

## PENGUJIAN AWAL KETAHANAN KARET ALAM VULKANISAT TERHADAP DIMETIL ETER

Tuti Indah Sari<sup>1</sup>, Asep Handaya Saputra<sup>2</sup>, Adi Cifriadi<sup>3</sup>,  
Dadi R. Maspanger<sup>4</sup>, Setijo Bismo<sup>5</sup>

<sup>15</sup>Jurusan Teknik Kimia FT-UI, Kampus Depok, 16424

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia FT-Unsri, Kampus Indralaya

<sup>34</sup>Pusat Penelitian Karet, Jl. Salak 16151 Bogor

Email: tuti.indah@ui.ac.id

### ABSTRAK

Pengujian ketahanan karet terhadap dimetil eter (DME) dilakukan dengan perendaman karet dalam DME fase cair. Data yang dihasilkan dari perendaman ini adalah data *swelling* yang diperlukan sebagai salah satu pengujian fisik standar produk karet. Eksperimen ini bertujuan untuk melakukan pengujian awal terhadap peralatan yang digunakan untuk merendam karet dengan DME dalam fase cair. Keberhasilan pengubahan fase DME dari gas ke cairan adalah kunci utama dalam keberhasilan perendaman karet dalam DME cair. Regulator berfungsi sebagai alat pengatur dan menstabilkan tekanan gas yang keluar dari tabung. Kehadiran regulator penting dalam pengamanan kerja, namun kehadiran regulator sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pengubahan fase DME dari gas ke cairan. Kehadiran regulator akan mengurangi tekanan gas dari tabung, sehingga menghasilkan keseimbangan aliran DME dan konversi fase tidak sempurna. Tekanan gas dari regulator hampir sama pada *vessel*, sehingga terjadi keseimbangan aliran gas dan cairan DME yang sedikit. Ketika percobaan dilakukan tanpa regulator, tekanan menjadi lebih tinggi, dan konversi dari gas ke fase cair berlangsung sempurna. Hasil ini ditunjukkan oleh peningkatan berat dan volume DME pada *vessel* sebesar 98,47%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sampel karet direndam sempurna. Pembuktian juga diamati dalam data *swelling* karet yang mengalami peningkatan pada kisaran 80 – 90%. Jika dibandingkan dengan data *swelling* tanpa regulator jauh lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan regulator.

**Kata kunci:** dimetil eter, regulator, *swelling*

### ABSTRACT

*The measurement of rubber resistance to dimethyl ether (DME) has done by immersing the rubber in a liquid phase DME. The data of swelling at those results is required as one of the standard physical testing of rubber products. This experiment aims to conduct initial testing of the equipment used to soak the rubber with DME in the liquid phase. The success of the DME phase conversion of gas to liquid is a key element in the success of the rubber immersion in DME. The function of the regulator are regulating and stabilizing the pressure of gas out of tube. The presence of regulator is an important in process safety, it is very influential on the success of the DME phase conversion of gas to liquids. The presence of the regulator will reduce the pressure of gas from the tube, therefore the equilibrium of the DME flow has occurred and phase conversion is not perfect. When the experiments were conducted without the regulator, the pressure becomes higher, and the conversion from gas to liquid phase is complete. These results demonstrated by the increase in the weight and volume of DME to the vessel by 98.47%. It was also proved in the data of swelling rubber has increased in the range of 80 – 90%. The data of swelling without regulator is much larger than using a regulator.*

**Keywords:** dimethyl ether, regulator, *swelling*

## PENDAHULUAN

Pengujian ketahanan karet pada minyak atau gas yang dilakukan dengan perendaman disebut juga dengan istilah uji *swelling*. Uji *swelling* pada minyak dilakukan dengan merendam karet pada minyak selama waktu yang ditentukan sesuai dengan standar uji produk yang dibutuhkan. Uji *swelling* pada gas seperti LPG juga dilakukan dengan menggunakan larutan standar n-pentana menurut SNI (BSN, 2010). Penggunaan n-pentana sebagai cairan untuk standar ketahanan karet pada LPG didasarkan pada kemiripan parameter solubilitas larutan dengan LPG. Untuk pengujian *swelling* karet pada dimetil eter (DME) sampai saat ini belum ada larutan standar pengganti yang digunakan untuk pengujian. DME berwujud gas pada temperatur dan tekanan normal, tetapi akan berubah menjadi cair bila ditekan atau didinginkan. Secara teori DME yang mempunyai titik didih  $-25,1^{\circ}\text{C}$  dan tekanan uap 0,6 MPa pada suhu kamar, sangat mudah dalam proses pencairannya (Ohno, 2001).

Potensi DME sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak diesel, karena memiliki kandungan oksigen tinggi, atomisasi cepat, *boiling point* rendah dan *cetane number* 55 – 60, dibandingkan dengan minyak diesel yang hanya 40–55 serta menurunkan tingkat kebisingan suara mesin diesel (Arcoumanis, Bae, Crookes, & Kinoshita, 2008). Dengan tingginya *cetane number* maka DME juga ideal sebagai mesin Compression Ignition (CI) (Huang, Qiao, Zhang, Wu, & Zhang, 2009). Dimetil eter memiliki formula kimia  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ , pada suhu kamar berwujud gas yang tidak berbau, tidak berwarna, tidak beracun dan ramah lingkungan.

Potensi DME sebagai cairan yang sangat baik dalam melarutkan beberapa *elastomer* karena sifatnya yang sangat sedikit polar (mendekati non polar) dan tidak ada kepala polar dari struktur molekulnya. Sifat ini yang membuat kesulitan membuat peralatan yang terbuat dari karet yang akan digunakan untuk produk yang akan bersentuhan dengan DME. DME dengan persentase 20% menimbulkan efek korosi pada produk seal dan menyebabkan kebocoran (G. B. Li & L.-B. Zhou, 2008). DME adalah pelarut yang kuat, sehingga dapat melarutkan senyawa plasticizer, salah satu bahan penyusun karet vulkanisat, sehingga dapat merusak ketahanan

retak dan menyebabkan putusnya segel pada kabel (N. Wu, Zhang, & Huang, 2008).

Pengujian *swelling* diperlukan sebagai salah satu pengujian secara fisik standar produk karet. Uji *swelling* sampel karet dalam cairan bertujuan untuk menentukan apakah besar dan berat karet vulkanisat bertambah jika direndam dalam suatu cairan. Semakin besar nilai *swelling*, kualitas karet semakin rendah karena semakin besar *swelling* dapat mengakibatkan karet atau senyawa-senyawa pendukung kompon karet akan terlarut. Definisi *swelling* secara umum adalah terjadinya peningkatan volume setelah bahan mengalami absorpsi karena direndam atau bersentuhan dengan cairan. Terjadinya absorpsi pada karet dapat disebabkan oleh kesamaan polar/non polar dan parameter kelarutan antara karet dan media proses yang bersentuhan dengan karet. Karet yang mengalami vulkanisasi atau terjadi *crosslink* mampu mengalami peningkatan volume beberapa kali lipat dengan menyerap sejumlah besar pelarut. Jaringan polimer yang membesar disebabkan oleh adanya rongga-rongga jaringan *crosslink*. Isi jaringan karet disebut "fraksi gel", dan fraksi *loose makromolekul* (makromolekul sol) disebut "fraksi sol". Ketika terjadi difusi dengan pelarut, fraksi sol juga cenderung membesar dan selama waktu terjadinya difusi fraksi sol akan terlarut dan akan mengubah seluruh struktur dalam karet (Nandi & Winter, 2005). Penyerapan (absorpsi) berlangsung *irreversibel* (searah) dan dapat memberikan peningkatan volume, dan kenaikan temperatur akan meningkatkan kecepatan absorpsi (Fagerland, 2011). Adanya *crosslink* dalam karet mencegah polimer dari pelarutan, namun adanya jaringan (*network*) dari *crosslink* akan memperluas ruang yang tersedia untuk terjadinya *swelling* (pembesaran massa).

Penggunaan regulator pada tabung gas bertujuan sebagai pengaman pada proses pengaliran gas. Regulator adalah alat pengatur tekanan yang berfungsi sebagai penyalur dan mengatur serta menstabilkan tekanan gas yang keluar dari tabung supaya aliran gas menjadi konstan. Regulator gas LPG berfungsi sebagai katup penutup aliran gas yang ditempatkan pada kepala tabung gas. Pada kompor gas rumah tangga, adanya regulator gas pada tabung berguna untuk mengamankan aliran gas dari tabung ke kompor gas. Hanya

penggunaannya dalam penelitian ini mempengaruhi tekanan yang keluar dari tabung sehingga mempengaruhi proses pencairan DME.

Penelitian yang dilakukan ini adalah eksperimen uji coba perendaman karet alam vulkanisat dalam DME cair. Faktor keberhasilan terletak pada ada tidaknya regulator yang digunakan pada proses pengaliran dan perubahan fase DME ke dalam *vessel*. Karet alam vulkanisat digunakan sebagai sampel yang divariasikan dalam eksperimen ini. Indikator keberhasilan proses perendaman karet adalah berat dan volume

DME yang diharapkan serta nilai swelling karet yang terjadi setelah periode waktu perendaman yang ditentukan.

#### METODOLOGI PENELITIAN

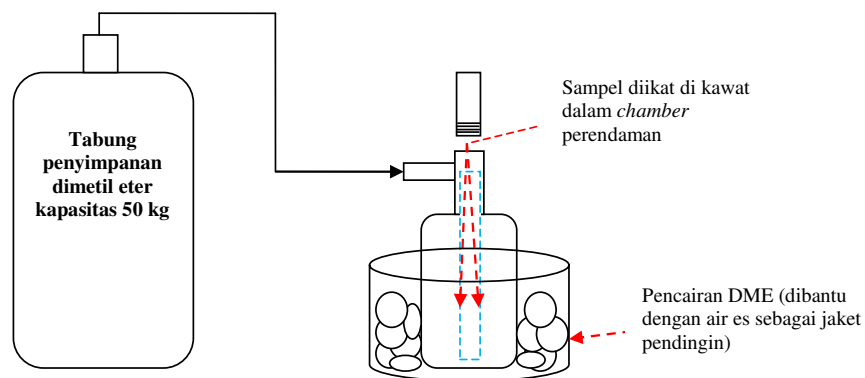
**Material.** Bahan yang digunakan adalah karet vulkanisat dengan proses vulkanisasi pada temperatur 150 °C dengan formula tercantum di Tabel 1 berikut. Karet alam adalah SIR10 berasal dari Sumatera Selatan. Sampel karet vulkanisat yang dibuat dalam potongan dumbell, untuk pengujian perendaman dan sifat mekanis karet. Dimetil eter yang dibeli dari PT. Bumi Tanggerang, Banten.

Tabel 1. Formula dan Bahan Vulkanisasi (Saputra et al., 2016).

Formula dan bahan vulkanisat		phr
Karet	Karet alam	100
Aktivator	Zinc oxide (ZnO)	5
Aktivator	Asam stearat	2
Akselerator	2-Mercaptobenzothiazole (MBT)	1,8
Vulkanisator	Sulfur	2,4

**Peralatan.** Peralatan yang digunakan untuk merendam karet adalah *vessel* stainless stell 304 dengan tinggi 14,5 cm, diameter 10,8 cm dan volume 1,3 L. Tabung penyimpanan DME berisi DME 50 kg dilengkapi selang yang

dihubungkan ke *vessel*. Regulator jenis high pressure. Perancangan alat untuk pengujian perendaman ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Ilustrasi perendaman sampel karet dalam DME

**Preparasi dan Tahapan Pelaksanaan Perendaman.** Sampel karet vulkanisat berbentuk dumbell dengan lebar  $\pm 1$  cm, tebal  $\pm 2$  mm dan panjang  $\pm 6$  cm, ditimbang pada neraca analitis dengan perulangan 3 kali. *Vessel* sebagai tabung untuk merendam sampel karet ditimbang pada kondisi kosong terlebih dahulu. Sampel dikaitkan pada kawat baja,

kemudian dimasukkan ke dalam *vessel* dengan cara ditegakkan menurut panjang sampel. *Vessel* telah didinginkan terlebih dahulu sampai suhu  $\pm 3^\circ\text{C}$  dan juga lingkungan di sekitar *vessel* diatur agar temperatur  $\pm 3^\circ\text{C}$ . DME dari tabung penyimpanan dengan tekanan  $\pm 6 - 7$  bar dialirkan ke *vessel*. *Vessel* yang telah diisi DME kemudian dilakukan

penimbangan akhir. Perendaman dilakukan selama 7 hari berdasarkan pengujian untuk standar *seal* (BSN, 2010), setelah itu sampel karet vulkanisat dikeluarkan dari tabung dan ditimbang beratnya. Dilakukan perbandingan proses perendaman dengan dan tanpa regulator pada tabung penyimpanan.

Pengukuran *swelling* secara sederhana dilakukan dengan perendaman sampel dalam hidrokarbon, minyak, atau bahan bakar cair jenis biodiesel, etanol, dimetil eter dan lain-lain pada temperatur kamar dengan variasi waktu perendaman. Persentase perubahan massa dan volume dihitung menggunakan hubungan sebagai berikut (Mousa, Ishiaku, & Mohd Ishak, 2005); (G. Li & L. Zhou, 2008); (N. Wu et al., 2008); (Balachandran Nair, Kurian, & Joseph, 2012); (Chai, Andriyana, Verron, & Johan, 2013); (Hinchiranan, Wannako, Paosawatyanyong, &

Prasassarakich, 2013); (Maciel, Machado, & Pasa, 2013):

$$\%Swelling \text{ massa} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perendaman sampel karet dalam DME dilakukan dengan melakukan pengaliran DME dari tabung penyimpanan ke *vessel*. Untuk merendam karet dalam DME cair perlu dilakukan perubahan fase DME dari fase gas ke fase cair. Perubahan fase dilakukan berdasarkan eksperimen yang dilakukan Wu, pada Tabel 2 (J. Wu & Yin, 2008) di bawah ini dapat ditunjukkan bahwa dengan sedikit pendinginan maka DME akan berubah fase menjadi cairan.

Tabel 2. Data Eksperimen Tekanan Uap Dimetil Eter

T/K	P/kPa	T/K	P/kPa	T/K	P/kPa
213,08	16,46	278,17	316,12	333,17	1449,22
218,11	22,24	283,16	372,90	338,17	1621,53
223,15	29,61	288,13	436,69	343,16	1809,11
228,06	38,64	293,17	509,01	348,16	2012,44
233,09	49,96	298,08	588,17	353,16	2232,34
238,11	63,84	298,78	600,51	358,16	2468,87
243,07	80,36	303,15	679,68	363,16	2723,27
248,12	100,43	303,78	691,56	368,14	2996,38
253,13	124,09	308,13	778,92	373,14	3291,17
258,14	152,40	313,17	889,98	378,15	3608,63
263,13	184,96	318,16	1011,55	383,15	3948,62
268,13	222,70	323,17	1144,73	388,16	4313,91
273,17	266,50	328,16	1290,23	393,16	4706,18

### Perendaman Karet dalam DME dengan Regulator pada Tabung Penyimpanan

Pengaliran DME disertai dengan perubahan fase dilakukan pada temperatur sekitar  $\pm 3$  °C. Dari data di atas di ambil korelasi dari interpolasi 2 data 273,17 K dan 278,17 K, maka untuk temperatur  $\pm 3$  °C atau 276,17 K didapat tekanan uap DME 295,91 kPa. Gas DME yang dialirkan dari tabung 50 kg yang bertekanan 6 – 7 bar (600 – 700 kPa) pada temperatur kamar, sehingga ketika dialirkan ke

*vessel* yang telah didinginkan maka DME seharusnya berubah fase menjadi cair. Temperatur *vessel* diasumsi sama dengan temperatur sekeliling (air es)  $\pm 3$  °C atau 276,17 K. Namun penggunaan regulator akan menurunkan tekanan DME dari tabung menjadi maksimal 2 bar atau 200 kPa, sehingga pada kondisi ini tidak terlalu banyak DME yang dapat berubah fase. Data-data ditunjukkan pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3.** Data massa dan ketinggian DME di dalam *vessel* dengan menggunakan regulator pada tabung penyimpanan

Waktu alir (jam)	Massa DME (g)	Volume DME (ml)	Prakiraan ketinggian DME cair dalam <i>vessel</i> (cm)
1	20	27,211	0,297
1	5	6,803	0,074
1	10	13,605	0,148
1	5	6,803	0,074
1	15	20,408	0,223
1	15	20,408	0,223
1	10	13,605	0,148
Rata-rata	11,43	15,55	0,170

**Tabel 4.** Data nilai swelling (%) dengan ketinggian DME cair rata-rata menurut Tabel 3.

Nama Sampel	Sampel sebelum perendaman-a (g)			Sampel setelah perendaman-b (g)			Nilai Median a (g)	Nilai Median b (g)	Nilai Swelling (%)
	3 kali perulangan			3 kali perulangan					
	1	2	3	1	2	3			
A	1,089	1,064	1,211	1,195	1,168	1,315	1,089	1,195	8,87
B	1,185	1,290	1,157	1,206	1,302	1,167	1,185	1,206	1,77
C	1,210	1,345	1,218	1,236	1,373	1,250	1,218	1,250	2,58
D	1,315	1,533	1,376	1,324	1,544	1,387	1,376	1,387	0,79
E	1,099	1,001	0,930	1,114	1,013	0,945	1,001	1,013	1,18
F	1,445	1,314	1,669	1,467	1,336	1,695	1,445	1,467	1,47
G	1,223	1,011	0,925	1,250	1,033	0,948	1,011	1,033	2,11

Pada Tabel 3, ditunjukkan data massa dan ketinggian DME dalam *vessel* dengan menggunakan regulator. Terlihat pada tabel bahwa massa DME paling besar hanya 20 gram, dan ketinggian DME cair dalam *vessel* paling tinggi hanya 0,297 cm. Dibandingkan dengan ukuran sampel yang mempunyai ketinggian 6 cm, volume DME tersebut tidak mencukupi untuk merendam sampel. Hal ini dibuktikan dengan hasil perendaman sampel setelah 7 hari. Jika dibandingkan Tabel 4 dan 6, terdapat perbedaan yang cukup signifikan dari nilai *swelling* yang diperoleh setelah perendaman.

#### Perendaman Karet dalam DME tanpa Regulator pada Tabung Penyimpanan

Pada pengaliran DME tanpa regulator di tabung penyimpanan menyebabkan DME dengan tekanan tinggi yaitu 600 – 700 kPa langsung dialirkan menuju ke *vessel* pada temperatur  $\pm 3$  °C. Kondisi tekanan dan

temperatur tersebut cukup untuk membuat perubahan fase yang signifikan sehingga dalam waktu 1 jam pengaliran, berat *vessel* tercapai untuk merendam sampel karet. Data-data ditunjukkan pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 memperlihatkan data massa dan ketinggian DME dalam *vessel* tanpa menggunakan regulator pada saat mengalirkan DME. Selama satu jam *vessel* berisi DME rata-rata sebesar 747 g dengan ketinggian rata-rata 11,09 cm. Hal ini menunjukkan bahwa sampel dapat seluruhnya terendam dengan baik dalam *vessel*. Terlihat pada Tabel 6, pada proses perendaman DME dengan dan tanpa regulator menunjukkan perbedaan nilai *swelling* yang cukup signifikan. Proses dengan menggunakan regulator mempunyai nilai *swelling* yang hampir sama. Proses tanpa regulator menunjukkan nilai *swelling* yang jauh lebih tinggi, hal ini menunjukkan peristiwa *swelling* yang sempurna.

Tabel 5. Data massa gas dan ketinggian DME di dalam *vessel* tanpa regulator pada tabung penyimpanan

Waktu alir (jam)	Massa Gas (g)	Volume Gas (ml)	Prakiraan ketinggian DME cair di <i>vessel</i> (cm)
1	765	1040,82	11,36
1	784	1066,67	11,64
1	855	1163,27	12,69
1	630	857,14	9,35
1	680	925,17	10,10
1	790	1074,83	11,73
1	725	986,40	10,76
Rata-rata	747	1016,33	11,09

Tabel 6. Data Nilai swelling (%) dengan ketinggian DME cair rata-rata menurut Tabel 5.

Nama Sampel	Sampel sebelum perendaman-a (g)			Sampel setelah perendaman-b (g)			Nilai Median a (g)	Nilai Median b (g)	Nilai Swelling (%)
	3 kali perulangan			3 kali perulangan					
	1	2	3	1	2	3			
A	1,057	1,706	1,309	2,154	1,050	1,636	1,057	1,706	61,32
B	1,295	1,168	1,181	1,605	1,416	1,410	1,181	1,416	19,91
C	1,237	1,515	1,153	1,384	1,147	1,359	1,153	1,384	20,01
D	1,175	1,383	1,258	1,210	1,476	1,317	1,258	1,317	4,62
E	1,398	1,652	1,448	1,730	1,683	2,063	1,448	1,730	19,52
F	1,623	2,014	1,439	1,740	1,440	1,734	1,440	1,740	20,81
G	1,108	1,264	1,193	1,391	1,095	1,223	1,108	1,264	14,05

## KESIMPULAN

Penggunaan regulator akan menurunkan tekanan DME sehingga proses pengaliran disertai dengan perubahan fase tidak akan berhasil dengan baik. Kondisi tekanan yang keluar dari regulator hampir sama dengan tekanan pada tabung sehingga terjadi kesetimbangan pada aliran dan fase hanya berubah sedikit. Ketika regulator dilepas, tekanan menjadi jauh lebih tinggi, dan perubahan fase berlangsung sempurna. Hal ini ditunjukkan pada berat *vessel* yang bertambah dan volume *vessel* yang mencukupi untuk merendam sampel karet dengan sempurna. Hal ini dibuktikan dengan nilai *swelling* karet.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Dirjen Kemenristekdikti yang telah memberikan kesempatan penelitian dalam Hibah Kompetensi 2016. Ucapan terimakasih juga ditujukan kepada Laboratorium

Intensifikasi dan Proses Departemen Teknik Kimia UI dan Pusat Penelitian Karet Bogor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arcoumanis, Constantine, Bae, Choongsik, Crookes, Roy, & Kinoshita, Eiji. (2008). The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review. *Fuel*, 87(7), 1014-1030. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2007.06.007>
- Balachandran Nair, Ajalesh, Kurian, Philip, & Joseph, Rani. (2012). Ethylene-propylene-diene terpolymer/hexa fluoropropylene-vinylidene fluoride dipolymer rubber blends: Thermal and mechanical properties. *Materials & Design*, 36(0), 767-778. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2011.11.062>
- BSN, Badan Standarisasi Nasional. (2010). Karet perapat (rubber seal) pada katup LPG (Vol. SNI 7655:2010, pp. 16).

- Indonesia: Badan Standarisasi Nasional
- Chai, A. B., Andriyana, A., Verron, E., & Johan, M. R. (2013). Mechanical characteristics of swollen elastomers under cyclic loading. *Materials & Design*, 44(0), 566-572. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2012.08.027>
- Fagerland, Jenny. (2011). *Identification of Swelling cause on Rubber Gaskets*. KTH.
- Hinchiranan, N., Wannako, P., Paosawatyanong, B., & Prasassarakich, P. (2013). 2,2,2-Trifluoroethyl methacrylate-graft-natural rubber: Synthesis and application as compatibilizer in natural rubber/fluoroelastomer blends. *Materials Chemistry and Physics*, 139(2-3), 689-698. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2013.02.019>
- Huang, Zhen, Qiao, Xinqi, Zhang, Wugao, Wu, Junhua, & Zhang, Junjun. (2009). Dimethyl ether as alternative fuel for CI engine and vehicle. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 3(1), 99-108. doi: 10.1007/s11708-009-0013-1
- Li, G B, & Zhou, L-B. (2008). Experimental research on the resistance of rubber materials to dimethyl ether. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 222(6), 975-978. doi: 10.1243/09544070jauto758
- Li, GB, & Zhou, LB. (2008). Experimental research on the resistance of rubber materials to dimethyl ether. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 222(6), 975-978.
- Maciel, Adriana Veloso, Machado, José Caetano, & Pasa, Vânia Márcia Duarte. (2013). The effect of temperature on the properties of the NBR/PVC blend exposed to ethanol fuel and different gasolines. *Fuel*, 113(0), 679-689. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.05.101>
- Mousa, Ahmad, Ishiaku, U. S., & Mohd Ishak, Z. A. (2005). Oil Resistance of Dynamically Vulcanized Poly(Vinyl Chloride)/Nitrile Butadiene Rubber Thermoplastic Elastomers. *Polymer Bulletin*, 53(3), 203-212. doi: 10.1007/s00289-004-0325-6
- Nandi, Souvik, & Winter, H. Henning. (2005). Swelling Behavior of Partially Cross-Linked Polymers: A Ternary System. *Macromolecules*, 38(10), 4447-4455. doi: 10.1021/ma048335e
- Ohno, O. (2001). *A new DME production technology and operation results*. Paper presented at the 4th Doha Conference on Natural Gas.
- Saputra, Asep Handaya, Johan, Sari, Tuti Indah, Cifriadi, Adi, Maspanger, Dadi R, & Bismo, Setijo. (2016). DEGRADATION CHARACTERISTICS OF VULCANIZED NATURAL RUBBER BY DIMETHYL ETHER THROUGH FILLER AND PLASTICIZER COMPOSITION VARIATIONS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF TECHNOLOGY*, 7(4), 616-624.
- Wu, Jiangtao, & Yin, Jianguo. (2008). Vapor Pressure Measurements of Dimethyl Ether from (213 to 393) K. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 53(9), 2247-2249. doi: 10.1021/jc800375t
- Wu, Ning, Zhang, Wugao, & Huang, Zhen. (2008). Impact of dimethyl ether on engine seal materials. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 2(3), 279-284. doi: 10.1007/s11708-008-0042-1