

## EMISI GAS BUANG DARI MESIN DIESEL BER BAHAN BAKAR GAS (CNG) DAN SOLAR

Herbert Siahaan  
Fakultas Teknik-Universitas Mpu Tantular  
herberthss@yahoo.co.id

### Abstract

*The enactment of the regulation on Air Pollution Control which in the end will be applied especially in big cities, makes all parties aware of the mutual care of environmental air. Along with the crisis of conventional fuel has become a trigger for the search for energy diversification. This test uses CNG (Compressed Natural Gas) as a supplementary fuel for diesel which is tested on a diesel engine single cylinder power generator. Experiments were carried out using an injector unit as a CNG distributor and a mixer unit as an air-CNG mixer placed before the intake manifold of the engine. From the experimental results it can be concluded that: with variations in electrical loading between (6-10) kW at constant engine speed which is around 2000 rpm the engine can be operated properly. It was also concluded that the smoke emission decreased, but the HC and NOx emissions higher compared to diesel-fueled engines.*

**Keywords:** CNG and Solar fuels, CO, HC and NOx emissions.

### Abstrak

Pemberlakuan peraturan tentang Pengendalian Pencemaran Udara yang pada akhirnya akan diberlakukan terutama pada kota-kota besar, menyadarkan semua pihak untuk saling menjaga udara lingkungan. Seiring dengan krisis bahan bakar minyak konvensional menjadi pemicu untuk pencarian diversifikasi energi. Pengujian ini menggunakan CNG (Compressed Natural Gas) sebagai bahan bakar suplemen pada solar yang diuji pada mesin diesel pembangkit generator listrik silinder tunggal. Percobaan dilakukan dengan menggunakan unit injektor sebagai pendistribusi CNG dan unit mixer sebagai pencampur udara-CNG yang ditempatkan pada saluran utama sebelum intake manifold. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa: dengan variasi pembebanan listrik antara (6-10) kW pada putaran mesin konstan yaitu berkisar 2000 rpm mesin dapat dioperasikan dengan baik. Disimpulkan juga bahwa terjadi penurunan emisi smoke, namun kandungan HC dan NOx lebih tinggi dibandingkan dengan emisi mesin orisinal.

Kata kunci : Bahan bakar CNG dan Solar, Emisi CO, HC dan NOx.

## PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya bidang industri, sarana transportasi dan pembangkit tenaga listrik skala besar atau kecil menyebabkan kebutuhan Bahan Bakar Minyak (BBM) semakin meningkat. Tingginya kenaikan harga BBM di pasaran dunia saat ini dan pengurangan subsidi oleh Pemerintah membuka peluang untuk menggalakkan pemanfaatan energi alternatif atau diversifikasi energi yang ada. Salah satu alternatif diversifikasi pilihan adalah penggunaan Bahan Bakar Gas karena masih tersedia dalam jumlah yang cukup besar pada ladang-ladang yang ada di Indonesia lebih dari 35 tahun (Esdm, 2017). Pemanfaatan CNG dapat menunjang program diversifikasi energi

karena dapat sebagai bahan bakar substitusi menggantikan sebagian bahan bakar solar maupun bensin. Sehingga sumber energi alternatif perlu digagas untuk mengatasi semakin surutnya ladang-ladang minyak di perut bumi Nusantara (Anonymous, 2006). Dalam hal penelitian ini salah satu opsi energi alternatif yang bisa diandalkan yaitu penggunaan CNG (*Compressed Natural Gas*) menjadi solusi yang layak dipertimbangkan sebagai substitusi bahan bakar solar pada mesin diesel.

Mesin diesel ber-bahan bakar ganda (*dual fuel/DF*) adalah mesin diesel yang menggunakan unit sistem injeksi bahan bakar gas dan *mixer* sebagai pencampur sehingga dapat beroperasi sebagai mesin diesel ber-bahan bakar solar dan pencampurnya. Kedua unit menyuplai Udara-CNG secara ber-sama-sama ke dalam silinder/ruang bakar yang ditempatkan pada saluran masuk (*intake manifold*). Siklus kerja mesin diesel ber-bahan bakar ganda adalah: pada saat langkah isap Udara-CNG secara ber-sama-sama masuk kedalam ruang bakar, saat langkah kompresi piston sebelum TMA solar diinjeksikan melalui *fuel-injector nozzle* dalam bentuk atomisasi. Saat penginjeksian terjadi kenaikan suhu dan tekanan di dalam ruang bakar (Ehsan Md. dan N. Naznin, 2015) menyebabkan campuran masing-masing Udara-CNG dan solar mencapai batas mampu bakar (*combustible limit*) sehingga campuran terbakar sendiri (*auto-ignition*). Langkah terakhir adalah proses pembilasan sisa-sisa pembakaran melalui saluran buang (*exhaust manifold*). CNG didominasi kandungan metana ( $CH_4$ ) yang memiliki batas mampu bakar (*combustible limit*) 900 K, sedangkan solar memiliki temperatur penyalaan (477–533)K (Mitzlaff KV, 1988). Sehingga penyalaan yang terjadi didalam ruang bakar adalah oleh penyalaan dari bahan bakar solar. Dengan kata lain mesin diesel ber-bahan bakar CNG dan Solar merupakan mesin diesel yang menggunakan CNG sebagai bahan bakar utama dan solar sebagai pemicu pembakaran (John B Heywood, 1988).

Proses pembakaran di dalam ruang bakar tergantung pada percampuran udara-bahan bakar. Tingkat homogenitas campuran Udara-CNG, komposisi CNG yang sebagian besar terdiri dari gas metana, etana dan propana yang mudah menguap (*volatile*) dengan massa jenis 0,606 kg/m<sup>3</sup> (Mitzlaff KV, 1988) serta memiliki nilai oktan sekitar 130 menghasilkan pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar minyak.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji efek penggunaan bahan bakar gas (CNG) dan solar terhadap kandungan emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel. Disamping itu memprediksi umpan balik yang lebih baik terhadap emisi mesin. Penganalisisan dilakukan pada data yang diperoleh dari penggunaan CNG sebagai suplemen pada solar. Karena pembakaran tergantung pada percampuran bahan bakar di dalam ruang bakar, maka percampuran bahan bakar sebelum masuk ke dalam ruang bakar layak dipertimbangkan. Penelitian dilakukan pada mesin diesel *portable* penggerak generator listrik dengan karakteristik mesin orisinil (tanpa modifikasi) yang menggunakan bahan bakar CNG dan Solar.

## TINJAUAN PUSTAKA

Bui Van Gaet *al.*, (2013) melakukan percobaan pada mesin konvensional tanpa modifikasi yang dikonversi dengan bahan bakar biogas dan dikondisikan dapat dioperasikan dengan bahan bakar orisinilnya. Dalam penelitian disimulasikan pengaruh rasio kompresi pembakaran bahan bakar biogas dengan kandungan CO<sub>2</sub> yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio kompresi melalui tekanan mempengaruhi akhir proses pembakaran mempengaruhi suhu akhir pembakaran dan kurva pelepasan panas. Pada rasio kompresi 12, suhu dan tekanan akhir pembakaran menurun masing-masing sebesar 473°K dan 2 MPa sementara konsentrasi molar CO<sub>2</sub> dalam gas buang meningkat dari 20 % menjadi 40 % (Bui Van Gaet *al.*, 2013).

Gas yang didominasi oleh kandungan propana berakibat pada peningkatan laju alirannya menghasilkan penurunan emisi yang berdampak pada sifat ramah lingkungan (CO, CO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>,

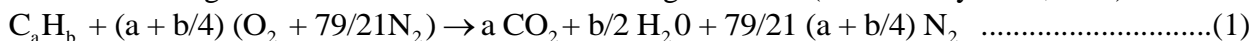
HC, PM). Jayesh D. Vaghmashi *et al.*, (2014) dalam penelitiannya pada mesin genset pertanian menyimpulkan dengan adanya peningkatan laju aliran gas yang digunakan sebanding dengan penurunan emisi Nox, HC dan CO. Penurunan emisi CO dan HC terjadi pada mesin ber-bahan bakar gas dibandingkan dengan mesin orisinil juga disimpulkan oleh Cassiano Rossetto *et al.*, (2013), yang meneliti pada mesin bensin silinder tunggal dengan berbagai ratio kompresi. Sementara itu peneliti Vikram P Rathod *et al.*, (2015) menyimpulkan selain performansi melebihi performansi mesin orisinil juga menghasilkan penurunan emisi CO, CO<sub>2</sub> yang sangat signifikan yang mendukung karakter ramah lingkungan. Hal yang sama juga dikemukakan oleh peneliti lainnya yaitu Mandloi dan A Rehman, (2010), menyatakan bahwa penggunaan bahan bakar gas berdampak positif terhadap emisi gas buang yang dihasilkan. Disamping hasil penelitian tersebut peneliti Ehsan Md. dan N. Naznin, (2005), dalam penelitiannya pada penggunaan gas pada mesin bensin genset kapasitas kecil 1,5 kW menghasilkan kandungan emisi yang rendah.

#### Bahan Bakar dan Percampurannya.

Komposisi CNG sebagian besar terdiri dari gas metana sekitar 93 % dan selebihnya adalah gas ethana, propana, butana, nitrogen dan karbondioksida. CNG lebih ringan dari udara dengan berat jenis 0,606 kg/m<sup>3</sup> dan mempunyai nilai oktan 120-130. Mengingat CNG adalah fase gas/mudah menguap maka dengan mudah dapat bercampur dengan udara. Dengan tingginya angka oktan dari CNG maka pada ratio kompresi yang lebih tinggi sangat jarang terjadi *knocking* (Mitzlaff KV, 1988). Dengan sifat mudah bercampur maka proses pembakaran lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar minyak. Bahan bakar gas (CNG) memiliki karakter dengan temperatur penyalaan yang tinggi (*high auto-ignition temperature*) sehingga dalam aplikasinya pada mesin diesel tetap memerlukan keberadaan solar sebagai pemantik pembakaran. Bila pengaturan campurannya baik maka hasil pembakarannya tidak menimbulkan asap hitam dan tidak berbau. Sehingga dengan penggunaan CNG pada mesin diesel ber-bahan bakar ganda dapat menekan tingkat konsentrasi *soot* pada gas buang (Roger A. Strehlow, 1985).

#### Reaksi Pembakaran Stoikiometri Hidrokarbon.

Mesin pembakaran di dalam (*Internal Combustion*) menghasilkan energi pembakaran dari sejumlah bahan bakar *hydrocarbon* dengan udara, dimana energi kimia bahan bakar diubah menjadi energi kalord dalam ruang bakar. Sebagian besar energi kimia itu dilepas menjadi kalor ketika bereaksi (terbakar) dengan sejumlah udara yang stoikiometrik. Oksigen yang stoikiometrik cukup untuk merubah semua karbondalam bahan bakar menjadi CO<sub>2</sub> dan semua hydrogen menjadi H<sub>2</sub>O, tanpa menyisakan oksigen. Udara atmosfer terdiri dari 21% oksigen dan 79% nitrogen, untuk setiap 0,21 mol oksigen terdapat 0,79 mol nitrogen. Pembakaran stoichimetridari bahan bakar hidrocarbong dengan udara secara umum adalah sebagai berikut (John B Heywood, 1988) :



Bahan bakar Hidrokarbon dinyatakan sebagai CH<sub>y</sub> dimana 'y = b / a'. Persamaan di atas menggambarkan proporsi yang stoikiometridari bahan bakar dan udara; bila oksigen cukup untuk mengkonversi semua bahan bakar ke bentuk sepenuhnya produk dioksidasi dengan sempurna. Berat molekul masing-masing: oksigen (32), nitrogen (28,16), atom karbon (12,011), dan hidrogen (1,008).

#### Air Fuel Ratio (AFR).

- AFR Teoritis :

Perbandingan Udara-Bahan Bakar = AFR (*Air Fuel Ratio*) tergantung pada komposisi molar H/C bahan bakar (John B Heywood, 1988)

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \left(\frac{F}{A}\right)_s^{-1} = \frac{(1+y)(32+3,773x28,16)}{12,011+1,008y}, \text{ atau :}$$

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \left(\frac{F}{A}\right)_s^{-1} = \frac{34,56(4+y)}{12,011+1,008y} \dots\dots\dots(2)$$

Perbandingan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) masing-masing jenis bahan bakar secara teoritis dapat dihitung sebagai berikut:

**AFR – Solar (*Dodecane* = **C12H26**).**

$$AFR_{(Solar100\%)} = \frac{18,5(32+79/21x28,16)}{12(12,011)+26(1,008)} = 15$$

**AFR – CNG (**CH4**).**

$$AFR_{(CNG)} = \frac{2(32+79/21x28,16)}{12,011+(4x1,008)} = 17,2.$$

**AFR – Bahan bakar Ganda (**CH4 + C12H26**).**

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \left(\frac{F}{A}\right)_s^{-1} = \frac{34,56(4+2,3)}{12,011+1,008(2,3)} = 15,19.$$

**AFR Aktual.**

AFR aktual dihitung dari data hasil pengujian yaitu perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar. AFR (aktual) = massa udara/massa bahan bakar.

**Percampuran pada Mesin Diesel.**

Percampuran Udara-Bahan Bakar Solar berlangsung di dalam ruang bakar. Pembakaran berlangsung sebelum akhir langkah kompresi dimana gerakan piston menuju beberapa derajat sudut engkol sebelum titik mati atas (TMA), kemudian bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar yang telah terisi udara terkompresi. Bahan bakar yang diinjeksikan berupa atomisasi/butiran-butiran yang sangat kecil (*atomization process*).

Dengan semakin meningkatnya suhu dan tekanan di dalam ruang bakar maka atom-atom bahan bakar mengalami penguapan. Uap bahan bakar dengan segera bercampur dengan udara yang telah terkompresi sebelumnya sehingga mencapai batas campuran yang siap terbakar. Kenaikan suhu dan tekanan di dalam silinder yang melebihi titik nyala bahan bakar (*fuel's ignition point*) menyebabkan campuran udara-bahan bakar segera terbakar. Saat penginjeksian solar proses pembakaran tidak langsung terjadi, tetapi ada selang waktu yaitu beberapa derajat sudut engkol sebelum TMA. Selang waktu tersebut disebut waktu tunda pembakaran (*ignition delay time*) yaitu periode mulai saat awal injeksi solar hingga saat mulai terbakar. Pembakaran pada campuran Udara-Bahan Bakar terjadi secara spontan pada *premixed combustion phase*, sehingga suhu dan tekanan naik secara drastis yang menyebabkan sisa bahan bakar yang diinjeksikan akan lebih cepat menguap (John B Heywood, 1988). Fase berikut adalah *mixing controlled combustion phase* atau *diffusion combustion phase* yaitu fase dimana kecepatan pembakaran tergantung pada kecepatan percampuran Udara-Bahan Bakar, dan yang terakhir adalah fasa *late combustion*.

Percampuran pada Mesin Ber-bahan Bakar CNG dan Solar.

Proses percampuran pada mesin diesel ber-bahan bakar ganda diawali pada saluran isap *intake manifold* yaitu antara udara dan CNG kemudian dilanjutkan di dalam ruang bakar antara campuran udara dan CNG dengan bahan bakar Solar. Solar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar berupa atom-atom halus segera bercampur dengan campuran udara dan CNG terkompresi yang segera terbakar dan berlangsung selama masa penginjeksian solar. Oleh karena CNG mempunyai sifat penyalaan dengan temperatur tinggi, maka penyalaan pembakarannya terjadi oleh solar. Dengan demikian percampuran bahan bakar ganda hingga proses pembakaran relatif sama seperti pada mesin bensin dimana solar berperan sebagai busi/pemantik api.

Kwalitas pembakaran tergantung pada mutu percampuran bahan bakar. Untuk mendapatkan campuran udara dan CNG yang baik pada sambungan saluran isap, maka gas disalurkan melalui unit injeksi dan *mixer*. Proses percampuran dan pembakaran di dalam ruang bakar berlangsung selama masa penginjeksian solar, dimana saat awal penginjeksian solar ke dalam ruang bakar yang telah terisi campuran udara dan CNG telah berada dalam batas kondisi siap terbakar hingga pada *premixed combustion*. Percampuran berikut adalah pada fase *mixing controlled combustion* atau *diffusion combustion phased* dan diakhiri pada *late combustion phase* (John B Heywood, 1988)

Emisi Gas Buang.

Emisi gas buang yang melampaui nilai ambang batas yang berasal dari motor bakar diesel maupun bensin dapat mengganggu kesehatan manusia serta mencemari lingkungan. Hasil pembakaran suatu bahan bakar hidrokarbon terdiri dari CO, Hidrokarbon/HC, NO<sub>x</sub> (NO dan NO<sub>2</sub>) serta Partikulat. Kandungan emisi gas buang tergantung pada kondisi disain dan operasi, namun secara umum terdiri dari (John B Heywood, 1988) :

- NO<sub>x</sub> : 500–1000 ppm atau 20 g/kg-bahan bakar
- CO : 1–2 % atau 200 g/kg-bahan bakar.
- HC : 3000 ppm atau 25 g/kg-bahan bakar.

Polutan yang terdapat di udara berasal dari partikulat berupa: asap, debu, partikel padat yang sangat halus dan bila masuk melalui saluran pernafasan manusia dapat menimbulkan gangguan kesehatan. *Smoke-meter* digunakan untuk mengukur *soot* atau *black smoke* yang keluar melalui gas buang. Gas buang dialirkan melalui *probe* untuk diukur kadar smoke-nya.

Pembentukan Emisi Pada Mesin Diesel.

Oleh karena penginjeksian bahan bakar solar ke dalam ruang bakar berlangsung sebelum dan selama proses pembakaran, maka distribusi bahan bakar solar tidak seragam. Pada penginjeksian bahan bakar solar bahwa nyala api pembakaran mempengaruhi pembentukan NO. Emisi NO terbentuk pada daerah dengan temperatur tinggi dan yang terbesar terjadi pada daerah mendekati stoikiometrik.

Hidrokarbon (HC) dan asap (*soot*) yang tidak terbakar terjadi pada saat pembakaran fasa *premixed* dan fasa *mixing controlled* (John B Heywood, 1988). Sedangkan *soot* terbentuk pada daerah *spray* yang kaya dimana intinya masih mengandung bahan bakar yang belum terbakar. Bahan bakar yang telah berupa uap selanjutnya dipanasi oleh gas panas sekitarnya dan akhirnya terbakar yang ditandai dengan nyala api pembakaran yang berwarna kuning.

Beberapa faktor yang menyebabkan timbulnya emisi HC adalah: yang pertama karena adanya daerah dengan campuran Udara-Bahan Bakar terlalu miskin (*overleaning*). Pada daerah batas *spray* terdapat campuran Udara-Bahan Bakar terlalu miskin yang jauh dibawah batas *combustible*, sehingga kecepatan pembakarannya tidak sempurna karena berlangsung dengan sangat lambat. Penyebab lain adalah lambatnya percampuran Udara-Bahan Bakar (*undermixing*), oleh

karena pada saat tertentu kecepatan injeksi bahan bakar yang rendah menyebabkan tersisanya bahan bakar solar pada ujung alat injeksi solar (*sac volume*). Sehingga sisa bahan bakar pada ujung injektor tersebut walaupun akhirnya dapat masuk kedalam ruang bakar saat akhir proses pembakaran dan selama proses ekspansi namun tidak ikut terbakar dan menjadi penyumbang terbentuknya emisi HC didalam gas buang. Penyebab terakhir adalah karena pengaruh *wall quenching* yaitu peristiwa matinya nyala api pembakaran saat mendekati dinding silinder ruang bakar yang ber-temperatur lebih rendah.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Pengujian dilakukan pada mesin diesel injeksi langsung penggerak generator listrik di Balai Termodinamika Motor dan Propulsi (BTMP) PUSPITEK–BPPT Serpong Banten dengan menggunakan beberapa alat ukur yang telah terkalibrasi dan dengan deskripsi alat uji sebagai berikut:

Spesifikasi Mesin Diesel Genset.

Spesifikasi mesin diesel yang diuji adalah :

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Uji.

Merek	Yanmar
Type	TS 190 R DI (Direct Injection)
Jumlah silinder	1
Diameter x Langkah silinder	110 x 106 (mm)
Volume silinder	1.007 (cm <sup>3</sup> )
Output kW / hp ( cont.)	11,8 kW/16 hp
Output kW / hp ( rated )	14 kW/19 hp
Putaran ( rated )	2.200 (rpm)
Sistim pendingin	Radiator
Berat	182 kg

Sumber: Technical Book Yanmar Mnft.

### Unit Injeksi Gas.

Unit injeksi Gas/CNG berfungsi sebagai pencampur udara dan CNG yang diperlengkapi dengan sejumlah *nosel* dan dipasang pada saluran masuk *intake manifold* sebelum *mixer*.

Konstruksi unit injeksi gas yang digunakan adalah dengan jumlah nosel 10 lubang yang masing-masing ber-diameter 0.3 mm dan jarak antar lubang adalah 6 mm. Penempatan sistim injeksi tersebut berjarak 200 cm dari posisi unit *mixer* sebelum masuk ke ruang bakar. Diameter *header* dari unit injeksi 600 mm dan unit ditempatkan pada pusat *adapter* saluran CNG.

### Alat Ukur.

Peralatan pengukuran sebelumnya telah dikalibrasi, masing-masing alat ukur yang digunakan adalah SPX EGA-2000 dalam %, untuk mengukur emisi gas buang (CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) dan Smoke level (%).

### Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data.

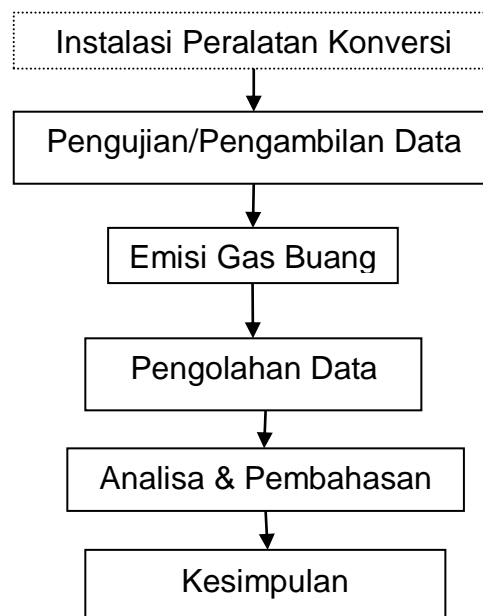
- Sebelum pengoperasian mesin, dilakukan pengecekan terhadap ketersediaan bahan bakar CNG maupun solar, pelumas dan air pendingin di dalam tangki masing-masing.
- Pengecekan dilanjutkan terhadap seluruh sambungan-sambungan antara lain saluran bahan bakar, saluran supply gas dan saluran air pendingin.

- c. Kemudian mesin dihidupkan dengan bahan bakar solar beberapa saat hingga mesin dalam kondisi operasi yang stabil, lalu penginjeksian gas sesuai variasi kondisi operasi.
- d. Pengambilan Data, setelah kondisi putaran mesin telah stabil sekitar 2000 rpm dan setting pembebanan listrik maka dilakukan pengambilan data meliputi; Putaran mesin (rpm), Smoke level (%), Emisi gas buang: CO (%), CO<sub>2</sub> (%), HC (ppm), O<sub>2</sub> (%) dan NO<sub>x</sub> (ppm).

Prosedur Pelaksanaan Pengujian.

- a. Pengujian mesin diesel injeksi langsung dengan variasi beban dan bukaan nosel yang menggunakan bahan bakar CNG dan Solar.
- b. Setiap pengujian dilakukan pada putaran konstan sekitar 2000 rpm.
- c. Pengambilan data emisi dan smoke.
- d. Setelah pengambilan data selesai, putaran mesin diturunkan ke posisi idle / tanpa beban kemudian mesin dimatikan.

Diagram Alir Pengujian.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan pengujian.

Peralatan dan komponen pengujian.



Gambar 2. Konfigurasi Mesin Uji Genset.



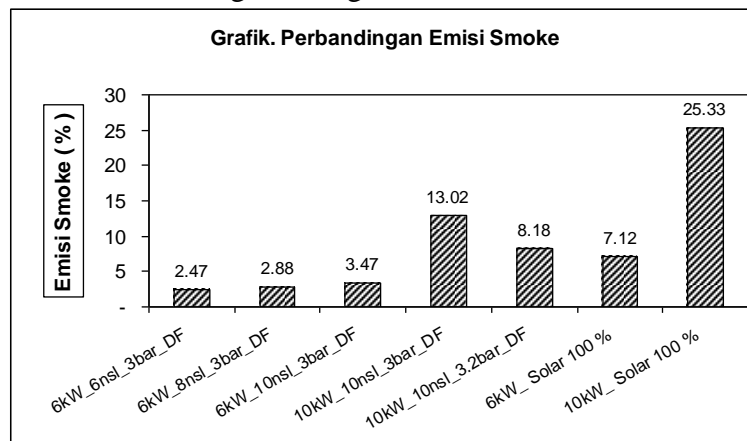
Gambar 3. Alat Ukur Emisi Gas Buang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Emisi Gas Buang.  
Emisi Smoke.

Pada Gambar 4. terlihat bahwa mesin ber-bahan bakar CNG dan Solar menyumbang emisi smoke rata-rata 41 % dari mesin ber-bahan bakar solar . Pada daya 6 kw emisi smoke dari mesin ber-bahan bakar ganda sebesar 41 % dari emisi mesin diesel ber-bahan bakar solar, sedangkan pada daya 10 kW terlihat emisi smoke mesin ber-bahan bakar ganda sebesar 42 % dari emisi smoke mesin ber-bahan bakar solar .

Rendahnya emisi smoke dari mesin ber-bahan bakar ganda disebabkan karena jumlah solar yang digunakan lebih sedikit dibandingkan dengan mesin ber-bahan bakar solar.

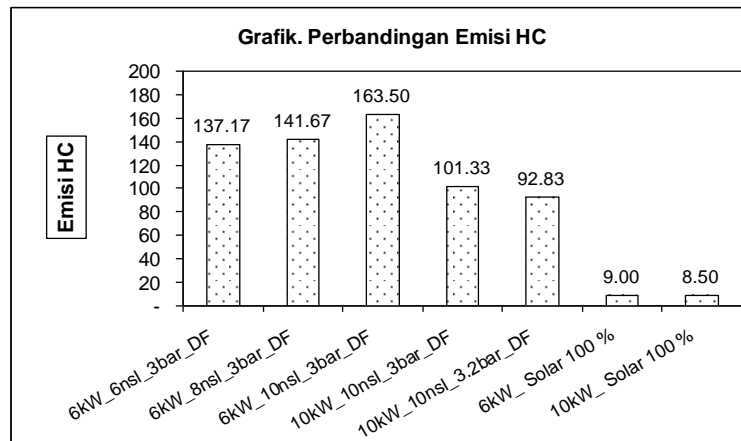


Gambar 4. Grafik Perbandingan Emisi Gas Buang Smoke Pada Berbagai Kondisi Operasi Mesin.

Disamping itu pemasukan CNG dan udara melalui *intake manifold* telah terlebih dahulu dimasukkan ke dalam ruang bakar sebelum penginjeksian solar, sehingga sebelum *autoignition* solar terjadi, di dalam ruang bakar telah tersedia campuran CNG-udara yang dalam kondisi batas mampu bakar (*combustible limit*). Setelah terjadi *auto-ignition* maka campuran Udara-CNG di dalam ruang bakar spontan terbakar sehingga lebih memudahkan pembakaran solar yang diinjeksikan berikutnya. Karena pembakarannya lebih sempurna, maka jelas bahwa emisi *smoke* dari mesin ber-bahan bakar ganda lebih baik dibandingkan dengan mesin diesel ber-bahan bakar solar.



Emisi Hidrokarbon (HC).



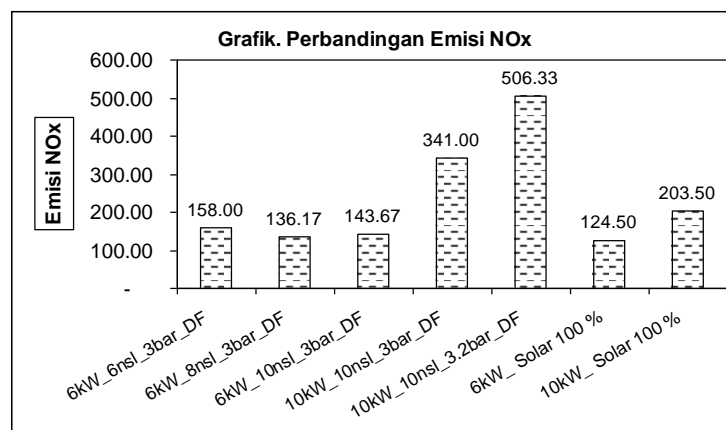
Gambar 5. Grafik Perbandingan Emisi Gas Buang HC Pada Berbagai Kondisi Operasi Mesin.

Pada Gambar 5. emisi HC rata-rata pada pengoperasian mesin diesel ber-bahan bakar ganda menghasilkan emisi 14 kali lebih tinggi bila dibandingkan dengan mesin diesel ber-bahan bakar solar. Dari berbagai tingkat persentase CNG yang digunakan, pada pengoperasian mesin ber-bahan bakar ganda terlihat menghasilkan emisi HC yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel ber-bahan bakar solar.

Tingginya kandungan emisi HC pada mesin diesel ber-bahan bakar ganda disebabkan karena dominasi pembakaran yang terjadi pada fasa *premixed* sehingga tekanan di dalam silinder yang tinggi menyebabkan sebagian campuran Udara-CNG masuk dan terjebak di dalam *crevice volume*. Semakin tinggi tekanan didalam ruang bakar semakin banyak pula campuran yang dapat masuk dan terjebak didalam *crevice volume*. Hal ini juga terjadi pada saat penambahan debit CNG dalam campuran bahan bakar mengakibatkan semakin banyak gas yang dapat masuk dan terjebak didalam *crevice volume*.

Disamping itu gas pembakaran mengalami *wall quenching*, karena perbedaan temperatur antara gas pembakaran yang menuju/mendekati dinding silinder menyebabkan api pembakaran mati. Hal tersebut menjadi penyebab meningkatnya kandungan emisi HC pada gas buang. Dengan kondisi tersebut menyebabkan adanya campuran yang tidak terbakar yang akhirnya menjadi emisi HC pada gas buang.

Emisi NOx.

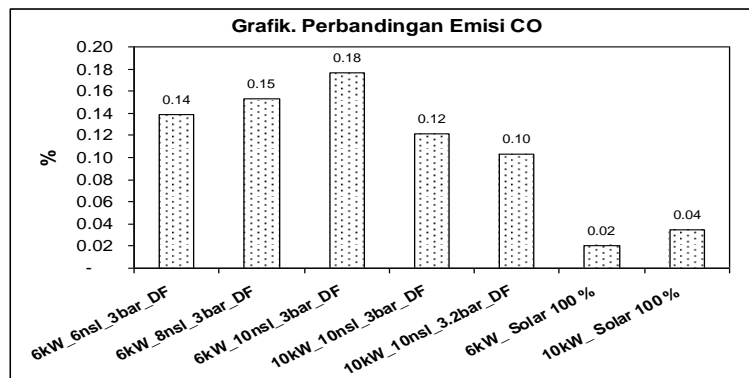


Gambar 6. Grafik Perbandingan Emisi Gas Buang NOx Pada Berbagai Kondisi Operasi Mesin.

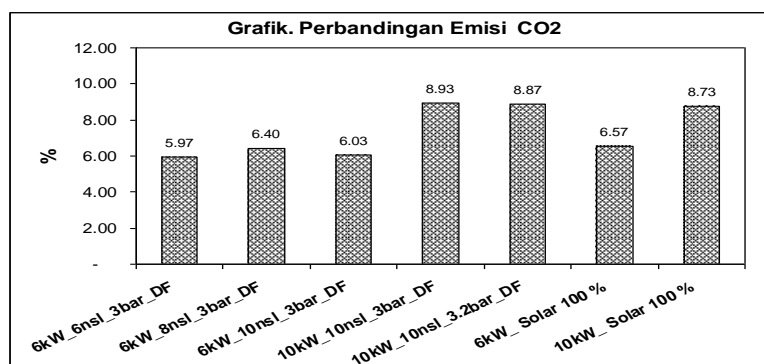
Pada Gambar 6. emisi NOx yang dihasilkan oleh mesin ber-bahan bakar ganda dimana pada beban 6 kW emisi Nox sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel ber-bahan bakar solar. Namun pada beban 10 kW terjadi lonjakan yang signifikan yaitu rata-rata sebesar 2,6 kali lebih tinggi dibandingkan dengan mesin diesel berbahan bakar solar. Hal ini diakibatkan oleh karena Inert gas Nitrogen merupakan gas yang sulit untuk bereaksi, Nitrogen dapat bereaksi dengan Oksigen pada temperatur pembakaran yang cukup tinggi. Proses pembakaran yang terjadi pada mesin ber-bahan bakar ganda didominasi pada fasa *premix combustion*. Oleh karena pada mesin ber-bahan bakar ganda, CNG bersama-sama dengan sejumlah udara telah lebih dahulu dimasukkan ke dalam ruang bakar, sehingga akhir langkah kompresi di dalam ruang bakar telah tersedia campuran Udara-CNG yang siap untuk terbakar sebelum solar diinjeksikan.

Setelah *autoignition* terjadi pada saat penginjeksian solar maka campuran Udara-CNG secara spontan terbakar, hal ini mengakibatkan lonjakan temperatur dan tekanan yang tiba-tiba di dalam ruang bakar yang berakibat peningkatan kandungan emisi NOx.

Emisi CO dan CO2.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Emisi Gas Buang CO Pada Berbagai Kondisi Operasi Mesin.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Emisi Gas Buang CO2 Pada Berbagai Kondisi Operasi Mesin.

Secara umum kandungan emisi CO maupun CO2 dari mesin diesel ber-bahan bakar ganda dan mesin diesel ber-bahan bakar solar tidak terlalu jauh berbeda. Terlihat dari Gambar 7. dan Gambar 8. pada pembebanan yang sama baik pada mesin ber-bahan bakar ganda maupun mesin ber-bahan bakar solar emisi CO dan CO2 relatif sama, demikian halnya pada pembebanan yang lebih tinggi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dengan penggunaan injeksi dengan jumlah lubang nosel 10 buah dan ber-diameter 0,3 mm CNG sebagai substitusi pada solar menyebabkan mesin dapat dioperasikan secara normal. Emisi smoke rata-rata yang dihasilkan oleh mesin ber-bahan bakar ganda lebih rendah namun emisi HC dan NOx lebih tinggidi dari emisi yang ditimbulkan oleh mesin orisinil. Selama pengoperasian mesin ber-bahan bakar ganda dapat beroperasi dengan baik, tidak berbeda dengan saat pengoperasian mesin dengan menggunakan solar.

### Saran

Tingginya emisi HC dan NOx disebabkan oleh tidak ter-kontrolnya pemasukan CNG (pemasukan melalui *intake manifold*). Disarankan agar pada penelitian berikutnya pemasukan CNG dapat dilakukan dengan penginjeksian secara langsung kedalam ruang bakar, hal ini dapat menghindari atau mengeliminir gas yang terjebak pada *crevice volume*.

## REFERENSI

- Anonymous.(2016). Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025, Departemen Esdm, Jakarta.
- Bui Van Ga., Tran Van Nam, dkk. (2014).Study of Performance of Biogas Spark Ignition Engine Converted from Diesel Engine". *The International Conference on Green Technology and Sustainable Development*. Hochiminh City, Vietnam, September 29-30.
- Cassiano, R.,Samuel,N.dkk.(2013).Performance of an Otto cycle engine using biogas as fuel. *African Journal of Agricultural Research*. 8(45) pp. 5607-5610.
- Compressed Natural Gas" <<http://www.mckenziecorp.com/dehydration.htm>>, diakses September 2019.
- Ehsan, Md.,N. Naznin, (2005).Performance of a Biogas Run Petrol Engine for Small Scale Power Generation".*Journal of Energy & Environment* 4 (2005) 1 – 9.
- Esdm.(2017), Energi Alternatif ditengah surutnya pasokan minyak, <http://www.republika.co.id>.
- F. El-Mahallawy, S.El-Din Habik.(2002).Fundamentals and Technology of Combustion.First edition".*Elsevier Science Ltd. The Boulevard, Langford Lane Kidlington*. Oxford OX5 1GB. UK.
- Jayesh D.V.,D.R.Shah.,D.C.Gosai.(2014).An Experimental Study of Petrol Engine Using Compressed Biogas as a Fuel".*International Journal for Scientific Research & Development*| Vol. 2, Issue 04.
- John, B, H.Internal Combustion Engine Fundamental", Mc Graw Hill, Singapore 1988.
- Mitzlaff, KV.(1988). Engines for biogas. Theory, Modification, Economic Operation.
- Mohan,K.,K, Azad. (2014).An Experimental Investigation of Performance and Emissions of LPG as Dual Fuel in Diesel Engine Generator", *Int. Journal of Engineering Research and Applications* ISSN : 2248-9622, Vol. 4, Issue 11
- Roger,A.,Strehlow.(1985).Combustion Fundamentals, Mc Graw Hill Book Company.
- Syed,Y., Syed,N,M.(2008).Performance and Emission Characteristics of LPG-Fuelled Variable Compression Ratio SI Engine. *Turkish J. Eng. Env.Sci.* 32 pp. 7 – 12.
- Vikram,P,R.,Puneet,B.,PV,Bhale.(2015).Analytical and Experimental Investigation for Hydrogen Rich Syngas Production Energy Biogas Reforming Processes.:*The 7<sup>th</sup> International Conference on Applied Energy.Energy Procedia* 75. Pp. 728-733.
- Yunus,A.,Cengel.,Michael,A,B.(2002).Thermodynamics, An Engineering Approach. The Mc Graw-Hill Company.