

**SIMULASI UJI PERFORMANCE
PADA MOTOR DIESEL INJEKSI LANGSUNG (1 SILINDER) 677 CC
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR DUAL FUEL (DIESEL - SEKAM PADI)**

A.Praptijanto, W.B.Santoso, Y. Putrasari

Laboratorium Motor Bakar Puslit Telimek
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Jl Sangkuriang Komplek LIPI Gd 20 Bandung 40135
Telp (022) 2503055 ext 1412
E-mail : achm023@lipi.go.id , cak.yanto@gmail.com

Abstrak

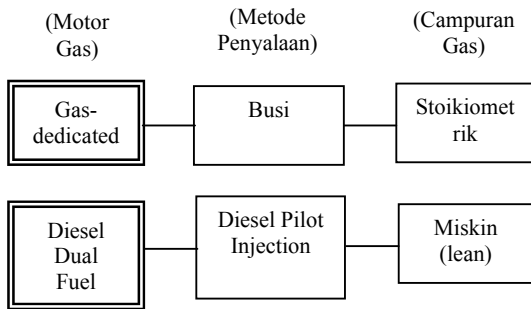
Indonesia merupakan negara agraris yang besar yang dapat menghasilkan padi dalam jumlah besar sehingga menghasilkan efek samping berupa limbah pertanian sekam padi sangat banyak dan kurang mempunyai nilai ekonomis yang baik. Selain itu Indonesia juga merupakan negara yang mempunyai masalah dengan ketergantungan terhadap minyak bumi dalam mencukupi kebutuhan energi. Menghadapi permasalahan tentang ketersediaan energi dan ketergantungan terhadap minyak bumi maka dilakukan berbagai macam penelitian tentang energi alternatif pengganti minyak bumi. Pergantian energi minyak bumi ada yang dilakukan secara total dengan mengganti sumber bahan bakar yang digunakan tetapi ada juga yang hanya sebagian saja yang diganti. Sebetulnya kedua cara yang digunakan bisa diterapkan semua di Indonesia tergantung kemampuan masing-masing daerah yang ada. Untuk daerah agraris yang menghasilkan beras dengan limbah sekam padi yang banyak maka modifikasi motor diesel yang dikombinasikan dengan gasifier berbahan sekam padi bisa dilakukan. Untuk mengetahui seberapa jauh teknologi gasifier yang dikombinasikan dengan sekam padi maka pada penelitian ini dilakukan simulasi uji performance motor bakar diesel yang menggunakan dual fuel (diesel-sekam padi). Penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi termodinamika 1D dengan memodelkan motor bakar diesel 1 silinder dengan kapasitas 667 CC pada putaran sebesar 3000 rpm dengan variabel konsumsi bahan bakar yang berbeda-beda. Pemilihan cara simulasi dikarenakan dengan simulasi maka diperoleh hasil yang cepat, akurat dan biaya yang dibutuhkan lebih murah daripada yang dilakukan di laboratorium. Bahan bakar yang digunakan adalah kombinasi diesel/solar dengan gas hasil gasifier berupa CO sebesar 18 - 22 %, hidrogen sebesar 15-19 %, methane 1-5 % dan nitrogen sebesar 45-55%. Dari data hasil yang diperoleh diproleh dibandingkan IMEP, bsfc dan Daya dari masing – masing variasi bahan bakar.

Kata Kunci : Motor Diesel, Sekam Padi, Simulasi, Uji Performance

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris yang besar yang dapat menghasilkan padi dalam jumlah besar sehingga menghasilkan efek samping berupa limbah pertanian sekam padi sangat banyak dan kurang mempunyai nilai ekonomis yang baik. Selain itu Indonesia juga merupakan negara yang mempunyai masalah dengan ketergantungan terhadap minyak bumi dalam mencukupi kebutuhan energi. Menghadapi permasalahan tentang ketersediaan energi dan ketergantungan terhadap minyak bumi maka dilakukan berbagai macam penelitian tentang energi alternatif pengganti minyak bumi.

Banyak studi intensif dilakukan untuk mendapatkan bahan bakar alternatif diantaranya alkohol (metanol, etanol, butanol), bahan bakar gas (*Compressed Natural Gas*(CNG), *Liquified Petroleum Gas* (LPG)), biogas, dan gas hasil proses gasifikasi (gas produser). Salah satu cara pemanfaatan gas sebagai bahan bakar pada motor diesel adalah konversi motor diesel menjadi motor berbahan bakar gas. Secara umum metode konversi yang dilakukan ada 2 cara, yaitu *Gas-dedicated* dan *Dual Fuel*, seperti ditunjukkan pada gambar 1



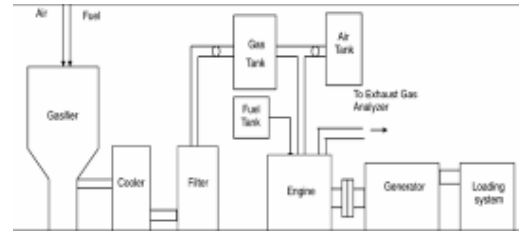
Gambar 1. Metode Konversi Motor Diesel

Pada *Gas-dedicated* yang penyalannya menggunakan busi, campuran udara-bahan bakar harus selalu dikontrol mendekati campuran stoikiometrik untuk mencegah *misfiring*. Hal ini mengakibatkan rugi-rugi pemompaan (*pumping loss*) yang disebabkan oleh pengaturan katup udara (*throttle valve*) pada saat beroperasi pada beban ringan. Dibandingkan dengan motor diesel yang beroperasi pada campuran dengan udara lebih, tipe *CNG-dedicated* mempunyai temperatur gas buang yang tinggi karena selalu beroperasi pada daerah campuran stoikiometrik. Hal ini akan meningkatkan temperatur komponen pada ruang bakar seperti piston, ring piston dan katup buang. Disamping itu, untuk mencegah terjadinya ketuk (*knocking*), rasio kompresi harus dipertahankan pada 12 atau lebih rendah (Ishida, A., 2001).

Pada motor diesel *dual fuel*, sejumlah kecil bahan bakar diesel disemprotkan untuk membantu terjadinya penyalan gas. Gas merupakan bahan bakar utama sehingga emisi gas buang yang dihasilkan lebih baik daripada diesel. Selain itu, campuran dipertahankan pada kondisi campuran miskin (*lean*) sehingga temperatur pembakaran lebih rendah daripada *CNG-dedicated*. Akibatnya umur komponen bisa lebih lama. Keuntungan lain dari sistem dual fuel adalah apabila pasokan gas terhambat, motor bisa beroperasi seperti motor diesel bisa dengan 100% bahan bakar diesel.

Untuk daerah agraris yang menghasilkan beras dengan limbah sekam padi yang banyak maka modifikasi motor diesel yang dikombinasikan dengan gasifier berbahan sekam padi bisa dilakukan. Untuk mengetahui seberapa jauh teknologi gasifier yang dikombinasikan dengan sekam padi maka pada penelitian ini dilakukan simulasi uji performance motor bakar diesel yang menggunakan dual fuel (diesel-sekam padi). Operasi dual fuel dengan menggunakan energy alternatif sudah pernah dilakukan dan dilaporkan bisa dengan baik mengkonversi bahan bakar solar. Penghematan bahan bakar yang bisa dilakukan mencapai 70 % sampai 90 % . Kandungan gas producer yang dipakai pada penelitian ini adalah CO sebesar 18 - 22 % , hidrogen sebesar 15-19 % , methane 1-5 % dan nitrogen sebesar 45-55% (S.C.Bhattacharya,2001). Tetapi pada simulasi motor bakar diesel dual fuel bahan bakar yang dimasukkan hanya CO dan Hidrogen saja. Adapun komposisi gas

producer yang dimasukkan memakai variasi 30, 50, 70 dan 90 % berbanding dengan bahan bakar solar .



Gambar 2. Diagram Motor Bakar Biosekam

METODOLOGI

Simulasi motor bakar dengan menggunakan berbagai perangkat lunak (*soft-ware*) komputer sudah banyak digunakan untuk memprediksi unjuk kerja motor pada berbagai titik operasi dan pada berbagai kondisi. Selain itu simulasi juga bisa digunakan untuk menganalisis proses termodinamika dari suatu motor tertentu. Simulasi motor bakar torak memerlukan model matematik untuk memodelkan proses-proses yang terjadi pada motor bakar torak. Proses-proses tersebut antara lain; proses aliran gas dan proses pembakaran. Kedua proses tersebut merupakan proses utama pada motor bakar torak

Pada umumnya model matematik untuk aliran gas dari motor bakar torak dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelompok; model *zero dimensional*, model kuasi dimensional, model satu dimensional dan model multidimensional. Model dimensional mempertimbangkan variasi spasial dan temporal dari kecepatan, temperatur dan medan tekanan. Sedangkan untuk pemodelan poses pembakaran digunakan model termodinamika satu zona (*single zone*) atau model termodinamika multi zona (*multi zone*) (Heywood,1998).

Tabel 1. Spesifikasi motor bakar diesel Hatz

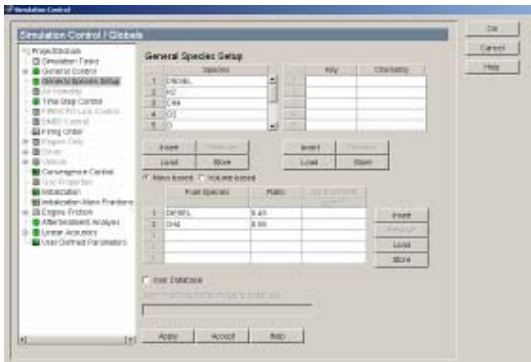
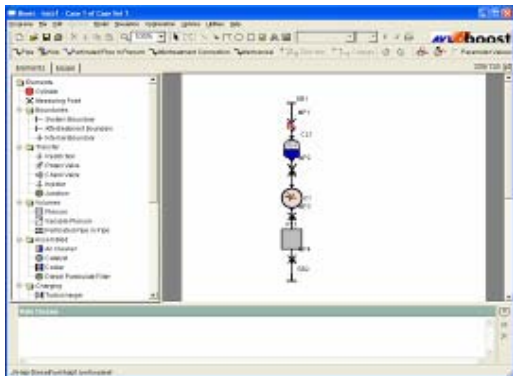
Spesifikasi	Dimensi
Diameter Silinder	100 mm
Panjang Langkah	85 mm
Rasio Tekanan	20.5
Daya Maksimum	11 kW
Torsi	38 Nm
Volume Ruang Bakar	0.667 l

Pendekatan sederhana untuk memodelkan proses pembakaran adalah spesifikasi langsung dari pelepasan energi panas. Terdapat beberapa model untuk pendekatan laju pelepasan energi panas, yaitu: fungsi VIBE (*VIBE Function*), fungsi VIBE ganda (*double VIBE Function*), Vibe 2 Zone, Woschni/Anisits, Hiroyasu ,AVL MCC dan lain-lain. Pada penelitian ini dipilih model pembakaran VIBE 2 Zone karena bisa menerima masukan data multi bahan bakar yang dipakai dan menghasilkan nilai emisi gas buang. Motor bakar yang dimodelkan pada penelitian ini mempunyai spesifikasi seperti tercantum pada tabel 1.



Gambar 3. Motor Bakar Research Diesel 1 silinder Hatz

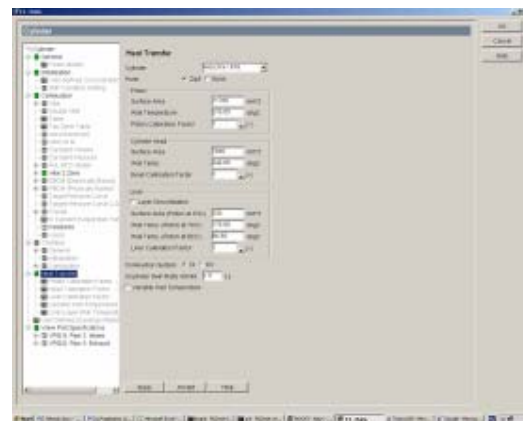
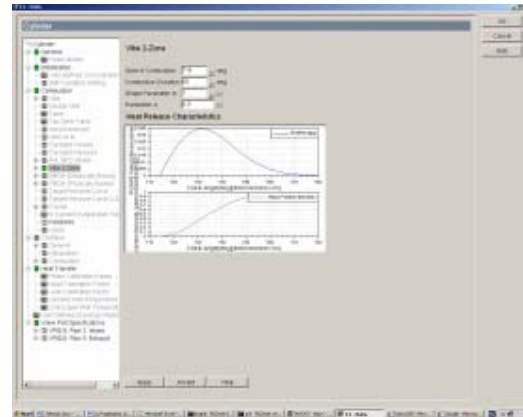
Pra-Prosesor (Pre-Processor)



Gambar 4. Model simulasi termodinamika 1 D dan model multi fuel bahan bakar

Semua data masukan pada *AVL BOOST* (AVL-User Guide ,2003) yang mencantumkan semua elemen data dari model yang akan dihitung. Pada setiap elemen data masukan, dimensi dari setiap data masukan harus diberikan secara eksplisit. Model motor bakar Hatz 1 silinder yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 4. Data yang harus dimasukkan dalam silinder ada banyak hal antara lain bore, stroke, jumlah silinder, panjang con rod, manifold , ratio kompresi, urutan dan waktu pembakaran, jumlah valve, diameter inner valve seat , kurva tinggi bukaan katup ,laju aliran udara pada

port, sistem intake , sistem exhaust (Klell, 1998) dan masih banyak lagi yang lainnya. Simulasi pengujian ini memakai berbagai variasi putaran mesin yaitu 1500 dan 3000 rpm dengan berbagai variasi beban pada 5, 10, 15 , 20 dan 30 Nm . Data- data yang harus dimasukkan dalam model vite 2 Zone terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Pengisian model data untuk combustion (VIBE 2 zone)

Pada model combustion data yang dimasukkan adalah start of combustion, combustion duration, shape parameter (m) dan parameter (a). Semua data di atas tergantung jenis motor bakar yang dimodelkan. Selain itu juga harus dimasukkan data-data dari dimensi liner, piston dan cilinder head, bore, stroke, jumlah silinder, panjang con rod, manifold, ratio kompresi, urutan dan waktu pembakaran, jumlah valve, diameter inner valve seat, kurva tinggi bukaan katup ,laju aliran udara pada port, sistem intake, sistem exhaust dan masih banyak lagi yang lainnya.

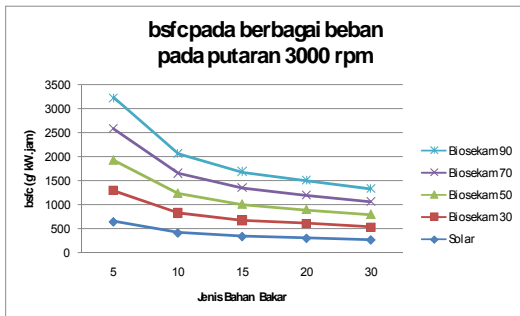
Program Penghitungan Utama (Main Calculation Program)

Pada *main calculation program* terdapat algoritma untuk semua elemen yang disimulasikan. Aliran dalam pipa diperlakukan sebagai aliran satu dimensi. Hal ini

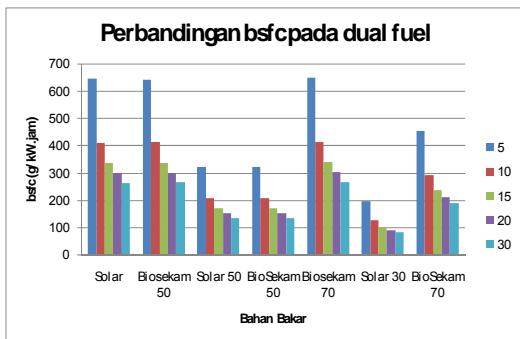
berarti harga-harga tekanan, temperatur, dan kecepatan aliran yang diperoleh dari solusi persamaan gas dinamik merupakan harga rata-rata terhadap potongan melintang dari pipa. Kerugian aliran karena efek tiga dimensi pada suatu lokasi di tertentu diakomodasikan dengan harga koefisien aliran yang mempunyai harga maksimum 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang telah dilakukam menghasilkan data performance pengujian motor bakar berupa IMEP (bar), bsfc (gr/kW.jam) dan daya (kW). Sedangkan untuk emisi gas buang dapat kita peroleh kandungan Nox (gr/kW.jam) dan soot (gr/kW.jam). Nilai konsumsi bahan bakar per satuan daya (bsfc) yang dihasilkan menunjukkan bahwa bahan bakar biosekam menunjukkan nilai yang lebih besar daripada bahan bakar diesel. Hal ini bisa dilihat pada grafik bsfc (gambar 6).



Gambar 6. Grafik bsfc (g/kW.h) – beban (Nm)



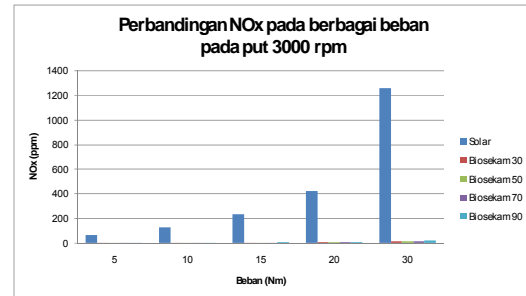
Gambar 7. Perbandingan bsfc pada dual fuel

Ini terjadi karena bahan bakar biosekam yang terdiri dari sebagian besar carbon monoxide dan hydrogen mempunyai kandungan nilai kalor (LHV biosekam = 18500 kJ/kg) yang lebih rendah daripada bahan bakar diesel (LHV diesel = 42450 kJ/kg). Jika dilihat dari nilai ekonomis dimana bahan bakar biosekam yang dipakai tidak perlu mengeluarkan biaya karena merupakan hasil pemanfaatan limbah pertanian maka pemakain bahan bakar biosekam mempunyai nilai yang lebih baik.

Prosentase bahan bakar diesel yang dihemat pada penelitian ini bisa dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :

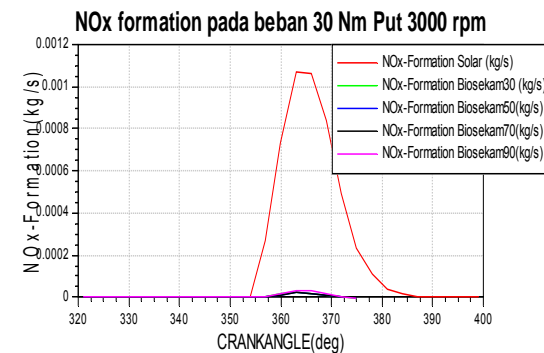
$$\%BB_{solar, dihemat} = \frac{bsfc_{solar} - bsfc_{dual}}{bsfc_{solar}}$$

Dari hasil simulasi juga bisa kita peroleh nilai NOx yang dihasilkan baik untuk bahan bakar biosekam - diesel daripada bahan bakar diesel. Nilai NOx yang diperoleh dari simulasi bisa kita lihat pada grafik batang di bawah ini :



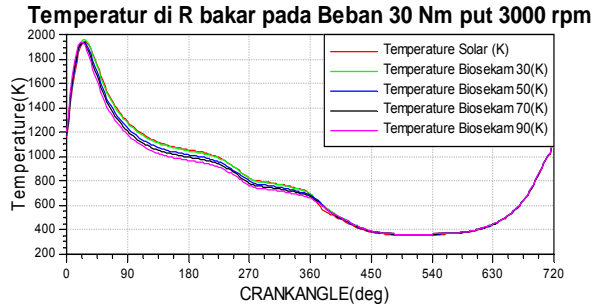
Gambar 8. Nilai NOx pada setiap bahan bakar

Selain itu grafik di bawah ini dapat memperlihatkan terjadinya deformasi NOx pada beban 30 Nm putaran 3000 rpm:



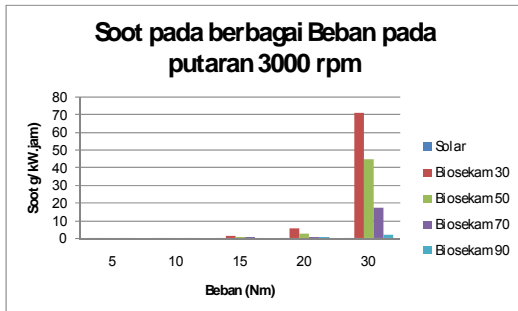
Gambar 9. NOx formation pada beban 30 Nm putaran 3000 rpm

Dari kedua grafik di atas dapat diambil kesimpulan yang menunjukkan nilai emisi NOx yang dihasilkan oleh semua komposisi bahan bakar biosekam yang dipakai lebih rendah daripada bahan bakar diesel. Hal ini terjadi karena temperatur di ruang bakar yang dihasilkan juga lebih rendah .Untuk lebih jelasnya bisa kita lihat grafik temperatur di bawah ini :



Gambar 10. Temperature di Ruang Bakar pada beban 30 Nm putaran 3000 rpm

Dari grafik di atas diperoleh kesimpulan hasil yang diperoleh menunjukkan terjadinya reduksi NO_x sebesar 98 %. Produksi NO_x disebabkan oleh banyaknya bahan bakar yang disemprotkan yang mengenai dinding ruang bakar sehingga pada waktu di kompresi menyebabkan temperatur ruang bakar tinggi. Kenaikan temperatur di ruang bakar inilah yang menyebabkan deformasi NO_x. Sedangkan untuk emisi soot yang terjadi biasanya berbanding terbalik dengan emisi NO_x tetapi hal ini nilai emisi soot tidak menunjukkan kenaikan yang tinggi. Hal ini bisa dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 11. Nilai soot pada setiap beban

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan bisa kita ambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut :

1. Dari tiga grafik uji performance bsfc yang menunjukkan parameter prestasi mesin menunjukkan terjadi kenaikan nilai bsfc pada bahan bakar dual fuel diesel-biosekam, ini terjadi karena bahan bakar biosekam yang terdiri dari sebagian besar carbon monoxide dan hydrogen mempunyai kandungan nilai kalor (LHV biosekam = 18500 kJ/kg) yang lebih rendah daripada bahan bakar diesel (LHV diesel = 42450 kJ/kg), tetapi karena bahan bakar biosekam didapatkan secara cuma-cuma maka pemakaian bahan bakar dual fuel diesel-gas lebih murah..
2. Hasil yang diperoleh menunjukkan terjadinya reduksi NO_x sebesar 98 % pada semua variabel bahan bakar biosekam. Produksi NO_x disebabkan oleh banyaknya bahan bakar yang disemprotkan

yang mengenai dinding ruang bakar sehingga pada waktu di kompresi menyebabkan temperatur ruang bakar tinggi. Kenaikan temperatur di ruang bakar inilah yang menyebabkan deformasi NO_x.

3. Sedangkan untuk emisi soot yang terjadi biasanya berbanding terbalik dengan emisi NO_x tetapi hal ini nilai emisi soot tidak menunjukkan kenaikan yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada boost support – AVL atas bantuannya menyelesaikan beberapa problem pada waktu simulasi. Juga kepada para teknisi di Laboratorium Motor Bakar P 2 Telimek LIPI atas bantuannya sehingga beberapa data dapat diselesaikan dan yang terakhir terima kasih kepada kompetitif LIPI atas biaya penelitian yang dikeluarkan.

REFERENSI

- [1] AVL -Advanced Simulation Technology(AST), 2003, Boost User's Guide, versi 4.03 ,AVL List GmbH.
- [2] Gail S., Thomson M.J., Sarathy S.M, Syed S.A, 2007, A Wide ranging kinetic modeling study of methylbutanoate combustion, Proceeding of The Combustion Institute, Elsevier.
- [3] J.B.Heywood,1998, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mc Graw Hill.
- [4] Klell M.,1998, *Internal Combustion Engines*, Institute for Internal Combustion Engine and Thermodynamics, Technical University Graz Austria.
- [5] Praptijanto A. Santoso W.B., 2003, *Simulation of Emissions Reduction in DI Diesel Engine Using Multiple Injection*, The 14th International Symposium on Transport Phenomena, Bali Indonesia.
- [6] Szybist J., Simmons J., Druckenmiller M, dkk, 2003, *Potensial Methods for Nox Reduction from Biodiesel*, SAE Technical paper 2003-01-3205.
- [7] Ishida, A., 2001, *The Development of The ECOS-DDF Natural Gas Engine for Medium-duty Trucks: Exhaust Emission Reduction Against Base Diesel Engine*, JSAE Review 22, pp 237-243
- [8] W. B. Santoso¹, A. Nur¹, A. Praptijanto¹, K. Ismail¹, M. Affendi², 2008, *Pemanfaatan Sekam Padi untuk Bahan Bakar Genset Diesel - Tinjauan Prestasi dan Emisi*, Proseding Seminar Smart UGM.