

BAB 4

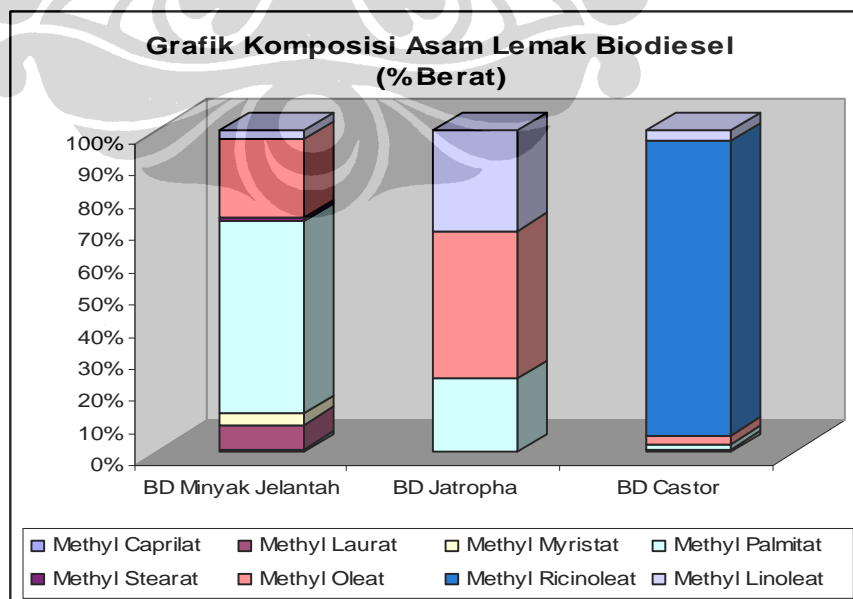
HASIL DAN ANALISA

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^[15].

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 ³ | 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

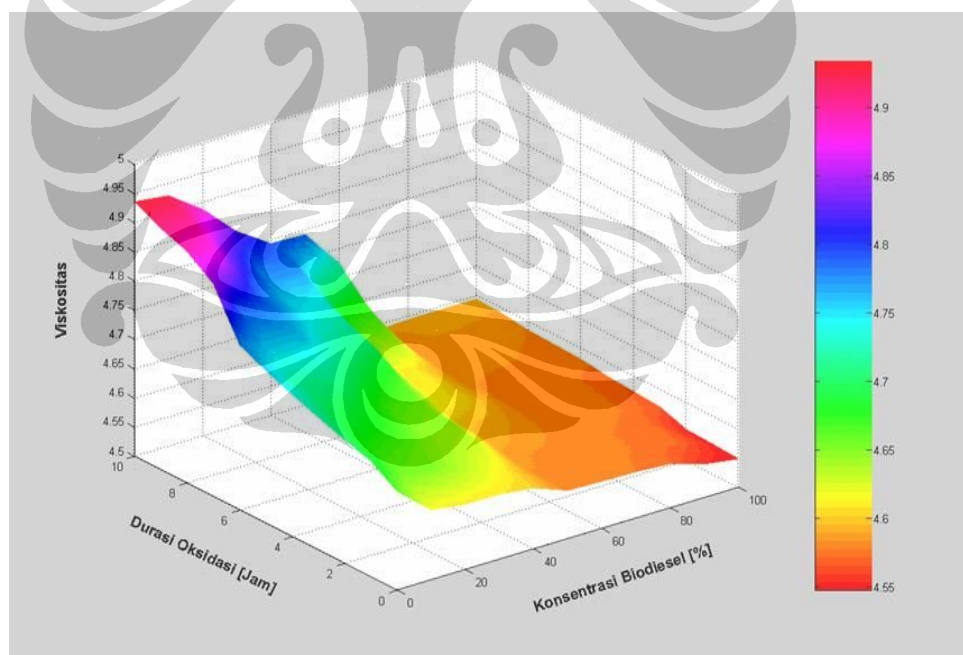
Pada reaksi oksidasi yang terjadi adalah reaksi pembentukan hidroperoksida sebagai produk primer seperti yang terlihat pada gambar 2.3 pada bab 2. Reaksi ini dapat diidentifikasi dengan perubahan *Peroxide Value* (PV). Hidroperoksida tidak stabil pada temperatur tinggi sehingga akan terdekomposisi, OH 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^[27].

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 di ukur 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.

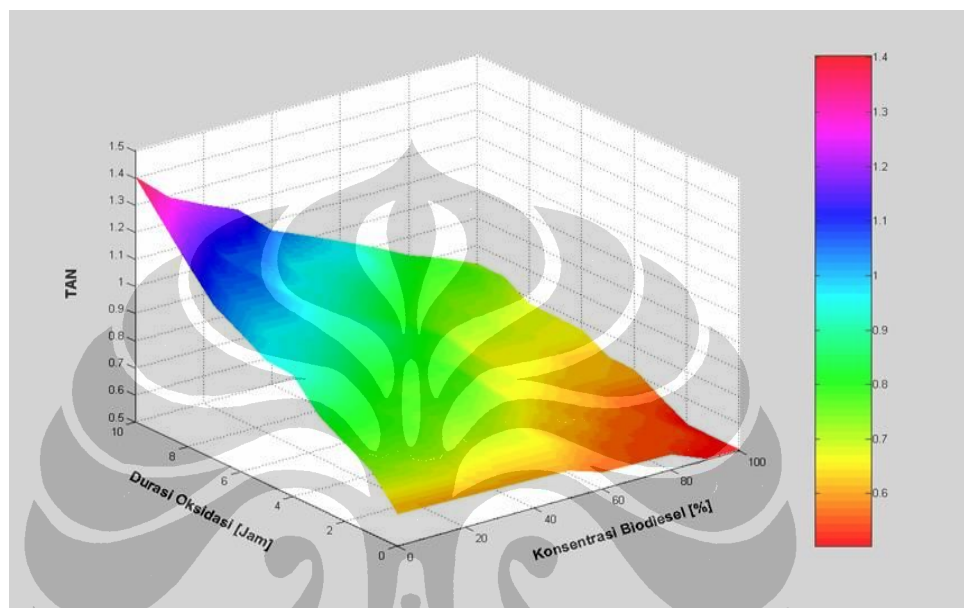
4.3.2. Analisa TAN (*Total Acid Number*) Biodiesel Sawit-*Jatropha*

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

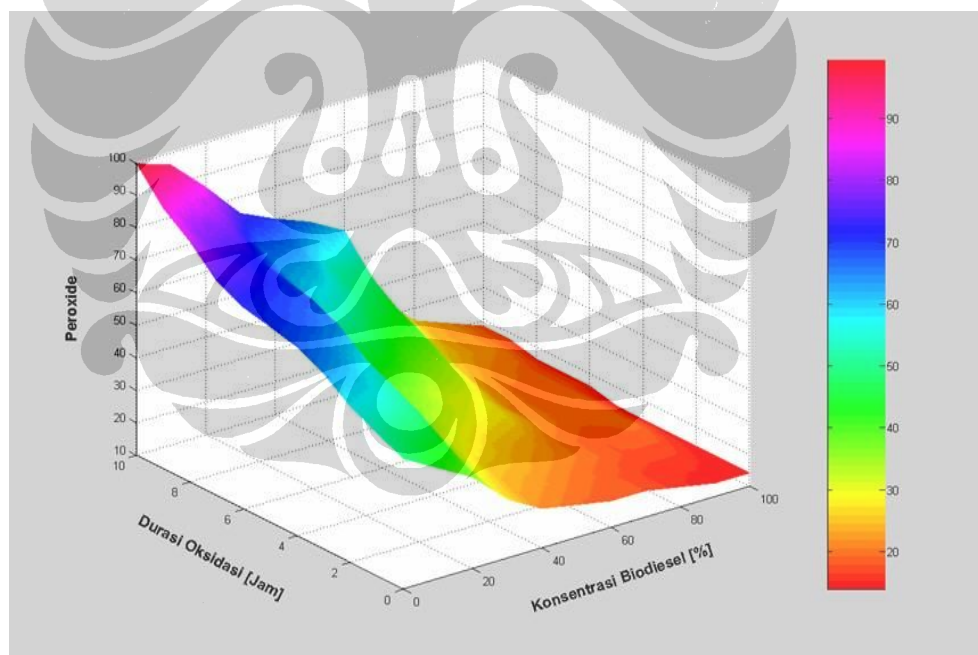
Kenaikan nilai TAN pada uji stabilitas oksidasi ini dikarenakan terjadinya dekomposisi hidroperoksida menjadi produk sekunder dimana salah satunya adalah pembentukan asam^[27]. Hal inilah yang menyebabkan keasaman pada biodiesel meningkat. Peningkatan nilai viskositas dan TAN mengindikasikan adanya *thermal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

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 μm (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^[27]. Hal inilah yang menyebabkan keasaman pada biodiesel meningkat. Peningkatan nilai viskositas dan TAN mengindikasikan adanya *thermal degradation* ^[6].

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 ^{[15],[28]} :

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^[10] :

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

Hasil prediksi bilangan setana pada berbagai temperatur adalah sebagai berikut :

Tabel 4.12 Prediksi Bilangan Setana Pada Berbagai Temperatur

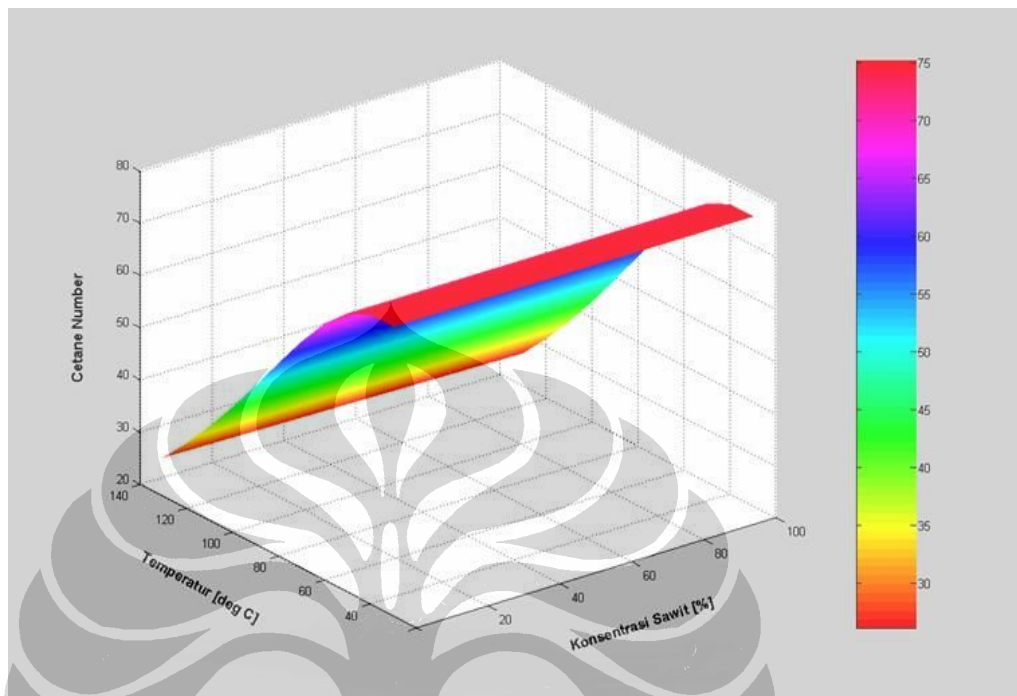
| BILANGAN SETANA | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| T (°C) | S-100 | S-90 | S-80 | S-70 | S-60 | S-50 | S-40 | S-30 | S-20 | S-10 | S-0 |
| 30 | 75.1793 | 75.1797 | 75.1801 | 75.1806 | 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 ^[10]. 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 (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_x

Emisi NO_x diproduksi hampir semua bahan bakar selama proses pembakaran. Ada 2 emisi NO_x yang paling umum yaitu nitrogen oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). NO_x akan membentuk asam nitrit yang sangat berperan dalam pembentukan hujan asam yang akan merusak bangunan buatan manusia. Emisi NO_x dapat turun dengan meningkatnya partikulat (*smog*) di udara. Emisi NO_x akan meningkat rata-rata 15% dengan pemakaian biodiesel. Pembentukan Emisi NO_x dapat digambarkan dengan 3 metode yaitu ^[9] :

- Thermal NO_x

Thermal NO_x terbentuk pada temperatur tinggi di ruang bakar ketika oksigen dan nitrogen di udara berkombinasi. Emisi NO_x ini akan meningkat apabila temperatur pembakaran meningkat. NO_x terbentuk mulai pada temperatur 1500° C dan akan meningkat secara cepat. Laju pembakaran juga akan berpengaruh terhadap emisi NO_x secara signifikan.

Reaksi yang terjadi adalah sbb :



- Fuel NO_x

Fuel NO_x terbentuk jika ikatan kimia nitrogen bergabung dengan oksigen berlebih selama proses pembakaran. Pada metode ini terbentuk intermediate nitrogen species seperti HCN, NH₃, NH atau CN. Selanjutnya molekul ini akan teroksidasi menjadi NO_x.

- Prompt NO_x

Prompt NO_x 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 :

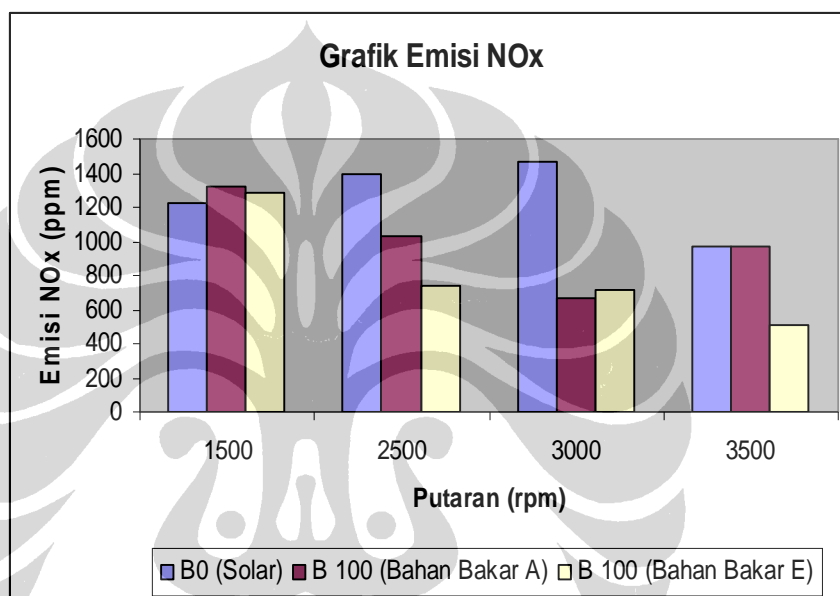


Ketiga metode tersebut berkontribusi dalam pembentukan NO_x secara keseluruhan. Namun yang paling dominan adalah thermal NO_x. Emisi NO_x akan meningkat dengan meningkatnya densitas bahan bakar dan turunnya bilangan setana^[9].

Secara umum, pemakaian biodiesel akan meningkatkan emisi NO_x. Karena biodiesel mengandung oksigen (oksigenat). Dengan kondisi temperatur ruang bakar yang tinggi akan mengakibatkan tingginya NO_x^[20]. Namun pada penelitian ini terjadi sebaliknya, NO_x 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_x 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^[20]. 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 NO_x yang dihasilkan akan menurun. Sehingga biodiesel yang mengandung komposisi asam lemak jenuh seperti palmitat (pada sawit) akan menghasilkan emisi NO_x yang lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel yang berkomposisi *jatropha* atau *castor*.



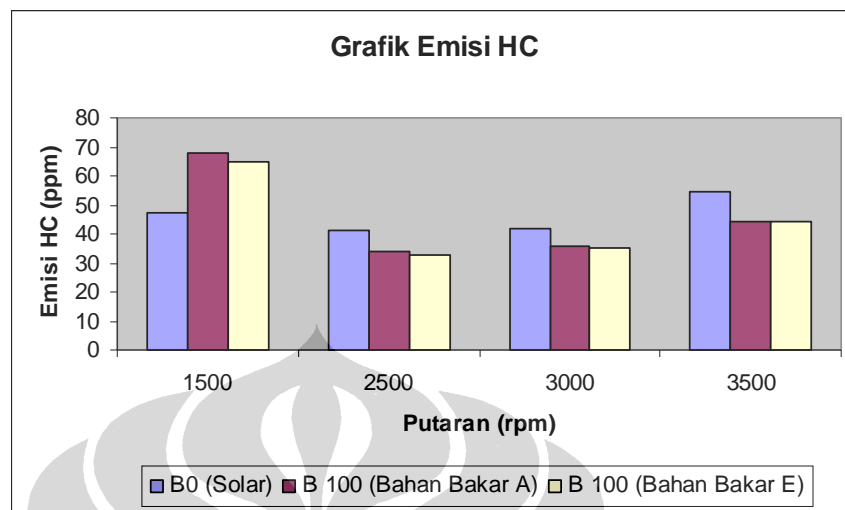
Grafik 4.6. Emisi NO_x

Secara umum pembentukan emisi NO_x sangat kompleks tergantung kepada bahan bakar, teknologi mesin, dan *test cycle factors*. Peralatan modern seperti teknologi *common rail* dapat menurunkan emisi 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

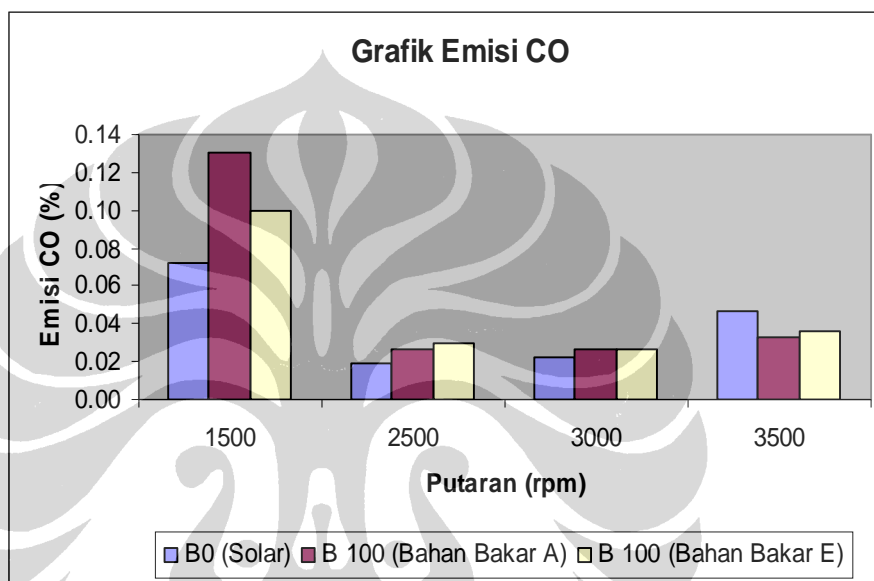
Dari grafik 4.7 terlihat bahwa untuk semua bahan bakar biodiesel memiliki emisi HC yang lebih rendah dibandingkan solar pada putaran mesin 2500, 3000, dan 3500 rpm. Namun pada putaran 1500 rpm emisi HC B100 lebih besar dibandingkan dengan emisi HC pada solar. Hal ini menunjukkan bahwa pada putaran rendah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

Beberapa alasan yang dapat menjelaskan penurunan emisi HC karena pemakaian biodiesel adalah ^[30] :

- 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 CO₂. 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].



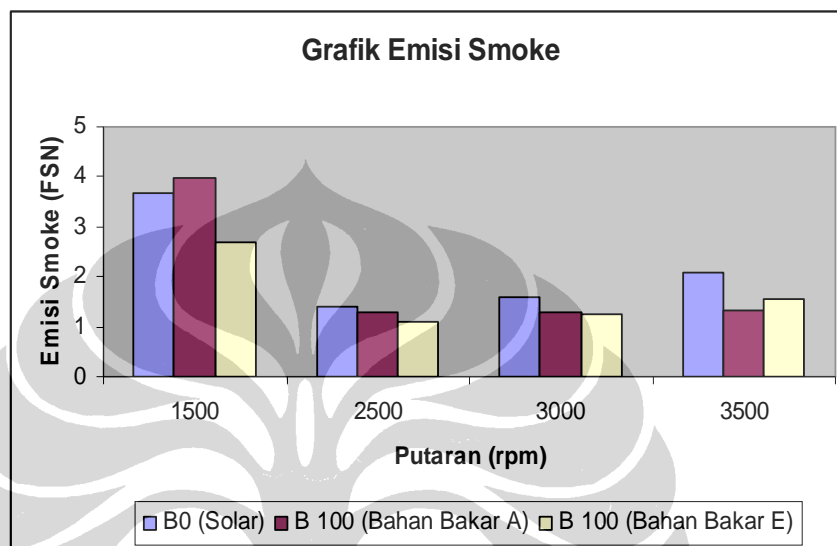
Grafik 4.8. Emisi CO

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 ^[30] :

- 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*.