

## BAB 4

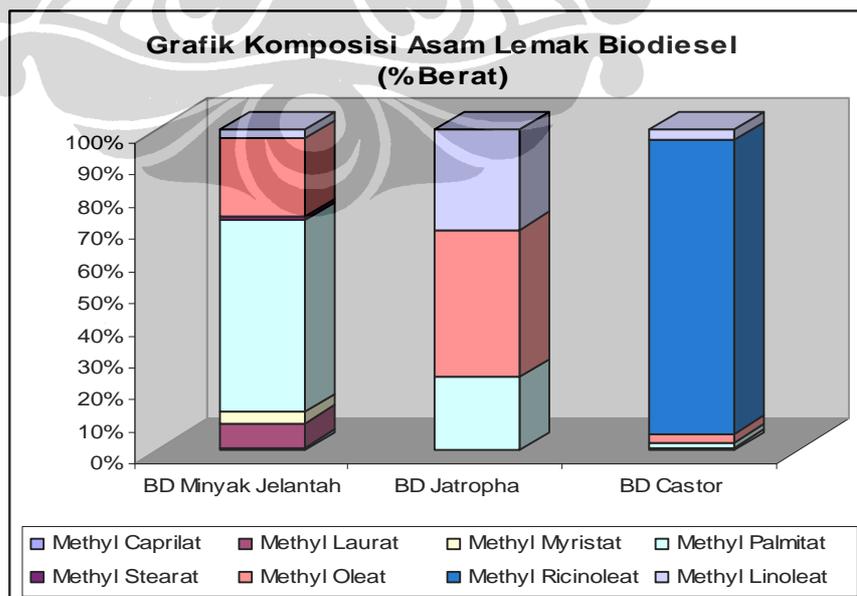
### HASIL DAN ANALISA

#### 4.1. Analisa Asam Lemak

Analisa asam lemak biodiesel sawit (biodiesel minyak jelantah), biodiesel jatropha dan biodiesel *castor* dilakukan dengan menggunakan GC MS di lab BRDST-BPPT. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Komposisi Asam Lemak Biodiesel

Asam lemak	Minyak Jelantah	Jatropha	Castor
	% berat		
Methyl Caprilat	0,96	-	-
Methyl Laurat	7,67	-	-
Methyl Myristat	3,37	-	0,91
Methyl Palmitat	59,73	22,87	1,6
Methyl Stearat	1,18	-	-
Methyl Oleat	24,14	45,92	2,7
Methyl Ricinoleat	-	-	91,54
Methyl Linoleat	2,95	31,21	3,25



Grafik 4.1. Komposisi Asam Lemak Biodiesel

Dari hasil GC di atas terlihat bahwa pada masing-masing biodiesel komposisi asam lemak tak jenuh nya (ikatan rangkap) adalah sebagai berikut :

- biodiesel sawit (minyak jelantah) = 27,09%
- biodiesel jatropha = 77,13%
- biodiesel castor = 97,49%

Data asam lemak hasil kromatografi ini dapat dipergunakan untuk memprediksi properties biodiesel diantaranya viskositas dan bilangan setana pada berbagai temperatur. Dan juga dapat dipergunakan untuk memprediksi stabilitas oksidasi dan emisi gas buang yang dihasilkan. Semakin besar ikatan rangkap menyebabkan biodiesel semakin cepat teroksidasi dan titik tuang biodiesel menurun <sup>[15]</sup>.

#### 4.2. Analisa Sifat Kimia Fisik Biodiesel

Analisa sifat kimia fisik biodiesel sawit (minyak jelantah), *jatropha* dan *castor* dilakukan di lab kimia BTMP-BPPT. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.2. Spesifikasi Biodiesel

NO	TEST DESCRIPTION	RESULT			UNIT	METHOD	LIMIT
		ME-Minyak Jelantah	ME-Jatropha	ME-Castor			SNI 04-7182-2006
1	Kinematic Viscosity at 40°C	4.5478	4.6679	13.9237	cSt	ASTM D 445	2.3 - 6
2	Density at 40°C	0.8482	0.8626	0.8832	gr/cm <sup>3</sup>	ASTM D 1298	0.850 - 0.900
3	Total Acid Number (TAN)	0.5029	0.6171	0.7854	mg KOH/gr	ASTM D 664	Max 0.8
4	Flash Point	183	188	232	°C	ASTM D 93	Min 100
5	Cloud Point	12.54	9.13	-11.32	°C	ASTM D 2500	Max 18
6	Pour Point	9.41	4.34	-32.39	°C	ASTM D 97	-
7	Water Content	0.01	0.03	0.01	% vol	ASTM D 2709	Max 0.05
8	Total Glycerol	0.12	0.23	0.18	% w	ASTM D 6584	Max 0.24
9	Free Glycerol	0.008	Nil	0.013	% w	ASTM D 6584	Max 0.02
10	Saponification Number	198.795	195.675	185.983	mg KOH/gr	ASTM D 94	-
11	Ester Content	99.471	99.148	99.135	% w	Dihitung	Min 96.5

Dari data sifat kimia fisik biodiesel terlihat bahwa biodiesel *castor* mempunyai kelebihan pada *cold flow properties* yaitu *pour point* (titik tuang) yaitu  $-32,39^{\circ}\text{C}$  dan *cloud point* (titik kabut) yaitu  $-11,32^{\circ}\text{C}$ . Namun kelemahannya adalah biodiesel *castor* mempunyai viskositas yang tinggi yaitu 13,9237 cSt, sehingga pemakaiannya sangat terbatas hanya sebagai aditif saja. Pemakaian biodiesel *castor* dalam jumlah yang besar akan menaikkan viskositas campuran, sehingga perlu dipertimbangkan. Biodiesel *jatropha* juga memiliki *cold flow properties* yang lebih baik daripada biodiesel sawit. Apabila dilihat dari properties kimia fisiknya campuran sawit-*jatropha* sudah cukup memenuhi syarat sebagai bahan bakar. Sehingga dapat mengurangi ketergantungan kepada minyak sawit yang merupakan bahan pangan.

#### 4.3. Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

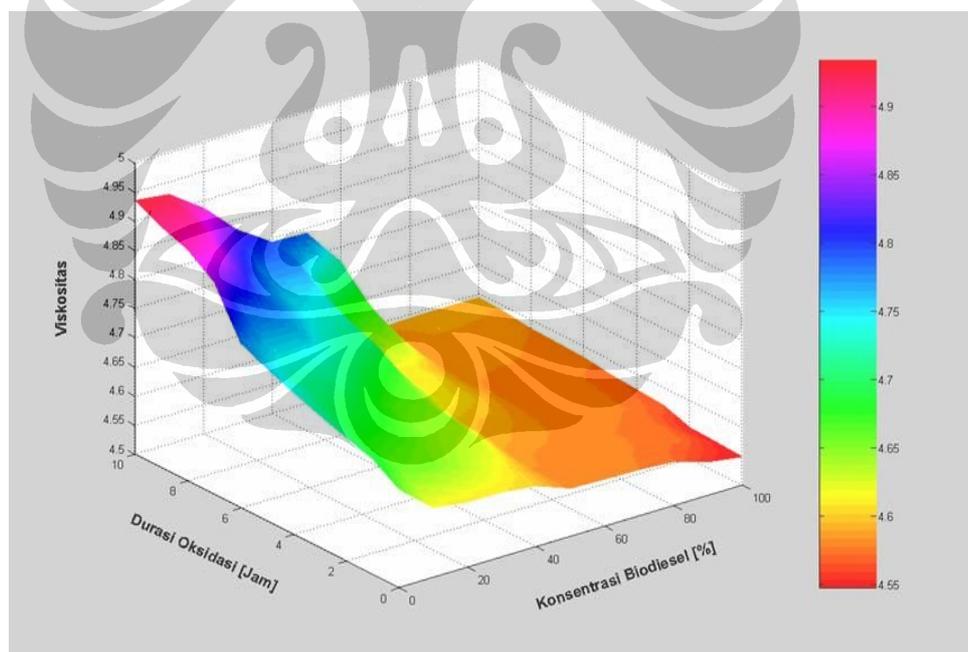
Pada reaksi oksidasi yang terjadi adalah reaksi pembentukan hidroperoksida sebagai produk primer seperti yang terlihat pada gambar 2.3 pada bab 2. Reaksi ini dapat diidentifikasi dengan perubahan *Peroxide Value* (PV). Hidroperoksida tidak stabil pada temperatur tinggi sehingga akan terdekomposisi, OH radikal akan melepaskan diri dari hidroperoksida dan akan terbentuk produk sekunder seperti karbonil, aldehide, asam, alkohol dll. Sebaliknya bila akumulasi dari hidroperoksida meningkat, maka radikal *peroxide* akan bergabung membentuk senyawa dengan berat molekul yang tinggi dan terjadi reaksi polimerisasi oksidatif. Fenomena yang berurutan ini disebut sebagai oksidasi thermal<sup>[27]</sup>.

Uji stabilitas oksidasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah *accelerated oxidation stability test*. Mengingat viskositas biodiesel *castor* yang tinggi maka sebagai *base fuel* ditetapkan campuran biodiesel sawit-*jatropha*. Dan biodiesel *castor* hanya sebagai *improver* peningkat lubrisitas dan untuk menurunkan *cold flow properties* sehingga biodiesel akan aman dipakai di daerah subtropik. Hasil uji stabilitas oksidasi biodiesel sawit-*jatropha* dengan komposisi seperti yang terlihat pada tabel 3.2 adalah sebagai berikut dengan 3 parameter kunci yang diukur dan dianalisa yaitu viskositas, TAN (*Total Acid Number*), dan *Peroxide Value* (PV).

### 4.3.1. Analisa Viskositas Biodiesel Sawit-*Jatropha*

Tabel 4.3. Viskositas Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

Viskositas (cSt)											
JAM	S 100	S 90	S 80	S 70	S 60	S 50	S 40	S 30	S 20	S 10	S 0
0	4.5478	4.5564	4.5744	4.5784	4.5797	4.5816	4.6031	4.6101	4.6108	4.6183	4.6679
1	4.5506	4.5733	4.5773	4.5796	4.5831	4.5835	4.6101	4.6321	4.6501	4.6530	4.6968
2	4.5525	4.5759	4.5779	4.5819	4.5826	4.5854	4.6287	4.6425	4.6567	4.6676	4.7102
3	4.5680	4.5780	4.5795	4.5820	4.5877	4.5952	4.6438	4.6486	4.6776	4.6877	4.7255
4	4.5713	4.5793	4.5807	4.5825	4.5943	4.5982	4.6503	4.6617	4.6912	4.7059	4.7418
5	4.5745	4.5798	4.5817	4.5839	4.6041	4.6158	4.6670	4.6924	4.7171	4.7196	4.7598
6	4.5805	4.5831	4.5826	4.5842	4.6075	4.6167	4.7046	4.7185	4.7535	4.7511	4.7806
7	4.5825	4.5841	4.5851	4.5851	4.6104	4.6154	4.7229	4.7397	4.7730	4.7827	4.8620
8	4.5840	4.5860	4.5875	4.5855	4.6467	4.6586	4.7436	4.7537	4.7938	4.8725	4.8946
9	4.5895	4.5905	4.5907	4.5860	4.6765	4.7020	4.7790	4.7768	4.8406	4.9024	4.9110
10	4.5921	4.5927	4.5925	4.5903	4.7233	4.7904	4.7927	4.8302	4.8860	4.9269	4.9341



Grafik 4.2. Viskositas Campuran Biodiesel Sawit - *Jatropha*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

Dari hasil uji stabilitas oksidasi selama 10 jam untuk campuran biodiesel sawit-*jatropha* terlihat bahwa viskositasnya akan semakin naik dengan

bertambahnya waktu oksidasi seperti yang terlihat pada tabel 4.3 dan grafik 4.2. Dan dengan peningkatan komposisi biodiesel *jatropha* akan menyebabkan viskositasnya semakin bertambah. Kenaikan viskositas ini disebabkan karena pada reaksi oksidasi terjadi reaksi yang kompleks diantaranya adalah dekomposisi hidroperoksida menjadi polimer yang mempunyai berat molekul lebih besar sehingga viskositasnya menjadi naik. Namun perubahan nilai viskositas pada reaksi oksidasi selama 10 jam ternyata masih dalam batasan yang ditetapkan SNI yaitu 2.3 – 6 cSt.

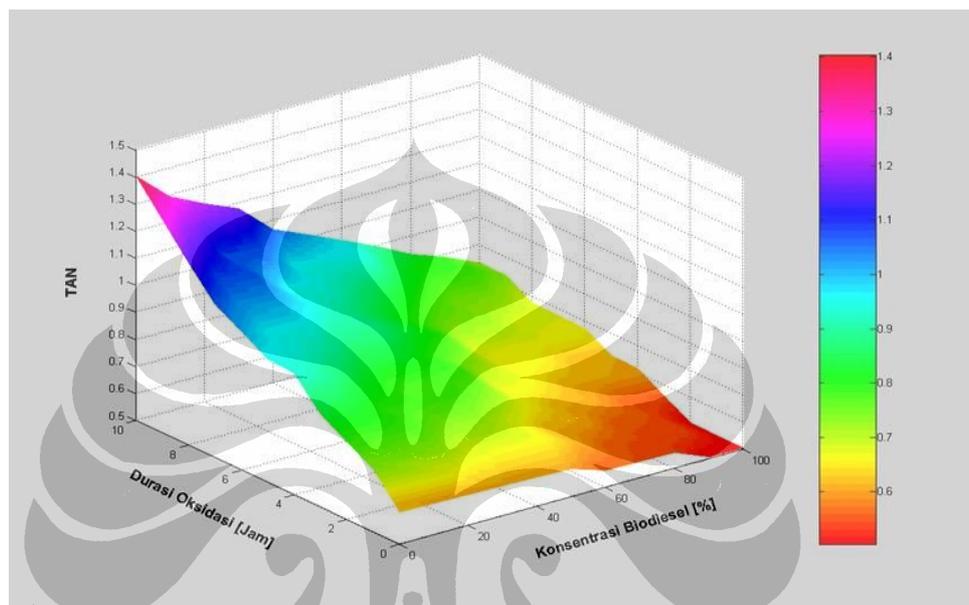
#### 4.3.2. Analisa TAN (*Total Acid Number*) Biodiesel Sawit-*Jatropha*

Tabel 4.4. TAN Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

TAN (mg KOH/gr)											
JAM	S 100	S 90	S 80	S 70	S 60	S 50	S 40	S 30	S 20	S 10	S 0
0	0.5029	0.5049	0.5560	0.5588	0.5610	0.6015	0.6062	0.6086	0.6116	0.6146	0.6171
1	0.5039	0.5571	0.5571	0.5610	0.6128	0.6679	0.6692	0.6732	0.7199	0.7250	0.7293
2	0.5049	0.5588	0.5610	0.6134	0.6171	0.6725	0.7250	0.7286	0.7776	0.7807	0.7854
3	0.5577	0.5610	0.6128	0.6171	0.6685	0.7293	0.7784	0.7807	0.7838	0.8381	0.8415
4	0.6140	0.6159	0.6171	0.6679	0.6719	0.7784	0.7807	0.7846	0.8373	0.8976	0.9471
5	0.6159	0.6171	0.6659	0.6705	0.7286	0.7838	0.8398	0.8415	0.8976	0.9461	0.9527
6	0.6692	0.6705	0.6705	0.6719	0.7807	0.8340	0.8905	0.8976	0.9518	0.9537	1.0098
7	0.6719	0.6732	0.7235	0.7278	0.7854	0.8415	0.8958	0.9490	1.0038	1.0098	1.0638
8	0.6732	0.7264	0.7293	0.7815	0.8398	0.8922	0.9480	0.9537	1.0574	1.0659	1.1722
9	0.7293	0.7807	0.7838	0.8381	0.9499	0.9499	0.9537	1.0617	1.0648	1.1758	1.2864
10	0.7293	0.7854	0.8315	0.8958	0.9537	1.0098	1.0638	1.1757	1.2293	1.2903	1.4025

Pada tabel 4.4 terlihat bahwa semakin besar penambahan biodiesel *jatropha* akan mengakibatkan stabilitas oksidasi menurun. Pada komposisi 100% biodiesel sawit diperoleh stabilitas oksidasi > 10 jam. Dan pada komposisi 100% biodiesel *jatropha* didapatkan stabilitas oksidasi 2 jam. Sehingga komposisi terendah yang masih memenuhi persyaratan stabilitas oksidasi adalah pada biodiesel sawit 60% yaitu 7 jam (batasan stabilitas oksidasi 6 jam) dengan batasan nilai TAN maksimum yang diperbolehkan adalah 0,8 mg KOH/gram sampel. Dari

tabel 4.4 dan grafik 4.3 terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya komposisi *jatropha* (mengandung 77,13% ikatan rangkap dua) berarti semakin bertambah pula kandungan ikatan rangkap dalam campuran, sehingga akan semakin rendah stabilitas oksidasinya. Hal ini disebabkan pada ikatan rangkap mudah diserang dan bereaksi oleh oksigen untuk membentuk ikatan jenuh



Grafik 4.3. TAN Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

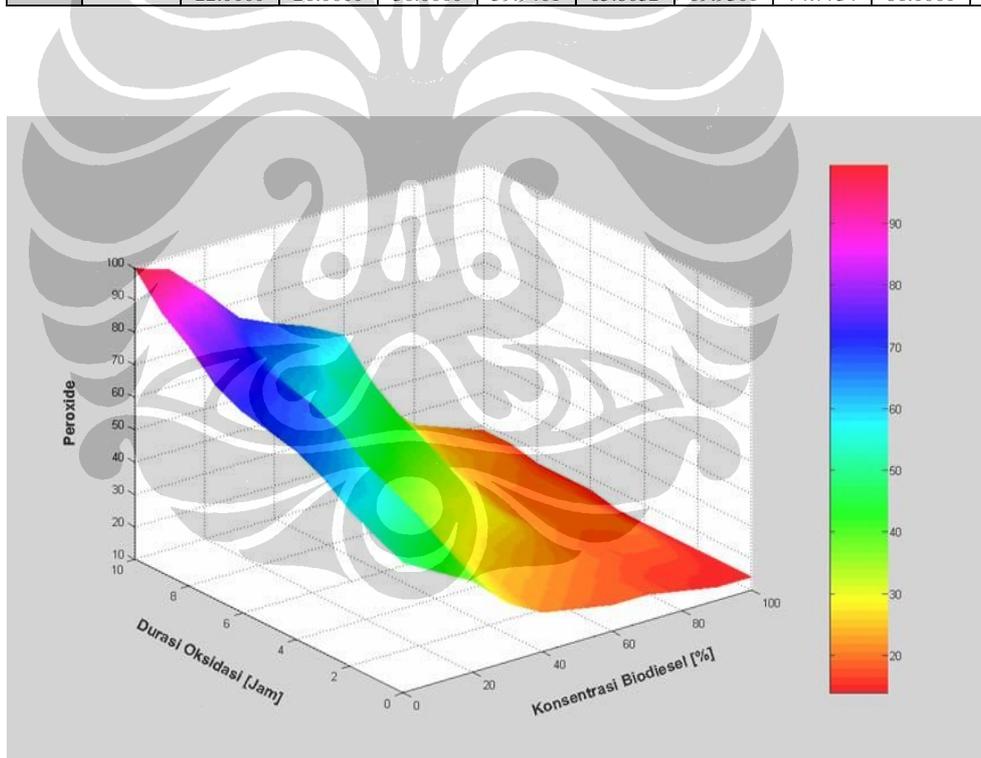
Kenaikan nilai TAN pada uji stabilitas oksidasi ini dikarenakan terjadinya dekomposisi hidroperoksida menjadi produk sekunder dimana salah satunya adalah pembentukan asam<sup>[27]</sup>. Hal inilah yang menyebabkan keasaman pada biodiesel meningkat. Peningkatan nilai viskositas dan TAN mengindikasikan adanya *thermal degradation* <sup>[6]</sup>.

#### 4.3.3. Analisa PV (*Peroxide Value*) Biodiesel Sawit-*Jatropha*

PV (*Peroxide Value*) dapat digunakan sebagai indikator terjadinya kerusakan pada minyak karena reaksi oksidasi. Dimana produk primer dari reaksi oksidasi adalah terbentuknya hidrogen peroksida. Semakin besar nilai PV mengindikasikan bahwa semakin besar kemungkinan suatu bahan untuk teroksidasi apabila kontak dengan oksigen .

Tabel 4.5. PV Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

JAM	PV (mg eq/kg)										
	S 100	S 90	S 80	S 70	S 60	S 50	S 40	S 30	S 20	S 10	S 0
0	13.9581	14.0000	15.9681	17.9641	18.0000	19.9402	21.9561	28.0000	37.9621	43.9561	50.0000
1	13.9860	15.9681	16.0000	18.0000	19.9602	21.9780	23.8806	30.0000	43.8684	47.8565	53.9461
2	14.0000	17.8926	17.9105	19.9204	21.9342	24.0000	26.0000	33.9661	49.9004	55.9441	57.9421
3	14.0000	19.9402	18.0000	20.0000	23.9521	25.9482	29.9701	35.9283	53.7314	60.0000	64.0000
4	14.0000	19.9601	19.9601	21.9561	27.9442	30.0000	33.8645	40.0000	58.0000	63.9361	67.9321
5	14.0000	20.0000	20.0000	22.0000	29.9402	31.9681	37.8486	41.8744	64.0000	68.0000	69.9301
6	15.9522	20.0000	20.0000	23.9522	33.8983	37.9242	45.8625	46.5000	67.9321	69.7211	71.7847
7	15.9681	20.0000	21.9780	26.0000	39.8406	43.9124	51.6386	58.0000	69.7907	74.0000	75.7728
8	16.0000	21.9561	23.9521	27.9442	43.9561	50.0000	57.8842	61.9381	71.7847	75.6220	83.7488
9	17.9462	21.9780	24.0000	31.9363	49.9501	53.8924	64.0000	66.0000	77.9222	79.9202	89.9102
10	18.0000	22.0000	26.0000	36.0000	59.9401	65.8032	69.9301	74.7734	86.0000	96.0000	99.5026



Grafik 4.4. PV Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

Jadi seperti yang terlihat pada tabel 4.5 dan grafik 4.4 yang mengindikasikan bahwa biodiesel sawit (S 100 atau bahan bakar A) lebih stabil

dibandingkan dengan biodiesel *jatropha* (S 0 atau bahan bakar K). Pada tabel terlihat perubahan PV untuk S 100 yang dioksidasi selama 10 jam adalah dari 13,9581 menjadi 18 mg eq/kg. Dan untuk S 0 setelah dioksidasi selama 10 jam perubahannya adalah 50 menjadi 99,5 mg eq/kg. Jadi semakin besar komposisi ikatan rangkap maka akan menyebabkan PV dan perubahannya semakin besar, hal ini mengindikasikan bahwa bahan bakar tersebut stabilitas oksidasinya tidak bagus.

Dari sampel A – K terlihat bahwa yang memenuhi syarat stabilitas oksidasinya adalah sampel A - E saja yaitu campuran dengan komposisi sawit 60% - 100%. Untuk itu pada kelima sampel tersebut ditambahkan biodiesel castor 5% sebagai *improver*, selanjutnya diuji lagi stabilitas oksidasinya. Pemilihan castor 5% berdasarkan dari penelitian sebelumnya pada campuran biodiesel sawit-*castor*, dimana 5% *castor* memberikan efek lubrisitas yang paling baik yaitu 159  $\mu\text{m}$  (lampiran HFRR pada campuran biodiesel sawit-*castor*). Adapun hasil uji stabilitas oksidasi campuran biodiesel sawit-*jatropha-castor* adalah sbb :

#### 4.3.4. Analisa Viskositas Biodiesel Sawit-*Jatropha-Castor*

Tabel 4.6. Viskositas Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha-Castor*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

Viskositas (cSt)					
JAM	I	II	III	IV	V
0	4.8402	4.8192	4.8368	4.8304	4.8652
1	4.8478	4.8393	4.8430	4.8478	4.8905
2	4.8450	4.8504	4.8690	4.8678	4.9096
3	4.8716	4.8522	4.8691	4.8858	4.9248
4	4.9150	4.8816	4.8945	4.9079	4.9423
5	4.8859	4.8865	4.9424	4.9361	4.9839
6	4.8667	4.8951	4.9670	4.9463	5.0125
7	4.8814	4.9075	4.9888	5.0070	5.0271
8	4.9006	4.9700	5.0295	5.0403	5.0690
9	4.9788	5.0017	5.0588	5.0948	5.1025
10	5.0459	5.0554	5.0699	5.1382	5.1870

Dari kelima komposisi yang diuji stabilitas oksidasinya menunjukkan peningkatan viskositas dengan bertambahnya waktu oksidasi dan dengan bertambahnya komposisi *jatropha*. Viskositasnya juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan campuran biodiesel sawit-*jatropha*, karena biodiesel *castor* mempunyai komposisi ikatan rangkap > 90% sehingga akan mudah teroksidasi. Namun peningkatan viskositas nya masih dalam batasan yang ditetapkan SNI yaitu 2.3 – 6 cSt.

#### 4.3.5. Analisa TAN Biodiesel Sawit-*Jatropha*-*Castor*

Tabel 4.7. TAN Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha*-*Castor*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

JAM	TAN (mg KOH/gr)				
	I	II	III	IV	V
0	0.5610	0.6140	0.6171	0.6725	0.6725
1	0.6140	0.6171	0.6732	0.7286	0.7293
2	0.6732	0.7293	0.7293	0.7831	0.8407
3	0.7286	0.7838	0.7838	0.8407	0.9537
4	0.7823	0.7854	0.8398	0.8976	1.0648
5	0.7854	0.8398	0.9537	0.9527	1.1734
6	0.8357	0.9518	1.0638	1.0098	1.2903
7	0.8415	1.0659	1.1781	1.0659	1.4025
8	0.8976	1.1781	1.2903	1.2877	1.5117
9	0.9537	1.2903	1.4025	1.3969	1.7356
10	1.1781	1.4025	1.5147	1.6204	1.8513

Pada tabel 4.7 terlihat bahwa penambahan 5% biodiesel *castor* pada campuran sawit-*jatropha* akan menurunkan stabilitas oksidasinya. Pada komposisi 100% biodiesel sawit diperoleh stabilitas oksidasi > 10 jam (tabel 4.4 untuk Bahan Bakar A atau S 100). Dan dengan penambahan 5% castor (Bahan Bakar I) maka stabilitas oksidasi turun menjadi 5 jam. Untuk campuran sawit-*jatropha*-*castor* pada tabel 4.7 di atas tidak ada yang memenuhi spesifikasi stabilitas oksidasi biodiesel (batasan stabilitas oksidasi 6 jam) dengan batasan nilai TAN maksimum yang diperbolehkan adalah 0,8 mg KOH/gram sampel.

Jadi penambahan biodiesel *castor* sebesar 5% akan memperbaiki sifat lubrisitas dan *cold flow properties*. Namun kandungan methyl ricinoleatnya (mengandung >90% ikatan rangkap) akan menurunkan stabilitas oksidasi karena ikatan rangkap lebih mudah bereaksi dengan oksigen daripada ikatan jenuh (misalnya palmitat pada sawit). Kenaikan nilai TAN pada uji stabilitas oksidasi ini dikarenakan terjadinya dekomposisi hidroperoksida menjadi produk sekunder dimana salah satunya adalah pembentukan asam<sup>[27]</sup>. Hal inilah yang menyebabkan keasaman pada biodiesel meningkat. Peningkatan nilai viskositas dan TAN mengindikasikan adanya *thermal degradation* <sup>[6]</sup>.

Untuk itu pada campuran sawit-*jatropha-castor* perlu ditambahkan bahan *anti-oxidant* sehingga stabilitas oksidasinya bisa memenuhi spesifikasi.

#### 4.3.6. Analisa PV Biodiesel Sawit-*Jatropha-Castor*

Tabel 4.8. PV Campuran Biodiesel Sawit-*Jatropha-Castor*  
Hasil Uji Stabilitas Oksidasi

PV (mg eq/kg)					
JAM	I	II	III	IV	V
0	20.0000	21.9561	22.9562	27.9441	32.0000
1	22.0000	23.9282	25.0000	31.9043	35.8566
2	24.0000	27.9721	29.9701	37.8864	39.9202
3	26.0000	29.9701	36.0000	40.0000	44.0000
4	28.0000	31.9361	39.9202	44.0000	49.9002
5	29.9701	35.9641	41.9581	48.0000	64.0000
6	33.9661	37.9621	44.0000	51.8962	79.8403
7	37.9621	41.9163	45.8167	58.0000	90.0000
8	41.9581	46.0000	48.0000	52.0000	100.0000
9	43.9122	47.9042	51.8964	66.0000	103.7924
10	45.9082	51.8962	55.8326	72.0000	167.6647

Pada tabel 4.8 terlihat bahwa penambahan 5% biodiesel *castor* pada campuran sawit-*jatropha* akan menaikkan *Peroxide Value* apabila dibandingkan dengan campuran sawit-*jatropha* saja seperti yang terlihat pada tabel 4.5. Kenaikan PV ini mengindikasikan bahwa kandungan methyl ricinoleat

(mengandung ikatan rangkap > 90%) pada biodiesel castor akan mempercepat kerusakan biodiesel.

Pada tabel 4.5 untuk bahan bakar A (S-100) terlihat perubahan PV yang dioksidasi selama 10 jam adalah dari 13,9581 menjadi 18 mg eq/kg. Dan untuk bahan bakar I (95% sawit + 5% castor) setelah dioksidasi selama 10 jam perubahannya PV nya adalah 20 menjadi 46 mg eq/kg. Hal ini juga berlaku untuk komposisi yang lain pada tabel 4.8. Jadi semakin jelas bahwa semakin besar komposisi ikatan rangkap maka akan menyebabkan PV dan perubahannya semakin besar, hal ini mengindikasikan bahwa bahan bakar tersebut stabilitas oksidasinya tidak bagus.

#### 4.4. Analisa Bilangan Setana

*Methyl ester* asam lemak (biodiesel) banyak direkomendasikan sebagai komponen minyak diesel alternatif karena memiliki bilangan setana yang tinggi dan sifat-sifat lain yang memadai. Berikut ini adalah beberapa prediksi dari dari bilangan setana pada metil ester asam lemak <sup>[15],[28]</sup> :

Tabel 4.9. Data Bilangan Setana Asam Lemak

Ester Asam Lemak	n	r	Bilangan Setana
Metil caprilat	8	0	33,6
Metil caprat	10	0	47,2
Metil laurat	12	0	61,4
Metil miristat	14	0	66,2
Metil palmitat	16	0	74,5
Metil palmitoleat	16	1	53,4
Metil stearat	18	0	86,9
Metil oleat	18	1	56,2
Metil linoleat	18	2	40,3
Metil linolenat	18	3	24,4

Methyl ester adalah senyawa dengan rumus molekul  $C_{n-1}H_{2(n-r)-1}CO-OCH_3$  dengan nilai n yang umum adalah angka genap di antara 8 sampai dengan 24 dan

nilai r lazimnya 0,1,2 atau 3. Notasi n menunjukkan jumlah atom C dan r menunjukkan jumlah ikatan rangkap. Berikut ini adalah beberapa contoh metil ester asam lemak [28].

- Metil laurat             $C_{11}H_{23}COOCH_3$             (n = 12, r = 0)
- Metil palmitat         $C_{15}H_{31}COOCH_3$             (n = 16, r = 0)
- Metil stearat           $C_{17}H_{35}COOCH_3$             (n = 18, r = 0)
- Metil oleat             $C_{17}H_{33}COOCH_3$             (n = 18, r = 1)
- Metil linoleat         $C_{17}H_{31}COOCH_3$             (n = 18, r = 2)
- Metil linolenat       $C_{17}H_{29}COOCH_3$             (n = 18, r = 3)

Dari data di atas terlihat bahwa metil ester asam lemak jenuh dengan  $C \geq 10$  memiliki bilangan setana yang lebih besar dari 40. Selain itu makin panjang rantai asam lemaknya semakin tinggi bilangan setana suatu metil ester asam lemak. Untuk asam lemak tak jenuh (mengandung ikatan rangkap) memiliki bilangan setana yang kecil [28].

Dari data kromatogram GC maka dapat diprediksi bilangan setana biodiesel dengan menggunakan tabel 4.9. Adapun hasilnya adalah sebagai berikut :

Tabel 4.10 Data Perhitungan Bilangan Setana Biodiesel

Biodiesel	Bilangan Setana Prediksi
Biodiesel Sawit (Minyak Jelantah)	67,57
Biodiesel <i>Jatropha</i>	55,42
Biodiesel <i>Castor</i>	-

Untuk mengetahui bilangan setana pada beberapa temperatur maka dilakukan prediksi bilangan setana dari nilai viskositas yang juga dihitung dari beberapa model yaitu [29].

- Prediksi viskositas untuk asam lemak jenuh pada berbagai temperatur

$$\ln \mu = -2,177 - 0,202 z + \frac{403,66}{T} + \frac{109,77z}{T} \dots\dots\dots(4.1)$$

z = jumlah atom C

- Prediksi viskositas untuk asam oleat pada berbagai temperatur

$$\ln \mu = -5,03 + \frac{2051,5}{T} \dots\dots\dots(4.2)$$

- Prediksi viskositas untuk asam linoleat pada berbagai temperatur

$$\ln \mu = -4,51 + \frac{1822,5}{T} \dots\dots\dots(4.3)$$

- Prediksi viskositas untuk asam linolenat pada berbagai temperatur

$$\ln \mu = -4,18 + \frac{1685,5}{T} \dots\dots\dots(4.4)$$

- Dan secara keseluruhan

$$\ln \mu = \sum_{i=1}^n y_i \ln \mu_i \dots\dots\dots(4.5)$$

$y_i$  = fraksi massa

Hasil prediksi nilai viskositas pada berbagai temperatur adalah sebagai berikut :

Tabel 4.11 Prediksi Viskositas Pada Berbagai Temperatur

VISKOSITAS (cSt)											
T (°C)	S-100	S-90	S-80	S-70	S-60	S-50	S-40	S-30	S-20	S-10	S-0
30	5.1507	5.1472	5.1437	5.1402	5.1367	5.1332	5.1297	5.1262	5.1227	5.1193	5.1158
40	4.1687	4.1678	4.1669	4.1660	4.1651	4.1642	4.1633	4.1624	4.1615	4.1606	4.1597
50	3.4185	3.4192	3.4200	3.4207	3.4214	3.4222	3.4229	3.4237	3.4244	3.4252	3.4259
60	2.8368	2.8386	2.8404	2.8422	2.8439	2.8457	2.8475	2.8493	2.8511	2.8528	2.8546
70	2.3799	2.3823	2.3847	2.3871	2.3895	2.3920	2.3944	2.3968	2.3992	2.4016	2.4040
80	2.0166	2.0193	2.0221	2.0249	2.0276	2.0304	2.0332	2.0360	2.0388	2.0416	2.0444
90	1.7243	1.7273	1.7303	1.7332	1.7362	1.7392	1.7422	1.7451	1.7481	1.7511	1.7541
100	1.4869	1.4899	1.4930	1.4960	1.4991	1.5021	1.5052	1.5083	1.5113	1.5144	1.5175
110	1.2921	1.2951	1.2982	1.3012	1.3043	1.3073	1.3104	1.3135	1.3166	1.3197	1.3228
120	1.1309	1.1339	1.1369	1.1399	1.1429	1.1459	1.1489	1.1519	1.1550	1.1580	1.1611
130	0.9963	0.9993	1.0022	1.0051	1.0080	1.0110	1.0139	1.0169	1.0198	1.0228	1.0258

Untuk memprediksi nilai bilangan setana pada berbagai temperatur maka digunakan model seperti yang tertera pada BAB 3<sup>[10]</sup> :

$$CN = (-23,48 + 61,6828 v + (-12,7738 v^2) + 0,87697 v^3) \dots\dots\dots(3.1)$$

Hasil prediksi bilangan setana pada berbagai temperatur adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Prediksi Bilangan Setana Pada Berbagai Temperatur

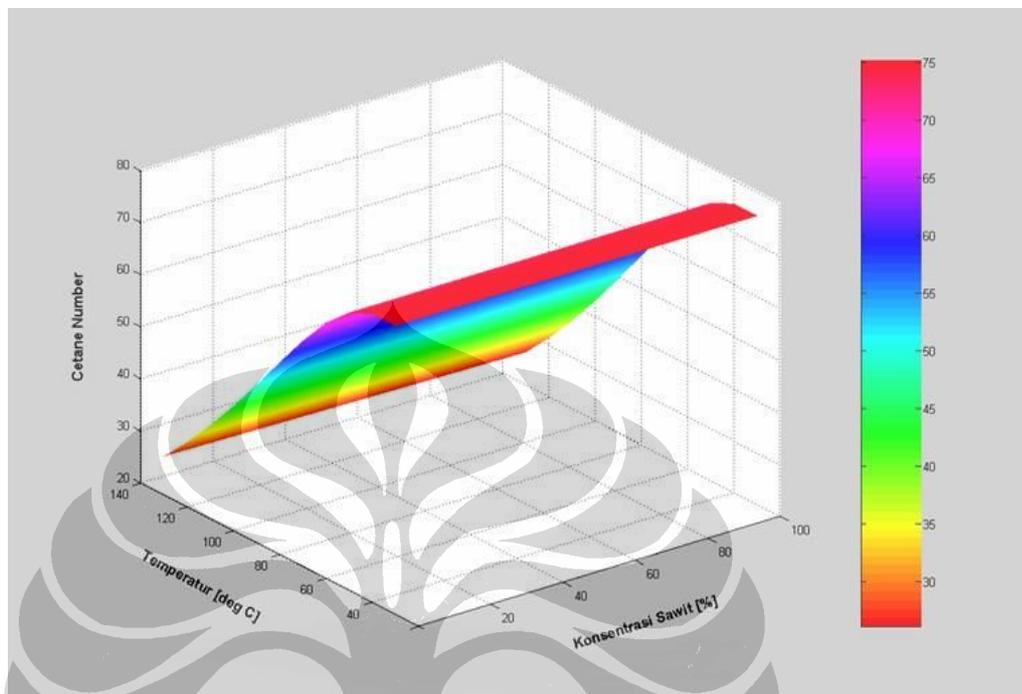
BILANGAN SETANA											
T (°C)	S-100	S-90	S-80	S-70	S-60	S-50	S-40	S-30	S-20	S-10	S-0
30	75.1793	75.1797	75.1801	75.1806	75.1810	75.1815	75.1819	75.1824	75.1829	75.1835	75.1840
40	75.2044	75.2036	75.2028	75.2019	75.2011	75.2003	75.1995	75.1986	75.1978	75.1969	75.1961
50	73.1403	73.1440	73.1478	73.1516	73.1553	73.1591	73.1628	73.1666	73.1703	73.1741	73.1778
60	68.7263	68.7447	68.7630	68.7814	68.7997	68.8180	68.8362	68.8545	68.8727	68.8909	68.9091
70	62.7906	62.8284	62.8663	62.9041	62.9418	62.9795	63.0172	63.0549	63.0925	63.1301	63.1676
80	56.1536	56.2112	56.2689	56.3265	56.3840	56.4416	56.4991	56.5565	56.6139	56.6713	56.7287
90	49.3973	49.4725	49.5477	49.6229	49.6980	49.7732	49.8483	49.9234	49.9985	50.0735	50.1486
100	42.8775	42.9669	43.0564	43.1459	43.2353	43.3249	43.4144	43.5039	43.5935	43.6830	43.7726
110	36.7860	36.8862	36.9865	37.0868	37.1872	37.2876	37.3882	37.4888	37.5894	37.6901	37.7908
120	31.2079	31.3157	31.4237	31.5318	31.6400	31.7483	31.8567	31.9652	32.0738	32.1825	32.2913
130	26.1641	26.2769	26.3899	26.5031	26.6164	26.7298	26.8434	26.9572	27.0711	27.1852	27.2994

Dari prediksi/perhitungan terlihat bahwa bilangan setana (*cetane number*) untuk 100% sawit dan 100% *jatropha* hampir sama, seperti yang terlihat pada tabel 4.12 dan grafik 4.5. Dengan demikian waktu/saat mulai terbakar yang dinyatakan biasanya dalam *ignition delay* (keterlambatan) antara kedua bahan bakar kira-kira sama. Dengan demikian untuk berbagai komposisi antar dua bahan baku tersebut tidak terlalu berpengaruh pada *ignition delay*. Dengan demikian komposisi 60% biodiesel sawit - 40% biodiesel *jatropha* dapat diperkirakan hampir sama dengan 100% biodiesel sawit atau 100% biodiesel *jatropha*.

Dengan kenaikan temperatur, bilangan setana untuk semua komposisi semakin menurun atau mengakibatkan *ignition delay* semakin panjang. Prediksi ini mengikuti model yang digunakan oleh Freedman <sup>[10]</sup>. Namun demikian performa pembakaran tidak hanya ditentukan oleh bilangan setana namun juga oleh viskositas, yang lebih dominan terutama untuk suhu hingga 70° C - 80° C. Meskipun menurut model bilangan setana turun hingga 80° C namun terbukti dari berbagai pengukuran performa pembakarannya lebih baik dibanding ketika suhu dibawah (30-50° C). Meskipun bilangan setana pada suhu tersebut lebih tinggi. Kenaikan suhu mengakibatkan viskositas turun dan hal ini akan memperbaiki kualitas pengkabutan (diameter, kecepatan penetrasi dll) sehingga

Universitas Indonesia

penguapan lebih cepat dan terjadi campuran bahan bakar-udara yang lebih sempurna.



Grafik 4.5. Hubungan Bilangan Setana dan Komposisi Biodiesel Pada Berbagai Temperatur

#### 4.5. Analisa Emisi Gas Buang

Beberapa penelitian tentang emisi gas buang pada biodiesel dengan bahan baku yang berbeda menunjukkan bahwa komposisi asam lemak yang berbeda menghasilkan tingkat emisi yang berbeda. Salah satu properties biodiesel yang khusus adalah bahan bakar oksigenat yaitu mengandung 10-15 % berat oksigen. Hal ini membuat pembakaran pada biodiesel lebih sempurna dan menghasilkan lebih sedikit emisi daripada solar.

Pada penelitian ini akan dikaji efek dari komposisi asam lemak biodiesel terhadap emisi gas buang yang dihasilkan yang meliputi : Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ ), Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO) dan *smoke*.

Penelitian dilakukan di *Hydra Research Engine* dengan variasi SIT (*Static Injection Timing*). Pengujian variasi SIT dilakukan dengan merubah waktu injeksi bahan bakar ke dalam ruang bakar. Perubahan waktu injeksi akan berpengaruh terhadap proses pembakaran. Dengan pengujian ini akan diketahui karakteristik pembakaran dengan SIT yang terlalu awal maupun yang terlambat. Dengan demikian akan diperoleh SIT optimum sebagai referensi perbandingan bahan bakar pada putaran 1500, 2500, 3000, dan 3500 rpm. Analisa variasi SIT dilihat dari *specific energy consumption*. *Specific energy consumption* merupakan jumlah kalori dari sejumlah massa bahan bakar yang dipergunakan untuk menghasilkan daya mesin. Pada analisa ini daya yang dihasilkan diusahakan sama untuk tiap bahan bakar. Setting pengujian variasi SIT dapat dilihat pada tabel 4.13 di bawah ini :

Tabel 4.13 Setting Pengujian SIT

No	SIT (deg BTDC)	Putaran (rpm)	Daya (kW)	Bahan Bakar
1	12	1500	2.8	Semua Bahan Bakar Pengujian
2	15	1500	2.8	Semua Bahan Bakar Pengujian
3	18	1500	2.8	Semua Bahan Bakar Pengujian
4	15	2500	4.7	Semua Bahan Bakar Pengujian
5	18	2500	4.7	Semua Bahan Bakar Pengujian
6	21	2500	4.7	Semua Bahan Bakar Pengujian
7	15	3000	5.7	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar
8	18	3000	5.7	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar
9	21	3000	5.7	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar
10	24	3000	5.7	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar
11	15	3500	6.6	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar
12	18	3500	6.6	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar
13	21	3500	6.6	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar
14	24	3500	6.6	Semua Bahan Bakar Pengujian kecuali solar

Dari pengujian yang dilakukan dengan variasi SIT untuk setiap bahan bakar, dihasilkan data *specific energy consumption* pada setiap putaran. Nilai *specific energy consumption* yang terbaik untuk setiap SIT, yaitu nilai *specific energy consumption* yang terendah untuk setiap bahan bakar. Melalui nilai ini ditentukan SIT optimum sebagai referensi perbandingan bahan bakar seperti yang terlihat pada tabel 4.14 :

Tabel 4.14. SIT Optimum Sebagai Referensi Perbandingan Bahan Bakar

No	Bahan Bakar	Putaran (RPM)	SIT Optimum (deg BTDC)
1	Solar	1500	15
		2500	21
		3000	24
		3500	24
2	Biodiesel B-100 (60% sawit-40% jatropha)	1500	12
		2500	15
		3000	18
		3500	18
3	Biodiesel B-100 (100% sawit)	1500	12
		2500	15
		3000	18
		3500	24

#### 4.5.1. Analisa Emisi NO<sub>x</sub>

Emisi NO<sub>x</sub> diproduksi hampir semua bahan bakar selama proses pembakaran. Ada 2 emisi NO<sub>x</sub> yang paling umum yaitu nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>). NO<sub>x</sub> akan membentuk asam nitrit yang sangat berperan dalam pembentukan hujan asam yang akan merusak bangunan buatan manusia. Emisi NO<sub>x</sub> dapat turun dengan meningkatnya partikulat (*smog*) di udara. Emisi NO<sub>x</sub> akan meningkat rata-rata 15% dengan pemakaian biodiesel. Pembentukan Emisi NO<sub>x</sub> dapat digambarkan dengan 3 metode yaitu <sup>[9]</sup> :

- Thermal NO<sub>x</sub>

Thermal NO<sub>x</sub> terbentuk pada temperatur tinggi di ruang bakar ketika oksigen dan nitrogen di udara berkombinasi. Emisi NO<sub>x</sub> ini akan meningkat apabila temperatur pembakaran meningkat. NO<sub>x</sub> terbentuk mulai pada temperatur 1500° C dan akan meningkat secara cepat. Laju pembakaran juga akan berpengaruh terhadap emisi NO<sub>x</sub> secara signifikan.

Reaksi yang terjadi adalah sbb :



- Fuel NO<sub>x</sub>

Fuel NO<sub>x</sub> terbentuk jika ikatan kimia nitrogen bergabung dengan oksigen berlebih selama proses pembakaran. Pada metode ini terbentuk intermediate nitrogen species seperti HCN, NH<sub>3</sub>, NH atau CN. Selanjutnya molekul ini akan teroksidasi menjadi NO<sub>x</sub>.

- Prompt NO<sub>x</sub>

Prompt NO<sub>x</sub> terbentuk jika fragment HC bereaksi dengan nitrogen di dalam ruang bakar membentuk spesies seperti HCN. Nitrogen yang mengandung fragmen ini kemudian bereaksi dengan nitrogen atmosfer.

Reaksinya adalah sebagai berikut :

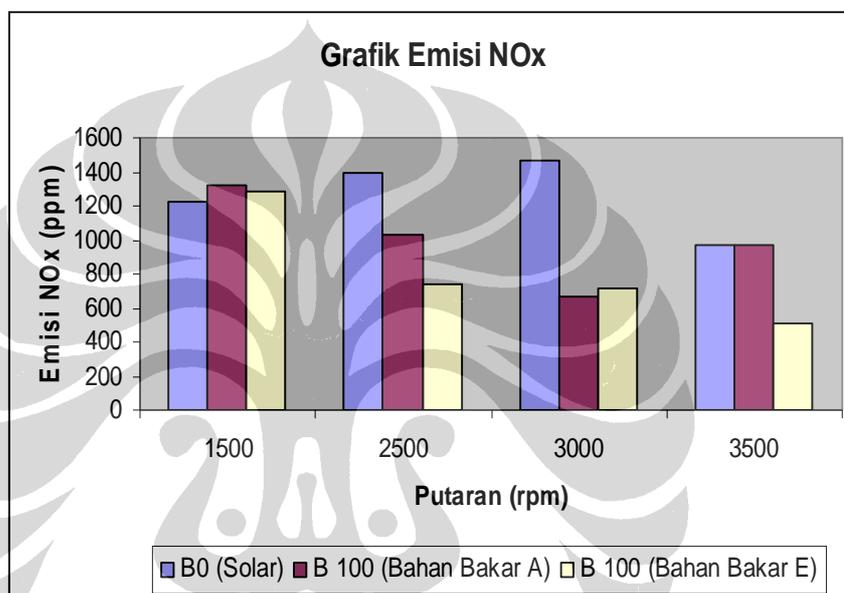


Ketiga metode tersebut berkontribusi dalam pembentukan NO<sub>x</sub> secara keseluruhan. Namun yang paling dominan adalah thermal NO<sub>x</sub>. Emisi NO<sub>x</sub> akan meningkat dengan meningkatnya densitas bahan bakar dan turunnya bilangan setana<sup>[9]</sup>.

Secara umum, pemakaian biodiesel akan meningkatkan emisi NO<sub>x</sub>. Karena biodiesel mengandung oksigen (oksigenat). Dengan kondisi temperatur ruang bakar yang tinggi akan mengakibatkan tingginya NO<sub>x</sub><sup>[20]</sup>. Namun pada penelitian ini terjadi sebaliknya, NO<sub>x</sub> biodiesel (bahan bakar A dan E) lebih kecil daripada solar pada putaran 2500, 300 dan 3500 rpm seperti yang terlihat pada tabel 4.6. Penurunan NO<sub>x</sub> ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya :

- Tingginya viskositas biodiesel yang mengakibatkan *poor atomization*, penetrasi semprotan menurun, ukuran *droplet* menjadi besar sehingga karakteristik semprotan tidak bagus dan akan mengakibatkan efisiensi pembakaran menurun. Oleh sebab itu temperatur pembakaran menjadi turun<sup>[20]</sup>. Fenomena ini akan mengakibatkan timbulnya deposit.

- b. *Ignition delay* biodiesel lebih pendek daripada solar karena biodiesel mempunyai bilangan setana yang tinggi. Review dari EPA mengenai efek bilangan setana menunjukkan apabila bilangan setana meningkat maka  $\text{NO}_x$  yang dihasilkan akan menurun. Sehingga biodiesel yang mengandung komposisi asam lemak jenuh seperti palmitat (pada sawit) akan menghasilkan emisi  $\text{NO}_x$  yang lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel yang berkomposisi *jatropha* atau *castor*.



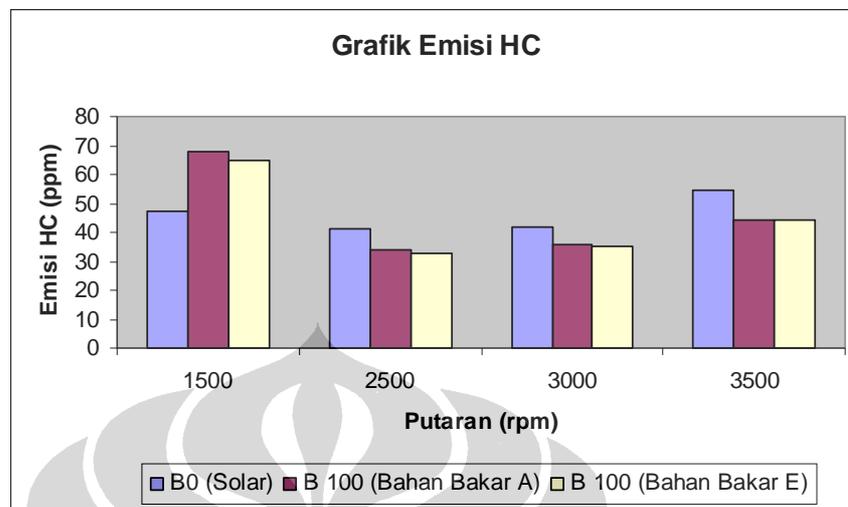
Grafik 4.6. Emisi  $\text{NO}_x$

Secara umum pembentukan emisi  $\text{NO}_x$  sangat kompleks tergantung kepada bahan bakar, teknologi mesin, dan *test cycle factors*. Peralatan modern seperti teknologi *common rail* dapat menurunkan emisi  $\text{NO}_x$ .

#### 4.5.2. Analisa Emisi HC

Emisi HC dapat disebabkan karena bahan bakar yang tidak terbakar (*unburned*) atau terbakar sebagian (*partially burned*). Jadi penyebab emisi HC sangat tergantung kepada proses pembakaran. Pada proses pembakaran jika campuran kaya, oksigen tidak mencukupi untuk bereaksi dengan karbon sehingga menghasilkan emisi HC yang tinggi. Asam lemak yang tidak jenuh akan

menghasilkan emisi CO yang tinggi. Namun pada penelitian ini tidak terlihat perbedaan yang signifikan pada B100 sawit dan B 100 (sawit dan *jatropha*)



Grafik 4.7. Emisi HC

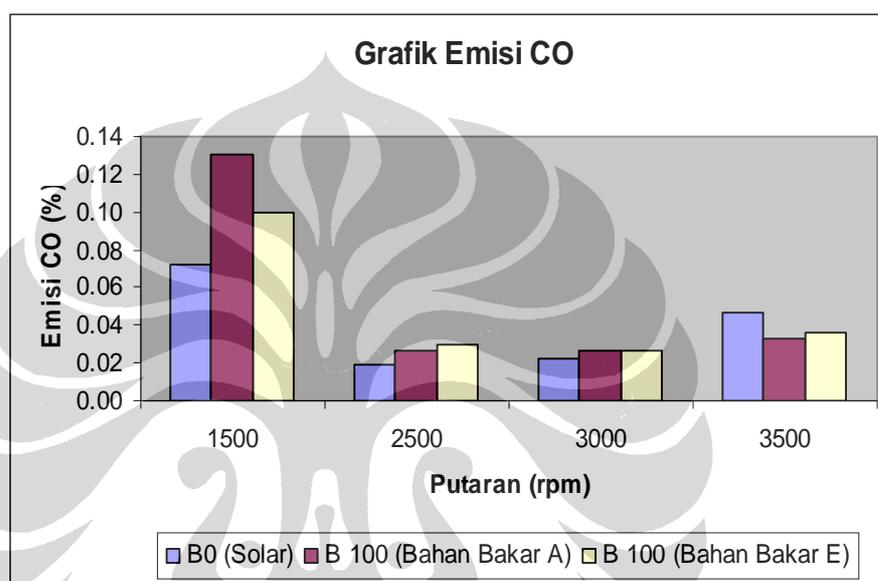
Dari grafik 4.7 terlihat bahwa untuk semua bahan bakar biodiesel memiliki emisi HC yang lebih rendah dibandingkan solar pada putaran mesin 2500, 3000, dan 3500 rpm. Namun pada putaran 1500 rpm emisi HC B100 lebih besar dibandingkan dengan emisi HC pada solar. Hal ini menunjukkan bahwa pada putaran rendah penggunaan biodiesel belum memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan solar.

Beberapa alasan yang dapat menjelaskan penurunan emisi HC karena pemakaian biodiesel adalah <sup>[30]</sup> :

- a. Kandungan oksigen pada molekul biodiesel akan membuat pembakaran lebih sempurna dan lebih bersih.
- b. Tingginya bilangan setana akan memperpendek *ignition delay*, sehingga akan mengurangi emisi HC.
- c. Meskipun biodiesel kurang volatil bila dibandingkan dengan dengan solar, namun titik akhir distilasi solar lebih besar daripada biodiesel. Sehingga fraksi solar tidak semuanya menguap dan terbakar. Itulah yang menyebabkan solar lebih besar emisi HC nya.
- d. Memajukan timing pembakaran akan mengakibatkan rendahnya emisi HC.

#### 4.5.3. Analisa Emisi CO

Penyebab emisi CO pada pembakaran mesin diesel hamper mirip dengan emisi HC. Secara umum CO diproduksi apabila oksigen tidak mencukupi untuk mengkonversi semua karbon menjadi CO<sub>2</sub>. Faktor lain penyebab emisi CO adalah buruknya pencampuran bahan bakar dan udara, terdapat daerah kaya bahan bakar secara lokal dan pembakaran yang tidak sempurna. Asam lemak yang tidak jenuh akan menghasilkan emisi CO yang tinggi [30].



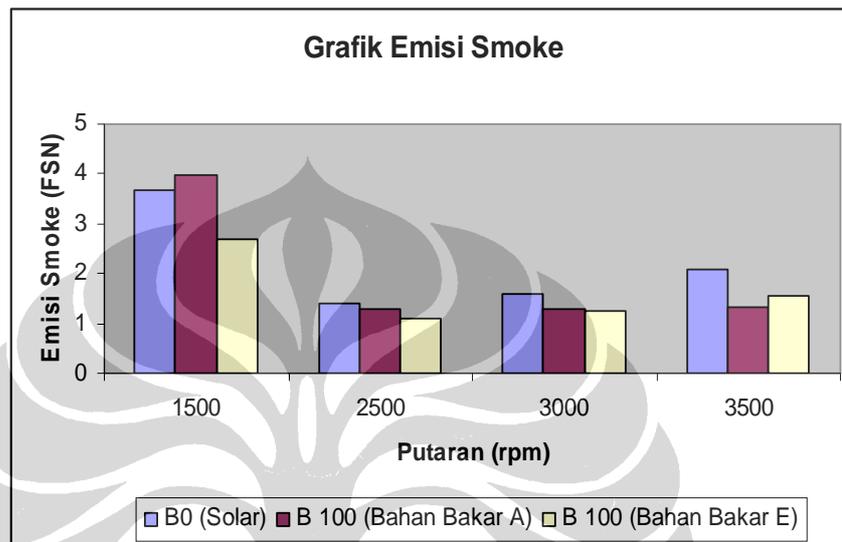
Grafik 4.8. Emisi CO

Dari grafik 4.8 dilihat bahwa untuk biodiesel pada putaran 3500 memiliki emisi CO yang lebih rendah dibandingkan solar. Untuk putaran 2500 dan 3000 perbedaan emisi CO tidak terlalu signifikan. Dan pada putaran 1500 biodiesel menghasilkan emisi CO lebih besar meski tidak terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada putaran rendah penggunaan biodiesel belum memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan solar.

#### 4.5.4. Analisa Emisi Smoke

Pada grafik 4.9 terlihat untuk putaran 1500 rpm emisi *smoke* yang dihasilkan oleh B100 (sawit) lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. Namun perbedaan ini sangatlah kecil sehingga belum menunjukkan *performance* bahan bakar biodiesel secara signifikan. Namun bila dilihat secara

keseluruhan emisi *smoke* bahan bakar biodiesel masih lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar solar. Untuk putaran tinggi yaitu 2500-3500 rpm emisi *smoke* yang dihasilkan semua bahan bakar berada pada posisi yang lebih rendah dibandingkan dengan solar.



Grafik 4.9. Emisi *Smoke*

Ada beberapa alasan yang menyebabkan menurunnya emisi *smoke* pada bahan bakar biodiesel diantaranya adalah <sup>[30]</sup> :

- a. Kandungan oksigen pada biodiesel yang dapat menyebabkan pembakaran menjadi sempurna bahkan pada daerah *fuel-rich diffusion flames*.
- b. Biodiesel tidak mengandung sulfur sehingga sehingga tidak terbentuk sulfat yang merupakan komponen yang signifikan pada *particulate matter* (PM).
- c. Tidak adanya senyawa aromatik pada biodiesel yang merupakan *soot precursor*.
- d. Titik akhir distilasi biodiesel lebih rendah daripada solar sehingga kecil kemungkinannya untuk terbentuk *soot* atau *tar*.