

# Pengaruh *Ignition Timing Mapping* Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Engine SINJAI 650 CC Berbahan Bakar Peralite RON 90

Ahmad Gurnito, Bambang Sudarmanta

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: sudarmanta@me.its.ac.id

**Abstrak** Kualitas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap hasil unjuk kerja engine. Hal ini berkaitan dengan kebijakan pemerintah untuk memasarkan bahan bakar varian PERTALITE dengan nilai RON 90 yang lebih tinggi dibanding bahan bakar varian PREMIUM RON 88. Untuk itu, perlu dilakukan suatu penyesuaian (*setting*) untuk mengetahui perbedaan hasil unjuk kerja dan emisi gas buang dari penggunaan bahan bakar dengan properties yang berbeda tersebut. Penelitian dilakukan dengan penggunaan—Premium pada kondisi standar sebagai kelompok kontrol dan penggunaan Peralite dengan variasi *ignition timing* sebagai kelompok uji dengan mengambil 5 variasi *advance ignition timing* ( $10^\circ$ ,  $13^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $19^\circ$ , dan  $21^\circ$  BTDC) menggunakan Eddy Current Dynamometer pada bukaan katup kupu-kupu penuh (Fully Open) untuk memperoleh daya maksimum pada tiap putaran mesin. Dari penelitian ini, didapatkan nilai AFR Peralite yang cenderung berada di atas Premium yang sesuai dengan analisa kalor laten penguapan, serta *mapping ignition timing* dengan kenaikan rata-rata torsi, daya, dan *bmp* sebesar 6.393% relatif terhadap pengapian standar, efisiensi thermal mengalami kenaikan sebesar 5.409%, *sfc* mengalami penurunan rata-rata sebesar 1.97%, serta emisi CO dan uHC mengalami penurunan, masing masing sebesar 5.405% dan 7.443%.

**Katakunci** : *Engine Control Unit, Ignition Timing, SINJAI, PERTALITE.*

## I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN populasi masyarakat Indonesia yang terus bertambah, berbanding lurus dengan peningkatan kebutuhan energi, terbukti dari jumlah konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia yang mencapai 297 juta barrel pada tahun 2011 [1]. Khususnya pada bidang transportasi, dimana tingkat konsumsi bahan bakar bersubsidi untuk kebutuhan transportasi di Indonesia terbilang sangat tinggi. Oleh karena itu, PERTAMINA selaku Badan Usaha Milik Negara yang mengatur kondisi perminyakan di Indonesia melalui direktorat jendral perminyakan dan gas bumi, mengeluarkan salah satu kebijakan dengan memasarkan bahan bakar varian baru dengan RON 90 yang lebih tinggi dibanding Premium RON 88. Dengan perbedaan ini, diharapkan penggunaan bahan bakar bersubsidi varian Premium dapat ditekan serta merupakan langkah nyata untuk menggalakan penggunaan *clean fuel* di Indonesia, dikarenakan dengan perbedaan karakter dari kedua bahan bakar tersebut, sangat dimungkinkan terjadinya perbedaan

terhadap hasil unjuk kerja dan emisi gas buang pada *internal combustion engine*.

Kualitas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap hasil unjuk kerja serta emisi gas buang engine. Emisi gas buang seperti uHC, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, dan partikulat yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil mengakibatkan polusi lingkungan. Sedangkan emisi CO<sub>2</sub> merupakan faktor utama penyebab naiknya temperatur permukaan bumi yang dikenal dengan istilah pemanasan global [2]. Berdasarkan hasil penelitian Departemen Perhubungan pada tahun 2007, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar minyak untuk sektor transportasi mencapai 324 juta ton. Sejalan dengan pertumbuhan sektor transportasi di Indonesia hingga saat ini, maka jumlah emisi gas CO<sub>2</sub> dan gas buang lainnya tentu akan bertambah [3]. Salah satu upaya penanggulangan terhadap hal ini adalah dengan perlakuan optimasi unjuk kerja *engine*. Optimasi unjuk kerja dapat membantu penghematan penggunaan bahan bakar serta mampu mengurangi emisi gas buang pada kendaraan bermotor.

Dengan mengatur waktu pengapian untuk setiap putaran mesin, maka optimasi waktu pembakaran dapat tercapai, baik pada kondisi idle maupun rpm tinggi. Selain itu, dengan penggunaan sistem injeksi bahan bakar, maka debit bahan bakar, debit udara masuk, serta volume bahan bakar yang digunakan untuk setiap siklus dapat diatur sesuai dengan kebutuhan mesin pada setiap putaran mesin yang diaktuasikan dengan penyesuaian waktu buka tutup injektor. Namun, pada penelitian ini difokuskan pada pemetaan *ignition timing engine* untuk mendapatkan titik pengapian optimal dari bahan bakar yang digunakan. Dengan demikian, diharapkan terjadi peningkatan terhadap hasil unjuk kerja engine.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Bahan Bakar Premium dan Peralite Telaah

Motor bensin dirancang dengan menggunakan bahan bakar *fossil fuel* yang diperoleh dari distilasi pendidihan minyak mentah (*crude oil*) pada suhu 30°C sampai 200°C. Hidrokarbon yang terdapat didalamnya antara lain *paraffin, naphthalene, olefin*, dan *aromatic* dengan jumlah karbon yang bervariasi mulai dari 12 sampai 18. Bahan bakar *gasoline* adalah fraksi petroleum yang paling ringan. Semua material yang mempunyai titik didih dibawah 200°C digolongkan sebagai bensin. Menurut Nargis [4],

perbedaan sifat bahan bakar Premium dan Peralite ditampilkan seperti pada tabel 1.

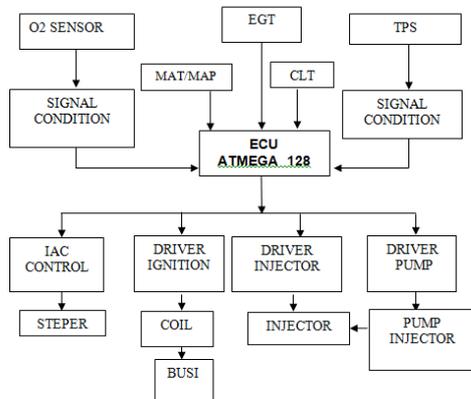
Tabel 1. Properties Bahan Bakar Premium dan Peralite

Properties	Premium	Peralite
Specific gravity	0.744	0.77
Heat of vaporization (kJ/kg)	335	343
Laminar burning velocity (m/s) pada $\lambda=1$	0.5	0.5
Lower heating value (MJ/kg)	44.12	43.84
Research Octane Number	88.00	90.00

**B. Engine Control Unit ( ECU )**

Sistem kontrol ini terdiri dari beberapa sensor, yang mendeteksi kondisi mesin, untuk kemudian mengkalkulasi volume injeksi (lamanya injeksi) sesuai dengan signal-signal (data) dari sensor-sensor yang mengontrol injeksi bahan bakar, serta mengatur waktu pengapian

Diagram Alir ECU



Gambar 1. Diagram Alir Engine Control Unit

Sensor-sensor seperti pada gambar 1, mendeteksi volume udara masuk, temperatur udara, percepatan, penurunan kecepatan, dan gas sisa pembakaran. Sensor-sensor tersebut mengirimkan signal ke ECU. Kemudian ECU menentukan lamanya injeksi yang tepat dan mengirimkan signal ke injektor. Injektor menginjeksikan bahan bakar ke intake manifold sesuai dengan signal ini. Volume injeksi tergantung dari lamanya signal yang terkirim dari ECU. Selain itu, ECU juga mengatur waktu pengapian berdasarkan putaran mesin. Pada penelitian ini difokuskan strategi pemetaan waktu pengapian untuk mendapatkan torsi terbaik fungsi putaran engine (Maximum Best Torque).

	100	500	1000	1200	1300	2000	2500	3000	4000	5000	5500	6000
99	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
90	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
79	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
70	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
59	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
50	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
38	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
30	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
18	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
14	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
7	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00
0	10.00	10.00	10.00	11.00	11.00	12.00	12.00	13.00	15.00	17.00	20.00	25.00

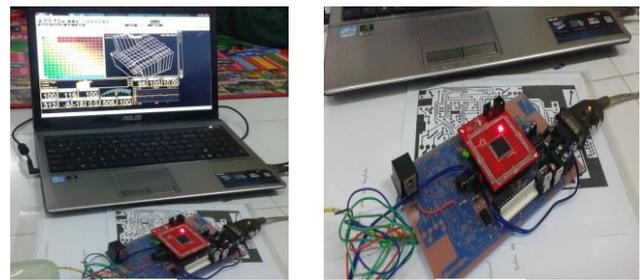
Gambar 2. Data Mapping Variasi Ignition Timing

Sumbu vertikal menunjukkan bukaan katup kupu-kupu dalam bentuk prosentase bukaan, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan besarnya putaran yang digunakan.

**III. METODE PENELITIAN**

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen pada mesin bensin kondisi standar dengan spesifikasi mesin sebagai berikut :

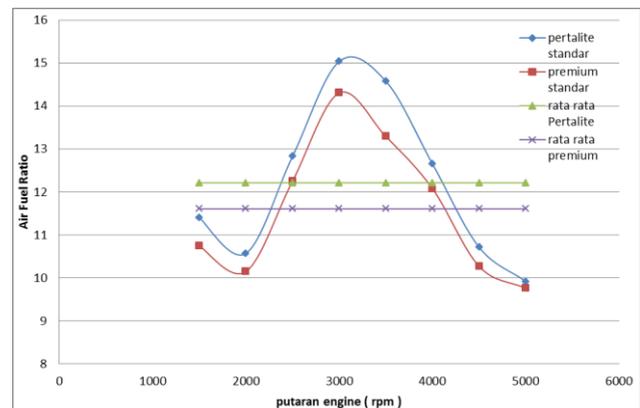
1. Model : LJ276MT-2 SINJAI
2. Jumlah Silinder : 2 Silinder segaris
3. Pendinginan mesin : Radiator
4. Diameter x langkah : 76 x 71 mm
5. Rasio kompresi : 9,0 : 1
6. Daya maksimum : 18 kW 4000 rpm
7. Torsi maksimum : 49 Nm 3300 rpm
8. Kecepatan idle : 900 ± 50 rpm
9. Volume langkah : 0,322 liter/ silinder
10. Arah putaran : CCW
  - Intake valve membuka : 23° BTDC
  - Intake valve menutup : 53° ABDC
  - Exhaust valve membuka : 53° BBDC
  - Exhaust valve menutup : 23° ATDC
11. Ignition Timing : 12 ° BTDC low rpm  
15 ° BTDC high rpm



Gambar 3.a. Komunikasi antara Engine Control Unit dan Software Tuning, b. Engine Control Unit

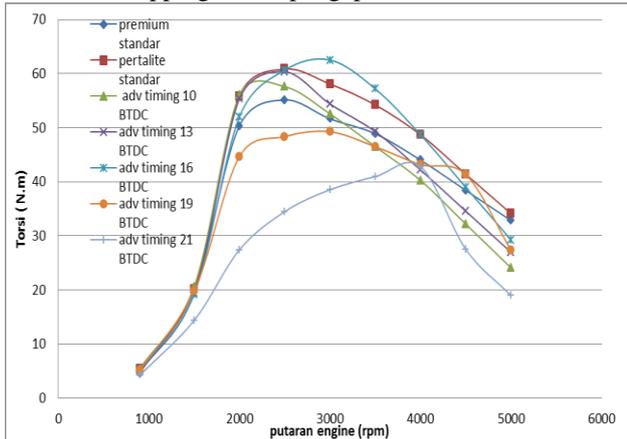
Proses mapping waktu pengapian, unjuk kerja dan emisi dilakukan dengan menggunakan Eddy Current Dynamometer dengan metode Fully Open Throttle. Hasil yang didapatkan berupa torsi dan daya engine pada tiap advance sudut pengapian pada putaran 1000 rpm – 5000 rpm interval 500 rpm.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**



Gambar 4. Grafik AFR fungsi putaran engine Premium dan Peralite kondisi standar

Dari gambar 4, untuk bahan bakar premium dan pertalite yang diuji pada kondisi standard, didapatkan trendline AFR premium yang cenderung berada di bawah pertalite, hal ini menguatkan hipotesa mengenai pengaruh nilai *heat of vaporization* dari kedua bahan bakar terhadap proses pembakaran. Dengan nilai *heat of vaporization* Pertalite yang lebih besar dibanding Premium, diperkirakan menurunkan temperatur di ruang bakar dan menyebabkan nilai densitas udara naik. Seiring dengan naiknya nilai densitas udara, maka campuran bahan bakar dan udara dalam proses pembakaran juga cenderung campuran miskin (*lean*) dan mempengaruhi laju perambatan api di ruang bakar. Oleh karena itu, perlu dilakukan mapping waktu pengapian.

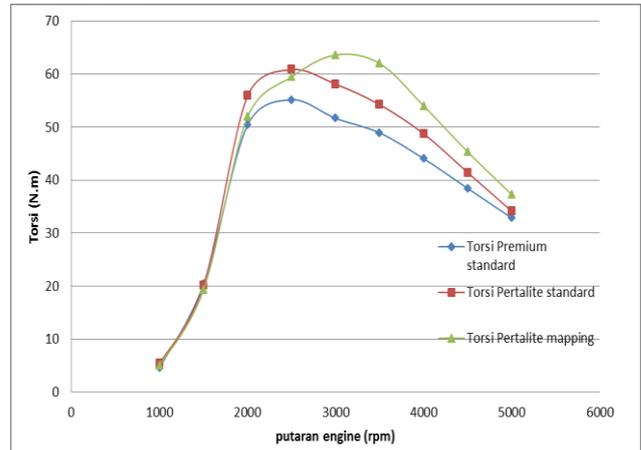


Gambar 5. Grafik torsi fungsi putaran engine tiap advance sudut pengapian

Dari gambar 5, terlihat adanya tren kenaikan torsi mulai dari putaran rendah hingga mencapai torsi maksimum pada putaran tertentu, lalu torsi mengalami penurunan pada putaran yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran engine, maka turbulensi aliran yang masuk ke ruang bakar akan semakin tinggi dan menyebabkan pencampuran udara dengan bahan bakar semakin baik serta perambatan api juga semakin cepat sehingga torsi akan meningkat. Setelah putaran semakin tinggi, maka akan semakin besar kerugian-kerugian yang terjadi. Beberapa kerugian yang mungkin terjadi pada putaran tinggi di antaranya gesekan dan adanya pembakaran yang kurang sempurna. Semakin cepat putaran engine maka friksi yang terjadi juga semakin besar. Selain itu pembakaran campuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar juga memerlukan waktu. Ketika putaran tinggi, maka dimungkinkan pengapian yang terjadi tidak cukup cepat untuk membakar seluruh bahan bakar dalam ruang bakar, atau dengan kata lain semakin banyak sisa bahan bakar yang belum terbakar dalam ruang bakar.

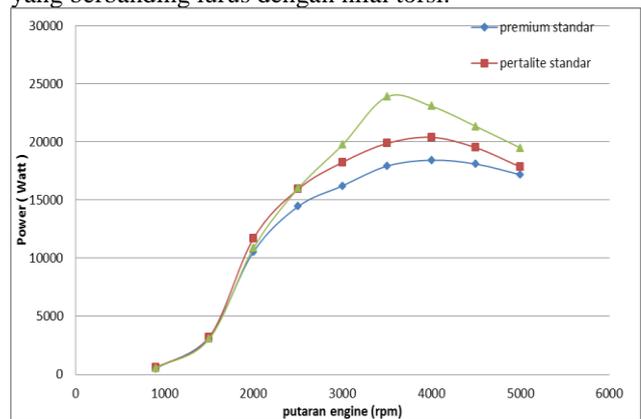
Besarnya torsi berbanding lurus dengan tekanan yang dihasilkan dalam ruang bakar. Apabila tekanannya tinggi maka torsi yang dihasilkan tinggi. Pada grafik torsi fungsi rpm didapatkan torsi tertinggi bergeser ke kanan seiring dengan bertambahnya waktu pengapian. Pada pengapian 10 dan 13 derajat memiliki torsi tertinggi pada rpm rendah, tetapi nilai torsi turun seiring dengan bertambahnya putaran engine. Hal ini dikarenakan semakin cepat putaran mesin, dengan kecepatan rambat api yang sama, dibutuhkan waktu pengapian yang lebih cepat. Sedangkan pada putaran tinggi, dengan waktu pengapian 10 derajat BTDC, piston mengalami ekspansi saat proses pembakaran belum mencapai peak pressure.

Tekanan yang tidak maksimal ini, mengakibatkan gaya dorong piston juga tidak maksimal sehingga nilai torsi turun. Sedangkan pada setelan pengapian 16 derajat BTDC, dari putaran rendah trendline grafik naik sampai pada puncak maksimum torsinya pada putaran 3200 rpm dan turun seiring dengan bertambahnya putaran. Fenomena lain terjadi pada advance ignition timing 21 derajat BTDC, dimana nilai torsi baik pada putaran atas maupun bawah tidak bernilai optimal. Hal ini dikarenakan pada pengapian yang terlalu maju proses pembakaran dimulai pada kondisi ambient tekanan ruang bakar yang masih rendah.



Gambar 6. Grafik Torsi mapping fungsi putaran engine tiap advance sudut Pengapian

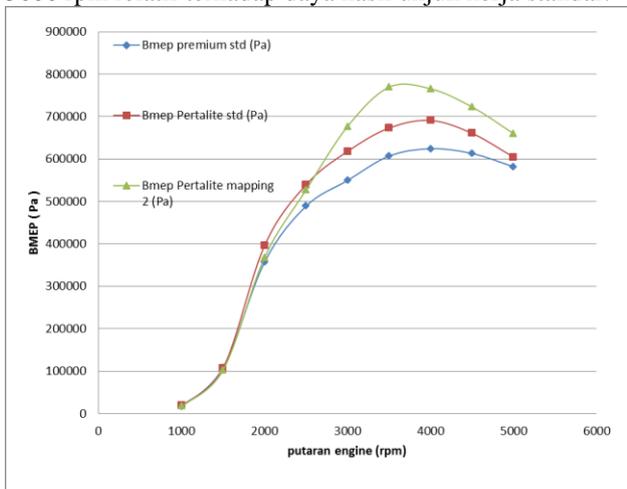
Semakin miskin campuran, semakin dingin suhu dan semakin rendah tekanan ruang bakar, rambat pembakaran semakin lambat. Kombinasi lambatnya rambat pembakaran, jauhnya jarak perambatan campuran (bore besar) dan meningkatnya putaran mesin, mengakibatkan ada campuran bahan bakar- udara yg belum terbakar (unburned gas). Pada siklus berikutnya unburned gas ini dapat memicu self ignition (knocking) seiring terjadinya peningkatan tekanan dan suhu di ruang bakar sebelum pengapian pada busi (pengapian normal) [5]. Hal ini mengakibatkan nilai peak pressure rendah yang berbanding lurus dengan nilai torsi.



Gambar 7. Grafik daya fungsi putaran engine kondisi MBT

Terdapat 3 jenis daya dalam motor pembakaran dalam, yaitu *indicative horse power (ihp)*, *brake horse power (bhp)*, dan *friction horse power (fhp)*. Pada gambar 7, didapatkan *fhp* relatif rendah dan akan semakin tinggi ketika putaran mesin semakin tinggi. Secara teoritis, ketika putaran mesin meningkat, maka daya motor juga akan meningkat karena daya merupakan perkalian antara torsi dengan putaran poros.

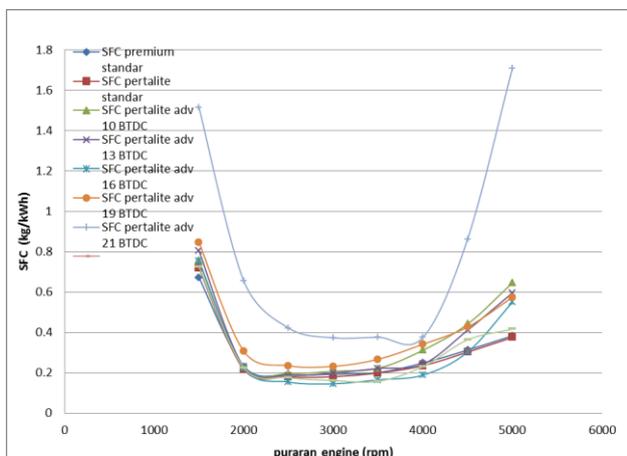
Semakin cepat putaran mesin, maka putaran poros juga akan semakin cepat. Akan tetapi, pada putaran tertentu, torsi dan friksi yang terjadi lebih besar daripada kenaikan putaran yang terjadi sehingga daya justru akan turun. Dengan proses mapping ignition timing yang dilakukan, terjadi kenaikan daya sebesar 461.19 Watt pada 3600 rpm relatif terhadap daya hasil unjuk kerja standar.



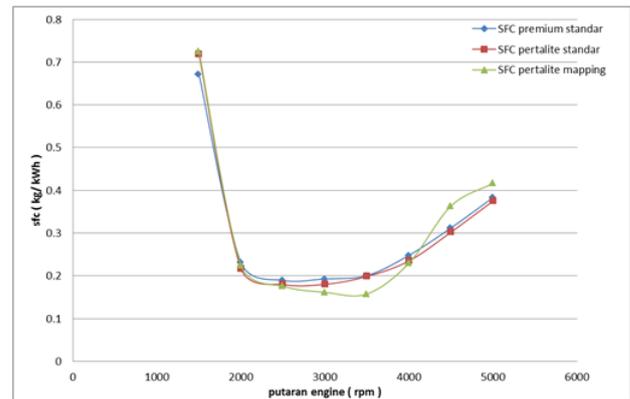
Gambar 8. Grafik BMEP fungsi putaran engine kondisi MBT

Besarnya tekanan yang dialami piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang berharga konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut merupakan tekanan efektif rata-rata piston.

Tekanan efektif rata-rata piston sangat dipengaruhi oleh waktu pengapian busi. Apabila waktu pengapian tidak tepat, maka tekanan piston akan menurun. Hal ini juga terlihat pada grafik bmeop fungsi rpm diatas. Pada pengapian 10 dan 13 derajat memiliki tekanan tertinggi pada rpm rendah, namun akan menurun seiring dengan bertambahnya putaran, dengan dilakukannya mapping ignition timing seperti pada gambar 8 di atas, terjadi kenaikan nilai bmeop sebesar 7.00 %. Hal ini dikarenakan pada kondisi unjuk kerja mapping, pengapian dimajukan seiring dengan bertambahnya putaran dengan estimasi tercapainya pembakaran yang dapat menghasilkan peak pressure yang optimal.

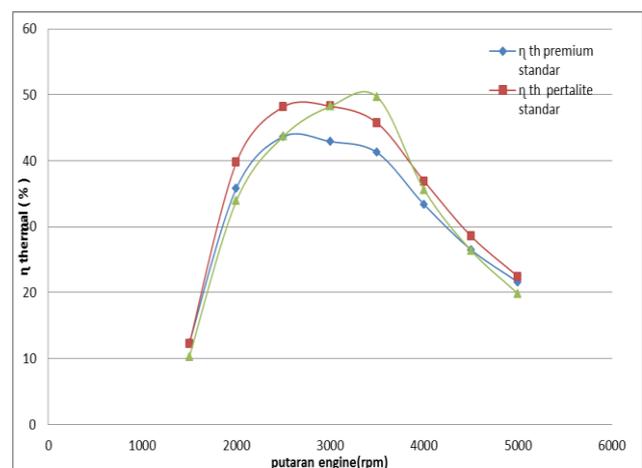


Gambar 9. Grafik SFC fungsi putaran engine kondisi MBT



Gambar 10. Grafik SFC mapping fungsi putaran engine kondisi MBT  
Konsumsi bahan bakar spesifik dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar untuk memperoleh daya efektif. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) bergantung pada campuran udara dan bahan bakar yang terbakar dalam ruang bakar. Dengan semakin sempurna pembakaran, maka daya yang dihasilkan akan semakin besar.

Pada gambar 9 dan 10, konsumsi bahan bakar spesifik dari rpm rendah ke tinggi akan mengalami penurunan hingga pada putaran mesin tertentu akan meningkat lagi. Hal ini disebabkan oleh semakin tingginya turbulensi aliran seiring dengan penambahan putaran, sehingga homogenitas campuran bahan bakar dan udara menjadi lebih baik dan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Sesuai dengan uraian di atas, sfc sangat dipengaruhi oleh besarnya daya. Semakin advance waktu pengapian, maka puncak terendah dari sfc akan semakin bergeser ke kanan. Pada waktu pengapian 10 derajat BTDC, sfc cenderung naik dengan drastis setelah puncak terendah, sedangkan semakin advance waktu pengapian, grafik sfc naik semakin landai. Fenomena khusus terjadi pada advance ignition timing 21° BTDC, dimana grafik sfc cenderung tidak homogen yang disebabkan oleh waktu pengapian yang terlalu maju dan menimbulkan indikasi knocking pada mesin. Dengan terjadinya knocking, nilai peak pressure mengalami penurunan dan berpengaruh terhadap kenaikan nilai sfc seiring dengan penurunan daya efektif.

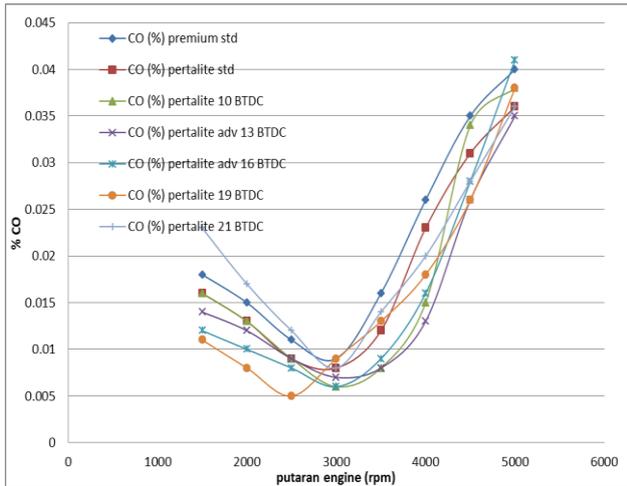


Gambar 11. Grafik efisiensi termal fungsi putaran engine kondisi MBT.

Dari gambar 11 didapatkan, pada putaran rendah proses pencampuran bahan bakar dan udara berlangsung kurang baik, sehingga pembakaran yang terjadi kurang sempurna. Seiring dengan penambahan putaran mesin, akan ada saat dimana turbulensi dan waktu pembakaran

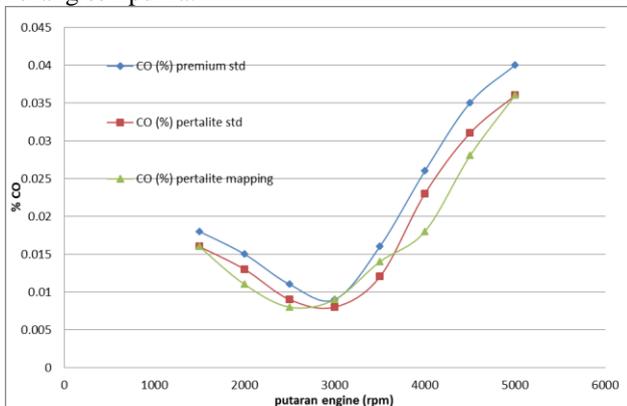
mencapai kondisi yang terbaik sehingga mendapatkan efisiensi yang paling optimal.

Pada putaran yang lebih tinggi, turbulensi yang terjadi cukup besar, sehingga pencampuran bahan bakar dan udara baik, tetapi bahan bakar menjadi banyak terbuang dikarenakan waktu pengapian yang tidak dimajukan akan berbanding terbalik dengan kecepatan rambat api yang tetap. Semakin advance waktu pengapian, puncak maksimum dari efisiensi thermal akan bergeser ke kanan. Hal ini dikarenakan efisiensi dari pembakaran bahan bakar sangat dipengaruhi oleh waktu pengapian. Semakin tinggi putaran, memajukan waktu pengapian sangat dibutuhkan untuk mendapatkan daya yang besar dari pembakaran bahan bakar.



Gambar 12. Grafik Emisi CO fungsi putaran engine kondisi MBT

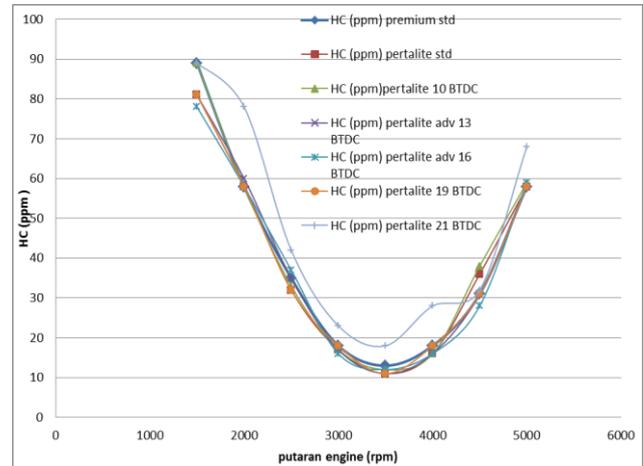
Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu gas buang hasil pembakaran yang berbahaya bagi kesehatan dan juga berdampak buruk pada lingkungan. CO pada gas buang kendaraan bermotor terjadi akibat kurang sempurnanya pembakaran. Pada penelitian ini lebih difokuskan pada kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. Dari gambar 12 didapatkan, pada saat putaran mesin rendah, maka turbulensi yang terjadi terlalu kecil untuk membentuk homogenitas campuran udara dan bahan bakar (campuran cenderung rich). Sedangkan pada putaran tinggi, waktu pembakaran terlalu singkat sehingga pembakaran menjadi kurang sempurna.



Gambar 13. Grafik Emisi CO mapping fungsi putaran engine kondisi MBT

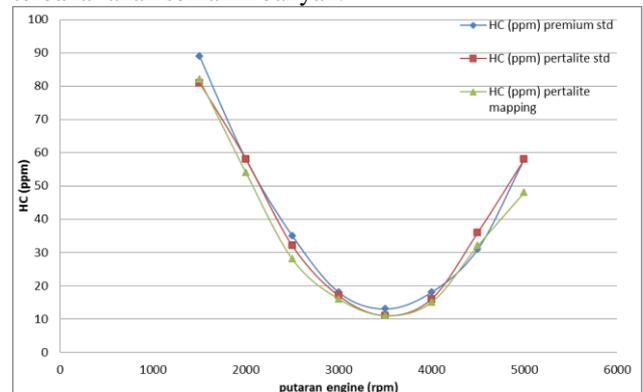
Pada gambar 12 dan 13 di atas, didapatkan trendline yang sama untuk setiap perubahan waktu pengapian. Hal ini dikarenakan pasokan bahan bakar yang diinjeksikan

pada setiap perubahan pengapian sama. Sehingga terjadi proses pembakaran yang cenderung sama. Dengan perlakuan mapping waktu pengapian, didapatkan penurunan kadar CO pada gas sisa hasil pembakaran, relatif terhadap pengapian standar.



Gambar 14. Grafik emisi HC fungsi putaran engine

Unburned Hidrokarbon (uHC) adalah sejumlah bahan bakar yang tidak ikut terbakar selama proses pembakaran berlangsung. Secara umum kadar emisi HC akan menurun seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Hal ini disebabkan oleh putaran meningkatnya homogenitas campuran udara dan bahan bakar seiring dengan pertambahan putaran hingga putaran optimalnya. Pada putaran yang lebih tinggi, waktu pembakaran akan semakin sempit sehingga kadar bahan bakar yang belum terbakar akan semakin banyak.



Gambar 15. Grafik emisi HC mapping fungsi putaran engine

Dari gambar 14 dan 15, kadar emisi HC mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya putaran hingga putaran optimalnya, dan akan cenderung naik untuk putaran yang lebih tinggi. Trendline untuk setiap perubahan waktu pengapian cenderung sama. Hal ini disebabkan oleh kesamaan jumlah bahan bakar diinjeksikan untuk setiap perubahan derajat pengapian, sehingga proses pembakarannya cenderung sama. Dengan perlakuan mapping waktu pengapian, didapatkan penurunan kadar uHC pada gas sisa hasil pembakaran, relatif terhadap pengapian standar.

## V. KESIMPULAN

1. Didapatkan hasil bahwa perbedaan nilai *heat of vaporization* antara Premium dan Pertalite, berpengaruh terhadap hasil unjuk kerja engine. Dengan nilai *heat of vaporization* Pertalite yang lebih tinggi, menyebabkan temperatur di ruang

bakar turun, sehingga densitas udara naik. Seiring dengan naiknya nilai densitas udara, maka campuran bahan bakar dan udara dalam proses pembakaran juga cenderung campuran miskin (*lean*) dan mempengaruhi laju perambatan api di ruang bakar. Oleh karena itu, perlu dilakukan mapping waktu pengapian. Hal ini dibuktikan dengan nilai AFR Pertalite yang cenderung di atas Premium dengan kondisi pengapian standard.

2. Dari unjuk kerja dan emisi engine SINJAI dengan perlakuan *advance ignition timing* relatif terhadap pengapian standar didapatkan hasil sebagai berikut:
  - Torsi mengalami kenaikan rata-rata sebesar 6.393 %.
  - Daya efektif mengalami kenaikan rata-rata sebesar 6.393%.
  - Bmep mengalami kenaikan rata-rata sebesar 6.393 %.
  - Efisiensi thermal mengalami kenaikan rata-rata sebesar 5.409%.
  - Sfc mengalami penurunan rata-rata sebesar 1.97%.
  - Emisi CO mengalami penurunan rata-rata sebesar 5.405%.
  - Emisi HC mengalami penurunan rata-rata sebesar 7.443%.
3. Berdasarkan mapping waktu pengapian untuk *best torque* fungsi rpm, didapatkan derajat pengapian sebagai berikut :

<i>Engine rpm</i>	<i>Mapping advance ignition timing</i>
1000	10 ° BTDC
1500	10 ° BTDC
2000	13 ° BTDC
2500	13 ° BTDC
3000	16 ° BTDC
3500	16 ° BTDC
4000	16 ° BTDC
4500	19 ° BTDC
5000	19 ° BTDC

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1.] <http://migas.esdm.go.id/data-kemigas/36/Produksi-Minyak-Bumi>
- [2.] Kawano, Djoko Sungkono. 2011. **Pencemaran Udara**. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
- [3.] Hartanto, A., Susanti, V., Arief S. R., Maja S. H., Estiko R., dan Hapid, A., 2010. **Program konversi BBM untuk kendaraan**, Bandung: Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekani-LIPI.
- [4.] Nargis, N. N., Hossain, M. I., 2005. **“Performance of A Gasoline Engine Fuelled With Natural Gas : Effect of Speed and Ignition Timing”**. Proceedings of The International Conference on Mechanical Engineering (ICME 2005) 28-30 December 2005.
- [5.] Subbarao, PMV. 2011. **Abnormal Combustion in Spark Ignition Engines**. India : Dept of Mechanical engineering, Indian Institute of Technology Delhi