

## The Effects Of Mango Biodiesel Seed Oil To Diesel Engine Performance

Willyanto Anggono<sup>1,\*</sup>, R. Santoso<sup>2</sup>, Sutrisno<sup>3</sup>, Fandi D. Suprianto<sup>4</sup> dan Gabriel J. Gotama<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Mechanical Engineering Department, Petra Christian University, Surabaya, Indonesia

<sup>1,2,3,4,5</sup> Centre for Sustainable Energy Studies, Petra Christian University, Surabaya, Indonesia

\*Corresponding author: willy@petra.ac.id

**Abstract.** The high reliance and demand for non-renewable energy push the need for alternative renewable resource of energy. In this study, a biodiesel made from mango seed oil was investigated to understand its viability as substitute to commercial pure petro-diesel and palm oil biodiesel. The extraction of mango seed oil was done by using Soxhlet method. The extracted oil was combined with pure petro-diesel by 10% of its total weight of mixture to create mango biodiesel seed oil (B10). The B10 was tested for its fuel characteristics together with pure petro-diesel and palm oil biodiesel. The fuel characteristics test results indicated some advantages of mango biodiesel seed oil B10 compared to the pure-petrodiesel and palm oil biodiesel. Further study on the engine performance of the fuels were conducted by utilizing water brake dynamometer. The engine performance results show B10 has overall better power, torque, BMEP, SFC and thermal efficiency compared to pure petro-diesel and palm oil biodiesel. Both investigations of fuel characteristics and engine performances corroborate the use of mango seed biodiesel as substitute for pure petro-diesel and palm oil biodiesel in Indonesia.

**Abstrak.** Besarnya kebutuhan dan ketergantungan masyarakat terhadap bahan bakar fosil mendorong adanya solusi berupa sumber energi terbarukan. Pada penelitian ini, biodiesel yang terbuat dari minyak biji mangga diteliti lebih lanjut untuk dapat menggantikan bahan bakar solar dan biosolar yang saat ini banyak digunakan di Indonesia. Ekstraksi dari minyak biji mangga dilakukan dengan menggunakan metode Soxhlet. Minyak biji mangga yang telah diekstraksi dicampur dengan bahan bakar solar hingga mencapai 10% dari total berat campuran dan diberi nama B10. Karakteristik bahan bakar dari B10 diuji bersamaan dengan solar dan biosolar. Hasil uji karakteristik dari bahan bakar mengindikasikan adanya keuntungan menggunakan bahan bakar biodiesel minyak biji mangga B10 dibandingkan kedua bahan bakar lain yang diuji (solar dan biosolar). Penelitian juga dilakukan pada performa bahan bakar pada mesin dengan menggunakan *water brake dynamometer*. Hasil dari pengujian performa mesin menunjukkan bahwa biodiesel minyak biji mangga B10 memiliki daya, torsi, BMEP, SFC, dan efisiensi termal yang lebih baik dibandingkan solar (*pure petro-diesel*) dan biosolar (*palm oil biodiesel*). Hasil pengujian ini mendukung penggunaan biodiesel minyak biji mangga sebagai pengganti solar dan biosolar di Indonesia.

**Keywords:** *Mango seed, biodiesel, sustainable energy, non-edible material, engine performance.*

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, kebutuhan masyarakat akan energi semakin meningkat khususnya dalam bidang transportasi. Kendaraan bermotor menjadi salah satu kebutuhan manusia agar jarak yang jauh dapat ditempuh dengan lebih mudah dan cepat. Hal ini dapat mengakibatkan konsumsi energi berupa bahan bakar minyak semakin meningkat. Para peneliti telah menyadari bahwa bahan bakar minyak yang ada sekarang adalah hasil dari eksploitasi sumber daya tidak dapat diperbarui. Melihat kondisi tersebut, para peneliti memikirkan untuk mencari sumber energi terbarukan sebagai alternatif bahan bakar. Selain itu, diperlukan pula edukasi untuk lebih bijak dalam menggunakan sumber daya alam.

Perusahaan otomotif juga telah menyikapi, hal tersebut dengan mengeluarkan mobil berteknologi hybrid. Penggunaan baterai sebagai tempat penyimpanan energi saat penggeraman dengan tujuan meminimalisir jumlah energi yang terbuang. Teknologi hybrid dapat meningkatkan efisiensi dari bahan bakar hingga 75% [1].

Solusi lain dalam mengatasi permasalahan energi adalah mencoba menemukan sumber energi terbarukan. Konsumsi bahan bakar minyak oleh kendaraan bermotor menduduki peringkat 2 paling banyak di bawah mesin industri. Jika penelitian dapat mengatasi masalah bahan bakar pada kendaraan bermotor dengan menemukan sumber energi yang dapat diperbarui, tentu di bidang lainnya juga dengan diterapkan. Bahan bakar yang diperbarui terdiri bahan yang dapat dikonsumsi (*edible*) dan yang tidak dapat dikonsumsi (*non-*

*edible*). Bahan *non-edible* sangat berpotensi menjadi bahan bakar alternatif [2].

Sebagian besar dari bahan bakar terbarukan berasal dari tumbuhan [3]. Beberapa jenis tumbuhan memiliki potensi untuk dikelola menjadi sumber bahan bakar yang dapat diperbarui. Salah satunya adalah *Mangifera Indica L.* atau biasa disebut sebagai tanaman mangga. Kandungan minyak dalam biji mangga dapat dimanfaatkan dengan mencampurnya bersama bahan bakar solar dalam perbandingan tertentu. Campuran tersebut akan menghasilkan biodiesel minyak biji mangga.

Proses ekstraksi pada biji dilakukan dengan beberapa langkah. Pertama, biji dijemur hingga kering selama kurang lebih tiga hari. Setelah biji kering maka dilakukan proses penggilingan menjadi serbuk hingga berukuran 40 mesh. Kemudian pengambilan minyak biji buah mangga dilakukan menggunakan alat *soxhlet* [4].

Pada penelitian sebelumnya, penggunaan minyak tumbuhan dapat meningkatkan performa mesin diesel. Pada campuran 10% bahan bakar diesel, minyak *jatropha* menghasilkan kenaikan 4,65% daya penggeraman, sedangkan pada 20% minyak *jatropha* kenaikan rata-rata 15% pada *brake thermal efficiency* [5]. Selain itu dampak penambahan bahan bakar terbarukan ini dapat mereduksi emisi pada gas buang. Metode lain untuk meningkatkan performa mesin juga dilakukan oleh Sivakumar dkk [6]. Pada penelitian Sivakumar dkk, dilakukan upaya memberikan efek *swirl* pada proses pengkabutan bahan bakar campuran antara minyak *jatropha* dan diesel. Upaya tersebut menurut Sutrisno dkk [7] dilakukan untuk meningkatkan energi kinetik skala micro atau fluktuasi kecepatan aliran. Kondisi ini membangkitkan parameter *turbulent kinetic energy* dari bahan bakar.

Potensi produksi bahan baku energi terbarukan menurut Lestari dkk [8] sangat tergantung oleh *Gross Domestic Product* (GDP) suatu negara. Pertumbuhan ekonomi negara Indonesia pada kuartal keempat tahun 2017 meningkat menjadi 5,2 persen [9].

## Metode Penelitian

Pada penelitian ini, limbah biji mangga terlebih dahulu dipecah untuk diambil inti bijinya. Kemudian, inti biji mangga dipotong menjadi bagian-bagian kecil dan dijemur dibawah sinar matahari selama tiga hari. Setelah menjadi kering, biji mangga dijadikan serbuk dengan menggunakan mesin giling dan saringan 40 mesh.

Untuk menghasilkan minyak biji mangga, digunakan alat *Soxhlet*. *Soxhlet* terdiri dari kondensor, ekstraktor, dan labu seperti pada Gambar 1. Pada kondensor terdapat inlet dan outlet untuk

sirkulasi air yang dibantu oleh pompa. Pada ruang ekstraktor, diletakkan biji yang sudah dibungkus menggunakan kertas saring sebanyak 60 gram. Pada labu, terdapat pelarut N-Heksana sebanyak 150 ml. Labu dipanaskan dengan air panas menggunakan kompor listrik 600 watt.



Gambar 1. *Soxhlet*

Hasil dari proses ekstraksi berupa campuran minyak nabati dan larutan N-Heksana. Pelarut N-Heksana dipisahkan dengan alat *rotary evaporator* seperti pada Gambar 2. Alat ini dilengkapi dengan pompa diafragma untuk menghasilkan tekanan vakum pada ruang kondensor. Jika sudah tidak terdapat lagi tetesan pelarut pada ruang kondensor, proses pemurnian dapat dihentikan.



Gambar 2. *Rotary evaporator*.

Minyak nabati yang sudah terpisah dari pelarut masih mengandung gliserol. Untuk menghilangkan gliserol dilakukan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi membutuhkan methanol dan katalis basa KOH agar dihasilkan metil ester. Proses transesterifikasi menggunakan alat magnetic stirrer seperti pada Gambar 3. Proses ini dimulai dengan mencampur KOH dan methanol agar menjadi suatu larutan yang homogen. Setelah KOH larut dalam methanol, minyak nabati dicampur ke dalam larutan tersebut ke dalam gelas ukur. Di dalam gelas ukur terdapat batang magnet dan dipanaskan menggunakan *magnetic stirrer*. Proses transesterifikasi berlangsung selama 1 jam. Setelah

proses transesterifikasi selesai, larutan dibiarkan selama 24 jam agar terpisah antara gliserol dengan metil ester.

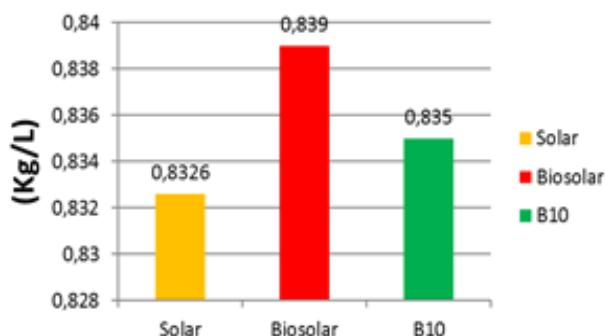


Gambar 3 Magnetic stirrer

Metil ester akan digunakan untuk bahan baku pembuatan biodiesel. Proses pencampuran dilakukan dengan komposisi B10. Setelah dilakukan proses pencampuran, dilakukan pengujian karakteristik bahan bakar pada Laboratorium UPPS Pertamina Surabaya. Sampel yang diuji karakteristiknya adalah solar, biosolar dan biodiesel minyak biji mangga B10. Hasil uji karakteristik dapat menunjukkan layak atau tidaknya suatu bahan bakar untuk digunakan pada mesin sesuai dengan standar bahan bakar mesin diesel yang berlaku di Indonesia.

## Hasil dan Pembahasan

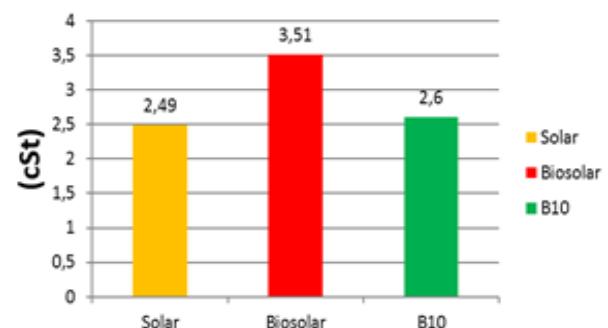
Hasil uji karakteristik yang diperoleh merupakan hasil pengujian di Labroatorium UPPS Pertamina Surabaya. Hasil data yang diperoleh telah sesuai dengan spesifikasi Dirjen Migas No. 978.K/10/DJM.S/2006 tanggal 19 November 2013 dan spesifikasi tersebut dijadikan sebagai tolak ukur standar karakteristik biodiesel yang diperbolehkan sebagai bahan bakar minyak mesin diesel dan diuji performanya. Standar karakteristik biodiesel yang dimaksud adalah sebagai berikut.



Gambar 4. Perbandingan Density Bahan Bakar

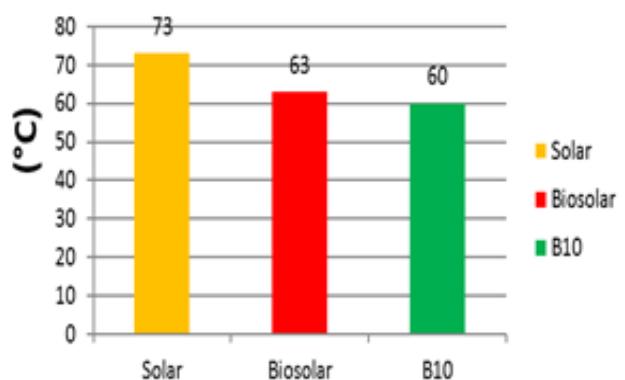
Pada Gambar 4, nilai massa jenis solar didapatkan dengan pengujian sebesar 0.8326 Kg/L. Pada biosolar SPBU didapatkan massa jenis sebesar 0.839 Kg/L. Hal tersebut membuktikan bahwa

massa jenis dari minyak sawit lebih tinggi daripada solar murni. Pada B10 didapatkan hasil kerapatan sebesar 0.835 Kg/L. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni. Hal tersebut membuktikan bahwa minyak biji mangga memiliki massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan solar. Kerapatan atau massa jenis dari bahan bakar sangat berpengaruh terhadap kualitas dari unruk kerja bahan bakar tersebut. Semakin tinggi kerapatan, artinya semakin rapat jarak antar molekul dalam bahan bakar akan semakin sulit untuk melakukan proses pengkabutan. Hal ini dapat membebani kerja injektor. Dari data diperoleh bahwa B10 minyak biji mangga memiliki nilai kerapatan antara solar murni dan biosolar pertamina, sehingga masih berada di titik aman.



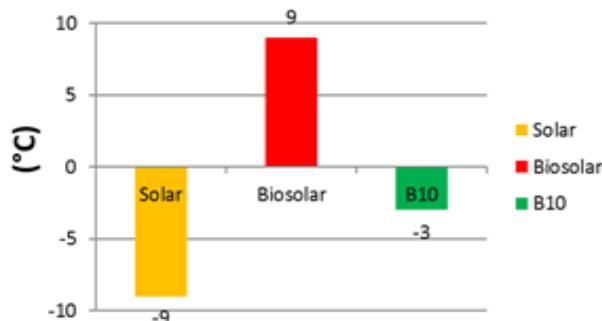
Gambar 5. Perbandingan Kinematic Viscosity Bahan Bakar

Pada gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai *kinematic viscosity* dari solar murni (solar) sebesar 2.49 cSt dan nilai viskositas kinematik dari biosolar sebesar 3.51 cSt. Hal ini membuktikan bahwa minyak sawit memiliki *kinematic viscosity* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar. Untuk B10 juga didapatkan hasil yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar murni yaitu 2.6 cSt. Dapat disimpulkan bahwa minyak biji mangga memiliki *kinematic viscosity* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar tetapi lebih rendah dibanding *kinematic viscosity* dari biosolar.

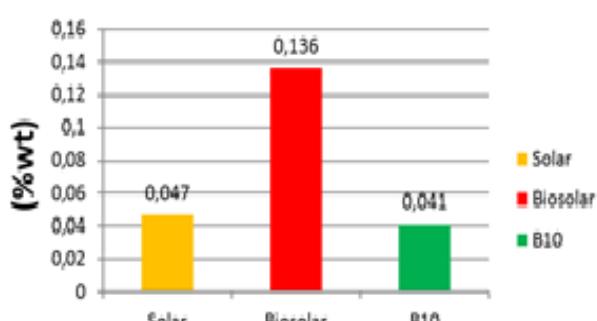


Gambar 6. Perbandingan Flash Point Bahan Bakar

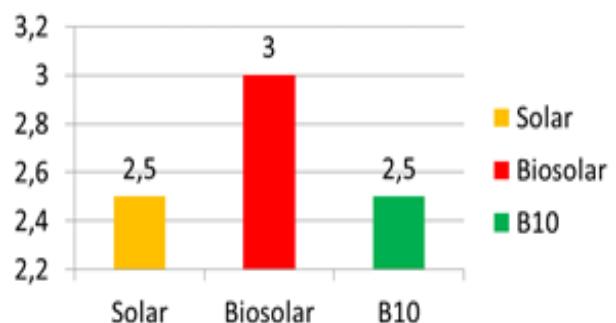
Pengujian *flash point* dapat dilihat pada Gambar 6, Nilai tertinggi diperoleh solar pada temperatur 73° C. Hal ini membuktikan bahwa penambahan minyak nabati ke dalam solar dapat menurunkan titik nyala dari bahan bakar. Pada biosolar didapatkan nilai titik nyala pada temperatur 63° C. Sedangkan pada B10 minyak biji mangga didapatkan *flash point* sebesar 60° C. Dari hasil tersebut juga dapat disimpulkan bahwa titik nyala dari minyak sawit lebih tinggi jika dibandingkan dengan titik nyala dari minyak biji mangga. *Flash point* berpengaruh terhadap penyalakan dari bahan bakar, semakin tinggi nilai *flash point* maka semakin sulit bahan bakar untuk terbakar.

Gambar 7. Perbandingan *Pour Point* Bahan Bakar

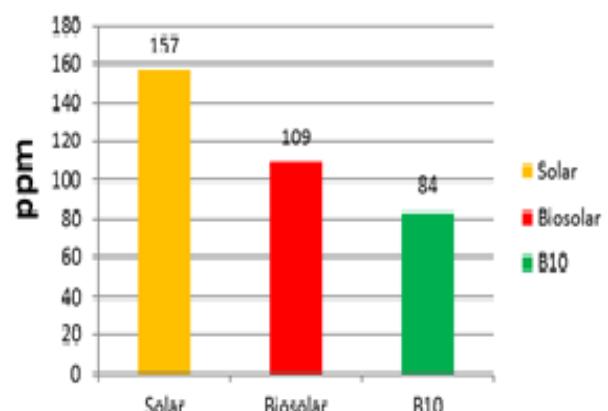
Pada gambar 7, dapat dilihat hasil uji dari *pour point*. Hasil uji dari *pour point* memiliki tujuan untuk mengetahui temperatur minimum dari bahan bakar untuk dapat tetap mengalir dengan baik. Solar memiliki *pour point* yang rendah yaitu pada -9°C. Bahan bakar solar cocok digunakan untuk daerah yang memiliki temperatur lingkungan rendah seperti pada daerah dataran tinggi atau pegunungan. Sementara itu, biosolar memiliki *pour point* sebesar 9°C. Dapat disimpulkan bahwa *pour point* dari biosolar lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni. Kondisi ini rawan bila dipakai pada tempat-tempat yang memiliki temperatur rendah. Untuk B10 didapatkan hasil temperatur *pour point* yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni tetapi lebih rendah dari biosolar.

Gambar 8. Perbandingan *Sulphur Content* Bahan Bakar

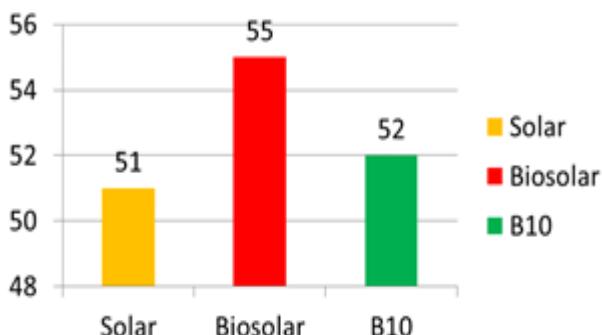
Kandungan sulfur dari masing-masing spesimen bahan bakar dapat dilihat pada Gambar 8. Solar memiliki kandungan sulfur sebesar 0,047%. Biosolar pertamina memiliki kandungan sulfur yang tinggi jika dibandingkan dengan solar yaitu sebesar 0,136%. Untuk B10 (biodiesel minyak biji mangga) memiliki kandungan sulfur sebesar 0,041%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa kandungan sulfur yang paling baik dimiliki biodiesel minyak biji mangga karena nilainya yang lebih rendah jika dibandingkan dengan solar murni dan biosolar pertamina dari minyak sawit.

Gambar 9. Perbandingan *Colour* Bahan Bakar

Pada Gambar 9 didapatkan hasil warna yang sama pada solar dan B10. Sementara itu, biosolar pertamina memiliki nilai 3 yang artinya sedikit lebih gelap dibandingkan dengan solar dan B10.

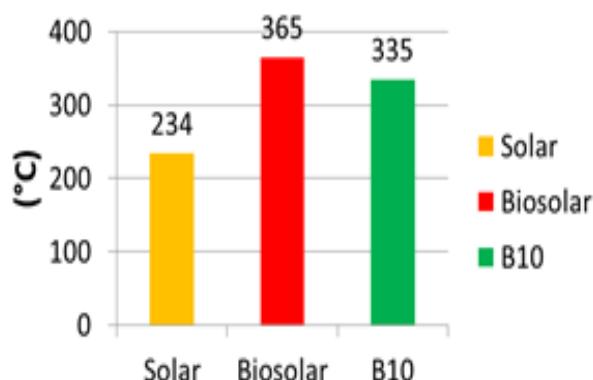
Gambar 10. Perbandingan *Water Content* Bahan Bakar

Pada Gambar 10 terlihat bahwa solar murni memiliki kandungan air yang cukup tinggi sebanyak 157 ppm. Sementara itu, biosolar milik pertamina memiliki kandungan air sebanyak 109 ppm dan B10 memiliki kandungan air sebanyak 84 ppm. Kandungan air dapat menyebabkan kerusakan pada ruang bakar karena mengganggu proses pembakaran sehingga dapat terjadi pembakaran tidak sempurna.



Gambar 11. Perbandingan *Calculated Cetane Index* Bahan Bakar

*Calculated cetane index* (CCI) dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 11. Biosolar pertamina memiliki nilai tertinggi yaitu 55. Biodiesel B10 minyak biji mangga memiliki nilai indeks cetane 52. Solar murni memiliki nilai indeks cetane terendah yaitu 51. Hal ini membuktikan bahwa minyak sawit memiliki CCI yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni dan minyak biji mangga. Namun, minyak biji mangga memiliki nilai CCI yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan solar murni. Nilai CCI berpengaruh terhadap efektivitas pembakaran. Jika nilai CCI terlalu rendah, maka terjadi pembakaran tidak sempurna dan mempengaruhi unjuk kerja dari bahan bakar.

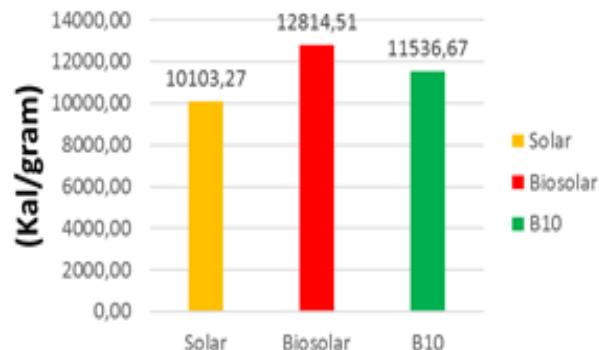


Gambar 12. Perbandingan *Disillation* Bahan Bakar

Pada Gambar 12 menunjukkan hasil pengujian destilasi atau titik uap pada solar akan menguap pada temperatur 234°C. Biosolar pertamina akan menguap pada temperatur 365°C. Hal ini membuktikan bahwa minyak sawit memiliki titik uap yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni. Sementara itu untuk B10, didapatkan titik didih sebesar 335°C. Hal ini membuktikan bahwa titik didih dari minyak biji mangga lebih tinggi daripada solar murni.

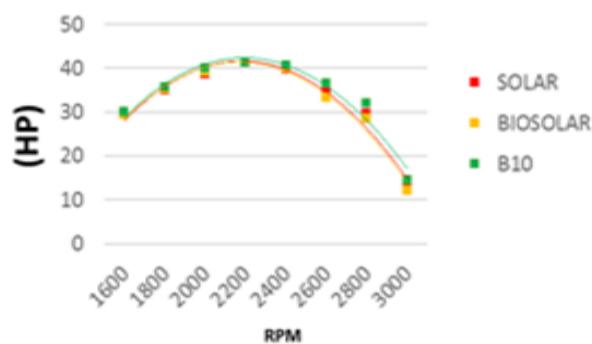
Hasil pengujian Nilai Kalor Atas (*High Heating Value*) dapat dilihat pada Gambar 13. Solar memiliki nilai *High Heating Value* (HHV) yang paling rendah yaitu 10103,27 Kal/gr. B10 minyak

biji mangga memiliki nilai HHV sebesar 12814,51 Kal/gr. Biosolar pertamina memiliki nilai HHV tertinggi sebesar 11536,67 Kal/gr. Semakin besar nilai HHV, maka usaha total yang dihasilkan akan semakin besar. Dari penelitian, solar memiliki nilai HHV yang paling rendah jika dibandingkan dengan biosolar dan B10 minyak biji mangga.



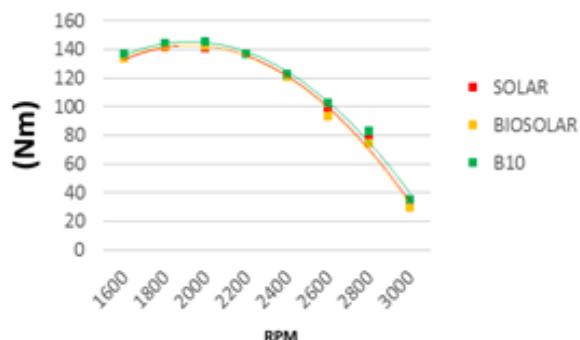
Gambar 13. Perbandingan Nilai Kalor Atas Bahan Bakar

Pada Gambar 14 dapat dilihat bahwa rata-rata daya dari B10 minyak biji mangga berada diatas solar dan biosolar. Daya merupakan besaran dari tenaga yang dihasilkan mesin. Daya sangat diperlukan mesin pada putaran tinggi. Masing-masing dari sampel memiliki kondisi optimum. B10 memiliki kondisi optimum pada 2200 RPM dengan daya sebesar 41.29 HP. Biosolar memiliki kondisi optimum pada 2200 RPM dengan daya sebesar 41.29 HP. Solar memiliki kondisi optimum pada 2200 RPM dengan daya sebesar 41.39 HP.

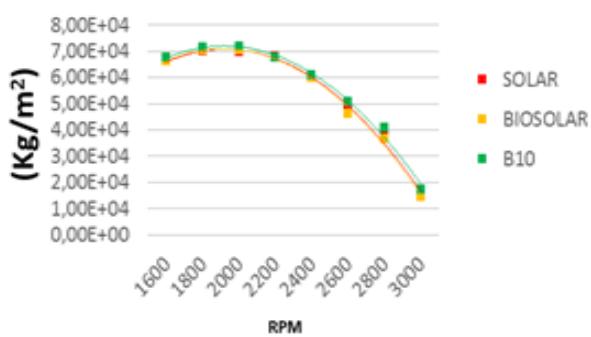


Gambar 14. Perbandingan Daya

Pada Gambar 15 dapat dilihat grafik perbandingan torsi. Torsi berperan penting pada kendaraan saat kondisi awal kendaraan bergerak. B10 memiliki kondisi optimum pada 2000 RPM dengan torsi sebesar 145.10 Nm. Biosolar memiliki kondisi optimum pada 2000 RPM dengan torsi sebesar 142.17 Nm. Solar memiliki kondisi optimum pada 1800 RPM dengan torsi sebesar 141.20 Nm. Rata-rata torsi dari setiap sampel menunjukkan bahwa B10 memiliki nilai rata-rata torsi paling tinggi dibandingkan dengan solar dan biosolar.

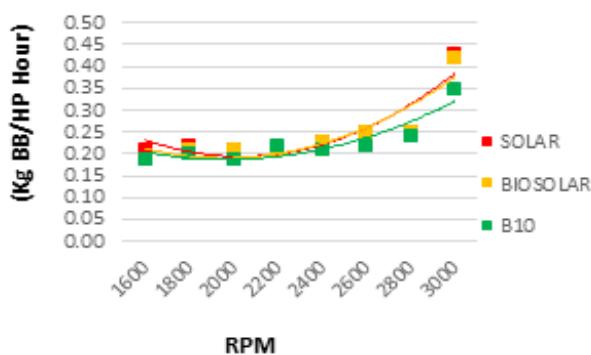


Gambar 15. Perbandingan Torsi



Gambar 16. Perbandingan BMEP

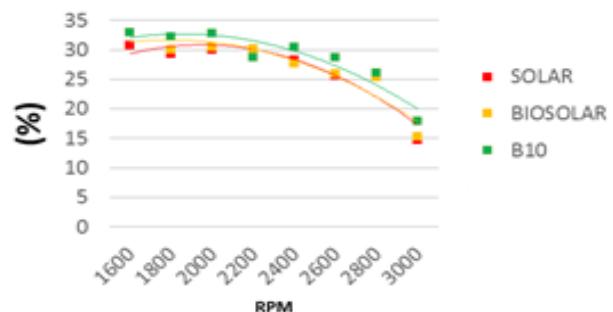
Pada Gambar 16 menunjukkan perbandingan BMEP. BMEP merupakan tekanan rata-rata silinder selama siklus pembakaran berlangsung. B10 memiliki tekanan tertinggi pada 2000 RPM sebesar 71,900 Kg/m<sup>2</sup>. Biosolar memiliki tekanan tertinggi pada 2000 RPM sebesar 70,500 Kg/m<sup>2</sup>. Solar memiliki tekanan tertinggi pada 1800 RPM sebesar 70,000 Kg/m<sup>2</sup>. Tekanan rata-rata dari B10 lebih tinggi jika dibandingkan dengan tekanan rata-rata dari biosolar dan solar.



Gambar 17 Grafik Perbandingan SFC

Pada Gambar 17 menunjukkan banyaknya konsumsi bahan bakar spesifik. Semakin kecil konsumsi bahan bakar, semakin hemat bahan bakar tersebut. Untuk B10, kondisi paling hemat berada pada 1600 RPM yaitu 0.19 Kg BB/ HP jam. Kondisi dengan konsumsi bahan bakar terbesar dari B10 berada pada 3000 RPM yaitu sebesar 0.35 Kg BB/

HP jam. Biosolar memiliki kondisi paling hemat pada 1600 RPM sebesar 0.19 Kg BB/ HP jam. Kondisi dari biosolar berada pada 3000 RPM sebesar 0.42 Kg BB/ HP jam. Solar memiliki kondisi paling hemat pada 1600 RPM yaitu sebesar 0.21 Kg BB/ HP jam dan pada 3000 RPM sebesar 0.43 Kg BB/ HP jam.



Gambar 18. Perbandingan Efisiensi Thermal

Pada Gambar 18 menunjukkan perbandingan efisiensi thermal. Setiap sampel memiliki efisiensi tertinggi pada putaran *engine* tertentu. B10 memiliki efisiensi termal tertinggi terjadi pada 1600 RPM sebesar 32.96%. Biosolar memiliki efisiensi termal tertinggi pada 1600 RPM sebesar 32.95%. Sedangkan solar memiliki efisiensi termal tertinggi pada 1600 RPM sebesar 30.72%.

## Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa minyak biji mangga dapat digunakan menjadi sumber energi alternatif. Karakteristik bahan bakar dari B10 diuji bersamaan dengan bahan bakar diesel murni (solar) dan bahan bakar biodiesel dari kelapa sawit (biosolar) menunjukkan bahwa hasil uji karakteristik bahan bakar mengindikasikan adanya keuntungan menggunakan B10 dibandingkan bahan bakar solar dan biosolar. Penelitian juga dilakukan pada pengujian performa bahan bakar pada mesin dengan menggunakan *water brake dynamometer*. Hasil dari pengujian performa mesin menunjukkan bahwa B10 memiliki *performace* (daya, torsi, BMEP, SFC, dan efisiensi thermal) yang lebih baik dibandingkan dengan solar dan biosolar. Kedua hasil pengujian ini mendukung penggunaan biodiesel minyak biji mangga sebagai pengganti bahan bakar solar dan biosolar di Indonesia.

## Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Universitas Kristen Petra, Kementerian Riset Teknologi Dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia (Hibah Penelitian Produk Terapan 2015-2017).

## Referensi

- [1] R. Dantes, 2013. Perencanaan Frame dan rangkaian Electric Berbasis Hybrid-Electric Vehicles Menuju Undiksha Go Green, Jurnal Sains dan Teknologi 2(2), 221–230. ISSN: 2303-3142. (Referensi Jurnal).
- [2] Sutrisno dkk, 2017. The effects of particle size and pressure on the combustion characteristics of carbera mangas leaf briquettes, ARPN Journal Vol 12(4) pp1-6. (Referensi Jurnal).
- [3] Kuncahyo, P., Fathallah, A. Z. M., & Semin. 2013. Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel Sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel Di Indonesia. Jurnal Teknik Pomits, 2(1), 1–5. (Referensi Jurnal).
- [4] Fauzan, R. 2015. Pemanfaatan Biji Mangga Madu sebagai Minyak dengan Metode Ekstraksi. Jurnal Teknologi Kimia. (Referensi Jurnal).
- [5] A. Nalgundwar, B. Paul, S. K. Sharma, 2016, Comparison of performance and emissions characteristics of DI CI engine fueled with dual biodiesel blends of palm and jatropha, Fuel 173 pp 172-179. (Referensi Jurnal).
- [6] D. Sivakumar dkk, 2016, An experimental study on jatropha-derived alternative aviation fuel sprays from simplex swirl atomizer, Fuel 179 pp 36-44. (Referensi Jurnal).
- [7] Sutrisno, dkk, 2015, Study of the secondary flow structures caused the addition forward facing step turbulence generated, Advances and Applications in Fluid Mechanics 18(1) 129-144. (Referensi Jurnal).
- [8] D. Lestari dkk, 2015, Economic valuation of potential product from Jatropha seed in five selected countries : Zimbabwe, Tanzamia, Mali, Indonesia, and The Netherlands, Biomass and Bioenergy 74 pp 84-91. (Referensi Jurnal).
- [9] Bank Dunia, 2018. Laporan triwulanan perekonomian Indonesia Maret 2018, The world bank report.