

Penelitian Kebutuhan Angka Oktana Kendaraan Bermotor Bensin

Oleh:

Pallawagau La Puppung

I. PENDAHULUAN

Angka oktana suatu bensin adalah salah satu karakter yang menunjukkan mutu bakar bensin tersebut, yang dalam prakteknya menunjukkan ketahanan terhadap ketukan (*knocking*). Suatu bensin harus mempunyai mutu bakar yang baik agar mesin dapat beroperasi dengan mulus, efisien dan bebas dari pembakaran tidak normal selama pemakaiannya.

Setiap kendaraan mempunyai kebutuhan angka oktana tertentu. Kebutuhan angka oktana kendaraan bermotor bensin tidak sama antara satu merek dengan merek lainnya atau antara satu tipe dengan tipe lainnya untuk merek yang sama, tergantung pada perbandingan kompresi mesin dan faktor-faktor lainnya yang berpengaruh terhadap kebutuhan angka oktana.

Pengujian kebutuhan angka oktana kendaraan bertujuan untuk mengetahui tingkat angka oktana suatu kendaraan. Dengan diketahuinya kebutuhan angka oktana suatu kendaraan, maka secara teknis dapat ditentukan level angka oktana bensin yang akan digunakan untuk kendaraan tersebut. Bensin yang digunakan oleh suatu kendaraan harus mempunyai angka oktana yang sesuai dengan kebutuhan angka oktana mesin kendaraan. Angka oktana yang lebih rendah dari kebutuhan angka oktana mesin kendaraan akan menyebabkan terjadinya ketukan atau detonasi pada mesin. Ketukan yang terjadi pada mesin menimbulkan bunyi yang tidak enak dan membuang energi bahan bakar sehingga terjadi pemborosan. Terjadinya ketukan dalam waktu yang cukup lama akan menyebabkan piston, katup-katup dan busi terlalu panas (*overheated*). Hal ini dapat memperpendek umur mesin.

Pada penelitian ini telah dilakukan pengujian kebutuhan angka oktana terhadap enam kendaraan yang terdiri dari tiga merek dan setiap merek digunakan dua kendaraan yang mempunyai tipe yang sama. Dari hasil pengujian tersebut ternyata pada saat baru setiap

merek kendaraan mempunyai kebutuhan angka oktana yang berbeda dan dapat dijalankan dengan menggunakan bensin Premium, tetapi setelah dijalankan hingga mencapai akumulasi jarak tempuh sekitar 20.000 km terjadi kenaikan kebutuhan angka oktana, sehingga hanya satu kendaraan yang masih dapat dijalankan dengan bensin Premium, sisanya harus dijalankan dengan bensin yang mempunyai level oktana yang lebih tinggi dari bensin Premium.

II. MESIN BENSIN

A. Prinsip Kerja

Mesin yang sangat umum digunakan untuk menggerakkan kendaraan bermotor bensin adalah mesin piston bolak-balik. Tipe lain yang juga digunakan adalah mesin Wankel yang mempunyai ruang bakar yang berputar. Disain mesin ini adalah sangat tidak umum dan dari segi bahan bakar otomotif tidak mempunyai perbedaan masalah yang cukup berarti dibandingkan dengan mesin konvensional bolak-balik.

Prinsip kerja secara umum dari mesin bensin piston bolak-balik hanya akan diuraikan secara singkat pada tulisan ini. Mesin bensin piston bolak-balik dikenal sebagai motor bakar penyalan bunga api (*spark ignition engine*, SI atau motor Otto). Menurut jumlah langkah yang diperlukan untuk membentuk satu siklus kerja, maka mesin ini dibagi atas dua jenis, yaitu mesin empat langkah dan dua langkah. Pada mesin empat langkah, sistem bahan bakar memberi pengaturan campuran uap bahan bakar dan udara ke ruang bakar. Campuran ini ditekan oleh piston yang didorong ke atas oleh aksi poros engkol dan kemudian dinyalakan dengan menggunakan sebuah busi. Temperatur akhir kompresi sekitar 400 - 500°C, jadi terletak di bawah ambang penyalan sendiri campuran, dengan demikian harus dinyalakan dengan suatu busi penyalan sesaat sebelum titik mati atas (*top dead center*, TDC). Hasil pembakaran ini memberi kenaikan tekanan dalam ruang

bakar yang menekan piston ke bawah dan memindahkan daya ini ke poros engkol dan akhirnya ke roda-roda kendaraan. Piston menekan gas-gas hasil pembakaran keluar melalui katup buang pada saat piston kembali bergerak ke atas. Kemudian katup buang menutup dan katup isap membuka sedemikian rupa pada saat piston bergerak ke bawah, piston mengisap campuran bahan bakar udara segar. Langkah ke atas berikutnya dari mesin menekan campuran ini ketika kedua katup isap dan buang tertutup, dan kemudian campuran dinyalakan lagi dan keempat siklus kompresi, ekspansi, pembuangan dan pemasukan berlangsung terus-menerus pada saat mesin dijalankan.

Mesin dua langkah banyak digunakan pada masa yang lalu karena mempunyai keuntungan seperti mesin ringan, kompak biaya pembuatan rendah dan daya spesifik yang tinggi dibandingkan dengan mesin empat langkah. Pada mesin dua langkah campuran udara bahan bakar dipompakan ke dalam ruang bakar melalui lubang-lubang transfer selama piston bergerak ke bawah, dan pada waktu yang sama gas buang (sebagian campuran segar yang masuk) keluar melalui lubang pembuangan pada sisi lain dari silinder. Pada sekitar tahun 1970 pemakaiannya berkurang disebabkan oleh beberapa faktor antara lain kesulitan pengaturan emisi gas buang, penyumbatan busi, bising dan kebutuhan pencampuran bensin dengan minyak lumas. Tetapi pada saat ini desain baru telah mengalami banyak kemajuan untuk mengatasi problem tersebut dan kemungkinan tipe mesin ini akan kembali banyak dipakai. Kebutuhan angka oktana mesin ini adalah rendah dan ini merupakan salah satu keuntungan dari pemakaian mesin dua langkah di masa mendatang.

B. Sistem Pemasukan Bahan Bakar

Ada dua sistem pemasukan bahan bakar ke dalam mesin bensin, yaitu dengan sistem karburator dan sistem injektor. Kedua sistem ini akan dibahas secara singkat pada uraian berikut ini.

1. Sistem Karburator

Karburator bertindak sebagai alat ukur dan hendaknya:

- Benar-benar menjaga perbandingan udara dan bahan bakar yang tepat pada beban-beban yang berbeda.
- Perbandingan udara dan bahan bakar yang tepat untuk setiap perubahan temperatur.
- Memberikan campuran udara bahan bakar yang cocok pada saat akselerasi.
- Mempunyai tahanan udara yang rendah untuk menjaga efisiensi volumetrik yang tinggi.

Karburator memberikan campuran dari atomisasi bahan bakar dan udara dalam perbandingan sesuai dengan keperluan, tergantung pada kondisi operasi mesin. Pada saat udara mengalir melalui venturi ia menghasilkan suatu vakum parsial yang menyebabkan nosel bahan bakar memberikan semprotan bensin yang halus ke dalam aliran bensin. Katup *throttle* atau katup kupu-kupu mengontrol jalan lintas udara dan jumlah bahan bakar yang masuk ke dalam aliran udara. Bahan bakar dialirkan ke dalam badan karburator via sebuah mangkuk pelampung yang mempunyai ventilasi ke atmosfer atau ke kotak *canister* karburator. Variasi perbandingan udara dan bahan bakar diperlukan sesuai dengan perubahan kondisi operasi, misalnya ketika menghidupkan mesin pada hari dingin, campuran udara dan bahan bakar harus kaya, sementara untuk kecepatan jelajah yang normal dapat menjadi miskin. Variasi ini dapat dicapai dengan menggunakan suatu *choke* atau suatu sistem yang lain. Pengatur campuran udara dan bahan bakar elektronik dengan menggunakan sebuah sensor oksigen pada gas buang digunakan pada banyak model kendaraan, terutama jika kendaraan dilengkapi dengan jenis katalis gas buang tertentu yang bekerja sangat efektif pada campuran udara dan bahan bakar yang *stoichiometric*.

Dari segi desain, terdapat banyak desain karburator yang berbeda, karburator saat ini sangat canggih. Karburator ini bervariasi dalam hal memperkecil pembentukan deposit, karena kerja karburator sangat sensitif terhadap deposit.

2. Sistem Injeksi

Sistem injeksi bahan bakar merupakan suatu alternatif terhadap sistem karburasi yang pada saat ini mendominasi desain kendaraan, karena cara ini mampu mengontrol campuran udara dan bahan bakar lebih baik dari pada karburator, suatu hal yang sangat penting dari sudut pembatasan emisi gas buang yang ketat. Menurut cara injeksi bensin ke dalam mesin, maka sistem injektor ini dibagi atas tiga cara, yaitu injeksi bensin tidak langsung, injeksi semi langsung dan injeksi bensin langsung (*gasoline direct injection*, GDI) ke dalam ruang bakar mesin.

a. Injeksi Bensin Tidak Langsung

Pada injeksi bensin tidak langsung, secara normal injeksi bahan bakar ke dalam mesin dilakukan dalam *manifold* masuk melalui badan *throttle* injektor, mirip dengan sistem karburator atau ke dalam lubang masuk dengan menggunakan lubang injektor bahan bakar (*ports fuel injectors*, PFI). Keuntungannya dibandingkan dengan karburasi adalah meningkatkan

daya keluaran relatif terhadap ukuran mesin, konsumsi bahan bakar spesifik lebih rendah, torsi lebih tinggi pada kecepatan rendah mesin, polutan gas buang lebih rendah dan meningkatkan kinerja pengendalian pada udara panas dan dingin. Walaupun harganya lebih mahal, injeksi mempunyai kemampuan lebih baik daripada karburasi untuk mengontrol perbandingan udara dan bahan bakar, karena waktu injeksi siap diubah-ubah untuk memenuhi semua kondisi operasi mesin.

Berdasarkan tenaga penggerak, injektor dibagi atas dua jenis, yaitu mekanik dan elektronik. Pada sistem mekanik, bahan bakar disuplai ke setiap injektor dari sebuah distributor bahan bakar dan jumlah bahan bakar yang disuplai adalah proporsional dengan jumlah udara yang disedot oleh mesin. Pada sistem mekanik ini injeksi bensin ke dalam mesin menggunakan pompa penekan yang digerakkan secara mekanis, tenaga penggerak mekanis ini diambil dari tenaga putaran mesin melalui sistem transmisi mekanis.

Dalam pelaksanaannya injeksi bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar pada suatu mesin dapat dilakukan pada satu titik yang disebut *single-point fuel injection*, atau pada lebih dari satu tempat dan disebut *multi-point fuel injection*, injeksi bahan bakar untuk mesin empat silinder dilakukan pada empat titik. Pada sistem injeksi bahan bakar *single-point*, semua susunan sistem terletak di atas katup *throttle* dan berbeda dengan unit injeksi bahan bakar *multi-point*, semua sistem terletak di bawah katup *throttle*.

b. Injeksi Semi Langsung

Injeksi semi langsung (*semi direct injection system*, SDIS) dikembangkan pada motor bensin dua langkah. Bensin diinjeksikan langsung ke dalam silinder mesin pada saat piston meliwati lubang pemasukan udara segar pada langkah kompresi. Keuntungan sistem ini adalah;

- Aplikasi sistem sederhana
- Penguapan bahan bakar dari *piston crown*
- Memberikan efek pendinginan pada top piston
- Pembentukan campuran yang homogen
- Ekonomi bahan bakar yang baik
- Meminimumkan kehilangan bahan bakar yang masuk dalam silinder.

c. Injeksi Langsung

Pada injeksi bensin langsung (*gasoline direct injection*, GDI), injeksi bensin ke dalam mesin dilakukan langsung ke dalam silinder mesin. Mirip motor diesel,

bensin diinjeksikan ke dalam udara yang ada di dalam silinder mesin. Untuk mendapatkan udara dan bahan bakar yang homogen, maka pada kepala piston (*piston head*) dibuat cekung sehingga terjadi turbulensi aliran udara yang masuk ke dalam silinder mesin di mana bensin diinjeksikan secara langsung pada pusaran udara tersebut. Dalam pengoperasiannya injeksi bensin langsung ini terbagi atas dua mode, yaitu *ultra lean combustion mode* dan *superior output mode*.

- *Ultra lean combustion mode*; pada mode operasi ini injeksi bahan bakar dilakukan pada langkah kompresi seperti pada motor diesel. Mode ini akan aktif secara otomatis pada saat kendaraan melaju dengan kecepatan jelajah yang konstan, mesin tidak perlu mengeluarkan daya penuh yang tentunya tidak membutuhkan campuran udara dan bahan bakar yang kaya. Bahan bakar diinjeksikan seminimum mungkin sesuai kebutuhan mesin, sehingga terjadi campuran udara dan bahan bakar yang sangat miskin (*ultra lean mixture*).
- *Superior output mode*; pada mode operasi ini injeksi bahan bakar dilakukan pada saat langkah isap, tambahan injeksi bahan bakar akan dilakukan pada langkah kompresi jika unit kontrol elektronik mendeteksi adanya kekurangan bahan bakar.

Injeksi bahan bakar elektronik (*electronic fuel injection*, EFI) dapat digunakan baik pada injeksi bensin tidak langsung maupun pada injeksi bensin langsung ke dalam silinder mesin.

3. Efisiensi Mesin Bensin

Untuk mendapatkan daya guna yang tinggi, maka mesin hendaknya mempunyai efisiensi yang tinggi. Efisiensi termal motor Otto adalah:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

Terkait dengan bahan bakar yang digunakan, maka efisiensi indikasi motor Otto didapatkan dari rumus berikut ini:

$$N_i = \eta_i G Q_i \quad \text{atau} \quad \eta_i = \frac{N_i}{G Q_i}$$

di sini terlihat bahwa efisiensi indikasi berbanding langsung dengan daya indikasi yang dihasilkan (N_i kW) dibagi dengan jumlah bensin yang dikonsumsi (G kg/det) dan nilai kalori netto bensin (Q_L kJ/kg).

Dengan menggabungkan kedua efisiensi tersebut di atas diperoleh efisiensi termal relatif:

$$\eta_r = \frac{\eta_t}{\eta_i}$$

Hubungan antara perbandingan kompresi dengan efisiensi termal relatif disajikan pada Gambar 1.

Dari rumus di atas terlihat bahwa dengan menaikkan perbandingan kompresi (r) langsung meningkatkan efisiensi termal, sedangkan daya mesin (N) tergantung pada efisiensi termal. Peningkatan efisiensi termal akan memperbaiki *fuel economy*, tetapi perbandingan kompresi tidak dapat dinaikkan terlalu tinggi karena akan mengakibatkan temperatur dan tekanan pada akhir kompresi terlalu tinggi, kecenderungan terjadinya ketukan penyalaan lebih besar, sehingga diperlukan kualitas oktana yang lebih tinggi. Pada Gambar 2 dapat

dilihat hubungan antara perbandingan kompresi dengan kebutuhan angka oktana mesin.

III. ANGKA OKTANA

A. Angka Oktana Bensin

Angka oktana bensin adalah salah satu karakter yang menunjukkan mutu bakar dari bensin, yang dalam prakteknya menunjukkan tahanan terhadap ketukan. Suatu bensin harus mempunyai mutu bakar yang baik agar motor dapat beroperasi dengan mulus, efisien dan bebas dari pembakaran tidak normal selama pemakaiannya. Angka oktana suatu bensin merupakan ukuran standar laboratorium dari bensin tersebut untuk mengetahui kemungkinan terjadinya ketukan (*knocking*) selama pembakaran berlangsung dalam silinder motor dengan sumber api dari bunga api listrik busi.

Angka oktana suatu bensin ada dua jenis, yaitu angka oktana riset (*research octane number, RON*) dan angka oktana motor (*motor octane number, MON*). Kedua jenis angka oktana bensin ini diukur pada mesin CFR (*Co-operative Fuel Research*) menggunakan kondisi dan prosedur pengujian yang berbeda dengan menggunakan metode ASTM D 2699 dan ASTM D 2700. Pengujian angka oktana riset sangat berhubungan dengan kecepatan rendah, secara relatif kondisi pengendalian ringan sedangkan angka oktana motor berhubungan dengan kecepatan tinggi, kondisi pengendalian yang sangat berat.

Di Indonesia angka oktana bensin yang disyaratkan dalam spesifikasi adalah angka oktana riset (RON) dan pada saat ini terdapat tiga jenis bensin yang dipasarkan. Tingkat angka oktana ketiga jenis bensin tersebut adalah bensin Premium minimum 88 RON, bensin Pertamina minimum 91 RON, disediakan untuk kendaraan yang mempunyai kebutuhan angka oktana yang lebih tinggi dari pada Premium dan Pertamina Plus minimum 95 RON dirancang untuk kendaraan yang mempunyai kebutuhan angka oktana lebih tinggi dari pada Pertamina.

B. Kebutuhan Angka Oktana

Kendaraan-kendaraan sangat berbeda dalam merespon parameter oktana dan pada level mutu oktana yang dibutuhkan tidak terjadi ketukan. Sehubungan dengan ketukan pada mesin ada baiknya diketahui bahwa ada atau



Gambar 1
Hubungan antara perbandingan kompresi dengan efisiensi relatif mesin³⁾



Gambar 2
Hubungan antara perbandingan kompresi dengan kebutuhan angka oktana mesin³⁾

tidak adanya ketukan di dalam mesin ditentukan oleh dua faktor, yaitu mutu anti ketuk (angka oktana) bensin yang digunakan dan kebutuhan angka oktana mesin. Angka oktana bensin pada dasarnya tergantung kepada komposisi hidrokarbonnya dan dapat dinaikkan dengan menambahkan senyawa-senyawa antiketuk. Jika angka oktana bensin sesuai dengan kebutuhan angka oktana mesin, ketukan tidak akan terjadi.

C. Kenaikan Kebutuhan Angka Oktana

Deposit ruang bakar meningkatkan kebutuhan angka oktana kendaraan sampai pada tingkat yang cukup berarti dan adalah normal pengukuran kebutuhan angka oktana kendaraan hanya dilakukan setelah dijalankan hingga mencapai akumulasi jarak tempuh beberapa ribu kilometer ketika kenaikan kebutuhan angka oktana telah terjadi. Kenaikan kebutuhan angka oktana umumnya berada diantara 2 dan 10 angka dari suatu mesin baru setelah dijalankan untuk akumulasi jarak tempuh 15.000 mil¹⁾ dan ini perlu diperhitungkan oleh perancang mesin untuk meyakinkan bahwa kendaraan yang dibuatnya dapat beroperasi secara memuaskan dengan bahan bakar yang tersedia.

D. Kebutuhan Angka Oktana Populasi Kendaraan

Untuk menentukan level oktana bahan bakar yang sanggup memuaskan pemakai pada suatu daerah atau negara tertentu, perlu untuk menentukan kebutuhan angka oktana populasi kendaraan pada daerah atau negara tersebut. Penentuan kebutuhan angka oktana populasi kendaraan dilaksanakan dengan melakukan pengukuran kebutuhan angka oktana sejumlah besar kendaraan yang merepresentasikan populasi kendaraan pada daerah yang diteliti. Sebagai informasi, untuk populasi kendaraan 10.000.000, jumlah sampel yang signifikan adalah 1.000 kendaraan¹¹⁾. Tetapi melakukan pengukuran kebutuhan angka oktana representatif 1.000 kendaraan merupakan pekerjaan yang berat dan mahal, sehingga secara umum yang dilaksanakan orang adalah melakukan studi kebutuhan angka oktana populasi kendaraan selama satu tahun untuk mendapatkan kurva kebutuhan angka oktana populasi kendaraan dan pada tahun berikutnya kurva dikoreksi dengan melakukan pengukuran kebutuhan angka oktana kendaraan baru saja. Dengan mengetahui kurva populasi kendaraan, kilang dapat menetapkan level oktana produknya yang sesuai dengan presentase populasi kendaraan yang ingin dipuaskan.

IV. Pengujian Kebutuhan Angka Oktana

Pelaksanaan pengujian kebutuhan angka oktana kendaraan memerlukan ketelitian yang tinggi dan hasil-

hasilnya dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan mesin atau kendaraan telah dijalankan sebelum pengujian. Situasi selanjutnya lebih kompleks sebab toleransi-toleransi pembuatan kendaraan dapat memberikan variasi antara kendaraan-kendaraan yang berbeda untuk model yang sama.

A. Penyiapan Kendaraan Uji

Pada penelitian ini digunakan enam unit kendaraan baru dari tiga merek yang berbeda. Kendaraan-kendaraan tersebut semuanya memakai sistem transmisi manual dengan sistem pemasukan bahan bakar ke dalam mesin menggunakan karburator dan injektor bahan bakar elektronik (*electronic fuel injector*).

Persiapan kendaraan uji, verifikasi data-data teknik dan penyetelan bagian-bagian mesin sesuai dengan buku instruksi manual kendaraan. Pemeriksaan kondisi teknik dan karakteristik kendaraan untuk meyakinkan bahwa kendaraan memenuhi syarat dan aman selama digunakan untuk pengujian. Satu hal yang perlu diperiksa pada saat menyiapkan kendaraan untuk pengujian adalah untuk meyakinkan bahwa pengujian merefleksikan kondisi operasi normal. Data-data teknik kendaraan uji disajikan dalam Tabel 1.

B. Penyiapan Bahan Bakar

Pada pengujian kebutuhan angka oktana mesin kendaraan ini digunakan bahan bakar referensi primer. Dan untuk mengamati kenaikan kebutuhan angka oktana digunakan dua jenis bahan bakar, yaitu bensin komersial Premium dan bahan bakar referensi primer yang dibuat dari campuran iso-oktana dan n-heptana.

1. Bensin Premium

Bensin Premium digunakan sebagai bahan bakar uji di jalan raya untuk mendapatkan akumulasi jarak tempuh 20.000 km (tidak termasuk running in 3.000 km). Dalam pengujian ini bensin Premium yang digunakan mempunyai angka oktana 89,7 RON.

2. Bahan Bakar Referensi Primer

Untuk pengujian kebutuhan angka oktana mesin kendaraan dapat digunakan bahan bakar komersial atau bahan bakar referensi primer (*primary refrence fuel*, PRF) yang dibuat dari campuran iso-oktana dan n-heptana. Pada pengujian ini digunakan PRF. Persiapan untuk pengujian kebutuhan angka oktana suatu kendaraan dibuat satu seri bahan bakar referenai primer dengan kenaikan satu oktana, mulai dari angka oktana terendah sampai didapatkan kebutuhan angka oktana kendaraan tersebut. Untuk pengujian ini

digunakan sembilan PRF dengan RON mulai dari 82 sampai dengan 90 seperti disajikan Tabel 2.

C. Prosedur Pengujian

Pengujian kebutuhan angka oktana kendaraan dilaksanakan dengan menggunakan teknik penentuan kebutuhan angka oktana kendaraan ringan menurut CRC Designation E-15-94. Teknik penentuan kebutuhan angka oktana ini mencakup pemanasan mesin, pergantian bahan bakar, observasi dan interpretasi data.

1. Pemanasan Mesin

- Prosedur untuk menstabilkan temperatur operasi dan menyesuaikan sistem kontrol mesin dengan bahan bakar uji diuraikan seperti berikut ini. Stabilisasi temperatur operasi mesin dilakukan dalam satu siklus operasi tertentu, termasuk menjalankan kendaraan di jalan raya minimum 10 mil.

- Selama periode pemanasan dilakukan pemeriksaan kondisi mekanik kendaraan secara umum untuk meyakinkan bahwa kendaraan cukup memenuhi syarat dan aman selama pengujian dilaksanakan.

2. Pergantian Bahan Bakar

Untuk menghilangkan kontaminasi bahan bakar baru dengan sejumlah sisa bahan bakar sebelumnya, sistem injeksi bahan bakar hendaknya dibilas satu kali dan untuk sistem karburator dibilas dua kali dengan bahan bakar baru. Kemudian dilakukan akselerasi *throttle* penuh setelah pergantian bahan bakar.

3. Observasi

a. Kondisi Operasi

Kebutuhan angka oktana akan diukur di bawah level kondisi percepatan jalan raya. Pengujian dilaksanakan pada suhu udara antara 16°C dan 32°C. Pengujian hendaknya tidak dilakukan pada kelembaban udara yang sangat tinggi, seperti setelah hujan lebat.

Tabel 1
Data-data teknik kendaraan uji

Karakteristik	Kendaraan-1,2	Kendaraan-3,4	Kendaraan-5,6
Jumlah silinder	4	4	4
Diameter silinder x langkah, mm	80.0 x 73.0	78.0 x 78.4	81.0 x 77.0
Valume langkah, cc	1486	1498	1587
Perbandingan kompresi	9.0:1	9.4:1	9.5:1
Daya maksimum, dk/rpm	52/5600	82/5500	115/6000
Torsi maksimum, kgm/rpm	9/3600	12.2/2600	15/4800
Kecepatan <i>idle</i> , rpm	675 – 725	800	750
Sistem bahan bakar	Karburator	EFI	EFI
Sistem pengapian	CDI	Platina	CDI
Rekomendasi angka oktana, RON	90	91	95

Tabel 2
Bahan bakar referensi yang digunakan

PRF	PRF ₁	PRF ₂	PRF ₃	PRF ₄	PRF ₅	PRF ₆	PRF ₇	PRF ₈	PRF ₉
RON	82	83	84	85	86	87	88	89	90

b. Penentuan Intensitas Ketukan

Kebutuhan angka oktana maksimum ditentukan dengan mengevaluasi peristiwa ketukan dengan terminologi intensitas ketukan: "N" untuk tidak ada ketukan (*no knock*), "B" untuk ketukan yang terjadi pada garis batas (*borderline knock*) dan "A" untuk ketukan yang terjadi diatas garis batas (*above borderline knock*). Penentuan intensitas ketukan yang representatif untuk suatu bahan bakar selesai dengan maksimum tiga pengukuran percepatan. Waktu penurunan percepatan antara akhir dari suatu percepatan adalah sekitar 20 detik.

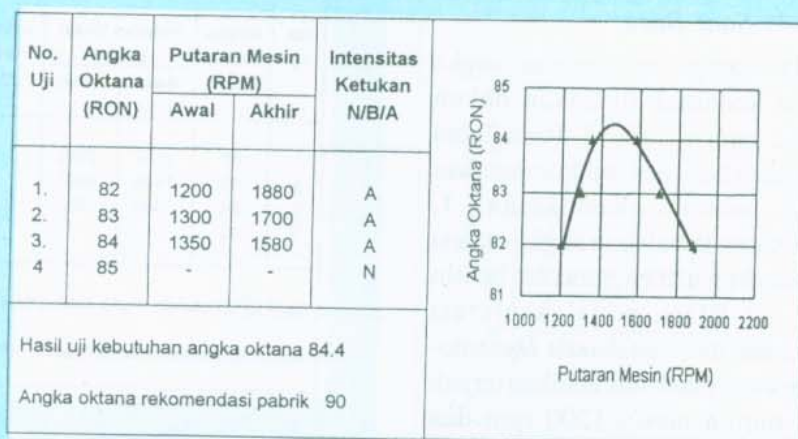
Semua percepatan berikutnya akan dihentikan secara normal ketika intensitas ketukan A diketemukan, dan pengujian dilanjutkan dengan bahan bakar yang mempunyai angka oktana yang lebih tinggi.

c. Penentuan Kebutuhan Angka Oktana

Pengujian hendaknya dijalankan sampai pada kecepatan 97 km/jam (60 mil/jam) paling tidak dibatasi pada kecepatan 88 km/jam (55 mil/jam) disebabkan oleh batas kecepatan legal di Amerika Serikat⁽⁴⁾. Untuk pengujian pada *throttle* percepatan maksimum untuk transmisi manual, pilih posisi gigi persneling tertinggi yang telah ditentukan. Start dari kecepatan terendah dari mana kendaraan diakselerasi secara lembut dan tekan penuh pedal *throttle*. Lakukan observasi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Gunakan salah satu PRF dari seri bahan bakar yang telah disediakan untuk estimasi batas ketukan dan investigasi terjadinya ketukan.
2. Jika tidak terjadi ketukan, gunakan PRF yang mempunyai angka oktana yang lebih rendah dan ulangi langkah 1).
3. Jika terjadi ketukan pada langkah 1), lanjutkan investigasi pada kondisi kritis dengan PRF yang mempunyai angka oktana lebih tinggi hingga PRF yang mempunyai angka oktana tertinggi memberikan ketukan di mana bahan bakar berikutnya yang mempunyai angka oktana lebih tinggi lagi tidak memberikan ketukan. Catat intensitas ketukan maksimum pada semua bahan bakar, catat kecepatan saat mulai ada ketukan dan

Tabel 3
Hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 1



saat ketukan hilang dari semua bahan bakar demikian juga catat kecepatan dari intensitas ketukan maksimum pada bahan bakar yang mempunyai oktana tertinggi di mana terjadi ketukan.

d. Interpretasi Data

1. Jika intensitas ketukan PRF tertinggi yang memberikan ketukan adalah garis batas, maka kebutuhan angka oktana dilaporkan sama dengan angka oktana referensi.
2. Jika intensitas ketukan PRF tertinggi yang memberikan ketukan di atas garis batas, maka kebutuhan angka oktana hendaknya dilaporkan sama dengan pertengahan antara angka oktana PRF tertinggi yang memberikan ketukan dan angka oktana PRF lebih tinggi berikutnya yang tidak memberikan ketukan.
3. Kebutuhan angka oktana dapat juga ditentukan dengan membuat grafik hasil-hasil pencatatan intensitas ketukan dan kecepatan mesin seperti disajikan pada Tabel 3, titik puncak dari kurva dilaporkan sama dengan kebutuhan angka oktana.

V. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk mengamati kebutuhan dan kenaikan kebutuhan angka oktana kendaraan bermotor bensin telah dilakukan pengujian terhadap enam unit kendaraan yang terdiri dari tiga merek/tipe, masing-masing merek/tipe diuji dua unit. Hal ini dimaksudkan untuk mengamati dan membandingkan kebutuhan dan kenaikan angka oktana kendaraan dari merek/tipe yang berbeda dan dari merek/tipe yang sama. Pengujian kebutuhan angka

oktana dilakukan di atas *Chassis Dynamometer*.

A. Kebutuhan Angka Oktana pada Saat Baru

Hasil pengujian kebutuhan angka oktana kendaraan disajikan dalam Tabel 3 sampai Tabel 8. Pada Tabel 3 disajikan hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 1, pengukuran kebutuhan angka oktana dimulai dengan menggunakan bensin PRF₁ 82 RON, pada akselerasi kendaraan di atas *Chassis Dynamometer*, awal intensitas ketukan terjadi pada putaran mesin 1200 rpm dan berakhir pada putaran 1880 rpm. Hasil tersebut menunjukkan kebutuhan angka oktana kendaraan masih di atas garis batas (A). Berikutnya digunakan bensin PRF₂ 83 RON, hasil yang diperoleh masih menunjukkan kebutuhan angka oktana di atas garis batas (A). Selanjutnya digunakan bensin PRF₃ 84 RON, hasil pengujian ini juga menunjukkan A. Terakhir digunakan bensin PRF₄ 85 RON, disini tidak diketemukan adanya ketukan (N).

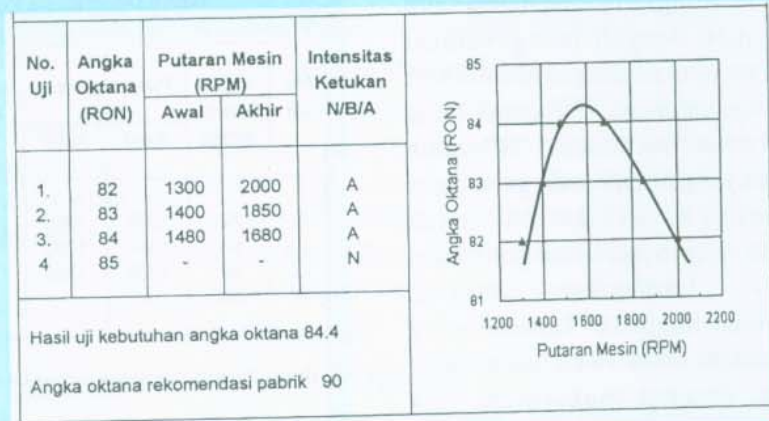
Dari grafik putaran mesin versus kebutuhan angka oktana yang diperoleh dari pengukuran didapatkan kebutuhan angka oktana Kendaraan 1 adalah 84,4 RON. Dengan cara yang sama didapatkan hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 2 sampai dengan Kendaraan 6.

Hasil-hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 1 sampai dengan Kendaraan 6 seperti disajikan dalam Tabel 3 sampai dengan Tabel 8 adalah kebutuhan angka oktana kendaraan pada saat baru. Kendaraan baru di sini adalah kendaraan yang telah mempunyai akumulasi jarak tempuh untuk *running in* sekitar 3000 km.

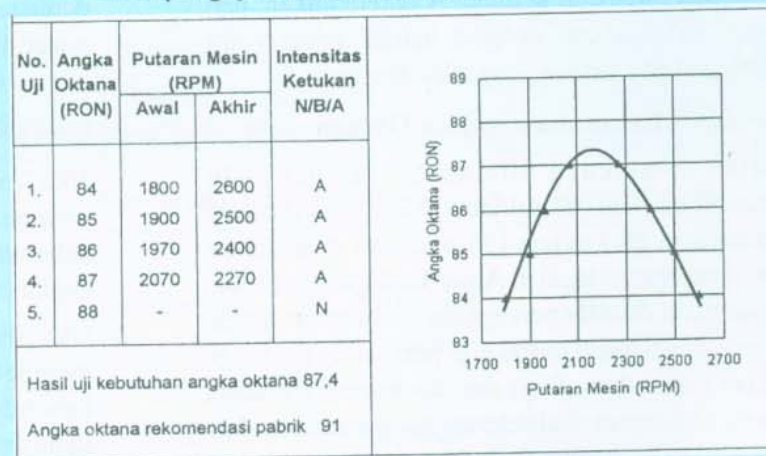
1. Kendaraan 1 dan Kendaraan 2

Kendaraan 1 dan Kendaraan 2 mempunyai merek/tipe yang sama,

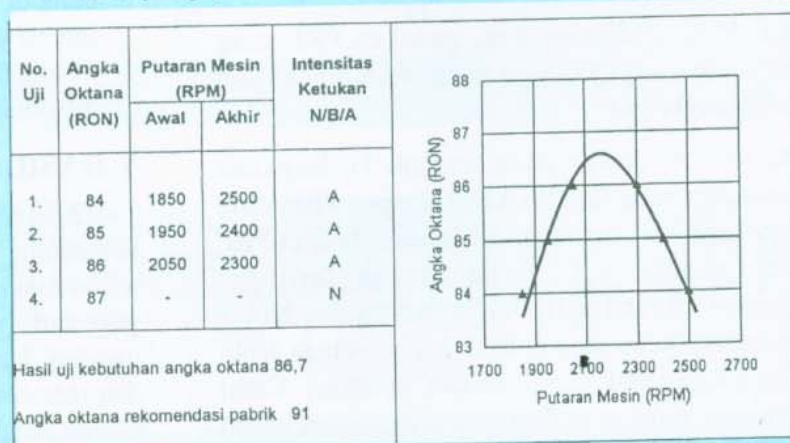
Tabel 4
Hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 2



Tabel 5
Hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 3



Tabel 6
Hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 4



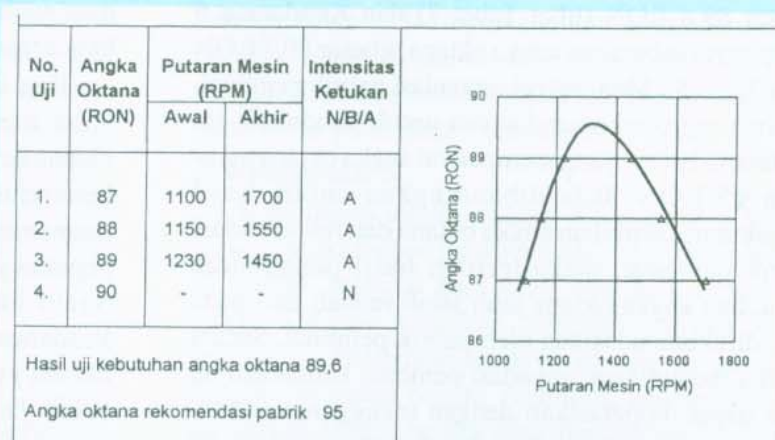
hasil-hasil pengujian kebutuhan angka oktana kedua kendaraan ini pada saat baru adalah sama, yaitu sebesar 84,4 RON (lihat Tabel 3 dan Tabel 4). Menurut rekomendasi pabrik pembuat, bensin yang direkomendasikan untuk kendaraan ini adalah bensin yang mempunyai angka oktana minimum 90 RON. Bila dibandingkan antara hasil pengukuran kebutuhan angka oktana dan rekomendasi pabrik pembuat, maka terlihat hasil pengukuran kebutuhan angka oktana jauh lebih rendah dari pada yang direkomendasikan oleh pembuat. Secara teoretis menurut rekomendasi pabrik pembuatnya, maka kendaraan ini tidak dapat dioperasikan dengan menggunakan Premium yang mempunyai angka oktana minimum 88 RON, tetapi secara praktis berdasarkan hasil pengujian kebutuhan angka oktana kendaraan ini dapat dijalankan dengan menggunakan bensin Premium, karena angka oktana bensin Premium yang digunakan dalam pengujian mempunyai angka oktana 89,7 RON masih lebih tinggi dari kebutuhan angka oktana kendaraan.

2. Kendaraan 3 dan Kendaraan 4

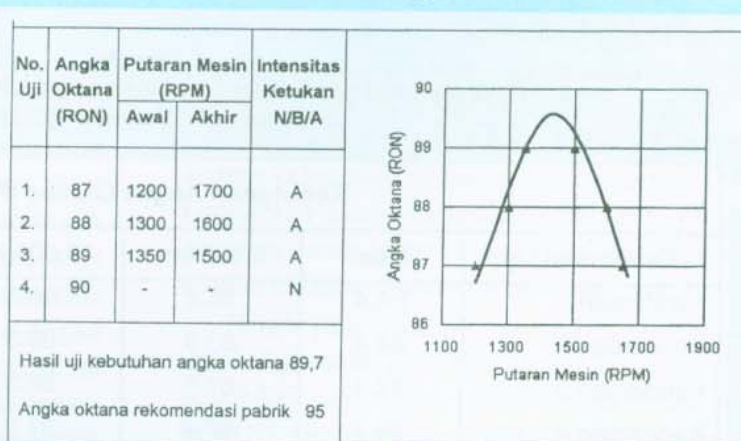
Walaupun Kendaraan 3 dan Kendaraan 4 mempunyai merek/tipe yang sama, tetapi kedua kendaraan ini mempunyai kebutuhan angka oktana yang berbeda. Kendaraan 3 mempunyai kebutuhan angka oktana pada saat baru sebesar 87,4 RON (lihat Tabel 5) dan Kendaraan-4 mempunyai kebutuhan angka oktana sebesar 86,7 RON (lihat Tabel 6). Menurut rekomendasi pabrik pembuat, bensin yang direkomendasikan untuk kendaraan ini hendaknya bensin yang mempunyai angka oktana minimum 91 RON. Bila dibandingkan antara hasil pengukuran kebutuhan angka oktana dan rekomendasi pabrik pembuat, maka terlihat hasil pengukuran kebutuhan angka oktana jauh lebih rendah dari pada yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat.

Secara teoretis menurut rekomendasi pabrik pembuatnya, kendaraan ini tidak dapat dioperasikan

Tabel 7
Hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 5



Tabel 8
Hasil pengujian kebutuhan angka oktana Kendaraan 6



dengan menggunakan Premium yang mempunyai angka oktana minimum 88 RON, tetapi secara praktis dari hasil pengujian kebutuhan angka oktana kendaraan ini dapat dijalankan dengan menggunakan bensin Premium. Apalagi bensin Premium yang digunakan dalam pengujian ini mempunyai angka oktana 89,7 RON.

3. Kendaraan 5 dan Kendaraan 6

Kedua kendaraan mempunyai merek/tipe yang sama, tetapi keduanya mempunyai kebutuhan angka oktana yang sedikit berbeda. Perbedaan ini kalau diperhitungkan keterulangan pengujian angka oktana

$\pm 0,3$, maka dapat dikatakan keduanya mempunyai kebutuhan angka oktana yang sama. Kendaraan 5 mempunyai kebutuhan angka oktana pada saat baru sebesar 89,6 RON (lihat Tabel 7) dan Kendaraan 6 mempunyai kebutuhan angka oktana sebesar 89,7 RON (lihat Tabel 8). Menurut rekomendasi pabrik pembuat, bensin yang direkomendasikan untuk kendaraan ini hendaknya bensin yang mempunyai angka oktana minimum 95 RON. Bila dibandingkan antara hasil pengukuran kebutuhan angka oktana dan rekomendasi pabrik pembuat, maka terlihat hasil pengukuran kebutuhan angka oktana jauh lebih rendah dari pada yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat. Secara teoretis menurut rekomendasi pabrik pembuat kendaraan ini tidak dapat dioperasikan dengan menggunakan Premium yang mempunyai angka oktana minimum 88 RON. Bensin Premium yang digunakan dalam pengujian ini mempunyai angka oktana 89,7 RON, tetapi masih memenuhi kebutuhan angka oktana kedua kendaraan.

Kebutuhan angka oktana mesin kendaraan bermotor adalah sangat bermanfaat di dalam menentukan kualitas bahan bakar yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan suatu kendaraan atau populasi kendaraan.

Bagi industri bahan bakar dan mobil adalah penting untuk mengetahui apa yang disebut kebutuhan angka oktana kendaraan di bawah kondisi operasi normal dan berat sehingga bahan bakar yang ada dapat dibuat untuk memenuhi secara esensial semua kendaraan pada populasi yang ada bagaimanapun kondisi pengendaraan. Suatu hal yang juga penting adalah kendaraan-kendaraan tidak diproduksi dengan kebutuhan angka oktana yang lebih tinggi dari pada level oktana bahan bakar yang tersedia.

Walaupun kendaraan dijalankan dengan suatu bahan bakar yang telah dirancang untuknya, tetapi kadangkala masih terjadi ketukan, ini kemungkinan disebabkan oleh sejumlah faktor seperti pembentukan deposit yang berlebihan di dalam ruang bakar, waktu

Tabel 9
Hasil pengujian kenaikan kebutuhan angka oktana pada akumulasi jarak tempuh 0 sampai 20.000 km

Kebutuhan Angka Oktana (RON)					
Kendaraan Uji	0 km	5.000 km	10.000 km	15.000 km	20.000 km
Kendaraan 1	84.4	85.2	86.6	87.8	88.5
Kendaraan 2	84.4	85.6	88.3	90.2	90.7
Kendaraan 3	87.4	87.8	88.5	89.3	89.7
Kendaraan 4	86.7	86.9	87.3	88.5	90.5
Kendaraan 5	89.6	89.9	90.3	90.4	90.8
Kendaraan 6	89.7	90.2	90.5	90.6	90.8
Kenaikan Kebutuhan Angka Oktana					
Kendaraan Uji	0 km	5.000 km	10.000 km	15.000 km	20.000 km
Kendaraan 1	0	0.8	2.2	3.4	4.1
Kendaraan 2	0	1.2	3.9	5.8	6.3
Kendaraan 3	0	0.4	1.1	1.9	2.3
Kendaraan 4	0	0.2	0.6	1.8	3.8
Kendaraan 5	0	0.3	0.7	0.8	1.2
Kendaraan 6	0	0.5	0.8	0.9	1.1

penyalaan terlalu maju (*overadvancement*), khususnya pada kondisi pengendaraan berat, atau kombinasi dari beberapa faktor selama pembuatan di mana semua toleransi produksi bermuara menjadi satu yang berakibat pada peningkatan kebutuhan angka oktana. Selain dari itu dapat juga disebabkan oleh mutu bahan bakar lebih jelek daripada yang telah ditentukan. Kemungkinan lain adalah bensin yang digunakan mempunyai sensitivitas angka oktana yang tinggi atau MON jauh lebih rendah dari pada RON, sehingga pada saat kendaraan beroperasi pada severitas yang tinggi terjadi ketukan.

B. Kenaikan Kebutuhan Angka Oktana

Dengan melakukan pengujian kebutuhan angka oktana pada awal (akumulasi jarak tempuh 3000 km) dan setiap akumulasi jarak tempuh 5000 km, dapat diketahui kenaikan kebutuhan angka oktana kendaraan. Hasil-hasil pengujian kenaikan kebutuhan angka oktana disajikan dalam Tabel 9.

1. Kendaraan 1

Pada saat baru kendaraan ini mempunyai kebutuhan angka oktana 84,4 RON, hasil pengujian kebutuhan angka oktana setelah mencapai akumulasi jarak tempuh 5.000 km, 10.000 km, 15.000 km dan 20.000 km terlihat terjadi kenaikan kebutuhan angka oktana. Pada akhir uji jalan kenaikan kebutuhan angka oktana mencapai 88,5 RON, naik sebesar 4,1 angka. Dengan kenaikan kebutuhan angka oktana sebesar ini kendaraan masih bisa dijalankan dengan memakai bensin Premium, tetapi setelah mencapai akumulasi jarak tempuh beberapa ribu kilometer lagi akan terjadi kenaikan kebutuhan angka oktana hingga lebih tinggi dari 90 RON. Pada posisi ini kendaraan tidak cocok lagi dijalankan dengan bensin Premium, harus digunakan bensin yang mempunyai level angka oktana yang lebih tinggi dari 90 RON.

2. Kendaraan 2

Kendaraan 2, walaupun mempunyai merek/tipe yang sama dengan Kendaraan 1, tetapi pada akumulasi jarak tempuh 20.000 km kebutuhan angka oktanya naik dari 84,4 menjadi 90,7 RON. Hasil ini menunjukkan suatu kenaikan yang cukup tinggi, yaitu sebesar 6,3 angka, dengan kenaikan kebutuhan angka oktana ini kendaraan tidak cocok lagi dijalankan dengan bensin Premium, kendaraan harus dijalankan dengan bensin yang mempunyai level angka oktana yang lebih tinggi dari 90 RON.

Menurut rekomendasi pabrik pembuatnya, Kendaraan 1 dan Kendaraan 2 hendaknya menggunakan bensin yang mempunyai angka oktana

minimum 90 RON. Dibandingkan dengan hasil pengujian di atas, maka angka oktana yang direkomendasikan telah memperhitungkan kemungkinan terjadinya kenaikan kebutuhan angka oktana, sehingga untuk mencapai akumulasi jarak tempuh 20.000 km tidak akan terjadi intensitas ketukan yang keras pada mesin kendaraan.

3. Kendaraan 3

Kebutuhan angka oktana Kendaraan 3 setelah mencapai akumulasi jarak tempuh 20.000 km naik dari 87,4 RON menjadi 89,7 RON atau naik sebesar 2,3 angka. Dengan kenaikan kebutuhan angka oktana sebesar ini kendaraan tidak cocok lagi dioperasikan dengan memakai bensin Premium, kendaraan harus dijalankan dengan bensin yang mempunyai level angka oktana minimum 90 RON.

4. Kendaraan-4

Pada akhir uji jalan setelah Kendaraan 4 mencapai akumulasi jarak tempuh 20.000 km, terjadi kenaikan kebutuhan angka oktana dari 86,7 RON menjadi 90,5 RON. Hasil ini menunjukkan kenaikan kebutuhan angka oktana sebesar 3,8 angka. Pada level kenaikan kebutuhan angka oktana sebesar ini kendaraan tidak cocok lagi dijalankan dengan bensin Premium, kendaraan harus dijalankan dengan bensin yang mempunyai level angka oktana lebih tinggi dari 90 RON. Karena kalau tetap dijalankan dengan bensin Premium, kendaraan akan mengalami ketukan yang dapat merusak mesin, menurunkan daya mesin, menaikkan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang.

Bensin yang direkomendasikan oleh pabrik pembuat untuk digunakan pada Kendaraan 3 dan Kendaraan 4 adalah bensin yang mempunyai angka oktana minimum 91 RON. Dengan menggunakan bensin sesuai dengan rekomendasi pabrik pembuat ini, maka pada akumulasi jarak tempuh 20.000 km kendaraan masih dapat berjalan mulus tanpa ketukan.

5. Kendaraan 5

Untuk Kendaraan 5 setelah mencapai akumulasi jarak tempuh 20.000 km kebutuhan angka oktana mengalami kenaikan dari 89,6 RON menjadi 90,8 RON atau naik sebesar 1,2 angka. Kenaikan kebutuhan angka oktana ini cukup kecil, tetapi kendaraan tidak cocok lagi dijalankan dengan bensin Premium, harus dengan bensin yang mempunyai level angka oktana yang lebih tinggi dari 90 RON.

6. Kendaraan 6

Kebutuhan angka oktana Kendaraan 6 setelah mencapai akumulasi jarak tempuh 20.000 km naik dari

89,7 RON menjadi 90,8 RON, mengalami kenaikan sebesar 1,1 angka. Kenaikan ini merupakan kenaikan paling kecil dari keenam kendaraan yang diuji. Dengan kenaikan ini kendaraan sudah tidak cocok lagi dijalankan dengan bensin Premium, tetapi harus dijalankan dengan bensin yang mempunyai level angka oktana yang lebih tinggi dari 90 RON.

Jika diamati bensin yang direkomendasikan untuk digunakan pada Kendaraan-5 dan Kendaraan-6, yaitu bensin yang mempunyai angka oktana minimum 95, maka level angka oktana ini masih jauh lebih tinggi dari pada kebutuhan angka oktana kendaraan setelah mencapai akumulasi jarak tempuh 20.000 km.

Dari bahasan di atas terlihat bahwa keenam kendaraan telah mengalami kenaikan kebutuhan angka oktana setelah mencapai akumulasi jarak tempuh 20.000 km, sehingga hanya satu kendaraan yang masih dapat dijalankan dengan bensin Premium yang lainnya tidak cocok lagi dijalankan dengan menggunakan bensin Premium, harus diganti dengan bensin yang mempunyai angka oktana yang lebih tinggi. Selain mengganti dengan bensin yang mempunyai level angka oktana yang lebih tinggi, cara lain yang dapat ditempuh untuk mengatasi terjadinya ketukan adalah:

- menambahkan aditif penaik angka oktana ke dalam bensin Premium;
- melakukan penyetelan pengapian, dengan memundurkan (*retarding*) waktu penyalaan, kecenderungan terjadinya ketukan akan berkurang dan sebaliknya memajukan (*advancing*) waktu penyalaan akan menyebabkan kecenderungan terjadinya ketukan meningkat. Hendaknya diingat, penyetelan waktu penyalaan ini sampai pada batas tertentu dapat berpengaruh negatif terhadap daya yang dihasilkan oleh mesin;
- kalau usaha tersebut di atas tidak membuahkan hasil dan tetap ingin agar kendaraannya dapat dijalankan dengan bensin Premium, maka harus dilakukan turun mesin; deposit karbon yang terdapat pada kepala piston, kepala silinder, katup-katup dan busi dibersihkan bila kondisinya masih dalam keadaan baik, kalau sudah mengalami kerusakan harus diganti;
- untuk mencegah terjadinya akumulasi deposit karbon dalam ruang bakar mesin, dapat dilakukan dengan menambahkan aditif deterjen ke dalam bensin.

Setelah kendaraan-kendaraan ini dijalankan beberapa ribu kilometer akan terjadi pembentukan de-

posit dalam ruang bakar mesin yang akan menyebabkan terjadinya kenaikan kebutuhan angka oktana. Bila ini terjadi kendaraan tidak tepat lagi menggunakan bensin Premium, karena pada mesin kendaraan akan terjadi ketukan. Untuk ini harus menggunakan bensin yang mempunyai level angka oktana yang lebih tinggi dari bensin Premium.

Kebutuhan angka oktana dari mesin tergantung kepada desain dan kondisi operasinya. Faktor desain mesin meliputi perbandingan kompresi, waktu penyalaan, waktu pembukaan dan penutupan klep-klep (*valves timing*), perbandingan udara-bahan bakar, efisiensi volumetric, sistem induksi atau pemasukan bahan bakar (*induction system*), temperatur pendingin, tingkat sirkulasi gas buang dan desain ruang bakar. Faktor-faktor operasi meliputi kondisi atmosfer, deposit ruang bakar dan kondisi operasi sendiri. Dari sekian banyak faktor yang mungkin menyebabkan terjadinya ketukan di dalam mesin, hanya dua faktor yang dapat dihilangkan dengan menambahkan aditif penaik mutu bensin, yaitu mutu antiketuk bensin yang rendah dan deposit ruang bakar. Faktor-faktor lainnya hanya bisa diatasi melalui penyetelan di bengkel.

Kebutuhan angka oktana mesin kendaraan bermotor adalah sangat bermanfaat di dalam menentukan kualitas bahan bakar yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan suatu kendaraan atau populasi kendaraan.

Bagi industri bahan bakar dan mobil adalah penting untuk mengetahui apa yang disebut kebutuhan angka oktana kendaraan di bawah kondisi operasi normal dan berat sehingga bahan bakar yang ada dapat dibuat untuk memenuhi secara esensial semua kendaraan pada populasi yang ada bagaimanapun kondisi pengendaraan. Suatu hal yang juga penting adalah kendaraan-kendaraan tidak diproduksi dengan kebutuhan angka oktana yang lebih tinggi daripada level oktana bahan bakar yang tersedia.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian kebutuhan angka oktana dan kenaikan kebutuhan angka oktana keenam kendaraan tersebut di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan pengujian kebutuhan angka oktana kendaraan pada saat baru dapat diketahui level angka oktana bensin yang dapat digunakan untuk kendaraan tersebut pada saat itu.
2. Kebutuhan angka oktana kendaraan antara satu merek dengan merek lainnya tidak sama, bahkan

kebutuhan angka oktana kendaraan dari satu merek/tipe yang sama dapat berbeda antara satu dengan lainnya.

3. Dari hasil-hasil pengujian keenam kendaraan tersebut menunjukkan bahwa pada saat baru semua kendaraan dapat dijalankan dengan menggunakan bensin Premium, tetapi setelah dijalankan hingga mencapai akumulasi jarak tempuh sekitar 20.000 km terjadi kenaikan kebutuhan angka oktana, sehingga hanya satu kendaraan yang masih dapat dijalankan dengan bensin Premium, sisanya harus dijalankan dengan menggunakan bensin yang mempunyai level oktana yang lebih tinggi dari Premium.
4. Setelah kendaraan dioperasikan akan terbentuk lapisan deposit pada ruang bakar mesin, lapisan deposit ini akan menaikkan perbandingan kompresi dan menjadi isolator perpindahan panas dari dinding ruang bakar ke air pendingin menyebabkan temperatur ruang bakar meningkat sehingga terjadi kenaikan kebutuhan angka oktana mesin kendaraan.
5. Kenaikan kebutuhan angka oktana untuk setiap kendaraan tidak sama, ada kecenderungan untuk kendaraan yang mempunyai kebutuhan angka oktana yang lebih rendah pada saat baru, terjadi kenaikan kebutuhan angka oktana yang lebih tinggi.

KEPUSTAKAAN

1. Keith Owen dan Steven Coley, 1995, Automotive Fuels Reference Book, Edisi Kedua, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Amerika Serikat.
2. Annual Book of ASTM Standard, Jilid 05.1 - Jilid 05.3, 2002, Petroleum Products and Lubricants, The American Society for Testing and Materials, Philadelphia, Amerika Serikat.
3. Customer Conference Center, 1996, LEMIGAS Fuels Conference, Lubrizol, Wickliffe, Amerika Serikat.
4. CRC, 1993, Technique for Determination of Octane Number Requirements of Light-Duty Vehicles (CRC Designation E-15-94), Coordinating Research Council, Atlanta, Amerika Serikat.
5. Bosch, 1993, Automotive Handbook, 3rd Edition, Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Jerman.
6. Gasoline and Other Motor Fuel, 1980, Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Jilid 11, Edisi 3, John Wiley & Sons Inc., New York, Amerika Serikat.
7. J.C.Callison, T. Wusz, and W.F. Biller, 1989, Coordinating Research Council Trend in Octane Number Requirement Increase, SAE Paper No.892036.
8. J.D. Benson, 1975, Some Factors which Affect Octane Requirement Increase, SAE Paper No. 750933.
9. Pallawagau La Puppung, 2000, Kenaikan Kebutuhan Angka Oktana Mesin Kendaraan Bermotor Bensin, Lembaran Publikasi Lemigas Vol. 34 No. 3/2000, Lemigas, Jakarta.
10. SAE Handbook, Jilid 3, 1986, Engines, Fuels, Lubricants, Emission & Noise, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Amerika Serikat.
11. Weissmann J., 1972, Fuels for Internal Combustion Engines and Furnaces, Lembaga Minyak dan Gas Bumi, Jakarta. •