

Meramu Bensin Ramah Lingkungan dengan Pemanfaatan Butanol

Oleh: Djainuddin Semar¹⁾ dan Emi Yuliarita²⁾

Peneliti Madya¹⁾, Peneliti Muda²⁾ pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 20 Januari 2011; Diterima setelah perbaikan tanggal 16 Februari 2011

Disetujui terbit tanggal: 29 April 2011

S A R I

Butanol adalah suatu alkohol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin bensin pada pembakaran internal tanpa modifikasi mesin.

Keuntungan dari butanol adalah angka oktana dan kandungan energinya tinggi, hanya sekitar 10% lebih rendah daripada bensin. Butanol adalah hidrokarbon rantai panjang bersifat non-polar, tidak larut dalam air dan titik nyalanya tinggi, serta mempunyai tekanan uap rendah (0,3 psi).

Kelemahan utama butanol adalah bersifat toksisitas, dan kenyataan pada proses fermentasi butanol (dapat dibuat dari ganggang, mahkota dewa, buah naga) memancarkan bau busuk. Membuat butanol dari minyak tidak menghasilkan bau tersebut, namun pasokan terbatas.

Pengujian kinerja sepeda motor di atas dinamometer sasis. Hasil uji daya rata-rata terhadap waktu akselerasi rata-rata mesin sepeda motor yang berbahan bakar bensin yang mengandung 10% volume butanol (Bu_{10}) lebih rendah 3,4% dibandingkan ketika memakai bensin yang tidak mengandung butanol (Bu_0). Hasil uji konsumsi bahan bakar Bu_{10} dibandingkan dengan bensin Bu_0 adalah meningkat 2,13%, sedangkan emisi gas buang nitrogen oksida, karbon monoksida, hidrokarbon dan karbon dioksida masing-masing lebih rendah.

Kata kunci: butanol, kinerja, ramah lingkungan.

ABSTRACT

Butanol is an alcohol which can be used as fuel in most gasoline internal combustion engines without the need of engine modification.

The advantages of butanol are its high octane rating and high energy content, i.e. only about 10% lower than gasoline. Butanol longer hydrocarbon chain causes it to be fairly non-polar, not water soluble, has a very low vapor pressure (RVP 0,3 psi).

Butanol's only major disadvantages are its toxicity and the fact that the fermentation process (butanol can be made from algae, phaleriamacrocarpa, dragon fruit) for renewable butanol emits a foul odour. Making butanol from oil product will not give such odour, but it is limited its supply.

Performance test was done by using motor bike on chassis dynamometer.

The test results show that average power and average acceleration time of motor cycle engine that used gasoline fuel Bu_{10} compared to fuel performance of reference gasoline fuel Bu_0 can be described as follow: the engine power decreased by 3,4%; the consumption increased by 2,13%, the nitrogen oxides, carbon monoxides, hydrocarbon emission and carbon dioxides decreased.

Keywords: butanol, performance, green fuel

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada saat ini bahan bakar alternatif berasal dari bahan nabati yang telah banyak diteliti, dikembangkan, dan diaplikasikan untuk bahan bakar bensin di Indonesia masih terbatas pada etanol/bioetanol.

Bioetanol di Indonesia sebagian besar dibuat dari gula tebu dan singkong. Ditinjau dari bahan bakunya, bioetanol tersebut memiliki kelemahan karena bahan bakunya berasal dari bahan pangan sehingga dikhawatirkan apabila kebutuhan semakin meningkat maka harga komoditas pangan tersebut akan meningkat pula.

Bahan bakar yang memiliki potensi cukup besar untuk dikembangkan tanpa mengganggu pasokan pangan adalah butanol/biobutanol. Bahan baku biobutanol tanpa mengganggu pasokan pangan, antara lain ganggang air tawar (*algae*), tandan nipah, buah mahkota dewa (*phaleriamacrocarpa*), buah naga (*dragon fruit*), tandan daun nipah.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan butanol sebagai aditif peningkat angka oktana bensin (*octane booster additive*) dan penggunaan etanol dimaksudkan untuk mengamati perbedaan pengaruh pemanfaatan butanol dibandingkan dengan pemanfaatan etanol sebagai peningkat angka oktana bensin. Populasi kendaraan bermotor jenis sepeda motor di Indonesia sangat pesat seperti disajikan pada Gambar 2, oleh sebab itu pengujian kinerja menggunakan sepeda motor di atas dinamometer sasis.

B. Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mengamati pengaruh penambahan butanol ke dalam bensin terhadap perubahan sifat fisika/kimia, serta efek pemakaian campuran butanol dan etanol sebagai campuran bensin terhadap peningkatan angka oktana riset dan kinerja sepeda motor.

C. Metodologi

- Penelitian diawali dengan penyiapan bahan baku butanol dan etanol. Kemudian melakukan formulasi bensin modifikasi dengan menggunakan oksigenat jenis alkohol yaitu butanol dan etanol sebagai peningkat angka oktana.
- Dilakukan pemilihan sampel formula bensin modifikasi untuk pengujian sifat-sifat fisika/kimia

dan unjuk kerja pada mesin sepeda motor di atas dinamometer sasis.

- Pengujian sifat-sifat fisika/kimia sampel bahan bakar dengan metode uji standar ASTM dan/atau metode uji baku lainnya. Evaluasi hasil uji fisika/kimia sampel campuran bensin-butanol dan bensin-etanol dilakukan dengan cara membandingkannya dengan spesifikasi Bensin 88 yang ditetapkan Pemerintah.
- Pengujian kinerja di atas bangku uji menggunakan dua jenis sepeda motor empat langkah.
- Evaluasi hasil-hasil uji kinerja dilakukan dengan membandingkan hasil uji kinerja sampel campuran bensin-butanol dan bensin-etanol dengan kinerja bensin tanpa kandungan oksigenat (butanol atau etanol).

II. TINJAUAN LITERATUR

A. Butanol

1. Bahan Baku Butanol

Bahan baku biobutanol berasal dari ganggang (*algae*), buah naga (*dragon fruit*), buah makkota dewa (*phaleriamacrocarpa*), dan lain-lain seperti disajikan pada Gambar 1. Bahan baku bioutanol ini tidak mengganggu pasokan pangan dan cukup banyak tersedia di banyak pulau di Indonesia.

2. Proses Pembuatan Butanol

Senyawa butanol pertama sekali ditemukan pada tahun 1852 oleh Wyrzt dengan cara memisahkan n-butanol dari campuran amil alkohol (minyak fusel). Kemudian pada tahun 1871, Lieben dan Rossi berhasil memperoleh n-butanol dari reduksi n-butiraldehida.

Butanol dapat dibuat dari proses hidrogenasi dan/atau proses fermentasi.

- Proses hidrogenasi menggunakan bahan baku butiraldehida cair yang terdiri atas 99% volume



n-butiraldehida dan 1% isobutiraldehida yang dicampur dengan air. Setelah dicampur direaksikan dengan gas hidrogen pada suatu reaktor. Hasil yang didapat dari proses hidrogenasi ini adalah butanol 99%.

- Proses fermentasi menggunakan molase yang merupakan hasil samping dari industri gula dengan kultur bakteri. Hasil yang dari proses fermentasi ini adalah n-butanol 96%.

Perbandingan sifat fisika/kimia butanol, etanol dan bensin tipikal disajikan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 terlihat kualitas butanol, etanol dan bensin tipikal, diuraikan sebagai berikut:

- Berat jenis butanol lebih tinggi daripada etanol dan bensin
- Nilai kalori etanol lebih rendah daripada butanol dan bensin
- Tekanan uap Reid (RVP) butanol lebih rendah daripada etanol dan bensin tipikal.

3. Spesifikasi n-Butanol

Spesifikasi butanol tipikal berkadar minimum 99,8% massa dengan komposisi terdiri atas n-butanol, n-butiraldehida, isobutanol, di-n-butyl eter, keasaman, karbonil, air dan lain-lain, disajikan pada Tabel 2.

Keuntungan pemakaian butanol sebagai bahan campuran bahan bakar bensin adalah :

- Tidak larut dalam air seperti etanol sehingga tidak mudah menyebabkan korosi.
- Kandungan energi yang tidak jauh berbeda dengan bensin menyebabkan bensin dapat bercampur butanol lebih ekonomis daripada bensin campur etanol.
- Secara lingkungan butanol lebih aman daripada oksigenat lainnya karena jika tumpah tidak mudah mencemari air tanah akibat sifatnya yang menolak air (rantai hidrokarbonnya nonpolar).
- Butanol mempunyai toleransi kontaminasi dengan air lebih cocok untuk distribusi melalui jaringan pipa yang ada untuk bensin. Dalam campuran

Tabel 1
Sifat-Sifat Fisika/Kimia Beberapa Jenis Bahan Bakar

No.	Sifat-Sifat	Bahan Bakar Tipikal		
		Etanol	Butanol	Bensin
1	Berat jenis pada 15°C	0,794	0,814	0,720 – 0,775
2	Heating value (Mj/l)	21,1 – 21,7	26,9 – 27,0	32,2 – 32,9
3	RON	106 – 130	98	88
4	MON	89 - 103	89	85
5	RVP, psi	31	6,4	< 7,8

Tabel 2
Spesifikasi Butanol Tipikal

No	Sifat-Sifat Fisika Kimia	Satuan	Batasan Spesifikasi		Metode Uji
			Min.	Maks.	
1	n-Butanol	% massa	99,8	-	GC-021
2	n-Butiraldehida	% massa	-	0,02	GC-021
3	Isobutanol	% massa	-	0,1	GC-021
4	Di-n-Butyl Eter	% massa	-	0.100	GC-021
5	keasaman (sebagai Acetic Acid)	% massa	-	0,005	ASTM D-1613
6	Water	% massa	-	0,1	ASTM E-203
7	Carbonil (sebagai C=O)	% massa	-	0,05	ASTM E-411
8	Color, PTCO		-	10	VCC-005
9	Nonvolatile Matter	g/dl	-	0,005	ASTM D-1353
10	Iron	ppm	-	0,3	VIS-003
11	Specific Gravity @ 20/20C		0.810 - 0.812		ASTM D-4052
12	Appearance	-	Clear, Clean Liquid		ASTM D-2090

dengan bensin, butanol mempunyai kecenderungan yang kecil untuk terpisah jika bahan bakar ini terkontaminasi dengan air.

B. Populasi Kendaraan Bermotor di Indonesia

Kebutuhan bahan bakar minyak jenis bensin meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor berbahan bakar bensin di Indonesia. Data-data yang didapat dari Kepolisian Republik Indonesia menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor di Indonesia dari berbagai jenis dan tipe seperti kendaraan penumpang, bus, truk dan sepeda motor pada tahun 2008 adalah 65.273.451 unit, di mana sekitar 47.683.681 unit (73,05%) adalah jenis sepeda motor. Populasi kendaraan bermotor dari berbagai jenis seperti mobil penumpang, truk, bis dan sepeda motor dari tahun 2004 sampai dengan tahun 2008 disajikan pada Gambar 2.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Sifat-Sifat Fisika/Kimia

Identitas bahan bakar bensin yang mengandung butanol dan etanol sebagai berikut:

- Bu₀, Bu₁₀, Bu₂₀, Bu₃₀, Bu₄₀ bahan bakar bensin masing-masing mengandung 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% volume butanol.
- E₁₀ adalah bahan bakar bensin yang mengandung 10% volume etanol.

Hasil-hasil uji sifat-sifat fisika kimia utama seperti angka oktana riset (*research octane number*, RON), distilasi (IBP, T₁₀, T₅₀, T₉₀, titik didih akhir), tekanan uap Reid (*Reid vapor pressure*, RVP), diuraikan di bawah ini.

1. Angka Oktana Riset

Pengaruh pencampuran butanol dan etanol ke dalam bahan bakar bensin mulai dari 10% sampai dengan 40% volume terhadap tingkat angka oktana, seperti disajikan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 ternyata penambahan butanol tipikal ke dalam bensin memberikan respon kenaikan angka oktana riset lebih rendah dibandingkan dengan penambahan etanol.

Spesifikasi Bensin 88 menurut Surat Keputusan Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 menetapkan batasan kandungan oksigenat dalam bensin maksimum 10% volume. Dari Gambar 2 terlihat bahwa hasil uji angka oktana riset

sebagai berikut:

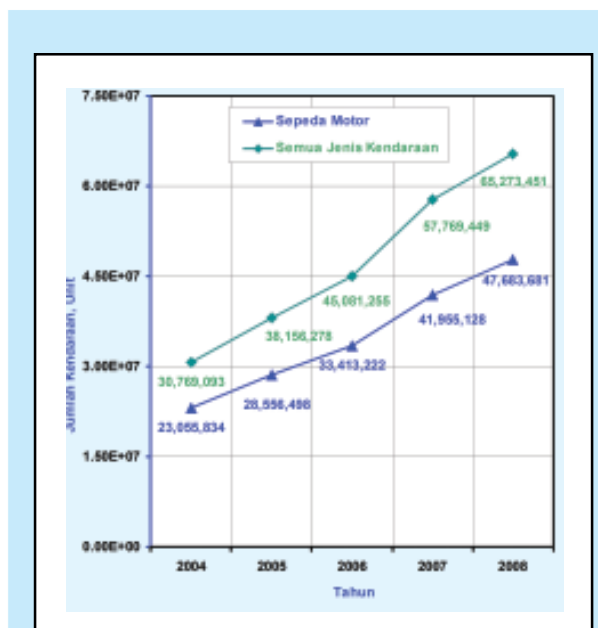
- Penambahan 10% volume butanol dapat menaikkan angka oktana riset 1,6 RON
- Penambahan 10% volume etanol dapat menaikkan angka oktana riset 2,25 RON.

2. Distilasi

Sifat volatilitas bensin berkaitan dengan pembentukan campuran udara dan bahan bakar yang berpengaruh pada kemulusan operasi mesin kendaraan (*driveability*), kemudahan penyalaan pada saat dingin (*cold starting*), mudah mencapai panas (*warm up*), meratanya distribusi bahan bakar pada setiap silinder mesin (*fuel distribution*) dan bensin tidak terlalu berat (*oil dillution*), serta terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*).

Sifat volatilitas diukur dengan menggunakan dua metode uji standar, yaitu distilasi metode ASTM D-86 dan tekanan uap Reid metode ASTM D-323.

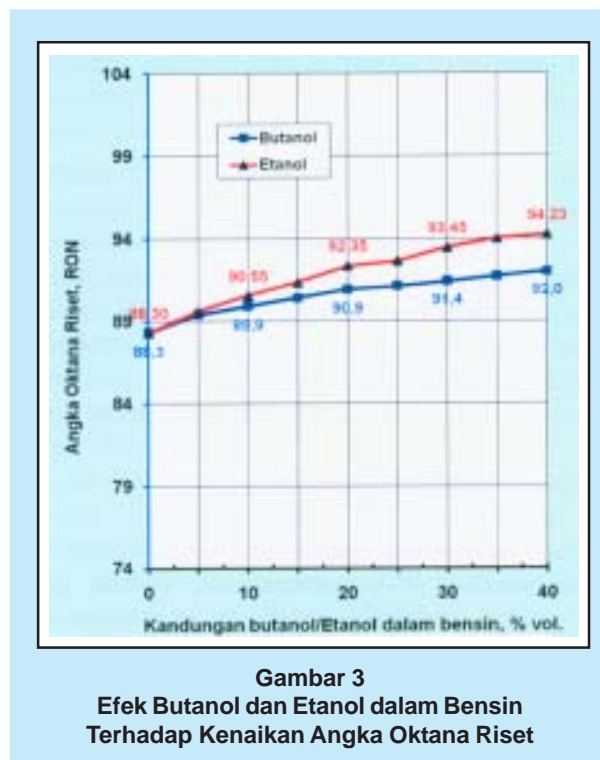
Kurva Distilasi ASTM merupakan kurva standar yang menyatakan kisaran titik didih bensin. Hasil uji distilasi sampel yang diramu dari campuran 10% volume butanol sampai dengan 40% volume dengan bensin tipikal terhadap temperatur penguapan distilasi, disajikan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat bahwa pencampuran butanol ke dalam bensin memberikan pengaruh positif terhadap sifat



Gambar 2
Populasi Sepeda Motor di Indonesia

penguapan bensin dan diuraikan di bawah ini.

- Penambahan butanol dapat meningkatkan temperatur distilasi pada 10% volume penguapan, tetapi masih di bawah temperatur maksimum 74°C menurut spesifikasi Bensin 88 yang ditetapkan Pemerintah; artinya penambahan 10% butanol ke dalam bensin dapat memudahkan penyalaan mesin pada suhu dingin (*cold starting*).
- Pada distilasi 50% volume penguapan, ternyata penambahan 10% volume butanol dalam bensin kendaraan bermotor cenderung meningkatkan temperatur 50% volume penguapan bensin tetapi masih dalam batas temperatur minimum – maksimum : 88°C - 125°C menurut spesifikasi Bensin 88 yang ditetapkan Pemerintah; artinya pencampuran butanol dengan bensin sangat menguntungkan jika ditinjau dari percepatan (*acceleration*) dan mempercepat pemanasan mesin (*warm up*) mesin kendaraan bermotor.
- Perbedaan pencampuran butanol dan etanol ditinjau dari hasil uji temperatur pada distilasi 50% volume penguapan sebagai berikut:
 - Penambahan butanol pada bensin cenderung menaikkan temperatur distilasi 50% volume penguapan. Keadaan ini akan memperbaiki sistim akselerasi dan pemanasan mesin kendaraan bermotor.
 - Penambahan etanol pada bensin cenderung menurunkan temperatur distilasi 50% volume penguapan. Keadaan ini akan menyebabkan lambatnya akselerasi dan pemanasan mesin kendaraan bermotor.
- Temperatur distilasi pada 90% volume penguapan dibatasi maksimum 180°C menurut spesifikasi Bensin 88 yang ditetapkan Pemerintah. Pencampuran 10% volume butanol dalam bensin kendaraan bermotor juga dapat menurunkan temperatur 90% volume penguapan bensin; artinya pencampuran 10% volume butanol dalam bensin dapat meningkatkan pemerataan distribusi bahan bakar bensin di setiap silinder mesin kendaraan (*fuel distribution*).
- Temperatur titik didih akhir (*end point*) dibatasi maksimum 215°C menurut spesifikasi Bensin 88 yang ditetapkan Pemerintah. Pencampuran 10% volume butanol dalam bensin kendaraan bermotor cenderung menurunkan temperatur titik didih akhir



bahan bakar bensin; artinya pencampuran 10% volume butanol dengan bensin dapat mencegah kemungkinan terjadinya distribusi bahan bakar yang tidak terbakar ke dalam minyak lumas di karter mesin kendaraan (*fuel dillution*).

Seperti diketahui bahwa bahan bakar sebagai bensin yang titik didihnya melebihi batas maksimum 215°C lebih sulit terbakar sehingga akan masuk/jatuh ke ruang pelumas karter mesin. Bercampurnya bahan bakar dengan pelumas karter mesin akan merusak pelumas karter dan berdampak pada kerusakan pada bagian-bagian mesin yang berputar di dalam karter mesin.

3. Tekanan Uap Reid

Tekanan uap Reid (*Reid vapor pressure, RVP*) spesifikasi Bensin 88 menurut SK Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2004 dibatasi maksimum 62 kPa. Tetapi karena bahan bakar bensin (khususnya Bensin 88) yang dipasarkan di dalam negeri kadang-kadang mempunyai tekanan uap Reid (RVP) tinggi, maka Dirjen Migas dengan surat Keputusannya No. 5312/14/DJM.T/2008 tanggal 31 Maret 2008 memberikan “Dispensasi penyesuaian spesifikasi BBM jenis Bensin 88” yaitu RVP maksimum 69 kPa.

Spesifikasi bensin dari beberapa negara seperti

Jepang (JIS K2202), China, Korea Selatan, Thailand, Malaysia, WWFC (Kategori 1, 2, 3, 4), Eropa (EURO II, III, IV) dan Amerika Serikat (ASTM D 4814-01a) disajikan pada Tabel 4 menetapkan RVP bensin berbeda-beda tergantung kondisi udara sekeliling (atmosfer) dan kebutuhan mesin kendaraan bermotor yang beredar di negara yang bersangkutan.

Butanol mempunyai RVP rendah, sehingga bila butanol dicampur dengan bahan bakar bensin kendaraan bermotor, maka RVPnya akan turun. Pengaruh pencampuran butanol sampai 40% volume ke dalam bahan bakar bensin terhadap perubahan tekanan uap Reid (RVP) disajikan pada Gambar 4. Data hasil uji RVP pada Gambar 4 ternyata penambahan butanol ke dalam bahan bakar bensin sangat menguntungkan karena dapat menghasilkan RVP yang rendah (< 62 kPa) sehingga dapat mencegah terjadinya sumbatan uap (*vapor lock*) terutama pada mesin kendaraan bermotor berbahan bakar bensin yang memakai karburator.

4. Sifat Stabilitas dan Kebersihan

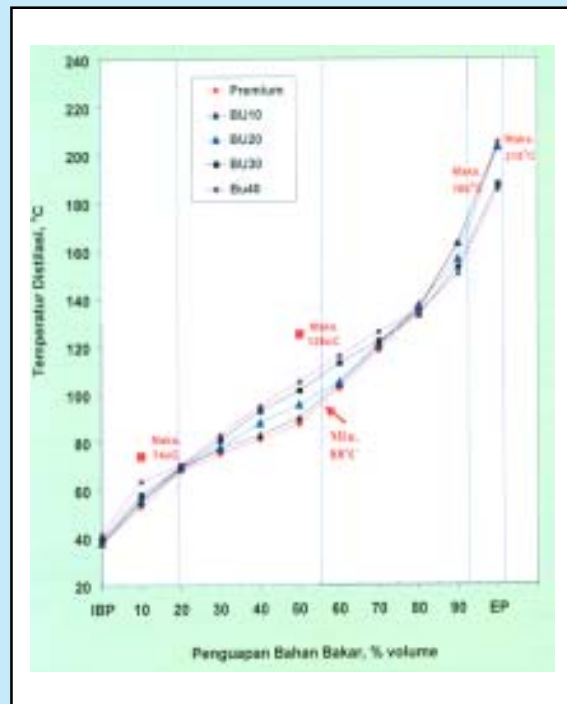
Sifat-sifat fisika/kimia lain yang berkaitan dengan stabilitas dan kebersihan bahan bakar, serta keselamatan kerja dan lingkungan antara lain: kandungan timbel, kandungan sulfur, merkaptan, korosi bilah tembaga (*copper strip*), kestabilan oksidasi (*induction periode*), getah purwa (*existent gum*), dan komposisi hidrokarbon.

Kandungan sulfur dalam bensin akan menghasilkan sulfur dioksida (SO_x), sebagai hasil pembakaran dapat berubah menjadi asam sulfit/sulfat yang bersifat korosif pada sistem saluran gas buang. Senyawa sulfur dapat meracuni katalis pada konverter katalitik (*three ways catalyst*), sehingga penurunan kadar sulfur dapat meningkatkan efisiensi dan umur konverter katalitik tersebut untuk menurunkan emisi VOC, CO, HC, NO_x, dan emisi beracun lainnya.

B. Pengujian Kinerja pada Dinamometer Sasis

1. Data Teknis Kendaraan

Pengujian kinerja dilakukan pada Yamaha VGR dan data teknis Sepeda motor VGR disajikan pada Tabel 5. Dari Tabel 5 terlihat bahwa kendaraan ini mempunyai perbandingan kompresi 9,0, sehingga membutuhkan bahan bakar minyak jenis bensin.



Gambar 4
Distilasi Bahan Bakar Butanol dalam Bensin

Tabel 4
RVP Spesifikasi Bensin di Beberapa Negara

Negara-Negara	Nama Spesifikasi Bensin	Tekanan Uap Reid (RVP) (kPa)
Indonesia	Bensin 88	Maks. 62
	Bensin 91/95	45 – 60
Jepang (JIS K 2202)	Premium/Regular	44 – 78
China	Premium/Regular/ UL Regular	Summer Maks. 62
		Winter 93
Korea Selatan	UL Premium/UL R	45 – 85
Thailand	UL Premium/UL R	Maks. 62
Pilipina	Premium/ UL R	Maks. 85
Malaysia	URM_ Revision 2	Maks. 70
WWFC	Cat 1, 2, 3, 4	45 – 60 (Class A)
EURO	II	35 -100
	III dan IV	60/70
Amerika Serikat (ASTM D4814-01a)	Class AA	54
	Class A	62
	Class B	69
	Class C	79
	Class D	93
	Class E	103

2. Hasil uji kinerja pada Dinamometer Sasis

Penelitian ini menggunakan sebuah sepeda motor berkarburator. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui efek penggunaan bahan bakar yang mengandung butanol dan/atau etanol dibandingkan dengan bahan bakar yang tidak mengandung butanol terhadap kinerja mesin sepeda motor.

Identitas bahan bakar yang digunakan sebagai berikut:

$Bu_0 = E_{10}$: bahan bakar bensin tanpa oksigenat (butanol/etanol)

Bu_{10} : bahan bakar bensin yang mengandung 10% volume butanol

E_{10} : bahan bakar yang mengandung 10% volume etanol.

a. Waktu akselerasi

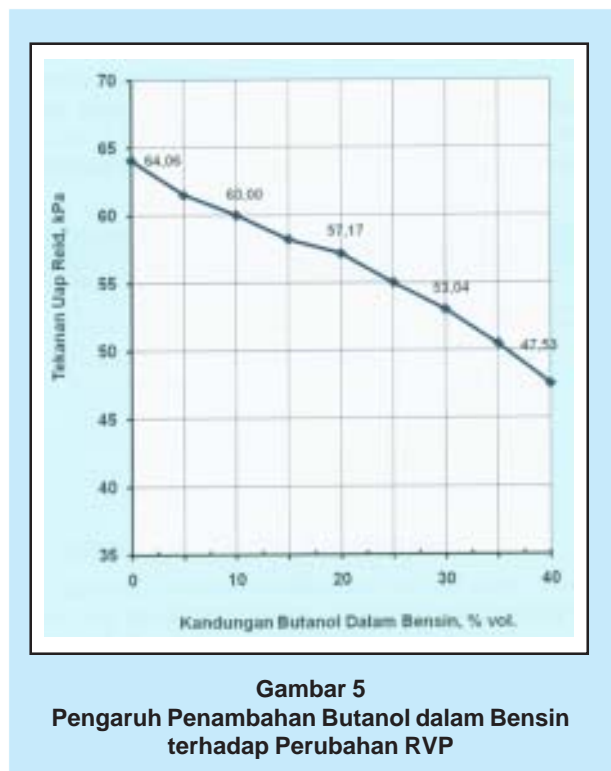
Waktu akselerasi diukur dari putaran mesin terendah atau pada *gear* 1 sampai motor mencapai putaran mesin maksimum atau *gear* 4 pada kecepatan tertentu. Kecenderungan hasil uji kecepatan (km/jam) motor VGR terhadap waktu akselerasi untuk tiga jenis bahan bakar (Bu_0 , Bu_{10} , E_{10}) disajikan pada Gambar 6.

- Kecepatan (km/jam) terhadap waktu akselerasi rata-rata mesin sepeda motor VGR yang memakai bensin Bu_{10} lebih rendah 3,8% dibandingkan bahan bakar bensin Bu_0 .
- Kecepatan (km/jam) terhadap waktu akselerasi rata-rata mesin sepeda motor yang memakai bensin E_{10} lebih rendah 6,8% dibandingkan bahan bakar bensin E_0 .

b. Daya akselerasi

Kecenderungan hasil uji perubahan daya akselerasi mesin terhadap waktu disajikan pada Gambar 7.

- Daya rata-rata (Hp) terhadap waktu akselerasi rata-rata mesin sepeda motor VGR yang memakai bensin Bu_{10} lebih rendah 3,4% dibandingkan bahan bakar bensin Bu_0 .
- Daya rata-rata (Hp) terhadap waktu akselerasi rata-rata mesin sepeda motor VGR yang memakai bensin E_{10} lebih rendah 6,3% dibandingkan bahan bakar bensin Bu_0 .



Gambar 5
Pengaruh Penambahan Butanol dalam Bensin terhadap Perubahan RVP

Tabel 5
Data Teknis Sepeda Motor VGR

No.	Uraian	Data Teknis Motor VGR
1	Tipe Mesin	4 Langkah, air cooled
2	Diameter x Langkah	49.0 x 54.0 mm
3	Pola pergantian gigi	N-1-2-3-4-N
4	Volume silinder	102 cc
5	Perbandingan kompresi	9.0 : 1
6	Susunan silinder	Satu Mendatar

c. Daya Vs Putaran Mesin

Pengujian daya bahan bakar bensin (Bu_0) dan bahan bakar bensin B_{10} dan bensin E_{10} dilakukan pada posisi gigi (*gear*) 4 terhadap putaran mesin di atas bangku uji Sepeda Motor. Kecenderungan hasil uji daya bahan bakar bensin Bu_0 , Bu_{10} dan E_{10} terhadap putaran mesin Sepeda Motor di atas Bangku uji masing-masing disajikan Gambar 8.

- Daya rata-rata (Hp) terhadap putaran mesin rata-rata mesin sepeda motor VGR yang memakai bensin Bu_{10} lebih rendah 1,1% dibandingkan bahan bakar bensin Bu_0 .

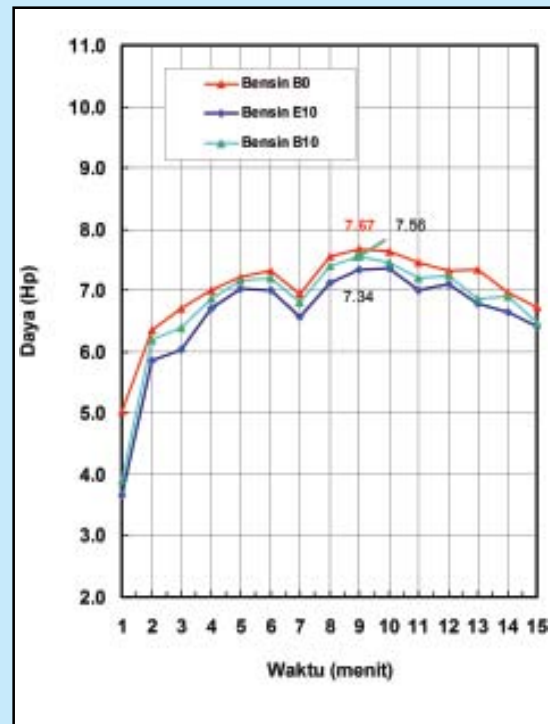
- Daya rata-rata (Hp) terhadap putaran mesin rata-rata mesin sepeda motor VGR yang memakai bensin E₁₀ lebih rendah 1,7% dibandingkan bahan bakar bensin Bu₀.

d. Konsumsi bahan bakar

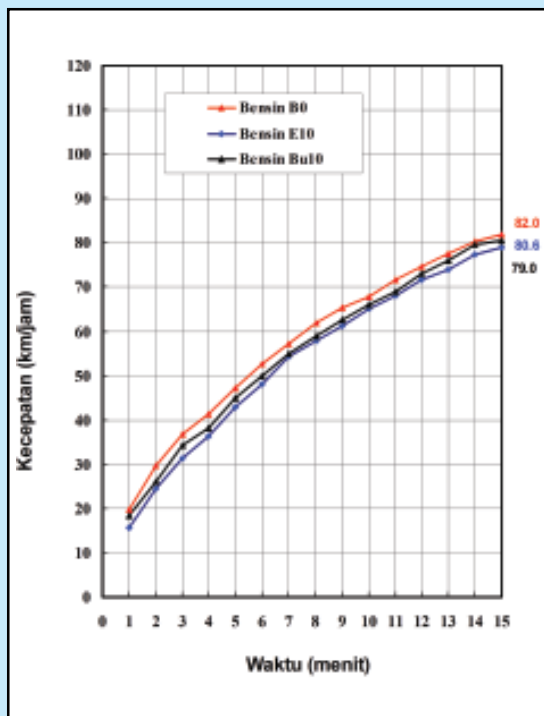
Konsumsi bahan bakar motor bensin merupakan nilai atau ukuran keekonomian motor bensin tersebut. Konsumsi bahan bakar diukur dengan mengukur lamanya waktu yang diperlukan untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar tertentu bahan bakar tersebut pada kondisi mesin *idle*.

Sebagai acuan bahwa nilai kalor (*heating value*) etanol, butanol lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai kalor bensin seperti disajikan pada Tabel 3. Dengan demikian bila etanol atau butanol dicampur dengan bensin akan menghasilkan nilai kalor rendah dibandingkan dengan nilai kalor bensin.

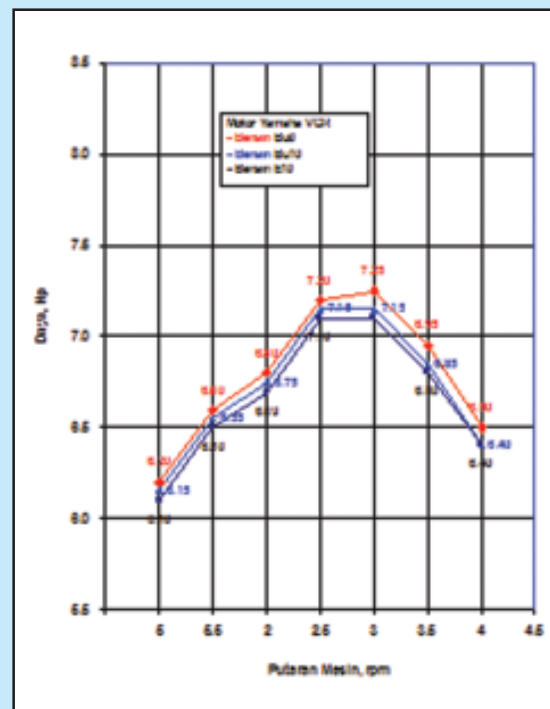
- Konsumsi bahan bakar rata-rata mesin sepeda motor yang memakai bahan bakar bensin Bu₁₀ lebih tinggi 2,13% dibandingkan bahan bakar bensin Bu₀.



Gambar 7
 Waktu Akselerasi vs Daya Motor VGR



Gambar 6
 Waktu Akselerasi vs Kecepatan Motor VGR



Gambar 8
 RPM vs Daya Motor VGR pada Posisi Gigi 4

- Konsumsi bahan bakar rata-rata mesin sepeda motor yang memakai bahan bakar bensin E_{10} lebih tinggi 2,23% dibandingkan bahan bakar bensin E_0 .

e. Emisi gas buang

Pengujian emisi gas buang dilakukan pada mesin bensin pada kondisi *idle* meliputi: emisi karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), nitrogen oksida (NOx) dan hidrokarbon Emisi bensin Bu_{10} dibandingkan bensin Bu_0 diuraikan sebagai berikut:

- Emisi CO lebih rendah 6,0%
- CO_2 lebih rendah 3,5%
- NOx lebih rendah 9,34%
- Emisi HC lebih rendah 10,12%.

Emisi bensin E_{10} dibandingkan bensin E_0 diuraikan sebagai berikut:

- Emisi CO lebih rendah 6,22%
- CO_2 lebih rendah 5,52%
- NOx lebih rendah 10,34%
- Emisi HC lebih rendah 12,24%.

IV. KESIMPULAN

Dari data hasil-hasil pengujian percontohan bensin yang mengandung butanol dapat diambil beberapa kesimpulan seperti dibawah ini.

A. Sifat-sifat fisika/kimia

- a. Butanol dapat menaikkan angka oktana bensin
- b. Pengujian distilasi dengan metode ASTM D 86, ternyata penambahan butanol dalam bensin cenderung menaikkan temperatur penguapan T10 (kemudahan dalam penyalaan mesin), T50 (akselerasi dan pemanasan atau *acceleration and warm up* yang baik), T90 (distribusi yang merata pada setiap silinder mesin).
- c. Stabilitas oksidasi yang baik.

B. Kinerja mesin

- a. Waktu akselerasi rata-rata mesin sepeda motor yang memakai bahan bakar mengandung butanol (Bu_{10}) lebih baik 3,44% dibandingkan bahan bakar bensin yang tidak mengandung butanol (Bu_0).
- b. Daya akselerasi rata-rata mesin sepeda motor yang memakai bahan bakar mengandung butanol (Bu_{10}) lebih rendah 1,97% dibandingkan bahan bakar bensin yang tidak mengandung butanol (Bu_0).

- c. Konsumsi bahan bakar rata-rata mesin sepeda motor yang memakai bahan bakar mengandung butanol (Bu_{10}) lebih tinggi 2,13% dibandingkan bahan bakar bensin yang tidak mengandung butanol (Bu_0).

d. Emisi Butanol (Bu_{10}) dibandingkan bensin (Bu_0) diuraikan sebagai berikut:

- Emisi CO lebih rendah 6,0%
- CO_2 lebih rendah 3,5%
- NOx lebih rendah 9,34%
- Emisi HC lebih rendah 10,12%.

Dari hasil uji angka oktana riset, sifat volatilitas dan emisi gas buang ini, maka butanol dapat digunakan sebagai peningkat mutu bensin yang ramah lingkungan.

C. SARAN

Penelitian ini perlu dilanjutkan dengan memakai Biobutanol yang dibuat dari limbah, tumbuhan "al-gae", buah mahkota dewa, dan/atau buah naga dengan lingkup penelitian yang lebih komprehensif dengan lingkup pengujian sifat-sifat fisika kimia, uji kinerja pada mesin multisiylinder dan uji di jalan raya (*road test*) dengan memakai sepeda motor.

KEPUSTAKAAN

1. Hunt, V.D; 1981, The Gasohol Handbook, industrial Press Inc; New York 10157.
2. Luc Van Den Hemel, 2005; "In the future, it will be possible to convert bioethanol refineries to produce biobutanol," General Director of Kingston Research.
3. No Name; "Eastman Chemical Company knowledgeable in the relevant science. Equipment and materials described should be, March 15, 2004 Sales Specification"
4. No Name, 2006; Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin, Surat Keputusan Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006.
5. R.P. Verma, DR, 2007; "Butanol-Possible Alternative Energy Source" International Symposium on Biofuels New Delhi (India), September 25-26, 2007.
6. Yalun Arifin; Dosen Teknik Kimia Universitas Surabaya (Ubaya) dan Alumnus Bioteknologi TU Delft, Belanda "Biofuel" Posted, 1 Oktober 2008.

7. Harmanto, N., 2003. Conquering Disease in Unison with Mahkota Dewa. *Phaleria macrocarpa*. 1st editon. Jakarta: P.T. Mahkotadewa, Indonesia.
8. Randall Chase, (2006-06-23), “DuPont, BP join to make butanol; they say it outperforms ethanol as a fuel additive”