

**REKAYASA SISTEM PENYALURAN BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL UNTUK
PEMAKAIAN MINYAK NYAMPLUNG MURNI SEBAGAI BAHAN BAKAR
ALTERNATIF**
*DESIGN OF DIESEL ENGINE FUEL SYSTEM FOR APPLICATION OF PURE TAMANU
OIL AS ALTERNATIVE FUEL*

Desrial, Y. Aris Purwanto, Ika Amalia Kartika, Joko Pitoyo dan Nurwan Wahyudi

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, FATETA, IPB
Email: desrial@ipb.ac.id, Tlp. (0251)8623026

ABSTRAK

Dalam rangka menghadapi krisis energi dunia Pemerintah Republik Indonesia telah membuat kebijakan untuk mengembangkan bahan bakar nabati, BBN. Salah satu tanaman yang mempunyai potensi sebagai bahan baku BBN adalah nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). Minyak nyamplung dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar solar karena beberapa sifatnya memenuhi standar bahan bakar untuk motor diesel. Namun demikian nilai viskositas minyak nyamplung murni jauh lebih tinggi dari bahan bakar solar, sehingga untuk penggunaannya sebagai bahan bakar diesel maka perlu diberi perlakuan agar viskositasnya menurun. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penyaluran bahan bakar motor diesel bersilinder tunggal agar dapat menggunakan minyak nyamplung murni sebagai bahan bakarnya. Sistem penyaluran bahan bakar yang dikembangkan menggunakan elemen pemanas untuk meningkatkan suhu minyak nyamplung murni sehingga nilai viskositasnya turun mendekati nilai viskositas bahan bakar solar agar didapatkan pengabutan dan pembakaran yang optimal. Untuk mencapai tujuan tersebut, telah dirancang elemen pemanas yang memanfaatkan energi panas dari gas buang sebagai sumber panasnya. Dari hasil uji karakteristik penyemprotan bahan bakar dapat disimpulkan bahwa minyak nyamplung yang telah dilewatkan melalui elemen pemanas memiliki sudut penyemprotan dan pengabutan yang mendekati solar. Dari hasil pengujian pada putaran mesin 1700 rpm elemen pemanas hasil rancangan dapat memanaskan minyak hingga 86.4°C, sedangkan pada saat 2000 rpm suhunya mencapai 108.5°C. Hasil pengujian fungsional elemen pemanas pada motor bakar diesel dan pengukuran suhu elemen pemanas menunjukkan bahwa minyak nyamplung yang telah dipanaskan dapat digunakan sebagai bahan bakar motor diesel dengan tanpa masalah yang berarti.

Kata kunci: elemen pemanas, motor diesel, minyak nyamplung murni

ABSTRACT

*Facing the world energy crisis the Government of Republic of Indonesia has made policy to improve utilization biofuel. One of promising crop having a good potency to be used as straight vegetable oil, SVO for fueling diesel engine is Tamanu (*Calophyllum Inophyllum* L.) where in local language known as nyamplung. Tamanu oil has close characteristics to the diesel fuels, therefore can be used as SVO for diesel engine. However, the viscosity of pure tamanu oil much higher than petroleum diesel fuel, so it is necessary to lower down its viscosity for better atomization in fuel injection to get perfect burning process. This research aim to design fuel system of single cylinder diesel engine for optimum use of SVO Tamanu oil. Four design fuel heater elements were*

manufactured and tested in this research which utilized heat of exhaust gas as its heating energy. The functional test was done by using four stage of purification of tamanu oil namely crude oil, degummed oil, neutralized oil, and degummed neutralized oil. From test result it was revealed that the characteristic of spraying of tamanu oil which have been heated through fuel heater element own spraying angle and atomization coming near diesel fuel. From examination result of heating performance the fuel heater could increase the oil temperature to 108.5°C.

Keywords: fuel heater, diesel engine, pure tamanu oil

PENDAHULUAN

Sejak melambungnya harga minyak bumi pada awal tahun 2000, maka wacana sumber energi alternatif yang berasal dari bahan hayati berkembang sangat pesat. Hampir seluruh negara yang memiliki lahan pertanian berusaha melakukan riset untuk merumuskan kebijakan dan merancang rekayasa teknologi bioenergi. Pemerintah Indonesia juga melakukan hal yang sama, yang diwujudkan dengan Kebijakan Energi Nasional diantaranya dengan menetapkan target produksi biofuel pada tahun 2025 sebesar 5% dari total kebutuhan energi nasional. Beberapa penelitian terdahulu sudah dapat menemukan formula dan komposisi bahan bakar nabati (BBN) seperti biodiesel dan bioetanol dari berbagai sumber bahan baku yang ada di Indonesia. Tetapi pengembangan BBN dalam bentuk biodiesel sebagai substitusi bahan bakar minyak (BBM) solar masih terkendala oleh tingginya harga jual biodiesel, yang disebabkan oleh mahalnya biaya proses pembuatannya.

Pengembangan BBN di Indonesia meskipun secara teknologi sudah tidak menjadi masalah, tetapi ketersediaan bahan baku dan persaingan bahan baku dengan kebutuhan pangan masih harus dicarikan titik temunya. Saat ini BBN lebih banyak dibuat dari bahan baku yang merupakan sumber pangan, seperti dari sawit, nyamplung, singkong, jagung dan sumber karbohidrat lainnya. Sedangkan bahan baku yang non pangan seperti jarak, masih terkendala dengan faktor produktivitas dan persaingan lahan untuk tanaman pangan. Untuk itu perlu dikaji lagi bahan baku dari tanaman yang non pangan atau tanaman yang tidak berkompetisi penggunaan lahannya dengan tanaman pangan.

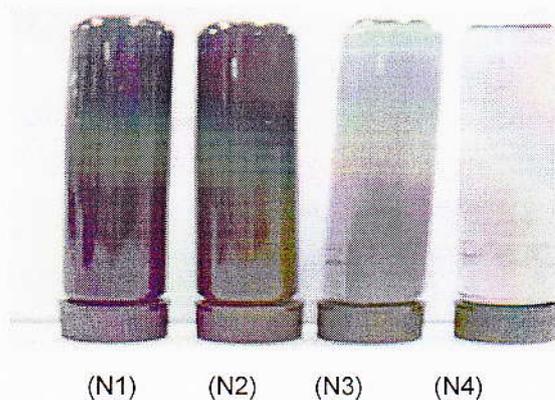
Salah satu tanaman yang mempunyai potensi sebagai bahan baku BBN adalah Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). Tanaman ini cukup potensial karena bukan merupakan tanaman pangan, dan lahan untuk pertumbuhannya bukan merupakan lahan yang cocok untuk tanaman pangan. Tanaman ini sudah dibudidayakan di hutan Indonesia sebagai tanaman penahan angin (*wind breaker*) yang ditanam di daerah marginal di tepi pantai atau lahan-lahan kritis lainnya (Balibang Kehutanan, 2008). Nyamplung mempunyai banyak nama daerah seperti: bintangor, bintol, mentangur, penanga di Sumatra; bunut, nyamplung, bintangur, sulatri, punaga, di Jawa; bataoh, bentangur, butoo, jampelung, jinjit, mahadingan di Kalimantan; betau, bintula di Sulawesi; balitiko, bitaur patuele di Maluku dan bentango, gentangir, mantau, samplong di NTT (Martawijaya *et.al.*, 1981).

Dari sisi teknis, pemanfaatan minyak nyamplung murni sebagai BBN pengganti solar adalah sangat dimungkinkan, karena pada awalnya mesin diesel juga dijalankan

dengan menggunakan minyak nabati yaitu dengan minyak kacang tanah sebagai bahan bakarnya. Namun demikian, kekentalan minyak nyamplung murni jauh lebih tinggi daripada bahan bakar solar, sehingga proses pengabutan dan pembakarannya menjadi kurang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem penyaluran bahan bakar motor diesel bersilinder tunggal agar dapat menggunakan minyak nyamplung murni sebagai bahan bakarnya. Sistem penyaluran bahan bakar yang dikembangkan menggunakan elemen pemanas untuk meningkatkan suhu minyak nyamplung murni sehingga nilai viskositasnya turun mendekati nilai viskositas bahan bakar solar agar didapatkan pengabutan dan pembakaran yang optimal .

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Budidaya Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, FATETA, IPB dalam kurun waktu Juni-September 2010. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak nyamplung yang ekstraksi secara mekanis dan kemudian dibuat menjadi empat tingkat pemurnian, yaitu minyak kasar, minyak hasil degumming, minyak hasil netralisasi dan minyak hasil kombinasi degumming dan netralisasi (Gambar 1). Motor diesel yang digunakan adalah motor diesel silinder tunggal berpendingin air dengan daya/putaran maksimum 8.5 HP/2200 rpm.

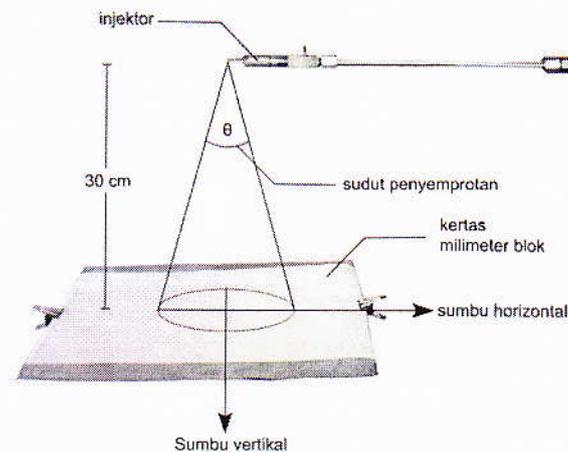


Gambar 1. Foto minyak nyamplung yang digunakan (N1) minyak kasar, (N2) minyak hasil *degumming*, (N3) minyak hasil netralisasi dan (N4) minyak hasil *degumming* dan netralisasi

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rancang bangun yang standar yaitu melalui pendekatan rancangan fungsional dan dan pendekatan rancangan struktural. Pekerjaan rancangan dimulai dengan identifikasi masalah didapatkan berdasarkan hasil karakterisasi bahan bakar minyak nyamplung dan informasi teknis dari

mesin diesel yang digunakan. Dengan pendekatan fungsional maka dirumuskan rancangan yang harus dilakukan agar secara fungsional mesin diesel tersebut dapat beroperasi menggunakan bahan bakar minyak nyamplung secara optimal. Selanjutnya dilakukan pendekatan struktural dan analisis teknik untuk membuat rancangan konstruksi tersebut dengan pemilihan bahan dan ukuran yang sesuai serta membuat gambar kerjanya.

Kegiatan selanjutnya adalah pembuatan prototipe dan dilanjutkan dengan pengujian fungsional dari hasil rancangan tersebut. Pada uji fungsional diamati berapa peningkatan suhu dari minyak nyamplung setelah keluar dari unit pemanas serta waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 100°C dimana kekentalannya sudah mendekati kekentalan bahan bakar solar. Peralatan yang digunakan adalah termokopel dan digital rekorder. Termokopel digunakan untuk mengukur suhu minyak nyamplung sebelum dan sesudah dipanaskan dan ditempatkan pada tiga titik utama yaitu pada input bahan bakar sebelum unit pemanas, posisi output dari unit pemanas dan pada knalpot untuk mengukur suhu gas buang. Uji fungsional yang kedua adalah dengan menganalisa kinerja pengabutan dari injektor setelah minyak nyamplung dipanaskan. Analisa kinerja pengabutan dilakukan dengan mengukur sebaran butiran hasil semprotan dan besaran dari sudut semprot (Gambar 2) dan dibandingkan dengan kondisi pada saat menggunakan BBM solar.



Gambar 2. Uji karakteristik penyemprotan bahan bakar

Bentuk penyemprotan tidak selalu berbentuk lingkaran, sehingga untuk mendapatkan diameter penyemprotan perlu mengacu pada sumbu vertikal dan sumbu horizontal kertas milimeter blok. Kedua sumbu ini menunjukkan panjang hasil penyemprotan yang diukur melalui dua titik penyemprotan terjauh secara vertikal dan horizontal. Diameter penyemprotan merupakan hasil rata-rata dari panjang

penyemprotan di sumbu vertikal dan sumbu horizontal. Berdasarkan data diameter hasil penyemprotan, menurut Suastawa *et.al.* (2006) besarnya sudut penyemprotan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$S_s = 2 \tan^{-1} \left(\frac{0,5 D_s}{T_n} \right)$$

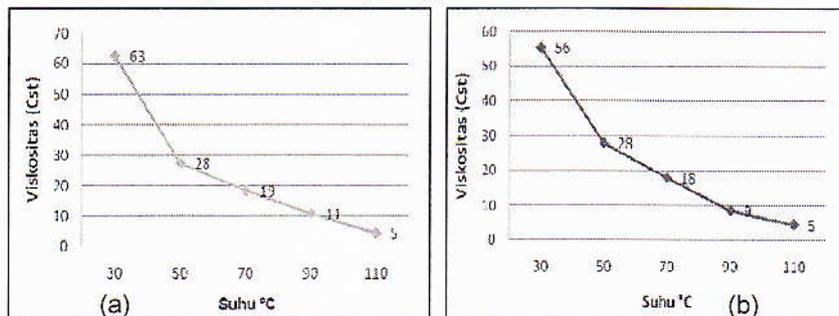
dimana:

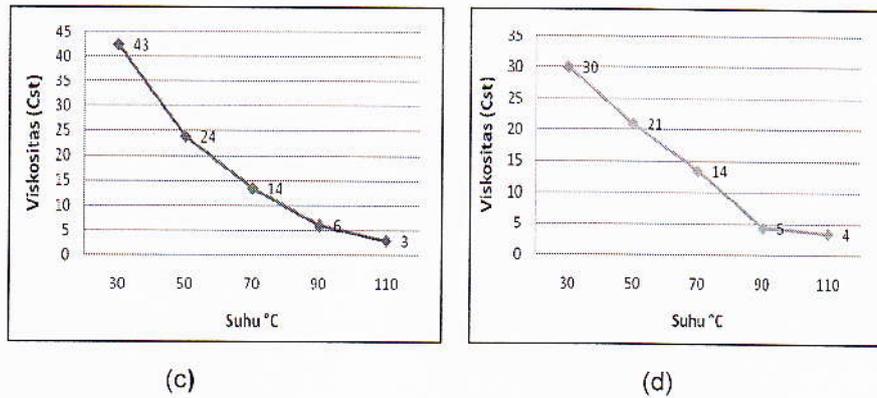
- S_s : Sudut penyemprotan ($^{\circ}$)
- D_s : Diameter penyemprotan (mm)
- T_n : Tinggi *nozzle* (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

KEKENTALAN MINYAK NYAMPLUNG

Nilai viskositas adalah nilai yang menunjukkan kekentalan suatu fluida. Semakin kental fluida maka nilai viskositasnya semakin tinggi, begitu juga sebaliknya semakin rendah kekentalan suatu fluida maka nilai viskositasnya semakin kecil. Pengukuran viskositas minyak nyamplung pada kisaran suhu 30 sampai 110 $^{\circ}$ C dilakukan pada semua jenis perlakuan sebagai dasar untuk perhitungan teknis rancangan elemen pemindah panas. Hasil pengukuran dapat dilihat pada grafik di Gambar 3. Dari hasil pengukuran viskositas ini dapat diketahui bahwa untuk semua tingkat pemurnian minyak nyamplung (N1-N4) setelah dipanaskan hingga 110 $^{\circ}$ C kekentalannya turun menjadi dibawah 5 cSt sehingga sudah memenuhi syarat sebagai bahan bakar motor diesel karena kekentalan standar untuk bahan bakar solar adalah sekitar 3- 6 cSt. Selanjutnya suhu pemanasan tersebut menjadi dasar dalam perancangan elemen pemanas yang dapat memanaskan minyak nyamplung hingga 110 $^{\circ}$ C.



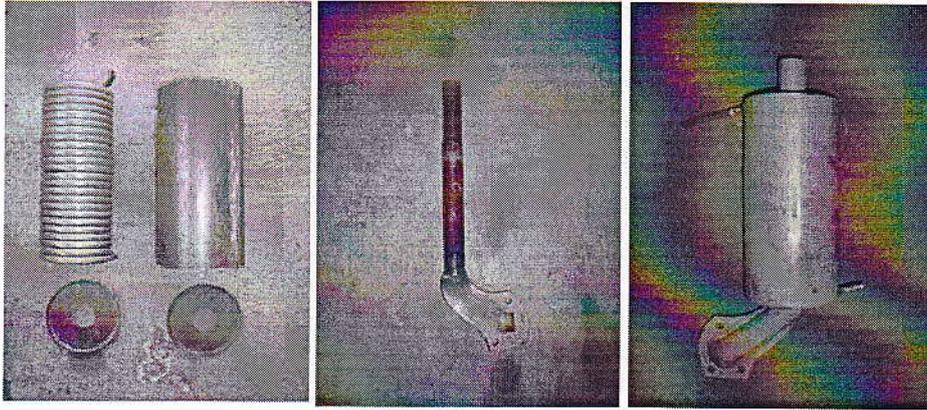


Gambar 3. Grafik pengukuran viskositas minyak nyamplung (a) kasar, N1, (b) *degumming*, N2, (c) netralisasi, N3, (d) *degumming* netralisasi, N4

RANCANG BANGUN ELEMEN PEMANAS BAHAN BAKAR

Elemen pemanas bahan bakar yang dirancang pada penelitian ini tergolong dalam jenis *counter-flow double-pipe heat exchanger*. Elemen pemanas ini berfungsi untuk memanaskan minyak nyamplung hingga mencapai suhu pemanasan optimumnya. Sumber panas dari elemen pemanas ini berasal dari gas buang motor bakar Diesel. Guna memenuhi fungsi utama di atas diperlukan fungsi-fungsi yang dapat menunjang elemen pemanas berjalan dengan baik. Pertama, fungsi penyaluran gas buang untuk masuk dan keluar dari elemen pemanas. Fungsi ini dipenuhi dengan menggunakan pipa yang mengarah ke dalam tabung elemen pemanas dan keluar dari tabung elemen pemanas. Fungsi kedua adalah untuk menampung panas gas buang. Fungsi ini dapat dipenuhi oleh tabung yang dapat menahan panas gas buang sebelum dibuang ke lingkungan. Fungsi ketiga adalah untuk meratakan panas gas buang di dalam tabung. Fungsi ini dapat dipenuhi dengan menggunakan pipa yang seluruh bagian dindingnya dilubangi dan pada bagian tengahnya diberi sekat. Gas buang nantinya akan melalui pipa ini dan tertahan oleh sekat di bagian tengahnya. Karena tertahan oleh sekat, gas buang akan keluar melalui lubang-lubang pada bagian dinding pipa dan menyebar di dalam tabung. Gas buang di dalam tabung akan keluar dari pipa melalui lubang-lubang pada bagian dinding pipa yang mengarah ke luar tabung. Fungsi keempat adalah untuk menyalurkan dan memanaskan minyak nyamplung. Fungsi ini dapat dipenuhi dengan menggunakan pipa yang berada di dalam tabung. Minyak akan mengalir melalui saluran ini secara gravitasi. Pipa ini pun menjadi perantara perpindahan panas secara konduksi dari gas buang di dalam tabung ke minyak nyamplung di dalam pipa. Fungsi kelima

adalah untuk menahan dan mengalirkan minyak. Fungsi ini dapat dipenuhi dengan menggunakan kran. Fungsi keenam adalah untuk menyalurkan minyak nyamplung dari tangki ke dalam elemen pemanas dan dari elemen pemanas ke pompa injeksi. Dalam penelitian ini dihasilkan empat rancangan dengan disain dan dimensi yang berbeda yaitu R1, R2, R3 dan R4. Salah satu prototipe elemen pemanas yang dihasilkan dari diperlihatkan pada Gambar 4.



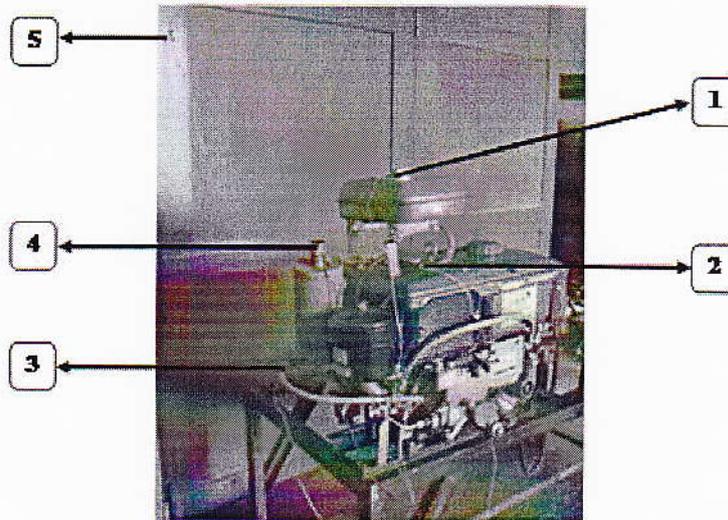
Gambar 4. Prototipe (R4) elemen pemanas bahan bakar

UJI FUNGSIONAL

1. Pengukuran Suhu Minyak Hasil Pemanasan

Pengukuran suhu minyak hasil pemanasan dilakukan untuk mengetahui apakah rancangan elemen pemanas yang dibuat sudah sesuai dengan yang diharapkan, yaitu memanaskan minyak nyamplung hingga 110°C . Pengukuran dilakukan di enam titik. Titik pengukuran pertama yaitu mengukur suhu minyak dalam tangki bahan bakar minyak nyamplung. Titik pengukuran kedua yaitu mengukur suhu minyak nyamplung di pipa saluran bahan bakar sebelum minyak nyamplung masuk elemen pemanas. Titik pengukuran ketiga yaitu mengukur suhu minyak nyamplung setelah keluar dari elemen pemanas. Titik pengukuran keempat yaitu mengukur suhu minyak nyamplung sebelum masuk pompa injeksi. Titik pengukuran kelima yaitu mengukur suhu keluaran gas buang dari motor Diesel (suhu knalpot), dan titik pengukuran keenam mengukur suhu ruangan. Letak titik pengukuran dapat di lihat pada Gambar 5. Pengukuran suhu dilakukan dengan dua perlakuan yang berbeda yaitu pengukuran suhu pada rpm 1700 dan 2000. Dari pengujian awal diperoleh hasil bahwa elemen pemanas rancangan 4 (R4) yang memenuhi syarat untuk pemanasan bahan bakar sampai diatas 100°C . Hasil pengujian pengukuran suhu semua jenis minyak pada R4 dapat dilihat pada Gambar 6. Dari Gambar 6 dapat dilihat nilai suhu minyak maksimum yang

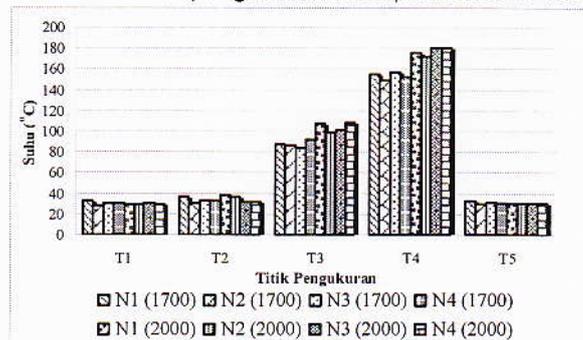
dapat dicapai elemen pemanas adalah hingga suhu 108.5°C, yang mana hal ini berarti kekentalan minyak nyamplung sudah lebih kecil dari 6 cSt sehingga sudah sama dengan kekentalan minyak solar.



Keterangan :

- 1 : Titik pengukuran suhu dalam tangki bahan bakar (T1)
- 2 : Titik pengukuran suhu minyak masuk ke elemen pemanas (T2)
- 3 : Titik pengukuran suhu minyak keluar dari elemen pemanas (T3)
- 4 : Titik pengukuran suhu keluaran knalpot (T4)
- 5 : Titik pengukuran suhu ruangan (T5)

Gambar 5. Titik pengukuran suhu pada motor Diesel



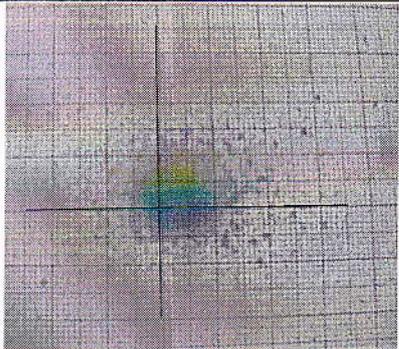
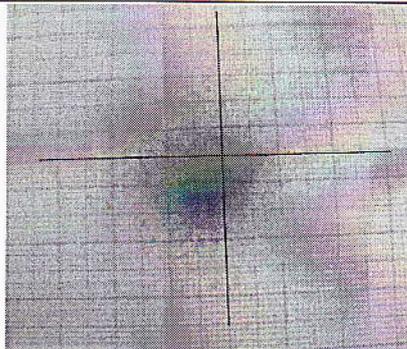
Gambar 6. Grafik hasil pemanasan minyak nyamplung menggunakan elemen pemanas R4 pada putaran mesin 1700 rpm (n_1) dan 2000 rpm (n_2)

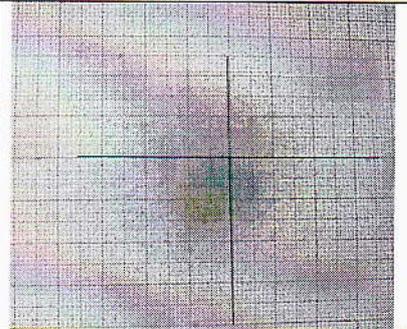
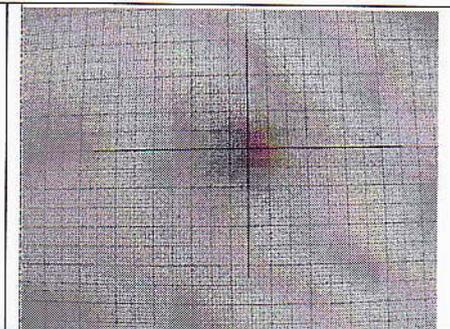
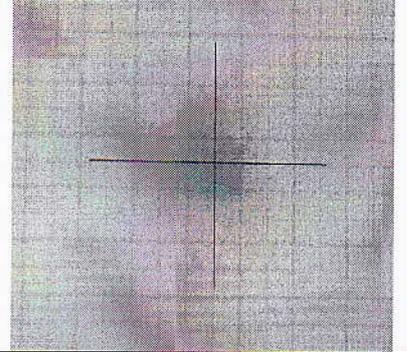
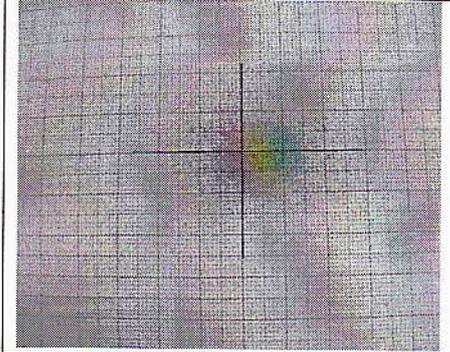
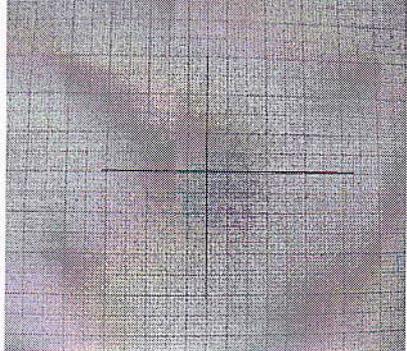
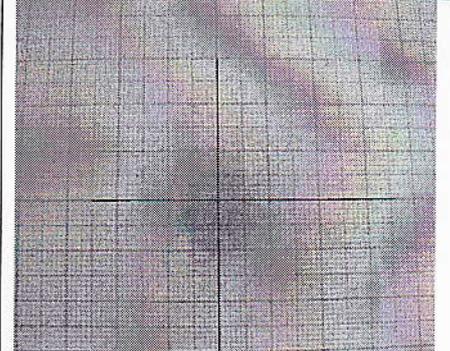
2. Uji Karakteristik Penyemprotan

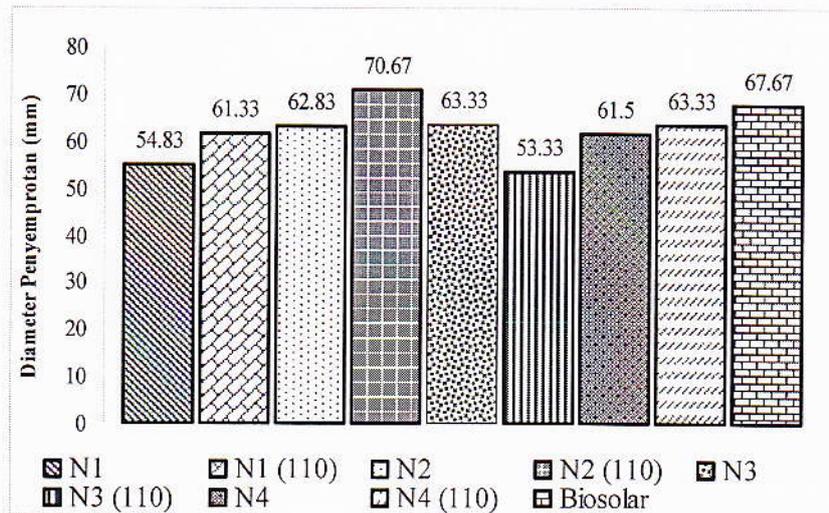
Uji fungsional elemen pemanas yang telah dilakukan adalah uji karakteristik atau pola butiran penyemprotan minyak nyamplung yang telah dilewatkan melalui elemen pemanas dan dilakukan untuk membandingkan hasil penyemprotan dilihat dari segi pola penyemprotan, diameter penyemprotan, dan sudut penyemprotan. Hal ini dilakukan untuk membandingkan hasil penyemprotan minyak nyamplung pada empat tingkat pemurnian dan dibandingkan dengan dan solar. Gambar-gambar pada Tabel 1 memperlihatkan pola penyemprotan dari berbagai minyak nyamplung. Sedangkan diameter dan sudut penyemprotan disajikan pada Gambar 7 dan 8.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan hasil semprotan antara minyak nyamplung dengan solar, baik dengan perlakuan tanpa pemanasan ataupun dengan pemanasan 110°C. Butiran-butiran pengkabutan pada biosolar terlihat lebih halus dan merata, sedangkan butiran-butiran pengkabutan minyak nyamplung cenderung lebih besar dan tidak merata. Pengujian semprotan dilakukan pada semua jenis minyak nyamplung (minyak nyamplung degumming, netralisasi dan degumming netralisasi). Hasil pengukuran memperlihatkan bahwa minyak nyamplung hasil kombinasi degumming dan netralisir yang sudah dipanaskan menunjukkan kinerja semprot yang mendekati minyak solar.

Tabel 1. Gambar pola penyemprotan minyak nyamplung

Minyak	Suhu Minyak	
	Suhu Kamar (26-30 °C)	110 °C
N1		

N2		
N3		
N4		

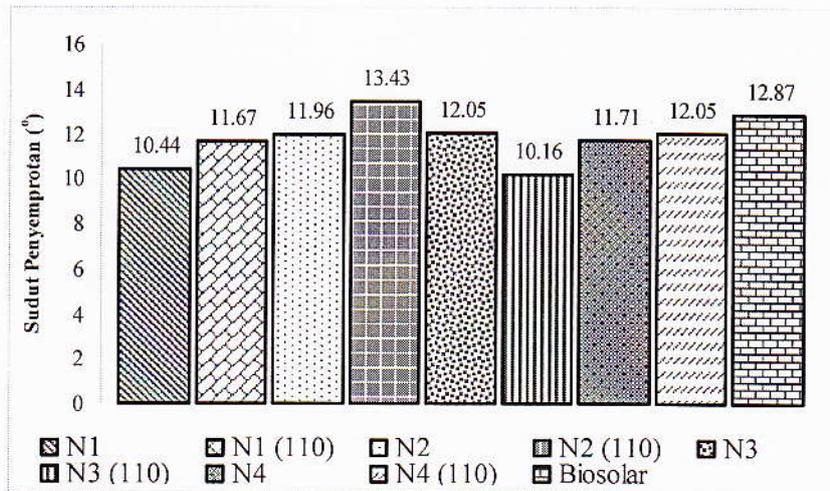


Gambar 7. Diameter penyemprotan bahan bakar

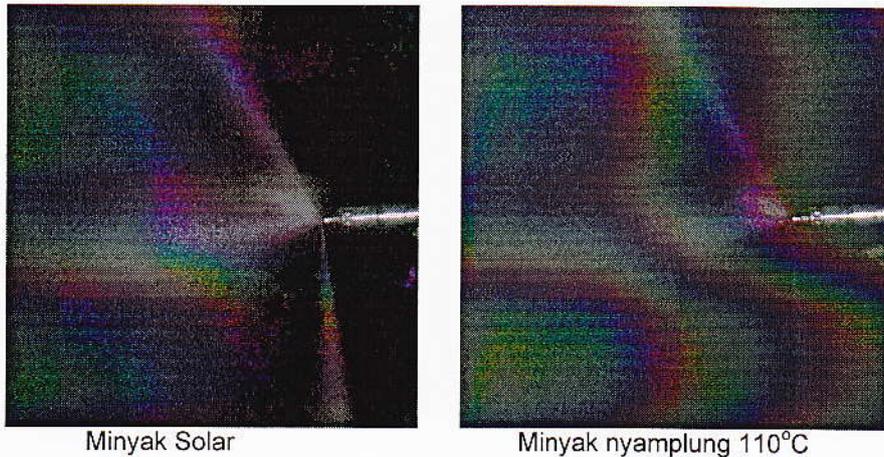
Gambar 7 menunjukkan diameter penyemprotan untuk kelima jenis bahan bakar, yaitu minyak nyamplung *crude* (kasar), *degumming*, netralisasi, *degumming netralisasi* (degnet), dan biosolar. Minyak nyamplung semua jenis perlakuan tanpa pemanasan (suhu ruangan) menghasilkan semprotan dari *nozzle injektor* dengan diameter 54.83 mm, 62.83 mm, 63.33 mm, 61.5 mm. Sedangkan minyak nyamplung hasil pemanasan 110°C menghasilkan diameter penyemprotan sebesar 61.33 mm, 70.67 mm, 53.33 mm, 63.33 mm. Biosolar sebagai bahan bakar utama dari motor diesel memiliki diameter penyemprotan sebesar 67.67 mm. Dari hasil penyemprotan dapat dilihat bahwa ada perubahan diameter penyemprotan ketika minyak nyamplung dipanaskan hingga 110°C. Sebagai contoh minyak nyamplung *crude* (kasar) sebelum dipanaskan diameter semprotannya adalah 54.83 mm, kemudian setelah dipanaskan diameter semprotannya berubah menjadi 61.33 mm lebih besar 6.5 mm, begitu juga untuk minyak nyamplung perlakuan lainnya. Namun secara umum minyak nyamplung hasil pemanasan 110°C mengalami perubahan diameter menjadi lebih besar dibanding pada sebelum dipanaskan dan sudah mendekati diameter semprotan dari biosolar yang merupakan bahan bakar utama motor diesel.

Gambar 8 menunjukkan sudut penyemprotan dari semua jenis bahan bakar minyak nyamplung dan biosolar. Dari Gambar 31 dapat dilihat bahwa diameter penyemprotan bahan bakar mempengaruhi sudut penyemprotannya. Semakin besar diameter penyemprotan maka sudut penyemprotan semakin besar. Dengan asumsi bahwa tinggi penyemprotan sama di tiap pengujian. Sama halnya dengan diameter penyemprotan, minyak nyamplung setelah dipanaskan akan memiliki sudut semprot yang lebih besar

dibanding minyak nyamplung yang tidak dipanaskan. Dikarenakan butiran-butiran pengkabutan minyak nyamplung yang sudah dipanaskan lebih halus dibanding dengan minyak nyamplung tanpa pemanasan. Sebagai contoh, minyak nyamplung *crude* (kasar) sebelum dipanaskan memiliki sudut diameter 10.44°, setelah dipanaskan sudut minyak nyamplung *crude* (kasar) menjadi 11.67°, selisihnya adalah 1.23°. akan tetapi selisih tersebut tidak berlaku sama untuk semua jenis minyak nyamplung. Hasil uji pola penyemprotan juga dilakukan dengan pengambilan foto menggunakan camera dengan kecepatan tinggi untuk melihat perbedaan hasil atomisasi dari injektor pada saat menggunakan bahan bakar solar dan minyak nyamplung seperti yang diperlihatkan pada Gambar 9. Dari Gambar 9 dapat terlihat bahwa pola penyemprotan dan atomisasi dari minyak nyamplung yang sudah dipanaskan sudah mendekati pola penyemprotan yang dihasilkan oleh bahan bakar solar.



Gambar 8. Sudut penyemprotan minyak nyamplung dan biosolar



Gambar 9. Pola penyemprotan (atomisasi) dari injektor

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini telah dihasilkan empat buah elemen pemanas dan rancangan R4 memiliki pemanasan yang optimum dibanding dengan rancangan lainnya. Dari hasil pengujian fungsional elemen pemanas R4 diperoleh rata-rata hasil pemanasan minyak nyamplung N2 adalah 98.6°C dengan nilai pemanasan maksimum mencapai 108.5°C. Dari hasil uji karakteristik penyemprotan bahan bakar dapat disimpulkan bahwa minyak nyamplung yang telah dipanaskan memiliki diameter dan sudut penyemprotan yang mendekati diameter dan sudut penyemprotan dengan minyak solar. Perbedaan pengkabutan minyak nyamplung sebelum dipanaskan dan setelah dipanaskan pada suhu 110°C yaitu sebelum dipanaskan pengkabutan minyak lebih kasar dan tidak merata, sedangkan setelah dipanaskan pengkabutan minyak nyamplung lebih halus dan merata sebagaimana yang dihasilkan minyak solar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terselenggaranya penelitian ini. Makalah ini merupakan bagian dari hasil penelitian yang didanai oleh Program Riset Insentif Terapan Kementerian Negara Riset dan Teknologi tahun anggaran 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, W. dan K. Tsuda. 2008. *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Pradnya Paramita: Jakarta.
- [Balitbang Kehutanan] Balai Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. 2008. *Nyamplung (Calophyllum inophyllum L.) Sumber Energi Biofuel yang Potensial*. Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Cengel, Y. A. 2003. *Heat Transfer, a Practical Approach*. McGraw-Hill: New York.
- Davis, G. L. 1983. *Agricultural and Automotive Diesel Mechanics*. Prentice-Hall, Inc.: New Jersey.
- Dweek, A. C. Dan T. Meadows. 2002. *Tamanu (Calophyllum inophyllum L.) the Africa, Asia Polynesia and Pasific Panacea*. International J. Cos. Sci., 24:1-8.
- Harsokoesoemo, D.1999. *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk)*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Tinggi. Jakarta.
- Ketaren, S. 2005. *Pengantar Teknologi Minyak Dan Lemak Pangan*. UI-Press: Jakarta.
- Liljedahl, J. B., W. M. Carleton, P. K. Turnquist and D. W. Smith. 1989. *Tractor and Their Power Unit*. An Avi Book.