

Pengaruh Metanol dan Etanol Terhadap Sifat Penguapan Bensin RON 92 : Pengukuran Tekanan Uap dengan Metode Reid dan Dry

Nurmajid Abdurrojaq*, Wahyu Nur Hidayat, Kemal Ginanjar, Gian Akmal Adwitiya, Rizal Zaelani, Riesta Anggarani, Cahyo Setyo Wibowo, Nur Allif Fathurrahman

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi (PPPTMGB) "LEMIGAS"
Jl. Ciledug Raya, Kav 109, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, Post Code 12230

* Corresponding author: nurmajid99@gmail.com

(Received: 05 Jul 2021 • Accepted: 14 Aug 2021)

Abstract

This paper reports an investigation of vapor pressure on the utilization of methanol and ethanol in a gasoline blend. Three standard methods for vapor pressure testing were used in this study, i.e., ASTM D323 (Reid Vapor), D4953 (Dry Vapor), and D5191 (DVPE). Based on the result, the methanol and ethanol at low concentrations (< 20 %-volume) increased the vapor pressure of gasoline, although the methanol and ethanol have a lower vapor pressure than gasoline pristine. It was primarily due to a vapor-liquid equilibrium that changes when gasoline is mixed with alcohol, turns into a vapor at a test temperature of 37.8 °C. It causes the measurement of the vapor pressure of the gasoline-alcohol mixture using the ASTM D323 method to be inaccurate and have limitations. The oxygenate compound responsible for interactions with water (hydrogen bonding). The method that we used is the dry vapor method on ASTM D4953 by minimizing the use of water and humidity from the test conditions. The measurement of the vapor pressure of the gasoline-alcohol mixture from ASTM D4953 shows conformity with ASTM D5191. The difference between the two methods on the vapor pressure of the gasoline-alcohol mixture is 0.8-2.6 kPa (lower than the reproducibility value of the test method).

Abstrak

Penelitian ini menyajikan sifat penguapan bahan bakar jenis bensin yang dipengaruhi oleh campuran alkohol jenis metanol dan etanol. Tiga metode standar untuk pengujian tekanan uap digunakan pada penelitian ini, meliputi ASTM D323, D4953, dan D5191. Penggunaan metanol dan etanol konsentrasi rendah (< 20%-volume) meningkatkan tekanan uap bensin, meskipun tekanan uap metanol dan etanol lebih rendah dari bensin. Kesetimbangan uap-cair berubah saat bensin dicampurkan dengan alkohol pada suhu pengujian 37,8 °C. Interaksi tersebut menyebabkan pengukuran tekanan uap dengan metode ASTM D323 menjadi tidak akurat dan memiliki keterbatasan, karena senyawa oksigenat yang lebih mudah berinteraksi dengan air (ikatan hidrogen). Metode yang digunakan adalah metode *dry vapor* pada ASTM D4953, meminimalisir penggunaan air dan kelembapan dari kondisi pengujian. Hasil pengukuran tekanan uap campuran bensin-alkohol dari ASTM D4953 menunjukkan kesesuaian dengan ASTM D5191. Perbedaan yang dihasilkan dari kedua metode tersebut terhadap tekanan uap campuran bensin-alkohol sebesar 0,8-2,6 kPa (lebih rendah dibandingkan dengan nilai reproduksibilitas metode uji).

Keywords : *Vapor pressure, gasoline, methanol, ethanol, DVPE*

PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia, khususnya pada sektor transportasi terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya. Salah satu komoditas BBM yang meningkat dengan pesat adalah BBM jenis bensin. Pada Tahun 2021, diperkirakan impor BBM jenis bensin naik sebesar 13,5 % dari 97,8 juta barel menjadi 113 juta barel. Jumlah tersebut mencakup volume impor BBM jenis Bensin RON 88 sebesar 53,7 juta barel dan Bensin RON 92 sebesar 59,3 juta barel [1]. Tentunya, pengembangan bahan bakar substitusi untuk bensin menjadi salah satu solusi untuk dapat menekan angka impor bensin serta mendukung diversifikasi dan ketahanan energi nasional [2], [3].

Penelitian terkini, menunjukkan penggunaan alkohol jenis metanol (CH_3OH), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), dan butanol ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) dapat diaplikasikan sebagai substitusi bensin pada konsentrasi tertentu [4], [5]. Campuran bensin dengan senyawa alkohol memiliki kelebihan pada pembakaran yang terjadi dalam silinder mesin, diantaranya kehadiran molekul oksigen ekstra, kecepatan pengapian yang lebih tinggi, serta panas laten penguapan yang tinggi. Hal tersebut sangat berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), dan hidrokarbon (HC) [6], [7]. Kehadiran gugus oksigenat pada alkohol juga menghasilkan peningkatan angka oktana (*Research Octane Number*, RON). Penggunaan etanol menghasilkan peningkatan RON sebesar 11% pada Bensin RON 88 dan 7% pada Bensin RON 92 [8], [9]. Namun, penggunaan alkohol sebagai campuran bensin komersial masih terus dieksplorasi. Hal tersebut berkaitan dengan karakteristik yang dihasilkan campuran bensin-alkohol yang harus menyesuaikan dengan teknologi mesin kendaraan yang beredar dipasaran. Sebagai contoh, peningkatan angka oktana yang dihasilkan metanol dan etanol sebagai campuran bensin harus sesuai dengan kebutuhan mesin kendaraan. Kesesuaian tersebut menghasilkan kinerja berupa daya dan emisi serta konsumsi bahan bakar yang optimal [5], [10], [11].

Pencampuran metanol dan etanol juga dilaporkan mempengaruhi karakteristik penguapan bensin. Bensin memiliki kurva penguapan yang cenderung meningkat akibat komponen hidrokarbon penyusunnya yang bervariasi [12], [13]. Pencampurannya dengan metanol dan etanol menyebabkan penurunan titik didih bensin. Hal tersebut berpengaruh terhadap pembentukan kurva yang mendatar pada campuran bensin-alkohol di daerah titik didih metanol dan etanol [14], [15]. Di sisi lain, salah satu parameter penguapan yang sangat penting adalah tekanan uap. Karakteristik tekanan uap mengindikasikan keberadaan fraksi ringan dalam bahan bakar yang mudah menguap pada temperatur rendah [16]. Secara umum, terdapat tiga metode standar untuk pengukuran tekanan uap bahan bakar, meliputi ASTM D323, D4953, dan D5191.

Metode standar ASTM D323 (metode *Reid Vapor*) mencakup prosedur untuk penentuan tekanan uap bensin, minyak mentah dan produk minyak bumi yang mudah menguap lainnya. Metode pengujian ini tidak berlaku untuk gas minyak cair atau bahan bakar yang mengandung senyawa teroksigenasi. Kemudian dikembangkan metode standar ASTM D4953 (metode *dry vapor*) untuk bensin dan campuran bensin-oksigenat dengan rentang tekanan uap dari 35 hingga 100 kPa. Metode pengujian ini merupakan modifikasi dari metode uji D323, menyediakan dua prosedur untuk menentukan tekanan uap campuran bensin dan bensin-oksigenat [17]. Metode ASTM D4953 mengeliminasi penggunaan air dan potensi kelembapan yang dapat mengganggu pengukuran tekanan uap bahan bakar beroksigenat [16], [18]. Pengembangan terkini, menghasilkan metode standar ASTM D5191 dengan sistem pengujian yang cepat dan akurat dengan memperhitungkan tekanan uap total dari bahan bakar. Metode pengujian ini hanya menggunakan sampel dengan jumlah 10% dibandingkan

ASTM D323 dan D4952, dan pengkondisian vakum untuk meminimalisir adanya air dan kelembapan yang dapat mempengaruhi tekanan uap. Pengukuran tekanan uap dengan metode ASTM D5191 dapat menghasilkan tekanan uap yang dapat dikonversi sebagai *reid vapor pressure* (RVP) yang terukur dengan ASTM D323 dan *dry vapor pressure* (DVPE) yang terukur dengan ASTM D4953 [15], [16].

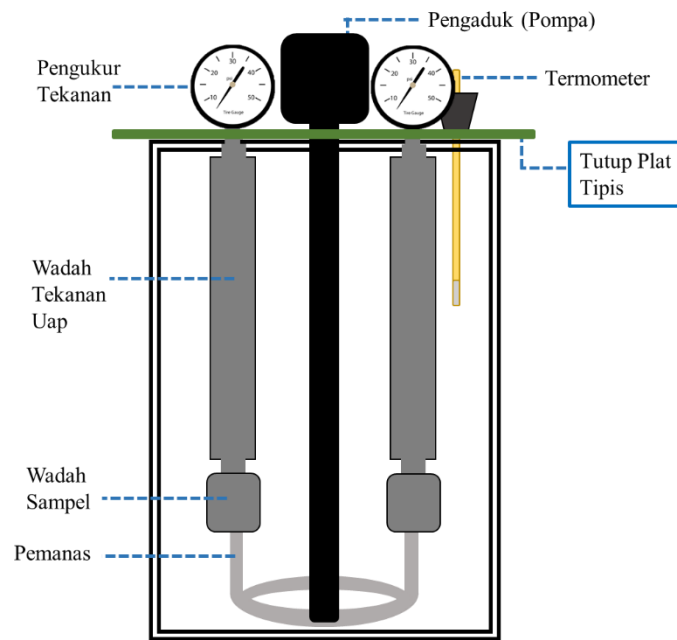
Pengukuran tekanan uap bensin yang dipengaruhi oleh kandungan metanol-etanol menjadi sangat penting untuk dianalisis. Signifikansi pengujian sifat penguapan bensin-alkohol dan metode standar yang tersedia untuk pengukuran tekanan uap, juga penting untuk terus menerus dieksplorasi. Penelitian ini menyajikan pengukuran tekanan uap bensin komersial dengan metanol dan etanol pada konsentrasi 20%. Di samping itu, perbandingan tiga metode standar juga disajikan untuk menganalisis tekanan uap yang dihasilkan dari bensin beroksigenat terhadap penggunaan metode *reid vapor pressure* (RVP) dan *dry vapor pressure equivalent* (DVPE).

METODE PENELITIAN

Bahan bakar minyak jenis Bensin RON 92 yang digunakan pada penelitian ini merupakan produk komersial yang tersedia di pasaran. Alkohol jenis metanol dan etanol yang digunakan pada penelitian ini merupakan jenis *Fuel Grade*, dan didapatkan dari Perusahaan di Indonesia. Sampel campuran bensin-alkohol disiapkan meliputi campuran 2 jenis komponen (*binary blend*), yaitu bensin-metanol dan bensin-etanol, serta 3 jenis komponen (*terniary blend*), yaitu bensin-metanol-etanol (dengan komposisi metanol:etanol adalah 3:1). Masing-masing sampel bahan bakar disiapkan dengan mencampurkan metanol atau etanol dalam bensin dengan konsentrasi 4%, 8%, 12%, 16%, dan 20%. Proses pencampuran dilakukan dengan mengontrol suhu bahan bakar pada temperatur 4 °C. Kemudian dilakukan pencampuran dan dihomogenkan dengan pengadukan.

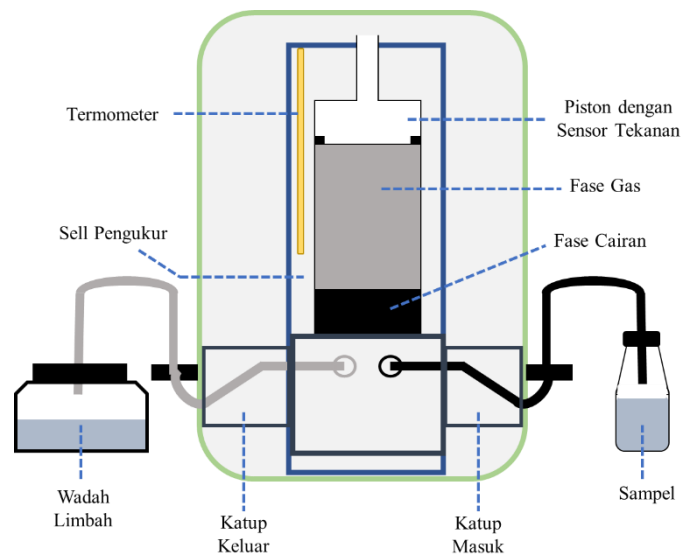
Tabel 1. Perbandingan Pengukuran Tekanan Uap untuk Bahan Bakar Jenis Bensin

Standar ASTM	Metode Uji	Ruang Lingkup	Luaran Hasil	Akurasi (kPa)
ASTM D323	Metode <i>Reid</i> , dengan pendinginan sampel, dan penjuanan air untuk pemanasan, manual atau semi otomatis	Bensin, minyak mentah, dan produk minyak yang mudah menguap (35-100 kPa)	<i>Reid Vapor Pressure</i> (RVP)	5.2
ASTM D4953	Metode <i>Dry</i> , manual dan semi otomatis	Bensin dan campuran bensin-oksigenat (35-100 kPa)	<i>Dry Vapor Pressure</i> (DVPE)	2.9-5.4
ASTM D5191	Metode <i>Mini</i> , pengkondisian vakum, dan sistem otomatis	Bensin dan produk minyak yang mudah menguap tanpa dan dengan oksigenat (7-130 kPa)	Tekanan total (korelasi dengan DVPE dan RVP)	2.9-3.6



Gambar 1. Pengukuran Tekanan Uap Metode Standar ASTM D323 dan D4953.

Analisa tekanan uap dilakukan berdasarkan metode ASTM D323, D4953, dan D5191. Prosedur pengujian tekanan uap pada sampel bensin (*gasoline*) dan wadah sampel untuk pengujian selalu dilakukan tahap pendinginan pada suhu 0 - 4°C (32 - 34°F) untuk meminimalisir penguapan pada bensin yang memiliki fraksi ringan. Pengukuran tekanan uap dilakukan pada suhu 37.8 °C dan rasio uap:cairan 4:1, untuk masing2 metode pengukuran sesuai ASTM D323 dan D4953 (Gambar 1).



Gambar 2. Pengukuran Tekanan Uap Metode Standar ASTM D5191.

Pengukuran tekanan uap dengan ASTM D5191 menggunakan alat otomatis (Gambar 2). Prosedur yang sederhana memasukkan sampel pada kondisi suhu 0 - 4°C (32 - 34°F) sebanyak 10 mL secara otomatis pada katup masuk dan diukur didalam sel pengukur. Proses pengukuran diawali dengan pembilasan dan katup tertutup, pengukuran tekanan uap dengan memanaskan sel pengukur 37.8 °C, fase cairan menguap membentuk fase gas dilanjutkan dengan penekanan piston yang terdapat sensor untuk menentukan tekanan uap yang didapat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

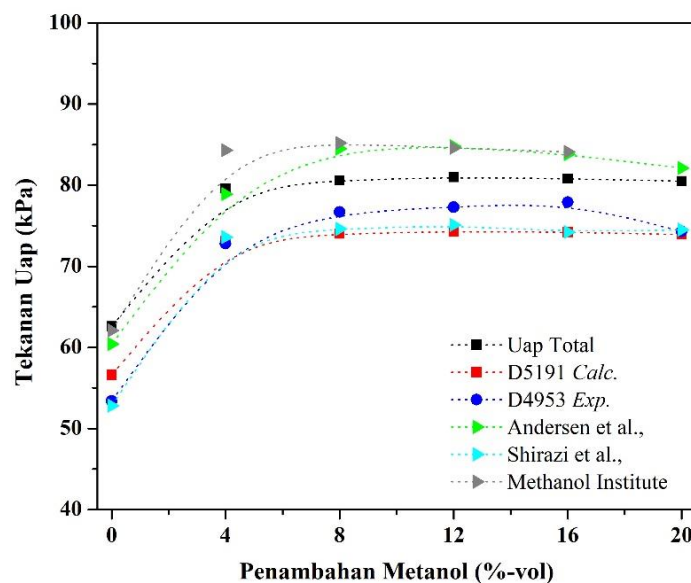
Perbedaan mendasar bensin dengan metanol dan etanol terletak pada karakteristik angka oktana, berat jenis, titik didih, tekanan uap, dan kandungan oksigen. Karakteristik bensin, metanol dan etanol dapat dilihat pada Tabel 2. Secara umum, metanol memiliki angka oktana paling tinggi dibandingkan etanol dan bensin. Sebaliknya, bensin memiliki berat jenis yang paling rendah dibandingkan dengan etanol dan metanol. Di sisi lain, etanol memiliki tekanan uap yang paling rendah dibandingkan dengan bensin. Sementara itu, metanol dan etanol memiliki kandungan oksigen sehingga dipercaya dapat menyempurnakan pembakaran dan menghasilkan emisi yang lebih bersih dibandingkan dengan bensin [15], [19].

Tabel 2. Karakteristik Bahan Bakar Uji

Sifat Fisika-Kimia	Metode Uji	Bensin RON 92	Metanol	Etanol
RON	ASTM D2699	92,1	>120	>110
Berat Jenis (kg/m ³)	ASTM D4052	752,6	793,6	791,9
Titik Didih (°C)	ASTM D86	37-204	64,6	77,4
Tekanan Uap (kPa)	ASTM D4953	55,6	32,2	17,2
Temperatur Penyalaan (°C)	ASTM E681	278	365	355
Kandungan Oksigen (%-massa)	ASTM D4815	0	49,9	35,7

Gambar 3 menunjukkan pengaruh kandungan metanol terhadap tekanan uap bensin. Pengukuran tekanan uap dengan metode ASTM D5191 dan D4953, menunjukkan kecenderungan peningkatan tekanan uap bensin, akibat penambahan metanol. Metanol memiliki tekanan uap sebesar 32,2 kPa, namun penambahannya pada bensin menyebabkan peningkatan tekanan uap sebesar 20-30 kPa dibandingkan bensin dasar. Hal tersebut menunjukkan tekanan uap campuran bensin-metanol sangat dipengaruhi oleh kesetimbangan uap-cair bahan bakar dan interaksi intermolekuler [20]. Metanol bersifat polar, sedangkan bensin bersifat non-polar sehingga antar molekul metanol cenderung membentuk ikatan hidrogen. Pada campuran bensin-metanol konsentrasi rendah, interaksi ikatan hidrogen antar molekul metanol cenderung lebih renggang dibandingkan campuran bensin-metanol konsentrasi tinggi sehingga menyebabkan perluasan ikatan hidrogen [17]. Perluasan tersebut menyebabkan kesetimbangan uap-cair terganggu. Akibatnya, campuran bensin-metanol menjadi mudah teruapkan yang ditandai dengan peningkatan tekanan uap. Dari sudut interaksi pada bensin, interaksi nonpolar berupa dispersi london dan dipol-dipol terinduksi

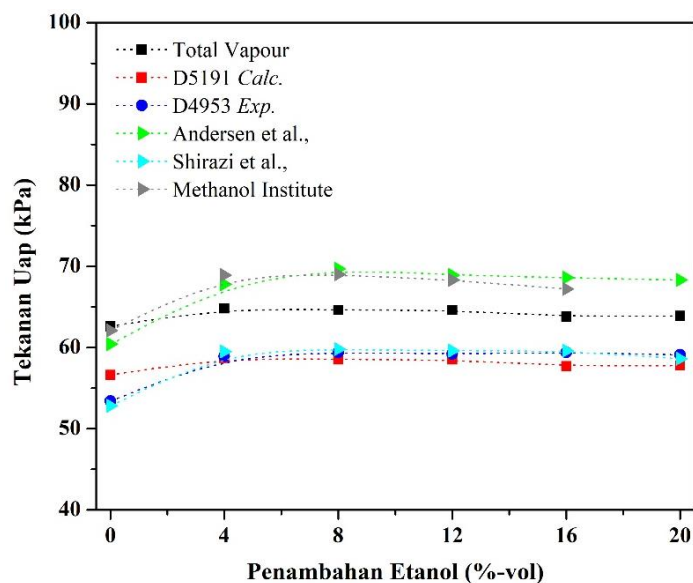
terganggu akibat kehadiran metanol. Hal tersebut menyebabkan entropi kesetimbangan uap-cair berubah sehingga bahan bakar lebih mudah menguap [16], [20].



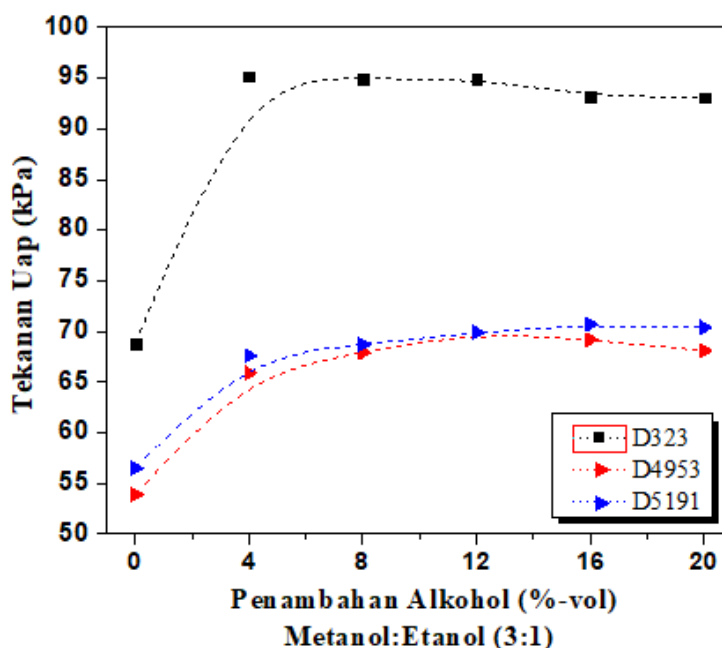
Gambar 3. Pengaruh Kandungan Metanol terhadap Tekanan Uap Bensin

Gambar 4 menunjukkan pengaruh kandungan etanol yang mempengaruhi tekanan uap bensin. Hasil pengukuran menunjukkan terjadi peningkatan nilai tekanan uap akibat penambahan etanol pada bensin berdasarkan metode ASTM D4953 dan D5191. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan Shirazi et al. [20], [21], yang melaporkan bahwa penggunaan etanol pada konsentrasi hingga 20 %-volume menghasilkan peningkatan 5-10 kPa. Penggunaan etanol pada konsentrasi rendah, yaitu 4-20 %-volume (E4-E20) menghasilkan pembentukan azeotrop positif akibat interaksi molekuler antar molekul etanol. Hal tersebut sejalan dengan fenomena yang terjadi pada penggunaan metanol sebagai campuran bensin. Perluasan ikatan hidrogen antar molekul etanol menyebabkan gangguan kesetimbangan antar molekul bensin sehingga meningkatkan kemudahan bahan bakar untuk berubah menjadi uap, ditandai dengan peningkatan tekanan uap. Seiring peningkatan etanol (> 20 %-volume) ikatan hidrogen antar molekul etanol semakin kuat dengan penurunan jarak antar ikatannya sehingga dihasilkan kestabilan fasa cair bahan bakar dan tekanan uap campurannya kembali menuju tekanan uap etanol murni [15], [16].

Pengaruh kandungan alkohol (metanol dan etanol) terhadap tekanan uap bensin ditunjukkan pada Gambar 5. Penggunaan alkohol hingga 20%-volume, menyebabkan peningkatan tekanan uap Reid (RVP) sebesar 25 kPa dibandingkan dengan bensin dasar pada penggunaan metode pengukuran ASTM D323. Sementara itu, berdasarkan pengukuran tekanan uap metode ASTM D4953 dan D5191, terjadi peningkatan nilai tekanan uap sebesar 10-12 kPa pada penggunaan alkohol hingga 20 %-volume, dibandingkan dengan bensin dasar. Nilai tekanan uap pada metode ASTM D4953 menunjukkan kesesuaian dengan ASTM D5191, dimana pengukuran terhadap sampel campuran bensin dan alkohol dilakukan dengan metode *dry vapor* (DVPE). Secara umum, terjadi peningkatan nilai tekanan uap secara bertahap seiring peningkatan kandungan alkohol dalam bahan bakar dari 4 %-volume hingga 16 %-volume, kemudian terjadi penurunan pada konsentrasi alkohol 20 %-volume.



Gambar 4. Pengaruh Kandungan Etanol terhadap Tekanan Uap Bensin



Gambar 5. Pengaruh Kandungan Alkohol terhadap Tekanan Uap Bensin

Pada konsentrasi rendah, metanol dan etanol mengalami efek azeotropik (pencampuran tidak ideal) dengan tekanan uap bensin. Oleh karena itu, meskipun metanol dan etanol murni memiliki tekanan uap yang lebih rendah, namun pencampurannya dengan bensin menghasilkan peningkatan tekanan uap dibandingkan bensin dasar. Fenomena tersebut dapat teramati pada penelitian ini, dari campuran dua komponen alkohol bensin, yaitu bensin-metanol dan bensin etanol, maupun campuran tiga komponen alkohol-bensin, yaitu bensin-metanol-etanol, yang dianalisis pada konsentrasi alkohol 4-20 %-volume.

KESIMPULAN

Pengaruh penggunaan metanol dan etanol hingga konsentrasi 20 %-volume pada terhadap tekanan uap Bensin RON 92 telah dievaluasi pada penelitian ini. Penggunaan metanol dan etanol pada konsentrasi rendah (< 20%-volume) menghasilkan peningkatan tekanan uap bensin, meskipun tekanan uap metanol dan etanol lebih rendah dari bensin. Hal tersebut mengindikasikan pembentukan kurva non-ideal pada tekanan uap bensin-alkohol. Interaksi molekuler alkohol dan bensin serta perubahan kesetimbangan uap-cair mengindikasikan pembentukan kurva non-ideal tersebut. Metanol dan etanol bersifat lebih polar dibandingkan dengan bensin yang bersifat non-polar sehingga pada menghasilkan perluasan ikatan hidrogen antar molekul alkohol tersebut dalam bensin. Konsekuensinya, interaksi non-polar antar hidrokarbon bensin menjadi terganggu sehingga bahan bakar cenderung berubah fasa menjadi uap pada suhu pengujian 37,8 °C. Di sisi lain, interaksi tersebut juga menyebabkan pengukuran tekanan uap campuran bensin-alkohol dengan metode ASTM D323 menjadi tidak akurat. Senyawa oksigenat yang bertanggung jawab terhadap interaksi ikatan hidrogen dan kemudahan interaksi dengan air, menyebabkan keterbatasan pada ruang lingkup metode ASTM D323 untuk pengukuran campuran bensin dan alkohol. Alhasil metode yang diperuntukkan untuk analisis tekanan uap campuran bensin-alkohol adalah metode *dry vapor* pada ASTM D4953 dengan meminimalisir penggunaan air dan kelembapan dari kondisi pengujian. Hasil pengukuran tekanan uap campuran bensin-alkohol dari ASTM D4953 menunjukkan kesesuaian dengan ASTM D5191. Perbedaan yang dihasilkan dari kedua metode tersebut terhadap tekanan uap campuran bensin-alkohol sebesar 0,8-2,6 kPa (lebih rendah dibandingkan dengan nilai reproduibilitas metode uji).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kelompok Pelaksana Penelitian dan Pengembangan Teknologi Aplikasi Produk, LEMIGAS, khususnya untuk Laboratorium Karakteristik Bahan Bakar dan Unjuk Kerja di Kelompok Bahan Bakar dan Aviasi dalam rangka pengumpulan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Sugiarto *et al.*, "Optimizing engine performance with modification of injection duration on gasoline-bioethanol blends," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2255, no. September, 2020.
- [2] O. I. Awad *et al.*, "Alcohol and ether as alternative fuels in spark ignition engine: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. January, pp. 2586–2605, 2018.
- [3] I. M. Yusri *et al.*, "Alcohol based automotive fuels from first four alcohol family in compression and spark ignition engine: A review on engine performance and exhaust emissions," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 77, no. October 2015, pp. 169–181, 2017.
- [4] C. S. Wibowo, B. Sugiarto, A. Zikra, A. Budi, T. Mulya, and Maymuchar, "The effect of gasoline-bioethanol blends to the value of fuel's octane number," *E3S Web Conf.*,

vol. 67, pp. 4–6, 2018.

- [5] C. S. Wibowo, F. Adian, M. Masuku, Y. Nugroho, and B. Sugiarto, “The Optimization Performance of Mixed Fuel Gasoline RON 88 , 92 , 98 with Bioethanol on Spark Ignition Engine,” vol. 9, no. 09, pp. 989–992, 2020.
- [6] B. M. Masum, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, S. M. Palash, and M. Habibullah, “Effect of alcohol-gasoline blends optimization on fuel properties, performance and emissions of a SI engine,” *J. Clean. Prod.*, vol. 86, pp. 230–237, 2015.
- [7] A. N. Ozsezen and M. Canakci, “Performance and combustion characteristics of alcohol-gasoline blends at wide-open throttle,” *Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 2747–2752, 2011.
- [8] H. Liu, Z. Wang, Y. Long, S. Xiang, J. Wang, and S. W. Wagnon, “Methanol-gasoline Dual-fuel Spark Ignition (DFSI) combustion with dual-injection for engine particle number (PN) reduction and fuel economy improvement,” *Energy*, vol. 89, pp. 1010–1017, 2015.
- [9] C. S. Wibowo, B. Sugiarto, A. Zikra, A. Budi, T. Mulya, and M. Muchar, “The effect of bioethanol-varying gasoline blends on performance and emission of SI engine 150 CC,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2062, no. January, 2019.
- [10] B. Sugiarto *et al.*, “Optimizing four stroke engine performance with ignition time modification on gasoline-Bioethanol blends,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2255, no. September, 2020.
- [11] F. Adian, B. Sugiarto, C. S. Wibowo, D. D. Primayandi, R. Hargiyanto, and H. Krisnanto, “Comparison of the effect of 10% ethanol addition in 88 and 98 gasoline RON on motorcycle engine performance,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 2230, no. June 2019, 2020.
- [12] G. Dhamodaran and G. S. Esakkimuthu, “Experimental measurement of physico-chemical properties of oxygenate (DIPE) blended gasoline,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 134, pp. 280–285, 2019.
- [13] A. A. Ahmed, A. M. El-Masry, and Y. Barakat, “Azeotrope formation in gasoline–ethanol blends. Part 1 – Impact of nonionic on E10 distillation curve,” *Egypt. J. Pet.*, vol. 27, no. 4, pp. 1167–1175, 2018.
- [14] V. Hönig, M. Orsák, M. Pexa, and Z. Linhart, “The distillation characteristics of automotive gasoline containing biobutanol, bioethanol and the influence of the oxygenates,” *Agron. Res.*, vol. 13, no. 2, pp. 558–567, 2015.
- [15] M. Amine and Y. Barakat, “Properties of gasoline-ethanol-methanol ternary fuel blend compared with ethanol-gasoline and methanol-gasoline fuel blends,” *Egypt. J. Pet.*, vol. 28, no. 4, pp. 371–376, 2019.
- [16] V. F. Andersen, J. E. Anderson, T. J. Wallington, S. A. Mueller, and O. J. Nielsen, “Vapor pressures of alcohol-gasoline blends,” *Energy and Fuels*, vol. 24, no. 6, pp. 3647–3654, 2010.
- [17] J. A. Pumphrey, J. I. Brand, and W. A. Scheller, “Vapour pressure measurements and

- predictions for alcohol-gasoline blends,” *Fuel*, vol. 79, no. 11, pp. 1405–1411, 2000.
- [18] B. Akaribo and B. Afotey, “Comparative Analysis of Selected Octane Enhancing Fuel Additives as Substitute to Methylcyclopentadienyl Manganese Tricarbonyl (MMT),” *Int. J. Energy Eng.*, vol. 2017, no. 3, pp. 65–73, 2017.
- [19] A. K. Thakur, A. K. Kaviti, R. Mehra, and K. K. S. Mer, “Progress in performance analysis of ethanol-gasoline blends on SI engine,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. July 2016, pp. 324–340, 2017.
- [20] S. Aghahosseini Shirazi, B. Abdollahipour, J. Martinson, B. Windom, T. D. Foust, and K. F. Reardon, “Effects of dual-alcohol gasoline blends on physiochemical properties and volatility behavior,” *Fuel*, vol. 252, no. April, pp. 542–552, 2019.
- [21] S. A. Shirazi, B. Abdollahipour, B. Windom, K. F. Reardon, and T. D. Foust, “Effects of blending C3-C4 alcohols on motor gasoline properties and performance of spark ignition engines: A review,” *Fuel Process. Technol.*, vol. 197, no. August 2019, p. 106194, 2020.