

PENGARUH PUTARAN MESIN DAN PROSENTASE CAMPURAN MINYAK DIESEL DENGAN BAHAN BAKAR BIODIESEL TERHADAP KARATERISTIK MESIN DAN EMISI GAS BUANG

Aris Warsita¹

Abstrak

Persediaan bahan bakar fosil dunia semakin menipis dan pencarian bahan bakar alternatif sudah merupakan kebutuhan yang tidak dapat ditunda lagi, sumber energi lain yang sangat berpotensi untuk dikembangkan antara lain energi matahari, energi angin, energi air, energi nuklir, energi biogas, energi minyak vegetatif dan energi yang lain. Bahan bakar yang berasal dari minyak vegetatif seperti minyak jarak dan minyak sawit sangat luas untuk dikembangkan. Penelitian ini menguji bahan bakar campuran minyak kepala sawit dengan prosentase campuran mulai 10 %, 20 % dan 30 % pada variasi putaran mesin dengan menempatkan mesin pada test bed untuk mendapatkan tenaga mesin, torsi, kebutuhan udara dan bahan bakar serta emisi gas buang yaitu CO dan HC. Dalam penelitian ini didapatkan torsi maksimum 21,4 N-m dan tenaga mesin 2.1 kW terdapat pada putaran mesin 1000 rpm dengan campuran bahan bakar 30 % dengan sudut injeksi 14,6^o BTDC. Kebutuhan maksimum bahan bakar 1001,75 gr/kW.hr pada 30 % dengan sudut injeksi 14,6^o BTDC. Penurunan gas hidrokarbon dan monoksida adalah 20 ppm dan 0,03 % pada campuran 30 % dengan putaran mesin 1000 rpm. Tenaga optimum dan emisi minimum didapatkan pada putaran 1000 rpm dan sudut injeksi 14,6^o.

Kata Kunci : biodiesel, emisi, tenaga, torsi, campuran dan putaran.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim global yang disebabkan oleh emisi CO₂ saat ini diperdebatkan diseluruh dunia, sumber energi hijau yang sedang dicari sebagai alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, kegiatan penelitian pada sumber-sumber energi terbarukan yang mendapatkan perhatian lebih penting. Bahan bakar fosil memberikan kontribusi ke bagian utama dari total konsumsi energi primer dunia. Menurut laporan World Energy Assessment, 80 % dari konsumsi energi primer dunia inidisumbangkan oleh bahan bakar fosil, 14 % oleh energi terbarukan (dari boimass menyumbang 9,5 % dan 6 % oleh sumber energi nuklir (**Rogner, Popescu, 2000 di Devi et al, 2003**))

Murayama, T., dkk (2000) melaporkan bahwa pengujian mesin dengan campuran bahan bakar minyak vegetatif dan diesel dihasilkan efisiensi dan daya mesin lebih besar dibandingkan dengan minyak diesel, suhu gas buang lebih rendah 2 %. Nilai kalor rata-rata

¹ Jurusan Teknik Mesin - Sekolah Tinggi teknologi Nasional Yogyakarta

bahan bakar vegetatif lebih rendah 2 %, akan tetapi angka cetana yang jauh lebih tinggi menghasilkan keterlambatan penyalaan yang lebih pendek. Keterlambatan penyalaan yang lebih pendek (*ignition delay*) berdampak pada daya yang dihasilkan besar dan efektif, maka menghasilkan daya yang optimum.

Altin, dkk (2000) hasil penelitian yang dilakukan minyak vegetatif dicampur dengan bahan bakar diesel didapatkan angka viscositas tinggikan suhu mesin rendah dan ini diyakini efisiensi mesin meningkat. Namun viscositas yang tinggi pada bahan bakar ini membuat kerja mesin lebih berat.

Pemakaian bahan bakar campuran ini dipergunakan pada pesawat terbang telah dilakukan oleh **Kavouras, dkk. (2000)**. Pada penelitian mengunkan campuaran B20 dan B30 didapatkan nilai kalor turun masing-masing 2 % dan 3 %, dengan penurunan nilai kalor yang kecil tidak berpengaruh terhadap unjuk kerja mesin pesawat. Oleh karena itu bahan bakar ini baik sebagai pengganti dan mempunyai keuntungan bahwa emisi gas buang lebih rendah 10 % cocok dipergunakan pada turbin gas dan tidak berpengaruh terhadap atmosfer.

Krishna, C.R., (2002) melakukan penelitian bahan bakar campuran B20 dihasilkan emisi gas buang paling rendah dengan membuat berbagai macam campuran udara. Ini diyakini efisiensi mesin efektif terbukti dengan suhu gas buang rendah dampak dari angka cetana yang mempunyai bahan bakar ini tinggi namun angka viscositas yang tinggi berdampak pada kerja pompa mesin.

Jelaga adalah bahan partikel karbon terbentuk secara acak dengan ukuran kasar, halus dan koloid dalam proporsi tergantung pada pembentuknya. Jelaga terdiri dari jumlah variabel padatan karbon dan anorganik bersama-sama dengan tar diserap bersama resin dan dapat menimbulkan macet (**McNaught dan Wilkinson, 1997**). Hal ini diasumsikan bahwa jelaga dibentuk oleh agregasi dari jelaga-prekursor, yang pada gilirannya mereka dibentuk oleh polimerisasi tar.

Environment Protection Agency (EPA) lembaga lingkungan hidup Amerika melakukan kajian jurnal lebih dari 80 jurnal dan 30 jurnal hasil kajian dapat disimpulkan bahwa penurunan (%) emisi polutan pada mesin dengan campuran bahan bakar biodiesel. Bahan bakar yang diteliti B0, B50, dan B100 dihasilkan emisi (Nox : 0 %, 2 %, dan 10 %), (PM : 0 %, -10 %, dan -47 %), (CO : 0 %, -11 %, dan -48 %), dan (HC : 0 %, -21 %, dan -67 %)

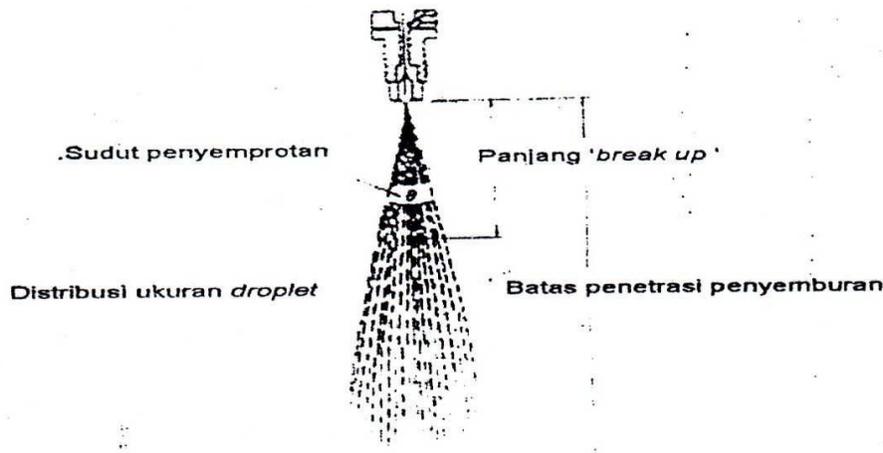
Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif mempunyai angka cetana yang rata-rata lebih tinggi dibandingkan bahan bakar yang berasal dari solar. Bahan bakar ini diharapkan menghasilkan unjuk kerja mesin tinggi sekaligus emisi gas buang yang rendah. Indikasi tersebut yang diharapkan sehingga bahan bakar biodiesel layak sebagai bahan bakar

alternatif, disamping diharapkan mesin awet dengan konsumsi bahan bakar yang hemat. Tujuan lain adalah untuk mengetahui pengaruh prosentase campuran biodiesel terhadap unjuk kerja mesin dan emisi gas buang, serta pada putaran mesin berapa paling efektif dan konsumsi bahan bakar paling hemat.

LANDASAN TEORI

Pembakaran Pada Mesin Diesel

Pembakaran terjadi bila dapatnya dipenuhi tiga unsur pembakaran yaitu : Oksigen (O_2) didalam udara, bahan bakar, dan api sebagai awal pembakaran. Didalam pompa bahan bakar didapatkan tekanan yang tinggi dan dialirkan dalam ruang bakar menggunakan nozle pengabut bahan bakar sehingga terjadi atomisasi bahan bakar pada ruang bakar sekaligus bercampur dengan udara bertekanan dan didapatkan campuran udara dan bahan bakar stokiometris. Udara bertekanan dan bersuhu nyala diruang bakar dan bahan bakar dalam bentuk atomisasi maka, mulailah terjadi pembakaran.



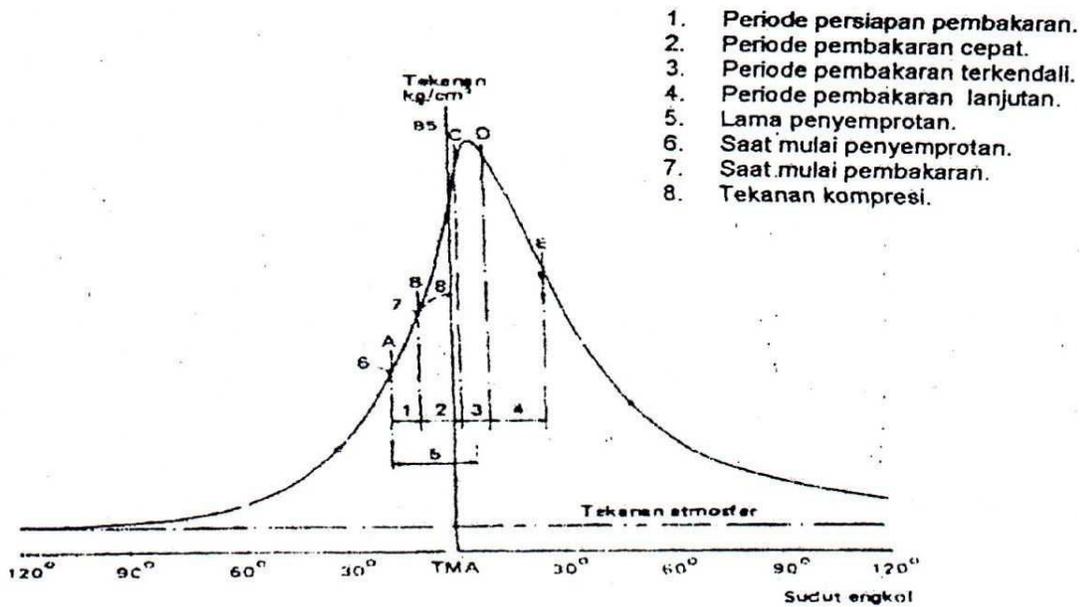
Gambar 1 : Pengabutan Bahan Bakar Dengan Nozle

Semprotan bahan bakar dalam bentuk partikel-partikel tersebut berdampak pada semakin meluasnya permukaan, mempercepat penguapan dan mempermudah terjadinya pembakaran. Penyemprotan seperti pada gambar diatas bahwa panjang "break up" daerah dimana bahan bakar masih pada kondisi belum berpisah tetapi bertekanan tinggi, sedangkan batas penetrasi peyemburan adalah jarak bahan bakar mulai keluar nosel sampai pada akhir terjadinya pengkabutan.

Pembakaran beralngasung pada permukaan bagian yang terpanas dan berlanjut terus tergantung pada temperatur udara sekitar yang terkompresi, perambatan penyalaan, kondisi gas-gas sekitar dan sumber penyalaan (**Borman dan Ragland, 1998**)

Proses pembakaran didalam ruang bakar berlangsung secara berangsur-angsur dimana proses pembakaran awal dengan temperatur rendah dan laju pembakaran akan berlangsung cepat pada suhu tinggi. Setelah terjadi penyalaan maka, akan diikuti dengan pembakaran spontan dan tak terkendali, nyala api dengan sendirinya akan bergerak menuju partikel-partikel dari bahan bakar yang diinjeksikan sehingga kecepatan selanjutnya dikendalikan oleh kecepatan injeksi bahan bakar (**Hardjono, 2001**)

Pentemprotan bahan bakar dimulai sebelum TMA (BTDC), dan periode pembakaran ditunjukkan oleh gambar angka 1,2,3,4 sementara angka 5 menunjukkan lama penyemprotan, angka 6 adalah saat mulai penyemprotan, angka 7 adalah mulai pembakaran, serta garis putus-putus menuju angka 8 menunjukkan tekanan kompresi tanpa pembakaran pada tekanan torak pada TMA seperti ditunjukkan dalam gambar.



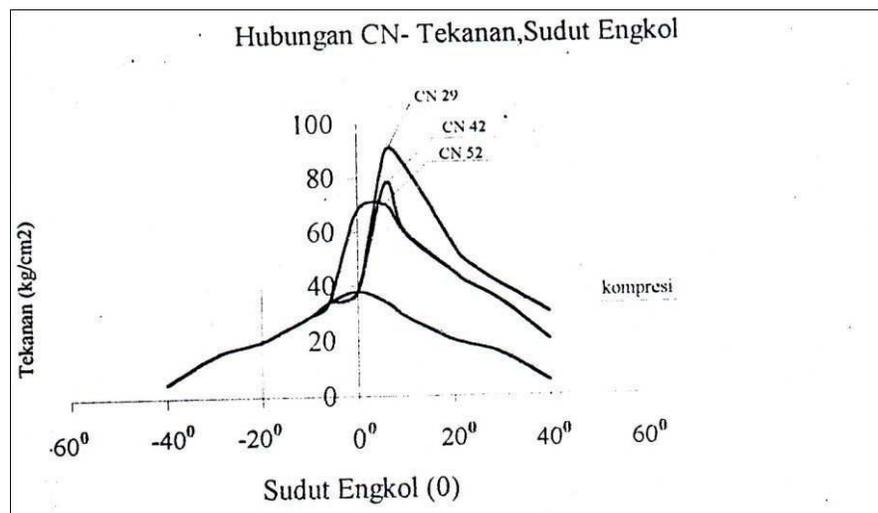
Gambar 2 : Grafik Hubungan Antara Tekanan Dan Sudut Engkol

Jika terdapat partikkel bahan bakar yang masuk kedalam silinder menyatu membentuk suatu butiran yang lebih besar dan tidak terbakar maka akan menyebabkan gangguan pencampuran udara dan akan keluar dalam bentuk karbon-karbon padat (jelaga) yang berwarna hitam dan mengotori udara. Ini dikarenakan pembakaran yang terjadi tidak

sempurna, sehingga partikel-partikel bentuk. Asap adalah partikel dari zat karbon yang keluar dari saluran buang karena pembakaran tidak sempurna dari bahan-bahan karbon (**Trommel, 1991**)

Angka Setana Pada Bahan Bakar

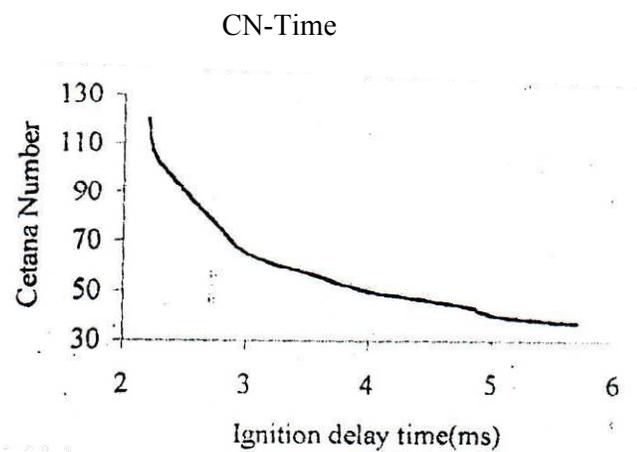
Pengaruh angka setana terhadap tekanan yang dihasilkan akan ditunjukkan pada grafik dibawah ini. Pada grafik dibawah ini ditunjukkan tiga macam bahan bakar dengan angka setana : CN 29, CN 42, dan CN 52 dengan memposisikan saat injeksi pada sudut yang sama. Semakin tinggi angka setana bahan bakar maka, akan menghasilkan tekanan maksimum yang lebih rendah bila dibandingkan bahan bakar yang mempunyai angka setana rendah. Ini disebabkan pada angka setana yang rendah terjadi ledakkan diikuti detonasi sehingga menghasilkan tekanan yang tinggi pada silinder. Pada gambar 3 bahan bakar dengan angka setana 52 hanya menghasilkan tekanan 70 kg/cm², sedangkan bahan bakar yang mempunyai angka setana 29 menghasilkan tekanan 90 kg/cm². angka setana yang diharapkan pada mesin diesel tinggi, yang akan menghasilkan laju kenaikan tekanan tidak terlalu besar, dan periode keterlambatan penyalaan pendek. Jika kenaikan tekanan pada ruang bakar besar dan cepat akan menimbulkan getaran mesin yang besar berdampak pada ketidaknyamanan dan juga keawetanmesin (**Borman dan Ragland, 1998**)



Gambar 3 : Pengaruh Angka Setana Terhadap Tekanan Pada Ruang Bakar

Angka setana yang terdapat pada bahan bakar biodiesel tinggi akan menghasilkan waktu penyalaan pendek (*ignitio delay time*), diharapkan mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel akan bekerja halus dan efisiensi unjuk kerja tinggi. Dengan bahan bakar biodiesel operasi mesin sangat halus ini diakibatkan angka setana tinggi yang menghasilkan laju kenaikan tekanan optimum dan ini diyakini mesin akan bekerja dengan efektif.

Angka setana yang didapatkan pada biodiesel ternyata lebih tinggi dari bahan bakar solar. Angka setana yang berlaku di Indonesia untuk solar 54 dan 62 biodiesel dengan bahan baku minyak sawit, 51 jarak pagar dan 62,7 untuk minyak kelapa (Soerawidjaja, 2003) pada keadaan ini biodiesel berpeluang baik sebagai bahan bakar pengganti maupun potensi pengembangan biodiesel di Indonesia.



Gambar 4 : Perbandingan Angka Setana Dengan Kecepatan Penyalaan

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi angka setana yang dimiliki bahan bakar akan mempunyai nilai waktu pembakaran yang pendek, ini dimiliki oleh bahan bakar biodiesel.

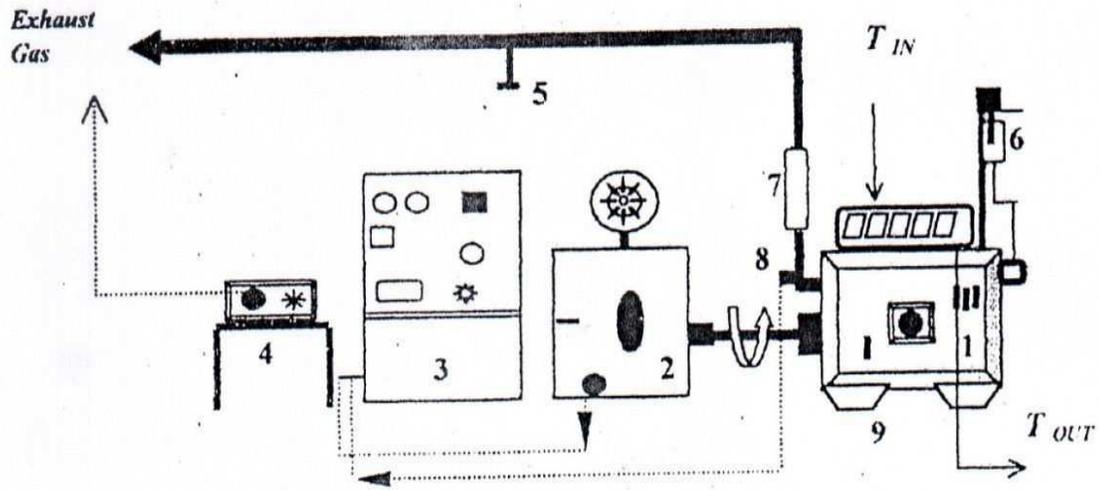
METODOLOGI PENELITIAN

Bahan bakar dalam penelitian adalah minyak solar dan juga minyak biodiesel (palm oil), selanjutnya dilakukan variasi campuran B0, B10, B20, dan B30. Variasi campuran bahan bakar dilakukan pengujian untuk mendapatkan angka viskositas, titik nyala pembakaran, berat jenis, angka setana, dan nilai kalor.

Spesifikasi mesin diesel yang dipergunakan adalah : Kiki Diesel dengan type mesin 4 tak, pendingin air, 1 silinder, panjang langkah 76,2 mm, diameter silinder 83,4 mm, dan

perbandingan kompresi 20,84 : 1. Putaran mesin dapat divariasikan mulai dari 1000 rpm sampai maksimal 2200 rpm.

Skema susunan komponen penelitian dengan mesin diesel, mesin ditempatkan pada test bed dan bagian peralatan yang akan diketahui perubahan dipasang alat-alat ukur seperti terdapat pada Gambar 5.



Gambar 5 : Instalasi Pengujian Bahan Bakar Biodiesel

Keterangan gambar :

1. Unit mesin diesel 1 silinder
2. Dinamometer
3. Monitor Putaran mesin dan gas buang
4. Monitor emisi
5. Monitor kepekatan
6. Tangki bahan bakar
7. Peredam udara
8. Thermokopel
9. Fin silinder

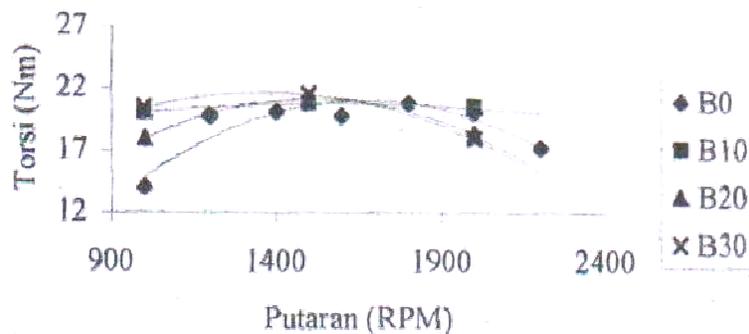
Parameter pengujian yang dilakukan adalah : variasi putaran dari 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, dan 2200 (rpm) dengan campuran bahan bakar B0, B10, B20, dan B30 terhadap saat injeksi dari 19^0 , $16,3^0$ dan $14,6^0$. Setiap perubahan pengujian parameter campuran, putaran dan saat injeksi dilakukan pencatatan : torsi mesin, daya mesin, kasitas

udara masuk, tekanan efektif rata-rata pengereman, prosentase karbon monoksida, nilai hidrokarbon, prosentase kepekatan asap, suhu air pendingin, dan kebutuhan bahan bakar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian mesin didapatkan harga-harga pengaruh saat injeksi, pengaruh campuran dan pengaruh putaran sehingga didapatkan harga-harga untuk menentukan unjuk kerja mesin dan emisi gas buang. Dengan menggunakan metode analisis multivarian dua jalur yaitu adalah pengujian hipotesisi melalui teknik analisis varian dengan dua variabel. Variabel tetap ditampilkan dalam tiga pengaruh variabel bebas (putaran mesin, campuran bahan bakar dan sudut saat injeksi). Dari tiga variabel bebas tersebut disusun menjadi tiga matrik variabel bebas. Jadi analisis multivarian dua jalur adalah suatu teknik analisis dengan satu variabel tetap dan dua variabel bebas.

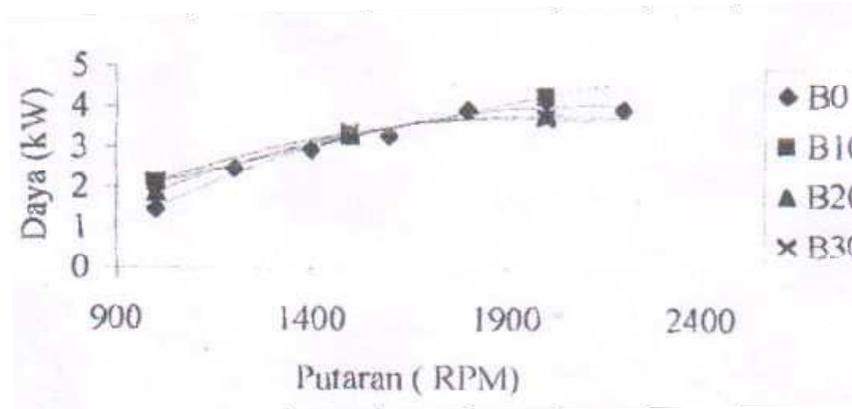
Hasil analisis multivarian dapat dijadikan landasan dasar menarik kesimpulan pengaruh tiga variabel bebas (putaran mesin, campuran bahan bakar, dan sudut saat injeksi) tersebut untuk menentukan unjuk kerja mesin dan emisi gas buang. Harga-harga tersebut ditampilkan dalam bentuk diagram gambar 6.



Gambar 6. Grafik Hubungan Torsi-Rpm Untuk Berbagai Campuran Bahan Bakar pada Saat Injeksi $14,6^{\circ}$ BTDC.

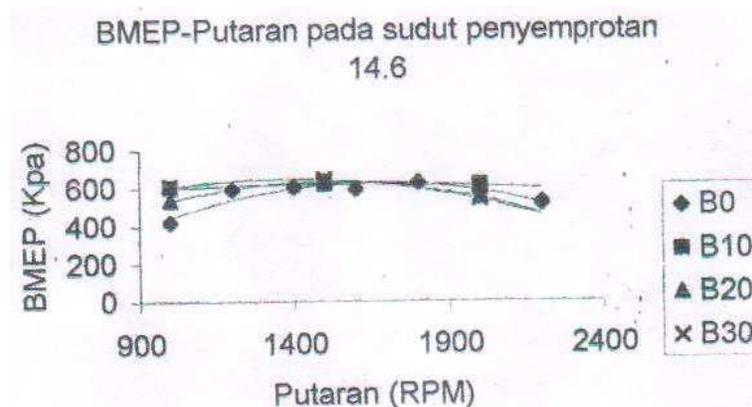
Pada gambar 6 terlihat bahwa torsi maksimum 21,48 Nm didapatkan pada campuran B30 dan putaran mesin 1500 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran paling besar menghasilkan torsi maksimum dan sudut yang paling kecil. Hal ini disebabkan angka cetana bahan bakar biodiesel yang tinggi dapat mempercepat kecepatan pembakaran. Disamping itu,

dengan putaran mesin yang sedang saja sudah dapat dihasilkan torsi mesin yang cukup tinggi, seperti hasil yang dapat dilihat pada Gambar 7.



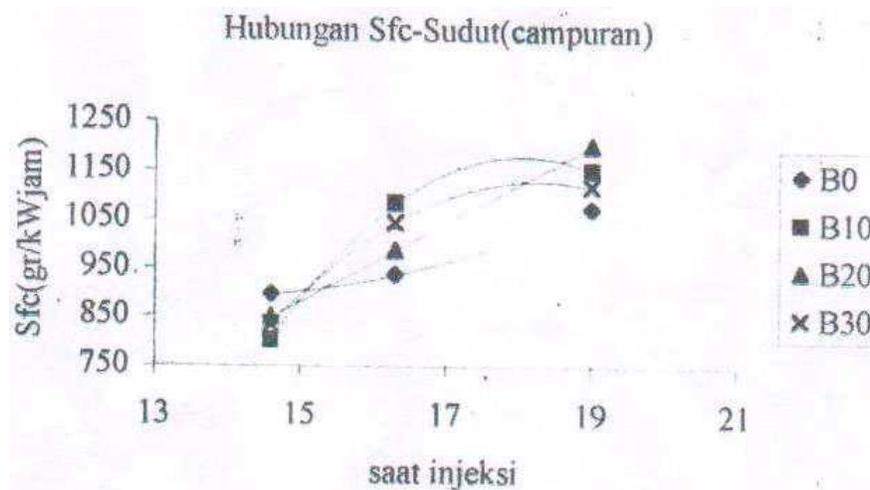
Gambar 7. Grafik Hubungan Daya-Rpm Untuk Berbagai Campuran Bahan Bakar pada Saat Injeksi $14,6^{\circ}$ BTDC.

Pada gambar 7 terlihat bahwa daya maksimum 4,27 kW didapatkan pada saat injeksi $14,6^{\circ}$ BTDC dan putaran mesin 1500 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut paling efektif untuk menghasilkan daya maksimum adalah sudut yang paling kecil. Hal ini dapat diyakini bahwa angka cetana bahan bakar biodiesel yang tinggi sangat berpengaruh kecepatan pembakaran tinggi dan juga ternyata hanya membutuhkan putaran mesin yang sedang, untuk menghasilkan daya yang tinggi.



Gambar 8. Grafik hubungan BMEP-Rpm untuk Berbagai Campuran Bahan Bakar pada Saat Injeksi $14,6^{\circ}$ BTDC.

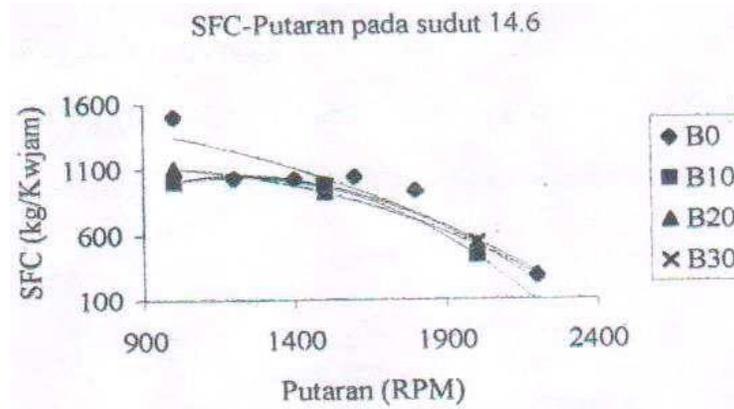
Pada gambar 8 terlihat bahwa BMEP maksimum 640,83 Kpa didapatkan pada saat injeksi $14,6^0$ BTDC dan putaran mesin 1500 rpm dengan campuran bahan bakar B30. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut paling efektif untuk menghasilkan BMEP maksimum adalah sudut yang paling kecil ini dapat diyakini bahwa angka cetana bahan bakar biodiesel yang tinggi sangat berpengaruh kecepatan pembakaran tinggi, juga kenaikan kecepatan tekanan dalam ruang dan ternyata hanya membutuhkan putaran mesin yang sedang untuk menghasilkan BMEP yang tinggi.



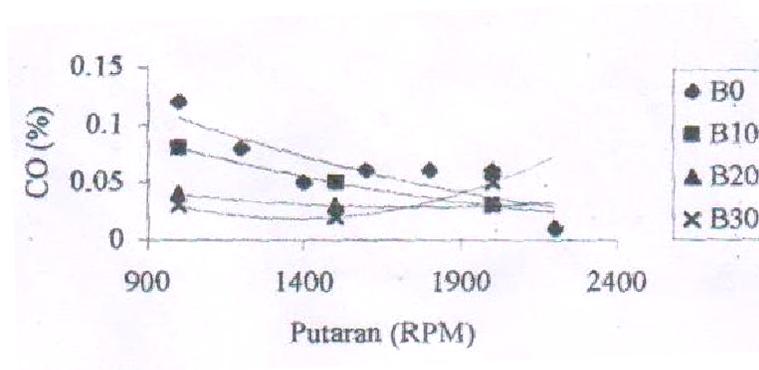
Gambar 9. Grafik Hubungan Sfc-Campuran Bahan Bakar dengan Saat Injeksi.

Pada gambar 9 terlihat bahwa Sfc maksimum 820 gr/kWjam didapatkan pada saat injeksi $14,6^0$ BTDC dan campuran bahan bakar B10. Hasil ini menunjukkan bahwa kebutuhan bahan bakar paling tinggi pada campuran minyak biodiesel paling sedikit ini merupakan dampak dari prosentase campuran yang rendah sehingga pada saat yang bersamaan dibutuhkan bahan bakar yang lebih banyak.

Pada gambar 10 terlihat bahwa SFC terendah 1001,71 kg/kWjam dengan sudut saat injeksi $14,6^0$ BTDC putaran mesin 1000 rpm dengan campuran B30. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut paling efektif untuk menghasilkan SFC terendah adalah sudut yang paling kecil ini dapat diyakini bahwa angka cetana bahan bakar biodiesel yang tinggi sangat berpengaruh kecepatan pembakaran tinggi dan juga ternyata hanya membutuhkan putaran mesin rendah, sehingga dibutuhkan bahan bakar paling sedikit.

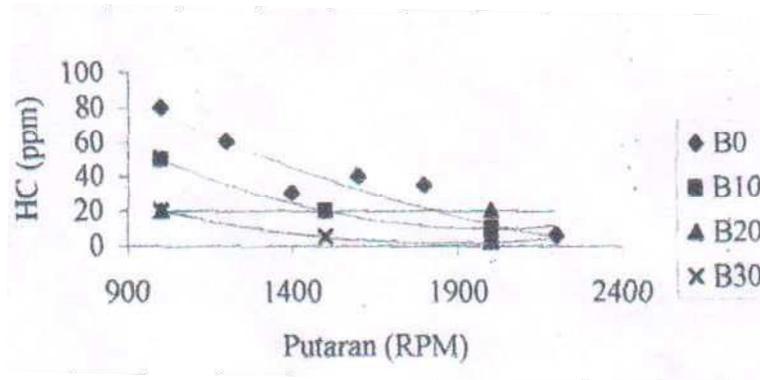


Gambar 10. Grafik Hubungan SFC-Rpm untuk Berbagai Campuran Bahan Bakar pada Saat Injeksi $14,6^{\circ}$ BTDC.



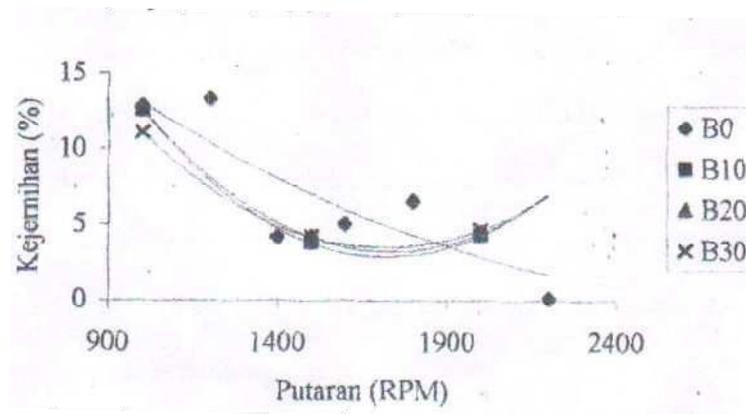
Gambar 11. Grafik hubungan CO-Rpm untuk Berbagai Campuran Bahan Bakar pada Saat Injeksi $14,6^{\circ}$ BTDC.

Pada gambar 11 terlihat bahwa CO yang dihasilkan 0,03 % didapatkan pada B30 dan putaran mesin 1000 rpm, dan ternyata hasil tersebut lebih kecil -75 % bila dibandingkan dengan kondisi yang sama pada bahan bakar B0. Hasil ini menunjukan bahwa sudut paling efektif untuk menghasilkan daya maksimum adalah sudut yang paling kecil ini dapat diyakini bahwa angka cetana pada bahan bakar biodiesel yang tinggi sangat berpengaruh emisi CO rendah yang dihasilkan.



Gambar 12. Grafik Hubungan HC - Putaran untuk Berbagai Campuran Bahan Bakar pada Saat Injeksi $14,6^0$ BTDC.

Pada gambar 12 terlihat bahwa HC terendah 15 ppm pada saat injeksi $14,6^0$ BTDC dan putaran mesin 2200 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut paling efektif untuk menghasilkan HC terendah adalah sudut yang paling kecil ini dapat diyakini bahwa angka cetana bahan bakar biodiesel yang tinggi sangat berpengaruh kecepatan pembakaran tinggi dan juga ternyata dengan putaran mesin yang tinggi dihasilkan HC terendah.



Gambar 13. Grafik Hubungan Kejernihan-Putaran untuk Berbagai Campuran Bahan Bakar pada Saat Injeksi $14,6^0$ BTDC.

Pada gambar 13 terlihat bahwa kejernihan (opacity) 11,1 % didapatkan pada saat injeksi $14,6^0$ BTDC, putaran mesin 1000 rpm. Hasil ini menunjukkan bahwa sudut paling efektif untuk menghasilkan kejernihan paling rendah adalah sudut yang paling kecil ini dapat diyakini bahwa angka cetana bahan bakar biodiesel yang tinggi sangat berpengaruh

kecepatan pembakaran tinggi dan juga ternyata hanya membutuhkan putaran mesin paling rendah, dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa campuran dengan konsentrasi paling tinggi dihasilkan pembakaran cepat dan sempurna sehingga dihasilkan kejernihan yang tinggi.

KESIMPULAN

Karakteristik unjuk kerja mesin meningkat dengan bertambahnya prosentase campuran bahan bakar biodiesel. Torsi maksimum yang dihasilkan sebesar 20,21 Nm pada campuran B30 dan terendah didapatkan sebesar 13,96 Nm pada campuran B0 untuk putaran mesin 1000 rpm. Daya mesin tertinggi sebesar 2,13 kW pada campuran B30 dan terendah sebesar 1,46 Kw pada campuran B0 untuk putaran mesin 1000 rpm. BMEP tertinggi sebesar 608,21 kPa pada campuran B30 dan terendah 416,6 kPa pada campuran B0, sedangkan Sfc terendah sebesar 110,75 gr/kW. jam pada campuran B10 dan tertinggi sebesar 1498,13 gr/kW. jam pada putaran 1000 rpm pada campuran B0.

Emisi gas buang menurun dengan bertambahnya prosentase campuran biodiesel. Co terendah 0,03 (%) pada campuran B30 dan tertinggi 0,12 (%) pada putaran 1000 rpm pada campuran B0, HC terendah 20 ppm campuran B30 dan tertinggi 80 ppm campuran B0 pada putaran 1000 rpm dan untuk kejenuhan asap terendah 11,1 (%) pada campuran B30 dan tertinggi 12,81 (%) pada putaran 1000 rpm pada campuran B0.

Saat injeksi untuk berbagai macam campuran bahan bakar biodiesel paling tinggi 14,6⁰ BTDC. Unjuk kerja mesin semakin meningkat dengan daya yang dihasilkan, tekanan rata-rata pada ruang bakar disertai konsumsi bahan bakar turun, CO, HC, dan kejernihan jelaga.

SARAN

Pengujian biodiesel sampai prosentase 100 % penting dilakukan, karena pada penelitian ini belum dilakukan dikarenakan banyaknya keterbatasan. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan kecenderungan semakin tinggi campuran yang bahan bakar biodiesel menghasilkan unjuk kerja yang tinggi dan emisi gas buang yang rendah,

Saat injeksi lebih 14,6⁰ BTDC penting dilakukan, karena bahan bakar biodiesel ini mempunyai kandungan angka setana yang rata-rata tinggi bila dibandingkan bahan bakar yang berasal dari fosil. Seperti pada keterangan terdahulu telah dijelaskan bahwa harga setana tinggi akan berpengaruh pada cepat lambatnya bahan bakar habis terbakar, sehingga akan didapat suhu mesin yang rendah, unjuk kerja mesin tinggi dan emisi gas buang rendah.

Dari hasil yang didapatkan ada kecenderungan bahwa pada sudut maksimum pengujian yaitu $14,6^{\circ}$ BTDC didapatkan unjuk kerja mesin dan emisi gas buang rendah, untuk itu penting dilakukan pengujian dengan sudut injeksi yang lebih kecil lagi

REFERENSI

- Altin, R., Cetinkaya, S., Yecesu S., 2000, The Potensial of Using Vegetable Oil Fuels for Diesel Engines.
- Amin, S, dkk, 2003, Membandingkan Emisi Gas Buang Bahan Bakar Solar dan Biodiesel, P3T Agroindustri-BPPT, Balai Rekayasa Desain dan Sistem Teknologi-BPPT.
- Borman, G.L., and Rayland, K.W., 1998, Combustion Engineering. Mc Graw-Hill Internasional Editions.
- Hardjono, A., 2001, Teknologi Minyak Bumi, Gajah Mada University Press, Cetakan pertama, Yogyakarta.
- Heywood, B. J., 1989, Internal Combustion Engine Fundamentals. Mc-Graw Hill Book Company.
- Juniartini, A., 1996, Pemanfaatan Asam Lemak dari Minyak Goreng Bekas Sebagai Bahan Bakar.
- Kavouras, I., 2002, Chemical Characterization of Emisi for Vegetable Oil Processing and the Contribution to Aerosol Mass Using The Organic Molecular Makers Approach.
- Krishna, C.R., and Mc Donald, R. J., 2003, Combustion Testing of a Biodiesel Fuel Blend.
- Mallev, 1986, Konstruksi Operasi, Pemeliharaan, Perbaikan Mesin Diesel, Pradya Paramita, Jakarta.
- Munandar, A. W., dan Tsuda, K., 1987, Motor diesel Putaran Tinggi. Padya Paramita. Jakarta.
- Murayama, T., : Fuji Wara, Y : Noto, T., 2002, Evaluating Waste Vegetable Oil As a Diesel Fuel.
- Obet, F. E., 1973, Internal Combustion Engines and Air Pollution , Harpen & Row Publishers, New York, San Francisco, London, Third Edition.
- Soerawidjaja, T. H., 2003, Standar Tentatif Biodiesel Indonesia dan Metode-Metode Pengujiannya, Disampaikan dalam diskusi Forum Biodiesel Indonesia, Bandung, (11 Desember 2003).
- Soerawidjaja, T. H., 2003, Biodiesel Dari Minyak Lemak Nabati : Implikasi-Implikasi Teknologi, Lingkungan, dan Ekonomi.

Trommel, M. J., 1991, Prinsip-Prinsip Mesin Diesel Untuk Otomotif, PT. Roda Jaya Putra, Jakarta.

Wang, Chaohuan, 1999, Studies of Thermal Polymerization of Oils With a Differential Scanning Calori Meter.

PENULIS:

ARIS WARSITA

Email: aris_warsita1@yahoo.com

Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta