

# PENGARUH PENAMBAHAN *MORINGA OLEIFERA SEED OIL* TERHADAP UNJUK KERJA MESIN DIESEL

Giovano Melvernus Hendrawan<sup>1)</sup>, Willyanto Anggono<sup>2)</sup>, Fandi Dwiputra Suprianto<sup>3)</sup>

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra<sup>1,2,3)</sup>

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia<sup>1,2,3)</sup>

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658<sup>1,2,3)</sup>

E-mail : [m24413021@john.petra.ac.id](mailto:m24413021@john.petra.ac.id)<sup>1)</sup>, [willy@petra.ac.id](mailto:willy@petra.ac.id)<sup>2)</sup>, [fandi@petra.ac.id](mailto:fandi@petra.ac.id)<sup>3)</sup>

## ABSTRAK

*Bahan bakar minyak adalah sumber energi tak terbarui. Namun, penggunaan berlebih, peningkatan permintaan akan energi, dan masalah lingkungan memicu untuk pencarian energi terbarui sebagai energi alternatif. Ekstrak Moringa oleifera seed oil sebagai sumber energi terbarui, diteliti sebagai pengganti sebagian dari bahan bakar diesel dan dianalisa pengaruhnya terhadap unjuk kerja mesin diesel. Moringa oleifera seed oil didapat melalui proses ekstraksi menggunakan metode soxhlet dengan pelarut n-hexane lalu dipisahkan dengan menggunakan rotary evaporator. Ekstrak minyak ditransesterifikasi untuk mendapatkan metil ester yang disebut biodiesel. Metil ester dicampur dengan Pertamina Solar dengan perbandingan 10:90 untuk B-10 dan 20:80 untuk B-20. Hasil pengujian karakteristik yang memenuhi standar dirjen migas adalah B-10 sehingga uji unjuk kerja mesin hanya dilakukan untuk menguji B-10 dengan pembanding Pertamina Solar dan Pertamina Biosolar. Hasil uji unjuk kerja B-10 terhadap Pertamina Solar pada putaran 2000 menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan B-10 menurun 0,92%, torsi menurun 0,92%, BMEP menurun 0,92%, SFC menurun 6,5%, dan Efisiensi termis meningkat 6,6%.*

*Kata kunci: Biodiesel, Moringa oleifera, fuel, soxhlet.*

## 1. Pendahuluan

Minyak bumi merupakan sumber daya alam tak terbarui (*non-renewable*). Pencarian bahan bakar yang semakin sulit berbanding terbalik dengan penggunaannya yang semakin lama semakin meningkat. Peningkatan penggunaan bahan bakar fosil minyak banyak disumbang oleh kendaraan bermotor. Mesin diesel merupakan salah satu mesin yang membutuhkan bahan bakar fosil. Mesin diesel banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan seperti ekspedisi, niaga, angkutan massal, hingga mobil pribadi.

Penggunaan bahan bakar fosil masih belum bisa disubstitusikan sepenuhnya dari kendaraan motor, maka dari itu pengurangan penggunaan bahan bakar fosil menjadi solusi yang lebih baik daripada meniadakan untuk jangka waktu pendek. Alternatif dari bahan bakar fosil adalah minyak nabati yang bersifat *renewable*. Minyak nabati diolah hingga menjadi metil ester yang menjadi campuran antara bahan bakar nabati dan bahan bakar fosil yang disebut biodiesel.

Biodiesel diproduksi dari rantai panjang alkil ester dari *fatty acid* dan biasanya disebut *fatty acid methyl ester* atau FAME (Speight)<sup>[9]</sup>. Metil ester merupakan senyawa ester alkil yang berasal dari minyak nabati dengan alkohol yang dihasilkan melalui proses esterifikasi/transesterifikasi dan mempunyai sifat fisika mendekati minyak solar diesel (Arita dkk.)<sup>[11]</sup>.

Metil ester didapatkan dari ekstrak beragam tumbuhan *non-edible* yang mengandung minyak nabati salah satunya bisa didapat dari minyak biji kelor (*Moringa oleifera*). *M. oleifera*, berasal dari daerah sub-Himalayan seperti Barat Laut India, Afrika, Arab, Asia Tenggara, Pasifik dan kepulauan Karibia, dan

Amerika Selatan, sekarang terdistribusi ke Filipina, Kamboja, Amerika Tengah dan Utara (Morton)<sup>[6]</sup>. *Moringa oleifera* adalah semak belukar dan pohon yang meranggas dengan ketinggian 2,5-10 m. Saat matang, buah menjadi coklat dan memiliki 10-50 biji di dalamnya (Vlahof dkk.)<sup>[11]</sup>. Sebagian besar pohon adalah *edible*, beberapa di antaranya juga dapat digunakan sebagai sumber bahan kimia farmasi, sebagai bahan tambahan kosmetik dan juga agen untuk memurnikan air (Dou dkk.)<sup>[2]</sup>. Bubuk yang diproses dari biji dari *Moringa oleifera* telah terbukti menjadi salah satu yang paling efektif sebagai koagulan utama untuk pengolahan air dan dapat dibandingkan dengan tawas (Madsen)<sup>[5]</sup>. Biji kelor dilaporkan menunjukkan aktivitas antimikroba dan juga digunakan untuk pengolahan air limbah dan pemurnian air sungai berlumpur (Ndabigengesere dkk.)<sup>[7]</sup>. Minyak biji memiliki sifat fisik dan kimia yang setara dengan minyak zaitun dan mengandung sejumlah besar *tocopherol* (Tsaknis dkk.)<sup>[10]</sup>. *M. oleifera* kering dapat diperoleh minyaknya dengan persentase 30-49% dari berat kering. *M. oleifera seed oil* diambil minyaknya dengan metode ekstraksi menggunakan *soxhlet extractor* kemudian ditransesterifikasi untuk mendapatkan metil esternya. Ekstraksi minyak menggunakan pelarut lebih efisien daripada pres mekanik namun membutuhkan waktu lebih lama, cairan kimia yang digunakan umumnya berbahaya untuk pekerja maupun lingkungan, dan residu pelarut dapat menetap di hasil akhir minyak (Porto dkk.)<sup>[8]</sup>. Minyak nabati yang didapatkan masih tercampur dengan gliserol di mana gliserol dan gliserida akan membentuk deposit karbon yang akan memberikan masalah penyumbatan pada injektor dan silinder pada mesin diesel (Kimmel)<sup>[3]</sup>, sehingga perlu dilakukan

transesterifikasi sehingga gliserol dan metil ester terpisah. Ringkasnya, transesterifikasi adalah produksi satu ester ke ester lainnya. Dalam hal biodiesel, transesterifikasi adalah produksi dari mono alkil ester dari minyak nabati yang sebagian besar terdiri dari triasilgliserol-glisерol ester dari rantai *fatty acid*, dengan alkohol ringan molekuler (Knothe & Razon)<sup>[14]</sup>.

Proses penelitian dilakukan dengan mengekstrak minyak biji menggunakan *soxhlet extractor* kemudian ditransesterifikasi. Metil ester yang diperoleh dicampur dengan kadar 10% yang dinamakan B-10 dan 20% yang dinamakan B-20 terhadap Pertamina Solar. Uji karakteristik dilakukan untuk mengetahui nilai fisik dari biodiesel. Parameter yang diambil antara lain *flash point*, *distillation*, *colour ASTM*, *pour point*, *water content*, *sulphur content*, *density*, *viscosity kynematic*, dan *calculate cetane index*. Pengujian unjuk kerja dilakukan untuk mendapatkan nilai daya, torsi, BMEP, sfc, dan efisiensi termis.

## 2. Metode Penelitian

*M. oleifera seed* didapatkan dari daerah Palu, Sulawesi Tengah dan telah dikarantina oleh Balai Karantina Pertanian untuk mencegah terjadinya kerusakan bahan akibat hama atau penyakit. Biji kelor dikeringkan kemudian diblender hingga menjadi serbuk. Masuk ke proses ekstraksi, serbuk kelor sebanyak 60 gram dibungkus dengan kertas saring kemudian diletakkan pada *extraction chamber*. Pelarut yang digunakan adalah n-heksana sebanyak 150 mL yang diletakkan pada labu distilasi untuk satu kali pengekstrakan. *Soxhlet extractor* dipersiapkan dan dinyalakan. Proses ekstraksi satu spesimen serbuk membutuhkan waktu 1-2 jam.

Hasil dari proses ekstraksi dengan metode soxhlet masih berupa campuran antara minyak dengan n-heksana. Keduanya dipisahkan menggunakan *rotary evaporator* laboratorium Fitokimia Universitas Surabaya. agar n-heksana dapat digunakan kembali. Sekali proses dibutuhkan spesimen sebanyak 500 mL, dipanaskan pada suhu 60°C, dan membutuhkan waktu selama 1 jam. Minyak yang sudah terpisah diproses untuk menjadi metil ester dengan transesterifikasi.

Proses transesterifikasi membutuhkan *magnetic hotplate stirrer*, metanol dan KOH sebagai katalis. Masukkan minyak sebanyak 300 mL kemudian panaskan hingga 60°C. Metanol dipersiapkan sebanyak 20% dari massa minyak dan KOH sebanyak 1% dari massa minyak. Aduk metanol dan KOH hingga KOH luruh sepenuhnya. Masukkan campuran metanol dan KOH pada minyak yang sedang dipanasi. Putaran pengaduk diatur pada 600 rpm kemudian tunggu selama 1 jam. Spesimen didiamkan selama sehari setelah proses berakhir. Metil ester dan gliserin akan berpisah setelah seharian didiamkan. Bagian atas adalah metil ester dan bagian bawahnya adalah pengotor. Metil ester yang didapat 250 mL. Metil ester disaring lalu dimasukkan ke dalam botol.

Metil ester dipanaskan kembali hingga suhu rata-rata 70°C untuk menguapkan n-heksana yang masih tertinggal kemudian dicampur dengan Pertamina Solar dari SPBU 54.865.09, diaduk selama 30 menit agar

homogen. Pengujian karakteristik dilakukan di Laboratorium UPPS Pertamina untuk mendapat nilai fisik. Berikut adalah tabel pengujian karakteristik yang dilakukan dengan metode *American Standard Testing and Material* (ASTM).

Tabel 2.1. Pengujian Sifat Fisik

Sifat Fisik	Metode
<i>Specific Gravity dan Density</i>	ASTM D-1298
Warna	ASTM D-1500
<i>Kinematic Viscosity</i>	ASTM D-445
<i>Pour Point</i>	ASTM D-97
<i>Flash Point</i>	ASTM D-93
<i>Water Content</i>	ASTM D-6304
<i>Sulphur Content</i>	ASTM D-4294
Destilasi	ASTM D-86
<i>Calculate Cetane Index</i>	ASTM D-4737

Uji unjuk kerja dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Universitas Kristen Petra menggunakan mesin 4JA-1 OHV *direct injection* yang dihubungkan dengan *water brake dynamometer*. Metode yang digunakan adalah beban berubah dan putaran mesin berubah.

## 3. Hasil dan Pembahasan

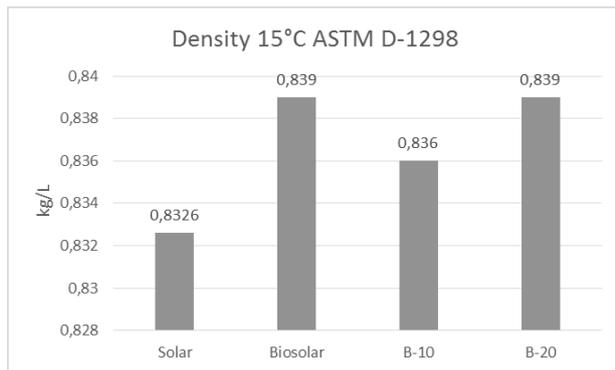
### A. Hasil Uji Karakteristik

Hasil uji karakteristik dibandingkan dengan standar dari Dirjen Migas No. 978.K/10/DJM.S/2006 tanggal 19 November 2013. Biodiesel yang memenuhi standar boleh untuk diuji pada mesin.

Tabel 3.1. Standar dan Mutu BBM Jenis Solar 48 oleh Dirjen Migas

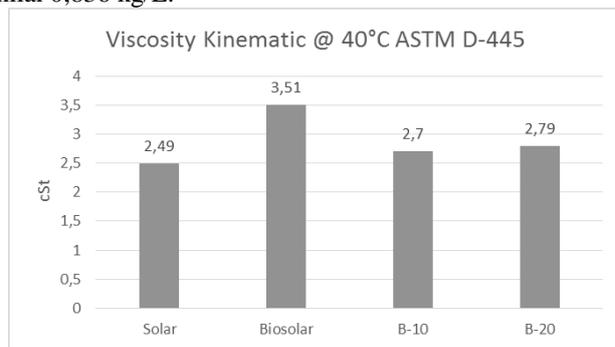
Property	Unit	Test Method	Batasan	
			Min	Max
Density 15°C	kg/L	ASTM D-1298	0,815	0,87
Viscosity Kinematic @ 40°C	cSt	ASTM D-445	2	4,5
Flash Point PMcc	°C	ASTM D-93	52	-
Pour Point	°C	ASTM D-97	-	18
Sulphur Content	% wt	ASTM D-4294	-	0,25
ASTM Colour		ASTM D-1500	-	3
Water Content by kf	ppm	ASTM D-6304		500
Calculate Cetane Index	-	ASTM D-4737	45	-
Distillation @ 90% Recovery	°C	ASTM D-86		370

\*berlaku 1 Januari 2017



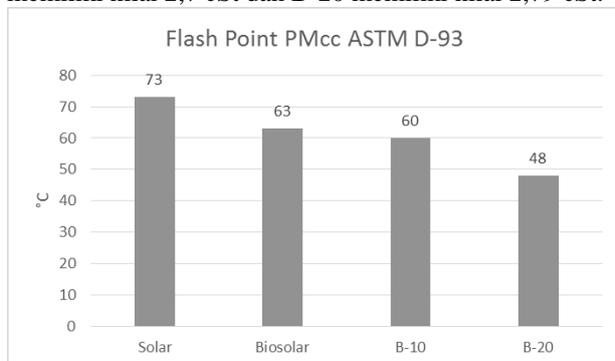
Gambar 3.1 Grafik Perbandingan *Density* Antar Bahan Bakar

Nilai *density* tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dan B-20 dengan nilai 0,839 kg/L. Nilai terendah didapatkan oleh Pertamina Solar dengan nilai 0,8326 kg/L, sedangkan untuk biodiesel dari campuran *M. oleifera seed oil* B-10 berada di tengah-tengah dengan nilai 0,836 kg/L.



Gambar 3.2 Grafik Perbandingan *Viscosity Kinematic* Antar Bahan Bakar

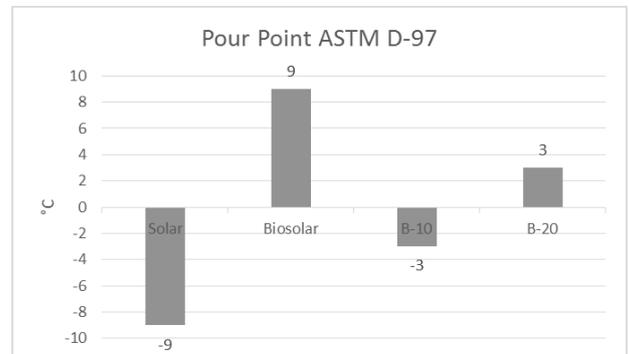
Nilai *viscosity kinematic* tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 3,51 cSt. Nilai terendah didapatkan oleh Pertamina Solar dengan nilai 2,49 cSt, sedangkan untuk biodiesel dari campuran *M. oleifera seed oil* memiliki nilai di tengah-tengah. B-10 memiliki nilai 2,7 cSt dan B-20 memiliki nilai 2,79 cSt.



Gambar 3.3 Grafik Perbandingan *Flash Point* Antar Bahan Bakar

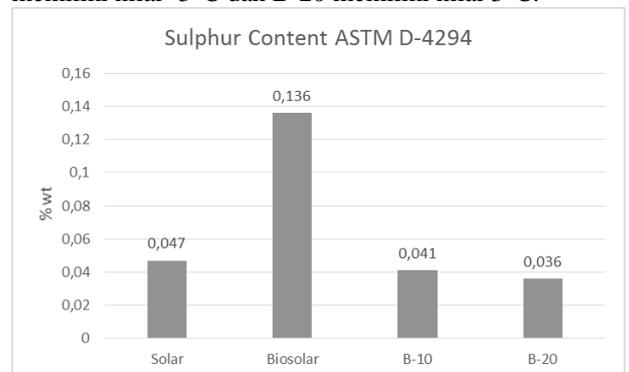
Nilai *flash point* tertinggi dihasilkan oleh

Pertamina Solar dengan nilai 73°C. Nilai *flash point* terendah dihasilkan oleh B-20 dengan nilai 48°C, sedangkan Pertamina Biosolar dan B-10 memiliki nilai yang berada di tengah-tengah yaitu 63°C dan 60°C. Hasil *flash point* dari B-20 tidak memenuhi standar sehingga tidak diujikan pada mesin.



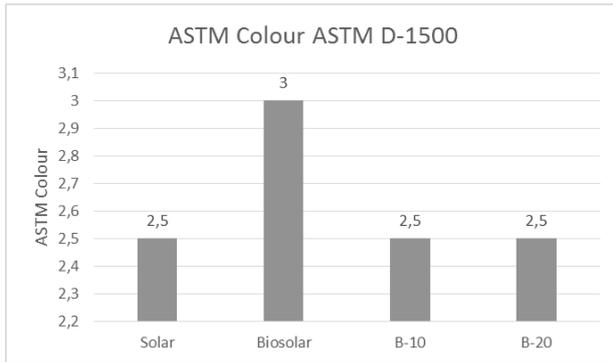
Gambar 3.4 Grafik Perbandingan *Pour Point* Antar Bahan Bakar

Nilai *pour point* terendah dihasilkan oleh Pertamina Solar dengan nilai -9°C. Nilai *pour point* tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 9°C, sedangkan untuk biodiesel dari campuran *M. oleifera seed oil* memiliki nilai di tengah-tengah. B-10 memiliki nilai -3°C dan B-20 memiliki nilai 3°C.



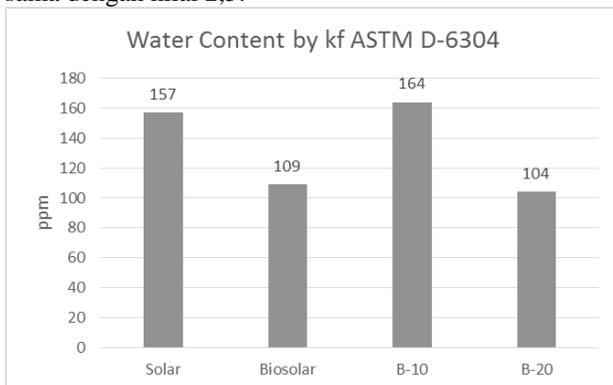
Gambar 3.5 Grafik Perbandingan *Sulphur Content* Antar Bahan Bakar

Nilai *sulphur content* terendah dihasilkan oleh B-20 dengan nilai 0,036 % wt. Nilai *sulphur content* tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 0,136 % wt, sedangkan untuk Pertamina Solar dan B-10 memiliki nilai yang berada di tengah-tengah dengan nilai 0,047 % wt dan 0,041 % wt.



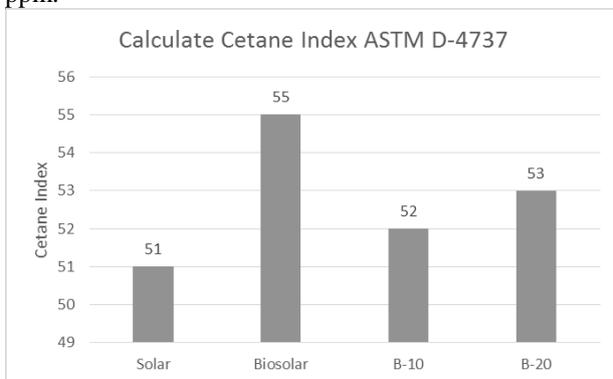
Gambar 3.6 Grafik Perbandingan *ASTM Colour* Antar Bahan Bakar

Nilai *ASTM colour* tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 3. Nilai *ASTM colour* dari Pertamina Solar, B-10, dan B-20 memiliki nilai yang sama dengan nilai 2,5.



Gambar 3.7 Grafik Perbandingan *Water Content* Antar Bahan Bakar

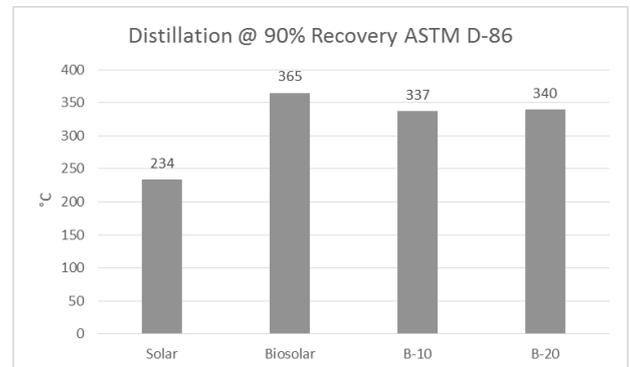
Nilai *water content* terendah dihasilkan oleh B-20 dengan nilai 104 ppm. Nilai *water content* tertinggi dihasilkan oleh B-10 dengan nilai 164 ppm, sedangkan nilai untuk Pertamina Solar dan Pertamina Biosolar berada di tengah-tengah dengan nilai 157 ppm dan 109 ppm.



Gambar 3.8 Grafik Perbandingan *Calculated Cetane Index* Antar Bahan Bakar

Nilai *calculate cetane index* tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 55. Nilai *calculate*

*cetane index* terendah dihasilkan oleh Pertamina Solar dengan nilai 51, sedangkan untuk biodiesel dari campuran *M. oleifera seed oil* memiliki nilai di tengah-tengah. B-10 memiliki nilai 52 dan B-20 memiliki nilai 53.

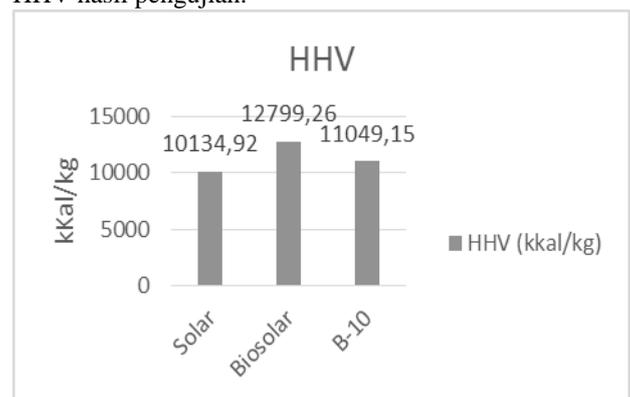


Gambar 3.9 Grafik Perbandingan *Disillation @90% Recovery* Antar Bahan Bakar

Nilai *distillation @90%* terendah dihasilkan oleh Pertamina Solar dengan nilai 234°C. Nilai *distillation @90%* tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 365°C, sedangkan untuk biodiesel dari campuran *M. oleifera seed oil* memiliki nilai di tengah-tengah. B-10 memiliki nilai 337°C dan B-20 memiliki nilai 340°C.

### B. Hasil Uji Bom Kalorimeter

Uji Bom Kalorimeter dilakukan untuk mendapatkan nilai kalor atas (*high heating value*) dari bahan bakar. Pengujian dilakukan pada Pertamina Solar, Pertamina Biosolar, dan B-10. Berikut adalah grafik HHV hasil pengujian.



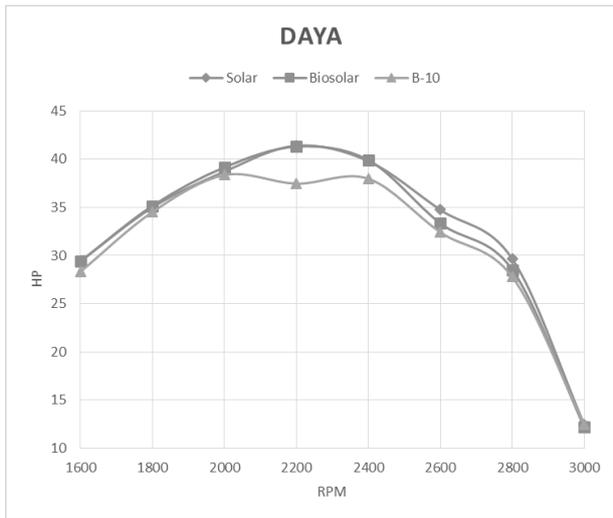
Gambar 3.10. Grafik HHV Antar Bahan Bakar

Nilai HHV tertinggi didapatkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 12.799,26 kKcal/kg. Nilai HHV dari B-10 di atas Pertamina Solar dengan nilai 11.049,15 kKcal/kg. Pertamina Solar memiliki nilai terendah yaitu 10.134,92 kKcal/kg.

### C. Hasil Uji Performansi

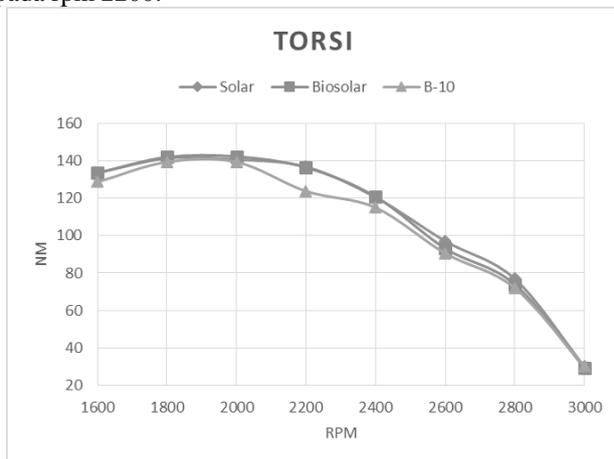
Hasil uji performansi yang diperoleh merupakan hasil pengujian di Laboratorium Motor Bakar Universitas Kristen Petra dengan metode pengujian pengereman

berubah dan putaran berubah dari 1600 hingga 3000. Spesimen uji hanya menggunakan B-10 dikarenakan B-20 tidak memenuhi standar. Dari pengujian maka diperoleh hasil yaitu daya(HP), torsi (Nm), BMEP (Kg/cm<sup>2</sup>), SFC (Kg bahan bakar/HP.jam) Efisiensi termal (%)



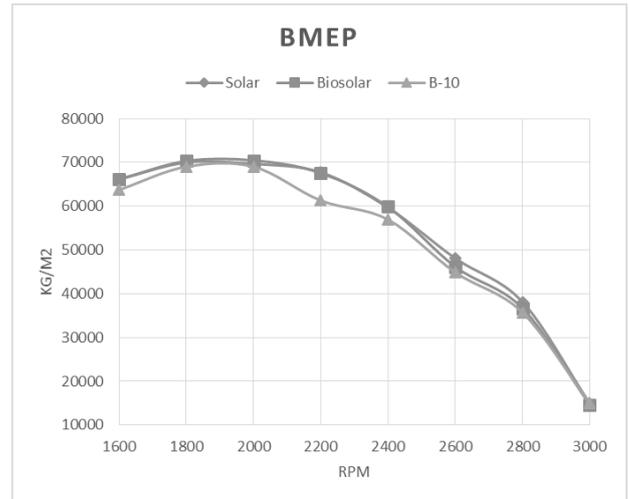
Gambar 3.11 Grafik Perbandingan Daya

Daya yang dihasilkan pada B-10 mencapai puncak pada rpm 2000 dengan nilai 38,338 HP. Daya puncak yang dihasilkan B-10 0,92% lebih rendah daripada Pertamina Solar pada rpm 2000. Daya tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Solar dengan nilai 41,385 HP pada rpm 2200.



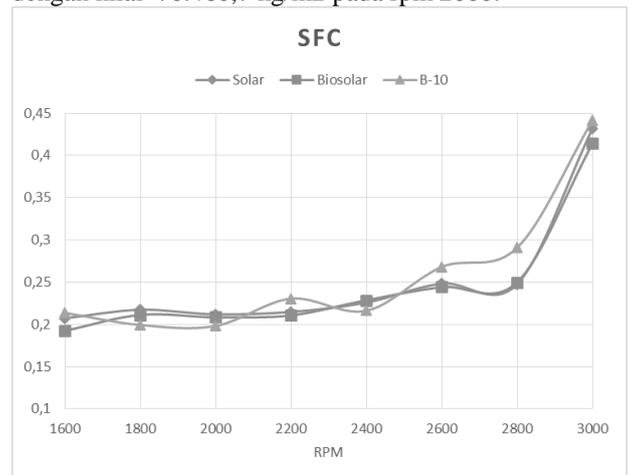
Gambar 3.12 Grafik Perbandingan Torsi

Torsi yang dihasilkan oleh B-10 mencapai puncak pada rpm 1800 dan 2000 dengan nilai 139,253 Nm. Torsi puncak yang dihasilkan B-10 1,38% lebih rendah daripada Pertamina Solar pada rpm 1800. Torsi tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 142,175 Nm pada rpm 2000.



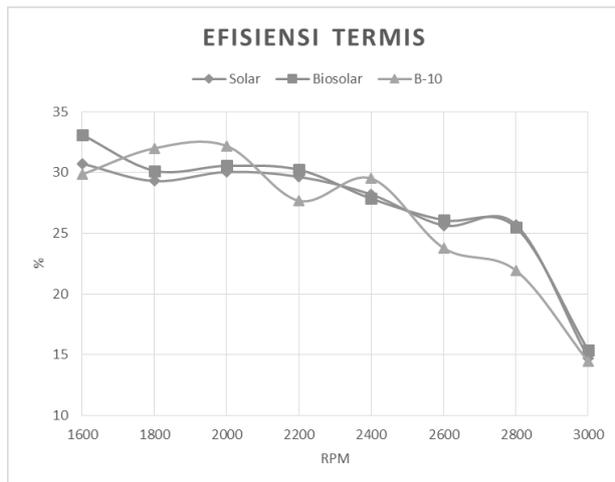
Gambar 3.13 Grafik Perbandingan BMEP

BMEP yang dihasilkan oleh B-10 mencapai puncak pada rpm 1800 dan 2000 dengan nilai 69.012,9 kg/m<sup>2</sup>. BMEP puncak yang dihasilkan B-10 2% lebih rendah daripada Pertamina Biosolar pada rpm 2000. BMEP tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar dengan nilai 70.460,7 kg/m<sup>2</sup> pada rpm 2000.



Gambar 3.14 Grafik Perbandingan SFC

SFC yang dihasilkan oleh B-10 mencapai yang paling rendah pada rpm 2000 dengan nilai 0,198. SFC terendah yang dihasilkan B-10 6,5% lebih rendah daripada Pertamina Solar pada rpm 2000. SFC tertinggi dihasilkan oleh B-10 pada rpm 3000 dengan nilai 0,44.



Gambar 3.15 Grafik Perbandingan Efisiensi Termal

Efisiensi termis yang dihasilkan oleh B-10 mencapai puncak pada rpm 2000 dengan nilai 32,18%. Efisiensi termis yang dihasilkan B-10 6,6% lebih tinggi daripada Pertamina Solar pada rpm 2000. Efisiensi termis tertinggi dihasilkan oleh Pertamina Biosolar pada putaran 1600 dengan nilai 33,1%. Efisiensi termis terendah dihasilkan oleh B-10 pada putaran 3000 dengan nilai 14,44%.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian pengujian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Bahan bakar biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10 telah memenuhi standar dari Dirjen Migas sehingga layak untuk digunakan pada mesin.
- Bahan bakar biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10 memiliki pengaruh pada perubahan unjuk kerja mesin diesel. Berikut adalah perbandingan unjuk kerja antara biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10 terhadap Pertamina Solar pada RPM 2000.
  - Daya menurun sebesar 0,92% setelah pemakaian biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10.
  - Torsi menurun sebesar 0,92% setelah pemakaian biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10.
  - BMEP menurun sebesar 0,92% setelah pemakaian biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10.
  - SFC menurun sebesar 6,5% setelah pemakaian biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10.

- Efisiensi termis meningkat sebesar 6,5% setelah pemakaian biodiesel dari *M. oleifera seed oil* B-10.

#### 5. Daftar Pustaka

1. Arita, S., Dara, M.B. & Irawan, J. (2008). *Pembuatan Metil Ester Asam Lemak dari CPO Off Grade dengan Metode Esterifikasi-Transesterifikasi*. Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya: Palembang.
2. Dou, H., Kister, J. (2016). *Research and Development on Moringa Oleifera – Comparison Between Academic Research and Patents*. World Patent Information.
3. Kimmel, T. (2004). *Kinetic Investigation of The Base-Catalyzed Glycerolysis of Fatty Acid Methyl Ester*. Genehmigte Dissertation, Technischen Universität Berlin, Berlin: Germany.
4. Knothe, G & Razon, L.F. (2016). *Biodiesel Fuels*. Progress in Energy and Combustion Science 58 (2017) 36-59.
5. Madsen, M., Schlundt, J., & Olmer, E.F. (1987). *Effect of water coagulation by seeds of Moringa oleifera on bacterial concentration*. J. Trop. Med. Hygiene. 90(3):101-109.
6. Morton, J.F. (1991). *The Horseradish Tree, Moringa pterigosperma (Moringaceae). A boon to arid lands*. Econ. Bot. 45, 318–333.
7. Ndabigengesere, A., et al. (1998). *Use of Moringa oleifera seeds as a primary coagulant in wastewater treatment*. Environ Technology, 19 (8), 789-800.
8. Porto, C.D., et al. (2015). *Microwave Pretreatment of Moringa oleifera Seed: Effect on Oil Obtained by Pilot-scale Supercritical Carbon Dioxide Extraction and Soxhlet Apparatus*. Department of Food Science University of Udine: Italia.
9. Speight, G.J. (2010). *The Biofuel Handbook*. Royal Society of Chemistry.
10. Tsaknis, J., et al. (1999). *Characterisation of Moringa oleifera variety Mbololo seed oil of Kenya*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47, 4495–4499.
11. Vlahof, G., et al. (2002). *Characterization of Triacylglycerols of Moringa oleifera Seed Oil: an Oleic Vaccenic acid oil*. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50,970–975.