
KARAKTERISTIK KINERJA KOMPOR GAS LPG MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR DME DENGAN VARIASI DIAMETER NOZZLE DAN TEKANAN KERJA KOMPOR

Performance Characteristics of LPG Stoves Using DME Fuel with Variations in Nozzle Diameter and Input Pressure

Nanang Kusnandar, Winda Sari Ramadhani, Intan Paramudita,
Qudsiyyatul Lailiyah, Prayoga Bakti

Puslit Teknologi Pengujian - LIPI
Kawasan Puspiptek Gedung 415/417 Setu, Tangerang Selatan
e-mail:nkusnandar@yahoo.com

Diterima: 23 September 2020, Direvisi: 26 Oktober 2020, Disetujui: 27 November 2020

Abstrak

Adanya rencana pemanfaatan DME (*dimethyl ether*) sebagai sumber energi alternatif di masa yang akan datang, khususnya untuk kebutuhan energi rumah tangga, perlu dibarengi dengan penyiapan infrastruktur di lapangan, mulai dari infrastruktur distribusi sampai pada kelengkapan sarana yang siap dipakai di masyarakat. Makalah ini mengkaji tentang karakteristik kinerja kompor gas *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) pada saat menggunakan bahan bakar DME 100% berdasarkan variasi diameter *nozzle* dan tekanan kerja kompor. Pengukuran kinerja kompor berupa tekanan kerja minimum dan maksimum, asupan panas serta efisiensi dilakukan berdasarkan SNI 8660:2018 dengan beberapa modifikasi. Dari hasil kajian terhadap 6 buah kompor yang digunakan dalam penelitian ini, bisa disimpulkan bahwa meskipun kompor gas LPG bisa dipakai juga untuk DME, namun untuk mendapatkan kinerja kompor yang lebih optimal, para produsen kompor masih perlu menentukan ukuran diameter *nozzle* yang tepat dan sesuai dengan desain kompornya masing-masing.

Kata kunci: *dimethyl ether*, kompor gas, asupan panas, efisiensi, *nozzle*, SNI 8660:2018

Abstract

The plan to use DME (dimethyl ether) as an alternative energy source in the future, specifically for household energy needs, should be accompanied by infrastructure preparation in the field, starting from distribution infrastructure to completeness of facilities that are ready to use in the people. This paper studied the characteristics of LPG stoves when using 100% DME fuel based on variations in nozzle diameter and input pressure. The stove performance measurement consists of minimum and maximum input pressure, heat input and efficiency were conducted based on SNI 8660: 2018 with some modifications. Based on a study of 6 stoves used in this research, it can be concluded that although LPG gas stove can be used for DME, but to get a more optimal performance, the manufacturers still need to determine the appropriate size of the nozzle diameter and match the design of their stoves.

Keywords: *dimethyl ether*, gas stove, heat input, efficiency, *nozzle*, SNI 8660:2018

1. PENDAHULUAN

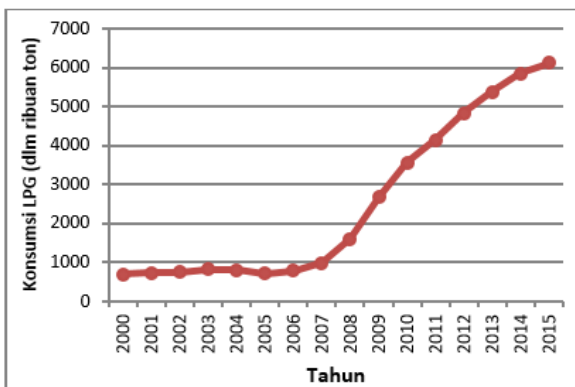
Kebutuhan LPG sebagai sumber energi di Indonesia, khususnya sektor rumah tangga terus meningkat dari tahun ke tahun. Grafik pada Gambar 1 dengan jelas memperlihatkan kondisi tersebut dari tahun 2000 sampai dengan 2015. Dari sisi *sharing* konsumsi energi rumah tangga, penggunaan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) juga mengalami kenaikan yang cukup tajam, dari hanya 6,74% pada tahun 2000 menjadi 47,17%

pada tahun 2015 (Pusdatin ESDM, 2016). Ini berarti hampir separuh kebutuhan energi rumah tangga menggunakan bahan bakar LPG, khususnya untuk keperluan memasak (kompor gas). Lonjakan konsumsi LPG ini terjadi terutama sejak tahun 2008 bertepatan dengan diberlakukannya program konversi energi dari minyak tanah (BBM) ke LPG. Untuk memenuhi kebutuhan akan LPG tersebut, pemerintah RI harus melakukan impor LPG yang diperkirakan sudah mencapai 70% dari total kebutuhan LPG

Karakteristik Kinerja Kompor Gas Lpg Menggunakan Bahan Bakar Dme Dengan Variasi Diameter Nozzle dan Tekanan Kerja Kompor
(Nanang Kusnandar, Winda Sari Ramadhani, Intan Paramudita, Qudsiyyatul Lailiyah, Prayoga Bakti)

nasional (Budiartie, 2019) dengan nominal Rp 40 triliun per tahunnya (Hardiyanto, 2019).

Untuk mengurangi ketergantungan terhadap impor LPG yang semakin meningkat, berbagai upaya telah dilakukan, diantaranya dengan mencari bahan bakar alternatif sebagai pengganti (substitusi) LPG, salah satunya adalah DME (*Dimethyl ether*). Penggunaan DME sebagai campuran bahan bakar dengan LPG untuk kebutuhan di rumah tangga, khususnya memasak dan memanaskan sudah dilakukan di beberapa negara. Penggunaan 15% hingga 20% volume DME dalam campuran LPG–DME tidak membutuhkan modifikasi apapun baik dalam infrastruktur distribusi yang ada maupun di peralatan pengguna. Lebih dari 90% DME yang diproduksi di Cina dicampur dengan LPG. Di Korea Selatan, uji lapangan bahan bakar campuran DME-LPG untuk keperluan rumah tangga dan komersil telah dilakukan pada Agustus 2010 hingga Oktober 2011. Sedangkan di Amerika Serikat, industri LPG masih membutuhkan studi eksperimental tambahan guna menentukan batas aman DME dalam campuran LPG–DME sebagai prasyarat komersialisasi menggunakan peralatan yang ada untuk penerapan di rumah tangga dan restoran (Fleisch, Basu, & Sills, 2012).



Gambar 1 Grafik konsumsi LPG sektor rumah tangga di Indonesia.

Seperti halnya Cina, Indonesia bisa menjadi negara di mana produksi dan konsumsi DME dalam negeri akan sangat bermanfaat. Ini terkait dengan ketersediaan sumber daya DME yang berlimpah serta tuntutan kebutuhan/target pasar yang besar. Sumber daya DME dapat diperoleh dari gas alam/gas bumi, batubara, biomassa, dsb (Takeishi, 2016). Cadangan gas bumi yang dimiliki Indonesia (status 1 Januari 2018) tercatat sebesar 135,55 *trillion standard*

cubic feet (TSCF), yang tersebar hampir di seluruh wilayah Indonesia (Dirjen Minyak dan Gas Bumi, 2019). Sementara untuk batubara, tercatat bahwa produksi batubara di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahunnya (dari 2015 hingga 2018), dimana sampai akhir tahun 2018 produksinya mencapai 548 juta ton (Kementerian ESDM, 2019). Sedangkan ketersediaan biomassa di Indonesia sangat melimpah dikarenakan bahan bakunya mudah didapatkan, yaitu bisa dari limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan. Oleh karena itu, berdasarkan data-data tersebut, maka pengembangan DME di Indonesia sangat berpotensi untuk dilakukan.

Kendatipun demikian, pemanfaatan DME di Indonesia masih terbatas karena sejauh ini baru ada satu perusahaan pemasok DME komersial yaitu PT. Bumi Tangerang Industri yang skala produksinya masih relatif kecil (Prabowo dkk, 2017). Pemerintah Indonesia sendiri sebenarnya sudah menyadari akan potensi DME sebagai sumber energi alternatif. Hal ini terlihat dengan upaya pemerintah melalui PT. Pertamina yang bekerja sama dengan PT. Bukit Asam dan perusahaan asal Amerika (*Air Product*) untuk mendirikan pabrik DME. Targetnya, tahun 2021 pabrik ini sudah beroperasi dan bisa memenuhi kebutuhan DME di masyarakat (Zuraya, 2019).

Di sisi lain, adanya rencana pemerintah Indonesia untuk mengembangkan DME sebagai upaya pemenuhan kebutuhan energi domestik perlu dibarengi dengan penyediaan infrastruktur di lapangan, mulai dari infrastruktur distribusi sampai pada kelengkapan sarana yang siap dipakai oleh pengguna (masyarakat). Salah satu aspek yang menarik dikaji adalah apakah kompor gas dan segala kelengkapannya yang beredar di masyarakat saat ini bersifat kompatibel dengan bahan bakar DME? Dari sudut pandang standar, perlu juga dikaji dan disiapkan perubahan terhadap standar yang ada, karena SNI kompor gas saat ini (SNI 8660:2018) berlaku untuk bahan bakar LPG dan LNG/NG.

Berkenaan dengan hal di atas, beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan terkait pemakaian campuran DME dan LPG sebagai bahan bakar kompor gas. Pengujian terhadap beberapa jenis kompor gas dengan mengacu pada SNI 7368: 2007 telah dilakukan oleh Anam (2010) menggunakan kandungan DME 10%, 20% dan 30%. Menurutnya, campuran DME-LPG sampai dengan 30% masih bisa digunakan pada kompor LPG tanpa modifikasi. Sedangkan Anggarani, Wibowo, & Rulianto (2014)

menggunakan campuran DME 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 50% dan dibandingkan dengan LPG pada 6 buah kompor untuk melihat parameter-parameter: konsumsi panas, efisiensi bahan bakar dan kestabilan api. Hasilnya, semakin tinggi kandungan DME pada campuran bahan bakar akan cenderung menurunkan asupan panas dan efisiensi kompor gas. Penurunan efisiensi termal sampai 5,26% akibat campuran DME 20% dalam LPG juga dilaporkan dari hasil studi yang dilakukan LERC (*LPG Equipment Research Centre*) India (Arya *et al.*, 2016). Terkait hal ini, Anggarani dkk (2014) mengusulkan perlunya mendesain ulang kompor gas secara tepat agar penggunaan DME sebagai bahan bakar juga tidak mengurangi kinerja kompor gas tersebut.

Selain itu, Mandaris, Bakti, dan Tjahjono (2014) telah mengkaji karakteristik nilai asupan panas dan efisiensi untuk kompor gas berbahan bakar DME 100% dengan mengacu pada standar SNI 7368:2011. Prototipe kompor gas DME ini didesain dan dibuat khusus, terutama pada bagian bentuk burner, tinggi *grid* serta ukuran diameter *nozzle*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan ukuran *nozzle* yang biasa dipakai untuk LPG, maka DME tidak dapat menyalakan kompor gas, kecuali jika dilakukan pada tekanan kerja di atas 280 mmH₂O. Kompor gas akan menyala bila ukuran diameter *nozzle* sama dengan atau lebih besar dari 0,8 mm pada tekanan sesuai dengan ketentuan SNI. Pada tekanan kerja 560 mmH₂O, efisiensi tertinggi terjadi pada diameter *nozzle* 0,85 mm sebesar 64,61%. Hanya saja, hasil yang didapatkan oleh Mandaris dkk ini belum bisa digeneralisasi lebih luas karena dalam percobaannya hanya menggunakan satu jenis kompor gas.

Penelitian dalam makalah ini merupakan pengembangan dari penelitian yang sudah dilakukan oleh Mandaris dkk (2014). Tujuannya adalah untuk mengetahui karakteristik kinerja kompor gas LPG pada saat menggunakan bahan bakar DME 100% berdasarkan variasi jenis burner/kompor, diameter *nozzle* dan tekanan kerja kompor. Kinerja kompor gas yang dimaksud dalam penelitian ini terutama terkait dengan tekanan kerja minimum dan maksimum, asupan panas serta efisiensi. Metode uji asupan panas dan efisiensi dalam penelitian ini dilakukan dengan mengacu kepada SNI 8660:2018. Meskipun standar ini disusun untuk ruang lingkup kompor berbahan bakar LPG dan LNG/NG, namun secara teknis pengujian masih bisa digunakan untuk mengukur asupan panas dan efisiensi kompor menggunakan bahan bakar

DME dengan melakukan penyesuaian pada nilai kalorinya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Dimethyl Ether (DME)

Dimethyl Ether (DME) merupakan senyawa *ether* sederhana (CH₃OCH₃) yang dapat diproduksi dari berbagai sumber bahan baku seperti gas bumi, batubara, serta biomassa, dan mempunyai angka setana yang tinggi, dengan sifat yang mendekati LPG seperti viskositas, titik didih dan tekanan (Boedoyo, 2010). Di sisi lain, DME pun diklaim lebih ramah lingkungan. Efek penambahan DME terhadap LPG dapat menurunkan emisi gas buang SO_x, NO_x dan CO (Chandra, 2011; Makmool & Jugjai, 2013), sehingga DME bisa dikategorikan sebagai bahan bakar/energi bersih, pembawa dan penyimpan hidrogen. Penggunaan DME secara luas bisa menahan pemanasan global dan polusi udara dengan cara memanfaatkan CO₂ untuk sintesis DME, sehingga jumlah CO₂ di udara dapat berkurang, mengingat CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim (Takeishi, 2016). Namun DME memiliki indikator intensitas ledakan yang lebih besar dibandingkan propana. Dalam suhu kamar dan tekanan atmosfer, tekanan ledakan maksimumnya meningkat hingga sepuluh kali lipat (Mogi, 2009).

DME berbentuk gas pada suhu dan tekanan normal, namun pada suhu dan tekanan tertentu dapat berubah menjadi cairan, sehingga membuat DME mudah untuk disimpan dan dipindahkan. Karakteristik tersebut menjadikan DME berpotensi untuk digunakan sebagai energi alternatif, diantaranya sebagai bahan bakar turbin untuk pembangkit listrik, sebagai pengganti LPG untuk keperluan rumah tangga dan industri, serta sebagai bahan bakar untuk mesin diesel (Marchionna, 2008).

2.2. Asupan Panas

Berdasarkan SNI 8660:2018, asupan panas adalah konsumsi bahan bakar gas maksimum yang dibutuhkan untuk menyalakan kompor dalam waktu tertentu. Dalam SNI tersebut, asupan panas merupakan bagian dari klausul uji nyala api. Pengukurannya dilakukan dengan cara sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2018):

Karakteristik Kinerja Kompor Gas Lpg Menggunakan Bahan Bakar Dme Dengan Variasi Diameter Nozzle dan Tekanan Kerja Kompor
(Nanang Kusnandar, Winda Sari Ramadhani, Intan Paramudita, Qudsiyyatul Lailiyah, Prayoga Bakti)

1. Nyalakan kompor pada posisi maksimum selama 1 jam dengan tekanan gas masukan $2,8 \text{ kPa} \pm 0,05 \text{ kPa}$
2. Hitung konsumsi gas yang dipergunakan selama menyalakan kompor tersebut dengan menghitung massa awal tabung gas dikurangi massa akhir tabung gas, sehingga diperoleh angka laju aliran massa gas kompor tersebut (kg/jam)
3. Asupan panas produk, dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$Q_n = \frac{1000 \times M_n \times H_s}{3600} \quad (1)$$

dengan:

- Q_n = asupan panas (kW)
- M_n = laju aliran gas (kg/jam)
- H_s = nilai kalori gas (MJ/kg)

2.3. Efisiensi Kompor

Efisiensi energi adalah kemampuan dalam menggunakan energi yang lebih sedikit untuk menjalankan fungsi atau kinerja yang sama. Efisiensi kompor dapat didefinisikan sebagai rasio antara energi yang digunakan untuk memasak dengan energi yang dihasilkan oleh bahan bakar gas yang disalurkan ke kompor (Cengel & Boles, 2006). Sesuai dengan SNI 8660:2018, media yang digunakan untuk mengukur efisiensi kompor adalah air. Pengukurannya dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Nyalakan kompor pada posisi maksimum selama 10 menit untuk pemanasan awal
2. Selanjutnya panaskan bejana berisi air sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan dalam Tabel 1 dan ukur efisiensi dengan formula sebagai berikut:

$$\eta = \frac{4,186 \times 10^{-3} \times M_e \times (t - t_1) \times 100}{(M_c \times H_s)} \quad (2)$$

dimana: $M_e = M_{e1} + M_{e2}$

dengan:

- η = efisiensi kinerja kompor
- M_{e1} = massa air dalam bejana (kg)
- M_{e2} = massa bejana aluminium + tutup (kg)
- t = temperatur akhir, diambil poin tertinggi yang terukur setelah api kompor dimatikan (saat air mencapai $90^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$)
- t_1 = temperatur awal
- M_c = massa gas yang terbakar dihitung saat pengujian dimulai sampai pengujian berakhir (dari t_1 sampai t) dinyatakan dalam kg

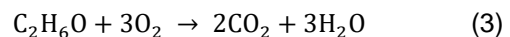
H_s = nilai kalori gas (MJ/kg)

Tabel 1 Penentuan diameter nominal bejana dan massa air pada masing-masing tungku.

Asupan panas (kW)	Diameter bejana (mm)	Massa air (M_{e1} , kg)
$\leq 1,15$	200	2,6
1,16 – 1,64	220	3,7
1,65 – 1,98	240	4,8
1,99 – 4,20	260	6,1
4,21 – 4,50	280	7,2
4,51 – 4,80	300	8,3
4,81 – 5,00	320	9,5

2.4. Nilai Kalori DME (Dimethyl Ether)

Nilai kalori adalah jumlah energi/panas yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar dibakar secara sempurna (Uzun *et al.*, 2017). Reaksi kimia dari pembakaran DME adalah:



Nilai kalori dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Park & Lee, 2013):

$$Q_c + \sum_R n_i h_{fi} = \sum_P n_i h_{fi} + W \quad (4)$$

Dengan Q_c adalah nilai kalori, R dan P adalah reaktan dari produk, n_i adalah jumlah mol dari zat ke- i , h_{fi} adalah entalpi dari zat ke- i , dan W adalah usaha dari sistem. Substitusi persamaan (3) ke persamaan (4) menghasilkan persamaan nilai kalori DME sebagai berikut:

$$Q_c = 2h_{f,\text{CO}_2} + 3h_{f,\text{H}_2\text{O}} - h_{f,\text{DME}} - 3h_{f,\text{O}_2} \quad (5)$$

Dengan Q_c adalah nilai kalori, dan h_{fi} adalah entalpi dari zat ke- i .

3. METODE PENELITIAN

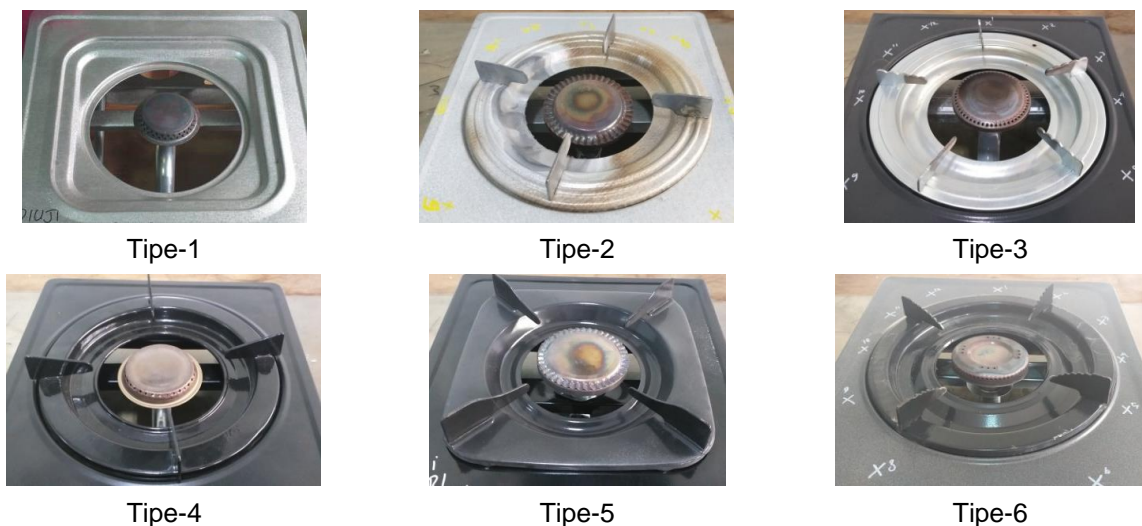
3.1. Variabel Penelitian

Ada 6 jenis kompor dengan tipe burner yang berbeda digunakan dalam penelitian ini, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pada masing-

masing kompor, dicobakan 4 macam ukuran diameter *nozzle* yaitu: 0,70 mm; 0,75 mm; 0,80 mm; dan 0,85 mm. Contoh bentuk *nozzle* dapat dilihat di Gambar 3. Adapun tekanan kerja kompor divariasikan dari 1 kPa - 5 kPa sesuai dengan batasan untuk regulator tekanan rendah pada SNI 7369:2012. Tahap awal pengukuran dimulai dengan mencari tekanan kerja minimum dan maksimum kompor pada rentang tekanan kerja yang divariasikan. Selanjutnya, asupan panas dan efisiensi kompor dihitung untuk setiap ukuran *nozzle* pada tekanan kerja minimum dan maksimum yang didapatkan.

3.2. Pengukuran

Rangkaian pengukuran sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 terdiri dari: bahan bakar DME 100%, *pressure gauge*, kompor gas satu tungku, panci, data logger, PC, stopwatch/*timer* dan timbangan digital. Pengukuran tekanan kerja maksimum dan minimum dilakukan dengan cara memvariasikan tekanan kerja dari 1 kPa-5 kPa dengan kenaikan 0,2 kPa. Tekanan kerja minimum adalah tekanan kerja terkecil dimana kompor masih menyala dengan normal, sedangkan tekanan kerja maksimum adalah tekanan kerja terbesar dimana kompor masih menyala dengan normal. Pengukuran ini dilakukan untuk setiap jenis kompor dan setiap diameter *nozzle*.



Gambar 2 Jenis kompor / tipe *burner*.



Gambar 3 Contoh bentuk *nozzle* kompor gas.

Pengukuran asupan panas dan efisiensi kompor dilakukan untuk setiap jenis kompor di setiap diameter *nozzle* pada tekanan kerja minimum dan maksimum. Metode pengukuran asupan panas sesuai dengan SNI 8660:2018 dengan catatan waktu pengukuran hanya 30

menit, dan nilai kalori gas disesuaikan dengan nilai kalori untuk bahan bakar DME 100% yaitu 28,409 MJ/kg (Anggarani dkk, 2014). Pengukuran efisiensi kompor dilakukan pada kondisi lingkungan temperatur ruang 23°C-28°C dan RH 45%-75%. Metode pengukuran efisiensi juga dilakukan sesuai dengan SNI 8660:2018 dengan beberapa catatan: nilai kalori gas yang disesuaikan dengan nilai kalori DME 100%, suhu awal air (T_0) adalah 20°C±0,1°C, serta dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali pada masing-masing kondisi pengukuran (diameter *nozzle* dan tekanan kerja).

Karakteristik Kinerja Kompor Gas Lpg Menggunakan Bahan Bakar Dme Dengan Variasi Diameter Nozzle dan Tekanan Kerja Kompor
(Nanang Kusnandar, Winda Sari Ramadhani, Intan Paramudita, Qudsiyyatul Lailiyah, Prayoga Bakti)



Gambar 4 Rangkaian pengukuran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Hasil Pengukuran Tekanan Kerja Minimum dan Maksimum Kompor Gas

Untuk mendapatkan nilai tekanan kerja minimum dan maksimum, setiap kompor dinyalakan dengan menggunakan tekanan kerja antara 1 kPa sampai dengan 5 kPa, kemudian diamati pada rentang tekanan berapa kompor tersebut masih menyala dengan normal (tidak ada api mengangkat dan tidak padam). Hasil pengukuran sebagaimana terlihat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa hanya kompor Tipe 5 dan 6 yang masih menyala dengan normal pada rentang tekanan kerja 1 kPa s.d. 5 kPa di semua ukuran diameter *nozzle*. Kompor Tipe 2 dan Tipe 3 juga masih bisa menyala dengan normal pada rentang tekanan kerja 1 kPa s.d. 5 kPa, tapi tidak di semua ukuran diameter *nozzle*. Sedangkan untuk kompor Tipe 1 dan Tipe 4, rentang tekanan kerjanya lebih pendek lagi.

Jika mengacu pada SNI 8660:2018, pada syarat mutu tekanan gas (klausul 6.11) disebutkan bahwa kompor harus dapat bekerja pada tekanan gas minimum 2,0 kPa dan maksimum 3,3 kPa untuk LPG, atau pada tekanan gas minimum 1,0 kPa dan maksimum 2,5 kPa untuk LNG/NG. Dengan mempertimbangkan nilai kalori DME (28,409 MJ/Kg) yang lebih kecil dibandingkan LPG (49,14 MJ/Kg) dan LNG/NG (54,25 MJ/Kg), maka

batasan nilai tekanan minimum dan maksimum untuk DME mungkin bisa lebih besar dari LPG.

Tabel 2 Nilai tekanan kerja minimum dan maksimum kompor pada masing-masing diameter *nozzle*.

Tipe kompor	Diameter Nozzle (mm)	Tekanan Kerja (kPa)	
		Min	Max
Tipe-1	0,70	1,8	3,0
	0,75	1,2	2,0
	0,80	1,2	2,0
	0,85	1,0	2,0
Tipe-2	0,70	1,0	5,0
	0,75	1,0	5,0
	0,80	1,0	4,0
	0,85	1,0	3,6
Tipe-3	0,70	1,0	3,0
	0,75	1,0	5,0
	0,80	1,0	3,8
	0,85	1,0	5,0
Tipe-4	0,70	1,8	2,4
	0,75	1,0	2,8
	0,80	1,0	3,0
	0,85	1,0	3,0
Tipe-5	0,70	1,0	5,0
	0,75	1,0	5,0
	0,80	1,0	5,0
	0,85	1,0	5,0
Tipe-6	0,70	1,0	5,0
	0,75	1,0	5,0
	0,80	1,0	5,0
	0,85	1,0	5,0

4.2. Karakteristik Hasil Pengukuran Asupan Panas Kompor Gas

Nilai asupan panas yang didapatkan pada masing-masing kompor bisa dilihat pada Gambar 5. Masing-masing grafik menunjukkan nilai asupan panas di setiap ukuran diameter *nozzle* pada tekanan kerja minimum (P-min) dan maksimum (P-max) sesuai yang didapatkan pada Tabel 2. Secara umum terlihat bahwa nilai asupan panas meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran diameter *nozzle*, sebagaimana diperkuat juga dengan hasil analisis regresi berikut ini:

Regression Analysis: AP_Pmin versus Nozle

The regression equation is
 $AP_Pmin = -0,658 + 1,93 \text{ Nozle}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-0,6583	0,3985	-1,65	0,113
Nozle	1,9333	0,5129	3,77	0,001

S= 0,140465 R-Sq = 39,2% R-Sq(adj)= 36,5%

Regression Analysis: AP_Pmax versus Nozle

The regression equation is
 $AP_Pmax = -1,91 + 4,46 \text{ Nozle}$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-1,9102	0,8961	-2,13	0,044
Nozle	4,457	1,153	3,86	0,001

S= 0,315848 R-Sq = 40,4% R-Sq(adj)= 37,7%

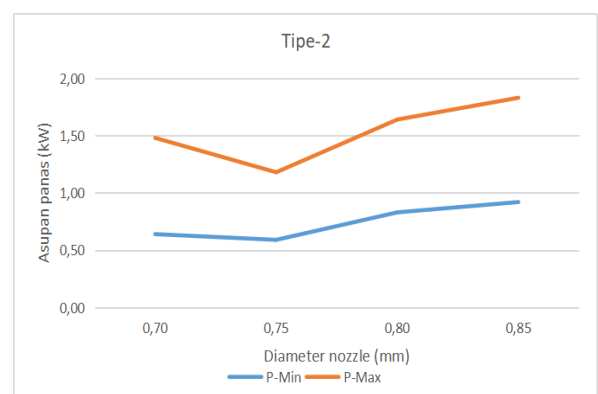
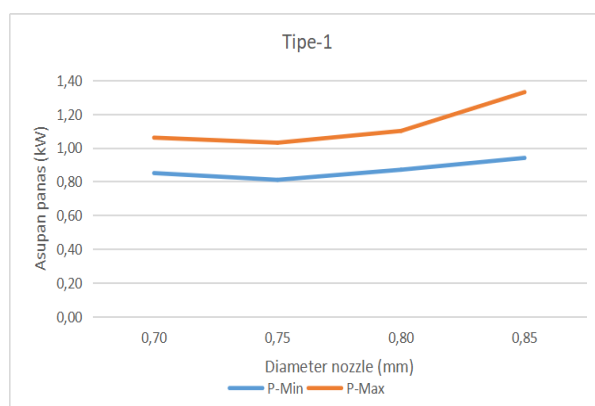
Hipotesis yang diuji dalam analisis regresi tersebut adalah:

$H_0 : \beta = 0$, (tidak terdapat pengaruh yang signifikan dari ukuran *nozzle* terhadap asupan panas kompor)

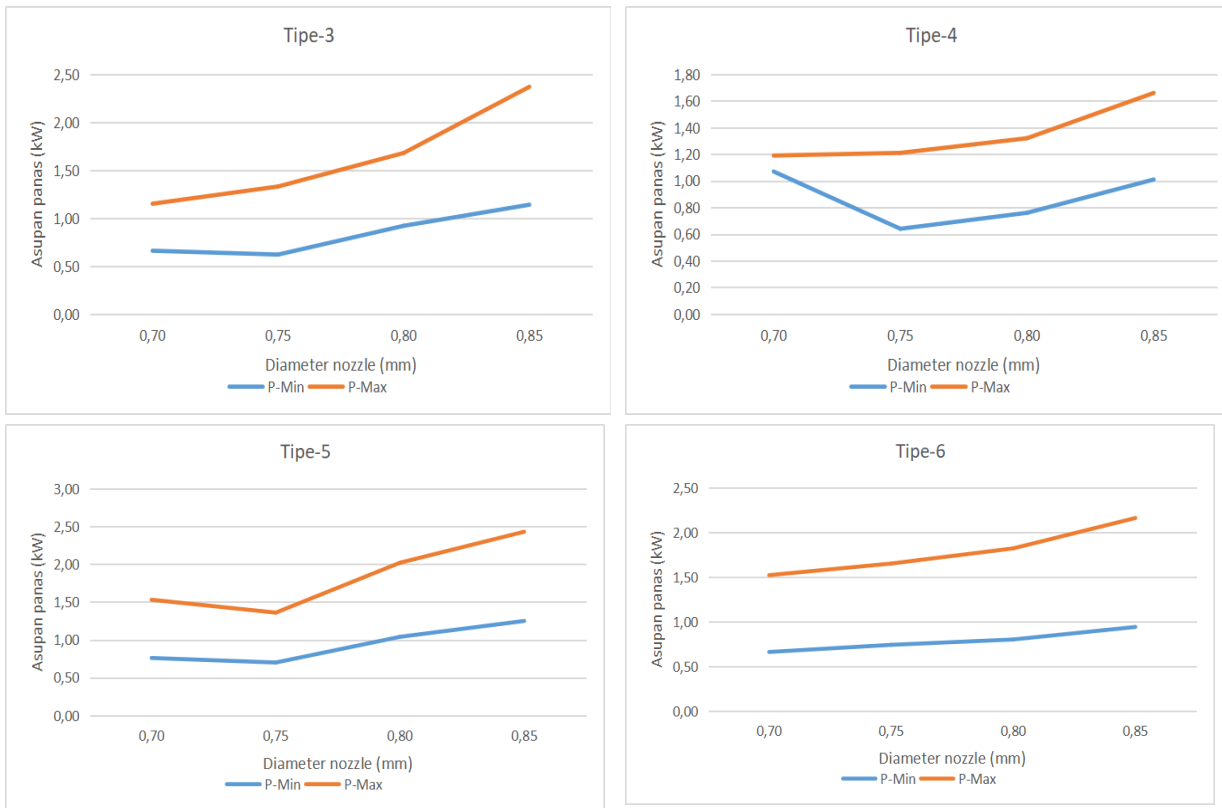
$H_1 : \beta \neq 0$, (terdapat pengaruh yang signifikan dari ukuran *nozzle* terhadap asupan panas kompor)

Output Minitab pada analisis regresi di atas, menghasilkan nilai koefisien regresi 1,93 dengan nilai P (*P-value*) = 0,001 untuk asupan panas pada tekanan kerja minimum (Pmin), serta nilai koefisien regresi 4,46 dengan nilai P (*P-value*) = 0,001 untuk asupan panas pada tekanan kerja maksimum (Pmax). *P-value* yang lebih kecil dari nilai $\alpha = 0,05$ (tingkat kepercayaan 95%) menunjukkan bahwa hasil uji hipotesis adalah tolak H_0 . Artinya, baik pada tekanan kerja minimum maupun maksimum, terdapat pengaruh signifikan dari ukuran *nozzle* terhadap asupan panas kompor.

Terkait dengan parameter asupan panas ini, SNI 8660:2018 hanya menetapkan syarat mutu bahwa toleransi asupan panas terukur adalah $\pm 10\%$ dari spesifikasi asupan panas yang ditetapkan oleh produsen, sedangkan batasan nilainya sendiri (minimum atau maksimum) tidak atur oleh SNI. Akan tetapi nilai asupan panas ini akan menentukan ukuran diameter bejana (panci) yang akan dipakai pada saat pengukuran efisiensi kompor gas sebagaimana ditunjukkan di Tabel 1.

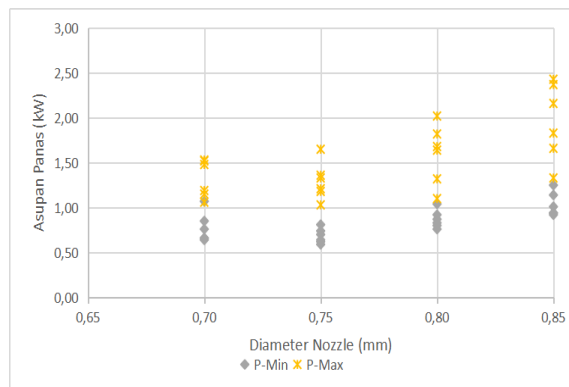


Karakteristik Kinerja Kompor Gas Lpg Menggunakan Bahan Bakar Dme Dengan Variasi Diameter Nozzle dan Tekanan Kerja Kompor
(Nanang Kusnandar, Winda Sari Ramadhani, Intan Paramudita, Qudsiyyatul Lailiyah, Prayoga Bakti)



Gambar 5 Grafik asupan panas pada masing-masing diameter *nozzle* di setiap kompor.

Gambar 6 memperlihatkan sebaran keseluruhan nilai asupan panas dari keenam kompor untuk semua ukuran *nozzle*, baik pada tekanan minimum (P-min) maupun maksimum (P-max). Pada tekanan kerja minimum kompor, nilai asupan panas berada pada rentang 0,59 kW s.d. 1,25 kW, dengan rata-rata sebesar 0,84 kW. Sedangkan pada tekanan kerja maksimum, nilai asupan panas berada pada rentang 1,03 kW s.d. 2,43 kW, dengan rata-rata sebesar 1,54 kW. Berdasarkan data dari label kompor, keenam kompor ini awalnya memiliki rentang nilai asupan panas antara 1,72 kW s.d. 2,8 kW dengan rata-rata 2,37 kW (lihat Tabel 3). Nilai yang tertera pada label ini biasanya ditetapkan oleh produsen untuk bahan bakar LPG dengan menggunakan tekanan sesuai keluaran regulator tekanan rendah (2,8 kPa ± 0,47 kPa).



Gambar 6 Grafik distribusi Asupan Panas keenam tipe kompor.

Untuk melihat lebih lanjut perbandingan antara nilai asupan panas kompor gas dengan menggunakan bahan bakar DME dan LPG, Tabel 3 menyajikan nilai asupan panas (AP) dan jumlah aliran gas yang dikonsumsi (Mn) dari keenam tipe kompor yang didapatkan dari pemakaian kedua bahan bakar tersebut. Nilai ini diperoleh dengan menggunakan *nozzle* berdiameter 0,85 mm pada tekanan kerja maksimum sebagaimana

didapatkan pada Tabel 2. Uji Mann-Whitney dilakukan untuk melihat perbedaan antara rata-rata nilai AP dan Mn pada Tabel 3 tersebut. Hipotesis yang diuji adalah:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$, (tidak terdapat perbedaan yang signifikan diantara kedua nilai tengah AP/Mn yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar DME dan LPG)

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$, (terdapat perbedaan yang signifikan diantara kedua nilai tengah AP/Mn yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar DME dan LPG)

Uji Mann-Whitney dengan menggunakan software Minitab diperoleh hasil sebagai berikut:

Mann-Whitney Test and CI: AP_DME; AP_LPG

	N	Median
AP_DME	6	1,995
AP_LPG	6	3,455

Point estimate for ETA1-ETA2 is -1,420
 95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-2,100;-0,590)
 W = 22,0

Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0082

Mann-Whitney Test and CI: Mn_DME; Mn_LPG

	N	Median
Mn_DME	6	0,2530
Mn_LPG	6	0,2530

Point estimate for ETA1-ETA2 is 0,0085

95,5 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0,0670;0,0720)

W = 40,0

Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,9362

Tabel 3 Perbandingan nilai asupan panas (AP) keenam kompor menggunakan bahan bakar DME dan LPG.

Kompor	AP	DME		LPG	
	Label (kW)	Mn (kg/jm)	AP (kW)	Mn (kg/jm)	AP (kW)
Tipe-1	2,2	0,301	2,37	0,270	3,69
Tipe-2	2,7	0,169	1,33	0,175	2,39

Kompor	AP	DME		LPG	
	Label (kW)	Mn (kg/jm)	AP (kW)	Mn (kg/jm)	AP (kW)
Tipe-3	2,39	0,274	2,16	0,280	3,82
Tipe-4	2,4	0,210	1,66	0,217	2,96
Tipe-5	1,72	0,232	1,83	0,236	3,22
Tipe-6	2,8	0,308	2,43	0,288	3,93

4.3. Karakteristik Hasil Pengukuran Efisiensi Kompor Gas

Gambar 7 memperlihatkan nilai efisiensi kompor gas yang diperoleh pada masing-masing ukuran *nozzle* pada tekanan kerja minimum dan tekanan kerja maksimum. Jika diperhatikan kedua grafik yang disajikan pada Gambar 7, maka tidak terdapat pola umum yang secara jelas menggambarkan karakteristik nilai efisiensi kompor berdasarkan diameter *nozzle*. Untuk menganalisa lebih lanjut, dilakukan uji ANOVA (*analysis of variance*) guna melihat signifikansi perbedaan nilai efisiensi kompor pada masing-masing ukuran *nozzle* tersebut. Hipotesis yang diuji adalah:

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$ (tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai efisiensi kompor yang dihasilkan di ke-4 ukuran *nozzle*)

H_1 : minimal ada satu rata-rata efisiensi kompor yang berbeda signifikan diantara rata-rata nilai efisiensi kompor yang dihasilkan di ke-4 ukuran *nozzle*.

Uji ANOVA dengan menggunakan software Minitab diperoleh hasil sebagai berikut:

One-way ANOVA: Eff_Pmin versus Nozle

Source	DF	SS	MS	F
P				
Nozle	3	68,0	22,7	0,35
Error	20	1313,8	65,7	
Total	23	1381,8		

One-way ANOVA: Eff_Pmax versus Nozle

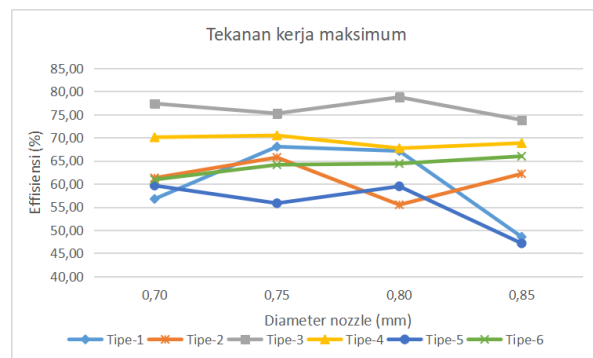
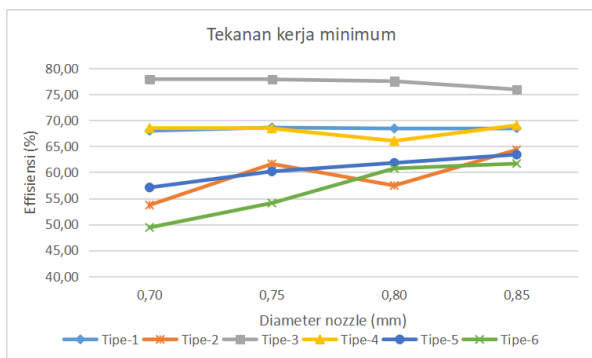
Source	DF	SS	MS	F
P				

Karakteristik Kinerja Kompor Gas Lpg Menggunakan Bahan Bakar Dme Dengan Variasi Diameter Nozzle dan Tekanan Kerja Kompor
(Nanang Kusnandar, Winda Sari Ramadhani, Intan Paramudita, Qudsiyyatul Lailiyah, Prayoga Bakti)

Nozle	3	101,4	33,8
	0,47	0,707	
Error	20	1438,9	71,9
Total	23	1540,3	

Output ANOVA untuk efisiensi kompor pada tekanan kerja minimum (Pmin) menghasilkan statistik uji F = 0,35 dengan P-value = 0,793, sedangkan pada tekanan kerja maksimum (Pmax) menghasilkan statistik uji F = 0,47 dengan P-value = 0,707. Kedua nilai P-value yang lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa pada tingkat kepercayaan 95%, tidak

terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata nilai efisiensi kompor yang dihasilkan di ke-4 ukuran *nozzle*, baik pada tekanan kerja minimum maupun tekanan kerja maksimum. Oleh karena itu, kesimpulan yang dinyatakan oleh Mandaris dkk (2014) tentang ukuran diameter *nozzle* yang menghasilkan efisiensi tertinggi tidak bisa digeneralisir untuk semua tipe kompor. Dengan kata lain, ukuran diameter *nozzle* bukan satu-satunya faktor penentu nilai efisiensi suatu kompor gas, akan tetapi akan dipengaruhi juga oleh disain kompor tersebut, seperti bentuk *burner*, tinggi *grid*, dan lain-lain.



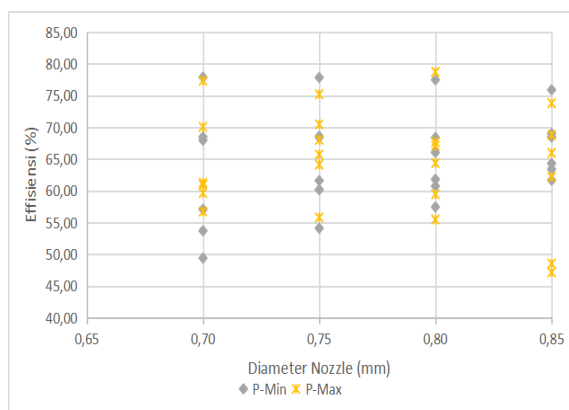
Gambar 7 Efisiensi kompor gas pada masing-masing tekanan kerja minimum dan maksimum di setiap diameter *nozzle* kompor.

Selanjutnya, sebaran keseluruhan nilai efisiensi dari keenam kompor untuk semua ukuran *nozzle*, baik pada tekanan minimum (P-min) maupun maksimum (P-max), bisa dilihat pada Gambar 8. Pada tekanan kerja minimum kompor, nilai efisiensi keluruhan berada pada rentang 49,4% s.d. 77,9% dengan rata-rata sebesar 65,0%. Sedangkan pada tekanan kerja maksimum, nilai efisiensi berada pada rentang 47,2% s.d. 78,8%, dengan rata-rata sebesar 64,4%.

Jika mengacu pada SNI 8660:2018, syarat mutu berkenaan dengan efisiensi menyatakan bahwa kinerja tungku (kompor) harus memiliki efisiensi minimum 50% untuk kompor atas meja dan minimum 45% untuk kompor tanam dan kompor berdiri. Kalau melihat hasil sebaran nilai efisiensi pada Gambar 8, sepertinya batasan syarat mutu efisiensi ini masih relevan untuk kompor gas berbahan bakar DME. Hanya saja yang menjadi catatan di sini adalah ukuran

diameter panci yang digunakan pada perhitungan efisiensi tersebut. Dengan mengacu pada sebaran nilai asupan panas di bagian 4.2. di atas, hampir semua pengukuran efisiensi kompor gas pada tekanan kerja minimum dilakukan menggunakan panci berdiameter 200 mm. Sedangkan pada tekanan kerja maksimum sebagian besar menggunakan panci berdiameter 220 mm, dan hanya beberapa pengukuran saja yang memakai panci berdiameter 240 mm dan 260 mm. Hal ini perlu menjadi pertimbangan pada saat menetapkan standar untuk kompor gas berbahan bakar DME, jangan sampai produsen hanya mengejar nilai efisiensi yang tinggi, tetapi sebenarnya nilai tersebut diperoleh dari pengukuran menggunakan panci berukuran kecil. Dengan demikian, mungkin perlu ditinjau ulang kembali mengenai penetapan ukuran diameter panci dalam pengukuran efisiensi kompor sebagaimana dinyatakan pada Tabel 1 di atas apabila akan diterapkan untuk kompor berbahan

bakar DME. Atau, bisa saja dengan menetapkan batas minimum nilai asupan panas agar tidak terlalu kecil, sehingga produsen kompor dapat menyesuaikannya dengan persyaratan yang ditentukan.



Gambar 8 Grafik distribusi Asupan Panas keenam tipe kompor.

5. KESIMPULAN

Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini didasarkan atas metode pengujian asupan panas dan efisiensi kompor mengacu pada SNI untuk kompor gas LPG dan LNG/NG dengan dilakukan penyesuaian terhadap nilai kalori DME. Pada dasarnya, kompor gas yang selama ini digunakan untuk LPG bisa dipakai juga untuk DME 100% sebagai bahan bakar alternatif di masa yang akan datang. Kendatipun demikian, guna mendapatkan kinerja kompor yang lebih optimal, para produsen kompor masih perlu untuk menentukan ukuran diameter *nozzle* yang tepat dan sesuai dengan desain kompornya masing-masing. Hasil dari penelitian ini juga memberikan gambaran beberapa hal yang perlu menjadi pertimbangan dalam menetapkan persyaratan mutu untuk standar kompor gas berbahan bakar DME, antara lain: tekanan minimum dan maksimum, serta batas minimum asupan panas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak P2TP-LIPI yang telah memberikan fasilitas sehingga terlaksananya penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus juga disampaikan kepada Sdr. Heri Mulyana atas bantuannya dalam pengambilan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, A. (2010). *Campuran DME-LPG sebagai bahan bakar gas komplementer*. Seminar Nasional Fakultas Teknik – UR.
- Anggaran, R., Wibowo, C.S., Rulianto, D. (2014). Application of Dimethyl Ether as LPG Substitution for Household Stove. *Energy Procedia* 47, 227 – 234.
- Arya, P.K., Tupkari, S., Satish K., Thakre, G.D., Shukla, B.M. (2016). DME blended LPG as a cooking fuel option for Indian household: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 53: 1591–1601.
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). *SNI 8660:2018, kompor gas LPG dan LNG/NG tekanan rendah untuk rumah tangga*.
- Boedoyo, M. S. (2010). Pemanfaatan Dimethyl Ether (Dme) Sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak Dan Lpg. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 11(2), 301-311.
- Budiartie, G. (2019, 19 September). *Miris! ri impor 70% pasokan lpg dan bikin subsidi menggila*. Diakses dari <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190125122501-4-52341/miris-ri-impor-70-pasokan-lpg-dan-bikin-subsidi-menggila>.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2006). *Thermodynamics: An engineering approach (5 ed.)*. New York: McGraw-Hill.
- Chandra, R. (2011). *Efek penambahan DME pada LPG terhadap emisi gas buang hasil proses pembakaran pada kompor*. Skripsi, Universitas Indonesia.
- Dirjen Minyak dan Gas Bumi. (2019). *Laporan capaian pembangunan tahun 2018 direktorat jenderal minyak dan gas bumi - Kementerian ESDM*. Jakarta: KESDM.
- Fleisch, T. H., Basu, A., & Sills, R. A. (2012). Introduction and advancement of a new clean global fuel: The status of DME developments in China and beyond. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 9, 94-107.
- Hardiyanto, S. (2019, 19 September). *Miris, impor LPG RI capai Rp 40 triliun per tahun*. Diakses tanggal dari

Karakteristik Kinerja Kompor Gas Lpg Menggunakan Bahan Bakar Dme Dengan Variasi Diameter Nozzle dan Tekanan Kerja Kompor
(Nanang Kusnandar, Winda Sari Ramadhani, Intan Paramudita, Qudsiyyatul Lailiyah, Prayoga Bakti)

- <https://www.jawapos.com/ekonomi/31/03/2019/miris-impor-lpg-ri-capai-rp-40-triliun-per-tahun/>.
- Kementerian ESDM. (2019). *Laporan kinerja tahun 2018*. Jakarta: KESDM.
- Makmool, U., & Jugjai, S. (2013). Thermal Efficiency and Pollutant Emissions of Domestic Cooking Burners Using DME-LPG Blends as a Fuel. In *Fourth TSME International Conference on Mechanical Engineering, Parraya, Chonburi, Oct* (pp. 16-18).
- Mandaris, D., Bakti, P. dan Tjahjono, H. (2014). Karakteristik Kompor Gas Berbahan Bakar DME (*Dimethyl Ether*) Berbasis SNI 7368:2011. *Jurnal Standardisasi*, 16(1), 7-16.
- Marchionna, M., Patrini, R., Sanfilippo, D., & Migliavacca, G. (2008). Fundamental investigations on di-methyl ether (DME) as LPG substitute or make-up for domestic uses. *Fuel Processing Technology*, 89(12), 1255-1261.
- Mogi, T., & Horiguchi, S. (2009). Explosion and detonation characteristics of dimethyl ether. *Journal of hazardous materials*, 164(1), 114-119.
- Park, S. H., & Lee, C. S. (2013). Combustion performance and emission reduction characteristics of automotive DME engine system. *Progress in energy and combustion science*, 39(1), 147-168.
- Prabowo, B., Mi Yan, Syamsiro, M., Setyobudi, R.H., & Biddinika, M.K. (2017). State of the art of global dimethyl ether production and it's potential application in Indonesia. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences* 54 (1): 29–39.
- Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) ESDM. (2016). *Handbook of energy and economic statistics of Indonesia 2016*.
- Takeishi, K. (2016). Dimethyl ether (DME): a clean fuel/energy for the 21st century and the low carbon society. *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 10, 238 -242.
- Uzun, H., Yildiz, Z., Goldfar, J. L., & Ceylan, S. (2017). Improved prediction of higher heating value of biomass using an artificial neural network model based on proximate analysis. *Bioresource Technology*, 234, 122–130.
- Zuraya, N. (2019, 19 September). *Pertamina-Bukit Asam akan bangun pabrik gasifikasi batu bara*. Diakses dari <https://www.republika.co.id/berita/ekonomi/migas/19/01/16/plf89c383-pertaminabukit-asam-akan-bangun-pabrik-gasifikasi-batu-bara>.