

## Pengaruh Rasio Kompresi Terhadap Performans Genset Dengan Penggerak Mesin Diesel Satu Silinder, 4 Langkah Berbahan Bakar Dual Fuel

I Made Suardjaja

Jurusan Teknik Mesin & Industri Fakultas Teknik

Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 55281

Tel : (0274)521673, Mobile: 081393363xxx, Fax : (0274)521673

E-mail : madesuar@ugm.ac.id

### Abstrak

Dengan makin meningkatnya import bahan bakar *HSD* (*high speed diesel*), perlu dilakukan pengurangan konsumsi *HSD* di dalam negeri. PLTD (pembangkit listrik tenaga diesel) merupakan salah satu mesin yang mengkonsumsi *HSD* dalam jumlah besar. Subsidi yang diberikan pemerintah untuk bahan bakar minyak saat ini sangat besar. Di lain pihak cadangan gas masih cukup melimpah dan harganya relatif murah. Salah satu alternatif untuk mengurangi konsumsi minyak adalah dengan memodifikasi mesin diesel biasa menjadi *dual fuel diesel*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rasio kompresi optimal mesin genset diesel *dual fuel* agar dapat beroperasi stabil (*knocking* yang minimal), dengan konsumsi *HSD* yang minimal. Mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin diesel *indirect injection*, 4 langkah, 1 silinder, 353 cc, bore x stroke 75 mm x 80 mm, berpendingin air, dengan alternator kapasitas 3 kW, pada putaran 1500 rpm. Daya diukur pada bagian output alternator. Sebelum dilakukan pengujian dengan dual fuel, pada tahap awal dilakukan pengujian dengan bahan bakar *HSD* saja, sebagai dasar pembanding dari mesin berbahan bakar *dual fuel*. Rasio kompresi mesin yang diuji, divariasi dari 21, 19, 17 dan 16. Perubahan rasio kompresi dilakukan dengan penggantian gasket antara kepala silinder dan blok silinder. Pada penelitian didapatkan bahwa pengaruh rasio kompresi terhadap konsumsi bahan bakar spesifik tidak begitu besar pada daya rendah, tetapi cukup berpengaruh pada daya yang lebih besar. Pada daya diatas 1,6 kW, nilai konsumsi bahan bakar spesifik lebih kecil dari 0,8 kg/kWh. Persentase *HSD* dalam campuran pada rasio kompresi 19 dan 21 masing-masing 12 % dan 30 %.

### Keywords

Rasio kompresi, *dual fuel*, konsumsi bahan bakar spesifik, *HSD*.

### Pendahuluan

PLTD (pembangkit listrik tenaga diesel) merupakan salah satu mesin yang mengkonsumsi *HSD* dalam jumlah besar. Subsidi yang diberikan pemerintah untuk bahan bakar minyak saat ini sangat besar dan sangat memberatkan keuangan negara. Di lain pihak cadangan gas masih cukup melimpah dan harganya relatif murah. Salah satu alternatif untuk mengurangi konsumsi minyak adalah dengan memodifikasi mesin diesel biasa menjadi *dual fuel diesel*. *Duel fuel diesel engine* merupakan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar campuran *HSD* dengan *CNG*. Dalam hal ini bahan bakar *CNG* berfungsi sebagai bahan bakar utama dan bahan bakar *HSD* hanya digunakan untuk mengawali penyalaan atau sebagai *pilot fuel*, sehingga diharapkan konsumsi *HSD* sangat sedikit.

Rasio kompresi mesin diesel merupakan salah satu variabel mesin yang harus diperhatikan dalam melakukan modifikasi. Perlu dicari rasio kompresi yang optimal agar mesin diesel dengan bahan

bakar *dual fuel*, dapat beroperasi secara stabil dengan konsumsi minyak diesel yang minimal. Rasio-kompresi juga berpengaruh terhadap terhadap efisiensi mesin dan *knocking*. Jika mesin beroperasi pada rasio-kompresi kritis akan mulai terjadi *audible knock*. Bahan bakar seperti gas *methane* mempunyai rasio kompresi kritis sekitar 12,6 (Obert,1973).

Banyak studi telah dilakukan sebelumnya dalam mengevaluasi kinerja dan karakteristik pembakaran maupun emisi gas buang mesin diesel *dual fuel* dengan bahan bakar utama gas alam dan *HSD* sebagai *pilot fuel* (Selim, 2004; Suardjaja, 2011; Abdelghaffar, 2011). Penurunan emisi partikel halus (Papagiannakis & Hountalas 2004), emisi NOx dan CO<sub>2</sub> relatif lebih rendah (Abdelghaffar, 2011) terjadi pada mesin diesel *dual fuel* dibandingkan dengan mesin diesel biasa. Konsumsi bahan bakar spesifik mesin diesel *dual fuel* relatif lebih tinggi dibandingkan dengan diesel biasa jika beroperasi pada kondisi yang sama (Suardjaja, 2011; Ehsan & Bhuiyan, 2009). Mesin diesel *dual fuel* yang beroperasi pada beban *rated* memerlukan persentase gas yang lebih kecil (sekitar 70%) dibandingkan pada beban

sebagian (90 %) agar tidak terjadi *knocking* (Ehsan & Bhuiyan, 2009). Pemakaian jenis gas yang berbeda (gas *Methane*, *CNG*, *LPG*) berpengaruh terhadap kebisingan mesin, *ignition limit*, dan *knocking*. *LPG* menghasilkan kebisingan yang paling besar diikuti dengan *CNG* dan gas *methane* (Selim, 2004). Karakteristik *knock* pada diesel *dual fuel* dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, *ignition delay*, jumlah minyak yang disemprotkan, laju aliran gas, beban dan putaran mesin (Nwafor, 2002).

Umumnya bahan bakar gas yang digunakan pada motor bakar torak akan menurunkan efisiensi volumetris mesin karena gas cenderung menempati ruangan dengan massa yang relatif kecil. Sehingga ada kecenderungan daya mesin akan lebih rendah dibandingkan dengan mesin diesel normal. Qualitas penyalakan minyak *HSD* diukur oleh lamanya *ignition delay*, dan ini dinyatakan dengan angka setana (*CN = Cetane Number*). Makin tinggi angka setana makin pendek *ignition delay*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa menggunakan *pilot fuel* dengan *CN* yang lebih tinggi dan sifat-sifat bahan bakar yang sesuai dapat menghasilkan operasi mesin yang lebih halus. Pada pembakaran bahan bakar gas alam, angka metana (*MN=Methane Number*) dan *Motoring Octane Number (MON)* merupakan parameter yang digunakan menentukan qualitas bahan bakar terhadap terjadinya *knocking*. Karena *MON* gas biasanya diatas 100, maka lebih popular digunakan *MN*. Agar kecenderungan *knocking* pada pembakaran *CNG* berkurang, dibatasi *MN* > 80. Bahan bakar gas dengan *MN* yang tinggi cenderung lebih tahan terhadap *knocking*.

## Metodologi Penelitian

### Bahan dan Alat

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah gas alam yang terkompresi (*CNG*) dan *HSD*. *CNG* diperoleh dari agen di Surabaya sedangkan *HSD* dibeli dari SPBU yang ada di Yogyakarta. Gas alam tersusun atas berbagai hidrokarbon, dan yang paling dominan adalah gas *methane*. Spesifikasi gas alam sangat ditentukan oleh tempat asal sumber gas. Mesin yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin diesel *indirect injection*, 4 langkah, 1 silinder, 353 cc, *bore x stroke* 75 mm x 80 mm, berpendingin air, dengan alternator kapasitas 3 kW, pada putaran 1500 rpm. Daya diukur pada bagian output dari alternator dengan ampere meter dan volt-meter. Kepekatan asap dideteksi secara *visual*, pada saat

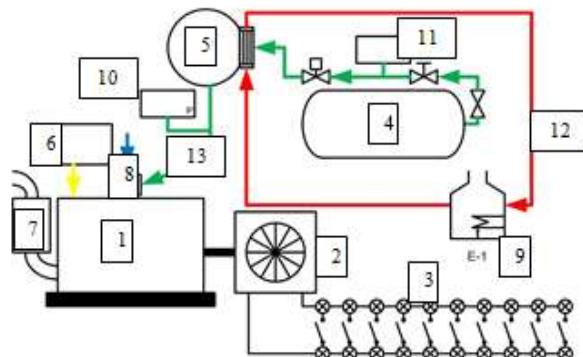
mesin dengan bahan bakar *HSD* dan *dual fuel*. Susunan alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Gas *CNG* disimpan pada tangki bertekanan sekitar 200 bar. Gas dari tangki tekanan tinggi ini disalurkan ke mesin melewati regulator gas yang khusus dirancang untuk itu. Regulator dan komponen lainnya yang digunakan untuk mengalirkan gas ke mesin secara aman disebut sebagai konverter kit. Laju aliran gas diukur dengan orifis yang sebelumnya sudah dikalibrasi sedangkan laju aliran *HSD* diukur dengan gelas ukur, untuk menghabiskan 5 cc bahan bakar dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan daya mesin.

### Pelaksanaan Penelitian

Sebelum dilaksanakan pengujian pada mesin diesel, dilakukan dulu persiapan mesin dan pemasangan alternator. Pada persiapan mesin dilakukan *overhaull* dan mengganti komponen yang sudah rusak. Persiapan lain yang juga dilakukan antara lain menyiapkan instalasi pemasangan bohlamp sebagai beban alternator. Untuk memudahkan menstart mesin juga dipasang dinamo *starter*. Hubungan antara poros alternator dan poros mesin menggunakan transmisi *belt*, untuk menurunkan putaran mesin sampai 1500 rpm. Sebelum dilakukan pengujian dengan *dual fuel* pada tahap awal dilakukan pengujian dengan bahan bakar *HSD* saja untuk mengetahui unjuk kerja mesin, sebagai dasar pembanding dari mesin berbahan bakar *dual fuel*. Pada pengujian dengan *HSD* dilakukan pengukuran daya pada berbagai kondisi beban, dengan mempertahankan putaran tetap konstan melalui pengendalian aliran bahan bakar ke mesin. Karena pada penelitian ini dilakukan pengujian pada beberapa rasio kompresi, maka dilakukan pembongkaran kepala silinder setiap akan melakukan perubahan kompresi. Untuk menurunkan rasio kompresi dari keadaan awal sebesar 21, dilakukan dengan memperlebar gasket antara kepala silinder dengan blok silinder mesin. Rasio kompresi divariasi dari 21, 19, 17 dan 16.

Pengujian pada setiap rasio kompresi dengan *dual fuel* dilakukan langkah sebagai berikut. Pertama mesin distart dengan bahan bakar *HSD* saja sampai putaran mencapai sekitar 1200 rpm, kemudian *CNG* dimasukkan ke mesin, yang sebelumnya sudah bercampur dengan udara di dalam *mixer*. *Throttle* kemudian dibuka secara pelan-pelan, campuran gas-udara mengalir ke saluran masuk ke mesin. Massa campuran udara-gas dapat diatur sesuai dengan kebutuhan beban mesin. Setelah kondisi mesin stabil, putaran mesin dinaikkan sampai putaran alternator mencapai 1500 rpm. Pada saat ini alternator (juga mesin diesel) mulai dibebani dengan menghidupkan lampu bohlamp mulai dari 200 Watt, ditunggu putaran alternator stabil 1500 rpm dengan mengatur pemasukan gas. Setelah putaran stabil pada beban ini, konsumsi gas dan minyak diukur dan dicatat.

Langkah seterusnya beban ditambahkan secara bertahap, dengan laju tambahan minimal 200 Watt, sampai beban generator sekitar 2400 Watt. Setiap tambahan beban tersebut putaran alternator dipertahankan tetap 1500 rpm, kemudian dilakukan pencatatan seperti cara sebelumnya. Setelah semua data dicatat sampai beban alternator 2400 Watt maka pengujian dapat dihentikan. Pengujian selanjutnya dilakukan untuk rasio kompresi yang lain, dengan cara membuka dulu kepala silinder mesin, dan mempertebal gasket antara kepala silinder dan blok silinder.



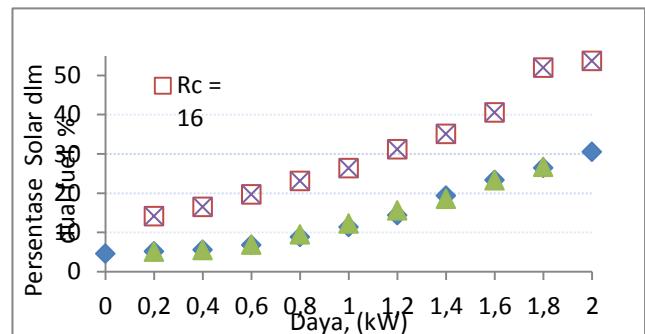
Gambar 1. Susunan Alat Penelitian (1 mesin diesel, 2 alternator, 3 lampu/beban, 4 tangki cng, 5 regulator tekanan gas, 6 tangki solar, 7 muffler, 8 mixer, 9 pemanas air, 10 manometer gas, 11 flow meter gas, 12 air pemanas gas, 13 gas masuk ke mixer, 14 pemanas gas).

## Hasil Penelitian dan Pembahasan

### Kandungan HSD dalam duel fuel

Kandungan bahan bakar *HSD* dalam *dual fuels* dinyatakan dengan persentase massa *HSD* dalam campuran yang mengalir masuk ke dalam mesin pada rasio kompresi tertentu sebagai fungsi dari daya alternator. Massa 1 kg gas gas dalam perhitungan ini dinyatakan setara dengan 1,228 kg solar. Perhitungan ini didasarkan pada nilai kalor gas alam dan *HSD* masing-masing 54.000 kJ/kg dan 44.000 kJ/kg.

Parameter ini dapat menggambarkan seberapa besar kontribusi bahan bakar *HSD* dalam *dual fuel diesel engine*, sehingga penghematan konsumsi *HSD* dapat diketahui. Gambar 2 berikut ini, menunjukkan hal tersebut.



Gambar 2. Hubungan antara % *HSD* dalam *dual fuel* dengan daya alternator

Dari Gambar 2 diatas, kelihatan bahwa secara umum persentase *HSD* dalam campuran meningkat sejalan dengan naiknya beban. Pada rasio kompresi 19 dan 21, persentasenya relative lebih kecil dibandingkan dengan pada rasio kompresi 17 dan 16. Disamping itu pada rasio kompresi 17 dan 16 dengan daya yang besar 2 kW, persentase *HSD* melebihi 50%. Hal ini mungkin disebabkan oleh pengkabutan yang kurang baik pada rasio kompresi rendah dibandingkan pada rasio kompresi tinggi. Tidak semua bahan bakar dapat terbakar secara sempurna, lebih banyak *HSD* diperlukan untuk mendapatkan daya yang sama. Sebaliknya pada rasio kompresi 19 dan 21, persentase solar relative kecil yaitu sebesar 12% pada daya 1 kW dan 30 % pada daya 2 kW. Dari pengamatan pada saat mesin dibebani maksimal kelihatan bahwa pada rasio kompresi 21, timbul suara *knocking* yang agak dominan dibandingkan pada operasi dengan rasio kompresi 19. Berdasarkan data ini maka rasio kompresi yang optimal sekitar 19.

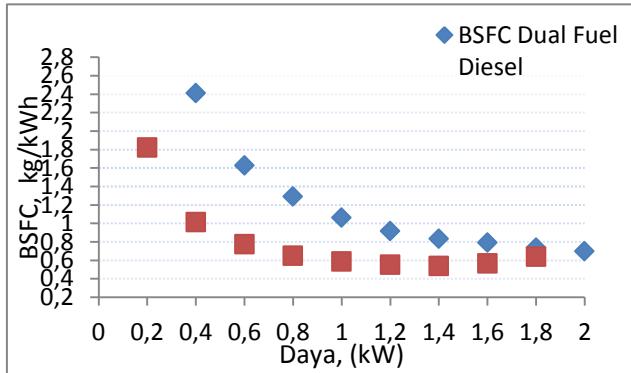
### Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

*Bsfc* atau konsumsi bahan bakar spesifik berguna untuk mengetahui konsumsi bahan bakar tiap satuan daya yang dihasilkan oleh mesin. Pada pengujian ini, konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan waktu yang dibutuhkan oleh mesin diesel untuk menghabiskan bahan bakar *HSD* sebanyak 5 cc. Sedangkan daya yang diperhitungkan adalah daya keluaran dari alternator. Secara umum hasil pengujian ini menunjukkan bahwa pada semua rasio kompresi yang diuji, nilai *BSFC* lebih besar pada dual fuel dibandingkan dengan bahan bakar *HSD* saja. Penurunan konsumsi *HSD* seperti yang dijelaskan pada sub-bab 3.1 sebelumnya, digantikan oleh gas yang prosentasenya cukup besar.

### BSFC pada Rasio Kompresi 21

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik dengan daya yang dihasilkan oleh alternator pada rasio kompresi 21. Dari gambar ini kelihatan bahwa BSFC dual fuel masih lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar *HSD* terutama pada daya yang rendah. Tetapi pada daya yang besar

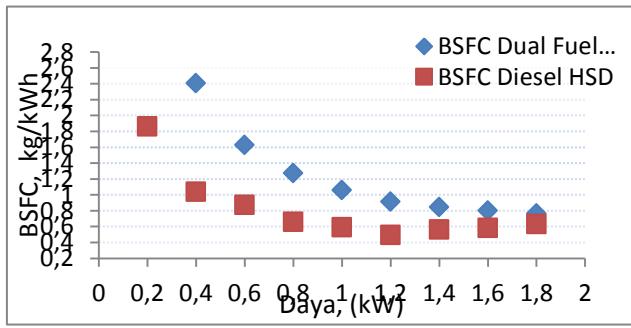
perbedaan ini semakin berkurang, dan pada daya alternator sebesar 1,8 kW, *BSFC* keduanya hampir sama sekitar 0,7 kg/kWh.



Gambar 3. Hubungan antara *BSFC* dengan daya alternator pada rasio kompresi 21

#### *BSFC* pada Rasio Kompresi 19

Untuk pengujian pada rasio kompresi 19 juga terjadi kecenderungan yang sama dengan kondisi pada rasio kompresi 21 sebelumnya. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4 dibawah. Terlihat pada grafik tersebut bahwa konsumsi bahan bakar spesifik pada saat mesin diesel menggunakan bahan bakar ganda, lebih tinggi dibandingkan saat mesin diesel menggunakan bahan bakar *HSD* murni. Perbedaan *BSFC* antara mesin *dual fuel* dengan bahan bakar *HSD*, makin kecil dengan naiknya beban. Pada beban 1,8 kW, nilai *BSFC* keduanya sekitar 0,75 kg/kWh.

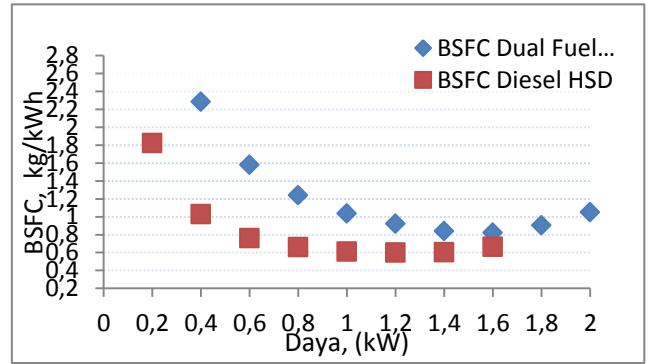


Gambar 4. Hubungan antara *BSFC* dengan daya alternator pada rasio kompresi 19

#### *BSFC* pada Rasio Kompresi 17

Gambar 5 menunjukkan hubungan *BSFC* dengan beban mesin pada rasio kompresi 17. Kecenderungannya mirip seperti pada keadaan sebelumnya. Terlihat pada grafik tersebut bahwa konsumsi bahan bakar spesifik pada saat mesin diesel menggunakan, lebih tinggi dibandingkan saat mesin diesel menggunakan *HSD*. Perbedaan *BSFC* antara mesin *dual fuel* dengan *HSD*,

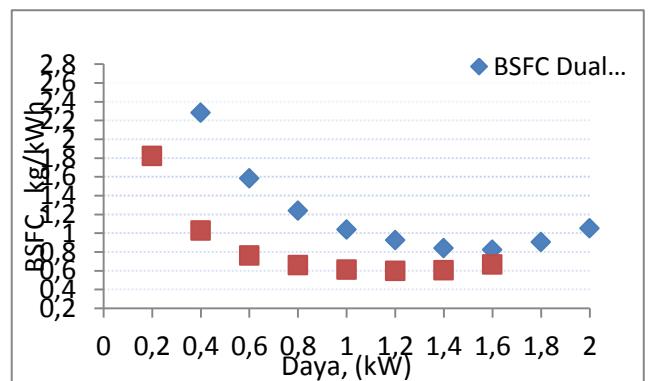
makin kecil dengan naiknya beban. Hanya saja disini pada beban 1,6 kW, nilai *BSFC* keduanya naik menjadi 0,8 kg/kWh.



Gambar 5. Hubungan antara *BSFC* dengan daya alternator pada rasio kompresi 17

#### *BSFC* pada Rasio Kompresi 16

Gambar 6 menunjukkan hubungan *BSFC* dengan beban mesin pada rasio kompresi 16. Kecenderungannya mirip seperti pada keadaan sebelumnya. Terlihat pada grafik tersebut bahwa konsumsi bahan bakar spesifik pada saat mesin diesel menggunakan bahan bakar ganda, lebih tinggi dibandingkan saat mesin diesel menggunakan bahan bakar *HSD*. Perbedaan *BSFC* antara mesin dengan bahan bakar dual dengan bahan bakar *HSD*, makin kecil dengan naiknya beban. Disini juga kelihatan bahwa beban 1,6 kW, nilai *BSFC* minimum dari mesin diesel dual fuel sekitar 0,8 kg/kWh hampir sama dengan nilai *BSFC* mesin berbahan bakar *HSD*.



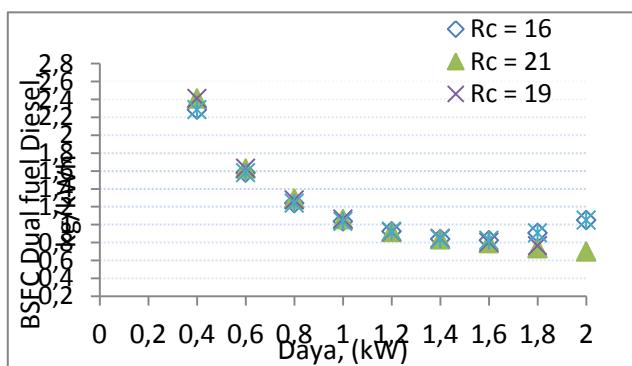
Gambar 6. Hubungan antara *BSFC* dengan daya alternator pada rasio kompresi 16

#### *BSFC* pada mesin berbahan bakar ganda dengan 4 macam rasio kompresi

Gambar 7 merupakan grafik yang menunjukkan

hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik dengan daya alternator mesin diesel dual fuel untuk rasio kompresi, 21, 19, 17 dan 16. Pada grafik tersebut kelihatan bahwa pada daya yang rendah 1,4 kW ke bawah tidak terdapat perbedaan konsumsi bahan bakar spesifik, tetapi diatas daya 1,6 kW mulai terjadi perbedaan *BSFC*. Pada rasio kompressi 16 dan 17, *BSFC* cenderung naik sedangkan pada rasio kompresi 19 dan 20 *BSFC* cenderung turun. Penurunan *BSFC* pada rasio kompresi 19 mencapai harga minimum sekitar 1,7 kg/kWh pada daya 1,8 kW.

Dari grafik-grafik tentang konsumsi bahan bakar spesifik ini dapat diketahui bahwa nilai *BSFC* masih terlalu tinggi dibandingkan standar *BSFC* yang umum sekitar 0,3 – 0,4 kg/kWh. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya, Mesin yang digunakan mesin yang kecil dan sudah sangat tua (buatan thn 1978), daya diukur pada keluaran alternator dimana efisiensi alternator belum diketahui dengan pasti, dan transmisi belt yang digunakan ada kemungkinan slip sehingga efisiensinya rendah. Akan tetapi data ini sudah dapat memberi gambaran tentang pemakaian *dual fuel* pada suatu genset.



Gambar 7 Hubungan antara *BSFC* dengan Daya Generator menggunakan *dual fuel*

## Kesimpulan

Dengan hasil yang telah disebutkan sebelumnya maka dapat ditarik kesimpulan :

- Pengaruh rasio kompresi terhadap konsumsi bahan bakar spesifik tidak begitu besar pada daya rendah, tetapi cukup berpengaruh pada daya tinggi. Pada daya rendah dibawah 1 kW dan diatas 1,6 kW, nilai konsumsi bahan bakar spesifik rerata masing-masing, lebih besar dari 1 kg/kWh dan lebih kecil dari 0,8 kg/kWh.
- Persentase *HSD* dalam campuran meningkat sejalan dengan naiknya daya

mesin. Pada rasio kompresi 16 dan 17, persentasenya relative lebih besar dibandingkan dengan pada rasio kompresi 19 dan 21, dan pada rasio kompresi ini persentase solar 12 % dan 30 %, masing-masing untuk daya 1 kW dan 2 kW.

- Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dan dari keadaan operasi mesin yang memberikan tingkat *knocking* yang minimal untuk mesin *dual fuel* ini, maka rasio kompresi yang optimal adalah 19.

## Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada JTMI FT – UGM yang telah membiayai penelitian ini dan kepada mahasiswa dan laboran yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

## Referensi

Abdel Ghaffar, W.A., 2011, “Performance and Emission of a Diesel Engine Converted to Dual Diesel – CNG Fuelling”, European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol.56 No.2 (2011), pp.279-293

Ehsan,M. dan Bhuiyan S., 2009, “Dual fuel performance of a small Diesel engine for applications with less frequent load variations”, International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering, IJME, Vol 9, No. 10.

Nwafor, O.M.I., 2002, “Knock characteristic of dual-fuel combustion in diesel engines using natural gas as a primary fuel”, Shadana, Vol.27, part 3, pp. 375-382, India.

Obert, E.F.,1973, “Internal combustion engines and air pollution”, 3<sup>rd</sup> Edition, Harper & Row, New York.

Papagiannakis, R.G. dan Hountalas, D.T., (2004). Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilot Diesel fuel and natural gas. Thermal Engineering Section, National Technical University of Athens, Greece.

Selim, M.Y.E., 2004, “Sensitivity of dual-fuel engine combustion and knock limits to gaseous fuel composition” Energy Conversion and management 45, pp.411-425, Pergamon.

Suardjaja, I M., 2011, “Unjuk kerja mesin diesel kecil Dual Fuel, 4 langkah, satu silinder berbahan bakar CNG”, Laporan Penelitian Kegiatan Hibah Penelitian JTMI Bidang Energi.