur sembilan belas derajat celsius  $19^{\circ}C$ , suhu titik didih pada temperatur duaratus sembilan puluh derajat celsius  $290^{\circ}C$ , suhu titik nyala pada temperatur tiga ratus empat puluh lima derajat celsius  $345^{\circ}C$ , viskositas pada suhu duapuluh derajat celsius  $20^{\circ}C$  adalah  $1,499 \text{ kg/ms}$ , dan *specific heat* pada suhu  $26^{\circ}C$  untuk 99,9% gliserol  $0,5796 \text{ kal/gr}$ , sedangkan *density* pada suhu  $25^{\circ}C$  adalah  $1261,3 \text{ kg/m}^3$ , untuk suhu titik nyala *fire point* pada suhu dua ratus empat derajat celsius  $204^{\circ}C$  yang termasuk kategori tinggi hal ini disebabkan ikatan hidrogen yang kuat antar molekul gliserol hasil penelitian dari (kirk dan Othmer, 1980).

### 2.3. Biodiesel

Biodiesel atau methyl ester merupakan nama umum yang diberikan untuk penyebutan bahan bakar dengan kandungan *mono-alkyl ester* yang jika digunakan dapat terbakar dengan bersih. Nama methyl ester juga telah Resmi digunakan pada *the*



Department of Energy (DOE) departement energi, The Enviromental Protection Agency (EPA) Badan Perlindungan Lingkungan, dan American Society of Testing Material (ASTM) Asosiasi Amerika untuk uji material, methyl ester sebagai industri energi alternatif, yang berasal dari *mono-alkyl ester* yang sumbernya dari asam lemak yang dapat diperbaharui. Methyl ester merupakan bahan bakar mesin diesel dengan sumber lemak alami dan dapat terbarukan. Methyl ester dapat dihasilkan dengan reaksi transesterifikasi trigliserida pada minyak nabati.

Penggunaan minyak nabati untuk bahan baku pada biodiesel mempunyai beberapa kelebihan, antara lain sumber minyak nabati akan mudah diperoleh, pada proses pembuatan methyl ester yang berasal dari minyak nabati tergolong mudah dan cepat, serta pembuatan methyl ester dari minyak nabati memiliki tingkat konversi tinggi yaitu mencapai 95%. Pada minyak nabati memiliki komposisi kimia asam lemak yang berbeda-beda hal ini akan bergantung pada jenis tanamannya serta tempat lingkungan hidup tanamannya. Pada minyak nabati zat penyusun utama asam lemak adalah *triglyceride*, yaitu berupa tri ester gliserol dengan sambungan asam-asam lemak (C<sub>8</sub>-C<sub>24</sub>).

### 2.3.1. Standar Bio Diesel

Negara Indonesia telah melakukan penyusun Standar Nasional Indonesia untuk kualitas biodiesel methyl ester yaitu pada (SNI 04-7182-2006). Pada standar ini disusun dengan mendasari dan memperhatikan standar biodiesel yang sudah digunakan diluar negeri yaitu sandar ASTM D-6751 di Amerika Serikat dan standar EN 14214:2002 (E) untuk negara Eropa.

Kualitas biodiesel dipengaruhi oleh antara lain pada kualitas minyak yang ada, kualitas pada komposisi asam lemak dari minyak, pada proses produksi dan bahan lain yang dipakai pada proses pembuatan juga bergantung pada parameter pasca produksi seperti terdapatnya kontaminan. Pada zat kontaminan diantaranya adalah pada gliserin terikat, pada alkohol, pada residu katalis, pada aromatic, pada bahan tak tersabunkan, pada air, pada gliserin bebas, dan abu.

Berdasarkan penelitian Mittlebach & Remschmidt (2004), kualitas biodiesel ditentukan beberapa hal yaitu :

1. Densitas





Pada densitas merupakan berat biodiesel per satuan volume. Pada penggunaan alat injeksi bahan bakar akan berjalan dan bekerja dengan basis ukuran volume, sehingga jika densitas lebih besar maka akan menyebabkan massa yang diinjeksikan pada mesin akan lebih besar. Pada densitas fatty acid methyl ester (FAME) untuk asam lemak jenuh lebih besar jika dibandingkan dengan fatty acid methyl ester dari asam lemak tak jenuh. Dengan demikian komposisi dari asam lemak jenuh dan tak jenuh akan mempengaruhi dari kualitas bio diesel.

## 2. Viskositas Kinematik

Pada viskositas kinematik akan lebih memperlihatkan resistensi aliran cairan pada kondisi yang terpengaruh gravitasi. Untuk viskositas kinematik jika bekerja pada mesin akan sama dengan viskositas dinamik/densitas. ukuran ini merupakan parameter yang digunakan pada spesifikasi rancangan dasar injektor bahan bakar pada mesin diesel. Viskositas merupakan sifat yang sangat penting dari biodiesel karena akan mempengaruhi pada pengoperasian dan berjalannya injeksi bahan bakar, hal ini akan sangat berpengaruh terutama pada awal menjalankan mesin yaitu pada suhu rendah yang akan berpengaruh pada mesin diesel yang berjalan, kenaikan viskositas akan mempengaruhi fluiditas bahan bakar. Pada methyl ester memiliki viskositas yang mendekati bahan bakar diesel dari minyak bumi. Hal yang harus diperhatikan jika viskositas tinggi, maka injektor akan bekerja dengan berat atau terjadinya penurunan fungsi kerja mesin.

## 3. Angka Setana

Pada angka setana merupakan parameter untuk menunjukkan seberapa cepat bahan bakar mesin diesel yang telah diinjeksikan ke ruang bakar kemudian akan terbakar secara spontan dalam hal ini setelah bahan bakar bercampur dengan udara. Semakin cepat bahan bakar terbakar setelah diinjeksikan ke dalam ruang bakar mesin diesel, maka semakin tinggi nilai angka setana bahan bakar tersebut. Dan pada umumnya methyl ester memiliki angka setana yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar. Hal ini juga dipengaruhi oleh panjangnya rantai hidrokarbon yang terdapat pada ester yaitu pada alkil ester.

## 4. Titik Nyala

Pada titik nyala bahan bakar merupakan kemampuan terbakar (*flammability*) dari bahan bakar. Dan titik nyala merupakan ukuran atau parameter untuk mengetahui



dampak yang ditimbulkan karena bahan bakar yaitu bahaya selama perjalanan atau penyimpanan (Mittelbach & Remschmidt, 2004). Titik nyala dari biosolar atau methyl ester murni harus kurang dari dua ratus derajat celcius  $>200^{\circ}\text{C}$ , yang dapat dikategorikan sebagai bahan bakar yang tidak mudah terbakar.

### 2.3.2. Standar mutu Biosolar

Standar mutu bio solar atau methyl ester untuk negara Indonesia harus sesuai dengan keputusan Badan Standarisasi Nasional (BSN) pada keputusan No: 73/KEP/BSN/2/2006 yaitu :

Tabel. 2.4 : Syarat Kualitas Biodiesel berdasarkan SNI 04-7182-2006 (Dirjen Migas, 2013)

No.	Parameter	Satuan	Nilai	Metode Uji
1	Densitas pada $40^{\circ}\text{C}$	$\text{kg}/\text{m}^3$	850-890	ASTM D 1298
2	Viskositas pada $40^{\circ}\text{C}$	$\text{mm}^2/\text{s}$ (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	-	Minimal 51	ASTM D 613
4	Titik nyala	$^{\circ}\text{C}$	Minimal 100	ASTM D 93
5	Titik kabut	$^{\circ}\text{C}$	Maksimum 18	ASTM D 2500
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada suhu $50^{\circ}\text{C}$ )	-	Maksimum no. 3	ASTM D 130
7	Residu karbon	% massa	Maksimum 0,05	ASTM D 4530
8	Air dan sedimen	% volume	Maksimum 0,05	ASTM D 2709
9	Temperatur distilasi 90%	$^{\circ}\text{C}$	Maksimum 360	ASTM D 1160
10	Abu tersulfatkan	% massa	Maksimum 0,02	ASTM D 874
11	Belerang	ppm (mg/kg)	Maksimum 100	ASTM D 5453
12	Fosfor	ppm (mg/kg)	Maksimum 10	OACS Ca 12-55
13	Angka asam	mg-KOH/kg	Maksimum 0,8	ASTM D 664

### 2.4. Solar

Solar merupakan bahan bakar mesin diesel yang berbahan dasar dari minyak bumi yang dihasilkan dengan proses penyulingan minyak bumi. Penggunaan solar untuk mesin diesel solar memiliki komposisi dua elemen utama yaitu: yang pertama normal cetana ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) dan yang kedua *a-methyl* naptalen ( $\text{H}_{16}\text{H}_7\text{CH}_3$ ). Selain dari dua bahan utama tersebut solar juga memiliki kandungan unsur-unsur yang sama dengan bahan bakar bensin, namun solar memiliki komposisi kadar sulfur yang lebih besar dari bensin yaitu kadar sulfur solar lebih besar dari 1%. Pada umumnya Solar memiliki komposisi terdiri dari tiga puluh sampai dengan tiga puluh lima persen 30-35% senyawa hidrokarbon aromatis dan enam puluh lima sampai dengan tujuh puluh persen 65-70% senyawa hidrokarbon parafin, dan juga sedikit senyawa hidrokarbon olefin, yang terdiri





dari alkil ester dengan rantai  $C_{10}$  sampai  $C_{16}$  serta sulfur. Pada senyawa hidrokarbon aromatis termasuk dalam senyawa hidrokarbon tidak jenuh dengan rumus umum  $C_nH_{2n-6}$ , dan hidrokarbon ini memiliki sifat kimia yang sangat reaktif. Sedangkan untuk senyawa hidrokarbon parafin termasuk dalam senyawa hidrokarbon jenuh yang memiliki rumus umum  $C_nH_{2n+2}$ . Sifat dari senyawa ini yaitu mempunyai sifat kimia stabil dan tidak mudah bereaksi. Pada senyawa hidrokarbon olefin termasuk dalam senyawa hidrokarbon tidak jenuh yang memiliki satu ikatan rangka (*monoolefin*) mempunyai rumus umum  $C_nH_{2n}$  sifat dari senyawa ini yaitu memiliki sifat kimia reaktif dan dengan dua ikatan rangkap (*diolenin*) dengan rumus umum  $C_nH_{2n-2}$ , senyawa ini memiliki sifat kimia tidak stabil dan sangat reaktif. Sifat fisika solar mendidih sekitar pada suhu  $175-375^\circ\text{C}$ , dengan titik nyalanya minimal pada suhu  $52^\circ\text{C}$ , memiliki angka setana 40 sampai 60 dengan karakter keterlambatan waktu penyalaan yang sangat pendek, kurang lebih  $1/1000$  detik.

#### 2.4.1. Standar Solar

Untuk standar mutu solar di Indonesia harus berdasar SNI 04-7182-2006 yang sesuai dengan surat Keputusan Dirjen Migas 978K/10/DJM/2013 tertanggal 19 Nopember 2013.

Tabel. 2.5. Syarat mutu minyak solar berdasarkan SNI 04-7182-2006  
(Dirjen Migas, 2013)

No	Parameter	Unit	Batasan		Metode uji
			Minimum	Maksimum	ASTM
1	Angka setana	-	48	-	D 613
2	Indek setana	-	45	-	D 4737
3	Densitas pada $15^\circ\text{C}$	$\text{kg/m}^3$	815	870	D 1298
4	Viskositas pada $15^\circ\text{C}$	$\text{mm}^2/\text{s}$	2,0	5,0	D 445
5	Kandungan sulfur	% massa	-	0,35	D 2622
6	Distilasi: T 90	$^\circ\text{C}$	-	370	D 86
7	Titik nyala	$^\circ\text{C}$	-	-	D 93
8	Titik tuang	$^\circ\text{C}$	-	18	D 97
9	Residu karbon	% massa	-	0,1	D 4530

#### 2.4.2. Sifat Solar

Beberapa Sifat utama bahan bakar solar yaitu:

1. Pada warna dan bau solar yaitu tidak berwarna atau berwarna kuning muda dan berbau.
2. Pada penguapan solar tidak terlalu mudah menguap pada temperatur normal.



3. Temperatur titik nyala atau temperatur minimum solar mulai terbakar bila dekat dengan api yaitu suhu  $60^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$  hal ini dianggap lebih aman jika dibandingkan temperatur titik nyala bensin yaitu  $10^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$ .
4. Pada temperatur nyala atau temperatur solar menyala dengan sendirinya tanpa ada pengaruh api dari luar adalah pada suhu  $350^{\circ}\text{C}$  dan lebih rendah jika dibandingkan dengan temperatur nyala bensin yaitu pada suhu  $380^{\circ}\text{C}$ .
5. Berat jenis solar berkisar antara 0,82-0,86
6. Nilai kalor yang dihasilkan solar yaitu 10500 kkal/kg
7. Kadar sulfur jika dibandingkan dengan bensin maka kadar sulfur solar lebih banyak yaitu kadar sulfur solar lebih besar 1%, jika dibandingkan dengan methyl ester karena pada methyl ester tidak mengandung sulfur.

#### 2.4.3. Sifat Bahan Bakar Minyak

Sifat-sifat atau karakteristik *thermal* bahan bakar minyak yang terpenting antara lain pertama pada kualitas penyalaan (*ignition quality*), kedua pada volatilitas (*volatility*), ketiga pada viskositas (*viscosity*), keempat pada titik nyala (*flash point*), kelima pada titik tuang (*pour point*), keenam pada titik awan/kabut (*cloud point*), ketujuh pada titik cair/lebur (*melting point*), kedelapan pada titik didih (*boiling point*), *heating value*, dan kesembilan pada angka setana (*cetan number*).

##### 1. Kualitas Penyalaan

kemudahan penyalaan bahan bakar diesel atau sensitivitas penyalaan itu dinyatakan dengan *cetane number/calculate cetan index*, atau bilangan setana pada minyak diesel ditentukan dengan mesin uji baku CFR (ASTM D 613). Pada bahan bakar semakin tinggi campuran cetana ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) dan *naptalen-metil-alfa* ( $\text{C}_{11}\text{H}_{10}$ ), maka penyalaan bahan bakar akan semakin baik, untuk cetana yang mempunyai kualitas penyalaan baik dan bahan bakar akan cepat menyala memiliki angka cetan, 100. Sebaliknya pada *naptalen-metil-alfa* yang mempunyai kualitas penyalaan jelek diberikan angka bilangan 0. Jika pada minyak diesel pada motor pengujian memiliki komposisi campuran 52% cetan dan 48% *naptalen-metil-alfa*, maka minyak diesel tersebut dianggap mempunyai suatu bilangan cetan 52. Pada angka cetan semakin tinggi bilangan cetan, bahan bakar diesel semakin mudah terbakar dan ketukan diesel lebih mudah dihilangkan. Tetapi pada prakteknya bilangan cetan tidak boleh terlampaui tinggi, karena jika angka cetan terlalu tinggi maka pembakaran akan mulai terlalu cepat.





42

## 2. Volatilitas

Pada bahan bakar diesel atau solar jika digunakan padamesin diesel harus distart atau harus mudah dinyalakan dengan demikian bahan bakar diesel harus rendah *volatility*-nya, dengan demikian bahan bakar diesel atau solar akan membentuk campuran yang mudah terbakar dengan cepat, jika *cetane rating* tinggi maka suhu penyalaannya (*ignition temperature*) rendah. Untuk volatilitas bahan bakar diesel atau solar dapat ditentukan dengan uji destilasi ASTM D 86-90.

## 3. Viskositas

Viskositas yaitu suatu angka yang menyatakan besarnya hambatan atau besarnya tahanan geser dari bahan cair untuk mengalir. Semakin tinggi angka viskositas maka bahan cair atau zat cair akan mengalir, jika pada bahan bakar dapat mempengaruhi kerja alat injeksi bahan bakar karena membutuhkan tekanan yang besar hal ini dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, mempercepat keausan pada komponen pompa dan injektor bahan bakar. Viskositas yang tinggi juga mempersulit pengabutan bahan bakar. Sebaliknya jika semakin rendah viskositas zat cair maka semakin mudah minyak mengalir. Pada mesin dengan kecepatan tinggi bahan bakar yang sesuai mempunyai viscosity 37-75 sec (60 ml pada suhu 100<sup>0</sup>F). jika dilakukan Pemanasan awal pada bahan bakar dari minyak nabati maka dapat menurunkan viskositas bahan bakar minyak nabati sehingga viskositasnya mendekati solar dan efisiensi termis mesin menjadi naik (Ingle, *et.al.* 2011; Ali, 2005).

## 4. Titik Nyala

Titik nyala yaitu temperatur terendah dimana bahan bakar mulai terbakar. Faktor ini adalah penting untuk keamanan terhadap kebakaran pada saat penyimpanan dan perjalanan kendaraan. Minyak bakar mempunyai titik nyala 150-300<sup>0</sup>F.

## 5. Titik Asap

Titik asap yaitu temperatur dimana pada saat bahan bakar atau minyak atau lemak menghasilkan asap tipis kebiru-biruan.

## 6. Titik Api

Titik api yaitu temperatur dimana bahan bakar pada saat terbakar atau dihasilkan pembakaran akan terbakar secara terus menerus sampai habisnya contoh uji.

## 7. Titik Kabut



Titik tuang atau titik kabut pada bahan bakar diesel cairan harus mengalir dengan bebas pada suhu atmosfer terendah yaitu pada kondisi bakar digunakan. Titik tuang atau titik kabut yaitu suhu terendah dimana bahan bakar diesel dapat mengalir atau disebut *pour point*. Pada temperatur suhu sekitar 10°F diatas titik tuang, cairan bahan bakar diesel dapat berkabut. Fenomena ini diakibatkan adanya pemisahan kristal yang kecil-kecil. Untuk negara Indonesia yang memiliki kondisi suhu udara relatif tinggi sepanjang tahun, maka bahan bakar diesel ditetapkan dengan titik maksimum 65°F.

#### 8. Titik Cair

Titik cair yaitu suhu dimana dari fase padat berubah ke fase cair pada kondisi tekanan dibawah 1 atmosfer.

#### 9. Titik Didih

Titik didih yaitu suhu dimana bahan bakar cair yang jika dipanasi akan mulai mendidih. Pada bahan bakar diesel dengan semakin panjang rantai karbon suatu asam lemak, dari bahan bakar cair maka akan semakin meningkat titik didihnya.

#### 10. Nilai Kalor

Nilai kalor yaitu suatu angka yang menunjukkan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dengan jumlah tertentu dengan campuran oksigen. Pada nilai panas atau nilai kalor tergantung pada fase cair atau uap pada hasil produk pembakaran. Jika H<sub>2</sub>O berada dalam keadaan bentuk uap, maka nilai panasnya disebut dengan nilai panas terendah LHV (*lower heating value*) (Hardjono, 2001).

#### 11. Angka Setana

Angka setana yaitu angka yang menyatakan kualitas pembakaran dari bahan bakar mesin diesel. Angka setana diperlukan untuk mencegah terjadinya knocking atau suara pukulan di dalam ruang bakar diesel. pada mesin diesel yang bekerja dengan putaran tinggi diperlukan bahan baka yang memiliki angka cetan tinggi, dan sebaliknya juga pada mesin diesel yang bekerja pada putaran rendah bahan bakar yang diperlukan bahan bakar adalah bahan bakar dengan angka setana rendah.

### 2.5. Spray

Pada peristiwa spray maka terjadi fenomenapenyebaran droplet, dan droplet ini akan mewakili banyaknya butiran pada spray. Jika spray pada penguapan butiran terkena panas, maka perilaku butiran akan berhubungan dengan beberapa permukaan



temperatur spesifik, seperti titik penguapan maksimum. Dan pada proses perpindahan panas butiran dapat dipengaruhi oleh banyak parameter yaitu, pada ukuran butiran, pada sudut kontak, pada kecepatan, pada temperatur cairan, pada temperatur awal permukaan, pada sifat fisika cairan, surfaktan dan gravitasi, (Senda, *et. al.*, 1938 Chandra & Avedisian, 1991).

Perpindahan kalor atau panas dan deformasi selama butiran bergerak dikategorikan ke dalam bagian kurva mendidih, yaitu pusat butiran masa terjadi transisi, dan lapisan yang mendidih, dan lapisan uap tipis, (Bernadim *et. al.*, 1997). Pada penelitian Shi, *et. al.*, (1993), perpindahan panas dan pendinginan akan bergantung kepada suhu permukaan lapisan. Pada saat butiran spray dengan bagiat titik droplet pada permukaan tidak terjadi gelembung, dapat diakibatkan pada saat itu aliran panas tidak stabil dan konduksinya kuat, (Shi *at. al.*, 1993). Setelah tahap awal selesai makan perpindahan panas antara butiran dan permukaannya akan masuk ke pusat butiran, masa transisi, dan lapisan yang mendidih, dan terjadi pembakaran.

Efisiensi pada perpindahan panas butiran spray dapat ditingkatkan dengan menurunkan temperatur dan sudut kontak butiran. Temperatur awal menjadi parameter yang paling penting yang mempengaruhi karakteristik perpindahan panas butiran (Shi *at. al.*, 1993), karena akan menentukan sebagian besar dimana bagian perpindahan panas proses pendinginan pada butiran spray yang sebenarnya.

Penelitian Chandra & Avedisian, (1991) mendapatkan dinamika tumbukan dari cairan butiran (n-heptana) pada permukaan, dengan menggunakan foto kecepatan tinggi, pada hasil penelitian menampilkan fenomena secara menyeluruh dari gambar yang jelas dari bentuk butiran, morfologi, dan struktur selama proses deformasi. Metode yang digunakan dalam percobaan mereka, menggunakan magnet, dengan diameter awal butiran 1,5 mm, dan tekanan udara luar 0,101 Mpa. Suhu permukaan berkisar antara 24°C. pada peristiwa evolusi luas penampang basah dan laju penyebaran butiran baik pada dipengaruhi viskositas yang rendah pada saat eksperimen (Chandra & Avedisian, 1991). Dengan meningkatnya temperatur permukaan, populasi gelembung dalam droplet meningkat sebagai hasil dari aktivasi dipusat butiran. Pada permukaan dengan temperature dekat titik didih cairan (98,4°C), terbentuk lapisan cair dari butiran, karena perpaduan dari lingkaran gelembung yang terbentuk di dalam butiran menyebar. Sehingga pada spray akan ikut terpengaruh juga.





## 2.6. Pembakaran

Pembakaran sangat penting perannya dalam kehidupan modern saat ini terutama yang berkaitan teknologi tinggi. Karena hampir semua energy besar yang digunakan di dunia didapat dari proses pembakaran. Pembakaran sangat berperan dan sangat diperlukan terutama pada kegiatan yang memerlukan power atau tenaga yang besar. Pada pembakaran tenaga yang besar akan didapat dari pelepasan panas dalam waktu yang singkat. Sampai saat ini hanya dengan proses pembakaran yang dapat menghasilkan energi dan panas dalam waktu yang singkat. Teknologi modern pada transportasi, teknologi militer, industri dan pembangkit tenaga listrik kebanyakan memakai proses pembakaran. Peranan proses pembakaran hampir dari semua aspek tersebut belum bisa digantikan oleh sumber proses energi yang lain, karena keunggulan proses pembakaran antara lain: pada proses pembakaran energi bisa didapat dalam waktu yang sangat singkat, pada proses pembakaran didapat dayanya besar bisa diperoleh dari alat yang relatif kecil dan pada proses pembakaran mudah dikontrol. Namun demikian pada proses pembakaran juga menimbulkan dampak negatif yaitu kerusakan dan penurunan kualitas lingkungan yang sangat besar baik akibat eksploitasi sumber energi pembakaran maupun sisa hasil pembakaran. Oleh sebab itu penelitian tentang pembakaran harus terus menerus ditingkatkan sehingga dampak negatif yang ditimbulkan dapat diminimalkan. Dan hal lain yaitu bahan bakar dari fosil perlu dicarikan bahan bakar alternatif baru yang ramah lingkungan yaitu salah satunya dari minyak nabati.

Pembakaran yaitu reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan oksidator (oksigen) yang menghasilkan suatu panas dan cahaya. Pada proses pembakaran dapat terjadi apabila ada bahan bakar, oksigen dan energi aktivasi. Energi aktivasi pada pembakaran perlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar sehingga pada proses berikutnya akan terjadi pembakaran. Pada proses pembakaran yang berlangsung terus menerus atau kontinyu pada umumnya energi aktivasi berikutnya diperoleh dari panas hasil pembakaran. Untuk mesin pembakaran dalam penyediaan energi aktivasi didapat dari pemantik tegangan tinggi atau kompresi yang menghasilkan temperatur tinggi. Proses pembakaran terjadi dengan adanya molekul-molekul aktif, yang dimaksud dengan molekul aktif yaitu molekul-molekul yang bermuatan atau disebut ion. Molekul atau atom bermuatan yang terjadi akibat pemutusan ikatan dari molekul-





molekul disebut radikal bebas. Dan molekul bermuatan atau radikal bebas mempunyai sifat sangat reaktif dan mudah bereaksi disebabkan ketidakstabilan muatannya. Dengan demikian keberadaan radikal bebas sangat berperan dalam membantu proses reaksi proses pembakaran.

### **2.6.1. Klasifikasi Pembakaran Secara Umum**

Klasifikasi pembakaran secara umum dapat dikarakteristik dan diklasifikasikan menjadi tiga yaitu: Pembakaran klasifikasi yang pertama ditentukan bagaimana udara dan bahan bakar bisa terbakar di daerah reaksi. Yaitu jika bahan bakar dan udara bercampur sebelum masuk pada daerah reaksi maka pembakaran tersebut termasuk dalam kategori pembakaran primexed. Pada proses pembakaran primexed reaksi berlangsung sangat cepat dan biasanya terjadi tekanan tetap dengan karakteristik api yang merambat. Pada klasifikasi yang kedua yaitu jika bahan bakar dan udara bercampur di daerah reaksi, maka proses pembakaran itu termasuk dalam klasifikasi pembakaran difusi. Pada proses pembakaran difusi api yang terjadi tidak dapat merambat menuju ke arah bahan bakar karena kekurangan oksigen. Dan demikian juga sebaliknya tidak bisa merambat ke udara jika pada saat proses pembakaran kekurangan bahan bakar. Karakteristik yang kedua proses pembakaran ditentukan oleh perilaku udara dan terjadinya turbulensi pada pembakaran. Pada proses pembakaran secara laminar akan terjadi apabila seluruh proses pencampuran udara dan bahan bakar, perambatan api dan panas yang terjadi secara molekuler. Pada bahan bakar yang berbentuk cair pada mesin diesel, energi diperlukan untuk merubah cair menjadi gas, sedangkan dalam bentuk gas dapat dilihat pada kompor gas, dalam proses pembakaran ini energi yang diperlukan untuk proses pembakaran lebih sedikit. Jika pada proses pembakaran semakin sedikit energi yang diperlukan maka dalam pembakaran bentuk warna apinya semakin biru. Hal ini disebabkan karena molekulnya memiliki energi yang lebih tinggi untuk berdifusi.

### **2.6.2. Pembakaran Difusi**

Pembakaran difusi yaitu proses pembakaran yang terjadi jika bahan bakar dan pengoksidasi yaitu udara atau  $O_2$  tidak dicampur secara mekanik, tetapi bercampur sendiri secara alami atau dengan proses difusi. Jika pada pencampuran bahan bakar dan udara atau oksigen dengan proses difusi mencapai kondisi campuran mendekati stoikiometrik, dan panas yang dilepas oleh api pada daerah pencampuran sudah



cukup maka proses pembakaran akan terjadi atau berlangsung. Proses pembakaran difusi ini dapat dijumpai pada berbagai proses pembakaran seperti peristiwa nyala lilin, pada api kebakaran, proses pembakaran yang terjadi di industry, proses pembakaran di turbin gas, pada proses pembakaran mesin diesel, proses pembakaran mesin-mesin propulsi dan yang lainnya.

Proses pembakaran api difusi dalam bentuk yang paling sederhana biasanya terdiri dari zona reaksi eksotermis yang memisahkan pengoksidasi dan bahan bakar gas. Dengan demikian Proses pembakaran api difusi tidak memiliki karakter kecepatan perambatan. Namun pada proses pembakaran api difusi sifat api difusi akan sangat tergantung pada situasi aerodinamika aliran.

## **2.7. Kinetika Reaksi**

### **2.7.1. Reaksi Elementer**

Pada keadaan nyata sangat sulit untuk menggambarkan peristiwa pembakaran beberapa molekul pengoksidasi akan bertabrakan dengan satu molekul tunggal bahan bakar secara simultan dan membentuk molekul-molekul produk, dan fenomena ini membutuhkan beberapa pemutusan ikatan-ikatan yang ada dan selanjutnya membentuk beberapa ikatan-ikatan baru. Pada peristiwa reaksi elementer, molekul-molekul akan bertumbukan secara tepat, pemutusan serta pembentukan ikatan secara tepat akan relatif tinggi. pada reaksi elementer agar reaksi bisa terjadi, molekul-molekul harus saling bertabrakan dalam arah yang tepat dan memutus serta membentuk ikatan-ikatan yang tepat pula.

### **2.7.2. Energi Aktifasi**

Energi aktifasi yaitu energi minimum yang diperlukan untuk berlangsungnya suatu reaksi. Pada peristiwa pembakaran jika molekul-molekul yang bertumbukan berlangsung dengan energi yang lebih rendah dari energi aktifasi maka reaksi tidak akan terjadi. Hanya dengan tumbukan yang memiliki energi sama atau lebih besar dari energi aktifasi yang akan membuat reaksi dapat berlangsung. Pada proses pembakaran ini di dalam reaksi kimia, ikatan-ikatan molekul diputus dengan sejumlah energi dan membentuk ikatan baru yang akan melepaskan sejumlah kalor atau energi tertentu. Dan pada umumnya ikatan-ikatan molekul harus diputuskan terlebih dahulu sebelum ikatan yang baru terbentuk.



## 2.7.3. Reaksi Berantai dan Percabangan

### 2.7.3.1. Reaksi Berantai

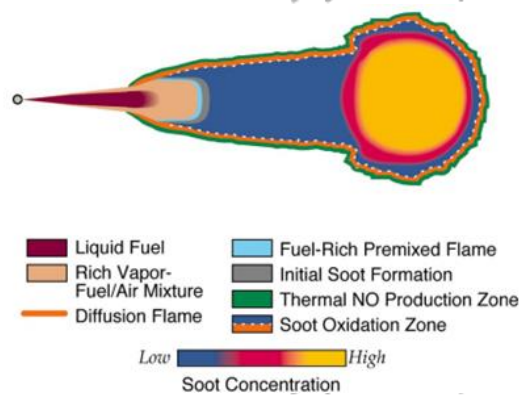
Pada reaksi berantai tahapan yang terjadi meliputi pembentukan spesies radikal dan selanjutnya membentuk radikal yang lain. Radikal ini akan bereaksi lagi dan menghasilkan radikal lain dan begitu seterusnya. Fenomena siklus kejadian ini disebut sebagai reaksi berantai, yang akan berlangsung terus menerus sampai reaksi dari dua radikal membentuk spesies stabil yang mengakhiri siklus reaksi.

### 2.7.3.2. Reaksi Rantai bercabang

Pada reaksi ini terjadi pembentukan dua jenis radikal dari reaksi yang membutuhkan hanya satu radikal. timbulnya tahap percabangan rantai dalam mekanisme rantai reaksi biasanya memiliki efek ledakan. Dengan adanya percabangan rantai, konsentrasi spesies radikal dapat membentuk geometri yang menyebabkan hasil pembentukan produk sangat cepat. Kecepatan pada tahap awal reaksi berantai sama sekali tidak mengendalikan kecepatan reaksi secara keseluruhan, dengan demikian kecepatan reaksi radikal menjadi lebih dominan. Sebagai contoh pada peristiwa perilaku ledakan campuran  $H_2$  dan  $O_2$  adalah merupakan hasil dari tahap reaksi rantai bercabang.

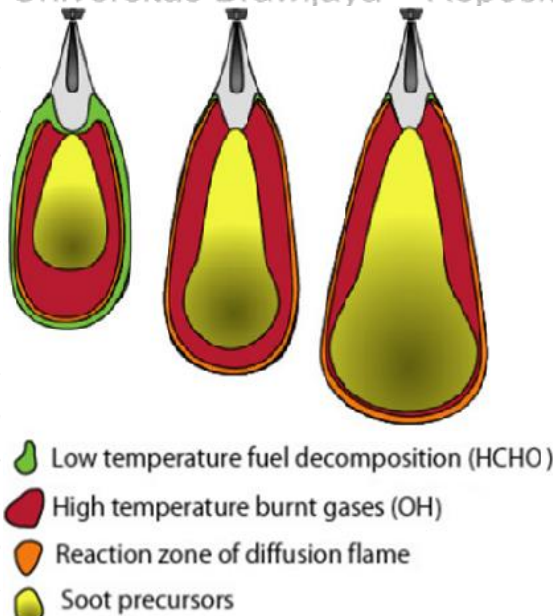
## 2.8. Warna

Dalam kehidupan sehari-hari kehidupan manusia selalu berinteraksi dengan warna. Dari peralatan fotografi, elektronik, percetakan, visual digital dan lain-lain. Warna dapat digunakan dalam pengetahuan visual pembakaran (Ejilah et. al:2013 ; Lukai et. al:2015 ; Chen Juan:2012)



Gambar 2.12. Model api pembakaran spray berdasarkan zonasi dan warna (Park et. al. : (2009)





Gambar 2.13. Model api pembakaran spray berdasarkan warna (lyle:2011)

### 2.8.1. Red Green Blue (RGB)

RGB adalah suatu model warna yang terdiri atas 3 buah warna: merah (Red), hijau (Green), dan biru (Blue), yang ditambahkan dengan berbagai cara untuk menghasilkan bermacam-macam warna. RGB merupakan model warna aditif, yaitu ketiga berkas cahaya yang ditambahkan bersama-sama, dengan menambahkan panjang gelombang, untuk membuat spektrum warna akhir.

Kegunaan utama model warna RGB adalah untuk menampilkan citra / gambar dalam perangkat elektronik, seperti televisi dan komputer, walaupun juga telah digunakan dalam fotografi biasa. Sebelum era elektronik, model warna RGB telah memiliki landasan yang kuat berdasarkan pemahaman manusia terhadap teori trikromatik.

Model warna ini merupakan model warna yang paling sering dipakai. Contoh alat yang memakai mode warna ini yaitu TV, kamera, pemindai, komputer, dan kamera digital. Kelebihan model warna ini adalah gambar mudah disalin / dipindah ke alat lain tanpa harus di-convert ke mode warna lain, karena cukup banyak peralatan yang memakai mode warna ini. Kelemahannya adalah tidak bisa dicetak sempurna dengan printer, karena printer menggunakan mode warna CMYK, sehingga harus diubah terlebih dahulu.



### 2.8.2. Cyan Magenta Yellow Key/Black (CMYK)

Cyan Magenta Yellow Key, atau lebih populer disingkat CMYK yaitu proses pencampuran antara pigmen yang biasa digunakan pada percetakan. Yaitu pada tinta process cyan, pada process magenta, pada process yellow, pada process black dicampurkan dengan komposisi yang sesuai dan akurat dengan demikian menghasilkan warna yang sesuai seperti yang diinginkan. dan bila suatu saat akan diperlukan kembali, warna ini dengan mudah dapat dibentuk kembali. Sistem warna CMYK juga digunakan oleh pada printer dengan kelas bawah karena dianggap lebih ekonomis.

CMYK yaitu kependekan dari warna cyan, warna magenta, warna yellow-kuning, dan warna utama/key (black-hitam). Warna ini sering dijadikan referensi sebagai suatu proses pewarnaan dengan mempergunakan empat warna yaitu bagian dari model pewarnaan sangat yang sering dipergunakan dalam percetakan berwarna. Namun model warna ini juga dipergunakan untuk menjalankan proses pewarnaan. Meskipun berbeda-beda pada setting dan prosenya pada tempat percetakan, penggunaan ini pada operator surat-khabar, pabrik surat khabar dan pengguna lain yang terkait. Tinta untuk proses ini biasanya, diatur berdasarkan urutan dari singkatan CMYK tersebut.

Pada model CMYK ini, baik sebagian ataupun keseluruhan, biasanya ditimpakan dalam gambar dengan warna latar putih dalam hal ini warna ini dipilih, dikarenakan dia dapat menyerap panjang struktur cahaya tertentu. Penggunaan seperti ini sering dikenal dengan nama "subtractive", karena pada saat bekerja warna-warnanya mengurangi warna terang dari warna putih.

Jika dibandingkan dengan model yang lain "additive color", seperti halnya RGB (Red-Merah, Green-Hijau, Blue-Biru), maka pada warna putih menjadi warna tambahan dari kombinasi warna-warna utama, sedangkan pada warna hitam dapat terjadi tanpa adanya suatu cahaya. Untuk model CMYK, berlaku sebaliknya: warna putih akan menjadi warna natural dari kertas atau warna latar, dan untuk warna hitam adalah warna kombinasi dari warna-warna utama. Pada proses percetakan untuk menghemat biaya untuk membeli tinta, dan untuk menghasilkan warna hitam yang lebih gelap, maka dibuatlah satu warna hitam khusus yang digunakan khusus untuk menggantikan warna kombinasi dari cyan, magenta dan kuning.






















### 2.8.3. Hue Saturation Value (HSV)

HSV mendefinisikan warna dalam terminologi Hue, Saturation dan Value.

Keuntungan HSV adalah terdapat warna-warna yang sama dengan yang ditangkap oleh indra manusia. Sedangkan warna yang dibentuk model lain seperti RGB merupakan hasil campuran dari warna-warna primer.

Model HSV, pertama kali diperkenalkan oleh A.R Smith pada tahun 1978, yang ditunjukkan pada gambar diatas. Silakan dicermati bagaimana teman-teman menafsirkan. Melalui model gambar diatas, kita tahu bahwa HSV memiliki 3 karakteristik pokok, yaitu Hue, Saturation dan Value. Apa yang dimaksud ketiganya?

Hue: menyatakan warna sebenarnya, seperti merah, violet, dan kuning dan digunakan menentukan kemerahan (redness), kehijauan (greeness), dan sebagainya. Saturation: kadang disebut chroma, adalah kemurnian atau kekuatan warna. Value: kecerahan dari warna. Nilainya berkisar antara 0-100 %. Apabila nilainya 0 maka warnanya akan menjadi hitam, semakin besar nilai maka semakin cerah dan muncul variasi-variasi baru dari warna tersebut.

Nama	Contoh	Kode warna	RGB			CMYK			HSV
Abu-abu		#808080	128	128	128	58, 50, 47, 0	0, 0, 50		
Biru		#0000FF	0	0	255	95, 73, 0, 0	240, 100, 100		
Biru dongker		#000080	0	0	128	100, 99, 56, 46	240, 100, 50		
Biru laut (Sian)		#00FFFF	0	255	255	100, 0, 0, 0	180, 100, 100		
Coklat		#964B00	150	75	0	59, 82, 100, 43	30, 100, 59		
Emas		#FFD700	255	215	0	0, 17, 94, 0	51, 100, 100		
Hijau		#00FF00	0	255	0	62, 0, 100, 0	120, 100, 100		
Hitam		#000000	0	0	0	93, 88, 89, 90	0, 0, 0		
Kuning		#FFFF00	255	255	0	0, 0, 255, 0	60, 100, 100		
Magenta		#FF00FF	255	0	255	0, 100, 0, 0	300, 100, 100		
Mawar		#FF007F	255	0	127	0, 100, 50, 0	330, 100, 100		
Merah		#FF0000	255	0	0	0, 255, 255, 0	0, 100, 100		
Merah jambu		#FFC0CB	255	192	203	0, 63, 52, 0	350, 25, 100		
Merah marun		#800000	128	0	0	0, 255, 255, 127	0, 100, 50		
Nila		#6F00FF	111	0	255	57, 100, 0, 0	266, 100, 100		
Oranye		#FF7F00	255	127	0	0, 50, 100, 0	30, 100, 100		
Perak		#C0C0C0	192	192	192	0, 0, 0, 63	0, 0, 75		
Putih		#FFFFFF	255	255	255	0, 0, 0, 0	0, 0, 100		
Ungu		#BF00FF	191	0	255	25, 100, 0, 0	285, 100, 100		
Violet		#8F00FF	143	0	255	44, 255, 0, 0	274, 100, 100		
Zaitun		#808000	128	128	0	0, 0, 100, 50	60, 100, 50		

Gambar 2.14. perbandingan warna, kode warna dan angka desimal pada sistem warna RGB, CMYK dan HSV (Dave Raggett: 1997)



## 2.9. Polaritas Minyak Nabati

Kepolaran adalah potensi suatu senyawa untuk membentuk kutub (pole) pada salah satu unsur penyusun senyawa tersebut karena dipengaruhi oleh perbedaan nilai keelektronegatifan. Jika antara atom-atom unsur penyusun senyawa memiliki perbedaan keelektronegatifan yang kecil atau bahkan nol maka ikatan yang terbentuk adalah ikatan kovalen nonpolar. Dan sebaliknya, jika perbedaan keelektronegatifan relatif besar maka ikatan yang terbentuk adalah ikatan kovalen polar. Dengan demikian dapat kita simpulkan pengertian dari ikatan kovalen polar dan nonpolar sebagai berikut.

Ikatan kovalen polar adalah ikatan yang pasangan elektron ikatannya cenderung tertarik ke salah satu atom yang berikatan. Ikatan kovalen polar terbentuk antara atom-atom unsur yang memiliki perbedaan nilai keelektronegatifan yang relatif besar. Sedangkan ikatan kovalen nonpolar adalah ikatan yang pasangan elektron ikatannya tertarik sama kuat ke arah atom-atom yang berikatan. Ikatan kovalen nonpolar terbentuk antara atom-atom unsur yang memiliki perbedaan nilai keelektronegatifan yang kecil atau sama dengan nol serta tidak memiliki pasangan elektron ikatan.

Karakteristik polar dan non-polar dari senyawa tiga-trigliserida, jumlah massa molekul dan ketidakstabilan ikatan rantai karbon adalah penyebabnya. CCO (terutama Saturated FA) dan CSFO (terutama Polyunsaturated FA) didominasi oleh asam lemak polar sementara CJO (terutama FA tak jenuh tunggal) didominasi oleh asam lemak non-polar. Fenomena ini telah didiskusikan dari sudut pandang yang berbeda (Javier et.al:1997). komposisi terbesar palmitat, stearat dan oleat dimiliki oleh CJO (minyak jarak) membuat komponnya menjadi lebih jenuh dan stabil. Di sisi lain, CCO (minyak kelapa) terdiri dari senyawa rantai pendek lurus dan stabil dengan sejumlah kecil massa molekul. Selain itu, CSFO (minyak bunga matahari) terdiri dari senyawa rantai panjang dan bengkok dengan massa molekul besar dan tidak stabil. Massa kecil, ikatan tidak stabil dan karakteristik kutub dari senyawa membuat katalis menjadi larut dalam minyak. Ketika katalis ditambahkan, rantai trigliserida CCO dan CSFO merespon lebih cepat, sangat tidak stabil, dan melebar, meningkatkan jarak setiap rantai karbon 12 menjauh dari satu sama lain, mengurangi interaksi dipol-dipol, dan melemahnya dispersi Van



der Waals, dapat dilihat bahwa caprilik bergerak ke arah dalam, sementara myristic dan lauric bergerak keluar. Dari tiga rantai asam lemak yang turun tipis justru karena jarak setiap rantai karbon menjadi lebih panjang. Di sisi lain, CJO adalah nonpolar, lebih jenuh dan stabil; membuat katalis sulit larut dalam minyak. Ketika katalis ditambahkan, geometri rantai trigliserida tidak meluas. Fenomena ini menunjukkan bahwa senyawa non-polar (CJO) lebih jenuh dari senyawa polar (CCO dan CSFO), hasil penelitian (Murali at.al:1993).

Semakin panjang rantai karbon maka minyak dan lemak tersebut semakin sukar larut semakin non polar. Minyak dan lemak yang tidak jenuh lebih mudah larut dalam pelarut organik dari pada asam lemak jenuh dengan panjang rantai karbon sama (Ketaren:1986). Suatu zat dapat larut dalam pelarut jika mempunyai nilai polaritas yang sama, yaitu zat polar larut dalam pelarut bersifat polar dan tidak larut dalam pelarut nonpolar. Asam-asam lemak berantai pendek dapat larut dalam air, semakin panjang rantai asam-asam lemak maka kelarutannya dalam air semakin berkurang.

Sifat fisik trigliserida ditentukan oleh proporsi dan struktur kimia asam lemak yang membentuknya. Titik cair, dengan demikian tingkat kepadatannya meningkat dengan bertambah panjangnya rantai asam lemak dan tingkat kejenuhannya (Almatsier, 2002). Dalam kimia, polaritas (atau kepolaran) adalah pemisahan muatan listrik yang mengarah pada molekul atau gugus kimia yang memiliki momen listrik dipol atau multipol (Raymond :2005). Molekul polar harus mengandung ikatan kimia polar karena perbedaan elektronegativitas antara atom yang berikatan. Molekul polar dengan dua atau lebih ikatan kutub harus memiliki geometri asimetris sehingga momen ikatan tidak saling meniadakan (Huggins:1937). Molekul polar berinteraksi melalui gaya antarmolekul dipol-dipol dan ikatan hidrogen. Polaritas mendasari sejumlah sifat fisik termasuk tegangan permukaan, kelarutan, serta titik leleh dan titik didih ( Nordstrom:1984.).

Ikatan dapat dikategorikan secara ekstrem (Pauling :1932) sangat nonpolar atau sangat polar. Ikatan yang benar-benar nonpolar terjadi ketika elektronegativitas identik dan karenanya memiliki perbedaan nol. Ikatan polar sepenuhnya lebih tepat disebut ikatan ionik, dan terjadi ketika perbedaan antara elektronegativitas cukup besar sehingga satu atom benar-benar mengambil



elektron dari yang lain. Istilah "polar" dan "nonpolar" biasanya diterapkan pada ikatan kovalen, yaitu ikatan dimana polaritasnya tidak lengkap. Untuk menentukan polaritas ikatan kovalen dengan menggunakan alat numerik, perbedaan antara elektronegativitas atom digunakan. Senyawa Kimia Solar, berasal dari petroleum diesel terdiri dari sekitar 75% hidrokarbon jenuh (terutama parafin termasuk n, iso, dan sikloparafin), dan 25% hidrokarbon aromatik (termasuk naftalena dan alkylbenzenes). Rata-rata rumus kimia untuk bahan bakar diesel umum adalah  $C_{12}H_{23}$ , mulai dari  $C_{10}H_{20}$  hingga  $C_{15}H_{28}$ .

Polaritas ikatan biasanya dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan perbedaan elektronegativitas antara kedua atom yang berikatan. Menurut skala Pauling: Ikatan nonpolar umumnya terjadi ketika perbedaan elektronegativitas antara kedua atom kurang dari 0,5, Ikatan polar umumnya terjadi ketika perbedaan elektronegativitas antara kedua atom kira-kira antara 0,5 dan 2,0, Ikatan ionik umumnya terjadi ketika perbedaan elektronegativitas antara dua atom lebih besar dari 2,0 Pauling mendasarkan skema klasifikasi ini pada karakter ionik parsial dari sebuah ikatan, yang merupakan fungsi perkiraan dari perbedaan elektronegativitas antara kedua atom yang berikatan. Diperkirakan bahwa selisih 1,7 sesuai dengan karakter ion 50%, sehingga perbedaan yang lebih besar sesuai dengan ikatan yang sebagian besar bersifat ionik (Pauling:1960)



## BAB III KERANGKA KONSEP

### 3.1 Kerangka Konsep

Minyak nabati terdiri dari trigliserida (90-98%) dan sejumlah kecil mono dan digliserida. Trigliserida terdiri dari tiga molekul asam lemak dan satu molekul gliserol. Trigliserida mengandung jumlah oksigen yang signifikan, struktur molekul asam lemak memiliki panjang rantai karbon yang bervariasi dan jumlah ikatan rangkap (Agarwal, et al : 2017). Asam lemak rantai pendek (*short-chain fatty acid*, SCFA), adalah asam lemak dengan ekor alifatik yang memiliki jumlah karbon lima atau kurang misalnya, asam butirrat (Cifuentes: 2013). Asam lemak rantai sedang (*medium-chain fatty acid*, MCFA), adalah asam lemak dengan ekor alifatik yang memiliki jumlah karbon 6 sampai 12, (Roth:2013) yang dapat membentuk trigliserida rantai sedang. Asam lemak rantai panjang (*long-chain fatty acid*, LCFA), adalah asam lemak dengan ekor alifatik 13 sampai 20 karbon (Beermann: 2003). Asam lemak rantai sangat panjang (*very long chain fatty acid*, VLCFA) adalah asam lemak dengan ekor alifatik sama dengan 22 karbon atau lebih. Rantai karbon pada asam lemak minyak nabati dapat diputus dengan penambahan energi, baik menggunakan pemanasan, mekanik sentrifugal atau dengan kimia penambahan alkohol (Ketaren, 1986).

Dua fitur terpenting dari komposisi asam lemak dalam menentukan sifat bahan bakar adalah panjang rantai asam lemak dan kadar unsaturasi (Ramirez, et al: 2015). Rantai karbon yang lebih panjang akan meningkatkan viskositas bahan bakar, titik beku, titik tuang, cold plugging point (CFPP), nilai kalor dan cetane jumlah. Tingkat ketidakjenuhan yang lebih tinggi akan menurunkan stabilitas oksidasi sebaliknya pada asam lemak tak jenuh akan meningkatkan reaktifitasnya. Sebagai tambahan, tingkat ketidakjenuhan yang tinggi akan meningkatkan kepadatan bahan bakar dan nilai yodium (Hoekman, et al: 2012). Berdasarkan uraian di atas, memperbaiki sifat minyak nabati sebagai bahan bakar khususnya nilai viskositas dan kalorinya sangat diperlukan. Asam lemak pada minyak nabati memiliki nilai flash point yang berbeda-beda (schrenbach, 2002; Bangboye, Hansen, 2008).

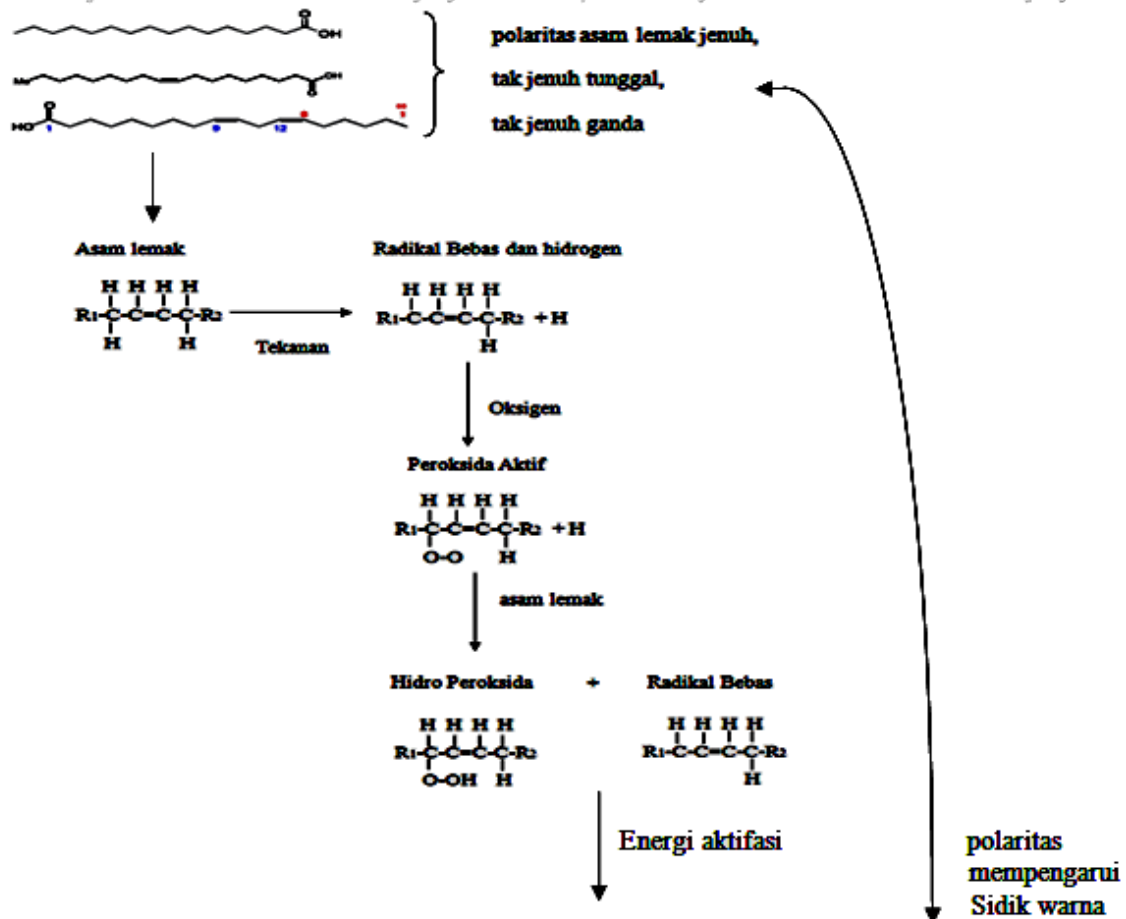
Dengan semakin panjang rantai karbon maka minyak dan lemak tersebut semakin sukar larut semakin non polar. Minyak yang tidak jenuh lebih mudah larut





dalam pelarut organik jika dibandingkan dengan asam lemak jenuh dengan panjang rantai karbon sama (Ketaren:1986). Pada suatu zat dapat larut dalam pelarut jika mempunyai nilai polaritas yang sama, yaitu zat polar larut dalam pelarut bersifat polar dan tidak larut dalam pelarut nonpolar. Asam-asam lemak berantai pendek dapat larut dalam air, semakin panjang rantai asam-asam lemak maka kelarutannya dalam air semakin berkurang.

Viskositas minyak nabati tinggi karena berat molekul penyusunnya besar (Ali et al: 95; Dinkelbach: 1982; Backe 1995) pada pembakaran minyak nabati terbentuk endapan yang menempel pada piston (Bhattacharya: 1994; Meyer:1994; Weidmann: 1992) pembakaran yang tidak sempurna juga terdeteksi dari sebagian minyak yang masuk karter dan mengencerkan minyak pelumas (ali et al: 1995).



1. Asam lemak tak jenuh terbakar beberapa tahap (sidik warna mendekati solar)
2. Asam lemak polaritas tinggi terbakar beberapa tahap (sidik warna mendekati solar)
3. Asam lemak jenuh dengan polaritas rendah terbakar satu tahap (sidik warna menjauhi solar)

Gambar 3.1. Kerangka konsep penelitian



Sifat asam lemak ditentukan oleh proporsi dan struktur kimia asam lemak yang membentuknya. Titik cair, dengan demikian tingkat kepadatannya meningkat dengan bertambah panjangnya rantai asam lemak dan tingkat kejenuhannya (Almatsier, 2002). Dalam kimia, polaritas atau kepolaran adalah pemisahan muatan listrik yang mengarah pada molekul atau gugus kimia yang memiliki momen listrik dipol atau multipol (Raymond :2005). Molekul polar harus mengandung ikatan kimia polar karena perbedaan elektronegativitas antara atom yang berikatan. Molekul polar dengan dua atau lebih ikatan kutub harus memiliki geometri asimetris sehingga momen ikatan tidak saling meniadakan (Huggins:1937). Molekul polar berinteraksi melalui gaya antar molekul dipol-dipol dan ikatan hidrogen. Polaritas mendasari sejumlah sifat fisik termasuk tegangan permukaan, kelarutan, serta titik leleh dan titik didih (Nordstrom:1984).

### 3.2 Hipotesis Penelitian

Pada penelitian ini digunakan minyak nabati dari minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk dalam bentuk murni belum di esterifikasi sebagai bahan perbandingan digunakan minyak solar. Bahan bakar di tekan pada nozzle tester dan di spray kemudian dipantik (energi aktifasi) dan terbakar. Berdasar pada rumusan masalah, kajian pustaka dan kerangka konsep maka hipotesis penelitian ini yaitu:

1. Energi tekan pada nozzle tester akan memutuskan rantai karbon yang panjang dari asam lemak minyak nabati menjadi radikal bebas dan hidrogen yang akan bercampur dengan oksigen dan membentuk peroksida aktif, kemudian peroksida aktif akan bereaksi mengambil molekul hidrogen dari asam lemak lain membentuk hidroperoksida dan membentuk radikal bebas lain. Dengan adanya pematik radikal bebas akan mudah terbakar dan membakar secara bertahap beberapa jenis asam lemak minyak nabati. Asam lemak tak jenuh terbakar beberapa tahap, Asam lemak polaritas tinggi terbakar beberapa tahap Asam lemak jenuh dengan polaritas rendah terbakar satu tahap.
2. Dari pembakaran minyak nabati akan terdapat asam lemak yang tidak terbakar karena energi pembakaran tidak mencukupi dan membentuk pola pembakaran yang meredup dan membentuk asap dengan karakter panjang maksimal spray pembakaran minyak nabati terlampaui dan api mundur meredup sampai habis





nyalanya. Energi dari nyala api spray pembakaran minyak nabati akan membentuk warna yang khas dari masing-masing minyak nabati, karakter yang khas warna nyala api spray menjadi sidik warna dan menjadi karakter pembakaran dari masing-masing minyak nabati. Asam lemak tak jenuh terbakar dengan sidik warna mendekati solar. Asam lemak polaritas tinggi terbakar dengan sidik warna mendekati solar dan asam lemak jenuh dengan polaritas rendah terbakar dengan sidik warna menjauhi solar.



## BAB IV METODOLOGI

### 4.1 Prosedur Pengujian

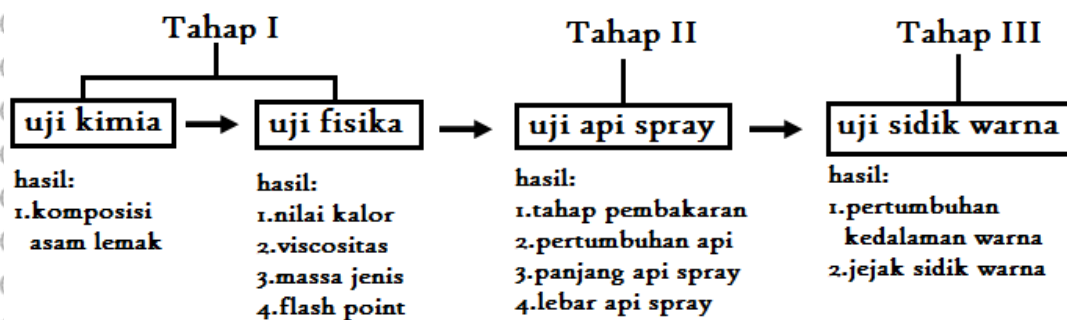
Pengujian dilakukan dengan tiga tahap:

1. Pengujian Pertama dilakukan pada pengujian sifat kimia dan sifat fisik dari minyak nabati yaitu minyak jarak, kelapa, sawit dan minyak kapuk. Pengujian sifat kimia yaitu dengan metode *gas chromatografi* (GC) untuk mengetahui komposisi asam lemak pada masing-masing minyak nabati. Dari hasil komposisi minyak nabati akan di lakukan analisa dengan cara: (a). Pengelompokan kandungan asam lemak yang terbanyak. (b). Pengelompokan kadar asam lemak jenuh dan tak jenuh, (c) Pengelompokan panjang rantai karbon asam lemak yang ada. Pengujian sifat fisika dilakukan Pengujian dilakukan pada: nilai kalor, viscositas, massa jenis dan flash point dari minyak nabati pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar. Dari hasil pengujian sifat fisikaminyak nabati akan di lakukan analisa dengan cara: (a) mentabulasi dan membuat grafik nilai kalor, (b) mentabulasi dan membuat grafik viscositas, (c) mentabulasi dan membuat grafik massa jenis dan (d) mentabulasi dan membuat grafik flash point dari minyak nabati pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar
2. Pengujian Kedua dilakukan pada api spray minyak nabati pada minyak jarak, kelapa, sawit dan minyak kapuk serta minyak solar. Pengujian api spray menggunakan perangkat seperti pada gambar 1.15. dengan menyiapkan minyak nabati dan di spray dengan tekanan 1700 psi, 1900 psi dan 2100 psi. Spray dipatik dengan api sehingga spray menyala pada samping nyala api terdapat penggaris untuk pengukur panjang api dan lebar api. Hasil dari api spray dapat di rekam dengan *hight speed camera* dengan kecepatan 420 fps. Dari hasil camera video di potong menggunakan soft ware *NCH Video Pad Video Editor* dan hasil dari potongan seleksi video di pecah dengan soft ware *NCH Prism* dan dan dipecah menjadi file jpg. Hasil dari file jpg diambil panjang dan lebar menggunakan ukuran pixel yang dikalibrasi dengan perbandingan pengukur pangjang. Analisa pada gambar dilakukan (a) tahap pembakaran dengan cara menggabungkan gambar-gambar dengan urutan waktu spray. (b) pengelompokan panjang berdasarkan urutan



waktu. (c) Pengelompokan lebar berdasarkan urutan waktu. Dari pengelompokan yang dilakukan didapatkan grafik pertumbuhan spray api dan perilaku akhir dari nyala pembakaran masing-masing minyak nabati.

3. Pengujian ketiga dilakukan pada uji sidik warna. Pengujian sidik warna merupakan pengujian lanjutan dari pengujian api spray. Data dari hasil video yang di frame menghasilkan gambar nyala api spray dari minyak nabati dan solar. Gambar frame diambil berdasarkan waktu tiap 200 ms dari data tersebut dibagi menjadi empat bidang zona area pembakaran yaitu: pada spc (*soot precursor*) yaitu daerah dalam yang merupakan daerah spray yang lebih banyak unsur droplet minyak, soz (*soot oxidation zone*) yaitu daerah sebelah luar yang bersinggungan dengan *soot precursor* yang merupakan daerah nyala spray yang merupakan daerah oksidasi, df (*diffusion flame*) yaitu daerah sebelah luar yang bersinggungan dengan *soot oxidation zone* yang merupakan daerah nyala spray difusi, tnpz (*thermal NO production zone*) yaitu daerah sebelah luar yang bersinggungan dengan *diffusion flame* yang merupakan daerah nyala spray hasil sisa pembakaran. Pada daerah spc, soz, df, dan tnpz dianalisa RGB nya dengan cara memasukan gambar frame tiap 200 ms dan dimasukan pada software CS4 diambil pada 10 titik untuk dirata-rata angka nilai dari warna dengan angka desimal dari red, grey dan blue. Analisa yang dilakukan (a) mentabulasi dan membuat grafik pertumbuhan kedalaman warna dari api spray minyak nabati dan membuat sidik warna dari frame api pada daerah spc, soz, df, dan tnpz. (b) mengkalibrasi hasil sidik warna dengan sifat kimia, sifat fisik serta analisa hasil uji api spray minyak nabati dengan solar.



Gambar 4.1. Tahap Pengujian pada Proses Pengambilan Data

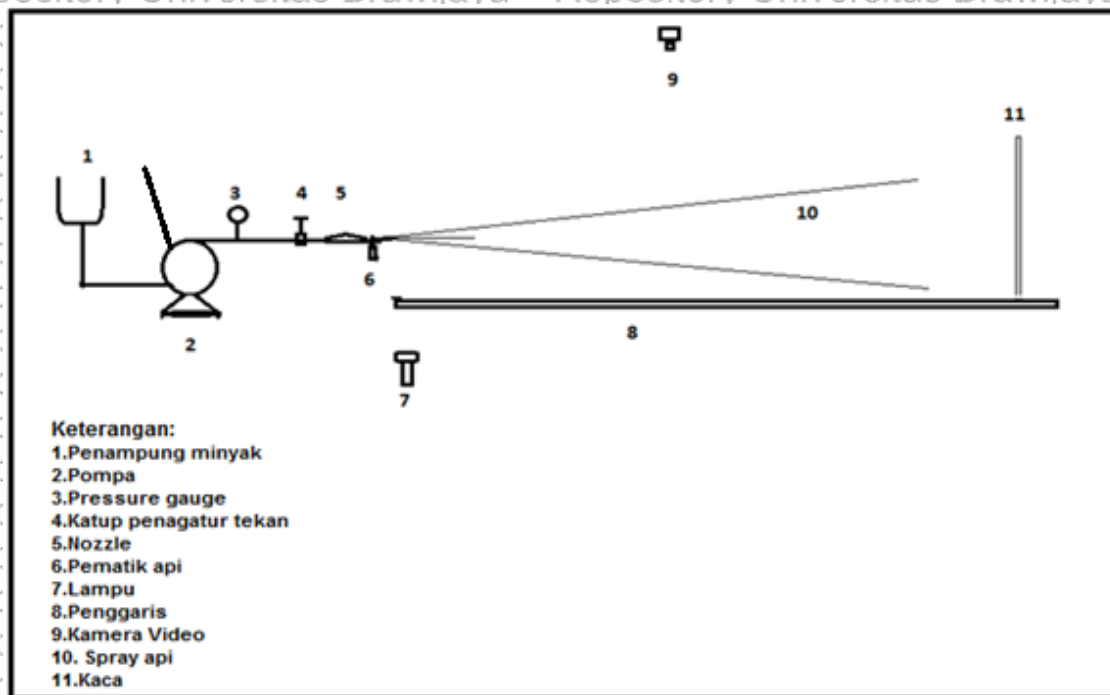




## 4.2. Jenis Pengujian

1. Pengujian komposisi kimia asam lemak di lakukan dengan metode *gas chromatografi* (GC) yang dilakukan di laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu Universitas Gajah Mada di Yogyakarta.
2. Pengujian sifat fisika dan kimia minyak nabati dan solar sesuai dengan standar ASTM : (a). Densitas D1298, (b). Viskositas Kinematik D445, (c). Titik nyala D93 dan (d). Nilai kalor D240, dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya di Malang. Pengujian spray nyala api spray minyak nabati dan uji sidik warna dilakukan di laboratorium konversi Energi Teknik Mesin Universitas Pancasakti di Tegal.

## 4.3 Rangkain Instrumen Penelitian pada Pengujian Api Spray dan Sidik Warna



Gambar 4.2. Rangkaian Instrumen Penelitian

### Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak nabati dari minyak jarak, minyak kapok, minyak kelapa dan minyak sawit. Sedangkan alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat nozzel tester dengan alat bantu kamera highspped.



## 1. Bahan

Bahan pada percobaan ini adalah: minyak nabati minyak jarak (*jatropha oil*), minyak kelapa (*coconut oil*), minyak sawit (*palm oil*), minyak kapok (*kopok seed oil*), dan minyak solar. Minyak nabati yang digunakan adalah minyak nabati yang belum di esterifikasi.

## 2. Peralatan percobaan

### 1. Nozzle tester

#### Spesifikasi

Merek : XBD-Nozzle Tester

Dimensi : 160 mm X 100 mm X 380 mm

Ukuran tangki : 1 liter

Tenanan max : 0 - 60 Mpa

Berat : 26 kg



Penggunaan dari nozzle tester pada minyak nabati yaitu minyak jarak (*jatropha oil*), minyak kelapa (*coconut oil*), minyak sawit (*palm oil*), minyak kapok (*kapok seed oil*), yaitu untuk membuat spray pada tekanan tertentu yaitu pada tekanan 1700 psi, 1900 psi dan 2100 psi.

Untuk menentukan besar tekanan yang ada pada ujung nozzle tester di kekiri atau kekanan. Untuk memulai dapat dengan memutar penuh kekanan sampai titik maksimal sehingga minyak nabati tidak keluar dan di putar kekiri secara perlahan untuk mendapat tekanan yang diinginkan.

### 2. Camera



Digunakan untuk mengambil data video dan data photo pada proses terjadinya droplet dan proses nyala api spray.

Spesifikasi:

- Merek : Casio exilim ZR- 100
- Optical zoom : 12,5 X
- Focus range : 5 cm – infinity
- Macro : 1cm – 5 cm
- Kecepatan : 30 fps - 1000 fps



Penggunaan dari hightspeed camera adalah untuk merekam terjadinya pembakaran secara detail dengan kecepatan 420 fps. Kecepatan ini dipilih karena kualitas gambar masih cukup bagus dan hasil pembakaran yang detail masih dapat di tangkap oleh kamera. Hasil dari kamera akan di olah lagi dengan proses memecah video menjadi frame gambar. Dan dari gambar akan dianalisa secara visual baik panjang, lebar dan karakter warna pembakarannya.

3. Penggaris besar 200mm

Penggunaan penggaris pada percobaan nyala spray pembakaran minyak nabati adalah untu mengkaliberasi hasil dari panjang dan lebar api pembakaran pada hasil kamera video yang telah di frame berupa gambar. Dengan melihat pixel







pada software gambar dan mengkaliberasi hasil pixel dengan pengukur penggaris didapatkan panjang dan lebar secara aktual.

#### 4. Kaca

Spesifikasi:

Panjang : 150mm

Lebar : 50mm

Tebal : 3 mm



Penggunaan dari kaca adalah untuk melindungi kamera dari panas dan sisa pembakaran minyak nabati yang tidak terbakar secara sempurna. Sehingga pengambilan gambar nyala api spray pembakaran minyak nabati dapat dilakukan dengan baik.

#### 5. Lampu

Spesifikasi:

Type : BF- 786N

Batere : 6 buah

Jarak max terang : 25 meter

Penggunaan dari lampu ini untuk memperjelas hasil gambar dari pengambilan kamera pada nyala api pembakaran minyak nabati.

### 4.4. Metode Penelitian

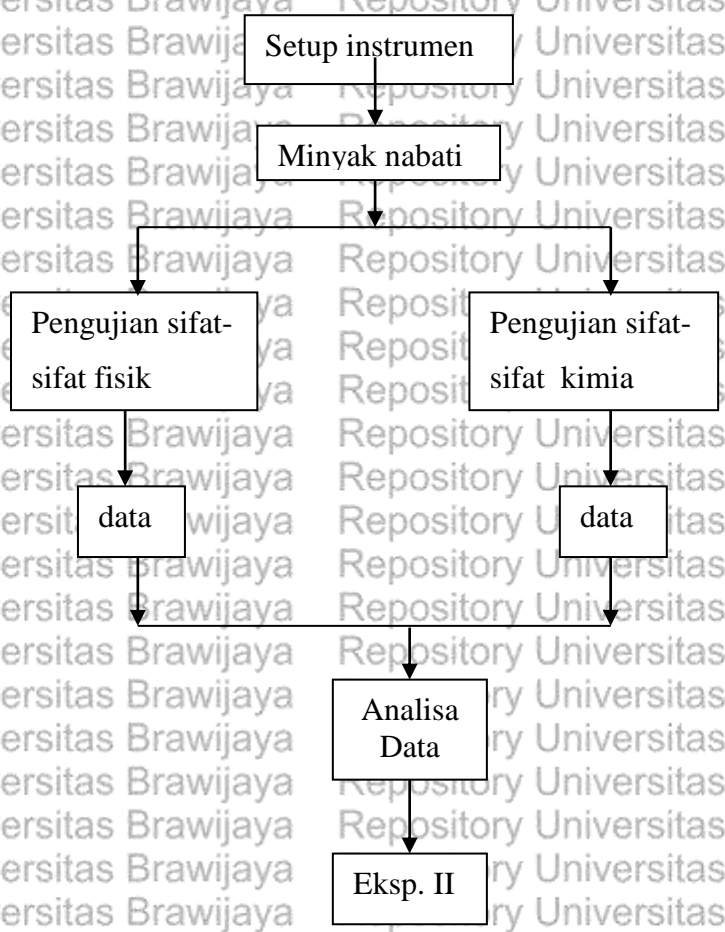
Dalam penelitian ini Pengujian tahap pertama dilakukan pada pengujian sifat kimia dan sifat fisik dari minyak nabati yaitu minyak jarak, kelapa, sawit dan minyak kapuk. Pengujian sifat kimia yaitu dengan metode *gas chromatografi* (GC) untuk mengetahui komposisi asam lemak dari minyak kemudian dilanjutkan dengan pengujian sifat fisika pada: nilai kalor, viscositas, massa jenis dan flash point dari minyak nabati pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar. Setelah itu dilakukan Pengujian Kedua uji api spray minyak nabati pada



minyak jarak, kelapa, sawit dan minyak kapuk serta minyak solar. Pengujian api spray menggunakan perangkat seperti pada gambar 1.15, dengan menyiapkan minyak nabati dan di spray dengan tekanan 1700 psi, 1900 psi dan 2100 psi. Hasil spray dipatik api dan menyala, dari kamera kecepatan tinggi diambil gambar pembakaran. Pengujian ketiga dilakukan pada uji sidik warna. Pengujian sidik warna merupakan pengujian lanjutan dari pengujian api spray. Data dari hasil video yang di frame menghasilkan gambar nyala api spray dari minyak nabati dan solar. Gambar frame diambil berdasarkan waktu tiap 200 ms dari data tersebut dibagi menjadi empat bidang zona area pembakaran yaitu pada daerah spc, soz, df, dan tnpz.

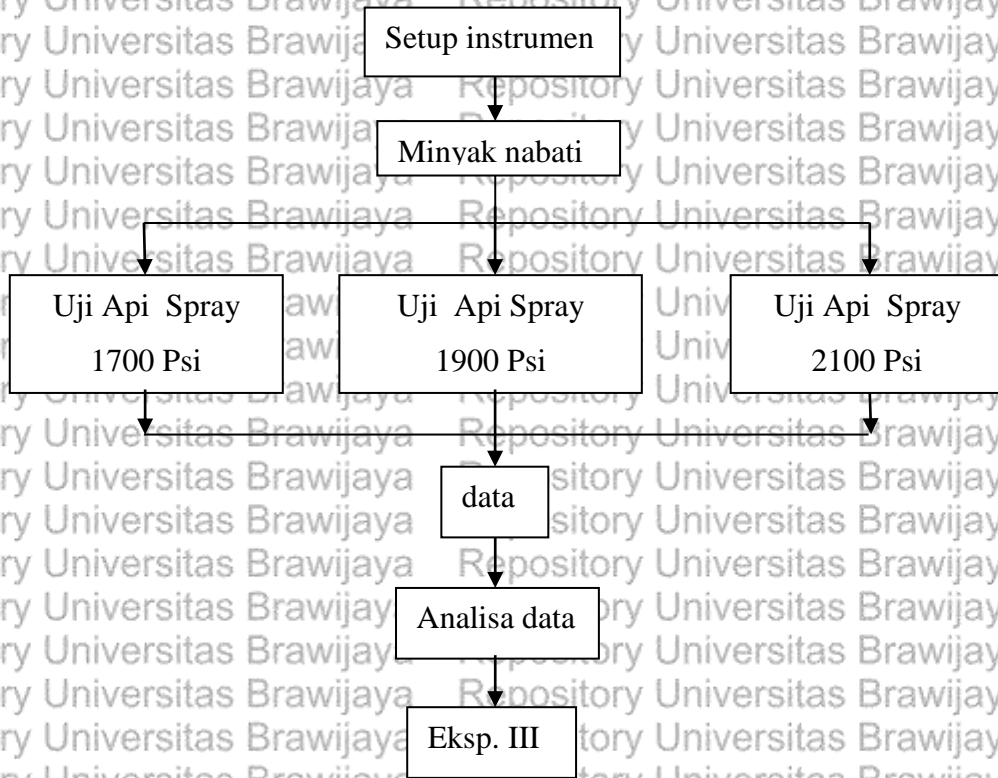
**4.5 Rancangan Eksperimen**

**4.5.1 Eksperimen Tahap Pertama**

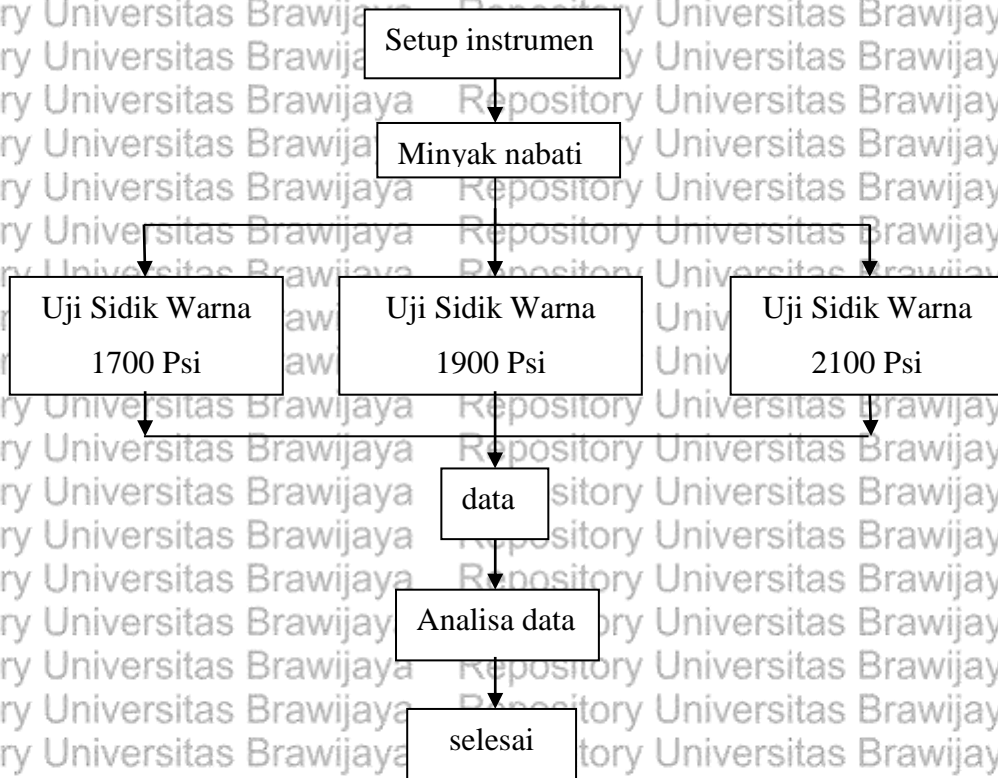




#### 4.5.2 Eksperimen Tahap Kedua



#### 4.5.3 Eksperimen Tahap Ketiga





BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Hasil Uji

5.1.1. Komposisi Minyak Nabati

Tabel 5.1. merupakan tabel hasil pengujian dari minyak nabati pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk. Metode yang digunakan adalah metode *Gas Cromatografy* (GC). GC merupakan jenis kromatografi yang biasa pakai pada analisis kimia dengan tujuan pemisahan dan analisis senyawa yang bekerja dengan cara menguap tanpa mengalami dekomposisi. Penggunaan secara umum pada GC meliputi pengujian kemurnian senyawa tertentu, atau pemisahan komponen berbeda dalam suatu campuran dengan kadar relatif komponen yang diuji dapat ditentukan prosentasenya (Donal, et al: 2009). Dalam beberapa kondisi, GC dapat membantu mengidentifikasi senyawa. Dalam kromatografi preparatif, GC dapat digunakan untuk menyiapkan senyawa murni dari suatu campuran. Adapun hasil dari asam lemak pada minyak nabati bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5.1 komposisi asam lemak minyak jarak

No	Parameter Uji	Hasil (%)	Metode
1	Asam kaproat	0,005	GC
2	Asam kaprilat	0,077	GC
3	Asam kaprat	0,079	GC
4	Asam laorat	0,615	GC
5	Asam Tridekanoat	0,01	GC
6	Asam myristat	0,343	GC
7	Asam pentadekanoat	0,038	GC
8	Asam myristoleat	Nd	GC
9	Asam palmitat	14,936	GC
10	Asam heptadekanoat	Nd	GC
11	Asam palmitoleat	0,844	GC
12	Asam margariat	Nd	GC
13	Asam oleat	45,272	GC
14	Asam strearat	0,107	GC
15	Asam linoleat	34,753	GC
16	Asam linolenat	0,203	GC
17	Asam eurat	Nd	GC
18	Asam eicosatrinoat	Nd	GC
19	Asam arachidonat	0,092	GC
20	Asam lignocerat	0,049	GC
21	Asam docosadinoat	Nd	GC





22	Asam aracidat	0,638	GC
23	Asam eicosenoat	Nd	GC
24	Asam eicopentanoat	Nd	GC
25	Asam nervonat	0,134	GC
26	Asam docosanoat	0,290	GC
27	Asam docosenoat	Nd	GC
28	Asam docosahexaenoat	0,135	GC
29	Asam docohexanoat	Nd	GC
30	Asam undecanoat	0,012	GC

Tabel 5.2 Komposisi asam lemak minyak kelapa

No	Parameter Uji	Hasil (%)	Metode
1	Asam kaproat	0,371	GC
2	Asam kaprilat	6,017	GC
3	Asam kaprat	5,467	GC
4	Asam laorat	43,763	GC
5	Asam Tridekanoat	0,131	GC
6	Asam myristat	16,767	GC
7	Asam pentadekanoat	0,051	GC
8	Asam myristoleat	Nd	GC
9	Asam palmitat	9,932	GC
10	Asam heptadekanoat	Nd	GC
11	Asam palmitoleat	0,049	GC
12	Asam margariat	Nd	GC
13	Asam oleat	10,292	GC
14	Asam strearat	2,809	GC
15	Asam linoleat	0,039	GC
16	Asam linolenat	Nd	GC
17	Asam eurat	Nd	GC
18	Asam eicosatrinoat	0,039	GC
19	Asam arachidonat	0,017	GC
20	Asam lignocerat	0,040	GC
21	Asam docosadinoat	Nd	GC
22	Asam aracidat	0,045	GC
23	Asam eicosenoat	Nd	GC
24	Asam eicopentanoat	Nd	GC
25	Asam nervonat	0,025	GC
26	Asam docosanoat	0,147	GC
27	Asam docosenoat	Nd	GC
28	Asam docosahexaenoat	0,079	GC
29	Asam docohexanoat	Nd	GC
30	Asam undecanoat	0,029	GC





Tabel 5.3 Komposisi asam lemak minyak sawit

No	Parameter Uji	Hasil (%)	Metode
1	Asam kaproat	Nd	GC
2	Asam kaprilat	0,142	GC
3	Asam kaprat	0,176	GC
4	Asam laorat	1,881	GC
5	Asam Tridekanoat	2,116	GC
6	Asam myristat	2,100	GC
7	Asam pentadekanoat	1,786	GC
8	Asam myristoleat	0,528	GC
9	Asam palmitat	26,628	GC
10	Asam heptadekanoat	2,659	GC
11	Asam palmitoleat	0,681	GC
12	Asam margariat	Nd	GC
13	Asam oleat	38,936	GC
14	Asam strearat	0,372	GC
15	Asam linoleat	2,197	GC
16	Asam linolenat	0,390	GC
17	Asam eurat	Nd	GC
18	Asam eicosatrinoat	0,854	GC
19	Asam arachidonat	1,051	GC
20	Asam lignocerat	0,927	GC
21	Asam docosadinoat	Nd	GC
22	Asam aracidat	Nd	GC
23	Asam eicosenoat	Nd	GC
24	Asam eicopentanoat	Nd	GC
25	Asam nervonat	0,933	GC
26	Asam docosanoat	0,586	GC
27	Asam docosenoat	Nd	GC
28	Asam docosaheksaenoat	0,894	GC
29	Asam docohexanoat	Nd	GC
30	Asam undecanoat	0,840	GC

Tabel 5.4 Komposisi asam lemak minyak kapok

No	Parameter Uji	Hasil (%)	Metode
1	Asam kaproat	Nd	GC
2	Asam kaprilat	0,107	GC
3	Asam kaprat	0,188	GC
4	Asam laorat	1,138	GC
5	Asam Tridekanoat	0,286	GC
6	Asam myristat	0,794	GC
7	Asam pentadekanoat	0,357	GC
8	Asam myristoleat	0,089	GC
9	Asam palmitat	20,555	GC



10	Asam heptadekanoat	2,009	GC
11	Asam palmitoleat	Nd	GC
12	Asam margariat	Nd	GC
13	Asam oleat	52,100	GC
14	Asam strearat	4,193	GC
15	Asam linoleat	3,615	GC
16	Asam linolenat	1,566	GC
17	Asam eurat	Nd	GC
18	Asam eicosatrinoat	0,393	GC
19	Asam arachidonat	0,360	GC
20	Asam lignocerat	0,337	GC
21	Asam docosadinoat	0,479	GC
22	Asam aracidat	4,159	GC
23	Asam eicosenoat	1,457	GC
24	Asam eicopentanoat	Nd	GC
25	Asam nervonat	0,506	GC
26	Asam docosanoat	0,306	GC
27	Asam docosenoat	Nd	GC
28	Asam docosahexaenoat	0,290	GC
29	Asam docohexanoat	Nd	GC
30	Asam undecanoat	0,526	GC

### 5.1.2. Sifat Fisika Minyak Nabati dan Solar

Tabel 5.5. merupakan tabel sifat fisi dari minyak nabati dan minyaksolar. Pengujian dilakukan pada nilai kalor, viscositas, massa jenis dan flash point dari minyak nabati pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar.

Tabel 5.5 Sifat fisik dari minyak nabati dan solar.

No	Jenis minyak	Nilai kalor (cal/gram)	Viscositas (cSt)	Massajenis (gram/mL)	Flash point (°C)
1	Jarak	8724,171	5,793	0,878	135
2	Kelapa	6087,318	39,449	0,967	263
3	Sawit	8837,182	37,144	0,897	164
4	Kapok	5376,287	39,144	0,964	247
5	Solar	11307,250	5,450	0,833	60

### 5.2. Pembahasan

Karakteristik polar dan non-polar dari senyawa tiga-trigliserida, jumlah massa molekul dan ketidakstabilan ikatan rantai karbon adalah penyebabnya. Pada minyak kelapa bersifat polar sedangkan pada minyak jarak tidak bersifat polar sifat dari minyak biji matahari juga mendekati minyak kelapa perpaduan rantai pendek menjadikan



bersifat polar. Fenomena ini telah didiskusikan dari sudut pandang yang berbeda (Javier et.al:1997). Pada penelitian lain minyak jarak diuji coba dan memiliki sifat nonpolar dan mudah pada saat dilakukan penambahan katalis untuk bereaksi sebaliknya pada minyak jarak membuat katalis sulit larut dalam minyak. Ketika katalis ditambahkan, geometri rantai trigliserida tidak meluas. Fenomena ini menunjukkan bahwa senyawa non-polar (CJO) lebih jenuh dari senyawa polar (CCO dan CSFO), hasil penelitian (Murali et.al:1993). Sifat percampuran polar dan non polar dimiliki oleh kapok seed oil dan palm oil, yang menjadikan sifatnya hanya sedikit memiliki keeletronegatifan.

Dua fitur terpenting dari komposisi asam lemak dalam menentukan sifat bahan bakar adalah panjang rantai asam lemak dan kadar unsaturation (Ramirez, et all: 2015). Rantai karbon yang lebih panjang akan meningkat a viskositas bahan bakar, titik beku, titik tuang, cold plugging point (CFPP), nilai kalor dan cetane jumlah. Tingkat ketidakjenuhan yang lebih tinggi akan menurunkan stabilitas oksidasi. Sebagai tambahan, tingkat ketidakjenuhan yang tinggi akan meningkatkan kepadatan bahan bakar dan nilai yodium (Hoekman, et all: 2012). Berdasarkan uraian di atas, memperbaiki sifat minyak nabati sebagai bahan bakar khususnya nilai viskositas, kalorinya dan reaktifitas sangat diperlukan. Dan sifat fisik asam lemak pada minyak nabati memiliki nilai flash point yang berbeda-beda (schrenbach, 2002;Bangboye, Hansen,2008).

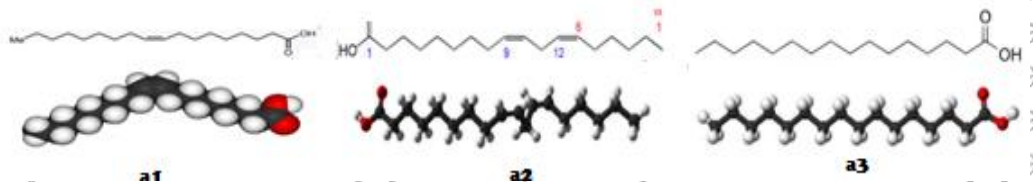
Dengan semakin panjang rantai karbon maka minyak dan lemak tersebut semakin sukar larut semakin non polar. Minyak yang tidak jenuh lebih mudah larut dalam pelarut organik jika dibandingkan dengan asam lemak jenuh dengan panjang rantai karbon sama (Ketaren:1986). Pada suatu zat dapat larut dalam pelarut jika mempunyai nilai polaritas yang sama, yaitu zat polar larut dalam pelarut bersifat polar dan tidak larut dalam pelarut nonpolar. Asam-asam lemak berantai pendek dapat larut dalam air, semakin panjang rantai asam-asam lemak maka kelarutanya dalam air semakin berkurang. bersifat non polar sesuai dengan hasil penelitian (Murali et.al:1993).

Pada minyak jarak hasil pengujian spray nyala api tahap pembakaran minyak nabati seperti pada gambar 5.4. bahwa minyak jarak terbakar 2 tahap pembakaran pada tekanan 1700 Psi, 3 tahap pembakaran pada tekanan 1900 Psi dan 4 tahap pembakaran





pada tekanan 2100 Psi dengan demikian pada pembakaran spray minyak jarak bersifat reaktif hal ini dapat di jelaskan bahwa minyak jarak mengandung :



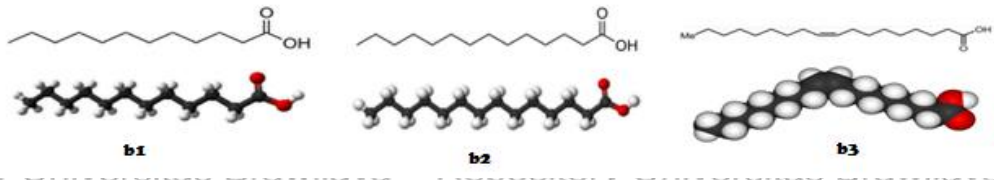
Gambar 5.1. asam lemak terbanyak pada minyak jarak

Asam oleat dengan prosentase 45,272 % gambar a.1, dan bersifat tak jenuh dengan rumus  $C_{18}H_{34}O_2$  yang memiliki 18 rantai karbon. Urutan asam lemak terbanyak kedua yaitu asam linoleat gambar a.2. dengan kandungan 34,753 % bersifat tak jenuh yang memiliki rumus  $C_{18}H_{30}O_2$  dan 18 rantai karbon dan yang ketiga adalah asam lemak palmitat gambar a.3. dengan kandungan 14,936 % bersifat jenuh memiliki rumus  $C_{16}H_{32}O_2$  dan rantai karbon 16. Jika pada penelitian (Murali at.al:1993). menyatakan minyak jarak bersifat non polar yang artinya tidak reaktif maka pada hasil tahap pembakaran tampak bahwa minyak jarak bersifat reaktif dengan ditunjukkannya gerakan sesekali nyala api yang bergerak mundur kearah pusat spray yang berarti laju kecepatan pembakaran lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan spray bahan bakar. Jika dianalisa pada komponen asam lemak tak jenuh dari minyak jarak lebih medominasi jika dibanding dengan asam lemak jenuhnya sehingga sifat reaktif dari minyak jarak lebih dipengaruhi oleh banyaknya kandungan asam lemak tak jenuh hal ini sesuai dengan penelitian (Ramirez, et all: 2015).

Pada minyak kelapa hasil pengujian spray nyala api pada tahap pembakaran minyak nabati seperti pada gambar 5.5. bahwa minyak kelapa terbakar 1 tahap pembakaran pada tekanan 1700 Psi, terbakar 2 tahap pembakaran pada tekanan 1900 Psi dan terbakar 2 tahap pembakaran pada tekanan 2100 Psi dengan demikian pada pembakaran spray minyak kelapa bersifat reaktif hal ini dapat di jelaskan bahwa minyak jarak mengandung asam laurat, asam miristat dan asam olet. Pada gambar b1 yaitu Asam laurat dengan prosentase 43,763 % dan bersifat jenuh dengan rumus  $C_{12}H_{24}O_2$  yang memiliki 12 rantai karbon. Urutan asam lemak terbanyak kedua yaitu asam miristat gambar b.2. dengan kandungan 34,753 % bersifat jenuh yang memiliki rumus  $C_{14}H_{28}O_2$  dan 14 rantai karbon dan yang ketiga adalah asam lemak oleat



gambar b.3. dengan kandungan 10,292 % bersifat tak jenuh memiliki rumus C<sub>18</sub>H<sub>34</sub>O<sub>2</sub> dan rantai karbon 18.

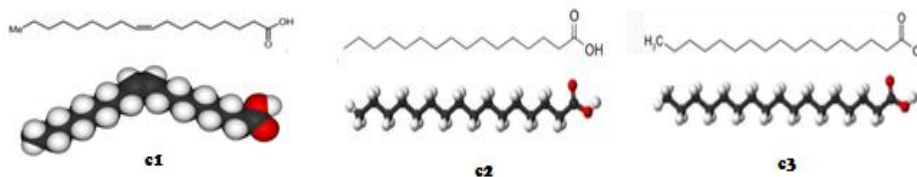


Gambar 5.2. asam lemak terbanyak pada minyak jarak

Jika dianalisa minyak kelapa banyak mengandung asam lemak tak jenuh yang mempunyai karakter stabil dan membutuhkan energi besar dalam pelepasan ikatan seperti pada hasil penelitian (Hoekman, et al: 2012) yaitu tingkat ketidakjenuhan yang lebih tinggi akan menurunkan stabilitas oksidasi. Sebagai tambahan, tingkat ketidakjenuhan yang tinggi akan meningkatkan kepadatan bahan bakar. Dengan demikian jika dilihat dari sifat kejenuhan minyak kelapa kurang reaktif, namun pada data hasil penelitian pembakaran spray minyak kelapa terlihat menyala beberapa tahap yang berarti pembakaran minyak kelapa reaktif hal ini dapat dijelaskan bahwa minyak kelapa bersifat polar sesuai dengan hasil penelitian (Javier at.al:1997) dan (Murali at.al:1993).. dan sifat kepolaran minyak kelapa lebih dominan dibandingkan sifat tak jenuh dari minyak kelapa dalam pembakaran, sehingga spray pembakaran minyak kelapa bersifat reaktif.

Pada minyak sawit hasil pengujian spray nyala api pada tahap pembakaran minyak nabati seperti pada gambar 5.6. bahwa minyak sawit terbakar 1 tahap pembakaran pada tekanan 1700 Psi, 1 tahap pembakaran pada tekanan 1900 Psi dan 1 tahap pembakaran pada tekanan 2100 Psi dengan demikian pada pembakaran spray minyak sawit bersifat kurang reaktif hal ini dapat di jelaskan bahwa minyak sawit mengandung Asam oleat, asam palmitat dan asam lemak heptadekoneat dari komponen tiga yang terbesar dari minyak sawit memiliki perbandingan yang hampir seimbang atau hampir sama antara asam lemak tak jenuh dan asam lemak jenuhnya. Dan jika melihat hasil spray pembakaran pada tahap pembakaran hanya terjadi satukali tahap pembakaran yang berarti pembakaran bersifat tidak reaktif, kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh dapat dilihat pada data berikut:

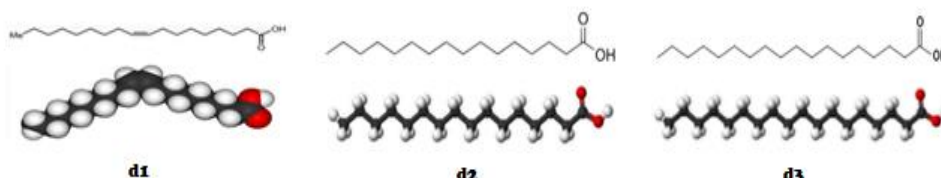




Gambar 5.3. asam lemak terbanyak pada minyak sawit

Pada gambar c1 yaitu Asam oleat memiliki prosentase 38,936 % dan bersifat tak jenuh dengan rumus  $C_{18}H_{34}O_2$  yang memiliki 18 rantai karbon. Urutan asam lemak terbanyak kedua yaitu asam palmitat gambar c.2. dengan kandungan 26,628 % bersifat jenuh yang memiliki rumus  $C_{16}H_{32}O_2$  dan 16 rantai karbon dan yang ketiga adalah asam heptadekoneat gambar c.3. dengan kandungan 2,659 % bersifat jenuh memiliki rumus  $C_{17}H_{34}O_2$  dan rantai karbon 17. Merujuk pada sifat kurang reaktif dari pembakara spray minyak sawit diakibatkan kurang polaritas dari minyak sawit dan kandungan yang berimbang antara asam lemak jenuh dan tak jenuh.

Pada minyak kapuk hasil pengujian spray nyala api tahap pembakaran minyak nabati seperti pada gambar 5.7 bahwa minyak kapuk terbakar 1 tahap pembakaran pada tekanan 2100 Psi dengan demikian pada pembakaran spray minyak kapuk bersifat kurang reaktif hal ini dapat di jelaskan bahwa minyak jarak mengandung asam oleat, asam palmitat dan asam stearat.



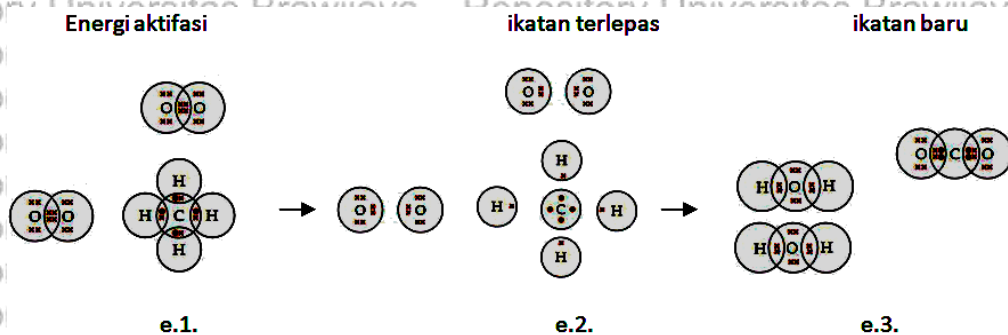
Gambar 5.3. asam lemak terbanyak pada minyak kapuk

Pada gambar d1 yaitu Asam oleat dengan kandungan 52,100 % dan bersifat tak jenuh dengan rumus  $C_{18}H_{34}O_2$  yang memiliki 18 rantai karbon. Urutan asam lemak terbanyak kedua yaitu asam palmitat gambar d.2. dengan kandungan 20,555 % bersifat jenuh yang memiliki rumus  $C_{16}H_{32}O_2$  dan 16 rantai karbon dan yang ketiga adalah asam lemak stearat gambar d.3. dengan kandungan 4,193 % bersifat jenuh memiliki rumus  $C_{18}H_{36}O_2$  dan rantai karbon 18. Jika dilihat dari data kandungan asam lemak jenuh dan tak jenuh hampir berimbang tetapi pada jumlah rantai karbon dari ketiga



asam terbanyaknya termasuk dalam rantai karbon tinggi sehingga sifatnya sulit beroksidasi dan kecenderungan memiliki viscositas yang tinggi sesuai dengan hasil penelitian (Hoekman, et al: 2012) pada sulit beroksidasi dan penelitian (schrenbach, 2002; Bangboye, Hansen, 2008) pada peningkatan viscositas dan kesulitan penyalaan. Pada sifat polaritas minyak kapuk juga termasuk dalam polaritas rendah dan pada hasil data nyala spray minyak kapuk hanya menyala pada tekanan 2100 psi yaitu tekanan yang paling tinggi dalam percobaan yang berarti minyak kapuk dalam spray pembakaran kurang reaktif.

Pada pembahasan sidik warna pembakaran spray warna yang khas pada masing masing pembakaran akan dipengaruhi oleh reaktifitas pembakaran pada saat bahan bakar di berikan energi aktifasi masing-masing ikatan molekul hidro karbon kan bergerak aktif sehingga akan terlepas elektronnya dan bereaksi dengan udara pada saat pertemuan elektron dengan pasangannya maka elektron akan mengeluarkan foton yang dapat berbentuk sebagai getaran dan akan mengakibatkan panas atau meloncat tepat pada lingkaran antar kulit atom yang berbentuk cahaya. Dari masing masing reaksi akan melepaskan panas dan cahaya masing-masing dan kan membentuk nyala spray api yang dalam penelitian akan membentuk sidik warna.



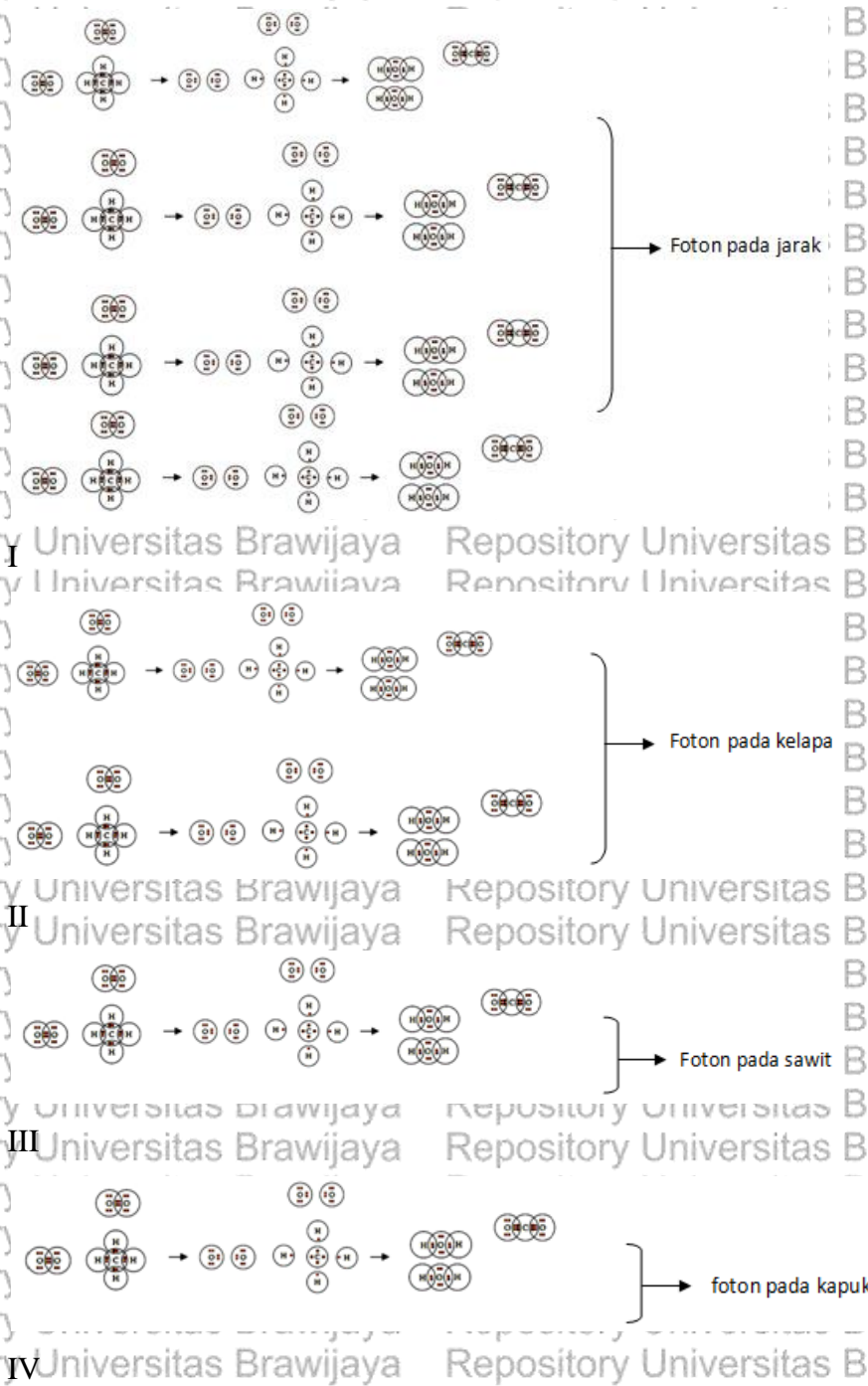
Gambar 5.4. Terjadinya reaksi pembakaran

Pada gambar e.1. ikatan CH dan udara O<sub>2</sub> diberikan energi aktifasi maka masing-masing ikatan molekul hidro karbon kan bergerak aktif sehingga akan terlepas elektronnya seperti pada gambar e.2. dan akan bereaksi dengan udara pada saat pertemuan elektron dengan pasangannya maka elektron akan mengeluarkan foton yang dapat berbentuk sebagai getaran dan akan mengakibatkan panas atau meloncat tepat





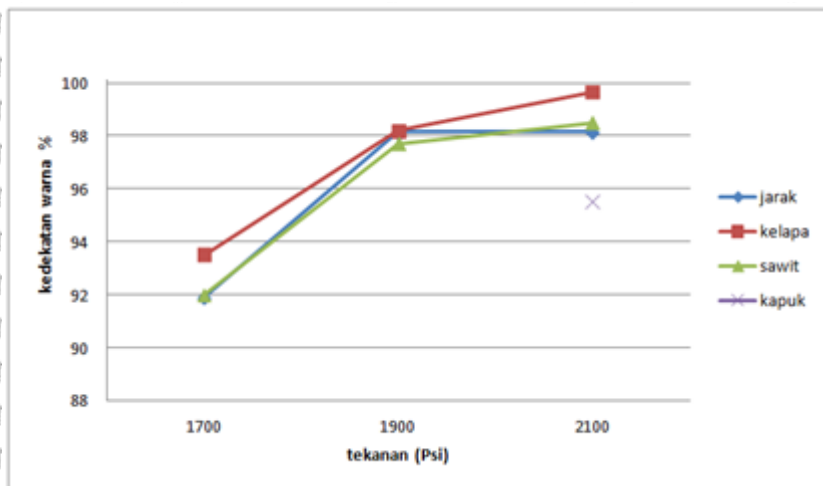
pada lingkaran antar kulit ataom yang berbentuk cahaya seperti pada gambar e.3. Penjelasan karakter sidik warna api spray minyak nabati pada minyak jarak, kelapa, sawit dan kapuk dapat dilihat seperti pada gambar 5.5. proses reaksi pembakaran spray pada minyak nabati



Gambar 5.5. Proses reaksi pembakaran spray pada minyak nabati



Pada gambar 5.5. Proses reaksi pembakaran spray pada minyak nabati gambar I. Minyak jarak mengalami proses pembakaran yang lebih reaktif karena pengaruh dari kandungan asam lemak tak jenuhnya jika dibandingkan dengan polaritasnya. Sedangkan pada gambar II pembakaran spray minyak kelapa termasuk pembakaran spray yang reaktif karena lebih dominan pada sifat polaritasnya. Selanjutnya pada gambar III minyak sawit kurang reaktif pada data tahap pembakaran karena sifat polaritasnya yang rendah dan perbandingan asam lemak jenuh dan tak jenuh yang hampir berimbang. Dan pada minyak kapuk gambar IV. Pembakarannya kurang reaktif hal ini disebabkan karena polaritas yang rendah dan prosentasi komponen terbanyak dari asam lemak jenuh dan tak jenuhnya termasuk dalam rantai yang panjang. Dari masing masing pembakaran spray minyak nabati akan menghasilkan foton berbentuk energi panas dan cahaya yang akan membentuk sidik warna yang khas.



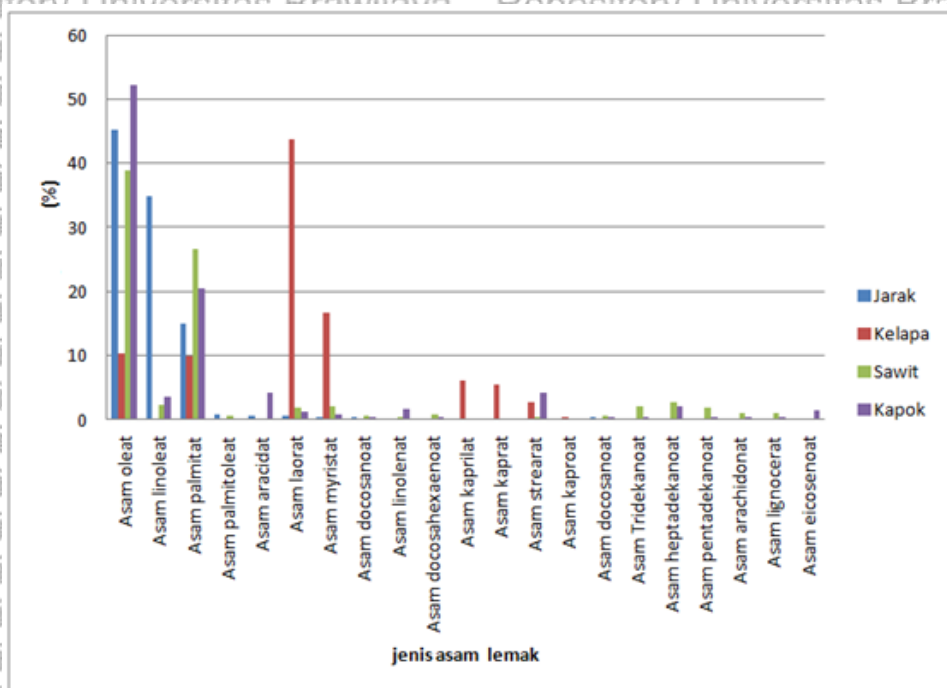
Gambar 5.6. kemiripan sidik warna api spray minyak nabati

Dari gambar 5.6. hasil dari perhitungan kemiripan angka sidik warna spray minyak nabati dibandingkan dengan solar. Hasil kedekatan angka sidik warna spray api minyak nabati dengan solar berturut-turut dari yang tertinggi ke rendah yaitu: minyak kelapa yang paling tinggi kedekatannya, dilanjutkan dengan minyak jarak, kemudian minyak sawit dan terakhir pada minyak kapuk. Minyak kapuk menempati posisi yang paling akhir dikarenakan proses penyalan spray yang sulit, yaitu minyak kapuk hanya menyala pada tekanan 2100 Psi dalam percobaan.



### 5.2.1. Perbandingan kandungan asam lemak

Gambar 5.7 merupakan komposisi asam lemak dengan kandungan terbanyak dengan model grafik perbandingan jenis asam lemak dan jumlah prosentase pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk.

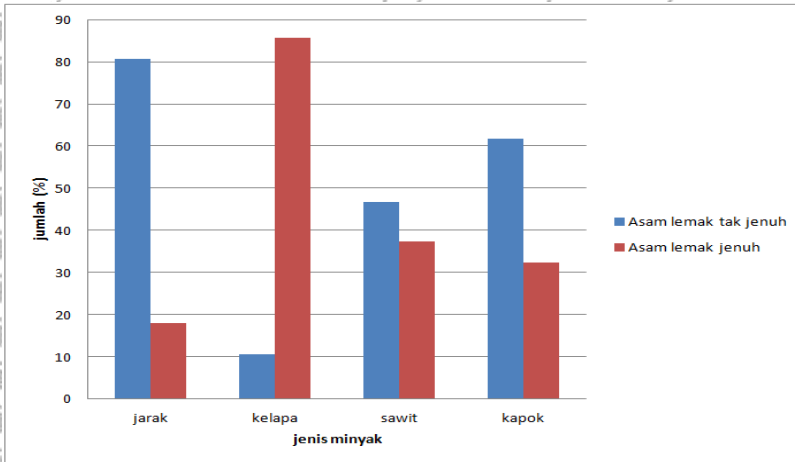


Gambar 5.7 Perbandingan jenis asam lemak dan jumlah prosentase pada minyak jarak, kelapa, sawi dan kapok.

Pada gambar 5.7 terlihat jenis asam lemak yang dominan pada minyak jarak, minyak sawit dan minyak kapok yaitu Asam oleat, Asam linoleat, Asam palmitat, Asam palmitoleat, Asam aracidat dan Asam laurat. Sedangkan pada minyak kelapa asam laurat dan miristat yang lebih dominan. Hal ini juga menunjukkan bahwa minyak nabati pada jenis minyak jarak, minyak sawit dan minyak kapok dominan pada jenis asam lemak tak jenuh sedangkan pada minyak kelapa dominan pada asam lemak jenuh.

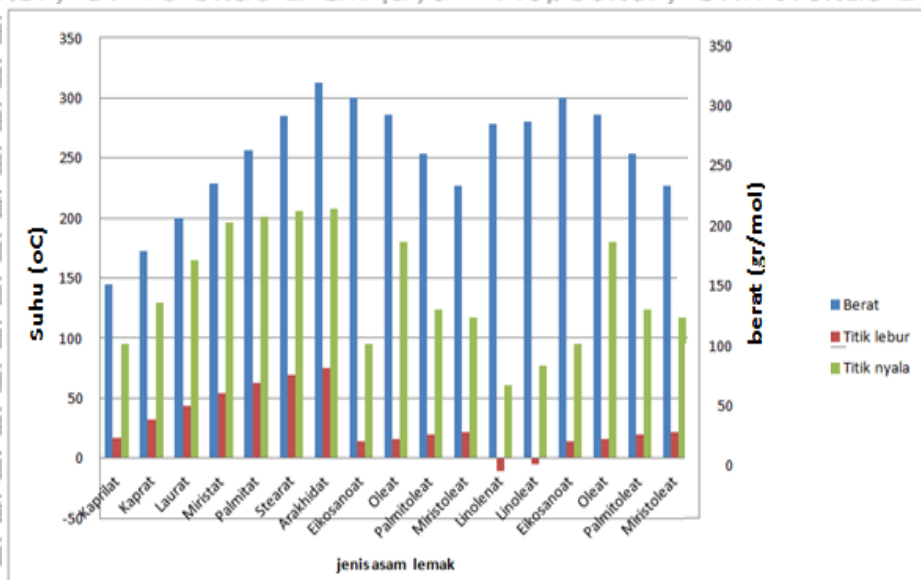
Pada gambar 5.8 komposisi asam lemak jenuh dan tak jenuh pada minyak jarak, kelapa, sawit dan kapok merupakan pemilahan dari jumlah asam lemak jenuh dan tak jenuh sehingga di dapat total jumlah presentase dari masing masing minyak nabati pada jumlah asam lemak jenuh dan sam lemak tak jenuhnya.





Gambar 5.8. Asam lemak jenuh dan tak jenuh pada minyak jarak, kelapa, sawit dan kapok.

Pada gambar 5.8. terlihat prosentase asam lemak tak jenuh terbanyak dimiliki oleh minyak jarak, berikutnya minyak kapok, minyak sawit dan yang paling sedikit adalah minyak kelapa. Sebaliknya pada asam lemak jenuh prosentase terbanyak adalah minyak kelapa, berikutnya minyak sawit, kemudian minyak kapok dan terakhir minyak jarak.

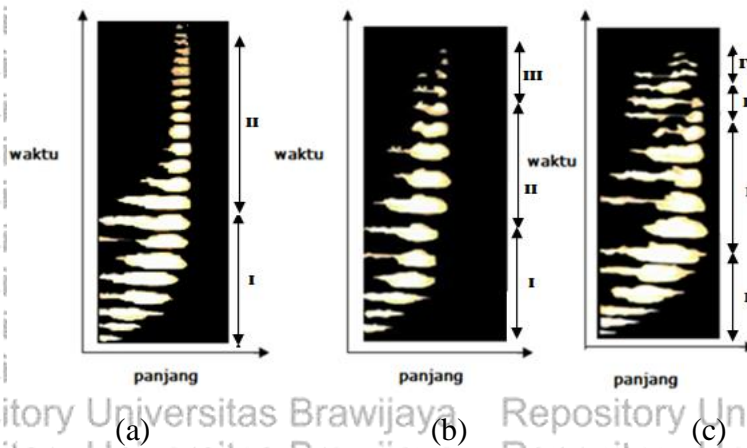


Gambar 5.9. Sifat asam lemak minyak nabati



### 5.2.1.1. Tahap Pembakaran Spray Pembakaran Minyak Jarak

Pada gambar dibawah terdapat step tahap pembakaran dengan melihat pembakaran maju dan mundur kembali menjadi satu tahap . dari proses yang ada dapat dilihat pada gambar bahwa proses tahap pembakaran pada spray minyak jarak (a) tekanan 1700 psi terdapat dua tahap pembakaran, (b) tekanan 1900 psi terdapat tiga tahapan dan pada minyak jarak dengan (c) tekanan 2100 psi terdapat empat tahap pembakaran.



Gambar 5.10. Proses pertumbuhan api spray minyak jarak dan tahap pembakaran pada tekanan (a) 1700 psi, (b) 1900 psi dan (c) 2100 Psi

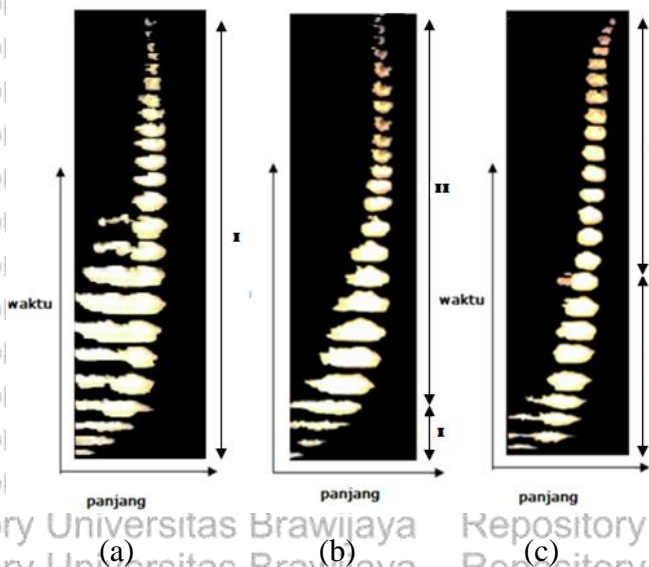
### 5.2.1.2. Tahap Pembakaran Spray Pembakaran Minyak Kelapa

Pada gambar 5.11. terdapat tahap pembakaran dengan melihat pembakaran maju dan mundur kembali menjadi satu tahap . dari proses yang ada dapat dilihat pada gambar bahwa proses tahap pembakaran pada spray minyak kelapa (a) tekanan 1700 psi terdapat satu tahapan pembakaran, (b) 1900 psi terdapat dua tahapan dan pada minyak kelapa dengan tekanan (c) 2100 psi terdapat dua tahap pembakaran.

Jika di lihat dari komposisi kimia minyak jarak tersusun atas asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh dari komposisi yang ada minyak jarak lebih di dominasi asam lemak jenuh jika menilik pada sifat asam lemak tak jenuh ini maka pembakaran spray minyak jarak tidak reaktif tetapi data hasil percobaan menunjukkan api spray pembakaran minyak kelapa bersifat reaktif ditunjukkan dengan adanya tahap pembakaran yang dapat berlangsung dua kali, hal ini tentu ada faktor lain yang berperan. Jika melihat pada sifat polaritas maka minyak kelapa tergolong dalam



polaritas yang tinggi. Sehingga sifat dari polaritas minyak kelapa lebih berperan dibandingkan dengan sifat asam lemak tak jenuhnya.



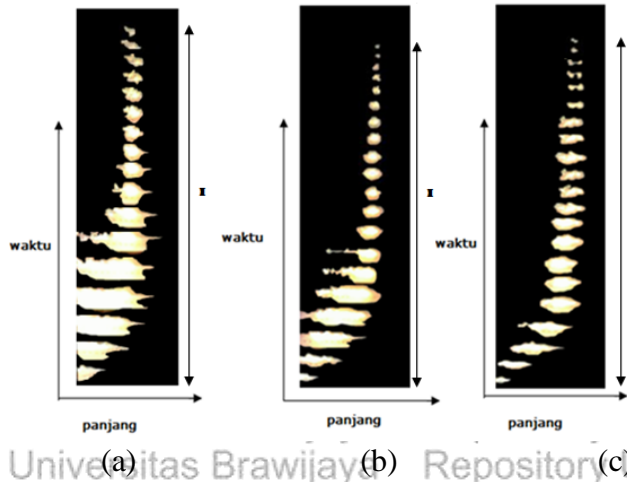
Gambar 5.11. Proses pertumbuhan api spray minyak kelapa dan tahap pembakaran tekanan (a) 1700 psi (b) 1900 psi dan (c) 2100 Psi

### 5.2.1.3. Tahap Pembakaran Spray Pembakaran Minyak Sawit

Pada gambar 5.12. terdapat tahap pembakaran dengan melihat pembakaran maju dan mundur kembali menjadi satu tahap. dari proses yang ada dapat dilihat pada gambar bahwa proses tahap pembakaran pada spray minyak sawit tekanan (a) 1700 psi terdapat satu tahap pembakaran, (b) 1900 psi terdapat satu tahapan dan pada minyak sawit dengan tekanan (c) pada tekanan yang paling tinggi dalam pengambilan data penelitian yaitu 2100 terdapat satu tahap pembakaran.

Pada minyak sawi komposisi penyusun dari asam lemak cenderung berimbang antara asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh. Sehingga sifat reaktif dari pembakaran spray minyak sawit cenderung tidak reaktif. Dan jika di tinjau dari sifat polaritasnya maka minyak sawit termasuk dalam polaritas yang rendah dua hal tersebut mempengaruhi di dalam pembakaran spray minyak sawit. Pada hasil data penelitian minyak sawit pada tekanan 1700 psi menyala dalam satu tahap, pada tekanan 1900 psi menyala dalam satu tahap demikian pula pada tekanan yang paling tinggi dalam percobaan yaitu 2100 psi.

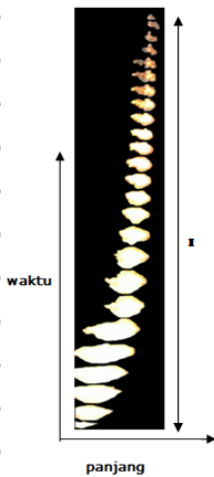




Gambar 5.12. Proses pertumbuhan api spray minyak sawit dan tahap pembakaran pada tekanan (a) 1700 psi, (b) 1900 psi, dan (c) 2100 Psi

**5.2.1.4. Tahap Pembakaran Spray Pembakaran Minyak Kapuk**

Pada gambar dibawah terdapat tahap pembakaran dengan melihat pembakaran maju dan mundur kembali menjadi satu tahap . dari proses yang ada dapat dilihat pada gambar bahwa proses tahap pembakaran pada spray minyak kapuk tekanan 2100 psi.



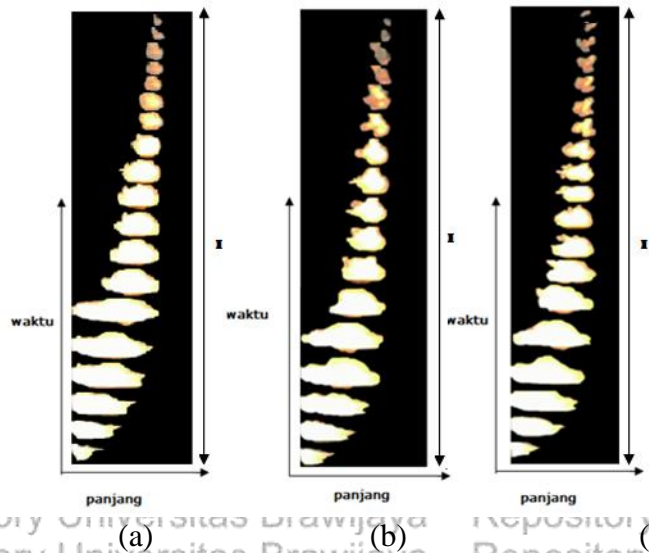
Gambar 5.13. Proses pertumbuhan api spray minyak kapuk dan tahap pembakaran pada tekanan 2100 Psi.

**5.2.1.5. Tahap Pembakaran Spray Pembakaran Minyak Solar**

Pada gambar 5.14. terdapat tahap pembakaran dengan melihat pembakaran maju dan mundur kembali menjadi satu tahap . dari proses yang ada dapat dilihat pada



gambar bahwa proses tahap pembakaran pada spray minyak solar tekanan (a) 1700 psi terdapat satu tahapan pembakaran, (b) 1900 psi terdapat satu tahapan dan pada minyak solar dengan tekanan (c) 2100 psi terdapat satu tahap pembakaran.



Gambar 5.14. Proses pertumbuhan api spray minyak solar dan tahap pembakaran pada tekanan (a) 1700, (b) 1900 psi dan (c) 2100 Psi

Dari hasil analisa spray api minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar sebagai pembandingan, didapat hasil tahap pembakaran minyak jarak dan minyak kelapa terdapat kemiripan yaitu terjadi beberapa tahap, sedangkan pada minyak sawit dan minyak kapuk hanya terdapat satu tahap pembakaran. Ini dapat dihubungkan dengan komposisi asam lemak pada minyak jarak dan minyak kelapa kandungan asam lemak dengan rantai karbon panjang. Sehingga pada saat terkena energi tekan terputus menjadi asam lemak yang lebih pendek dan menyala dalam beberapa tahap.

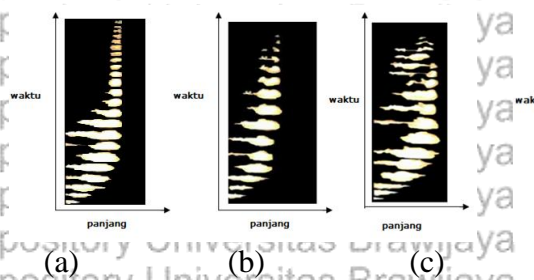
Polaritas juga memegang peranan yang penting pada proses tahapan pembakaran sifat polaritas akan mempengaruhi reaktifitas dari pembakaran minyak nabati pada minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit dan minyak kapuk. Jika di tinjau dari hal tersebut minyak kelapa mempunyai sifat polaritas yang tinggi jika dibandingkan dengan minyak jarak, minyak sawit dan minyak kapuk. Meskipun komposisi kimia pada asam lemak penyusun minyak jarak di dominasi oleh kandungan asam lemak tak



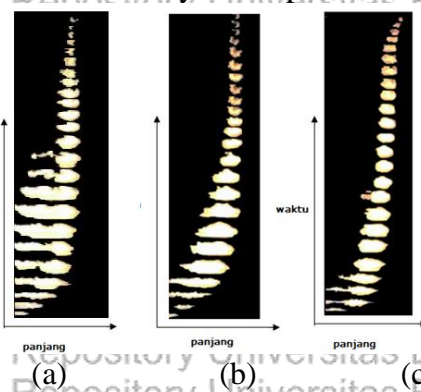


jenuh tetapi dalam pembakaran spray minyak jarak termasuk reaktif. Dengan demikian peran polaritas lebih mempengaruhi pada minyak kelapa.

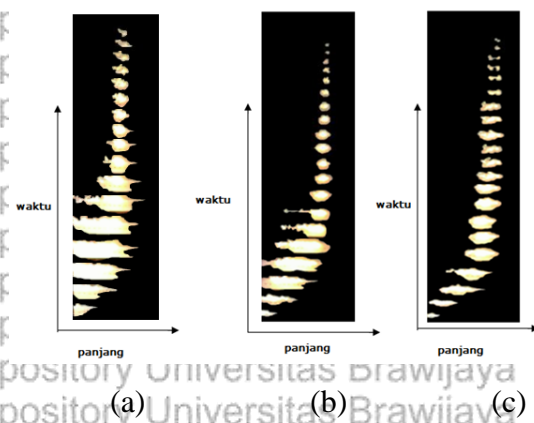
Minyak jarak



minyak kelapa



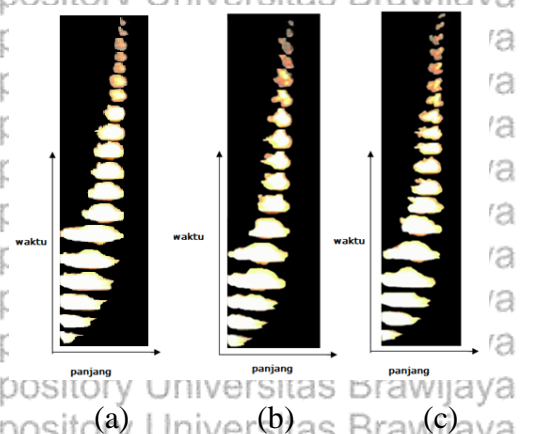
Minyak sawit



minyak kapuk



Minyak solar



Gambar 5.15. Gabungan spray api minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak kelapa. ((a) tekanan 1700psia, (b) tekan 1900psia, (c) tekan 2100psia)

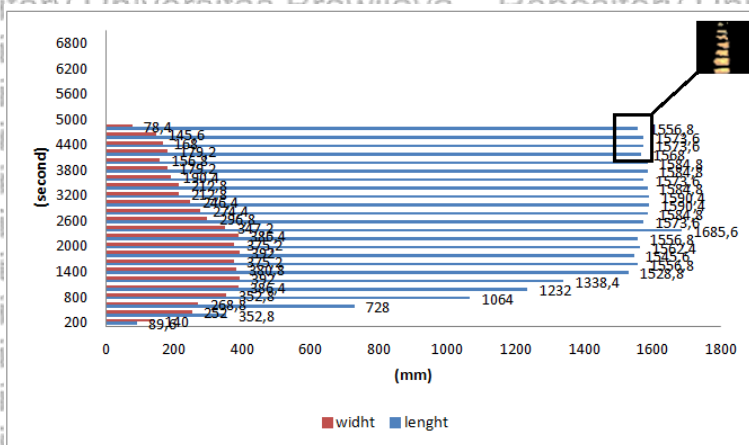


Dari gambar 5.15. dapat dianalisa bahwa pembakaran minyak nabati terdapat perbedaan lama nyala pembakaran dalam satu kali spray pembakaran, yaitu pada minyak jarak mengalami proses pembakaran terpendek dan propes pembakaran minyak kelapa paling panjang

**5.2.2. Jejak Pembakaran Minyak Nabati**

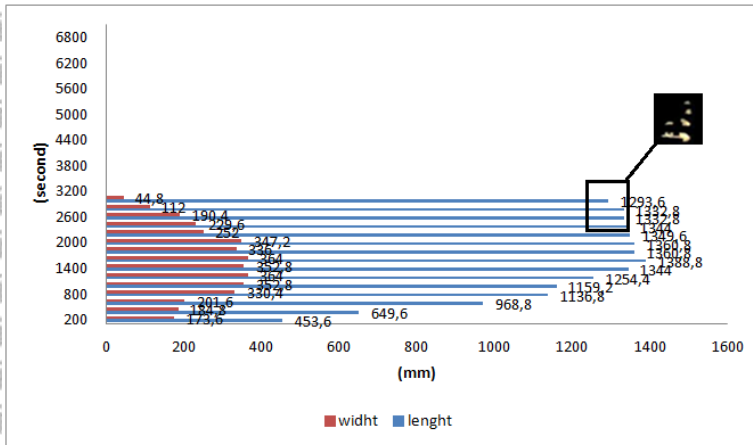
**5.2.2.1. Jejak Pembakaran Minyak Jarak**

Analisa jejak pembakaran hasil dari lampiran 1, 2 dan 3 diperoleh, panjang api, lebar api, panjang maksimal spray api dan kecepatan spray api minyak jarak pada tekanan 2100psia. Pada photo 1000 mm = titik pixel 888 – titik pixel 710 sehingga 178 pixel mewakili 1000 mm atau  $1000/178 = 6,6 \text{ mm/pixel}$  atau  $1 \text{ pixel} = 6,6 \text{ mm}$ . Pada tabel 5.4. merupakan tabel dari perhitungan panjang dan lebar spray api minyak jarak dengan tekanan 1700, tekanan 1900 psi dan 2100 psi. Dengan (t) sebagai fungsi waktu menggunakan satuan mili second, (x1) merupakan fungsi titik awal panjang pada gambar api dengan satuan pixel, (x2) merupakan fungsi titik akhir pada panjang gambar api dengan satuan pixel, (p) merupakan panjang api spray dengan satuan mili meter, (pmax) merupakan panjang jangkauan api spray dengan satuan mili meter, (y1) merupakan fungsi titik awal lebar pada gambar api dengan satuan pixel, (y2) merupakan fungsi titik akhir lebar pada gambar api dengan satuan pixel, (l) merupakan lebar api spray dengan satuan mili meter.

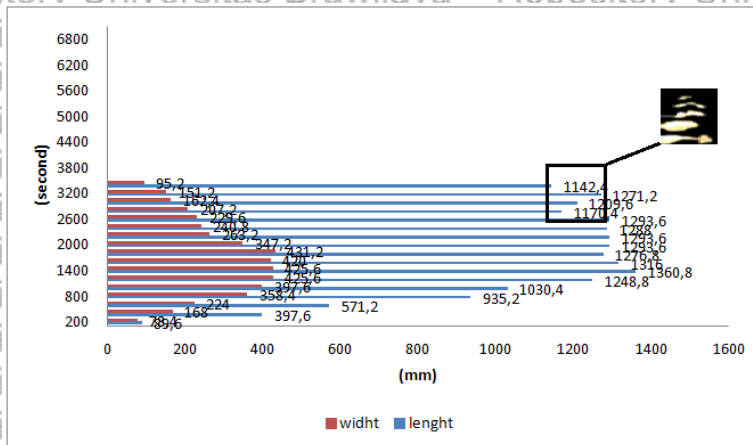


Gambar 5.16. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1700 Psi





Gambar 5.17. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi



Gambar 5.18. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi

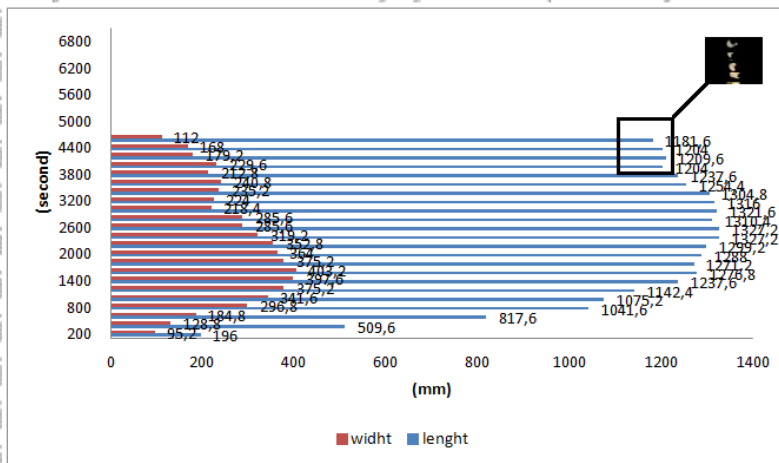
Pada gambar 5.16 gambar 5.17 dan gambar 5.18 terdapat perubahan pada akhir pembakaran yang mengarah pada berkurangnya panjang spray api pembakaran hal ini menunjukkan pembakaran pada minyak jarak menyisakan asam lemak yang terbakar melambat atau dalam pembakaran akan menyisakan kerak pembakaran. dapat di peroleh Kecepatan spray pembakaran pembakaran 1360,8/1400 mm/ms yaitu 0,972 mm/ms dan nilai maksimum spray pembakaran 1360,8mm.

#### 5.2.2.2. Jejak Pembakaran Minyak Kelapa

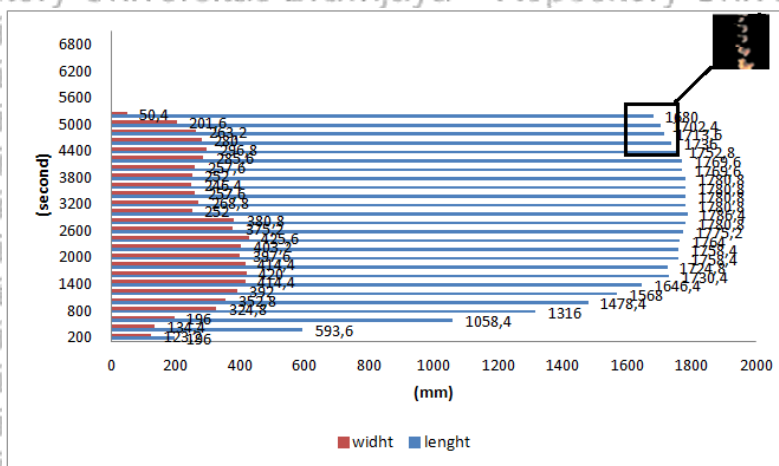
Analisa jejak pembakaran pada lampiran 4,5 dan 6 diperoleh panjang api, lebar api, panjang maksimal spray api dan kecepatan spray api minyak kelapa pada tekanan 2100psia. Pada photo 1000 mm = titik pixel 888 – titik pixel 710 sehingga 178 pixel mewakili 1000 mm atau  $1000/178 = 6,6$  mm/pixel atau 1 pixel = 6,6 mm. Pada gambar 5.10, gambar 5.11 dan gambar 5.12. merupakan tabel dari perhitungan panjang dan



lebar spray api minyak jarak dengan tekanan 1900 psi dan 2100 psi. Dengan (t) sebagai fungsi waktu menggunakan satuan mili second, (x1) merupakan fungsi titik awal panjang pada gambar api dengan satuan pixel, (x2) merupakan fungsi titik akhir pada panjang gambar api dengan satuan pixel, (p) merupakan panjang api spray dengan satuan mili meter, (pmax) merupakan panjang jangkauan api spray dengan satuan mili meter, (y1) merupakan fungsi titik awal lebar pada gambar api dengan satuan pixel, (y2) merupakan fungsi titik akhir lebar pada gambar api dengan satuan pixel, (l) merupakan lebar api spray dengan satuan mili meter.

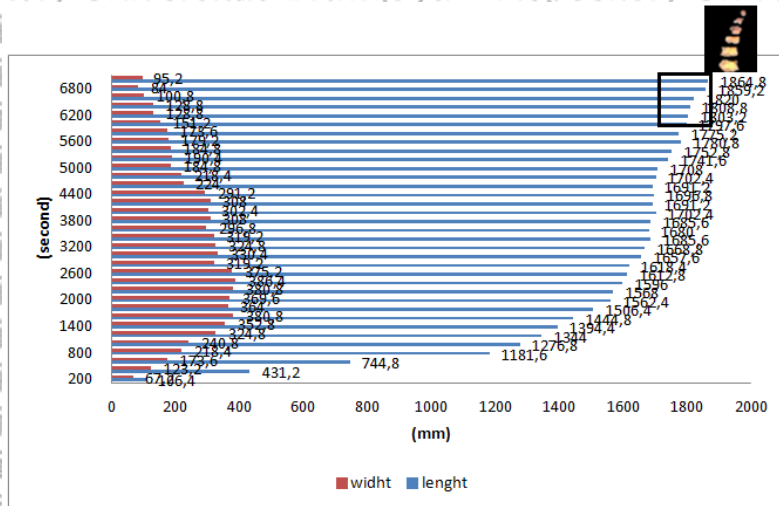


Gambar 5.20. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1700 Psi



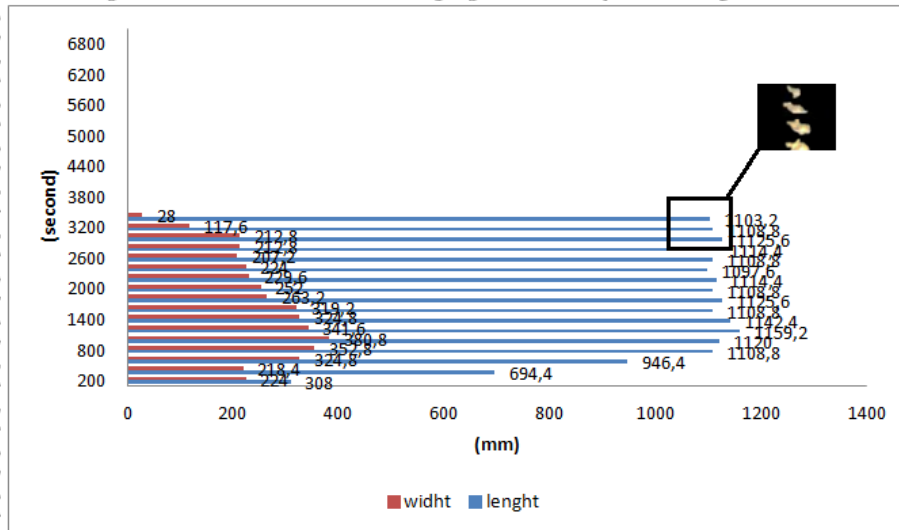
Gambar 5.21. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi



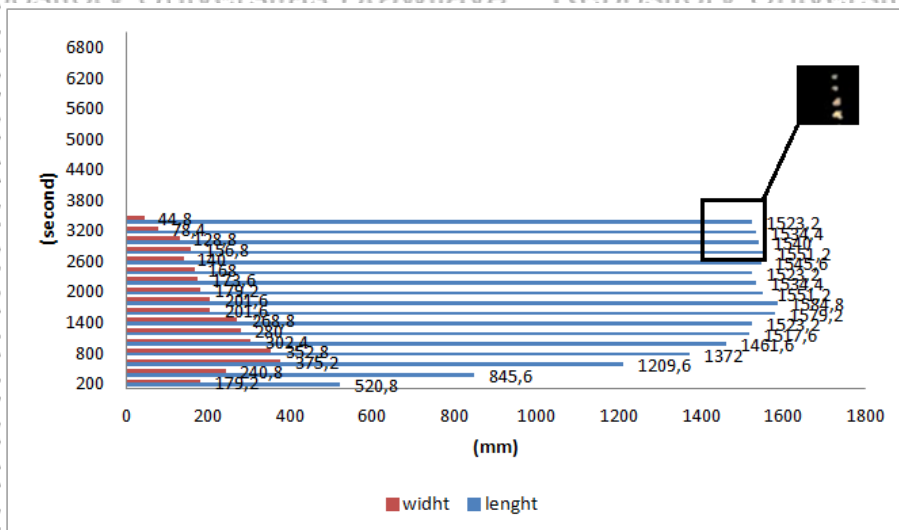




pixel, (l) merupakan lebar api spray dengan satuan mili meter. Gambar nyala akhir dari api cenderung rata atau menghabis langsung pada akhir pembakaran. Sifat dari asam lemak tak jenuh mempengaruhi pada sisa pembakaran yang lebih sedikit dikarenakan sifat pembakaran yang kurang reaktif



Gambar 5.23. panjang, lebar dan waktu api spray minyak sawit pada tekanan 1700 Psi

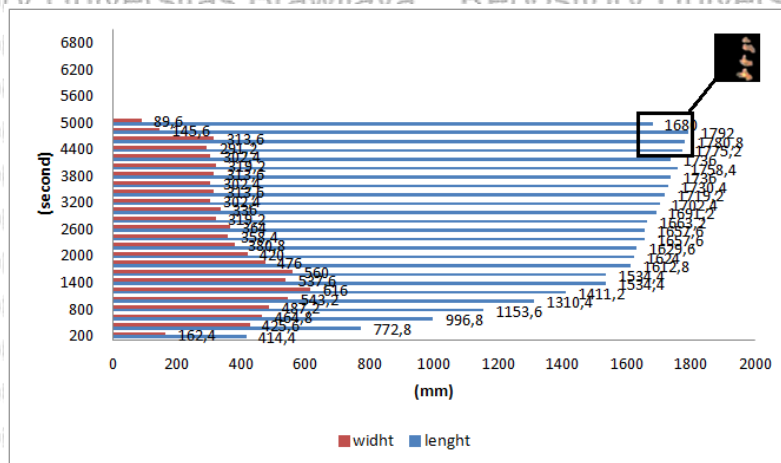


Gambar 5.24. panjang, lebar dan waktu api spray minyak sawit pada tekanan 1900 Psi









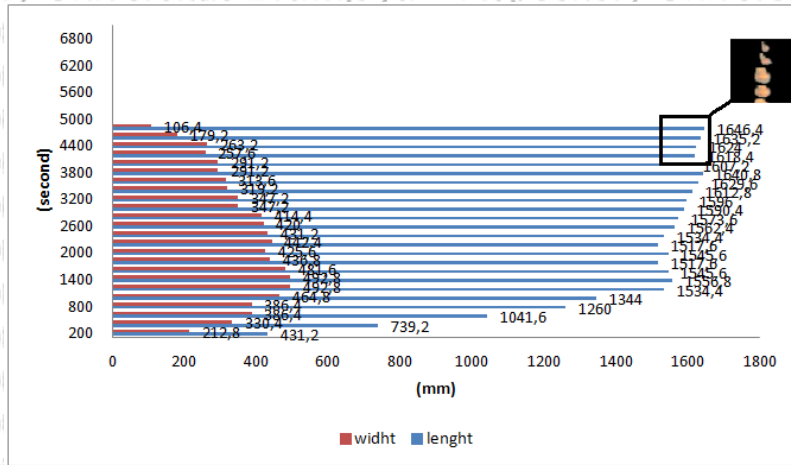
Gambar 5.26. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi

Pada gambar 5.26 terdapat perubahan pada akhir pembakaran yang mengarah pada berkurangnya panjang spray api pembakaran namaun hanya sedikit hal ini menunjukkan pembakaran pada minyak jarak menyisakan sedikit asam lemak yang terbakar melambat atau dalam pembakaran akan menyisakan kerak pembakaran.

#### 5.2.2.5. Jejak pembakaran minyak solar

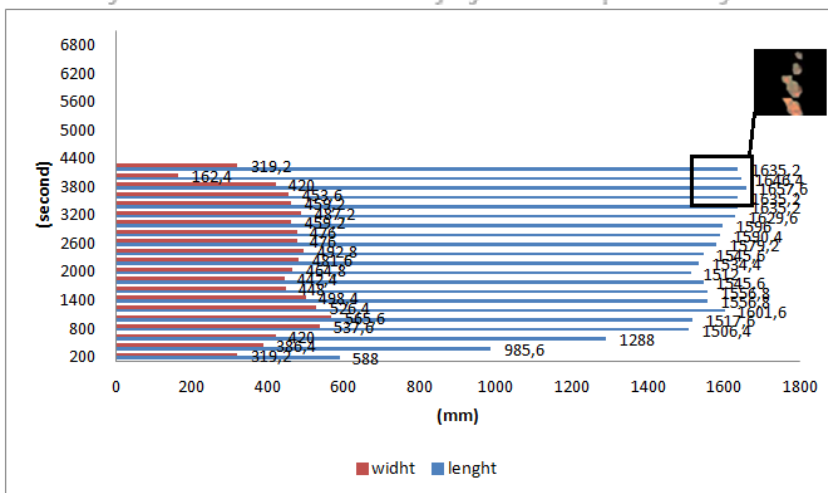
Analisa jejak pembakaran, panjang api, lebar api, panjang maksimal spray api dan kecepatan spray api minyak solar pada tekanan 1700 psi, tekanan 1900 psi dan tekanan 2100 psia. Pada photo 1000 mm = titik pixel 888 – titik pixel 710 sehingga 178 pixel mewakili 1000 mm atau  $1000/178 = 6,6 \text{ mm/pixel}$  atau  $1 \text{ pixel} = 6,6 \text{ mm}$ . Pada gambar 5.17, gambar 5.18 dan gambar 5.19, merupakan tabel dari perhitungan panjang dan lebar spray api minyak jarak dengan tekanan 1700, tekanan 1900 psi dan tekanan 2100 psi. Dengan (t) sebagai fungsi waktu menggunakan satuan mili second, (x1) merupakan fungsi titik awal panjang pada gambar api dengan satuan pixel, (x2) merupakan fungsi titik akhir pada panjang gambar api dengan satuan pixel, (p) merupakan panjang api spray dengan satuan mili meter, (pmax) merupakan panjang jangkauan api spray dengan satuan mili meter, (y1) merupakan fungsi titik awal lebar pada gambar api dengan satuan pixel, (y2) merupakan fungsi titik akhir lebar pada gambar api dengan satuan pixel, (l) merupakan lebar api spray dengan satuan mili meter.





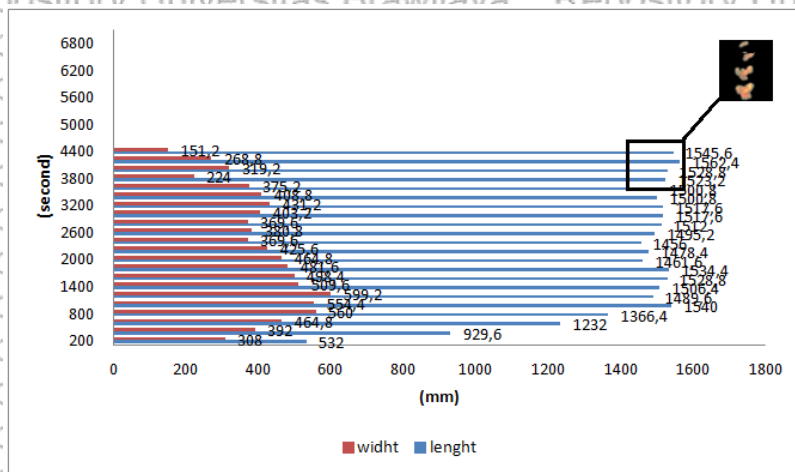
Gambar 5.26. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1700 Psi

Pada gambar 5.26 dapat dianalisa bahwa pada spray nyala api solar pada akhir spray berakhir dengan panjang maksimal dan tidak menurun kembali yang berarti pada pembakaran solar spray terbakar sempurna dan tidak banyak meninggalkan jelaga dibanding dengan pembakaran minyak nabati. Pembakaran dariminyak solar bereaksi dengan sempurna sehingga hasil akhir nyala api spray minyak solar seperti terlihat pada gambar yaitu hampir semua pada tekanan 1700 psia menghabiskan dengan rata, pada tekanan 1900 psi menghabiskan dengan rata demikian pula pada tekanan 2100 psia nyala akhir dari spray api pembakaran solar menghabiskan dengan rata.



Gambar 5.27. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi





Gambar 5.28. panjang, lebar dan waktu api spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi

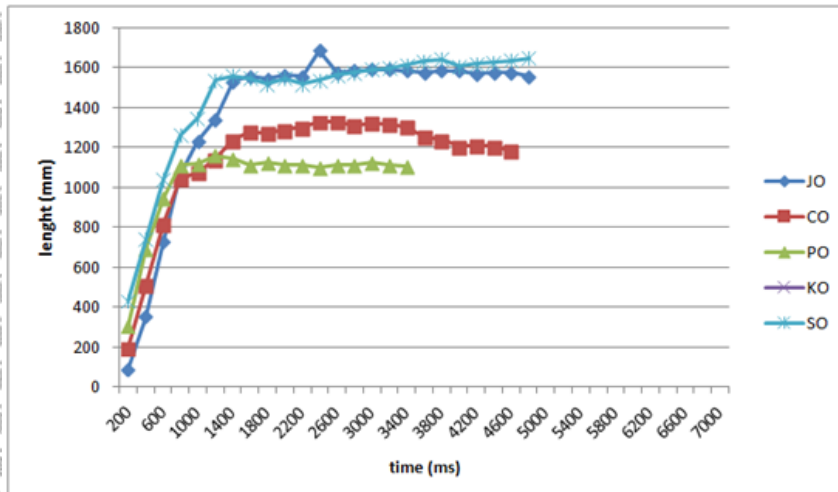
Pada gambar 5.27 dan gambar 5.28 dapat dianalisa bahwa pada spray nyala api solar pada akhir spray berakhir dengan panjang maksimal dan tidak menurun kembali yang berarti pada pembakaran solar spray terbakar sempurna dan tidak banyak meninggalkan jelaga dibanding dengan pembakaran minyak nabati. Pada gambar 5.28. dapat di peroleh Kecepatan spray pembakaran pembakaran  $1562,4/4200$  mm/ms, yaitu  $0,372$  mm/ms dan nilai maksimum spray pembakaran  $1562,4$  mm.

#### 5.2.2.6. Jejak pembakaran panjang dan waktu nyala api minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dibandingkan dengan minyak solar

Analisa jejak pembakaran dengan membandingkan grafik panjang dan waktu nyala api minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawi, minyak kapuk dibandingkan dengan minyak solar didapat seperti pada gambar berikut:

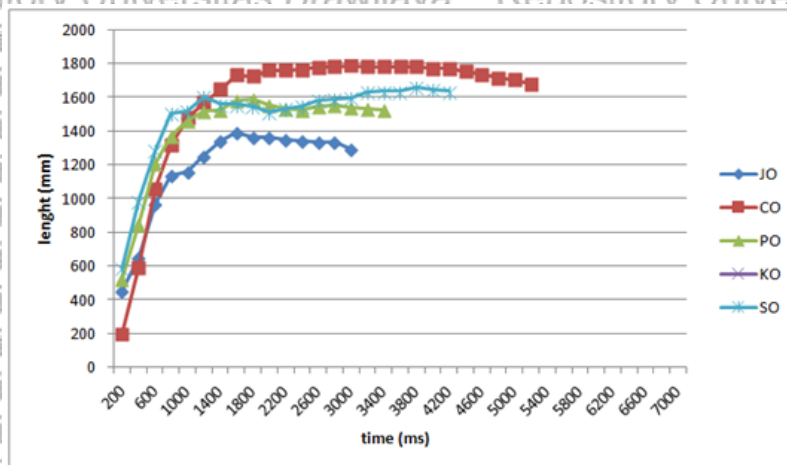
Pada tekanan awal 1700 psi pembakaran minyak jarak lebih tinggi di banding dengan minyak solar dan minyak kelapa dibawan sedikit dari minyak solar. Sedangkan minyak sawit lebih dibawah dibanding dengan pembakaran spray minyak kelapa. Dan untuk minyak kapuk pada tekanan 1700 Psi belum dapat menyala. Dengan data panjang api spray dapat ditunjukkan bahwa pada tekanan rendah lebih mudah di spray pada minyak jarak karena memiliki komposisi kimia asam lemak tak jenuh dengan proestase yang paling banyak jika dibanding dengan minyak kelapa, minyak sawit dan juga minyak kapuk.





Gambar. 5.29. perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1700 psi

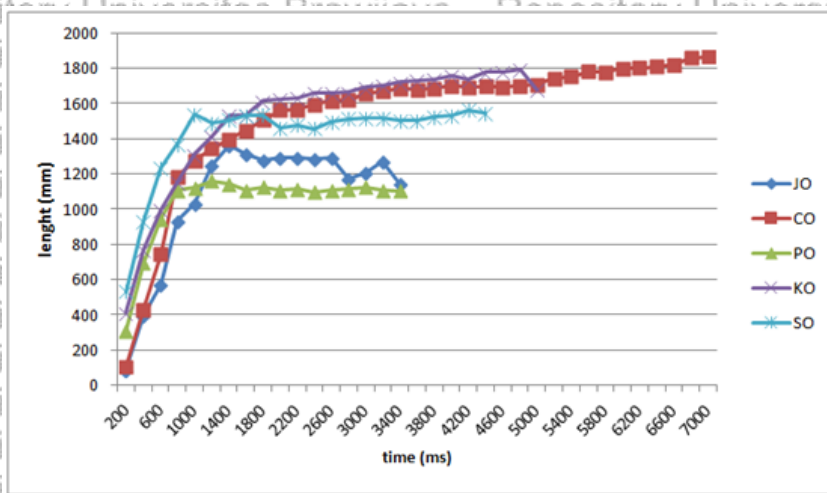
Pada grafik 5.29. perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1700 psi. panjang dan waktu nyala pembakaran minyak jarak berada dekat dengan minyak solar menunjukkan karakter pembakaran secara panjang dan waktu nyala spray minyak jarak dan minyak solar memiliki kemiripan, sedangkan minyak kelapa dan minyak sawit panjang spray nyala api pembakarannya dibawah minyak solar dan untuk minyak kapuk pada tekanan 1700 psi masih belum menyala.



Gambar. 5.30. perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1900 psi



Pada grafik 5.30. perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1900 psi. Panjang dan waktu nyala pembakaran minyak sawit berada dekat dengan minyak solar menunjukkan karakter pembakaran secara panjang dan waktu nyala spray minyak jarak dan minyak solar memiliki kemiripan pada tekanan 1900 psi, sedangkan minyak kelapa berada diatas minyak solar baik untuk panjang dan waktu nyala api spray dan minyak jarak berada dibawah minyak solar baik pada ukuran panjang maupun waktu nyala api spray.



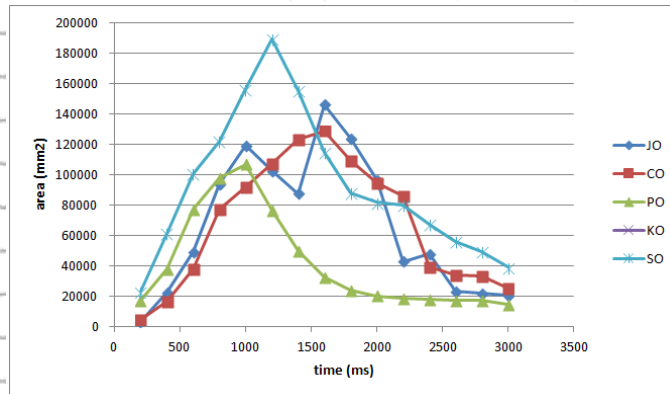
Gambar. 5.31. perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 2100 psi

Pada grafik 5.21. perbandingan panjang dan waktu nyala api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 2100 psi. Panjang dan waktu nyala pembakaran minyak jarak berada dekat dengan minyak solar menunjukkan karakter pembakaran secara panjang dan waktu nyala spray minyak jarak dan minyak solar memiliki kemiripan pada tekanan 2100 psi, sedangkan minyak kelapa berada diatas minyak solar baik untuk panjang dan waktu nyala api spray dan minyak sawit berada dibawah minyak solar baik pada ukuran panjang maupun waktu nyala api spray. Sedangkan pada minyak kapuk menyala diatas solar baik untuk panjang dan waktu nyala api spray tapi masih dibawah minyak kelapa.

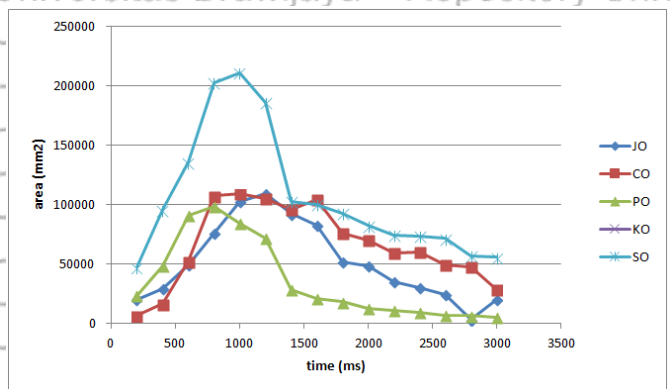


### 5.2.2.7. Jejak Pembakaran Luas Spray Api Minyak Jarak, Minyak Kelapa, Minyak Sawit, Minyak Kapuk Dibandingkan Dengan Minyak Solar

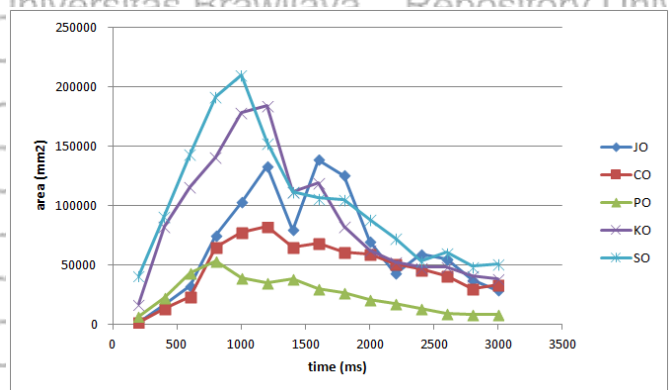
Analisa jejak pembakaran dengan membandingkan grafik luas nyala spray api minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawi, minyak kapuk dibandingkan dengan minyak solar pada tekanan 1700 Psi, tekanan 1900 Psi dan tekanan 2100 Psi didapat seperti pada gambar berikut:



(a)



(b)



(c)

Gambar 5.32. Gabungan perbandingan luas nyala api spray





Pada gambar 5.32.a, grafik perbandingan luas api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1700 psi dapat dilihat bahwa luas maksimal api spray terdapat pada minyak solar dan paling dekat dengan solar luas maksimal api spray didapat pada minyak jarak dan dibawah minyak jarak adalah luas maksimal api spray minyak kelapa dan terakhir adalah luas maksimal api spray minyak sawit. Sedangkan minyak kapuk pada tekanan 1700 Psi belum menyala.

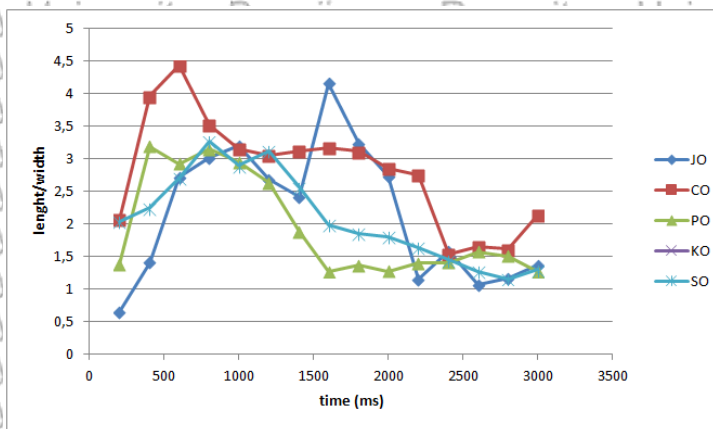
Pada gambar 5.32.b, grafik perbandingan luas api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1900 psi dapat dilihat bahwa luas maksimal api spray terdapat pada minyak solar dan paling dekat dengan solar luas maksimal api spray didapat pada minyak kelapa dan dibawah minyak kelapa adalah luas maksimal api spray minyak jarak dan terakhir adalah luas maksimal api spray minyak sawit. Sedangkan minyak kapuk pada tekanan 1900 Psi belum menyala.

Pada gambar 5.32.c, grafik perbandingan luas api spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 2100 Psi dapat dilihat bahwa luas maksimal api spray terdapat pada minyak solar dan paling dekat dengan solar luas maksimal api spray didapat pada minyak kapuk dan dibawah minyak kapuk adalah luas maksimal api spray minyak jarak, dibawah minyak jarak terdapat luas maksimal api spray minyak kelapa dan terakhir adalah luas maksimal api spray minyak sawit. Dari hasil ketiga grafik dari gambar 5.32.a, gambar 5.32.b dan gambar 5.32.c. didapat hasil analisa secara keseluruhan hasil perbandingan luas api spray pada tekanan 1700 Psi, 1900 Psi dan 2100 Psi yang memiliki kedekatan atau kemiripan dengan luas api spray minyak solar adalah luas api spray minyak jarak. Dari gambar 2.32. didapatkan pengaruh perubahan tekanan luas area api spray hal ini bisa dilihat pada gambar 2.32 (a), (b) dan (c) kecenderungan semakin meningkatnya tekanan maka semakin bertambah luas area api spray pembakaran minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar.

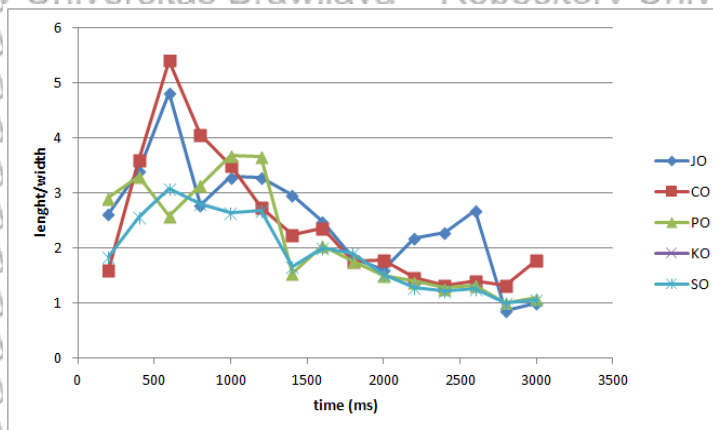


### 5.2.2.8. Jejak Pembakaran Perbandingan Panjang Dan Lebar Spray Api Minyak Jarak, Minyak Kelapa, Minyak Sawit, Minyak Kapuk Dibandingkan dengan Minyak Solar

Analisa jejak pembakaran dengan membandingkan rasio panjang dan lebar seperti pada lampiran 25, lampiran 26, lampiran 27, lampiran 28 dan lampiran 29 data diperoleh dengan membagi panjang spray api dengan lebar spray api pembakaran minyak jarak, kelapa, minyak sawi, minyak kapuk dibandingkan dengan minyak solar pada tekanan 1700 Psi, tekanan 1900 Psi dan tekanan 2100 Psi dan grafik didapat seperti pada gambar 5.23.a, gambar 5.22.b, dan gambar 5.23.c berikut.



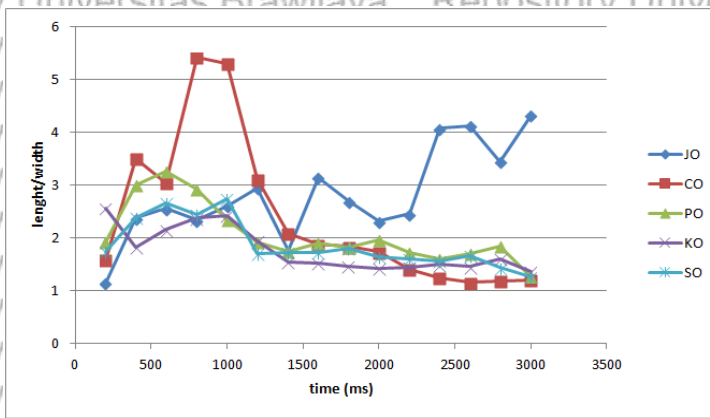
(a)



(b)







(c)

Gambar 5.33. Gabungan Perbandingan Rasio Panjang Dan Lebar.

Pada gambar 5.33.a. grafik perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1700 psi dapat dilihat grafik api spray terdapat pada minyak solar terlihat stabil dengan pola dari perbandingan dengan angka rendah dan meninggi kemudian menurun lagi hal ini menunjukkan pembakaran spray minyak solar stabil dan paling dekat dengan solar adalah rasio panjang dan lebar api spray minyak sawit, dan rasio panjang dan lebar api spray minyak kelapa dan terakhir adalah rasio panjang dan lebar api spray minyak jarak. Sedangkan minyak kapuk pada tekanan 1700 Psi belum menyala.

Pada gambar 5.33.a. grafik perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1900 Psi dapat dilihat grafik api spray yang terdapat pada minyak solar terlihat stabil dengan pola dari perbandingan dengan angka rendah dan meninggi kemudian menurun lagi hal ini menunjukkan pembakaran spray minyak solar stabil dan paling dekat dengan solar adalah rasio panjang dan lebar api spray minyak sawit, dan rasio panjang dan lebar api spray minyak kelapa dan terakhir adalah rasio panjang dan lebar api spray minyak jarak. Sedangkan minyak kapuk pada tekanan 1900 Psi belum menyala.

Pada gambar 5.33.b. grafik perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 2100 Psi dapat dilihat grafik api spray yang terdapat pada minyak solar terlihat stabil dengan pola dari perbandingan dengan angka rendah dan meninggi kemudian menurun lagi hal ini menunjukkan pembakaran spray minyak solar stabil dan paling dekat dengan solar adalah rasio panjang dan lebar api spray minyak sawit, rasio panjang



dan lebar api spray minyak kapuk dan rasio panjang dan lebar api spray minyak kelapa dan terakhir adalah rasio panjang dan lebar api spray minyak jarak. Minyak kapuk pada tekanan 2100 Psi terjadi penyalaan dan grafik berada diatas minyak solar hal ini menunjukkan minyak kapuk memiliki karakter nyala spray lebih memanjang.

Dari hasil ketiga grafik dari gambar 5.33.a. perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1700 Psi., gambar 5.33.b. perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 1900 Psi dan gambar 5.33.c. perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada tekanan 2100 Psi didapat hasil analisa secara keseluruhan hasil perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak pada tekanan 1700 Psi, perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak pada tekanan 1900 Psi dan perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak pada tekanan 2100 Psi yang memiliki kedekatan atau kemiripan dengan rasio panjang dan lebar atau memiliki kestabilan pada nyala spray minyak solar adalah rasio panjang dan lebar nyala spray minyak sawit.

Grafik gabungan perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar pada Dari gambar 2.33. tekanan (a) 1700 Psi (b),1900 Psi dan (c) 2100 Psi. Dapat dilihat bahwa dengan semakin meningkatnya tekanan maka semakin meningkat pula perbandingan rasio panjang dan lebar dan terdapat hal yang menarik bahwa pada grafik perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa, dengan semakin meningkatnya tekanan terdapat ketidakstabilan grafik perbandingan rasio panjang dan lebar spray minyak jarak, minyak kelapa dalam gambar terlihat naik dan turun dalam beberapa kali tahap. Hal ini dapat dikaitkan dengan adanya energi tekan spray yang memutuskan rantai karbon dari asam lemak yang panjang dari minyak jarak dan minyak kelapa.

### **5.2.3. Sidik Warna Spray Api Minyak Nabati**

#### **5.2.3.1.Sidik Warna Spray Api Minyak Jarak**

Analisa warna RGB (red grey blue) pada spc (soot precursor), soz (soot oxidation zone), df (difusion flame),tnpz (thermal NO production zone) pembakaran spray api minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk dan minyak solar.



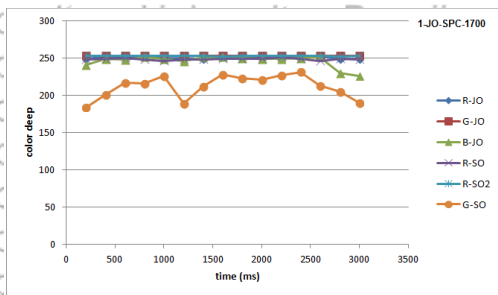


(a)

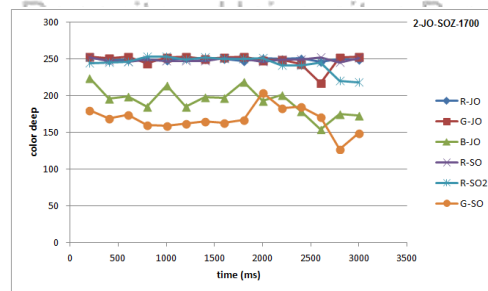
(b)

Gambar 5.39. (a) Frame hasil nyala spray api dan (b) area pada spc (soot precursor), soz (soot oxidation zone), df (difusion flame), tnpz (thermal NO production zone).

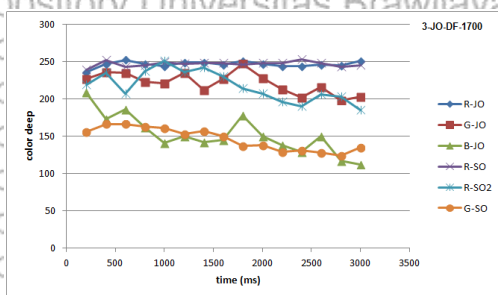
Pada gambar 5.39 (b) terdapat gambar yang diperbesar dari frame hasil nyala spray api dan terdapat empat daerah yaitu: daerah A adalah daerah spc (soot precursor), daerah B adalah daerah soz (soot oxidation zone), daerah C adalah daerah df (difusion flame), dan daerah D adalah daerah tnpz. (thermal NO production zone). Pembagian daerah ini sesuai dengan model api pembakaran spray berdasarkan zonasi dan warna (Park et. al. : (2009))



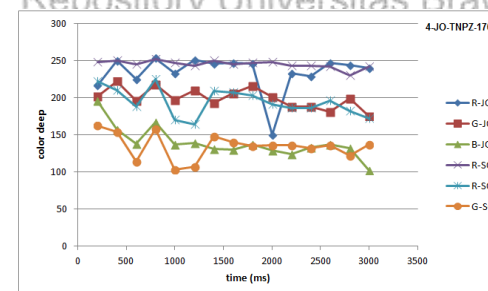
(a)



(b)



(c)



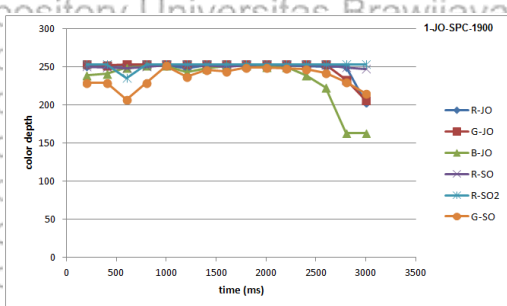
(d)

Gambar 5.29. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak jarak dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 1700 Psi.

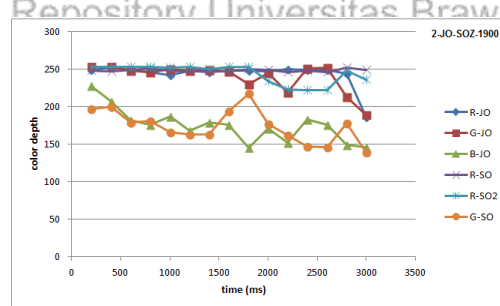


Pada gambar 5.39. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 1700 Psi spray minyak jarak dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukan kearah total gelap atau hitam) dari zona. (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).

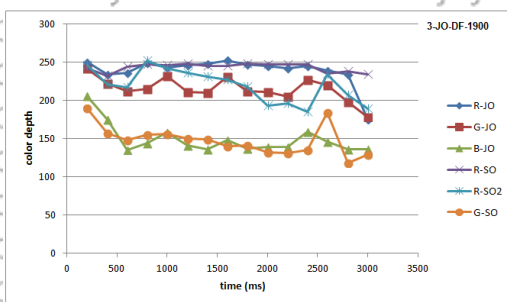
Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak jarak dan minyak solar kemudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.



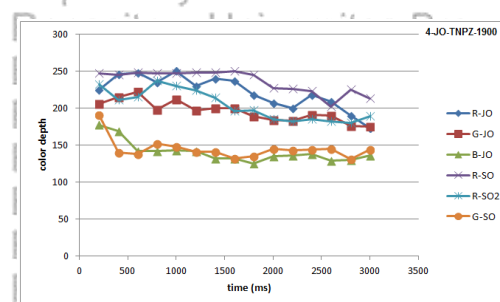
(a)



(b)



(c)



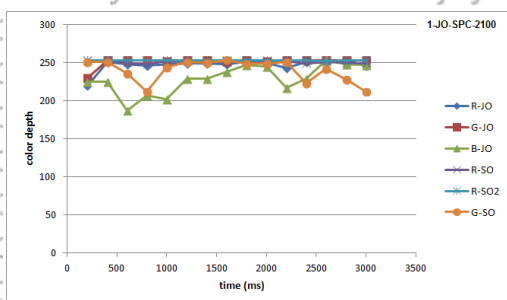
(d)

Gambar 5.40. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak jarak dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 1900 Psi.

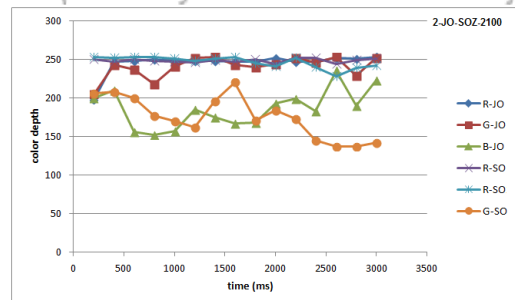


Pada gambar 5.40. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 1900 Psi spray minyak jarak dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a)spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone)

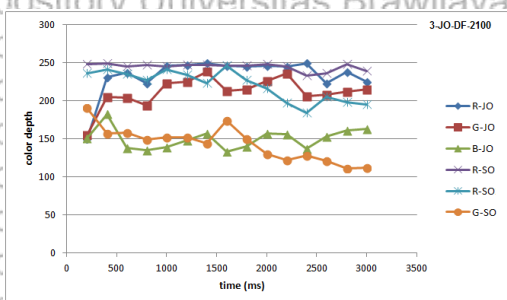
Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak jarak dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.



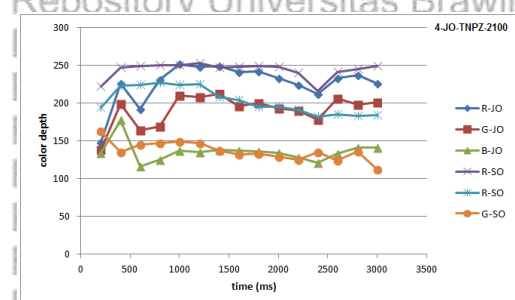
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5.41. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak jarak dibanding minyak solar (a)spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 2100 Psi.

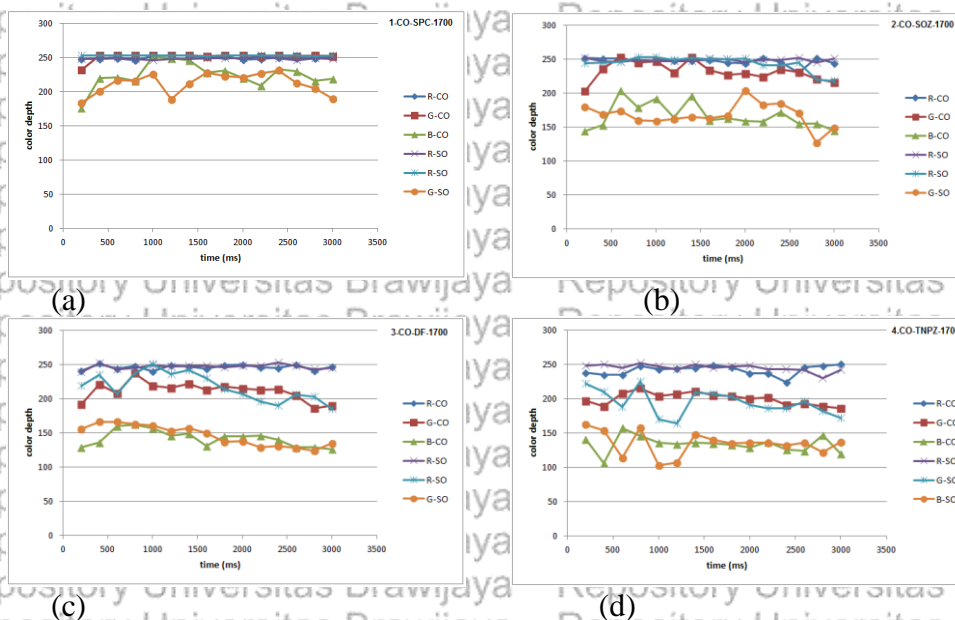


Pada gambar 5.41. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 2100 Psi spray minyak jarak dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 menunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak jarak dan minyak solar kemudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap

Pada perbandingan gambar 5.49, gambar 5.40 dan gambar 5.41 untuk hasil analisa RGB spray api minyak jarak dan minyak solar dengan perubahan tekanan yang meningkat dari tekanan 1700 Psi, tekann 1900 Psi dan tekanan 2100 Psi hasil analisa RGB berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.

### 5.2.3.2. Sidik warna spray api minyak kelapa

Pada Gambar 5.42. merupakan grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kelapa dibanding minyak solar pada tekanan 1700 Psi.

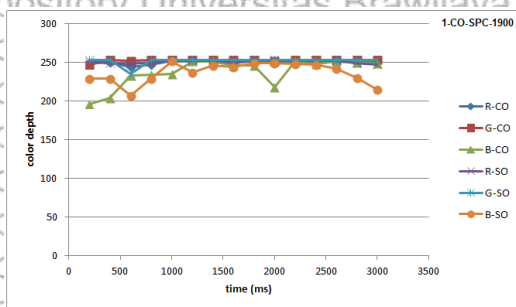


Gambar 5.42. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kelapa dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 1700 Psi.

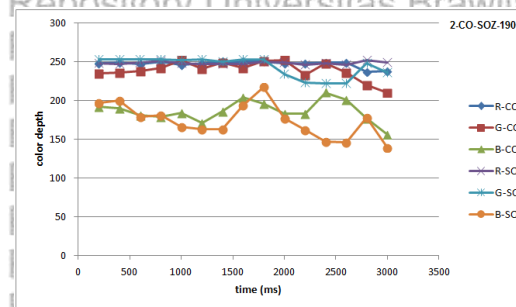


Pada gambar 5.42, merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 17000 Psi spray minyak Kelapa dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).

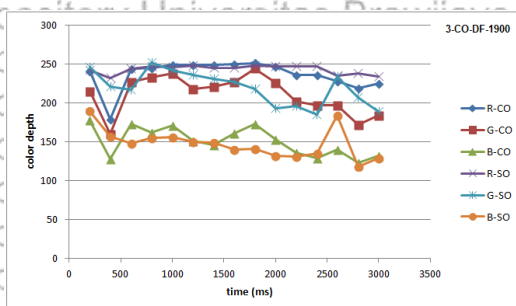
Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak jarak dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.



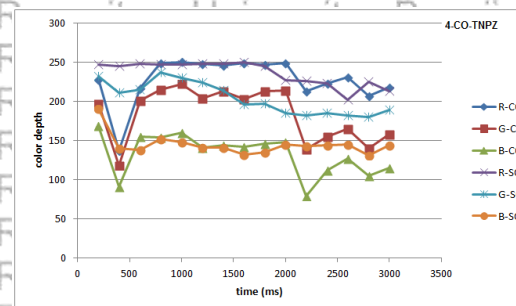
(a)



(b)



(c)



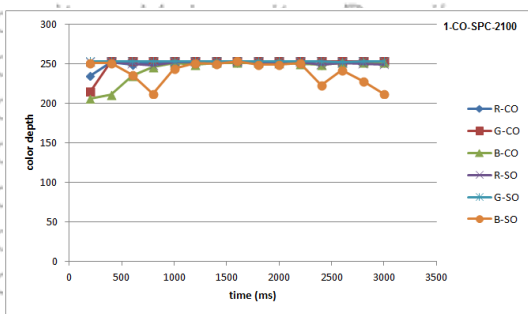
(d)

Gambar 5.43. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kelapa dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 1900 Psi.

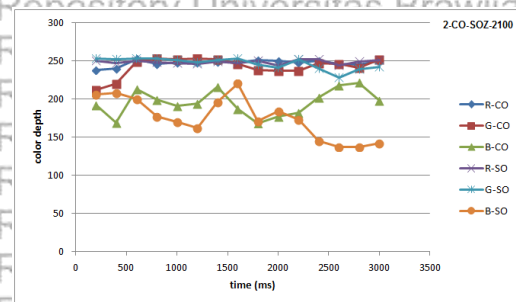


Pada gambar 5.43 merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 1900 Psi spray minyak Kelapa dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).

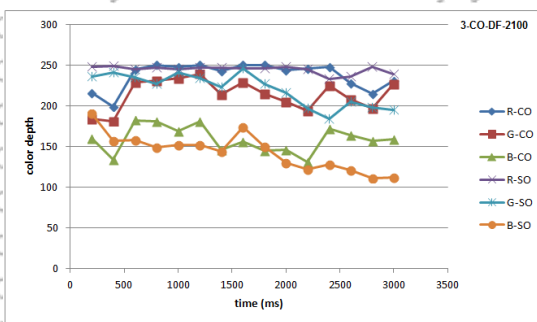
Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak jarak dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.



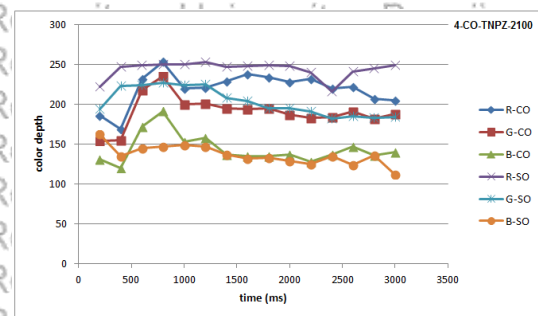
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5.44. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kelapa dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 2100 Psi.



Pada gambar 5.44. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 2100 Psi spray minyak Kelapa dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).

Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak jarak dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.

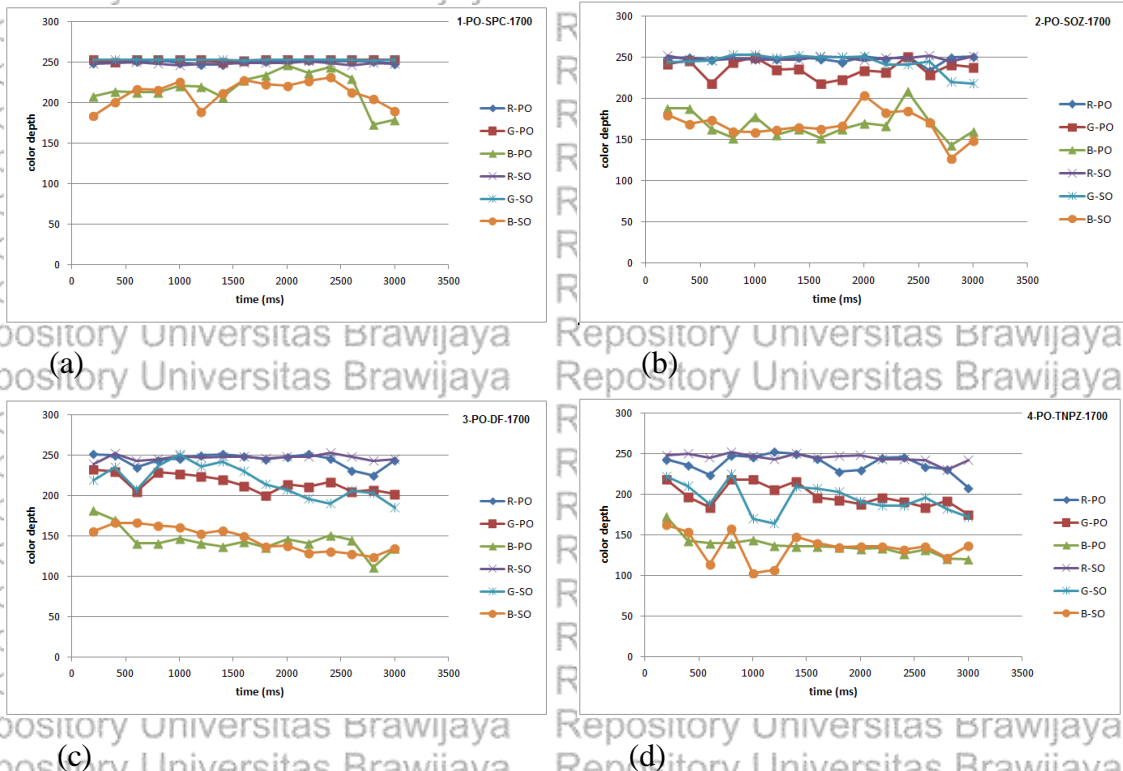
Pada perbandingan gambar 5.42, gambar 5.43 dan gambar 5.44 untuk hasil analisa RGB spray api minyak kelapa dan minyak solar dengan perubahan tekanan yang meningkat dari tekanan 1700 Psi, tekann 1900 Psi dan tekanan 2100 Psi hasil analisa RGB berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.

### 5.2.3.3.Sidik warna spray api minyak sawit

Pada gambar 5.45. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 1700 Psi spray minyak sawit dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).

Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak sawit dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.



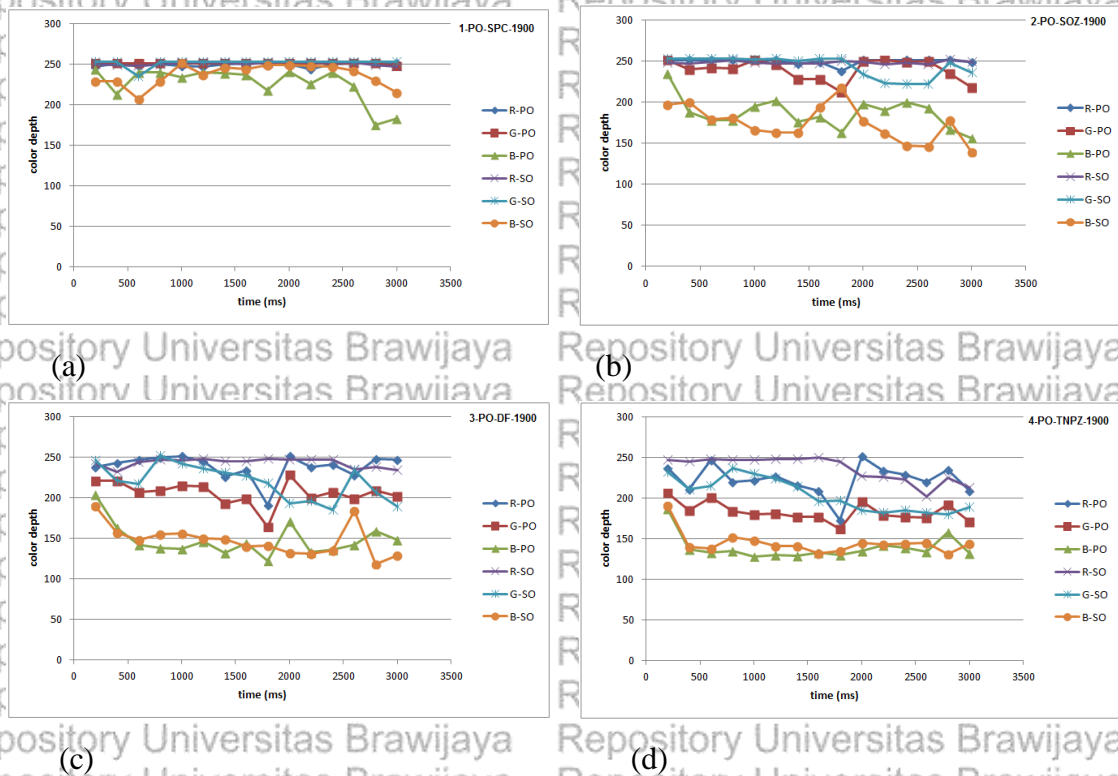


Gambar 5.45. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak sawit dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 1700 Psi.

Pada gambar 5.46. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 1900 Psi spray minyak Sawit dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).

Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak sawit dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.



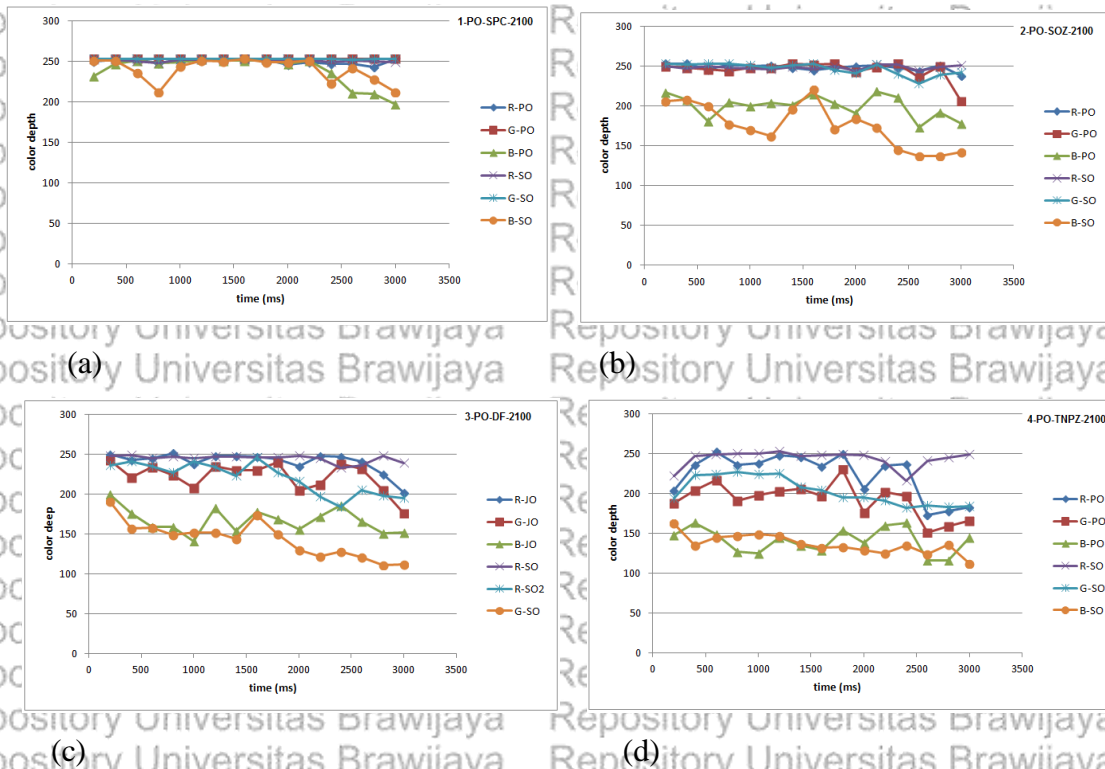


Gambar 5.46. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak sawit dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone), pada tekanan 1900 Psi.

Pada gambar 5.47. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 2100 Psi spray minyak Sawit dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone)

Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak sawit dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone). berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.





Gambar 5.47. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak sawit dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 2100 Psi.

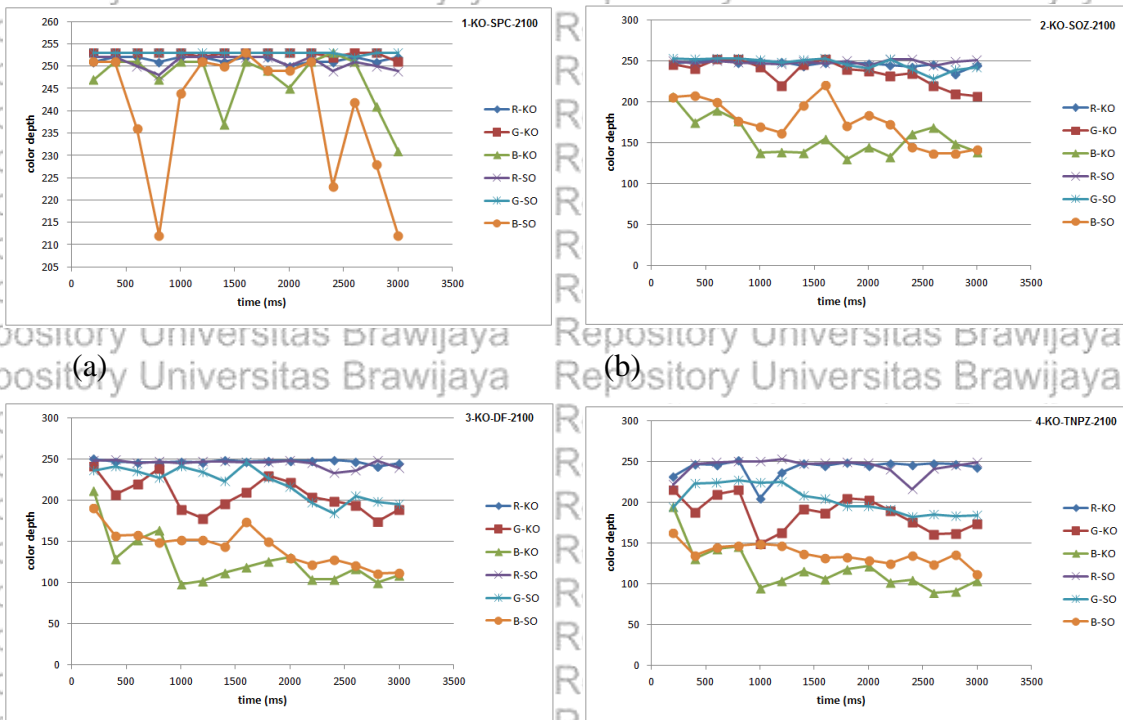
Pada perbandingan gambar 5.35, gambar 5.36 dan gambar 5.37 untuk hasil analisa RGB spray api minyak jarak dan minyak solar dengan perubahan tekanan yang meningkat dari tekanan 1700 Psi, tekann 1900 Psi dan tekanan 2100 Psi hasil analisa RGB berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.

#### 5.2.3.4. Sidik warna spray api minyak kapuk

Pada gambar 5.48. merupakan grafik gabungan analisa RGB pada tekanan 2100 Psi spray minyak kapuk dan minyak solar (a) untuk grafik daerah spc (soot precursor), (b) untuk grafik daerah soz (soot oxidation zone), (c) untuk grafik daerah df (difusion flame) dan (d) untuk grafik daerah tnpz. (thermal NO production zone). Dari keempat tabel (a), (b), (c) dan (d) dapat dilihat pertambahan kedalaman warna (angka 250 menunjukkan terang mengarah ke total putih dan angka 0 nenunjukkan kearah total gelap atau hitam) dari zona (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone)



Kecenderungan daerah (a) spc (soot precursor) relatif sama antara RGB spray api minyak sawit dan minyak solar kebudian berturut-turut (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone).berkembang mengarah pada RGB yang lebih dalam atau gelap.



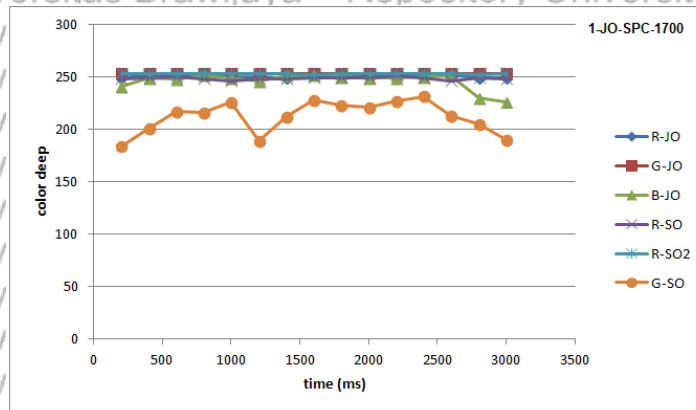
Gambar 5.47. grafik gabungan analisa RGB api spray minyak kapuk dibanding minyak solar (a) spc (soot precursor), (b) soz (soot oxidation zone), (c) df (difusion flame), (d) tnpz. (thermal NO production zone) pada tekanan 2100 Psi.

#### 5.2.3.4. Sidik warna spray api pada daerah spc (soot precursor)

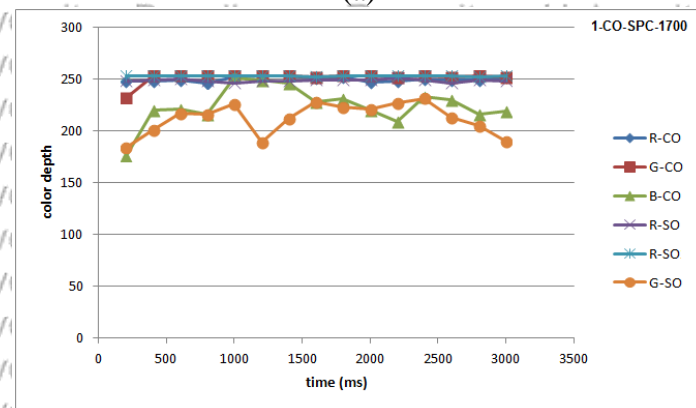
Daerah spc (soot precursor) zona 1 yaitu daerah tengah spray pembakaran yang menyempotkan bahan bakar dan terbakar seperti pada Gambar 5.29 yang ditunjukkan pada daerah A.

Daerah spc (soot precursor) pada tekanan 1700 Psi api spray minyak jarak, kelapa, sawit dibandingkan dengan minyak solar pada analisa RGB

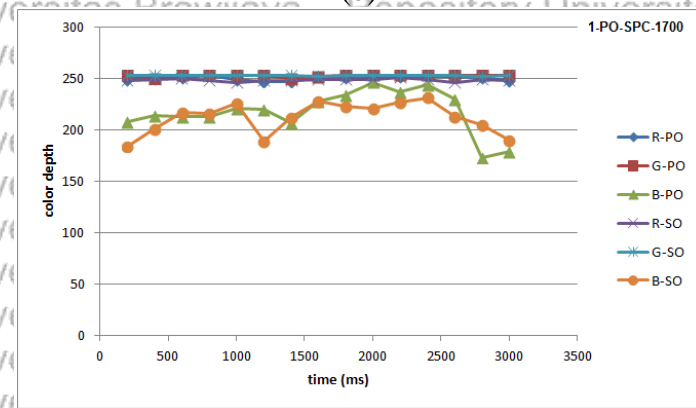




(a)



(b)



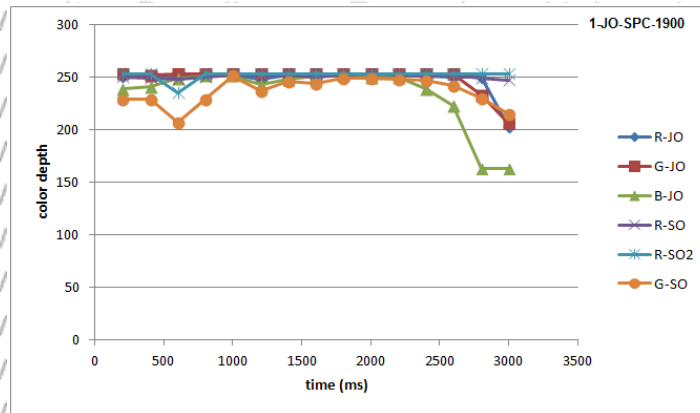
(c)

Gambar 5.48. grafik gabungan Daerah spc (soot precursor) pada tekanan 1700 Psi api spray minyak jarak (a), kelapa (b), sawit (c) dibandingkan dengan minyak solar

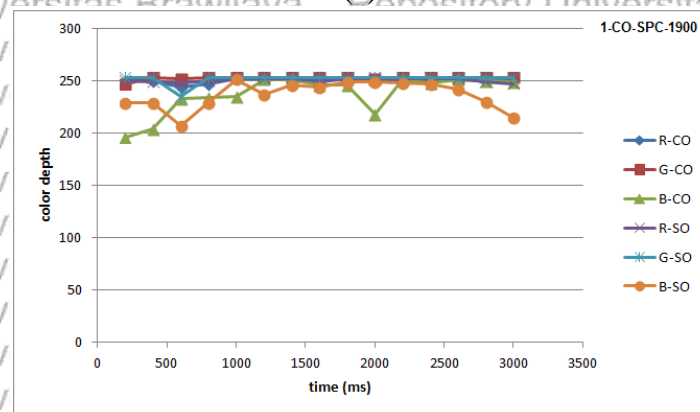
Dari gambar 5.38 didapat bahwa warna merah api spray minyak sawit mendekati warna merah api spray minyak solar dan warna spray hijau dan biru api spray minyak sawit hampir segaris dengan warna merah api spray minyak solar seperti terlihat pada (c).



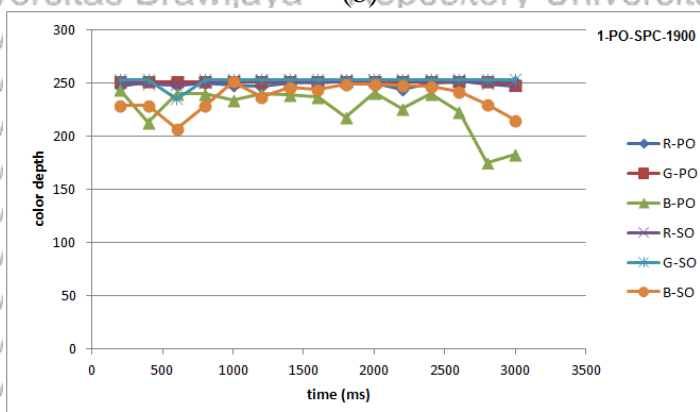
Daerah spc (soot precursor) pada tekanan 1900 Psi api spray minyak jarak, kelapa, sawit dibandingkan dengan minyak solar pada analisa RGB



(a)



(b)



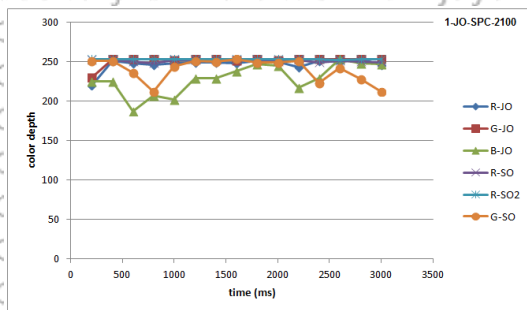
(c)

Gambar 5.49. grafik gabungan Daerah spc (soot precursor) pada tekanan 1900 Psi api spray minyak jarak (a), kelapa (b), sawit (c) dibandingkan dengan minyak solar

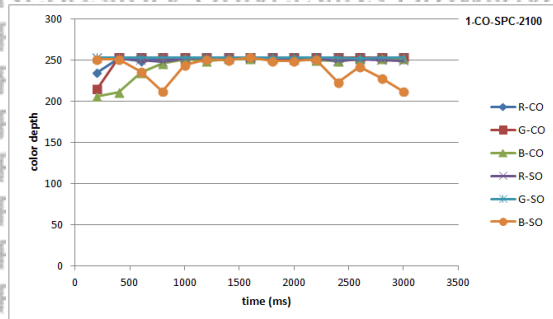
Dari gambar 5.49 didapat bahwa warna merah api spray minyak sawit mendekati warna merah api spray minyak solar dan warna spray hijau dan biru api spray minyak



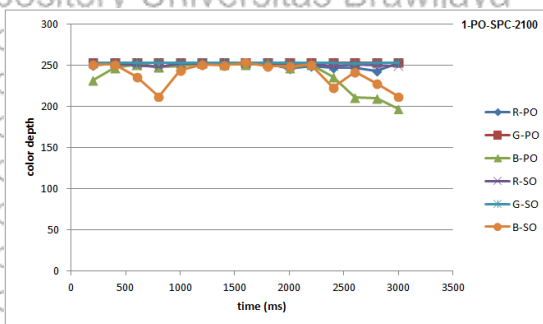
sawit hampir segaris dengan warna merah api spray minyak solar seperti terlihat pada (c). Daerah spc (soot precursor) pada tekanan 2100 Psi api spray minyak jarak, kelapa, sawit dibandingkan dengan minyak solar pada analisa RGB



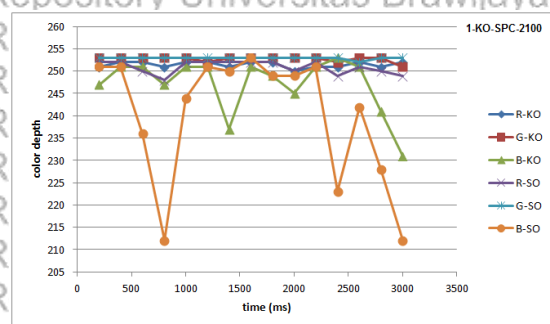
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 5.50. grafik gabungan Daerah spc (soot precursor) pada tekanan 2100 Psi api spray minyak jarak (a), kelapa (b), sawit (c), kapuk (d) dibandingkan dengan minyak solar

Pada gambar 5.50 didapat bahwa warna merah api spray minyak sawit mendekati warna merah api spray minyak solar dan warna spray hijau dan biru api spray minyak sawit hampir segaris dengan warna merah api spray minyak solar seperti terlihat pada 5.50(c). Pada gambar 5.50 (d) grafik terlihat menajam namun grafik pada angka tersebut masih dibawah yang lain yaitu dibawah perubahan 50 angka RGB.

### 5.2.3.5. Hasil analisa Sidik warna

Pada hasil angka warna yang digrafikan maka dapat dilihat kesamaan model penyebaran warna RGB red green dan blue mulai menyebar berurutan dari SPC (soot precursor), SOZ (soot oxidation zone), DF (difusion flame), dan terakhir TNPZ (thermal NO production zone). Hampir sama pada minyak nabati yaitu minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapok dan solar pada area SPC dan pekembang berikurt berturut-turut pada area SOZ (soot oxidation zone), DF (difusion flame), dan terakhir





TNPZ (thermal NO production zone ada kemiripan RGB api spray minyak jarak dengan RGB api spray minyak solar dan diikuti oleh RGB api spray minyak sawit, RGB api spray minyak kelapa dan RGB api spray minyak kapuk.







## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada spray minyak nabati dapat disimpulkan:

1. Tahap pembakaran yang terjadi pada minyak nabati: minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk yaitu pada minyak jarak dari 2, 3 dan 4 tahapan pembakaran seiring dengan meningkatnya tekanan, pada minyak kelapa 1 dan 2 tahapan pembakaran seiring dengan meningkatnya tekanan, sedangkan pada minyak sawit 1 tahapan pembakaran, pada minyak kapuk 1 tahapan pembakaran.

Hal ini disebabkan karena adanya asam lemak jenuh dan tak jenuh pada minyak nabati yang mengakibatkan minyak jarak dengan kandungan asam lemak tak jenuh yang dominan sehingga lebih reaktif dalam pembakaran. Sedangkan pada minyak kelapa yang memiliki asam lemak tak jenuh lebih dominan tetapi dalam pembakaran lebih reaktif dibandingkan dengan minyak sawit dan kapuk dikarenakan pengaruh dari polaritas yang tinggi dari minyak kelapa.

2. Hasil sidik warna minyak nabati: minyak jarak, minyak kelapa, minyak sawit, minyak kapuk yaitu mendapatkan kedekatan warna jika dibandingkan dengan solar yang paling tinggi kerendah yaitu minyak kelapa, minyak jarak dan minyak sawit dan minyak kapuk hal ini dipengaruhi adanya polaritas dan kadar asam lemak jenuh dan tak jenuh yang mengakibatkan reaktifitas pembakaran minyak nabati berbeda-beda yang mengakibatkan sidik warna dari masing-masing minyak nabati menjadi khas.

### 6.2 Saran

1. Untuk mendapatkan sumber energi baru dan terbarukan yang berkualitas baik perlu dilakukan penelitian yang berkelanjutan.
2. Model sidik warna api spray dapat dikembangkan dengan membuat data loger untuk referensi kualitas bahan bakar minyak nabati yang dikembangkan dengan membuat software sidik warna api.







### DAFTAR PUSTAKA

- A.S. Silitonga, H.C. Ong, T.M.I. Mahlia, H.H. Masjuki, W.T. Chong, 2013 "Characterization and production of *Ceiba pentandra* biodiesel and its blends" *Fuel* 108 (2013) 855–858 Contents lists available at SciVerse ScienceDirect.
- Abdolsaeid Ganjehkaviri, Mohammad Nazri Mohd Jaafar, Seyed Ehsan Hosseini, Anas Basri Musthafa, 2016, "Performance Evaluation of Palm Oil-Based Biodiesel Combustion in an Oil Burner", *Energies* 2016, 9, 97; doi:10.3390/en9020097 [www.mdpi.com/journal/energies](http://www.mdpi.com/journal/energies)
- Abdullah, M.A., Rahmah, A.U.; and Man, Z. (2010). Physicochemical and sorption characteristics of Malaysian *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn. as a natural oil sorbent. *Journal of Hazardous Materials*, 177(1), 683-691.
- Ahmet Necati Ozsezen, Mustafa Canakci, 2013, "Determination of performance and combustion characteristics of a diesel engine fueled with canola and waste palm oil methyl esters", *Energy Conversion and Management* 52 (2011) 108–116 Contents lists available at ScienceDirect, [www.elsevier.com/locate/enconman](http://www.elsevier.com/locate/enconman).
- Akasha Hashim, Amir Khalid, Azwan Sapit, Dahrum Samsudin, (2016) Effects of Biofuel and Variant Ambient Pressure on Flame Development and Emissions of Gasoline Engine, *Materials Science and Engineering 160 (2016) 012043 pages 1-10*
- Alamu, O. J., Dehinbo, O. and Sulaiman, A. M. 2010. Production And Testing Of Coconut Oil Biodiesel Fuel And Its Blend. *Leonardo Journal of Sciences*. 16: 95-104.
- Amir Khalid, Latip Lambosi, Minah Suardi, Shahrin Hisham Amirnordin, I. Zaman, Norani Mansor, Bukhari Manshoor, 2015 "Spray Characteristic of Rapid Mixing *Jatropha* Oil Biodiesel in Burner System" *Applied Mechanics and Materials* Vols 773-774 (2015) pp 496-500, © (2015) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.496.
- Amir Khalid, Latip Lambosi, Minah Suardi, Shahrin Hisham Amirnordin, I. Zaman, Norani Mansor, Bukhari Manshoor. 2015. Spray Characteristic of Rapid Mixing *Jatropha* Oil Biodiesel in Burner System. *Applied Mechanics and Materials*. 773-774: 496-500.
- Angelo, C. Pinto, Lillian, L. N. Guarieiro, Michelle, J. C. Rezende, Nubia, M. Ribiero, Ednildo, A. Torres, Wilson, A. Lopes, Pedro, A. de P. Pereira and Jailson, B. de Andrade. 2005. *Biodiesel: An Overview*, *J. Braz. Chem. Soc.* 16(6B): 1313-1330.
- Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Irfan Anjum Badruddina, Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Mekhilef, S. 2012. A Comprehensive Review On Biodiesel As An Alternative Energy Resource And Its Characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Article in Press.





Atabani, A.E.; Silitonga, A.S.; Badruddin, I.A.; Mahlia, T.M.I.; Masjuki, H.H.; and Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 2070-2093.

Awais Bokhari, Lai Fatt Chuah, Suzana Yusup\*, Junaid Ahmad, Muhammad Rashid Shamsuddin, Meng Kiat Teng, 2015, "Microwave-assisted methyl esters synthesis of Kapok (*Ceiba pentandra*) seed oil: parametric and optimization study" *Biofuel Research Journal* 7 (2015) 281-287

Ayhan, D. 2009. Progress And Recent Trends In Biodiesel Fuels. *Energy Conversion and Management*. 50: 14-34.

Balat, M.; and Balat, H. (2010). Progress in biodiesel processing. *Applied Energy*, 87(6), 1815-1835

Benjapornkulaphong, S., Ngamcharussrivichai, C. and Bunyakiat, K. 2009. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-supported Alkali And Alkali Earth Metal Oxides For Transesterification Of Palm Kernel Oil And Coconut Oil. *Chemical Engineering Journal*. 145: 468-474.

Berchmans, H. J., Hirata, S. 2008. Biodiesel Production From Crude Jatropha CurcasL Seed Oil With A High Content Of Free Fatty Acids. *Bioresource Technology*. 99(6): 1716-21.

Bouaid, A., Martínez, M. and Aracil, J. 2010. Biorefinery Approach For Coconut Oil Valorisation: A Statistical Study. *Bioresource Technology*. 101: 4006-4012.

Carter, C., Finley, W., Fry, J., Jackson, D., Willis, L., *European Journal of Lipid Science and Technology* 109-4; 307-314 (2007).

Chen Juan (2012), *Digital image processing based fire flame color and oscillation frequency analysis*, *Procedia Engineering* 45 ( 2012 ) 595–601 Elsevier

Chester, L. (2010). "Conceptualising energy security and making explicit its polysemic nature," *Energy Policy*, Elsevier, vol. 38(2), pages 887-895.

D. M. Hegde. 2003. Tree Oilseeds for Effective Utilization of Wastelands, in *Lecture Notes, Winter School on Wasteland Development in Rainfed Area, Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad*. 111-119.

Chang, Raymond (2005). *Kimia Dasar: Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1* (edisi ke-3rd). Jakarta: Erlangga. ISBN 979-781-039-9.

Dave Raggett, (1997), *HTML 3.2 Reference Specification*, W3C's specification for HTML, SGML application conforming to International Standard ISO 8879.

Demirbas, A. (2009). Potential resources of non-edible oils for biodiesel. *Energy Sources Part B*, 4(3), 310-314.

Demirbas, A. (2009). Potential resources of non-edible oils for biodiesel. *Energy Sources Part B*, 4(3), 310-314.

Deshmukh D, Madan Mohan A, Anand T.N.C., Ravikrishna R.V, 2012, "Spray characterization of Straight Vegetable Oils at High Injection Pressures" *Fuel* Volume : 97 July 2012, Pages 879-883, Doi:10.1016/j.fuel.2012.01.078.





Devan, P. K., Mahalakshmi, N. V. 2009. Study Of The Performance, Emission And Combustion Characteristics Of

Devan, P.K.; and Mahalakshmi, N.V. (2009). Study of the performance, emission and combustion characteristics of a diesel engine using poon oil-based fuels. *Fuel Processing Technology*, 90(4), 513-519

Dewajani, H. (2008). Potential kapok seed oil (ceiba pentandra) as an alternative raw material for biodiesel. *Indonesian Scientific Journal Database*, 1(2), 107-117.

Dewajani, H. (2008). Potential seed oil kapok (Ceiba pentandra) as alternative raw material biodiesel (Potensi minyak biji randu (*Ceiba pentandra*) sebagai Alternatif Bahan Baku Biodiesel). Laboratorium Satuan Operasi Skala Kecil Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Malang. Malang.

Dewajani, H. Possibility ceiba pentandra as feedstock biodiesel (Potensi minyak biji randu (ceiba pentandra) sebagai alternatif bahan baku biodiesel). 2008 [cited 201227<sup>th</sup>February] ;Available from :<http://isjd.lipi.go.id/admin/jurnal/1208107117.pdf>

Diesel Engine Using Poon Oil-Based Fuels. *Fuel Processing Technology*. 90(4): 513-519.

Donald L. Pavia, Gary M. Lampman, George S. Kriz, Randall G. Engel, (2006), *Introduction to Organic Laboratory Techniques: A Microscale Approach* (Brooks/Cole Laboratory Series for Organic Chemistry) Fourth (4th) Edition

Effendi, D.S.; and Karmawati, E. (2009). Research status jatropha and cashew (Status penelitian jarak pagar dan jambu mete). Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.

Ejilah, I. R., Olorunnishola, A.A.G. & Enyejo, L.A. (2013). *A Comparative Analysis of the Combustion Behavior of Adulterated Kerosene Fuel Samples in a Pressurized Cooking Stove*, Global Journal of Researches in Engineering Mechanical and Mechanics Engineering Volume 13 Issue 6 Version 1.0 Year 2013

Endah Mutiara Marhaeni Putri, M. Rachimoallah, Nidya Santoso, Ferdy Pradana, 2012, "Biodiesel Production from Kapok Seed Oil (Ceiba Pentandra) Through the Transesterification Process by Using Cao as Catalyst" Global Journal of Researches in Engineering Chemical Engineering Volume 12 Issue 2 Version 1.0 Year 2012; Global Journals Inc. (USA) Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861

Erliza Hambali, Siti Mujdalifah, Armansyah Halomoan dan Abdul Waries. (2007). *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: PT Agromedia Pustaka.

ESDM, (2006). Handbook of Energy & Economic Statistics Indonesia. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia).

Gubitz, G. M., Mittelbach, M., Trabi, M. 1999. Exploitation of the Tropical Oil Seed Plant *Jatropha Curcas L.* *Bioresource Technology*. 67(1): 73-82.





Gübitz, G.M.; Mittelbach, M.; and Trabi, M. (1999). Exploitation of the tropical oil seed plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology*, 67(1), 73-82.

Guohong Tian, Haiying Li, Hongming Xu, Yanfei Li, Satish Mohan Raj. 2010. Spray Characteristics Study of DMF Using Phase Doppler Particle Analyzer. *SAE Int. J. Passeng. Cars– Mech. Syst.* 3(1): 948-958. doi:10.4271/2010-01-1505.

Hambali, E. (2007). Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel. Jakarta: Penebar Swadaya.

Handoyo, R.; Anggraini, A.A.; and Anwar, S. (2007). Biodiesel from *Kapok* Seed Oil (Biodiesel dari minyak biji kapok). *Jurnal Enjiniring Pertanian*, 5(1), 57-64.

Hegde, D.M. (2003). Tree oilseeds for effective utilization of wastelands. Compendium Of Lecture Notes Of Winter School On Wasteland Development In Rainfed Areas p.111-119.

Herman, S., & Khairat, (2004). Kinetika Reaksi Hidrolisis Minyak Sawit dengan Katalisator Asam Klorida, *Jurnal Natur Indonesia*, 6(2): 118- 121.

H.S. Murali, M.S. Mohan, K.S. Mania and R. Sankara. Polar and Nonpolar Lipids and Their Fatty Acid Composition of a Few *Fusarium* Species *JAOCS*, Vol. 70, no. 10 (October 1993).

Huggins, M. L. (1937). "The Polarity of Chemical Bonds". *J. Chem. Phys.* 5: 527. doi:10.1063/1.1750070.

IEA, 2012, *Energy Supply Security*, 9 rue de la Fédération, 75739 Paris Cedex 15z

Jingura, R.M.; Musademba, D.; and Matengaifa, R. (2010). An evaluation of utility of *Jatropha curcas* L. as a source of multiple energy carriers. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(7), 115-122.

Javier Parcerisa, Daryl G. Richardson, Magdalena Rafecas, Rafael Codony, and Josep Boatella. Fatty Acid Distribution in Polar and Nonpolar Lipid Classes of Hazelnut Oil (*Corylus avellana* L.). *J. Agric. Food Chem.* 1997, 45, 3887-3890

K. V. Raju. 2006. Biofuels in South Asia: An Overview (Editorial Introduction). *Asian Biotechnology and Development Review*. 8(2): 1-9.

Koh, M. Y., Ghazi, T. I. M. 2011. A Review Of Biodiesel Production From *Jatropha Curcas* L. Oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(5): 2240-2251.

Koh, M.Y.; and Ghazi, T.I.M. (2011). A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5): 2240-2251.

Korbitz, W. (2002). New trends in developing biodiesel worldwide, evaluating & exploring the commercial uses of ethanol, Fuel alcohol & Biodiesel. Singapore.





Kratzeisen, M. and Müller, J. 2010. Influence Of Free Fatty Acid Content Of Coconut Oil On Deposit And Performance Of Plant Oil Pressure Stoves. *Fuel*. 89: 1583-1589.

Kratzeisen, M. and Müller, J. 2010. Influence Of Free Fatty Acid Content Of Coconut Oil On Deposit And Performance Of Plant Oil Pressure Stoves. *Fuel*. 89: 1583-1589.

Kumar, A., Sharma, S. 2011. Potential Non-Edible Oil Resources As Biodiesel Feedstock: An Indian Perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(4): 1791-1800.

Kumar, A., and Sharma, S. (2011). Potential non-edible oil resources as biodiesel feedstock: an Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1791-1800.

Kumar, G., Kumar, D., Singh, S., Kothari, S., Bhatt, S. and Singh C. P. 2010. Continuous Low Cost Transesterification Process For The Production Of Coconut Biodiesel. *Energies*. 3: 43-56.

Lim, T.T.; and Huang, X. (2007). Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere*, 66(5), 955-963.

Llamas, A, García-Martínez, M-J., Al-Lal, A-M., Canoira, L. and Lapuerta, M. 2012. Biokerosene from Coconut And Palm Kernel Oils: Production And Properties Of Their Blends With Fossil Kerosene. *Fuel*, 102: 483-490.

Lukai Zheng and Yang Zhang, (2015), *High speed digital imaging for flame studies: potentials and limitations*, Energy Procedia 66 ( 2015 ) 237 – 240 Science Direct

Lyle M. Pickett, (2011), *Understanding Diesel Spray Combustion*, Sandia National Laboratories, Towards Clean Diesel Engines TCDE 2011, Birmingham UK.

M. S. A. Ishak, S. Illias, M. N. M. Jaafar, 2016, "Performance of Palm Oil-Diesel Blending inside Liquid Spray Burner", International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 8 (2016) pp 6003-6006 © Research India Publications. <http://www.ripublication.com>, 6003

M.H.M. Yasin, R. Mamat, A. Aziz, A.F. Yusop, M.H. Ali, 2015, "Investigation on combustion parameters of palm biodiesel operating with a diesel engine", Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES) ISSN (Print): 2289-4659; e-ISSN: 2231-8380; Volume 9, pp. 1714-1726, December 2015 DOI: <http://dx.doi.org/10.15282/jmes.9.2015.17.0165.1714>

Maa, X.; Jianga, C.; Xua, H.; Dinga, H.; and Shuaib, S. (2014). Laminar burning characteristics of 2-methylfuran and isooctane blend fuels. *Fuel*, 116(15), 281–291.

Machacon, H. T. C. Shiga, S., Karasawa, T. and Nakamura 2001. Performance And Emission Characteristics Of A Diesel Engine Fueled With Coconut Oil-Diesel Fuel Blend. *Biomass and Bioenergy*. 20: 63-69.





Maharani Nurul Hikmah dan Zuliyanah. (2010). Pembuatan Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Dedak dan Metanol dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi. Universitas Diponegoro Semarang

Mahir H. Salmani, S. Rehman, K. Zaidi, Ahmad K. Hasan, 2014, "Study of ignition characteristics of microemulsion of coconut oil under off diesel engine conditions" Engineering Science and Technology, an International Journal 18 (2015) 318e32

Mevy Alvionita Abast, Harry Koleangan, Julius Pontoh, (2016), Analisis Asam Lemak dalam Minyak Kelapa Murni Menggunakan Derivatisasi Katalis Basa, JURNAL MIPA UNSRAT Kampus Unsrat, Manado, Indonesia 95115 ONLINE 5 (1) 29-31

Mohammad Nazri Mohd Jaafar, Yehia A. Eldrainy and Muhammad Hanafi Asril, 2011. "Experimental investigation of spray characteristics of refined bleached and deodorized palm oil and diesel blends using phase Doppler particle analyzer" International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(29), pp. 6674-6680, 16 November, 2011 DOI: 10.5897/IJPS11.353 ISSN 1992 - 1950 ©2011 Academic Journals

Muhaji; Wardana, I.N.G.; Yulianti, Y.; and Nursasongko, M., (2015). Combustion of pure, hydrolyzed and methyl ester formed of jatropha curcas lin oil. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 4(3), 211-218

Nithyananda B.S., Ananda, G.V.Naveen prakash, 2013, "Experimental Investigation Of Neen And Mixed Pongamia Coconut Methhyl Esters As Biodiesel On C.I Engine", International Journal Of Mechanical Engineering And Technology (IJMET) ISSN 0976 – 6340 (Print) ISSN 0976 – 6359 (Online) Volume 4, Issue 4, July - August (2013), pp. 232-242

Nordstrom, B. H. (1984). "The Effect of Polarity on Solubility". *J. Chem. Educ.* 61 (11): 1009. doi:10.1021/ed061p1009.1

No, S. Y. 2011. Inedible Vegetable Oils And Their Derivatives For Alternative Diesel Fuels In CI Engines: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1): 131-149.

No, S.Y. (2011). Inedible vegetable oils and their derivatives for alternative diesel fuels in CI engines: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 131-149.

Odetoje, T. E., Ogunniyi, D. S., Olatunji, G. A. 2010. Preparation And Evaluation Of Jatropha Curcas Linneaus Seed Oil Alkyd Resins. *Industrial Crops and Products*, 32(3): 225-30.

Odetoje, T.E.; Ogunniyi, D.S.; and Olatunji, G.A. (2010). Preparation and evaluation of *Jatropha curcas* Linneaus seed oil alkyd resins. *Industrial Crops and Products*, 32(3), 225-230.

Oguntola J Alamu, Opeoluwa Dehinbo, Adedoyin M Sulaiman, 2010, "Production and Testing of Coconut Oil Biodiesel Fuel and its Blend", Leonardo Journal of Sciences ISSN 1583-0233 Issue 16, January-June 2010 p. 95-104. Pramil Singh, Jagjit Khurma, Anirudh Singh, 2010, "Coconut Oil Based Hybrid





*Fuels as Alternative Fuel for Diesel Engines*”, American Journal of Environmental Sciences 6 (1): 71-77, 2010 ISSN 1553-345X

Park, S. H., Kim, H. J., Suh, H. K., Lee, C. S. (2009) , *Experimental and numerical analysis of spray-atomization characteristics of biodiesel fuel in various fuel and ambient temperatures conditions*, International Journal of Heat and Fluid Flow, 2009, 30, 960–970

Pauling, L. (1932). "The Nature of the Chemical Bond. III. The Transition from One Extreme Bond Type to Another". J. Am. Chem. Soc. 54 (3): 988–1003. doi:10.1021/ja01342a022.

Pauling, L. (1960). The Nature of the Chemical Bond (edisi ke-3rd). Oxford University Press. hlmn. 98–100.

Pinto, A.C.; Guarieiro, L.L.; Rezende, M.J.; Ribeiro, N.M.; Torres, E.A.; Lopes, W.A.; Pereira, P.A.P.; and Andrade, J.B.D. (2005). Biodiesel: an overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 16(6B), 1313-1330.

Pinzi, S.; Garcia, I.L.; Lopez-Gimenez, F.J.; Luque de Castro, M.D.; Dorado, G.; and Dorado, M.P. (2009). The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications. *Energy & Fuels*, 23(5), 2325-2341.

Prasad Boggavarapu; R. V. Ravikrishna (2013) A Review on Atomization and Sprays of Biofuels for IC Engine Applications, *International journal of spray and combustion dynamics Volume.5 · Number. 2* – pages 85 – 121

Ragit, S. S., Mohapatra, S. K., Kundu, K., Gill, P. 2011. Optimization of Neem Methyl Ester From Transesterification Process And Fuel Characterization As A Diesel Substitute. *Biomass And Bioenergy*. 35(3): 1138-1144.

Ragit, S. S., Mohapatra, S. K., Kundu, K., Gill, P. 2011. Optimization of Neem Methyl Ester From Transesterification Process And Fuel Characterization As A Diesel Substitute. *Biomass And Bioenergy*. 35(3): 1138-1144.

Ragit, S.S.; Mohapatra, S.K.; Kundu, K.; and Gill, P. (2011). Optimization of neem methyl ester from transesterification process and fuel characterization as a diesel substitute. *Biomass and Bioenergy*, 35(3), 1138-1144.

Raju, K.V. (2006). Biofuels in South Asia: an overview (Editorial Introduction). *Asian Biotechnology and Development Review*, 8(20) , 1-9.

Ramirez, J.; Brown, R.; Rainey, T. A Review of hydrothermal liquefaction bio-crude properties and prospects for upgrading to transportation fuels. *Energies* 2015, 8, 6765–6794.

Raphael, M. Jingural. 2010. Downmore Musademba, Rutendo Matengaifa, An Evaluation Of Utility Of Jatropha Curcas L. As A Source Of Multiple Energy Carriers. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 2(7): 115-1222.

Raphael, M. Jingural. 2010. Downmore Musademba, Rutendo Matengaifa, An Evaluation Of Utility Of Jatropha Curcas L. As A Source Of Multiple Energy





Carriers. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 2(7): 115-1222.

Recep, A., Selim, C. and Huseyin, S. 2001. The Potential Of Using Vegetable Oil Fuels As Fuel For Diesel Engine. *Energy Conversion and Management*, 42: 529-538.

S. R. Verma, and Ajay Sharda. 2005. Biodiesel: An Alternative Fuel for CI Engines – Global Scenario and Indian Perspective, Proceedings of the National Seminar on Biomass Based Decentralized Power Generation, Edited by B. S. Pathak and N. S. L. Srivastava, Sardar Patel Renewable Energy Research Institute, Gujarat.

S.Kathirvelu, N.Shenbaga Vinayaga Moorthi, .S.Neela Krishnan, . P Koshy Mathews, “An Experimental Investigation on neat Ceiba Pentandra Oil Methyl Ester as a Renewable Bio-Fuel for Diesel Engine” Vol.7, No.4, pp 1675-1681, 2014-2015 International Journal of ChemTech Research CODEN (USA): IJCRGG ISSN: 0974-4290

Salimon, J.; and Kadir, K.A.A. (2005). Fatty acid composition and physicochemical properties in Kekabu seed oil. *Sains Malaysiana*, 34(2), 117-120.

Saroso, H.; Wardana, I.N.G.; Soenoko, R.; and Hamidi, N. (2014), Premixed combustion of coconut oil in a hele-shaw cell. *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 3(3), 155-160.

Satyanarayana, M. and Muraleedharan, C. 2011. A Comparative Study Of Vegetable Oil Methyl Esters (Biodiesels). *Energy*, 36: 2129-2137.

Senthil Kumar, M. A. Ramesh, B. Nagalingam, A. 2003. Comparison Of The Different Methods To Improve Engine Performance While Using Jatropha Oil As The Primary Fuel In A Compression Ignition Engine. *International Conference On Energy And Environmental Technologies For Sustainable Development. 8-10 Octo, 2003*. 267-274.

Silitonga, A. S., Atabani, A. E., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Irfan Anjum Badruddin, Mekhilef, S. 2011. A Review On Prospect Of Jatropha Curcas For Biodiesel In Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15(8): 3733-3756.

Silitonga, A. S.; Atabani, A. E.; Mahlia, T.M.I.; Masjuki, H. H.; Badruddin, I. A.; and Mekhilef, S. (2011). A review on prospect of Jatropha curcas for biodiesel in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3733-3756.

Silitonga, A.S.; Atabani, A.E.; Mahlia, T.M.I.; Masjuki, H.H.; Badruddin, I.A.; and Mekhilef, S. (2011). A review on prospect of *Jatropha curcas* for biodiesel in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3733-3756.

Singh, S. (2012). *Energy Security: Concepts and Concerns in India*. <http://inpec.in/2012/09/24/energy-security-concepts-and-concerns-in-india>.

Singh, S. P., Singh, D. 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.

Singh, S. P., Singh, D. 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.

Singh, S.P.; and Singh, D. (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.

Sivakumar, P.; Sindhanaiselvan, S.; Gandhi, N.N.; Devi, S.S.; and Renganathan, S. (2013). Optimization and kinetic studies on biodiesel production from underutilized *Ceiba pentandra* oil. *Fuel*, 103, 693-698.

Suresh, R, Prasad, B.D, Raman, S.M. and Nibin T. 2009. Emission Control for a Glow Plug Direct Injection CI Engine Using Preheated Coconut Oil Blended Diesel. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 4(8): 82-86

Syers, J. K., Wood, D., Thongbai, P. 2007. *The Proceedings of the International Technical Workshop on the Feasibility of Non-edible Oil Seed Crops for Biofuel Production*. Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.

Syers, J. K., Wood, D., Thongbai, P. 2007. *The Proceedings of the International Technical Workshop on the Feasibility of Non-edible Oil Seed Crops for Biofuel Production*. Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.

Syers, J.K.; Wood, D.; and Thongbai, P. (2007). The proceedings of the international technical workshop on the feasibility of non-edible oil seed crops for biofuel production. Thailand: Mae Fah Luang University.

Tian, G.; Li, H.; Xu, H.; Li, Y.; and Raj, S.M. (2010). Spray characteristics study of DMF using phase doppler particle analyzer. *SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems*, 3(1), 948-958.

Verma, S.R.; and Sharda, A. (2005). Bio-diesel an alternative fuel for CI engines-global scenario and Indian perspective. Biomass based decentralized power generation. Vidhyanagar: SPRERI.

Vijitra Chalatlou, Murari Mohon Roy, Animesh Dutta and Sivanappan Kumar, 2011, "Jatropha oil production and an experimental investigation of its use as an alternative fuel in a DI diesel engine" *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels* Vol. 2(5), pp. 76-85, May 2011 Available online at <http://www.academicjournals.org/JPTAF>

©2011 Academic Journals.

W. Korbitz. 2002. New trends in Developing Biodiesel Worldwide, Evaluating & Exploring the Commercial Uses of Ethanol, Fuel alcohol & Biodiesel, Singapore, 22-23, April.

Wardana, I. N. G. 2010. Combustion Characteristics Of Jatropha Oil Droplet At Various Oil Temperatures. *Fuel*. 89(3): 659-664.





Wardana, I.N.G.: (2010). Combustion characteristics of jatropha oil droplet at various oil temperatures. *Fuel*, 89(3), 659-664.

Wirawan, I.K.G.; Wardana, I.N.G.; Soenoko, R.; and Wahyudi, S. (2014). Premixed combustion of Kapok (*Ceiba pentandra*) seed oil on perforated burner. *International Journal of Renewable Energy Development*, 3(2), 91-97.

Xiao Maa, Changzhao Jianga, Hongming Xua, Haichun Dinga, Shijin Shuaib. 2014. Laminar Burning Characteristics Of 2-Methylfuran And Isooctane Blend Fuels. *Fuel*. 116: 281-291.

Yuan, W., Hansen, A. C. and Zhang Q. 2005. Vapor Pressure And Normal Boiling Point Predictions For Pure Methyl Esters And Biodiesel Fuels. *Fuel*. 84: 943-950

Yuan, W., Hansen, A. C. and Zhang Q. 2005. Vapor Pressure And Normal Boiling Point Predictions For Pure Methyl Esters And Biodiesel Fuels. *Fuel*. 84: 943-950.





Lampiran 1. Panjang dan Lebar Spray Api Minyak Jarak pada Tekanan 1700 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	p (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	I (mm)
1	200	696	759	16	89,6	89,6	230	255	25	140
2	400	696	826	63	352,8	352,8	222	267	45	252
3	600	696	886	130	728	728	225	273	48	268,8
4	800	696	916	190	1064	1064	221	284	63	352,8
5	1000	696	935	220	1232	1232	218	287	69	386,4
6	1200	748	969	187	1047,2	1338,4	216	286	70	392
7	1400	805	974	164	918,4	1528,8	219	287	68	380,8
8	1600	696	972	278	1556,8	1556,8	221	288	67	375,2
9	1800	746	975	226	1265,6	1545,6	218	288	70	392
10	2000	792	974	183	1024,8	1562,4	220	287	67	375,2
11	2200	895	997	79	442,4	1556,8	216	285	69	386,4
12	2400	899	977	98	548,8	1685,6	221	283	62	347,2
13	2600	921	979	56	313,6	1573,6	220	273	53	296,8
14	2800	922	980	57	319,2	1584,8	220	269	49	274,4
15	3000	920	980	60	336	1590,4	221	265	44	246,4
16	3200	922	979	58	324,8	1590,4	221	259	38	212,8
17	3400	923	977	56	313,6	1584,8	222	260	38	212,8
18	3600	923	979	54	302,4	1573,6	222	256	34	190,4
19	3800	926	979	53	296,8	1584,8	220	252	32	179,2
20	4000	930	976	49	274,4	1584,8	221	249	28	156,8
21	4200	931	977	45	252	1568	218	250	32	179,2
22	4400	935	977	42	235,2	1573,6	216	246	30	168
23	4600	938	974	39	218,4	1573,6	219	245	26	145,6
24	4800	944	958	30	168	1556,8	225	239	14	78,4



## Lampiran 2. Panjang dan Lebar Spray Api Minyak Jarak pada Tekanan 1900 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	p (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	l (mm)
1	200	696	777	81	453,6	453,6	228	259	31	173,6
2	400	700	812	112	627,2	649,6	228	261	33	184,8
3	600	696	869	173	968,8	968,8	230	266	36	201,6
4	800	735	899	164	918,4	1136,8	227	286	59	330,4
5	1000	696	903	207	1159,2	1159,2	222	285	63	352,8
6	1200	707	920	213	1192,8	1254,4	220	285	65	364
7	1400	750	936	186	1041,6	1344	223	286	63	352,8
8	1600	783	944	161	901,6	1388,8	219	284	65	364
9	1800	830	939	109	610,4	1360,8	224	284	60	336
10	2000	840	939	99	554,4	1360,8	220	282	62	347,2
11	2200	839	937	98	548,8	1349,6	226	271	45	252
12	2400	843	936	93	520,8	1344	226	267	41	229,6
13	2600	843	934	91	509,6	1332,8	228	262	34	190,4
14	2800	917	934	17	95,2	1332,8	232	252	20	112
15	3000	919	927	8	44,8	1293,6	237	245	8	44,8



Lampiran 3. Panjang dan lebar spray api minyak jarak pada tekanan 2100 psia

No	T (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	p (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	l (mm)
1	200	696	712	16	89,6	89,6	235	249	14	78,4
2	400	696	767	71	397,6	397,6	228	258	30	168
3	600	696	798	102	571,2	571,2	222	262	40	224
4	800	714	863	149	834,4	935,2	223	287	64	358,4
5	1000	696	880	184	1030,4	1030,4	218	289	71	397,6
6	1200	696	919	223	1248,8	1248,8	213	289	76	425,6
7	1400	806	939	133	744,8	1360,8	213	289	76	425,6
8	1600	696	931	235	1316	1316	214	289	75	420
9	1800	717	924	207	1159,2	1276,8	212	289	77	431,2
10	2000	784	927	143	800,8	1293,6	226	288	62	347,2
11	2200	812	927	115	644	1293,6	225	272	47	263,2
12	2400	751	926	175	980	1288	227	270	43	240,8
13	2600	758	927	169	946,4	1293,6	228	269	41	229,6
14	2800	778	905	127	711,2	1170,4	227	264	37	207,2
15	3000	787	912	125	700	1209,6	226	255	29	162,4
16	3200	858	923	65	364	1271,2	223	250	27	151,2
17	3400	875	900	25	140	1142,4	220	237	17	95,2



Lampiran 4. Panjang dan lebar spray api minyak kelapa pada tekanan 1700 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	p (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	l (mm)
1	200	696	731	35	196	196	231	248	17	95,2
2	400	696	787	91	509,6	509,6	229	252	23	128,8
3	600	696	842	146	817,6	817,6	225	258	33	184,8
4	800	696	882	186	1041,6	1041,6	223	276	53	296,8
5	1000	696	888	192	1075,2	1075,2	222	283	61	341,6
6	1200	696	900	204	1142,4	1142,4	220	287	67	375,2
7	1400	696	917	221	1237,6	1237,6	215	286	71	397,6
8	1600	696	924	228	1276,8	1276,8	215	287	72	403,2
9	1800	715	923	208	1164,8	1271,2	218	285	67	375,2
10	2000	741	926	185	1036	1288	215	280	65	364
11	2200	755	928	173	968,8	1299,2	212	275	63	352,8
12	2400	846	933	87	487,2	1327,2	222	279	57	319,2
13	2600	849	933	84	470,4	1327,2	224	275	51	285,6
14	2800	848	930	82	459,2	1310,4	221	272	51	285,6
15	3000	849	932	83	464,8	1321,6	232	271	39	218,4
16	3200	855	931	76	425,6	1316	228	268	40	224
17	3400	860	929	69	386,4	1304,8	225	267	42	235,2
18	3600	861	920	59	330,4	1254,4	225	268	43	240,8
19	3800	874	917	43	240,8	1237,6	227	265	38	212,8
20	4000	882	911	29	162,4	1204	223	264	41	229,6
21	4200	884	912	28	156,8	1209,6	229	261	32	179,2
22	4400	886	911	25	140	1204	228	258	30	168
23	4600	895	907	12	67,2	1181,6	231	251	20	112



Lampiran 5. Panjang dan lebar spray api minyak kelapa pada tekanan 1900 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	l (mm)	Lmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	w (mm)
1	200	696	731	35	196	196	229	253	22	123,2
2	400	716	802	86	481,6	593,6	228	253	24	134,4
3	600	696	885	189	1058,4	1058,4	224	263	35	196
4	800	696	931	235	1316	1316	221	282	58	324,8
5	1000	740	960	220	1232	1478,4	216	284	63	352,8
6	1200	785	976	191	1069,6	1568	214	286	70	392
7	1400	825	990	165	924	1646,4	213	288	74	414,4
8	1600	828	1005	177	991,2	1730,4	215	288	75	420
9	1800	874	1004	130	728	1724,8	215	289	74	414,4
10	2000	884	1010	126	705,6	1758,4	214	286	71	397,6
11	2200	905	1010	105	588	1758,4	212	286	72	403,2
12	2400	911	1011	100	560	1764	216	288	76	425,6
13	2600	920	1013	93	520,8	1775,2	212	283	67	375,2
14	2800	925	1014	89	498,4	1780,8	230	280	68	380,8
15	3000	935	1015	80	448	1786,4	226	275	45	252
16	3200	944	1014	70	392	1780,8	222	274	48	268,8
17	3400	941	1014	73	408,8	1780,8	225	268	46	257,6
18	3600	951	1014	63	352,8	1780,8	224	269	44	246,4
19	3800	953	1014	61	341,6	1780,8	219	269	45	252
20	4000	953	1012	59	330,4	1769,6	211	265	46	257,6
21	4200	961	1012	51	285,6	1769,6	209	262	51	285,6
22	4400	961	1009	48	268,8	1752,8	207	262	53	296,8
23	4600	964	1006	42	235,2	1736	208	257	50	280
24	4800	966	1002	36	201,6	1713,6	209	255	47	263,2
25	5000	987	1000	13	72,8	1702,4	229	245	36	201,6
26	5200	988	996	8	44,8	1680	235	238	9	50,4



Lampiran 6. Panjang dan lebar spray api minyak kelapa pada tekanan 2100 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	l (mm)	Lmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	w (mm)
1	200	696	715	19	106,4	106,4	236	248	12	67,2
2	400	696	773	77	431,2	431,2	231	253	22	123,2
3	600	735	829	94	526,4	744,8	227	258	31	173,6
4	800	696	907	211	1181,6	1181,6	226	265	39	218,4
5	1000	696	924	228	1276,8	1276,8	223	266	43	240,8
6	1200	756	936	180	1008	1344	221	279	58	324,8
7	1400	814	945	131	733,6	1394,4	221	284	63	352,8
8	1600	827	954	127	711,2	1444,8	218	286	68	380,8
9	1800	846	965	119	666,4	1506,4	222	287	65	364
10	2000	861	975	114	638,4	1562,4	221	287	66	369,6
11	2200	881	976	95	532	1568	221	289	68	380,8
12	2400	896	981	85	476	1596	220	289	69	386,4
13	2600	907	984	77	431,2	1612,8	219	286	67	375,2
14	2800	918	985	67	375,2	1618,4	221	278	57	319,2
15	3000	921	992	71	397,6	1657,6	219	278	59	330,4
16	3200	918	994	76	425,6	1668,8	216	274	58	324,8
17	3400	923	997	74	414,4	1685,6	219	276	57	319,2
18	3600	918	996	78	436,8	1680	220	273	53	296,8
19	3800	928	997	69	386,4	1685,6	219	274	55	308
20	4000	926	1000	74	414,4	1702,4	218	272	54	302,4
21	4200	930	998	68	380,8	1691,2	217	272	55	308
22	4400	934	999	65	364	1696,8	219	271	52	291,2
23	4600	935	998	63	352,8	1691,2	226	266	40	224
24	4800	944	1000	56	313,6	1702,4	226	265	39	218,4
25	5000	951	1001	50	280	1708	230	263	33	184,8
26	5200	954	1007	53	296,8	1741,6	228	262	34	190,4
27	5400	963	1009	46	257,6	1752,8	228	261	33	184,8
28	5600	969	1014	45	252	1780,8	226	258	32	179,2
29	5800	969	1013	44	246,4	1775,2	225	256	31	173,6
30	6000	984	1017	33	184,8	1797,6	229	256	27	151,2
31	6200	1000	1018	18	100,8	1803,2	231	254	23	128,8
32	6400	1003	1019	16	89,6	1808,8	228	251	23	128,8
33	6600	1008	1021	13	72,8	1820	228	246	18	100,8
34	6800	1016	1028	12	67,2	1859,2	227	242	15	84
35	7000	1019	1029	10	56	1864,8	225	242	17	95,2



Lampiran 7. Panjang dan lebar spray api minyak sawit pada tekanan 1700 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	L (mm)	Lmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	w (mm)
1	200	696	751	55	308	308	228	268	40	224
2	400	696	820	124	694,4	694,4	224	263	39	218,4
3	600	696	865	169	946,4	946,4	218	276	58	324,8
4	800	696	894	198	1108,8	1108,8	220	283	63	352,8
5	1000	696	896	200	1120	1120	218	286	68	380,8
6	1200	743	903	160	896	1159,2	220	281	61	341,6
7	1400	791	900	109	610,4	1142,4	221	279	58	324,8
8	1600	822	894	72	403,2	1108,8	220	277	57	319,2
9	1800	833	897	64	358,4	1125,6	223	270	47	263,2
10	2000	837	894	57	319,2	1108,8	222	267	45	252
11	2200	838	895	57	319,2	1114,4	224	265	41	229,6
12	2400	836	892	56	313,6	1097,6	222	262	40	224
13	2600	836	894	58	324,8	1108,8	221	258	37	207,2
14	2800	838	895	57	319,2	1114,4	219	257	38	212,8
15	3000	849	897	48	268,8	1125,6	216	254	38	212,8
16	3200	849	894	45	252	1108,8	229	250	21	117,6
17	3400	877	893	16	89,6	1103,2	238	243	5	28



Lampiran 8. Panjang dan lebar spray api minyak sawit pada tekanan 1900 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	P (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	l (mm)
1	200	696	789	93	520,8	520,8	225	257	32	179,2
2	400	705	847	142	795,2	845,6	224	267	43	240,8
3	600	740	912	172	963,2	1209,6	220	287	67	375,2
4	800	743	941	198	1108,8	1372	225	288	63	352,8
5	1000	759	957	198	1108,8	1461,6	230	284	54	302,4
6	1200	784	967	183	1024,8	1517,6	232	282	50	280
7	1400	894	968	74	414,4	1523,2	233	281	48	268,8
8	1600	905	978	73	408,8	1579,2	239	275	36	201,6
9	1800	916	979	63	352,8	1584,8	237	273	36	201,6
10	2000	925	973	48	268,8	1551,2	237	269	32	179,2
11	2200	927	970	43	240,8	1534,4	236	267	31	173,6
12	2400	930	968	38	212,8	1523,2	237	267	30	168
13	2600	939	972	33	184,8	1545,6	239	264	25	140
14	2800	945	973	28	156,8	1551,2	236	264	28	156,8
15	3000	946	971	25	140	1540	237	260	23	128,8
16	3200	951	970	19	106,4	1534,4	235	249	14	78,4
17	3400	951	968	17	95,2	1523,2	233	246	8	44,8



Lampiran 9. Panjang dan lebar spray api minyak sawit pada tekanan 2100 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	P (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	l (mm)
1	200	696	736	40	224	224	231	252	21	117,6
2	400	704	797	93	520,8	565,6	228	259	31	173,6
3	600	743	876	133	744,8	1008	227	268	41	229,6
4	800	763	903	140	784	1159,2	230	278	48	268,8
5	1000	812	919	107	599,2	1248,8	233	279	46	257,6
6	1200	831	923	92	515,2	1271,2	233	281	48	268,8
7	1400	841	933	92	515,2	1327,2	231	284	53	296,8
8	1600	847	932	85	476	1321,6	229	274	45	252
9	1800	857	935	78	436,8	1338,4	229	272	43	240,8
10	2000	864	936	72	403,2	1344	231	268	37	207,2
11	2200	876	938	62	347,2	1355,2	233	269	36	201,6
12	2400	885	936	51	285,6	1344	233	265	32	179,2
13	2600	894	938	44	246,4	1355,2	238	264	26	145,6
14	2800	892	936	44	246,4	1344	239	263	24	134,4
15	3000	893	937	44	246,4	1349,6	237	260	23	128,8
16	3200	892	932	40	224	1321,6	241	256	15	84
17	3400	918	933	15	84	1327,2	235	255	20	112
18	3600	915	928	13	72,8	1299,2	234	250	16	89,6



Lampiran 10. Panjang dan lebar spray api minyak kapuk pada tekanan 2100 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	p (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	l (mm)
1	200	696	770	74	414,4	414,4	216	245	29	162,4
2	400	696	834	138	772,8	772,8	201	277	76	425,6
3	600	696	874	178	996,8	996,8	197	280	83	464,8
4	800	696	902	206	1153,6	1153,6	193	280	87	487,2
5	1000	696	930	234	1310,4	1310,4	187	284	97	543,2
6	1200	735	948	213	1192,8	1411,2	167	277	110	616
7	1400	822	970	148	828,8	1534,4	174	270	96	537,6
8	1600	818	970	152	851,2	1534,4	171	271	100	560
9	1800	860	984	124	694,4	1612,8	178	263	85	476
10	2000	880	986	106	593,6	1624	180	255	75	420
11	2200	889	987	98	548,8	1629,6	180	248	68	380,8
12	2400	897	992	95	532	1657,6	183	247	64	358,4
13	2600	898	992	94	526,4	1657,6	181	246	65	364
14	2800	902	993	91	509,6	1663,2	181	238	57	319,2
15	3000	917	998	81	453,6	1691,2	178	238	60	336
16	3200	917	1000	83	464,8	1702,4	179	233	54	302,4
17	3400	918	1003	85	476	1719,2	177	233	56	313,6
18	3600	918	1005	87	487,2	1730,4	176	230	54	302,4
19	3800	916	1006	90	504	1736	170	226	56	313,6
20	4000	919	1010	91	509,6	1758,4	168	225	57	319,2
21	4200	919	1006	87	487,2	1736	170	224	54	302,4
22	4400	967	1013	46	257,6	1775,2	171	223	52	291,2
23	4600	973	1014	41	229,6	1780,8	163	219	56	313,6
24	4800	981	1016	35	196	1792	183	209	26	145,6
25	5000	982	996	14	78,4	1680	186	202	16	89,6



Lampiran 11. Panjang dan lebar spray api minyak solar pada tekanan 1700 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	p (mm)	Pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	L (mm)
1	200	696	773	77	431,2	431,2	227	265	38	212,8
2	400	696	828	132	739,2	739,2	218	277	59	330,4
3	600	696	882	186	1041,6	1041,6	214	283	69	386,4
4	800	696	921	225	1260	1260	217	286	69	386,4
5	1000	696	936	240	1344	1344	207	290	83	464,8
6	1200	696	970	274	1534,4	1534,4	209	297	88	492,8
7	1400	749	974	225	1260	1556,8	205	293	88	492,8
8	1600	802	972	170	952	1545,6	204	290	86	481,6
9	1800	823	967	144	806,4	1517,6	211	289	78	436,8
10	2000	835	972	137	767,2	1545,6	211	287	76	425,6
11	2200	838	967	129	722,4	1517,6	207	286	79	442,4
12	2400	859	970	111	621,6	1534,4	210	287	77	431,2
13	2600	880	975	95	532	1562,4	211	286	75	420
14	2800	892	977	85	476	1573,6	213	287	74	414,4
15	3000	900	980	80	448	1590,4	224	286	62	347,2
16	3200	906	981	75	420	1596	224	286	62	347,2
17	3400	910	984	74	414,4	1612,8	222	279	57	319,2
18	3600	920	987	67	375,2	1629,6	224	280	56	313,6
19	3800	930	989	59	330,4	1640,8	225	277	52	291,2
20	4000	930	983	53	296,8	1607,2	222	274	52	291,2
21	4200	940	985	45	252	1618,4	224	270	46	257,6
22	4400	935	986	51	285,6	1624	224	271	47	263,2
23	4600	955	988	33	184,8	1635,2	233	265	32	179,2
24	4800	958	990	32	179,2	1646,4	245	264	19	106,4



Lampiran 12. Panjang dan lebar spray api minyak solar pada tekanan 1900 psia

No	t (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	P (mm)	pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	L (mm)
1	200	696	801	105	588	588	227	284	57	319,2
2	400	696	872	176	985,6	985,6	217	286	69	386,4
3	600	696	926	230	1288	1288	214	289	75	420
4	800	696	965	269	1506,4	1506,4	197	293	96	537,6
5	1000	701	967	266	1489,6	1517,6	194	295	101	565,6
6	1200	730	982	252	1411,2	1601,6	198	292	94	526,4
7	1400	827	974	147	823,2	1556,8	201	290	89	498,4
8	1600	815	974	159	890,4	1556,8	207	287	80	448
9	1800	823	972	149	834,4	1545,6	207	286	79	442,4
10	2000	840	966	126	705,6	1512	202	285	83	464,8
11	2200	860	970	110	616	1534,4	199	285	86	481,6
12	2400	866	972	106	593,6	1545,6	196	284	88	492,8
13	2600	871	978	107	599,2	1579,2	194	279	85	476
14	2800	895	980	85	476	1590,4	191	276	85	476
15	3000	895	981	86	481,6	1596	192	274	82	459,2
16	3200	898	987	89	498,4	1629,6	187	274	87	487,2
17	3400	916	988	72	403,2	1635,2	191	273	82	459,2
18	3600	920	988	68	380,8	1635,2	190	271	81	453,6
19	3800	925	992	67	375,2	1657,6	191	266	75	420
20	4000	953	990	37	207,2	1646,4	234	263	29	162,4
21	4200	960	988	28	156,8	1635,2	243	256	57	319,2



Lampiran 13. Panjang dan lebar spray api minyak solar pada tekanan 2100 psia

No	T (ms)	x1 (pix)	x2 (pix)	x2 - x1 (pix)	P (mm)	pmax (mm)	y1 (pix)	y2 (pix)	y2 - y1 (pix)	l (mm)
1	200	696	791	95	532	532	220	275	55	308
2	400	696	862	166	929,6	929,6	213	283	70	392
3	600	696	916	220	1232	1232	205	288	83	464,8
4	800	696	940	244	1366,4	1366,4	189	289	100	560
5	1000	701	971	270	1512	1540	191	290	99	554,4
6	1200	780	962	182	1019,2	1489,6	187	294	107	599,2
7	1400	809	965	156	873,6	1506,4	197	288	91	509,6
8	1600	817	969	152	851,2	1528,8	200	289	89	498,4
9	1800	815	970	155	868	1534,4	205	291	86	481,6
10	2000	822	957	135	756	1461,6	202	285	83	464,8
11	2200	839	960	121	677,6	1478,4	208	284	76	425,6
12	2400	853	956	103	576,8	1456	216	282	66	369,6
13	2600	850	963	113	632,8	1495,2	213	281	68	380,8
14	2800	872	966	94	526,4	1512	214	280	66	369,6
15	3000	877	967	90	504	1517,6	206	278	72	403,2
16	3200	890	967	77	431,2	1517,6	200	277	77	431,2
17	3400	897	964	67	375,2	1500,8	202	275	73	408,8
18	3600	907	964	57	319,2	1500,8	205	272	67	375,2
19	3800	907	968	61	341,6	1523,2	227	267	40	224
20	4000	915	969	54	302,4	1528,8	205	262	57	319,2
21	4200	936	975	39	218,4	1562,4	204	252	48	268,8
22	4400	947	972	25	140	1545,6	209	236	27	151,2



Lampiran 14 Sidik warna nyala spray minyak jarak pada tekanan 1700 psi

No	time	spc			Soz			df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	b	r	G	b	R	g	B	r	g	b
1	200	249	253	241	252	253	224	236	227	208	217	202	195
2	400	252	253	249	248	251	196	247	236	173	250	222	157
3	600	252	253	248	249	253	199	252	235	186	225	196	138
4	800	252	253	251	249	244	185	247	223	162	253	218	167
5	1000	250	253	249	248	252	214	244	221	141	233	197	137
6	1200	250	253	246	251	253	185	249	235	150	251	210	139
7	1400	249	253	251	250	250	198	249	212	142	246	193	131
8	1600	252	253	251	250	252	197	246	227	145	247	206	130
9	1800	252	253	250	247	253	219	251	247	178	246	216	137
10	2000	250	253	249	251	248	193	247	228	150	150	201	129
11	2200	252	253	249	250	249	201	244	213	138	233	188	124
12	2400	252	253	250	251	243	179	244	202	129	229	188	133
13	2600	252	253	251	246	217	154	246	216	150	247	181	137
14	2800	249	253	230	250	252	175	245	198	117	244	199	132
15	3000	249	253	226	249	253	173	251	203	112	240	175	102



Lampiran 15 Sidik warna nyala spray minyak jarak pada tekanan 1900 psi

No	time	spc			Soz			df			tnp <sub>z</sub>		
		R	g	B	R	G	b	r	g	B	R	g	b
1	200	251	253	239	249	253	227	250	241	205	225	206	177
2	400	251	252	241	252	253	207	234	222	175	246	215	169
3	600	252	253	249	249	248	182	236	212	135	248	222	142
4	800	252	253	251	246	246	176	249	215	144	235	198	142
5	1000	252	253	251	242	250	187	243	232	158	250	212	143
6	1200	248	253	243	248	248	168	246	211	141	230	197	142
7	1400	252	253	248	246	249	179	248	210	136	240	200	132
8	1600	252	253	251	248	247	176	252	231	148	237	200	132
9	1800	252	253	251	248	230	145	247	212	137	218	189	125
10	2000	252	253	250	247	245	171	245	211	139	207	184	135
11	2200	252	253	250	250	219	152	242	205	139	200	183	136
12	2400	251	253	239	249	251	183	245	227	159	218	191	138
13	2600	250	253	223	249	252	176	239	220	146	209	190	129
14	2800	250	233	163	244	213	149	234	198	136	190	176	130
15	3000	203	206	163	186	189	146	175	178	136	173	175	136





## Lampiran 16 Sidik warna nyala spray minyak jarak pada tekanan 2100 psi

No	time	spc			soz			df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	b	R	G	b	R	g	B	R	g	b
1	200	220	230	225	198	205	200	150	155	151	148	138	134
2	400	251	253	225	247	243	210	231	205	182	226	199	177
3	600	248	253	187	248	237	156	237	204	138	192	164	116
4	800	246	253	207	250	218	152	223	194	135	231	169	125
5	1000	248	252	202	248	241	157	246	223	139	251	210	137
6	1200	249	253	229	248	252	185	247	225	148	248	208	135
7	1400	249	253	229	248	253	175	249	238	157	249	212	138
8	1600	248	252	238	247	243	167	246	213	133	241	196	137
9	1800	251	253	247	247	240	168	245	215	140	242	200	136
10	2000	250	252	245	252	244	193	246	226	157	233	193	134
11	2200	243	253	217	247	252	199	245	236	156	224	190	128
12	2400	251	253	229	247	246	183	249	206	137	212	178	121
13	2600	250	253	253	252	253	235	223	208	153	233	206	133
14	2800	253	253	248	251	229	190	238	212	161	237	198	141
15	3000	246	253	247	253	252	223	225	215	163	226	201	141



Lampiran 17. Sidik warna nyala spray minyak kelapa pada tekanan 1700 psi

No	time	spc			r	soz			df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	B		r	G	b	R	g	b	r	g	b
1	200	248	232	176	252	203	144	241	192	129	238	197	141	
2	400	248	253	220	251	236	153	251	221	136	235	189	106	
3	600	249	253	221	251	253	204	244	208	160	235	208	157	
4	800	246	253	216	247	245	179	248	237	162	248	215	146	
5	1000	252	253	251	248	247	192	240	219	157	243	204	136	
6	1200	253	253	249	248	230	164	249	216	146	244	207	134	
7	1400	253	253	246	248	253	196	247	222	149	245	211	136	
8	1600	251	252	228	249	234	160	244	213	131	249	205	135	
9	1800	252	253	231	245	227	163	249	218	145	246	204	133	
10	2000	247	253	220	244	229	159	250	215	145	237	200	129	
11	2200	248	252	209	252	224	158	246	213	146	237	202	137	
12	2400	250	253	233	246	235	172	245	214	140	224	191	126	
13	2600	249	252	230	230	231	155	250	205	129	246	193	124	
14	2800	249	253	216	252	221	155	241	186	129	248	189	147	
15	3000	252	252	219	244	216	145	247	190	126	250	186	120	



Lampiran 18. Sidik warna nyala spray minyak kelapa pada tekanan 1900 psi

No	time	spc			Soz			df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	b	r	g	b	r	G	B	r	g	b
1	200	250	247	196	248	235	192	241	215	177	228	197	168
2	400	250	253	204	249	236	190	179	160	128	137	118	91
3	600	244	252	233	247	238	181	244	227	173	217	201	155
4	800	247	253	234	250	242	179	245	233	162	249	215	154
5	1000	252	253	235	246	252	184	249	238	171	250	222	160
6	1200	252	253	251	248	241	171	249	218	151	248	204	141
7	1400	252	253	251	250	249	186	249	221	146	246	213	144
8	1600	249	253	246	250	242	204	250	227	161	249	203	142
9	1800	252	253	246	250	251	196	251	244	173	247	213	146
10	2000	251	252	218	248	252	183	247	226	153	249	214	148
11	2200	250	253	251	248	233	183	236	202	136	213	139	79
12	2400	250	253	248	249	248	210	236	197	129	223	155	112
13	2600	252	253	251	249	236	201	228	197	140	231	165	127
14	2800	252	253	250	237	220	177	219	172	123	207	140	105
15	3000	252	253	249	238	210	156	225	184	132	218	158	115



Lampiran 19 Sidik warna nyala spray minyak kelapa pada tekanan 2100 psi

No	time	spc			Soz			Df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	B	r	G	B	R	G	b	R	g	b
1	200	235	215	206	238	212	192	216	184	160	186	154	131
2	400	252	253	211	240	220	169	199	181	134	169	155	120
3	600	249	253	235	252	249	213	245	229	182	232	218	172
4	800	252	253	246	246	253	199	250	231	181	253	235	191
5	1000	252	253	251	248	252	191	248	234	169	220	200	153
6	1200	252	253	249	248	253	194	250	239	181	221	201	158
7	1400	252	253	251	249	252	216	243	214	146	229	195	137
8	1600	252	253	251	248	246	187	250	229	156	238	194	135
9	1800	252	253	251	251	238	168	250	215	145	234	195	135
10	2000	252	253	251	250	237	177	244	205	146	228	187	137
11	2200	252	253	250	248	237	182	246	194	131	232	183	128
12	2400	249	253	249	250	247	202	248	225	172	220	184	137
13	2600	252	253	251	246	246	218	228	208	164	222	191	147
14	2800	253	253	251	245	241	221	215	197	157	207	182	136
15	3000	252	253	251	250	252	198	231	227	159	205	188	140



## Lampiran 20 Sidik warna nyala spray minyak sawit pada tekanan 1700 psi

No	time	spc			soz			df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	b	r	g	b	r	g	B	r	g	b
1	200	249	253	208	249	242	188	251	232	181	243	218	172
2	400	250	250	214	250	246	188	250	230	170	236	197	143
3	600	251	253	213	247	218	163	235	205	141	224	184	140
4	800	253	253	213	248	244	152	244	229	141	248	218	140
5	1000	249	253	221	248	250	178	246	227	147	246	218	144
6	1200	247	253	220	248	235	156	250	224	141	252	206	137
7	1400	247	250	207	250	236	163	251	220	137	250	216	136
8	1600	252	252	228	248	218	152	249	212	143	244	196	136
9	1800	251	253	234	244	223	163	245	200	136	228	193	135
10	2000	252	253	246	251	234	170	248	214	146	230	188	133
11	2200	252	253	237	248	232	167	251	211	141	245	196	134
12	2400	252	253	244	251	251	209	246	217	151	246	191	127
13	2600	252	253	230	234	229	172	231	205	145	234	184	132
14	2800	251	253	173	250	241	143	225	207	111	231	192	121
15	3000	248	253	179	251	238	160	244	202	135	208	175	120



Lampiran 21 Sidik warna nyala spray minyak sawit pada tekanan 1900 psi

No	time	spc			soz			df			tnp		
		r	g	B	r	G	B	R	g	b	r	g	b
1	200	247	251	243	251	251	234	238	221	203	237	206	186
2	400	251	251	213	251	240	188	243	221	163	211	185	137
3	600	248	251	240	251	242	178	247	207	142	247	201	133
4	800	250	251	240	251	241	178	250	209	138	220	184	135
5	1000	248	251	234	251	251	195	251	215	137	222	180	128
6	1200	247	251	240	251	246	202	245	214	146	227	181	130
7	1400	250	251	239	247	228	176	226	193	132	216	177	129
8	1600	251	251	237	249	228	182	234	199	144	209	177	133
9	1800	251	251	218	238	212	163	191	164	122	173	162	130
10	2000	250	251	241	251	250	198	251	228	171	251	196	135
11	2200	244	251	226	251	251	190	238	200	133	234	179	142
12	2400	250	251	240	251	249	200	241	207	136	229	177	139
13	2600	251	251	223	251	250	193	228	199	142	220	176	134
14	2800	251	251	175	251	235	167	248	209	159	235	192	158
15	3000	251	248	183	249	218	156	247	202	148	209	171	132





## Lampiran 22 Sidik warna nyala spray minyak sawit pada tekanan 2100 psi

No	Time	spc			Soz			Df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	B	r	G	b	R	G	B	r	g	b
1	200	250	253	232	253	250	217	250	242	199	204	188	148
2	400	252	253	247	253	248	208	243	221	176	236	204	163
3	600	252	253	251	246	246	181	245	234	159	252	217	149
4	800	248	253	248	252	244	205	251	224	159	236	191	127
5	1000	252	253	249	250	248	200	238	208	141	238	198	125
6	1200	251	253	252	251	248	204	248	235	183	248	203	145
7	1400	252	253	251	248	253	201	248	230	154	246	206	135
8	1600	252	253	251	245	252	215	247	230	178	234	197	129
9	1800	252	253	252	248	253	203	244	240	169	250	230	154
10	2000	246	253	247	250	243	191	235	205	156	206	176	138
11	2200	249	253	251	251	249	218	248	212	172	235	202	160
12	2400	247	253	236	248	253	211	247	238	186	237	197	163
13	2600	247	253	211	244	236	173	241	232	166	173	151	116
14	2800	243	253	210	251	250	192	225	205	151	178	159	116
15	3000	253	253	197	238	206	178	202	176	152	183	166	145



Lampiran 23 Sidik warna nyala spray minyak kapuk pada tekanan 2100 psi

No	Time	Spc			soz			Df			Tn pz		
		r	G	B	R	G	B	R	G	b	r	G	b
1	200	251	253	247	247	246	206	250	241	211	232	215	194
2	400	252	253	251	249	241	175	247	207	129	247	188	131
3	600	252	253	251	252	252	190	246	220	152	246	210	143
4	800	251	253	247	248	252	177	246	239	164	251	215	146
5	1000	252	253	251	250	243	138	247	189	98	205	149	95
6	1200	252	252	251	249	220	139	246	178	102	237	163	104
7	1400	251	253	237	244	246	138	249	196	112	248	192	116
8	1600	252	253	251	248	252	155	247	210	119	245	187	106
9	1800	252	253	249	247	240	130	248	230	126	249	205	118
10	2000	250	253	245	247	238	145	248	222	131	245	203	122
11	2200	251	253	251	245	232	133	248	204	104	248	190	102
12	2400	251	252	253	243	235	161	249	199	104	246	176	105
13	2600	252	253	251	246	220	169	247	194	117	248	161	89
14	2800	251	253	241	234	210	149	241	174	100	247	162	91
15	3000	252	251	231	245	207	139	245	189	109	243	174	104



Lampiran 24. Sidik warna nyala spray minyak solar pada tekanan 1700 psi

No	time	spc			soz			df			tnp <sub>z</sub>		
		r	g	b	r	g	b	r	g	B	r	g	b
1	200	248	253	184	252	244	180	239	219	156	248	222	162
2	400	249	253	201	247	245	169	252	235	166	250	210	154
3	600	250	253	217	246	246	174	243	207	166	245	188	114
4	800	248	253	216	249	253	160	245	237	163	252	225	158
5	1000	246	253	226	247	253	159	249	251	161	247	170	103
6	1200	248	253	189	247	249	162	247	236	153	243	164	107
7	1400	248	253	212	247	252	165	248	242	157	250	209	148
8	1600	249	252	228	251	250	163	248	230	150	245	207	140
9	1800	249	253	223	250	250	167	246	214	137	247	203	135
10	2000	249	253	221	246	251	204	248	207	138	248	191	136
11	2200	251	253	227	249	241	183	248	196	129	243	186	136
12	2400	249	253	231	249	241	185	253	190	131	243	186	132
13	2600	246	253	213	252	245	171	248	206	128	242	196	136
14	2800	249	252	205	245	220	127	243	203	124	230	182	122
15	3000	248	253	190	251	218	149	245	185	135	242	172	137



Lampiran 25 Sidik warna nyala spray minyak solar pada tekanan 1900 psi

No	time	spc			soz			df			tnp z		
		r	g	B	r	G	B	R	g	B	r	g	b
1	200	250	253	229	248	253	197	242	246	189	247	232	190
2	400	249	253	229	247	253	200	232	221	157	245	211	140
3	600	248	235	207	249	253	179	244	217	148	248	215	138
4	800	250	253	229	251	253	181	247	252	155	247	237	152
5	1000	252	253	251	248	252	166	246	242	156	247	230	148
6	1200	252	253	237	247	253	163	248	236	150	248	224	141
7	1400	252	253	246	247	250	163	245	231	149	248	214	141
8	1600	250	253	244	247	253	194	245	227	140	250	196	132
9	1800	252	253	249	250	253	217	248	218	141	245	197	135
10	2000	253	253	249	249	234	177	247	193	132	227	185	145
11	2200	252	253	248	246	223	162	247	196	131	226	182	143
12	2400	252	253	247	248	222	147	247	185	135	223	185	144
13	2600	252	253	242	246	222	146	235	234	184	202	182	145
14	2800	249	253	230	252	248	178	238	207	118	225	180	131
15	3000	247	253	215	249	236	139	234	189	129	213	189	144



## Lampiran 26 Sidik warna nyala spray minyak solar pada tekanan 2100 psi

No	time	spc				Soz				df			tnp <sub>z</sub>	
		R	g	B	r	g	b	R	g	B	r	g	b	
1	200	252	253	251	250	253	206	248	236	190	222	194	162	
2	400	252	253	251	247	252	208	249	241	157	247	223	135	
3	600	250	253	236	250	253	200	245	235	158	249	224	145	
4	800	248	253	212	248	253	177	247	227	149	250	227	147	
5	1000	252	253	244	247	251	170	245	241	152	250	224	149	
6	1200	252	253	251	246	248	162	247	234	152	253	225	147	
7	1400	252	253	250	249	251	196	247	223	144	247	208	137	
8	1600	252	253	253	247	253	220	246	246	174	248	204	132	
9	1800	252	253	249	250	245	171	246	227	150	249	195	133	
10	2000	250	253	249	244	241	184	248	216	130	248	195	129	
11	2200	252	253	251	252	252	173	245	197	122	240	191	125	
12	2400	249	253	223	252	240	145	233	184	128	216	182	135	
13	2600	251	252	242	244	228	137	236	205	121	241	185	124	
14	2800	250	253	228	249	239	137	248	198	111	245	183	136	
15	3000	249	253	212	251	242	142	239	195	112	249	184	112	



## Lampiran 27

Analisa warna RGB (red grey blue) pada spc (soot precursor), soz (soot oxidation zone), df (difusion flame), tnpz (thermal NO production zone) pembakaran spray minyak jarak pada satu titik pengamatan.

No	spc			Soz			df			Tnpz		
	r	g	b	R	G	B	r	g	B	r	G	B
1	249	253	233	248	236	162	224	189	123	206	172	118
2	251	253	227	250	246	173	237	204	138	192	164	116
3	251	253	243	251	243	192	253	220	151	194	164	112
4	250	252	214	250	244	182	249	216	148	206	177	122
5	248	253	224	250	244	189	252	223	157	209	182	137
6	251	253	243	251	247	198	249	239	159	193	165	125
7	251	253	235	251	244	191	253	223	157	219	193	155
8	252	253	231	251	250	199	252	223	157	218	186	127
9	249	253	222	251	247	198	252	224	157	206	177	122
10	250	253	241	253	250	208	252	224	159	191	163	123
Sum	2502	2529	2313	2506	2451	1892	2473	2185	1506	2034	1743	1257
Average	250,2	252,9	231,3	250,6	245,1	189,2	247,3	218,5	150,6	203,4	174,3	125,7
Fix	250	253	231	251	245	189	247	219	151	203	174	126



Lampiran 28. Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak jarak

No	time	P1		P2		P3	
		p/l	Area	p/l	Area	p/l	area
1	200	0,64	3136	2,612903	19686,24	1,142857	1756,16
2	400	1,4	22226,4	3,393939	28976,64	2,366667	16699,2
3	600	2,708333	48921,6	4,805556	48827,52	2,55	31987,2
4	800	3,015873	93844,8	2,779661	75859,84	2,328125	74762,24
5	1000	3,188406	119011,2	3,285714	102241,4	2,591549	102421,8
6	1200	2,671429	102625,6	3,276923	108544,8	2,934211	132872,3
7	1400	2,411765	87431,68	2,952381	91869,12	1,75	79246,72
8	1600	4,149254	146027,8	2,476923	82045,6	3,133333	138180
9	1800	3,228571	124028,8	1,816667	51273,6	2,688312	124961,8
10	2000	2,731343	96126,24	1,596774	48121,92	2,306452	69509,44
11	2200	1,144928	42735,84	2,177778	34574,4	2,446809	42375,2
12	2400	1,580645	47635,84	2,268293	29893,92	4,069767	58996
13	2600	1,056604	23269,12	2,676471	24256,96	4,121951	54323,36
14	2800	1,163265	21897,12	0,85	2665,6	3,432432	36840,16
15	3000	1,363636	20697,6	1	19686,24	4,310345	28420
16	3200	1,526316	17279,36	-	-	2,407407	13759,2
17	3400	1,473684	16683,52	-	-	1,470588	3332
18	3600	1,588235	14394,24	-	-	-	-
19	3800	1,65625	13296,64	-	-	-	-
20	4000	1,75	10756,48	-	-	-	-
21	4200	1,40625	11289,6	-	-	-	-
22	4400	1,4	9878,4	-	-	-	-
23	4600	1,5	7949,76	-	-	-	-



Lampiran 29. Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak kelapa

No	time	P1		P2		P3	
		p/l	area	p/l	area	p/l	Area
1	200	2,058824	4664,8	1,590909	6036,8	1,583333	1787,52
2	400	3,956522	16409,12	3,583333	16181,76	3,5	13280,96
3	600	4,424242	37773,12	5,4	51861,6	3,032258	22845,76
4	800	3,509434	77286,72	4,051724	106859,2	5,410256	64515,36
5	1000	3,147541	91822,08	3,492063	108662,4	5,302326	76863,36
6	1200	3,044776	107157,1	2,728571	104820,8	3,103448	81849,6
7	1400	3,112676	123017,4	2,22973	95726,4	2,079365	64703,52
8	1600	3,166667	128701,4	2,36	104076	1,867647	67706,24
9	1800	3,104478	109258,2	1,756757	75420,8	1,830769	60642,4
10	2000	2,846154	94276	1,774648	70136,64	1,727273	58988,16
11	2200	2,746032	85448,16	1,458333	59270,4	1,397059	50646,4
12	2400	1,526316	38878,56	1,315789	59584	1,231884	45981,6
13	2600	1,647059	33586,56	1,38806	48851,04	1,149254	40446,56
14	2800	1,607843	32786,88	1,308824	47447,68	1,175439	29940,96
15	3000	2,128205	25378,08	1,777778	28224	1,20339	32841,76
16	3200	1,9	23833,6	1,458333	26342,4	1,310345	34558,72
17	3400	1,642857	22720,32	1,586957	26326,72	1,298246	33069,12
18	3600	1,372093	19890,08	1,431818	21732,48	1,471698	32410,56
19	3800	1,131579	12810,56	1,355556	21520,8	1,254545	29752,8
20	4000	0,707317	9321,76	1,282609	21277,76	1,37037	31328,64
21	4200	0,875	7024,64	1	20391,84	1,236364	29321,6
22	4400	0,833333	5880	0,90566	19944,96	1,25	26499,2
23	4600	0,6	1881,6	0,84	16464	1,575	19756,8
24	4800	-	-	0,765957	13265,28	1,435897	17122,56
25	5000	-	-	0,361111	3669,12	1,515152	12936
26	5200	-	-	0,888889	564,48	1,558824	14127,68
27	5400	-	-	-	-	1,393939	11901,12
28	5600	-	-	-	-	1,40625	11289,6
29	5800	-	-	-	-	1,419355	10693,76
30	6000	-	-	-	-	1,222222	6985,44
31	6200	-	-	-	-	0,782609	3245,76
32	6400	-	-	-	-	0,695652	2885,12
33	6600	-	-	-	-	0,722222	1834,56
34	6800	-	-	-	-	0,8	1411,2
35	7000	-	-	-	-	0,588235	1332,8



Lampiran 30. Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak sawit

No	time	P1		P2		P3	
		p/l	area	p/l	area	p/l	area
1	200	1,375	17248	2,90625	23331,84	1,904762	6585,6
2	400	3,179487	37914,24	3,302326	47871,04	3	22602,72
3	600	2,913793	76847,68	2,567164	90348,16	3,243902	42751,52
4	800	3,142857	97796,16	3,142857	97796,16	2,916667	52684,8
5	1000	2,941176	106624	3,666667	83825,28	2,326087	38588,48
6	1200	2,622951	76518,4	3,66	71736	1,916667	34621,44
7	1400	1,87931	49564,48	1,541667	27847,68	1,735849	38227,84
8	1600	1,263158	32175,36	2,027778	20603,52	1,888889	29988
9	1800	1,361702	23582,72	1,75	17781,12	1,813953	26295,36
10	2000	1,266667	20109,6	1,5	12042,24	1,945946	20885,76
11	2200	1,390244	18322,08	1,387097	10450,72	1,722222	17498,88
12	2400	1,4	17561,6	1,266667	8937,6	1,59375	12794,88
13	2600	1,567568	16824,64	1,32	6468	1,692308	8968,96
14	2800	1,5	16981,44	1	6146,56	1,833333	8279,04
15	3000	1,263158	14300,16	1,086957	4508	1,913043	7934,08
16	3200	2,142857	7408,8	1,357143	2085,44	2,666667	4704
17	3400	3,2	627,2	2,125	1066,24	0,75	2352
18	3600	-	-	-	-	1,904762	6585,6



Lampiran 31. Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak kapuk

No	time	P1		P2		P3	
		p/l	area	p/l	area	p/l	Area
1	200	-	-	-	-	2,551724	16824,64
2	400	-	-	-	-	1,815789	82225,92
3	600	-	-	-	-	2,144578	115828,2
4	800	-	-	-	-	2,367816	140508,5
5	1000	-	-	-	-	2,412371	177952,3
6	1200	-	-	-	-	1,936364	183691,2
7	1400	-	-	-	-	1,541667	111390,7
8	1600	-	-	-	-	1,52	119168
9	1800	-	-	-	-	1,458824	82633,6
10	2000	-	-	-	-	1,413333	62328
11	2200	-	-	-	-	1,441176	52245,76
12	2400	-	-	-	-	1,484375	47667,2
13	2600	-	-	-	-	1,446154	47902,4
14	2800	-	-	-	-	1,596491	40666,08
15	3000	-	-	-	-	1,35	38102,4
16	3200	-	-	-	-	1,537037	35138,88
17	3400	-	-	-	-	1,517857	37318,4
18	3600	-	-	-	-	1,611111	36832,32
19	3800	-	-	-	-	1,607143	39513,6
20	4000	-	-	-	-	1,596491	40666,08
21	4200	-	-	-	-	1,611111	36832,32
22	4400	-	-	-	-	0,884615	18753,28
23	4600	-	-	-	-	0,732143	18000,64
24	4800	-	-	-	-	1,346154	7134,4
25	5000	-	-	-	-	0,875	1756,16



Lampiran 32. Luas area pembakaran dan perbandingan panjang dan lebar pembakaran minyak solar

No	time	P1		P2		P3	
		p/l	area	p/l	area	p/l	Area
1	200	2,026316	22939,84	1,842105	46922,4	1,727273	40964
2	400	2,237288	61057,92	2,550725	95208,96	2,371429	91100,8
3	600	2,695652	100618,6	3,066667	135240	2,650602	143158,4
4	800	3,26087	121716	2,802083	202460,2	2,44	191296
5	1000	2,891566	156172,8	2,633663	210629,4	2,727273	209563,2
6	1200	3,113636	189038,1	2,680851	185713,9	1,700935	152676,2
7	1400	2,556818	155232	1,651685	102570,7	1,714286	111296,6
8	1600	1,976744	114620,8	1,9875	99724,8	1,707865	106059,5
9	1800	1,846154	88058,88	1,886076	92284,64	1,802326	104507,2
10	2000	1,802632	81630,08	1,518072	81990,72	1,626506	87847,2
11	2200	1,632911	79897,44	1,27907	74166,4	1,592105	72096,64
12	2400	1,441558	67008,48	1,204545	73131,52	1,560606	53296,32
13	2600	1,266667	55860	1,258824	71304,8	1,661765	60242,56
14	2800	1,148649	49313,6	1	56644	1,424242	48639,36
15	3000	1,290323	38886,4	1,04878	55287,68	1,25	50803,2
16	3200	1,209677	36456	1,022989	60705,12	1	46483,36
17	3400	1,298246	33069,12	0,878049	46287,36	0,917808	38345,44
18	3600	1,196429	29415,68	0,839506	43182,72	0,850746	29940,96
19	3800	1,134615	24053,12	0,893333	39396	1,525	19129,6
20	4000	1,019231	21607,04	1,275862	8412,32	0,947368	24131,52
21	4200	0,978261	16228,8	0,491228	12512,64	0,8125	14676,48
22	4400	1,085106	18792,48	-	-	0,925926	5292
23	4600	1,03125	8279,04	-	-	-	-
24	4800	1,684211	4766,72	-	-	-	-



Lampiran 33. Frame api spray minyak Jarak pada tekanan 1700 Psi







Lampiran 34. Frame api spray minyak Jarak pada tekanan 1900 Psi





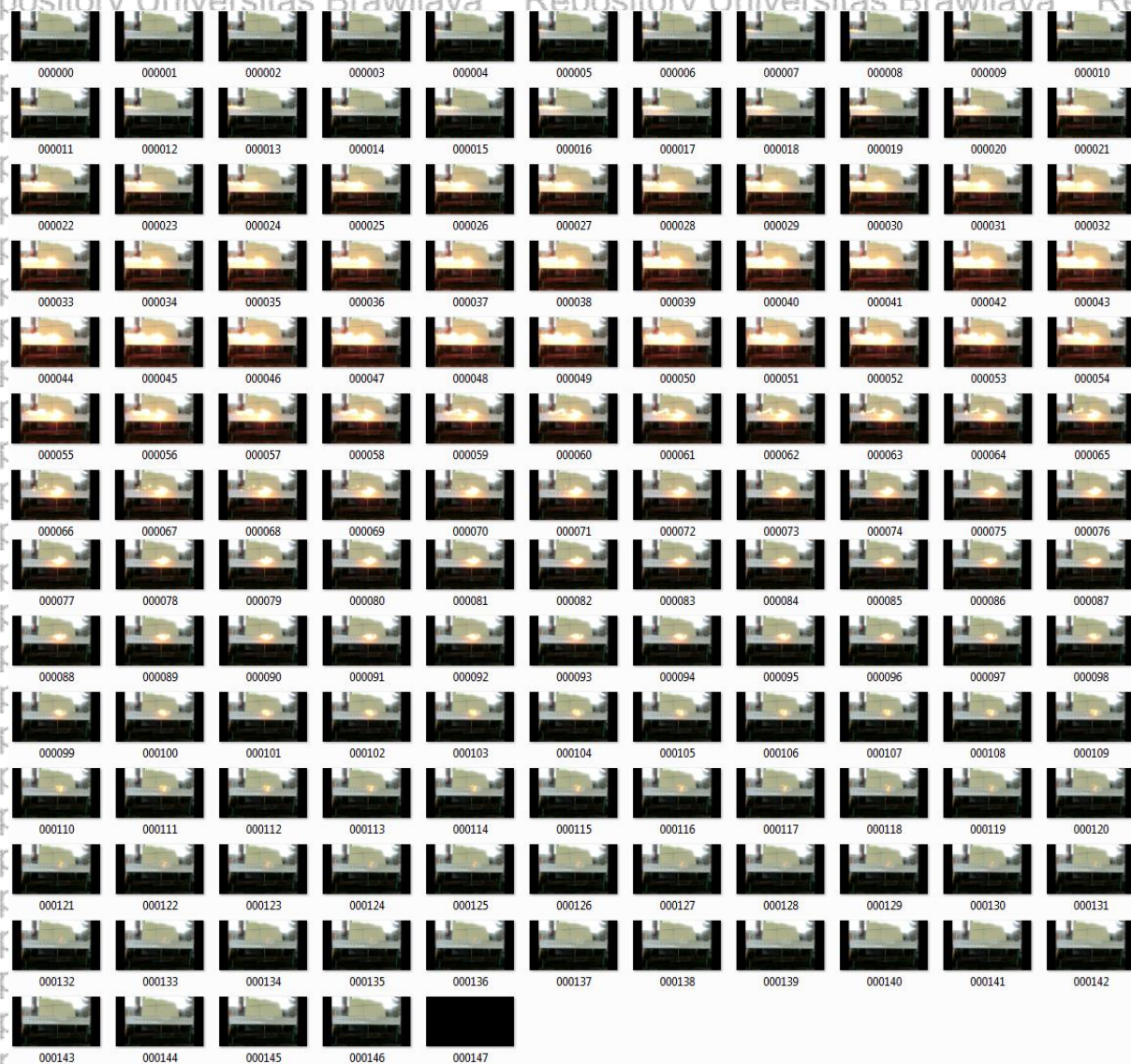
Lampiran 35. Frame api spray minyak Jarak pada tekanan 2100 Psi





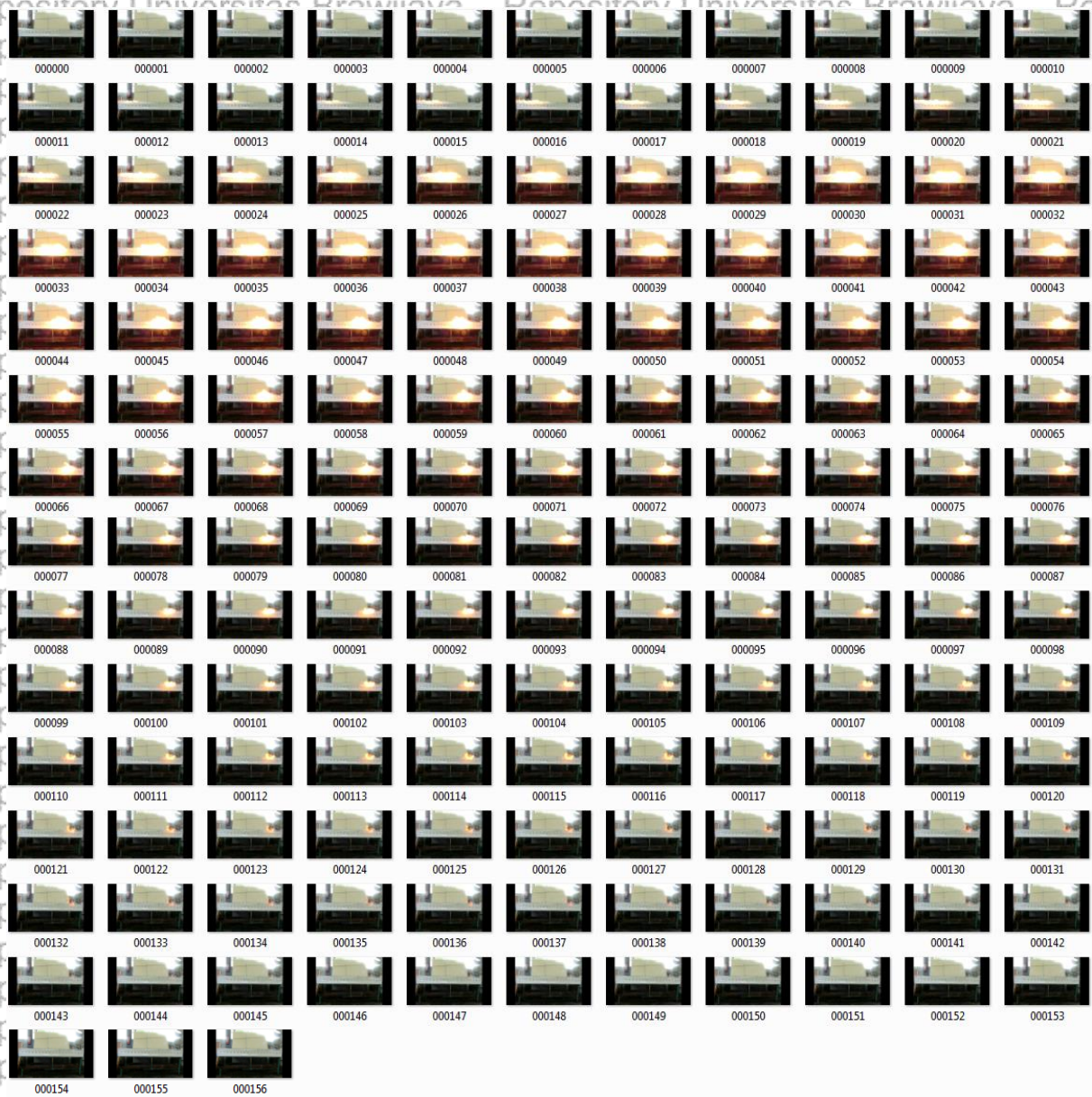


Lampiran 36. Frame api spray minyak kelapa pada tekanan 1700 Psi





Lampiran 37. Frame api spray minyak kelapa pada tekanan 1900 Psi





Lampiran 38. Frame api spray minyak kelapa pada tekanan 2100 Psi







Lampiran 39. Frame api spray minyak sawit pada tekanan 1700 Psi







Lampiran 40. Frame api spray minyak sawit pada tekanan 1900 Psi





Lampiran 41. Frame api spray minyak sawit pada tekanan 2100 Psi





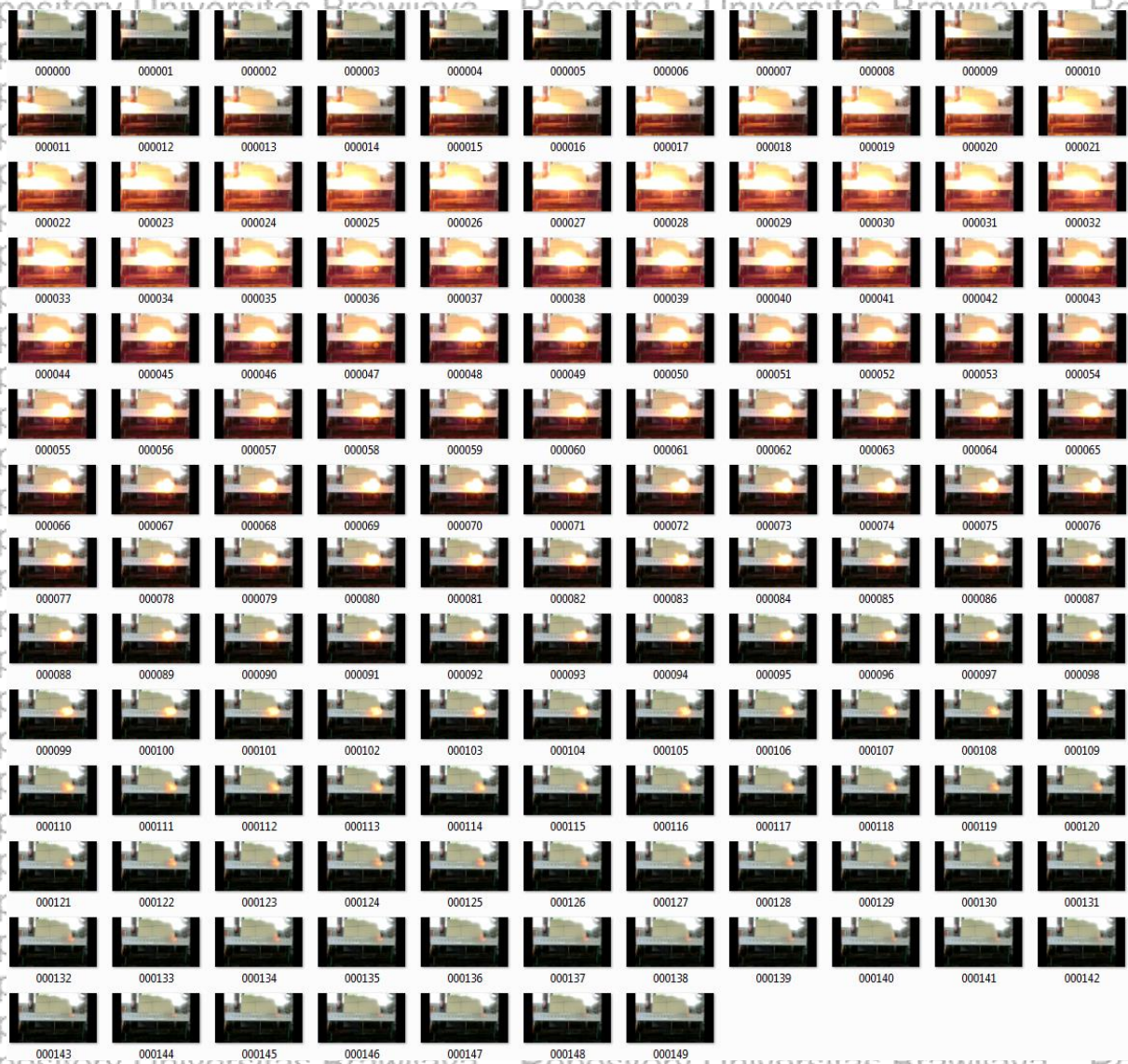


Lampiran 42. Frame api spray minyak kapuk pada tekanan 2100 Psi



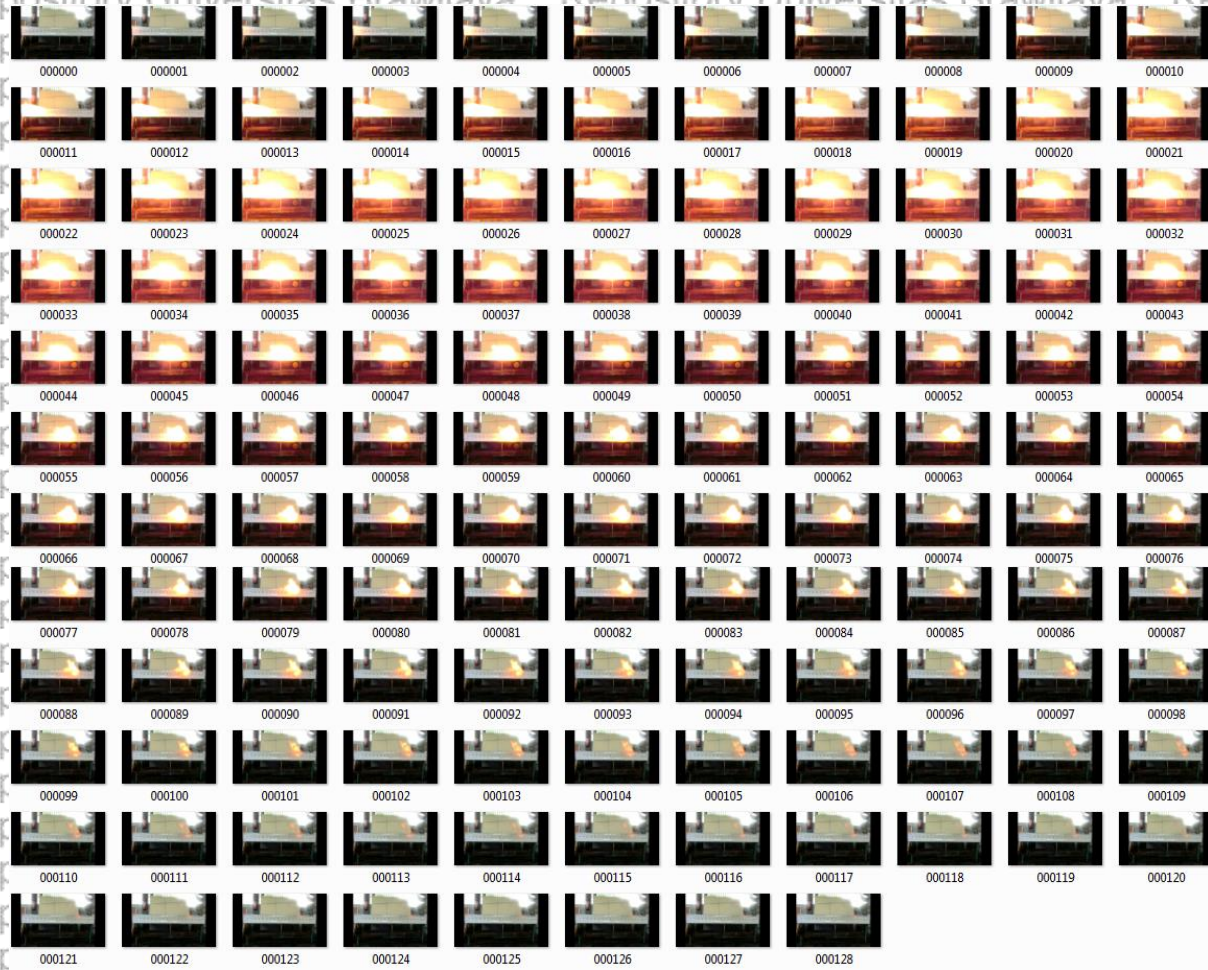


Lampiran 43. Frame api spray minyak solar pada tekanan 1700 Psi





Lampiran 44. Frame api spray minyak solar pada tekanan 1900 Psi





Lampiran 45. Frame api spray minyak solar pada tekanan 2100 Psi











Lampiran 47. Perhitungan kedekatan sidik warna minyak kelapa dan solar

Kelapa solar 1700

mineral	249,8	251,3333	224,3333	247,1333	232,2667	166,6	246,1333	211,2667	142	241,66
solar	233,387	235,7556	212,8889	230,0756	218,4844	157,9067	229,7422	197,8178	133,8	226,24
perbedaan	-7,032678	-6,607597	-5,37578	-7,41399	-6,3081	-5,50536	-7,13457	-6,79862	-6,12855	-6,816
Zona		-6,338686			-6,40915			-6,68725		
total		-6,475351								

Kelapa solar 1900

mineral	250,333	252,4667	237,5333	247,1333	239	186,2	236,5333	210,7333	150,3333	227,46
solar	250,667	251,8	236,8	248,2667	243,8667	173,9333	243	219,6	147,6	236,06
perbedaan	0,1331115	-0,26476	-0,30068	0,456512	1,995639	-7,03233	2,66118	4,037644	-1,85183	3,6430
Zona		-0,147111			-1,53346			1,615657		
total		1,8093139								

Kelapa solar 2100

mineral	250,533	250,4667	243,6	247,2667	242,3333	195,1333	237,5333	214,1333	158,8667	219,73
solar	250,867	252,9333	240,1333	248,4	246,7333	175,2	244,6	220,3333	143,3333	243
perbedaan	0,1330054	0,975211	-1,44366	0,456253	1,783289	-11,3775	2,889071	2,813904	-10,8372	9,7974
Zona		-0,111813			-3,04598			-1,71142		
total		-0,346124								











Tabel 50. komposisi asam lemak penyusun minyak nabati

No	Parameter Uji	Jarak	Kelapa	Sawit	Kapok
1	Asam kaproat	0,005	0,371	Nd	Nd
2	Asam kaprilat	0,077	6,017	0,142	0,107
3	Asam kaprat	0,079	5,467	0,176	0,188
4	Asam laorat	0,615	43,763	1,881	1,138
5	Asam Tridekanoat	0,01	0,131	2,116	0,286
6	Asam myristat	0,343	16,767	2,100	0,794
7	Asam pentadekanoat	0,038	0,051	1,786	0,357
8	Asam myristoleat	Nd	Nd	0,528	0,089
9	Asam palmitat	14,936	9,932	26,628	20,555
10	Asam heptadekanoat	Nd	Nd	2,659	2,009
11	Asam palmitoleat	0,844	0,049	0,681	Nd
12	Asam margariat	Nd	Nd	nd	Nd
13	Asam oleat	45,272	10,292	38,936	52,100
14	Asam stearat	0,107	2,809	0,372	4,193
15	Asam linoleat	34,753	0,039	2,197	3,615
16	Asam linolenat	0,203	Nd	0,390	1,566
17	Asam eurat	Nd	Nd	nd	Nd
18	Asam eicosatrienoat	Nd	0,039	0,854	0,393
19	Asam arachidonat	0,092	0,017	1,051	0,360
20	Asam lignocerat	0,049	0,040	0,927	0,337
21	Asam docosadinoat	Nd	Nd	nd	0,479
22	Asam aracidat	0,638	0,045	nd	4,159
23	Asam eicosenoat	Nd	Nd	nd	1,457
24	Asam eicopentanoat	Nd	Nd	nd	Nd
25	Asam neryonat	0,134	0,025	0,933	0,506
26	Asam docosanoat	0,290 (8)	0,147	0,586	0,306
27	Asam docosenoat	Nd	Nd	nd	Nd
28	Asam docosaheksaenoat	0,135 (10)	0,079	0,894	0,290
29	Asam docohexanoat	Nd	Nd	nd	Nd
30	Asam undecanoat	0,012	0,029	0,840	0,526



Lampiran 51. Komposisi sepuluh terbanyak dari minyak nabati sefat jenuh tak jenuh

No	Asam Lemak	Jarak	Kelapa	Sawit	Kapok
1	Asam oleat Tak jenuh	45,272 (1)	10,292 (3)	38,936 (1)	52,100 (1)
2	Asam linoleat Tak jenuh	34,753 (2)	0,039	2,197 (4)	3,615 (5)
3	Asam palmitat jenuh	14,936 (3)	9,932 (4)	26,628 (2)	20,555 (2)
4	Asam palmitoleat jenuh	0,844 (4)	0,049	0,681	Nd
5	Asam aracidat jenuh	0,638 (5)	0,045	nd	4,159 (4)
6	Asam laorat jenuh	0,615 (6)	43,763 (1)	1,881 (7)	1,138 (9)
7	Asam myristat jenuh	0,343 (7)	16,767 (2)	2,100 (6)	0,794 (10)
8	Asam docosanoat jenuh	0,290 (8)	0,147	0,586	0,306
9	Asam linolenat Tidak jenuh	0,203 (9)	nd	0,390	1,566 (7)
10	Asam docosahexaenoat Tidak jenuh	0,135 (10)	0,079	0,894	0,290
11	Asam kaprilat jenuh	0,077	6,017 (5)	0,142	0,107
12	Asam kaprat jenuh	0,079	5,467 (6)	0,176	0,188
13	Asam strearat jenuh	0,107	2,809 (7)	0,372	4,193 (3)
14	Asam kaproat jenuh	0,005	0,371 (8)	Nd	Nd
15	Asam docosanoat Tak jenuh	0,290 (8)	0,147 (9)	0,586	0,306
16	Asam Tridekanoat Jenuh	0,01	0,131 (10)	2,116 (5)	0,286
17	Asam heptadekanoat Jenuh	Nd	nd	2,659 (3)	2,009 (6)
18	Asam pentadekanoat Jenuh	0,038	0,051	1,786 (8)	0,357
19	Asam arachidonat Tidak jenuh	0,092	0,017	1,051 (9)	0,360
20	Asam lignocerat Jenuh	0,049	0,040	0,927 (10)	0,337
21	Asam eicosenoat Tak jenuh	Nd	nd	Nd	1,457 (8)



Lampiran 52. Komposisi asam lemak jenuh tak jenuh pada minyak nabati

No	Asam Lemak	Jarak	Kelapa	Sawit	Kapok	
1	Asam oleat	Tak jenuh	45,272	10,292	38,936	52,100
2	Asam linoleat	Tak jenuh	34,753	0,039	2,197	3,615
3	Asam linolenat	Tidak jenuh	0,203	nd	0,390	1,566
4	Asam docosahexaenoat	Tidak jenuh	0,135	0,079	0,894	0,290
5	Asam docosanoat	Tak jenuh	0,290	0,147	0,586	0,306
6	Asam arachidonat	Tak jenuh	0,092	0,017	1,051	0,360
7	Asam eicosenoat	Tak jenuh	Nd	nd	Nd	1,457
<b>Jumlah</b>			80,745	10,574	44,054	60,246
1	Asam palmitat	jenuh	14,936	9,932	26,628	20,555
2	Asam palmitoleat	jenuh	0,844	0,049	0,681	Nd
3	Asam aracidat	jenuh	0,638	0,045	Nd	4,159
4	Asam laorat	jenuh	0,615	43,763	1,881	1,138
5	Asam myristat	jenuh	0,343	16,767	2,100	0,794
6	Asam docosanoat	jenuh	0,290	0,147	0,586	0,306
7	Asam kaprilat	jenuh	0,077	6,017	0,142	0,107
8	Asam kaprat	jenuh	0,079	5,467	0,176	0,188
9	Asam strearat	jenuh	0,107	2,809	0,372	4,193
10	Asam kaproat	jenuh	0,005	0,371	Nd	Nd
11	Asam Tridekanoat	jenuh	0,01	0,131	2,116	0,286
12	Asam pentadekanoat	jenuh	0,038	0,051	1,786	0,357
13	Asam lignocerat	jenuh	0,049	0,040	0,927	0,337
14	Asam heptadekanoat	jenuh	Nd	nd	2,659	2,009
<b>Jumlah</b>			18,031	85,589	40,054	34,429



