

PENGARUH PERUBAHAN TEMPERATUR AIR PENDINGIN TERHADAP SAAT PENYALAAAN PADA MOTOR BENSIN

Tri Yuswidjanto Zaenuri, Arief Hariyanto dan Harki Apri Yanto

Laboratorium Motor Bakar dan Sistem Propulsi
Departemen Teknik Mesin
Institut Teknologi Bandung

Ringkasan

Makalah ini tentang pengujian motor bensin untuk melihat pengaruh perubahan saat penyalaan busi terhadap prestasi motor, bila terjadi perubahan temperatur kerja motor. Pengujian dilakukan pada motor bensin Toyota 7K yang telah dilengkapi dengan sistem penyemprotan bahan bakar elektronik. Proses pengujian dilakukan dengan mengubah sudut penyalaan sebagai fungsi temperatur air pendingin untuk mengetahui prestasi motor bensin pada berbagai kondisi operasi. Kondisi pengujian yang dilaksanakan merupakan simulasi dari kondisi operasi kendaraan bermotor di jalan raya. Proses pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan sudut penyalaan yang dapat menghasilkan prestasi motor bensin optimal pada berbagai kondisi operasi.

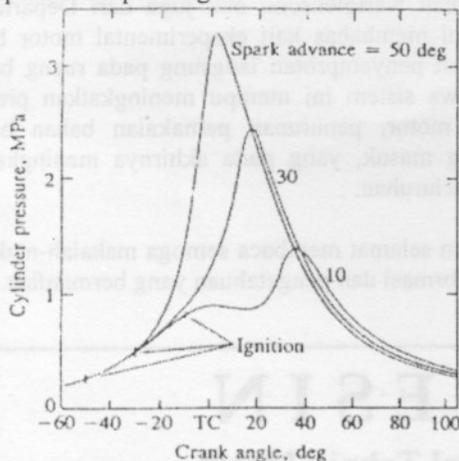
Abstract

This paper contains the testing of a spark ignition engine to observe the influence of the engine temperature variation on the ignition timing. The engine temperature of Toyota 7K equipped with EFI self developed by LMBSP is varied and the performance test is conducted over the variations of load and rpm, which simulate the real condition on the road. The aim of the experiments is to yield the ignition timing which produces the optimum performance at any load condition.

Keywords: electronics fuel Injection, cooling water temperature, timing ignition

1. PENDAHULUAN

Untuk dapat menghasilkan prestasi motor bensin yang optimal maka diperlukan suatu pengaturan sudut penyalaan. Beberapa parameter yang mempengaruhi sudut pengapian antara lain: beban, putaran, kualitas bahan bakar, konstruksi ruang bakar, temperatur ruang bakar yang dalam hal ini direpresentasikan oleh temperatur air pendingin.



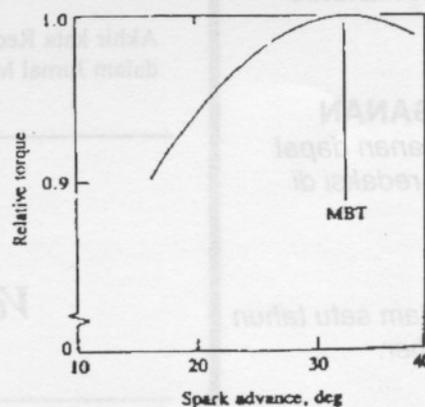
Gambar 1 Grafik Pengaruh Tekanan terhadap variasi Sudut Penyalaan.[1]

Dari gambar (1) dapat dilihat bahwa sudut pengapian mempengaruhi tekanan yang terjadi di ruang bakar.

Sudut pengapian yang lebih awal akan menghasilkan tekanan ruang bakar yang lebih tinggi. Hal ini diakibatkan oleh proses pembakaran bahan bakar dan udara sudah mulai berlangsung pada langkah kompresi.

Sedangkan sudut penyalaan yang makin dekat dengan titik mati atas (dimundurkan) akan menghasilkan tekanan pembakaran yang relatif lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh proses pembakaran sebagian berlangsung pada saat torak dalam proses ekspansi.

Secara teoritis, makin tinggi tekanan ruang bakar, gaya dorong yang diberikan kepada piston juga lebih besar. Secara praktikal, kenaikan tekanan ruang bakar mempunyai titik optimasi. Dari gambar (2) dapat dilihat bahwa torsi pengereman maksimum (*maximum brake torque*) terjadi pada suatu sudut penyalaan tertentu. Titik optimum ini diperoleh karena keterbatasan bahan bakar maupun material. Sudut penyalaan makin lebih awal akan dapat menyebabkan fenomena *knocking* yang menyebabkan torsi mengalami penurunan.



Gambar 2. Kurva besar torsi relatif terhadap pemajuan sudut penyalaan busi[1]

Knocking terjadi akibat sudut pengapian yang terlalu awal menyebabkan campuran bahan bakar dan udara yang terletak di lokasi paling jauh dari busi akan mengalami kompresi akibat *pressure wave*. Akibat proses kompresi ini temperatur campuran bahan bakar dan udara tersebut mencapai temperatur nyala sendirinya sehingga pembakaran dapat berlangsung dengan sendirinya.

2. PROSEDUR PENGUJIAN

Dalam pengujian ini besaran-besaran yang diambil meliputi:

- temperatur air masuk ke motor (°C)
- saat penyalaan (° sebelum titik mati atas)
- torsi pembebanan (Nm)
- sudut bukaan *throttle*
- laju aliran udara (gr/s)
- laju aliran bahan bakar (g/s)
- perbandingan udara dengan bahan bakar (*air fuel ratio*).

Batasan-batasan yang dilakukan selama pengujian agar pengujian terfokus pada tujuan mula, meliputi:

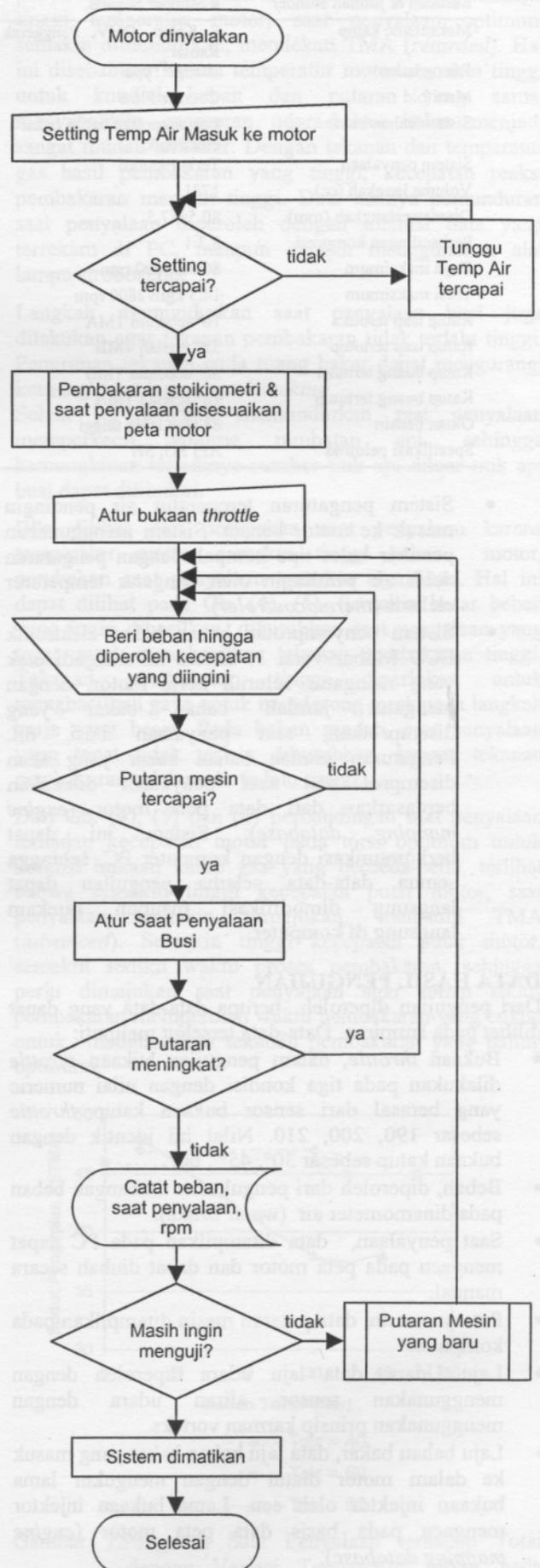
- kondisi tunak
- temperatur air pendingin masuk adalah 40°C yang mewakili kondisi temperatur rendah, 60°C untuk mewakili kondisi temperatur menengah dan 90°C untuk mewakili kondisi temperatur tinggi)
- pengujian tidak dilakukan pada kondisi bukaan katup gas terbuka penuh (*Wide Opened Throttle*) pada tiga sudut bukaan yang sering dipakai dalam pengoperasian kendaraan di jalan, yaitu bukaan $\pm 1/4$, bukaan $\pm 1/2$, dan bukaan $\pm 3/4$.
- pengujian dilakukan pada 1600– 3000 rpm
- bahan bakar yang digunakan adalah bensin super TT
- pengujian dan pengambilan data dilakukan menggunakan peta motor (*engine mapping database*) stoikiometri.
- batasan dari operasi motor bensin selama pengujian adalah munculnya fenomena knocking.

Pengujian dilakukan dengan melakukan langkah-langkah seperti yang ada di diagram alir berikut: (Gambar 3)

Peralatan Pengujian

Peralatan pengujian yang dipakai selama pengujian meliputi :

- Motor bensin Toyota 7K dengan sistem penyemprotan bahan bakar elektronik ECU Mobar 3. Data spesifikasi motor bensin Toyota 7K:



Gambar 3. Flowchart Pengujian Pengaruh Temperatur terhadap saat penyalaan.

Susunan & jumlah silinder	4 Silinder Segaris.
Mekanisme katup	8 Katup, OHV, Penggerak Rantai
Ruang bakar	Wedge Type
Manifold	Counter Flow
Sistem bahan bakar	Penyemprotan bahan bakar elektronik
Sistem penyalaaan	Terkomputasi
Volume langkah (cc)	1781
Diameterxlangkah (mm)	80,5x87,5
Perbandingan kompresi	8,3:1
Daya maksimum	80 PS/4800 rpm
Torsi maksimum	14,3 kgm/2800 rpm
Katup isap terbuka	16° sebelum TMA
Katup isap tertutup	52° setelah TMB
Katup buang terbuka	50° sebelum TMB
Katup buang tertutup	18° setelah TMA
Oktan bensin	88 atau lebih tinggi
Spesifikasi pelumas	API SG, SH

- Sistem pengaturan temperatur air pendingin masuk ke motor bensin. Sistem menggunakan penukar kalor tipe kompak dengan pengaturan debit air pendingin oleh pengatur temperatur elektris (*thermocontroler*).
- Sistem penyemprotan bahan bakar elektronik ECU Mobar versi 3: sistem ini menjadi otak yang mengatur seluruh kerja motor, dengan mengatur jumlah bahan bakar yang disemprotkan, saat penyalaan busi, dll. Pengaturan jumlah bahan bakar yang akan disemprot dan saat penyalaan dilakukan berdasarkan dari data peta motor (*engine mapping database*). Sistem ini dapat berkomunikasi dengan komputer PC, sehingga semua data-data selama pengujian dapat langsung dimodifikasi maupun direkam langsung di komputer.

DATA HASIL PENGUJIAN

Dari pengujian diperoleh berupa data-data yang dapat dilihat pada lampiran. Data-data tersebut meliputi:

- Bukaian *throttle*, dalam pengujian bukaian *throttle* dilakukan pada tiga kondisi dengan nilai numeric yang berasal dari sensor bukaian katup *throttle* sebesar 190, 200, 210. Nilai ini identik dengan bukaian katup sebesar 30°, 45°, 60°.
- Beban, diperoleh dari pengukuran timbangan beban pada dinamometer air (*water brake*).
- Saat penyalaan, data ditampilkan pada PC dapat mengacu pada peta motor dan dapat diubah secara manual.
- Putaran mesin, data putaran mesin ditampilkan pada komputer.
- Laju Udara, data laju udara diperoleh dengan menggunakan sensor aliran udara dengan menggunakan prinsip karman vorteks.
- Laju bahan bakar, data laju bahan bakar yang masuk ke dalam motor diatur dengan mengukur lama bukaian injektor oleh ecu. Lama bukaian injektor mengacu pada basis data peta motor (*engine mapping database*).
- Perbandingan udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*), data ini diperoleh dengan membagi laju udara masuk terhadap laju bahan bakar. Data

perbandingan laju udara bahan bakar dapat diperoleh komputer.

- Temperatur masuk air pendingin motor, dimana nilainya dijaga konstan selama pengujian satu kondisi.

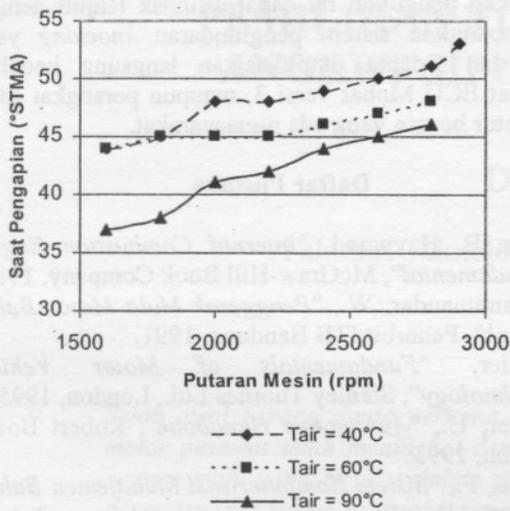
Dalam proses pengukuran prestasi motor cukup sulit dilakukan pada saat motor bensin mengalami fenomena *knocking* sehingga putaran motor menjadi tidak konstan. Hal ini terjadi saat sudut penyalaan mencapai posisi yang relatif sangat awal, yaitu sekitar 60 -63°sebelum titik mati atas. Perubahan kecepatan putar mesin mencapai ±1000 rpm (contoh putaran 2500 → kecepatan putar motor bisa berkisar antara maksimum 3000 rpm sampai minimum 2000 rpm).

Analisis penyebab terjadinya fenomena tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

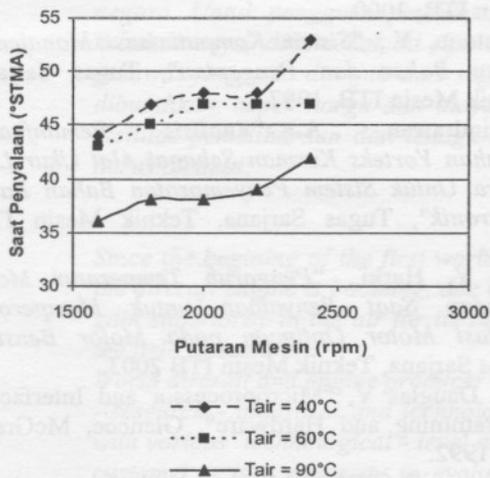
- Dengan menentukan saat penyalaan secara konstan (pemberian masukkan variabel pada komputer), kondisi operasi motor menjadi rentan terhadap perubahan. Sudut penyalaan motor bensin secara umum harus selalu disesuaikan secara kontinyu untuk menghasilkan putaran mesin konstan. Dengan kemampuan untuk menetapkan saat penyalaan busi secara konstan, motor bensin selama pengujian cenderung tidak dapat mempertahankan putaran motor bila ada gangguan. Pada saat sudut penyalaan yang terlalu maju, motor mengalami fenomena *knocking* yang menyebabkan daya turun. Akibat daya yang turun ini maka putaran motor bensin menjadi turun. Putaran motor bensin yang turun selanjutnya menyebabkan beban yang dihasilkan oleh dinamometer air juga turun, sehingga menyebabkan motor bensin kembali naik putarannya. Fenomena ini kembali ke awal, sehingga motor bensin beroperasi dengan putaran yang naik turun secara siklik. Sebenarnya fenomena ini dapat dihindari apabila dalam pengujian menggunakan dinamometer yang dapat mengontrol putaran secara otomatis.
- Namun demikian ada juga beberapa faktor yang cukup menunjang selama proses pengujian. Penggunaan bahan bakar Super TT yang mempunyai nilai oktan = 92 memperkecil kecenderungan terjadinya *knocking*. Dengan nilai oktan bahan bakar yang cukup tinggi, bahan bakar "tahan" untuk tidak terbakar dengan sendirinya akibat temperatur dan tekanan yang tinggi. Selain itu perbandingan kompresi (*compression ratio*) motor kijang yang hanya sebesar 8,3 : 1, mengakibatkan *knocking* tidak mudah terjadi.

Analisis data grafik perbandingan saat penyalaan terhadap putaran mesin

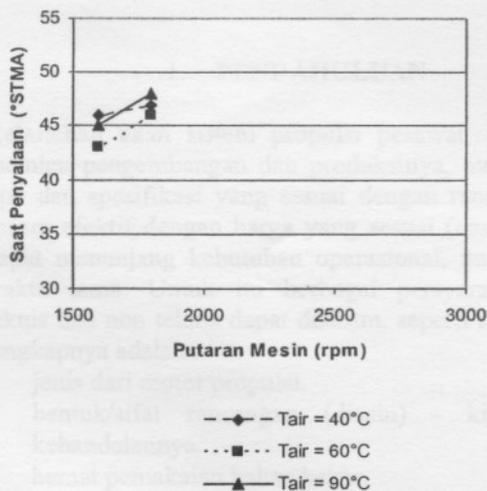
Dengan melakukan pengujian sesuai dengan prosedur pengujian yang telah diatur, diperoleh data-data yang dapat ditampilkan sebagai berikut:



Gambar 4. Perbandingan Saar Penyalaan untuk torsi optimum dengan throttle bukaan = ¼ pada $\lambda=1$



Gambar 5. Perbandingan Saar Penyalaan untuk torsi optimum dengan throttle bukaan = ½ pada $\lambda=1$



Gambar 6. Perbandingan Saar Penyalaan untuk torsi optimum dengan throttle bukaan = ¾ pada $\lambda=1$

Pada Gb. (4), (5), (6) terlihat bahwa kenaikan temperatur air masuk kedalam motor, untuk kondisi putaran motor dan bukaan katup gas yang sama, terjadi perubahan saat

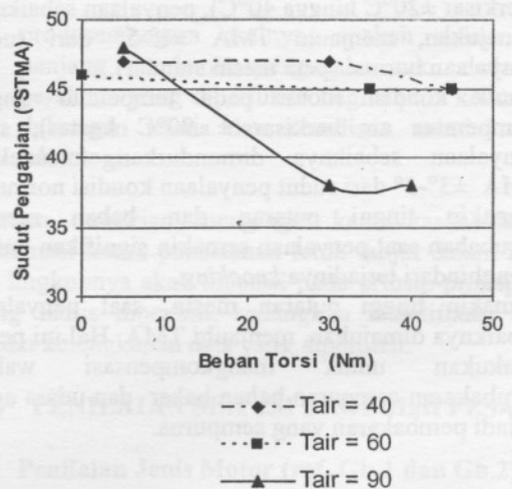
penyalan busi optimum. Dari gambar terlihat, semakin tinggi temperatur motor, saat penyalan optimum semakin dimundurkan, mendekati TMA (*retarded*). Hal ini disebabkan karena temperatur motor semakin tinggi untuk kondisi beban dan putaran yang sama, menyebabkan campuran udara-bahan bakar menjadi sangat mudah terbakar. Dengan tekanan dan temperatur gas hasil pembakaran yang tinggi, kecepatan reaksi pembakaran menjadi tinggi. Data adanya pemunduran saat penyalan diperoleh dengan melihat data yang terrekam di PC, maupun dengan menggunakan alat lampu stroboskop.

Langkah memundurkan saat penyalan busi juga dilakukan agar tekanan pembakaran tidak terlalu tinggi. Penurunan tekanan pada ruang bakar dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *knocking*.

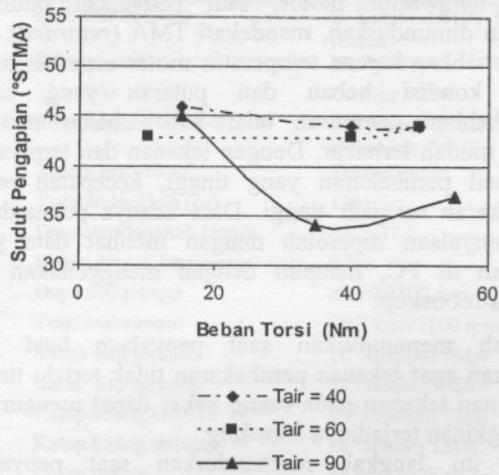
Selain itu langkah memundurkan saat penyalan memperkecil volume rambatan api, sehingga kemungkinan terjadinya sumber titik api diluar titik api busi dapat dihindari.

Bila dilihat dari perubahan saat penyalan karena temperatur motor, semakin tinggi beban motor, perubahan saat penyalan semakin signifikan. Hal ini dapat dilihat pada Gb. (4), (5). Semakin besar beban yang ingin dihasilkan, dibutuhkan saat penyalan yang tepat untuk menghasilkan tekanan pembakaran tinggi. Tekanan pembakaran tinggi diperlukan untuk menghasilkan gaya untuk mendorong torak pada langkah kerja yang besar. Pada beban rendah, saat penyalan yang tepat tidak terlalu dibutuhkan, karena tekanan pembakaran tidak perlu terlalu tinggi.

Dari Gb. (4), (5) dan (6) perbandingan saat penyalan terhadap kecepatan motor pada torsi optimum untuk kondisi bukaan katup gas yang berbeda-beda, terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan putar motor, saat penyalan semakin dimajukan, menjauhi TMA (*advanced*). Semakin tinggi kecepatan putar motor, semakin sedikit waktu proses pembakaran, sehingga perlu dimajukan saat penyalan agar setiap siklus pembakaran memperoleh waktu pembakaran yang cukup untuk menghasilkan tekanan pembakaran yang paling optimum.



Gambar 7. Pengaruh Saar Penyalaan terhadap Torsi dengan Variasi Temperatur Motor pada Putaran Mesin 1800 rpm dengan kondisi $\lambda=1$



Gambar 8. Pengaruh Saat Penyalan terhadap Torsi dengan variasi Temperatur Motor pada Putaran Mesin 1600 rpm dengan kondisi $\lambda=1$

Dengan mengacu pada Gb (4) (5) dan (6), dapat disimpulkan, adanya perubahan temperatur motor, perlu dilakukan perubahan saat penyalan untuk memperoleh prestasi motor yang optimum. Untuk kondisi motor pada temperatur start dingin (berkisar $\pm 20^{\circ}\text{C}$ hingga 40°C) sebaiknya sudut penyalan dimajukan, menjauhi TMA $\pm 1-5^{\circ}$ dari saat penyalan normal (peta motor kondisi standar). Langkah memajukan penyalan memberikan waktu pembakaran yang lebih lama, sehingga diperoleh prestasi mesin yang lebih baik, serta membantu motor untuk dapat lebih cepat panas. Sedangkan untuk kondisi motor pada temperatur mendekati *overheating* (temperatur air berkisar $\pm 90^{\circ}\text{C}$ ke atas), penyalan sebaiknya dimundurkan, mendekati TMA $\pm 3^{\circ}-5^{\circ}$ dari saat penyalan kondisi normal untuk mengurangi kemungkinan terjadinya *knocking*.

Kesimpulan dan Pengembangan Selanjutnya

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian ini:

1. Untuk kondisi motor pada temperatur start dingin (berkisar $\pm 20^{\circ}\text{C}$ hingga 40°C), penyalan sebaiknya dimajukan, menjauhi TMA $\pm 1^{\circ}-5^{\circ}$ dari sudut penyalan normal (peta mesin standar).
2. Untuk kondisi motor pada temperatur tinggi (temperatur air berkisar $\pm 90^{\circ}\text{C}$ keatas), saat penyalan sebaiknya dimundurkan, mendekati TMA $\pm 3^{\circ}-5^{\circ}$ dari sudut penyalan kondisi normal.
3. Semakin tinggi putaran dan beban mesin, perubahan saat penyalan semakin signifikan untuk menghindari terjadinya *knocking*.
4. Semakin tinggi putaran mesin, saat penyalan sebaiknya dimajukan, menjauhi TMA. Hal ini perlu dilakukan untuk mengkompensasi waktu pembakaran campuran bahan bakar dan udara agar terjadi pembakaran yang sempurna.

Diharapkan pengujian ini dapat ditindak lanjuti dengan mengembangkan sistem penghindaran *knocking* yang pintar, dan dapat diaplikasikan langsung kedalam perangkat ECU Mobar versi 3, maupun perangkat ECU pada motor bensin yang ada dimasyarakat.

Daftar Pustaka

1. John B. Heywood, "Internal Combustion Engine Fundamental", McGraw-Hill Book Company, 1988.
2. Arismunandar, W., "Penggerak Mula Motor Bakar Torak", Penerbit ITB Bandung, 1991.
3. Hillier, "Fundamentals of Motor Vehicle Technology", Stanley Thornes Ltd., London, 1995.
4. Adler, U., "Automotive Handbook", Robert Bosch GmbH, 1993.
5. Jadid, F., "Sistem Komputerisasi Manajemen Bahan Bakar dan Pengapian", Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB, 2000.
6. Iswanto, D., "Sistem Pengontrolan Jerat Tertutup Menggunakan Sensor Oksigen untuk Memperoleh Campuran Stoikiometrik", Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB, 2000.
7. Ariestono, Y., "Sistem Komputerisasi Manajemen Bahan Bakar dan Pengapian", Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB, 1997.
8. Roesindrawan, A.R., "Analisis Pemanfaatan Cacahan Vorteks Karman Sebagai Alat Ukur Laju Udara Untuk Sistem Penyemprotan Bahan Bakar Elektronik", Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB, 1997.
9. Apri Y, Harki., "Pengaruh Temperatur Motor terhadap Saat Penyalan untuk Memperoleh Prestasi Motor Optimum pada Motor Bensin", Tugas Sarjana, Teknik Mesin ITB 2003.
10. Hall, Douglas V, "Microprocessor and Interfacing Programming and Hardware", Glencoe, McGraw-Hill, 1992.
11. "Design with 68HC11 Microcontroller"
12. 68hc11 Reference Manual, Technical Data, Motorola, 1991.