

## UJI PERFORMA MESIN BENKIN DENGAN SISTEM INJEKSI BERBAHAN BAKAR HCNG

### Mega Nur Sasongko

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
megasasongko@ub.ac.id

### Abdi Afifuddin Zuhri

Mahasiswa S1  
Universitas Brawijaya  
Jurusan Teknik Mesin  
abdiazuhri@gmail.com

*Compressed Natural Gas (CNG) is an alternative renewable fuel gasoline replacement. However, due to the low heating value, the use of CNG in the engine will reduce its performance. The addition of hydrogen gas in CNG namely hydrogen-enriched compressed natural gas is expected to increase the power of the motor. This study aims to analyze the effect of hydrogen concentration on the performance of a CNG gasoline engine. The research was conducted on the engine with an indirect fuel injection system with a volume of 124,9 cc. The parameter of the engine that measured is torque, effective power, specific fuel consumption, and effective thermal efficiency. The results showed that the small percentage of hydrogen in CNG could increase the power of the gasoline engine. Power and efficiency reach a maximum of 10% hydrogen concentration. Increasing the proportion of hydrogen in CNG fuel above 10% will significantly reduce engine torque and power. Engine performance at optimal conditions with 10% hydrogen results in torque of 2.71 Kg.m at 670 rpm, effective power of 3.28 Ps at 1055 rpm, SFCe 0.17 Kg / Ps. Hours at 770 rpm and 33.62% effective thermal efficiency at 770 rpm*

**Keywords:** *Hydrogen Enriched Compressed Natural Gas, Engine Performance, Indirect Fuel Injection, Engine Power*

## 1. PENDAHULUAN

Pada beberapa tahun terakhir, kebutuhan akan energi untuk pemenuhan transportasi semakin tinggi. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya, dalam waktu 2 tahun yaitu tahun 2015-2017 jumlah kendaraan bermotor meliputi sepeda motor, mobil barang, bis dan mobil penumpang mengalami peningkatan jumlah sebesar 17.162.484 unit kendaraan bermotor [1] dengan meningkatnya permintaan energi tersebut dapat mengancam cadangan energi yang ada, dalam rentang waktu 2017-2018 jumlah potensial cadangan minyak bumi di Indonesia mengalami penurunan dari angka 4364 million stock tank barrel (MMSTB) menjadi 4357.9 MMSTB [2].

Dalam beberapa tahun terakhir di bidang otomotif telah dilakukan pengembangan, salah satunya adalah penggunaan teknologi sistem injeksi sebagai sistem suplai bahan bakar ke ruang bakar yang dikontrol oleh suatu kontrol elektronik dengan *engine control unit* (ECU) sebagai pusat dari semua aktuatur dan sensor yang terpasang pada *engine* sehingga dapat meningkatkan dan memaksimalkan penggunaan bahan bakar sesuai dengan kebutuhan *engine* dan tidak ada bahan bakar yang terbuang sia-sia. Namun dalam pengaplikasiannya sistem injeksi dinilai masih belum mampu menjadi solusi utama untuk mencegah terjadinya krisis energi. Oleh karena itu dibutuhkan pencarian sumber energi alternatif pengganti bahan bahan fosil, salah satunya adalah *compressed natural gas* (CNG). CNG dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak karena memiliki nilai kalor yang dapat digunakan sebagai bahan bakar, selain itu CNG juga memiliki nilai ekonomis yang lebih murah dibandingkan dengan bahan bakar minyak lainnya, CNG dinilai dapat menjadi solusi karena cadangan persediaan gas yang terbilang melimpah.

Penggunaan CNG sebagai salah satu alternatif terbaru pengganti bahan bakar untuk mesin bensin sudah diterapkan secara massive dan terbukti dapat dipakai tanpa kendala terhadap komponen mesin. Kelebihan utama dari penggunaan CNG sebagai bahan bakar spark ignition engine adalah dapat menurunkan emisi gas hasil pembakaran dari motor bakar. Akan tetapi jika ditinjau dari performa mesin, mesin bensin dengan retorfit CNG mempunyai daya keluaran yang lebih rendah [3-8]. Hal ini karena sifat CNG yang sulit terbakar pada kondisi miskin bahan bakar dan kecepatan pembakaran yang rendah [9]. Penelitian yang

dilakukan oleh Khan dkk. [3] menyimpulkan bahwa kecepatan propagasi gas CNG yang lebih rendah dibandingkan dengan bensin akan memungkinkan ada bahan bakar gas yang keluar melalui saluran exhaust sebelum sempat terbakar dan mengurangi keefektifan CNG sebagai bahan bakar mesin bensin.

Untuk mengatasi masalah burning speed yang rendah dari natural gas, salah satu cara yang paling efektif adalah mencampurkan gas hidrogen ke dalam bahan CNG. Hidrogen adalah gas paling ringan dengan sifat yang mudah terbakar, mempunyai daerah batas kestabilan api yang lebar, energi penyalaaan yang rendah, kecepatan api tinggi, dan emisi yang dapat diabaikan [10,11]. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, penggunaan campuran CNG-hidrogen sebagai bahan bakar spark ignition engine mampu meningkatkan kecepatan dan kestabilan pembakaran CNG dan mengurangi emisi HC [12]. Menurut Hayder & Ahmad [5] Hidrogen merupakan pilihan terbaik untuk meningkatkan kinerja mesin *spark ignition* karena hidrogen memiliki kecepatan rambat api yang tinggi dibanding dengan bahan bakar lain. *Hydrogen enriched compressed natural gas* (HCNG) merupakan bahan bakar yang tersusun dari campuran CNG yang diperkaya dengan gas hidrogen. Mehra dkk. [10] dalam penelitiannya mendapatkan hasil tentang perbandingan karakteristik antara gas alam dengan berbagai campuran HCNG, berikut data tersebut:

**Tabel 1:** Perbandingan Karakteristik Gas Alam dengan Berbagai Campuran HCNG

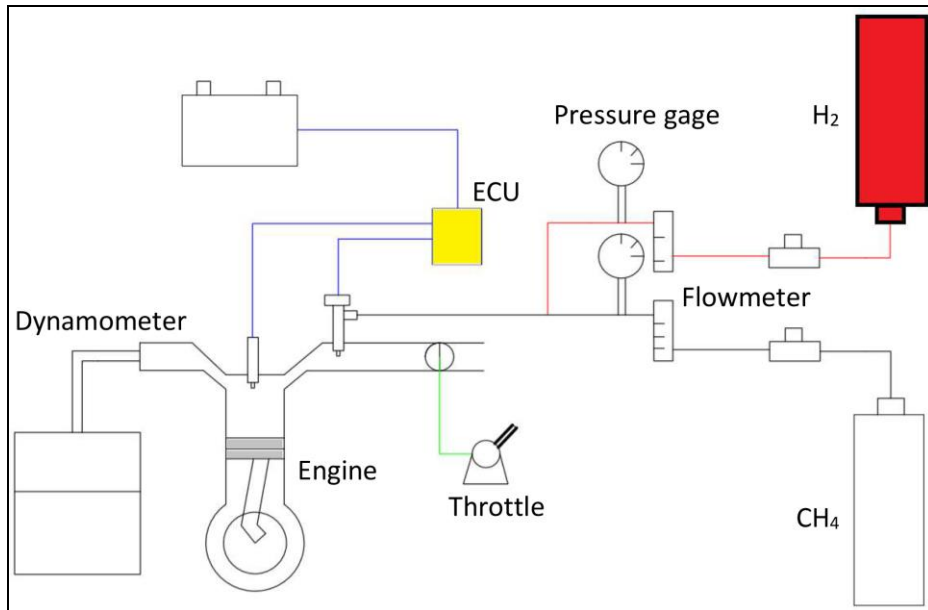
<i>Properties</i>	<i>Natural Gas</i>	<b>HCNG10</b>	<b>HCNG20</b>	<b>HCNG30</b>
H <sub>2</sub> (% Vol.)	-	10	20	30
H <sub>2</sub> (% Energy)	-	3,2	7,0	14,4
LHV (MJ/kg)	45,3	46,2	46,7	48,5
LHV <sub>vol</sub> (MJ/Nm <sup>3</sup> )	39,9	34,3	31,7	29,2
AFR <sub>stoch</sub>	15,6	15,8	16,1	16,4
LHV <sub>stoch,mix</sub> (MJ/Nm <sup>3</sup> )	3,375	3,367	3,358	3,349

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan campuran hidrogen-CNG sebagai retrofit bahan bakar pengganti mesin bensin. Penambahan sedikit prosentase hidrogen dalam bahan bakar CNG diteliti untuk melihat pengaruh konsentrasi hidrogen dalam pencampuran bahan bakar CNG terhadap kinerja mesin bensin bersistem indirect fuel injection. Parameter mesin yang menunjukkan kinerja dari mesin adalah torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik, dan efisiensi termal efektif.

## 2. METODE DAN BAHAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah penelitian secara eksperimental (*experimental research*) menggunakan *engine testbench* yang merupakan mesin bensin dan akan digunakan CNG sebagai bahan bakar dengan variasi konsentrasi hidrogen yang akan ditambahkan pada CNG untuk mengetahui pengaruh dari berbagai variasi konsentrasi gas hidrogen terhadap performa mesin tersebut. variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada 3. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah kadar penambahan hidrogen pada CNG, yaitu 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% dan juga putaran mesin yang digunakan, yaitu 3500 rpm sampai 7000 rpm dengan kelipatan 500 rpm yang nantinya akan dikalibrasikan menjadi putaran poros yang dihasilkan. Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah beban pengereman, torsi, daya efektif, SFCe dan efisiensi termal efektif sebagai hasil dari pengaruh variabel bebas yang diuji, variabel terkontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah tekanan bahan bakar dijaga konstan pada tekanan 1 bar menggunakan *pressure regulator*, transmisi mesin dikondisikan pada percepatan 2, posisi *throttle* pada kondisi 25% dan suhu mesin pada saat memulai pengujian pada temperatur 48°C.

Berikut adalah skema instalasi penelitian yang digunakan sebagai berikut:



**Gambar 2:** Instalasi penelitian

Gambar 2 merupakan skema instalasi dari *testbench* alat yang digunakan dalam penelitian ini, dalam *testbench* ini mesin yang digunakan adalah mesin dari Honda Supra 125 cc FI dengan volume ruang bakar 124,9 cc satu silinder dengan 2 katup yaitu katup isap dan katup buang. Untuk bahan bakar utama yakni CNG dimasukkan melalui *gas injector*, pada alat ini menggunakan *gas injector* tipe Barracuda 1CYL *single mount injector* yang diletakkan pada *mounting injector* original. Untuk hidrogen dimasukkan melalui inlet yang dibuat dengan cara memodifikasi *manifold* dan meletakkan *pilotjet* setelah *butterfly valve* sebagai saluran masuk dari hidrogen.

Untuk kontrol tekanan dan debit alir dari masing-masing bahan bakar pada *testbench* ini menggunakan *pressure regulator*, *flowmeter* dan *pressure gauge* pada tiap instalasi alirannya, namun pada instalasi aliran hidrogen terdapat *valve* sebelum aliran gas hidrogen masuk ke *pressure regulator* dan sebelum masuk ke konektor segitiga, dan dibuka ketika akan memasukkan presentase hidrogen yang telah ditentukan.

Pada inlet udara dipasang anemometer untuk mengukur berapa kecepatan alir udara yang masuk pada ruang bakar saat mesin dinyalakan dan *butterfly valve* dibuka oleh *throttle*. Sedangkan untuk pengukuran gaya pengereman digunakan *dynamometer* yang akan menunjukkan beban pengereman yang terjadi. Sedangkan untuk instalasi kelistrikan yang meliputi ECU yang akan menerima input dari sensor yang ada di mesin dan bertugas mengontrol aktuator seperti penyalan api oleh busi, instalasi tersebut terhubung pada sumber energi yaitu baterai.

## 2.1 Pengambilan Data

Untuk prosedur penelitian dalam penelitian ini diibagi menjadi 3 tahapan yaitu persiapan, pengambilan data dan pengolahan data, berikut penjelasan setiap tahapannya:

Pada tahap persiapan ini dilakukan agar pada saat pengambilan data dapat berjalan dengan lancar dan mendapat hasil yang akurat. Yang pertama adalah melakukan kalibrasi pada *flowmeter* untuk CNG dan hidrogen. Kalibrasi dilakukan dengan cara mencocokkan debit yang tertulis pada *flowmeter* dengan debit aktual yang keluar dari masing-masing gas dan melakukan kalibrasi antara putaran poros yang dibaca *tachometer* dengan putaran mesin yang dibaca ECU. Selanjutnya memastikan semua alat sudah terpasang sesuai dengan skema penelitian dan katup pada tabung CNG dan hidrogen masih tertutup. lalu membuka kedua katup pada masing-masing tabung, kemudian mengatur tekanan masing-masing gas menjadi 1 bar. Setelah itu tutup kran yang terpasang di saluran hidrogen, dan selanjutnya menghidupkan mesin sampai kondisi stasioner.

Pada tahap pengambilan data ini diterapkan *setting* semua variabel terkontrol yang telah ditetapkan. Kemudian membuka kran hidrogen yang terletak sebelum *pressure gauge* namun untuk kran yang berada sebelum konektor segitiga masih tertutup, kemudian mengatur presentase dari hidrogen dan CNG berdasarkan massa sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan, setelah itu membuka kran hidrogen dan mulai dalam proses pengambilan data. Dalam proses ini dilakukan pengeraman untuk mendapatkan putaran sesuai dengan variabel bebas yang telah ditentukan. Untuk setiap putaran dilakukan pencatatan beban

pengereman dan debit alir masing-masing gas. Setelah semua data telah didapatkan, mengembalikan mesin pada posisi gear netral dan mematikan alat uji, serta menutup katup dari tiap tabung.

Pada tahap pengolahan data ini dilakukan perhitungan dari data-data yang telah didapatkan sebelumnya. Dan pada tahapan ini akan didapatkan semua parameter pengujian yang ingin dicari, yaitu torsi, daya, SFCe dan efisiensi termal dari *engine*

## 2.2 Perhitungan Performa

Untuk menghitung torsi dari mesin yaitu perkalian antara beban pengereman (F) dengan panjang lengan *dynamometer* (L) digunakan persamaan [14] sebagai berikut:

$$T = F \cdot L \quad (1)$$

Untuk menghitung nilai daya efektif dari mesin yaitu dengan menghitung data dari torsi (T) dan putaran poros (n), seperti persamaan dibawah ini:

$$Ne = \frac{T \cdot n}{716.2} \quad (2)$$

Untuk menghitung nilai dari *specific fuel consumption* (SFCe) yaitu dengan menghitung nilai dari *fuel consumption* (FC) dan daya efektif menggunakan persamaan dibawah ini:

$$SFCe = \frac{FC}{Ne} \quad (3)$$

Untuk menghitung efisiensi termal efektif yaitu dengan menghitung nilai SFCe dan nilai kalor bahan bakar menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\eta_e = \frac{632}{SFCe \cdot Q_1} \quad (4)$$

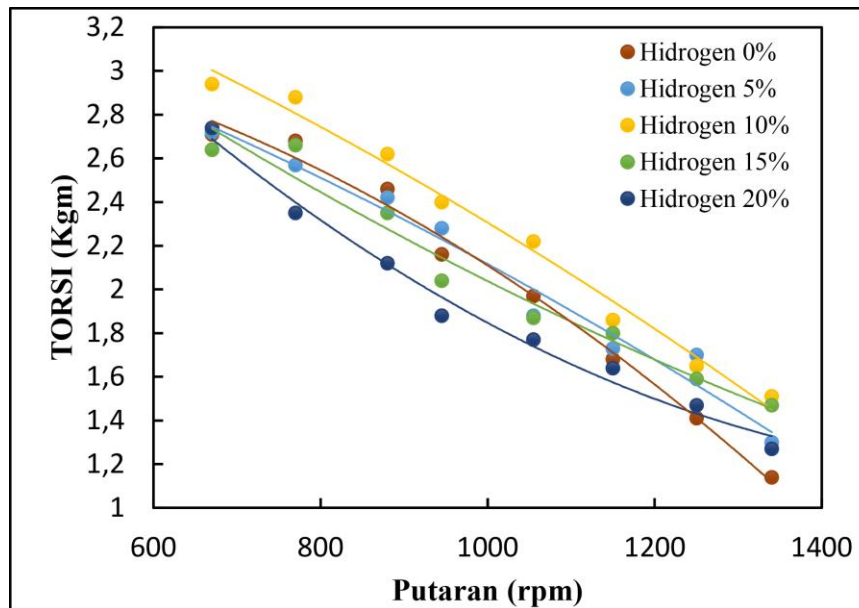
## 3. HASIL DAN DISKUSI

Dari pengujian didapat data beban pengereman dan konsumsi bahan bakar yang dapat digunakan untuk mendapatkan data yang diinginkan. Berikut adalah data yang didapat dari pengujian yang telah dilakukan:

### 3.1 Torsi

Gambar 3 menunjukkan hubungan torsi terhadap putaran, dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai putaran sangat berpengaruh terhadap besar nilai dari torsi. Dapat dilihat bahwa pada putaran rendah torsi cenderung naik sampai mencapai titik maksimalnya, kemudian seiring bertambahnya putaran membuat nilai torsi menjadi turun. Terjadinya penurunan ini disebabkan oleh semakin tinggi suatu putaran mengakibatkan gesekan antara piston dan dinding silinder semakin banyak, sehingga menyebabkan kerugian mekanis yang dihasilkan semakin meningkat. selain itu, hal lain yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai torsi adalah ketika semakin tinggi nilai putaran akan menyebabkan efisiensi volumetis menurun karena gerakan buka tutup katup isap pada langkah isap juga semakin cepat dan menyebabkan waktu untuk campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar akan semakin sedikit, hal ini mengakibatkan energi hasil pembakaran yang nantinya akan digunakan untuk menggerakkan piston juga semakin kecil dan mengakibatkan torsi yang dihasilkan juga menjadi kecil.

Nilai torsi tertinggi pada tiap variasi persentase penambahan hidrogen memiliki nilai yang berbeda-beda, selain itu torsi yang tertinggi yang dicapai oleh tiap variasi persentase penambahan hidrogen terjadi pada putaran yang berbeda. Pada variasi persentase 0%, 5%, 10% dan 20% hidrogen nilai torsi tertinggi terjadi pada putaran 670 rpm dengan nilai torsi masing-masing yaitu 2.71 kgm, 2.72 kgm, 2.94 kgm dan 2.74 kgm. untuk persentase 15% torsi tertinggi terjadi pada putaran 770 rpm dengan torsi 2.66 kgm. bawah ini merupakan hubungan antara torsi terhadap putaran poros pada berbagai variasi persentase hidrogen.



**Gambar 3:** Grafik hubungan antara torsi terhadap putaran poros pada berbagai variasi persentase hidrogen

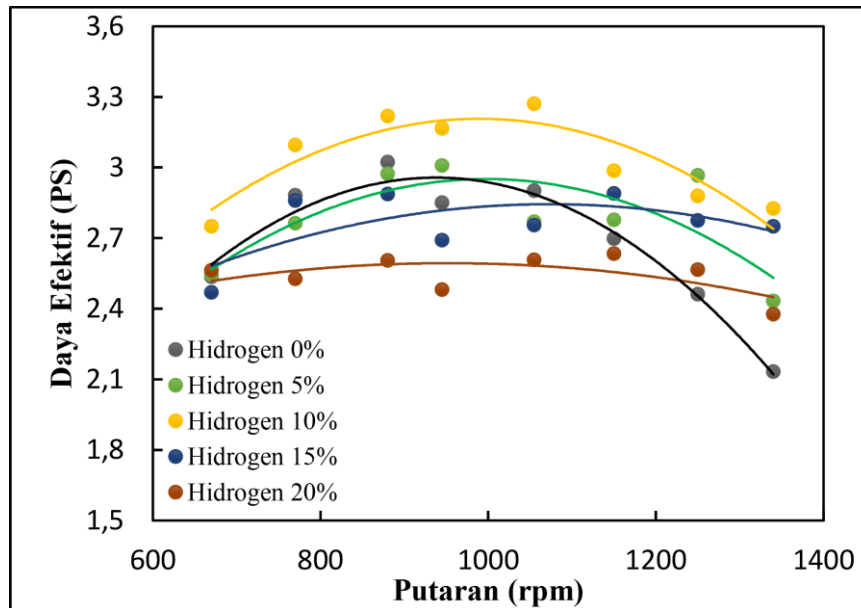
Dari gambar 3 dapat dilihat dari kelima grafik yang terbentuk dari semua variasi persentase penambahan hidrogen terlihat bahwa penambahan 5%, 10%, 15% dan 20% memiliki nilai torsi berada diatas nilai torsi pada persentase 0% pada putaran tinggi yaitu pada putaran 1250 rpm dan 1340 rpm, hal ini dikarenakan pada putaran tinggi dengan adanya penambahan hidrogen dapat meningkatkan kecepatan pembakaran dari CNG pada saat efisiensi volumetris yang semakin menurun. Sedangkan efisiensi volumetris sendiri merupakan perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara dan udara yang masuk ruang bakar dengan dengan volume ruang bakar itu sendiri. Namun untuk persentase 10% hidrogen mempunyai nilai torsi tertinggi dari semua variasi yaitu 2.94 kgm pada putaran 670 rpm, selain itu nilai torsi yang dihasilkan oleh penambahan 10% hidrogen memiliki nilai tertinggi pada tiap putaran dibanding dengan nilai torsi semua variasi persentase hidrogen. Dapat diketahui bahwa untuk persentase penambahan 10% hidrogen merupakan persentase terbaik karena dapat meningkatkan nilai torsi dari CNG murni pada semua putaran, karena jika terlalu banyak juga akan menyebabkan penurunan nilai torsi pada putaran rendah karena dapat menyebabkan pembakaran terlalu dini pada ruang bakar. menurut Hora dan Agarwal [15] dengan peningkatan hidrogen dalam HCNG tekanan puncak pada silinder akan bergeser, hal ini dikarenakan kecepatan api yang lebih tinggi menggunakan HCNG tersebut yang membuat durasi pembakaran lebih pendek dan menghasilkan awal relatif lebih awal dari pembakaran

### 3.2 Daya Efektif

Gambar 4 menunjukkan bagaimana hubungan antara nilai daya efektif yang dihasilkan dengan nilai putaran. Dapat dilihat bahwa nilai putaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai daya efektif. Pada awalnya ketika nilai putaran naik maka nilai daya efektif juga meningkat, tapi pada nilai putaran tertentu apabila nilai putaran itu naik nilai daya malah cenderung turun, hal ini disebabkan karena nilai daya efektif dipengaruhi oleh nilai torsi dan juga putaran, sesuai dengan persamaan yang digunakan yaitu persamaan 2

Pada pembahasan hubungan nilai putaran dengan nilai torsi dikatakan bahwa pada putaran yang tinggi mengakibatkan nilai torsi turun yang disebabkan oleh kerugian mekanis yang semakin meningkat ketika putaran tinggi, efisiensi volumetris yang menurun karena gerakan buka tutup katup isap pada langkah isap juga semakin cepat sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar juga semakin sedikit. Penurunan nilai torsi ini yang mengakibatkan nilai daya efektif juga turun. Tapi titik mulai turunya nilai torsi dan daya berada pada nilai putaran yang berbeda. Nilai torsi mulai turun pada nilai putaran yang lebih rendah dibandingkan nilai putaran ketika daya menurun. Hal ini disebabkan karena nilai daya efektif dipengaruhi oleh hasil perkalian dari nilai putaran dengan nilai torsi. Meskipun nilai torsi cenderung turun, daya efektif terus meningkat karena putaran terus meningkat. daya selalu meningkat selama persentase kenaikan putaran melebihi persentase kehilangan torsi. Ketika kerugian dan keuntungan berada pada titik

yang sama maka akan tercapai daya maksimal pada titik itu. Selanjutnya setiap perubahan putaran hanya akan menghasilkan penurunan daya.



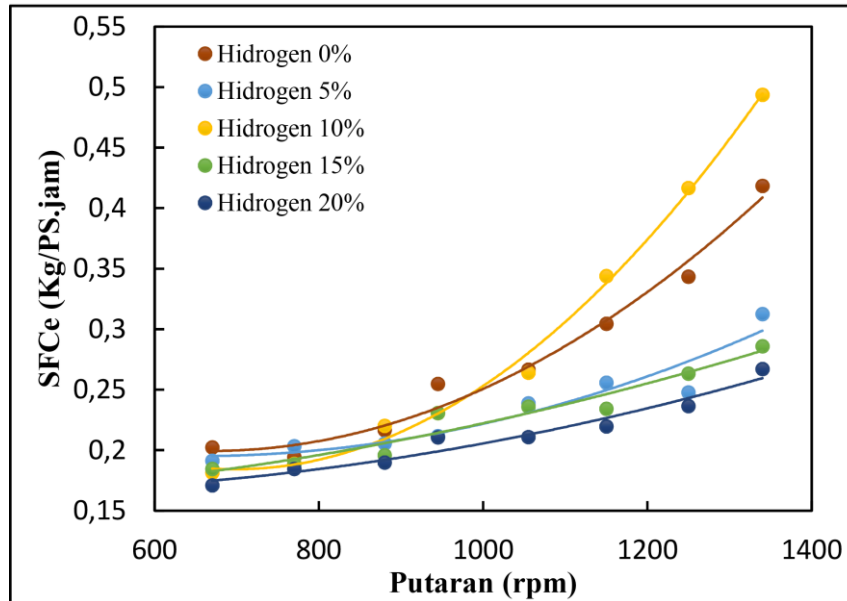
**Gambar 4:** Grafik hubungan antara daya efektif terhadap putaran poros pada berbagai variasi persentase hidrogen

Nilai daya efektif tertinggi pada tiap variasi persentase hidrogen memiliki nilai yang berbeda dan pada nilai yang berbeda pula. Untuk persentase 0% hidrogen memiliki nilai daya tertinggi pada nilai putaran 880 rpm dengan nilai daya 3.02 PS, persentase 5% hidrogen memiliki nilai daya tertinggi pada nilai outaran 945 rpm dengan nilai daya 3.01 PS, persentase 10% hidrogen memiliki nilai daya tertinggi pada putaran 1055 rpm dengan nilai daya 3.27 PS dan untuk persentase 15% dan 20% memiliki nilai daya tertinggi pada putaran 1150 dengan nilai daya masing-masing 2.89 PS dan 2.63 PS. Selain itu untuk nilai total energi dari tiap persentase secara berurutan adalah 64.78 kJ/s, 65.88 kJ/s, 65.57 kJ/s, 67.03 kJ/s dan 67.15 kJ/s

Dari gambar 4 dapat dilihat dari kelima grafik yang terbentuk dari semua variasi persentase penambahan hidrogen terlihat bahwa penambahan 5%, 10%, 15% dan 20% memiliki nilai daya efektif berada diatas nilai daya efektif pada persentase 0% pada putaran tinggi yaitu pada putaran 1250 rpm dan 1340 rpm, hal ini dikarenakan pada putaran tinggi dengan adanya penambahan hidrogen dapat meningkatkan kecepatan pembakaran dari CNG pada saat efisiensi volumetris yang semakin menurun. Sedangkan efisiensi volumetris sendiri merupakan perbandingan antara campuran bahan bakar dan udara dan udara yang masuk ruang bakar dengan dengan volume ruang bakar itu sendiri. Namun untuk persentase 10% hidrogen mempunyai nilai torsi tertinggi dari semua variasi yaitu 3.27 PS pada putaran 1055 rpm, selain itu nilai daya efektif yang dihasilkan oleh penambahan 10% hidrogen memiliki nilai tertinggi pada tiap putaran dibanding dengan nilai daya efektif semua variasi persentase hidrogen. Dapat diketahui bahwa untuk persentase penambahan 10% hidrogen merupakan persentase terbaik karena dapat meningkatkan nilai daya efektif dari CNG murni pada semua putaran, karena jika terlalu banyak juga akan menyebabkan penurunan nilai daya efektif pada putaran rendah karena dapat menyebabkan pembakaran terlalu dini pada ruang bakar.

### 3.3 SFCe (*Specific Fuel Consumption Effective*)

Dibawah ini merupakan hubungan antara konsumsi bahan bakar efektif terhadap putaran poros pada berbagai variasi persentase hidrogen.



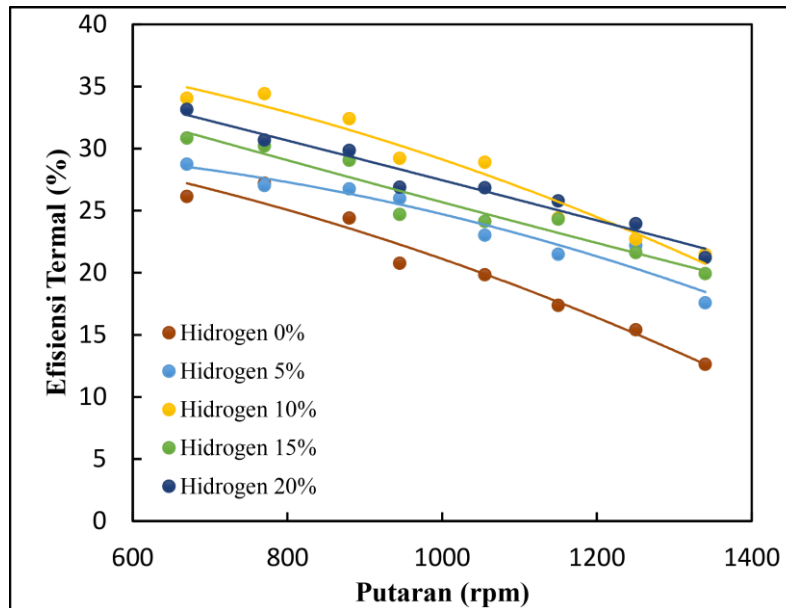
**Gambar 5:** Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar efektif terhadap putaran poros pada berbagai variasi persentase hidrogen.

Pada gambar 5 dapat kita lihat bahwa seiring bertambahnya nilai putaran maka nilai SFCe cenderung naik. Nilai SFCe yang tinggi pada saat awal putaran disebabkan karena adanya kerugian panas yang hilang menuju ke dinding silinder dan efisiensi pembakaran yang buruk yang menghasilkan besarnya konsumsi bahan bakar terhadap daya efektif yang dihasilkan. Sedangkan nilai SFCe yang tinggi pada saat putaran tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya kerugian mekanis yang terjadi akibat dari semakin cepatnya putaran yang mengakibatkan semakin kecilnya daya yang dihasilkan meskipun dengan konsumsi bahan bakar yang sama yang mengakibatkan meningkatkan nilai SFCe, karena sesuai dengan persamaan yang digunakan bahwa daya mempengaruhi dari nilai SFCe.

Pada gambar 5 dapat dilihat bahwa pada variasi persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% hidrogen, nilai SFCe minimumnya secara berurutan adalah 0.174, 0.181, 0.17, 0.176, dan 0.179 kg/PS.jam. Nilai SFCe paling rendah didapat ketika variasi persentase 10% hidrogen sebesar 0.17 kg/PS.jam. hal ini dikarenakan pada persentase 10% hidrogen nilai daya efektif yang dihasilkan dibanding massa alir lainnya adalah yang paling besar. Sesuai persamaan 3 dengan nilai *fuel consumption* (FC) yang sama berdasarkan massa antar tiap variasi persentase hidrogen maka faktor yang paling mempengaruhi adalah nilai daya efektif yang dihasilkan pada berbagai variasi persentase hidrogen, maka ketika nilai daya yang dihasilkan pada persentase hidrogen itu semakin besar maka akan didapatkan nilai SFCe yang semakin kecil juga.

### 3.4 Efisiensi Termal Efektif

Dibawah ini merupakan hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran poros pada berbagai variasi persentase hidrogen.



**Gambar 6:** Grafik hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran poros pada berbagai variasi persentase hidrogen.

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap perasaaan pada tiap variasi persentase hidrogen adalah ketika pada putaran yang rendah efisiensi termal efektif cenderung tinggi tetapi semakin bertambahnya putaran nilai efisiensi termal efektif ini cenderung turun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif sendiri dipengaruhi oleh nilai daya efektif, konsumsi bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Sesuai gambar 6 bahwa ketika putaran rendah nilai daya efektif cenderung naik sampai pada nilai tertentu kemudian nilai daya efektif turun.

Dalam hak ini nilai kalor, konsumsi bahan bakar dan daya efektif sangat berpengaruh terhadap nilai efisiensi termal efektif. Untuk FC dan nilai kalor bahan bakar berbanding terbalik dengan nilai efisiensi termal, sedangkan nilai daya efektif berbanding lurus dengan nilai efisiensi termal efektif. Jadi tiap HCNG yang digunakan memiliki nilai efisiensi termal yang sudah pasti berbeda dikarenakan nilai kalor dari masing-masing HCNG berbeda.

Pada variasi persentase hidrogen 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% memiliki nilai efisiensi termal efektif tertinggi dengan nilai masing-masing 30.44%, 30.42%, 33.62%, 32.42% dan 31.57%. Efisiensi termal efektif tertinggi didapatkan ketika menggunakan persentase hidrogen 10% yaitu sebesar 33.62% hal ini utama yang mempengaruhi hal ini dikarenakan pada persentase 10% hidrogen dihasilkan daya dan FC yang lebih baik jika dibandingkan variasi persentase hidrogen yang lainnya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian, pengukuran dan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Torsi dan daya efektif meningkat dengan meningkatnya konsentrasi hidrogen dalam CNG, mencapai maksimal pada konsentrasi hidrogen 10 %, kemudian torsi dan daya menurun dengan penambahan hidrogen dalam bahan bakar
2. Konsumsi bahan bakar spesifik HCNG meningkat seiring dengan meningkatnya putaran mesin, sedangkan efisiensi termal motor menurun.
3. Dengan menggunakan bahan bakar HCNG didapatkan torsi maksimal sebesar 2.94 kgm pada putaran 670 rpm, daya efektif maksimal sebesar 3.27 PS pada putaran 1055 rpm, *specific fuel consumption* terbaik sebesar 0.17 kg/PS.jam pada putaran 770 rpm dan efisiensi termal efektif terbaik sebesar 33.62 % pada putaran 770 rpm pada konsentrasi H<sub>2</sub> 10%.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BADAN PUSAT STATISTIK. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>. Diakses: Juli 2019.



- [2] KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL DIREKTORAT JENDERAL MINYAK DAN GAS BUMI, Cadangan Minyak Bumi, <http://statistik.migas.esdm.go.id/index.php?r=cadanganMinyakBumi/index>. Diakses: Juli 2019.
- [3] KHAN, MUHAMMAD I., TABASSUM Y., ABDUL S., “Technical Overview of Compressed Natural Gas (CNG) as a Transportation Fuel”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 51 pp 785-797, Nov. 2015.
- [4] TAHIR, MUSTHAFAH M., M.S. ALI, M.A. SALIM, ROSLI A.B., A.M. FUDHAIL., M.Z. HASSAN., ABDUL M.S., “Performance Analysis of a Spark Ignition Engine Using Compressed Natural Gas”, *Energy Procedia*, v. 68 pp. 355-362, April 2015.
- [5] H.M. CHO, H. BANG-QUAN “Spark ignition natural gas engines – a review”, *Energy Convers Manage*, v. 48 (2), pp. 608-618, 2007.
- [6] M.I. JAHIRUL, H.H. MASJUKI, R. SAIDUR, M.A. KALAM, M.H. JAYED, M.A. WAZED, “Comparative engine performance and emission analysis of CNG and gasoline in a retrofitted car engine”, *Appl Therm Eng*, v. 30, pp. 2219-2226, 2010.
- [7] T. KORAKIANITIS, A.M. NAMASIVAYAM, R.J. CROOKES, “Natural-gas fueled spark-ignition (SI) and compression-ignition (CI) engine performance and emissions” *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 37, pp. 89-112, 2011.
- [8] A.M. POURKHESILIAN, A.H. SHMEKHI, F. SALIMI, “Alternative fuel and gasoline in an SI engine: A comparative study of performance and emissions characteristics”, *Fuel*, v. 89, pp. 1056-1063, 2010.
- [9] HANGGA W., SASONGKO, M.N., DENNY W., “Simulasi Numeris Karakteristik Pembakaran CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/Udara dan CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> pada Counterflow Premixed Burner”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, v.8, n. 2, pp. 91-99, 2017.
- [10] ALRAZEN, HAYDER A. & K.A. AHMAD, “HCNG Fueled Spark-Ignition (SI) Engine with Its Effects on Performance and”. *Renewable and Sustainable Energy Review*, v 82, pp 324-342, 2018.
- [11] KHAN IM, YASMIN T, SHAKOOR A., “Technical overview of compressed natural gas (CNG) as a transportation fuel”, *Renew Sustain Energy Rev*, v. 51, pp 785-797, 2015.
- [12] KAMIL M, RAHMAN M, “Performance prediction of spark-ignition engine running on gasoline-hydrogen and methane-hydrogen blends”, *Appl Energy*, v. 158, pp 556–567, 2015.
- [13] MEHRA, R.K., HAO DUAN, ROMULDAS J., FANHUA MA, JUNYIN LI, “Progress in Hydrogen Enriched Compressed Natural Gas (HCNG) Internal Combustion Engines – A Comprehensive Review”. *Renewable and Sustainable Energy Review*, v. 80, 1458-1498, Dec 2017.
- [14] TOKYO METER CO., LTD. *Calculation Practice and Example Engine Performance*.
- [15] HORA, TADVEER S. & AVINASH K.A., “Experimental Study of the Composition of Hydrogen Enriched Compressed Natural Gas on Engine Performance, Combustion and Emission Characteristics”, *Fuel*, v.180, pp. 470-478, Nov 2015.