

UJI STABILITAS BAHAN POLYDIMETHYLSILOXANE

SONI SETIADJI^{1,2,*}, EKO SUMIYANTO¹, PUTRI DWI JAYANTI SEPRINANDAR³, HUSNA FARIDA³,
FITRILAWATI³, NORMAN SYAKIR³ DAN RISDIANA³

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Jl. A.H. Nasution
No.105 Cibiru, Bandung 40614

²Program Doktor, Ilmu Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran Jl. Raya
Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

³Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-
Sumedang Km 21, Jatinangor 45363

Abstrak. Polydimethylsiloxane (PDMS) merupakan polimer yang sering digunakan dalam bedah vitreoretina sebagai cairan pengganti *vitreous humour* pada mata. PDMS dengan tiga nilai viskositas yaitu 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s, dan 3,00 Pa.s telah berhasil di sintesis melalui polimerisasi pembukaan cincin. Dalam penelitian ini, telah dilakukan uji kestabilan sifat-sifat bahan PDMS seperti uji viskositas, transmitansi, indeks bias, tegangan permukaan dan gugus fungsi setelah disimpan selama 90 hari pada suhu ruang untuk menguji stabilitas bahan PDMS. Pada saat setelah sintesis, nilai transmitansi seluruh sampel sebesar 100 % dengan nilai indeks bias masing masing sebesar 1,4040, 1,4092 dan 1,4121 untuk sampel dengan viskositas 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s, dan 3,00 Pa.s. Untuk nilai tegangan permukaan, sampel dengan viskositas 1,07 Pa.s, memiliki nilai 19 mN/m, sedangkan untuk sampel dengan viskositas 1,69 Pa.s, dan 3,00 Pa.s. memiliki nilai tegangan permukaan masing-masing sebesar 19,7 mN/m dan 18 mN/m. Ketiga sampel PDMS memiliki serapan gugus fungsi yang menyerupai PDMS standar yaitu terdapat vibrasi ikatan Si-O-Si, Si-CH₃, Si-C dan C-H. Ketiga sampel PDMS tersebut tidak mengalami perubahan sifat fisis secara signifikan setelah disimpan selama 90 hari.

Kata kunci : *polydimethylsiloxane; polimerisasi pembukaan cincin; waktu simpan; uji stabilitas; cairan pengganti vitreous humour*

Abstract. Polydimethylsiloxane (PDMS) is often used for vitreoretinal surgery as a vitreous humour substitutes in the human eye. PDMS samples have been successfully synthesized through ring-opening polymerization with different the viscosity values i.e. 1.07 Pa.s, 1.69 Pa.s, and 3.00 Pa.s. In this study, PDMS properties such as viscosity, transmittance, refractive index, surface tension and functional groups were measured after being stored for 90 days at room temperature to observe changes the properties of PDMS. After synthesis, transmittance value of all PDMS samples is 100% with refractive index values of 1.4040, 1.4092 and 1.4121 for samples with viscosity of 1.07 Pa.s, 1.69 Pa.s, and 3.00 Pa, respectively. Surface tension values, for samples with the viscosity 1.07 Pa.s is 19 m.N/ m, while for samples with the viscosity 1.69 Pa.s and 3.00 Pa.s are 19.7 mN/m and 18 mN/m, respectively. All PDMS samples have functional group of absorption peaks that resembles the standard PDMS which are vibration of Si-O-Si, Si-CH₃, Si-C and C-H. The three PDMS samples did not significantly change the physical properties after being stored for 90 days.

Keywords: *polydimethylsiloxane; ring-opening polymerization; stored time; stability test; vitreous humour substitution liquid*

1. Pendahuluan

Di Indonesia pasien yang menjalani bedah vitreoretina setiap tahunnya terus meningkat. Bedah vitreoretina merupakan tindakan operasi yang berhubungan dengan organ mata manusia. Salah satu teknik pembedahan dalam bedah vitreoretina adalah vitrektomi pars plana yang digunakan oleh para dokter mata untuk memperbaiki lepasnya retina di dalam bola mata [1][2]. Lepasnya retina di dalam bola mata dapat menyebabkan terjadinya gangguan penglihatan yang sangat serius.

*email : s.setiadji@uinsgd.ac.id

Polydimethylsiloxane (PDMS) atau umumnya dikenal dengan nama *silicone oil* adalah cairan buatan yang berfungsi sebagai bahan pengganti *vitreous humour* (agen tamponade) dan menjadi sangat penting untuk keperluan bedah vitreoretina [3]. PDMS komersil yang umum digunakan pada bedah vitreoretina dapat dibedakan berdasarkan viskositasnya, yaitu PDMS dengan viskositas 1.000 cSt, 1.300 cSt, 5.000 cSt, 5.500 cSt, 2.000 mPa.s dan 5.000 mPa.s.

Mahalnya harga dan keterbatasan sifat dari PDMS membatasi hanya sebagian kecil pasien di Indonesia yang dapat menjalani bedah vitreoretina. PDMS dianggap mempunyai karakteristik kimia yang stabil di dalam sistem hidup karena sifat intrinsiknya, yaitu kestabilan termal dan tidak melekat pada jaringan tubuh. Akan tetapi, perubahan kimia dari rantai PDMS saat berada di dalam rongga mata manusia melalui hidrolisis terbukti secara teoritis memungkinkan [4]. Kemungkinan terjadinya perubahan atau penambahan gugus fungsi baru pada PDMS yang berada di dalam rongga mata serta emulsifikasi inilah yang menyebabkan cairan PDMS harus dilakukan pergantian secara rutin. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan uji stabilitas PDMS hasil sintesis terhadap waktu simpan, untuk mengamati perubahan sifat PDMS, yaitu viskositas, transparansi, tegangan permukaan, indeks bias dan gugus fungsi.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, sintesis *polydimethylsiloxane* (PDMS) dilakukan dengan metode polimerisasi pembukaan cincin (*ring-opening polymerization* (ROP)). Selanjutnya pada sampel PDMS tersebut dilakukan proses pemurnian dengan cara ekstraksi yaitu menambahkan PDMS dengan kloroform. Lalu pada campuran tersebut ditambahkan mili-q *water*. Setelah itu mili-q *water* dan kloroform dihilangkan dari sampel PDMS. Kemudian sampel PDMS hasil pemurnian di karakterisasi menggunakan UV-Vis spectrometer PG Instruments Ltd. model T+70, spektrometer FTIR Perkin Elmer Spectrum 100, refraktometer AS ONE I-500 (Brix 0 ~ 90%), surf gauge dan viskositas SEKONIK VISCOMATE model VM-10A-MH. Untuk sampel PDMS yang telah disimpan selama 90 hari dikarakterisasi menggunakan instrumen yang sama.

Sintesis Polydimethylsiloxane (PDMS)

Sintesis PDMS dilakukan dengan mencampurkan monomer senyawa siloksan siklik yaitu *octamethylcyclotetrasiloxane* (D4) kemurnian tinggi (Sigma Aldrich) dan *chain terminator hexamethyldisiloxane* (MM) (Sigma Aldrich) dengan perbandingan 26 : 10 dengan penambahan larutan KOH 20% dan dilakukan proses purifikasi. Seluruh proses purifikasi telah dijelaskan dengan lengkap pada purifikasi di penelitian sebelumnya [5, 6].

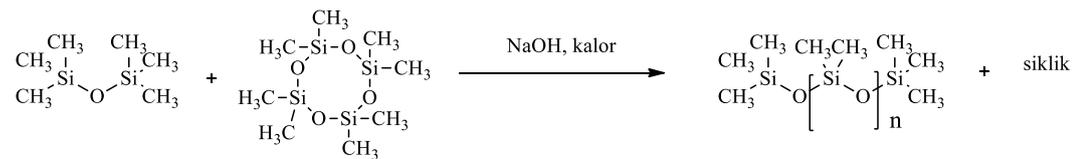
Karakterisasi Sampel PDMS

Sampel PDMS hasil pemurnian di karakterisasi menggunakan UV-Vis spectrometer PG Instruments Ltd. model T+70 untuk menentukan transparansi sampel PDMS pada daerah panjang gelombang ultraviolet hingga cahaya tampak (200-750 nm). Spektrometer FTIR Perkin Elmer Spectrum 100 untuk mengidentifikasi gugus fungsi gel PDMS, refraktometer AS ONE I-500 (Brix 0 ~ 90%) untuk menentukan indeks bias sampel PDMS, surf gauge untuk menentukan tegangan permukaan dan viskositas gel PDMS diukur menggunakan SEKONIK VISCOMATE model VM-10A-MH.

3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis Polydimethylsiloxane (PDMS)

Pada penelitian ini, PDMS disintesis dengan menggunakan metode *ring-opening polymerization* (ROP) dengan bantuan inisiator KOH, sehingga rantai siklik akan terputus pada suhu tinggi membentuk spesi linear yang satu sama lain akan berikatan membentuk polimer. Gambaran reaksi umum yang terjadi pada proses sintesis PDMS diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaksi pembentukan PDMS melalui metode *ring-opening polymerization*[7].

Beberapa jenis basa lainnya dapat digunakan sebagai inisiator atau katalis dalam reaksi tersebut, namun KOH dipilih sebagai inisiator karena mudah diperoleh, harganya relatif murah dan mudah untuk dipisahkan [8]. Selain itu, KOH juga dapat mempercepat proses polimerisasi D4 dengan *chain terminator hexamethyldisiloxane* (MM). Dari berbagai jenis *chain terminator*, MM dipilih untuk sintesis PDMS ini karena umumnya digunakan untuk aplikasi medis [7].

Gambar 2 adalah foto sampel PDMS hasil sintesis yang secara visual sudah tampak transparan dan kental. Namun tahap selanjutnya dilakukan purifikasi terhadap sampel PDMS tersebut.

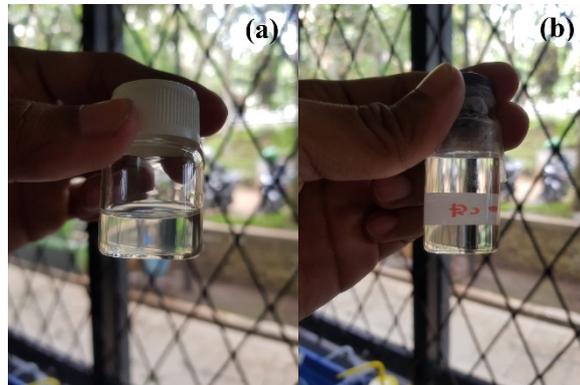


Gambar 2. Gel PDMS sebelum purifikasi

Purifikasi Polydimethylsiloxane (PDMS)

Sampel PDMS hasil polimerisasi kemudian di ekstraksi dengan cara mengencerkan gel menggunakan kloroform untuk melarutkan sisa prekursor. Kemudian ditambahkan mili-q *water* pada campuran untuk melarutkan dan memisahkan keberadaan KOH dalam sampel. Campuran didiamkan hingga gel dan mili-q *water* terpisah menjadi dua fasa [6].

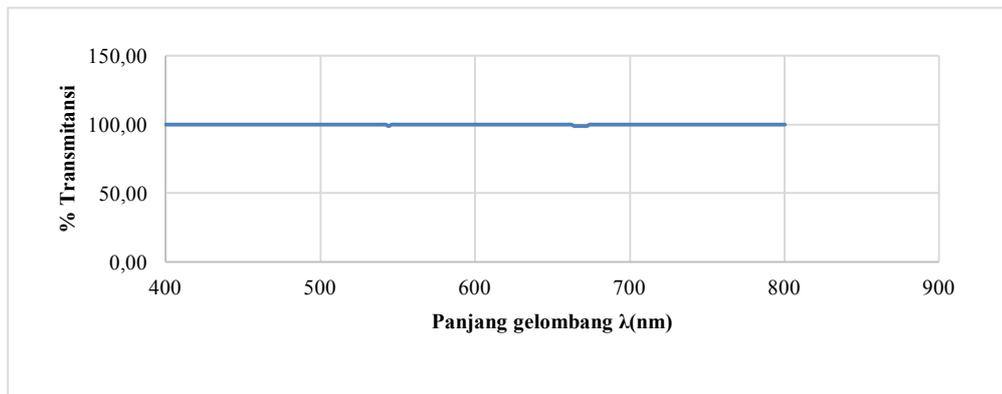
Mili-q *water* dipisahkan dari gel dan kemudian dicek pH nya. Jika pH mili-q *water* sudah mendekati 7 maka gel tersebut diuapkan untuk menghilangkan seluruh kloroform dalam gel. Mili-q *water* dengan pH 7 mengindikasikan bahwa keberadaan KOH telah terpisah dengan sampel polimer tersebut. Gel yang dihasilkan setelah proses purifikasi secara fisik tampak jernih (tidak keruh), tak berbau, kental dan berminyak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



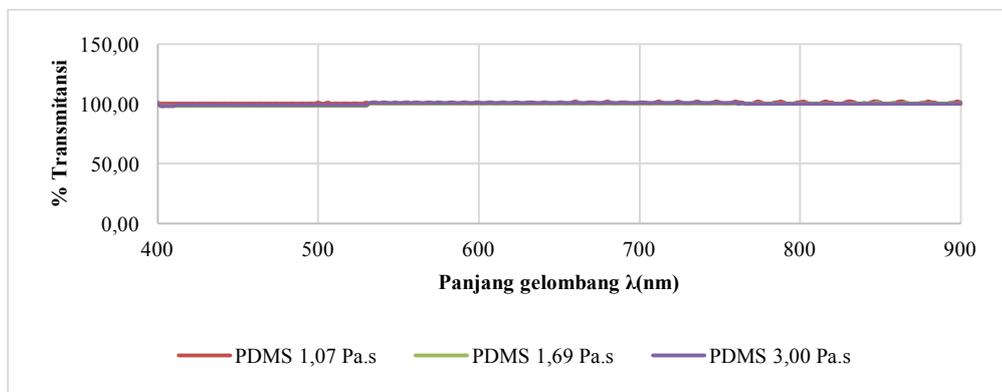
Gambar 3. Gel PDMS hasil sintesis (a) dan standar (b)

Karakterisasi UV-Vis

Hasil spektroskopi UV-Vis sampel PDMS dengan viskositas 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s, dan 3,00 Pa.s ditunjukkan oleh Gambar 5 dan Gambar 6 dengan masing-masing serapannya pada panjang gelombang 400-900 nm. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketiga sampel PDMS tidak mengabsorpsi cahaya tampak (*visible*). Nilai transmitansi ketiga sampel PDMS pada daerah *visible* hampir mendekati 100 %.

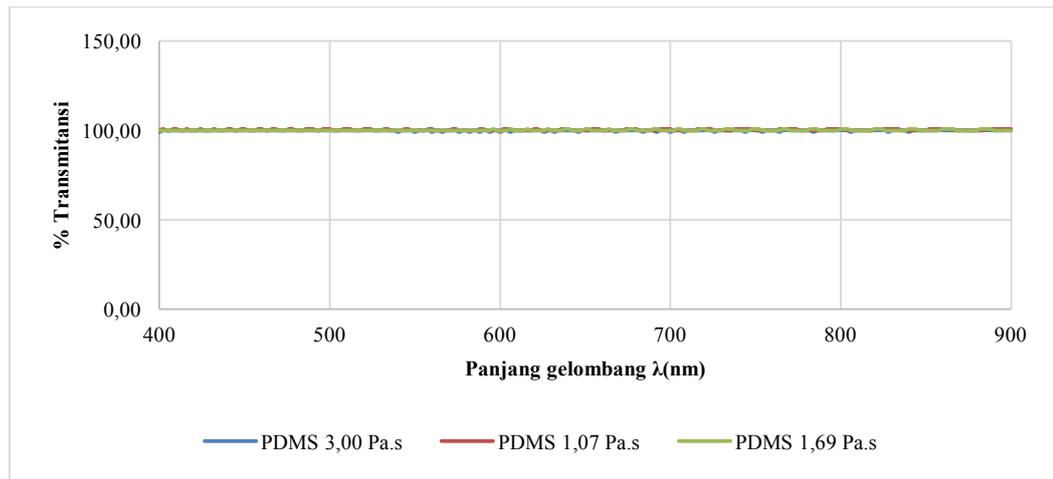


Gambar 4 Nilai transmitansi substrat tanpa PDMS



Gambar 5. Nilai transmitansi PDMS pada bulan pertama

Ketiga sampel PDMS memiliki sedikit perbedaan transmitansi akan tetapi tidak cukup signifikan. Pada sampel PDMS dengan viskositas 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s dan 3,00 Pa.s, tidak terjadi penurunan transmitansi setelah 90 hari disimpan. Hasil ini menunjukkan bahwa ketiga sampel PDMS relatif stabil terhadap waktu penyimpanan yang cukup lama. Karakteristik ideal yang harus dimiliki oleh senyawa pengganti *vitreous humour* yaitu transparan dan jernih yang menyerupai cairan *vitreous* asli, yaitu tidak menyerap dan komposisi yang hidrofobik [3, 9]



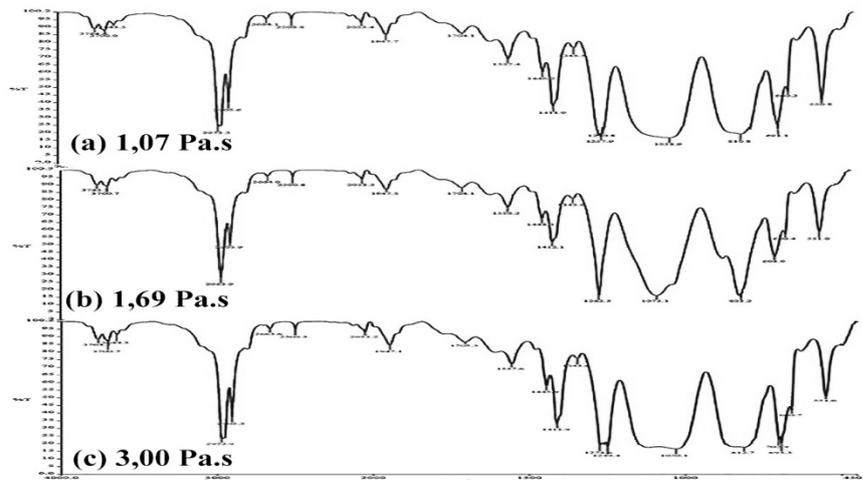
Gambar 6. Nilai transmitansi PDMS setelah di simpan 90 hari

Karakterisasi FTIR

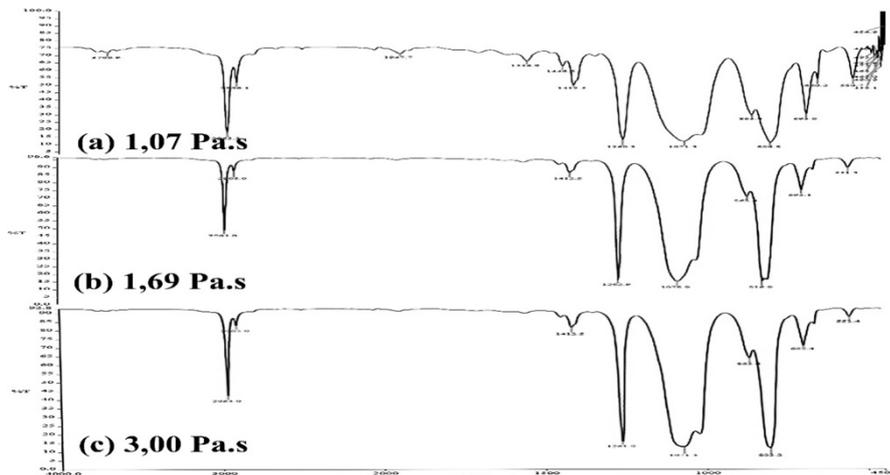
Pada Gambar 7 beberapa gugus fungsi pada ketiga sampel PDMS memiliki serapan pada $792 - 823,8 \text{ cm}^{-1}$ sebagai vibrasi regangan ikatan Si-C dan CH_3 , vibrasi regangan ikatan Si-O-Si yang merupakan serapan khas pada $1.022,8$ and $1.111,9 \text{ cm}^{-1}$, serapan pada daerah 1263 cm^{-1} mencirikan vibrasi deformasi simetrik ikatan CH_3 dari Si - CH_3 , vibrasi deformasi asimetrik ikatan CH_3 dari Si - CH_3 pada $1412,3 \text{ cm}^{-1}$ dan vibrasi regangan ikatan CH dari CH_3 pada $2.905,5$ dan $2.971,7 \text{ cm}^{-1}$ [6].

Spektra hasil karakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*) untuk sampel PDMS dengan viskositas 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s dan 3,00 Pa.s pada bulan pertama dan setelah 90 hari disimpan diperlihatkan pada Gambar 7. Berdasarkan nilai serapan dapat disimpulkan bahwa sampel yang telah disintesis merupakan PDMS yang telah terbebas dari pelarut kloroform yang digunakan pada saat proses purifikasi, karena tidak nampak adanya serapan C-Cl yang berada pada bilangan gelombang 760 cm^{-1} dan 1.216 cm^{-1} serapan khas di daerah sidik jari [9].

Pada gambar 7 dapat dilihat untuk ketiga sampel PDMS bahwa daerah serapan gugus O-H yang berkisar antara $2.700 - 3.800 \text{ cm}^{-1}$ tidak muncul sebagai suatu serapan yang kuat. Hal ini menunjukkan bahwa sampel PDMS hasil sintesis telah terbebas dari mili-q *water* yang digunakan pada saat proses purifikasi untuk menghilangkan KOH dari sampel PDMS tersebut. Pada umumnya ikatan hidrogen muncul sebagai suatu pita kuat yang lebar pada rentang bilangan gelombang $3.000 - 3.700 \text{ cm}^{-1}$, jika pita serapan ikatan hidrogen kurang intensif maka akan muncul sebagai suatu pita yang tidak terlalu kuat dan tajam [10].



(a)



(b)

Gambar 7. Spektra FTIR sampel PDMS (a) bulan pertama dan (b) setelah 90 hari penyimpanan

Pengukuran Indeks Bias

Hasil pengukuran indeks bias ketiga sampel PDMS ditunjukkan oleh Tabel 1. Pada bulan pertama indeks bias masing-masing sampel PDMS dengan viskositas 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s dan 3,00 Pa.s adalah 1,4040, 1,4092 dan 1,4121. Indeks bias tersebut lebih besar dari pada indeks bias cairan *vitreous humour* yaitu sekitar 1,3345 – 1,3348. Perbedaan nilai indeks bias dapat berdampak pada perubahan lintasan cahaya yang menuju retina. Perubahan lintasan cahaya ini dapat mengakibatkan mata yang awalnya normal menjadi rabun dekat karena adanya penambahan nilai dioptri [8,9]. Dengan mengetahui perubahan indeks bias yang terjadi pada PDMS maka akan mendapatkan informasi mengenai kualitas PDMS terhadap perubahan kemampuan akomodasi mata yang terjadi.

Tabel 1. Indeks bias sampel PDMS hasil sintesis

No.	Sampel (Pa.s)	Indeks bias PDMS		Faktor koreksi
		Bulan pertama	Setelah 90 hari	
1	1,07	1,4040	1,3989	±0,0003
2	1,69	1,4092	1,3989	±0,0003
3	3,00	1,4121	1,3997	±0,0003

Tabel 2. Nilai dioptri PDMS hasil sintesis

No.	Sampel (Pa.s)	Nilai dioptri PDMS sintesis (D)	
		Bulan pertama	Setelah 90 hari
1	1,07	+3,41055	+ 3,15919
2	1,69	+3,6668	+ 3,15919
3	3,00	+3,8098	+ 3,19862

Tabel 2 menunjukkan penambahan nilai dioptri dikarenakan terdapatnya perbedaan nilai indeks bias PDMS dengan nilai indeks bias *vitreous humour* normal. Penambahan nilai dioptri pada masing-masing sampel PDMS dengan viskositas 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s dan 3,00 Pa.s adalah +3,41055 D, +3,6668 D dan +3,8098 D. Dalam hal PDMS dengan viskositas 1,07 Pa.s didapatkan penambahan dioptri yang paling kecil yaitu +3,41055 D. Penambahan ini sesuai dengan hasil nilai indeks bias yang kecil. Secara umum, hasil penambahan nilai dioptri masih berada dalam rentang indeks bias hasil penelitian lain yaitu dalam rentang +3,0 D hingga +3,5 D [13].

Pengukuran Viskositas

Tabel 3. menunjukkan viskositas PDMS hasil sintesis dengan perubahan waktu sintesis. Berdasarkan tabel tersebut didapatkan suatu kecenderungan bahwa semakin lama waktu sintesis maka viskositas PDMS semakin besar. Suhu yang digunakan selama sintesis yaitu 170 °C dengan konsentrasi KOH yang sama. Lama ekstraksi sampel PDMS dan penguapan pelarut pada saat purifikasi akan mempengaruhi viskositas sampel PDMS, karena perlakuan pelarut dan suhu dapat mempengaruhi karakteristik fisis dan kimia PDMS.

Berdasarkan tabel 3. didapatkan juga suatu kecenderungan bahwa setelah melalui proses penyimpanan selama 90 hari, viskositas dari sampel PDMS cenderung mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan sampel PDMS dipengaruhi oleh kondisi suhu penyimpanan, misalnya sampel PDMS disimpan di dalam alat pendingin (~ 10 °C). Ketika suhu dibawah suhu kamar maka viskositas zat akan naik. Pendinginan senyawa akan menyebabkan molekul – molekul menjadi terhambat dalam bergerak sehingga interaksi antar molekul berkurang yang mengakibatkan jarak antar molekul menjadi lebih dekat sehingga viskositas zat akan naik [11].

Tabel 3. Viskositas PDMS hasil sintesis

No.	Sampel	D4:MM	Waktu sintesis (menit)	Viskositas (Pa.s)	
				bulan pertama	bulan ketiga
1	PDMS 1	26:10	35	1,07	1,09
2	PDMS 2	26:10	35	1,69	1,79
3	PDMS 3	26:10	40	3,00	3,05

Pengukuran Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan sampel PDMS terhadap perbedaan waktu sintesis diberikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Tegangan permukaan *polydimethylsiloxane* hasil sintesis

No.	Label	D4:MM	Viskositas (Pa.s)	Waktu sintesis (menit)	Tegangan permukaan (m.N/m)	
					bulan pertama	bulan ketiga
1	PDMS 1	26:10	1,07	35	19	20,3
2	PDMS 2	26:10	1,69	35	19,7	21
3	PDMS 3	26:10	3,00	40	18	21

Berdasarkan tabel 4 dapat dilihat suatu kecenderungan bahwa viskositas PDMS memberikan nilai tertentu terhadap tegangan permukaan. Viskositas PDMS memberikan perbedaan gaya interaksi tarik menarik antara molekul PDMS dengan gas atau cairan lain pada antar muka, sehingga semakin tinggi viskositas cenderung akan menyebabkan gas atau cairan lain tidak mudah masuk kedalam PDMS yang dapat menyebabkan PDMS mengalami emulsifikasi. Untuk kasus PDMS dengan viskositas 3,00 Pa.s yang memiliki tegangan permukaan lebih kecil hal ini disebabkan karena waktu pengukuran yang kurang lama sehingga PDMS belum naik sepenuhnya pada pipa surfauge yang memanfaatkan gaya kapilaritas.

Masalah utama yang melekat dalam penggunaan PDMS sebagai tamponade vitreous adalah terjadinya emulsifikasi. Emulsifikasi PDMS terjadi dengan adanya penurunan tegangan permukaan yang dimiliki. Emulsifikasi dapat menghasilkan tetesan minyak yang dapat menyebabkan glaukoma sekunder, keratopati dan gangguan secara subjektif bahkan setelah PDMS dibuang dari rongga *vitreous* [12]. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa PDMS dengan viskositas lebih rendah akan mengalami emulsifikasi lebih cepat dibandingkan dengan viskositas lebih tinggi karena pada umumnya memiliki tegangan permukaan yang lebih rendah[13].

Oleh karena itu umumnya PDMS dengan viskositas yang lebih tinggi memiliki kecenderungan lebih rendah untuk teremulsi karena memiliki tegangan permukaan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan PDMS yang memiliki viskositas yang lebih rendah, sehingga banyak dokter bedah mata lebih menyukai jenis PDMS ini, seperti 5000 cSt, terutama ketika PDMS yang dimaksudkan berfungsi sebagai tamponade berkepanjangan. Terlepas dari perbedaan viskositasnya, PDMS

1000cSt, 1300 cSt dan 5000cSt memiliki perilaku yang hampir sama, yaitu meskipun terdapat perbedaan viskositas yang nyata, PDMS 1000 cSt dan 5000 cSt memiliki tegangan permukaan yang hampir sama [13].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan nilai transmitansi seluruh sampel setelah sintesis ataupun setelah penyimpanan selama 90 hari hampir mendekati 100 % dengan nilai indeks bias masing masing sebesar 1,4040, 1,4092 dan 1,4121 untuk sampel dengan viskositas 1,07 Pa.s, 1,69 Pa.s, dan 3,00 Pa.s. Nilai tegangan permukaan sampel dengan viskositas 1,07 Pa.s memiliki nilai 19 mN/m, sedangkan untuk sampel dengan viskositas 1,69 Pa.s dan 3,00 Pa.s memiliki nilai tegangan permukaan masing-masing sebesar 19,7 mN/m dan 18 mN/m. Ketiga sampel PDMS memiliki serapan gugus fungsi yang menyerupai PDMS standar yaitu terdapat vibrasi ikatan Si–O–Si, Si–CH₃, Si–C dan C–H dan tidak ditemukan serapan gugus C – Cl yang mengindikasikan senyawa kloroform. Ketiga sampel PDMS tersebut tidak mengalami perubahan sifat fisis secara signifikan setelah disimpan selama 90 hari.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan untuk seluruh pihak yang telah membantu dalam penelitian mengenai “Uji Stabilitas Bahan *Polydimethylsiloxane*” dan pemberi dana untuk penelitian ini yaitu Kemenristek Dikti untuk Skema Penelitian Dasar dengan no. kontrak : 2830/UNG.D/LT/2019 terutama bagi rekan – rekan, dosen – dosen dan Prof. Risdiana yang telah membimbing dalam proses penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] J. B. Bussel, R. L. Berkowitz, J. G. McFarland, L. Lynch, and U. Chitkara, “The New England Journal of Medicine Downloaded from nejm.org at Penn State University on November 25, 2015. For personal use only. No other uses without permission. From the Nejm Archive. Copyright © 2010 Massachusetts Medical Society. All rights reserved,” *N Engl J Med*, vol. 319, no. 21, pp. 1374–1378, 2010.
- [2] P. A. Cibis, B. Becker, E. Okun, and S. Canaan, “The Use of Liquid Silicone in Retinal Detachment Surgery,” *Arch. Ophthalmol.*, vol. 68, no. 5, pp. 590–599, 1962.
- [3] O. Article and D. Khurram, “Outcome of Silicone Oil Removal in Eyes Undergoing 3-Port Parsplana Vitrectomy,” vol. 27, no. 1, pp. 17–20, 2011.
- [4] A. Caramoy, S. Schröder, S. Fauser, and B. Kirchhof, “In vitro emulsification assessment of new silicone oils,” *Br. J. Ophthalmol.*, vol. 94, no. 4, pp. 509–512, 2010.
- [5] S. Setiadji *et al.*, “Optimization of Polydimethylsiloxane Synthesized Parameters as Vitreous Humour Substitutes,” *Mater. Sci. Forum*, vol. 966, 2019.
- [6] A. Ardi, A. N. Fauza, N. Syakir, and A. S. Kartasmita, “Stabilitas Optik Polydimethylsiloxane (PDMS) Terhadap Paparan Sinar Ultraviolet,” vol. 08, no. 01, 2018.
- [7] P. M. Sormani, R. J. Minton, and J. E. McGrath, “Anionic Ring-Opening Polymerization of Octamethylcyclotetrasiloxane in the Presence of 1,3-Bis(aminopropyl)-1,1,3,3-tetramethyldisiloxane,” 1985.
- [8] G. Odian, *Ionic Chain Polymerization; In Principles of Polymerization*. Staten Island, New York: Wiley-Interscience, 2004.
- [9] A. Caramoy, N. Hagedorn, S. Fauser, W. Kugler, T. Groß, and B. Kirchhof, “Development of emulsification-resistant silicone oils: Can we go beyond 2000 mPas silicone oil?,” *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci.*, vol. 52, no. 8, pp. 5432–5436, 2011.
- [10] U. Supratman, *Elusidasi Struktur Senyawa Organik*. Bandung: Widya Padjajaran, 2010.
- [11] N. Juhantoro and I. M. Ariana, “Penentuan Properties Bahan Bakar Batubara Cair untuk

- Bahan Bakar Marine Diesel Engine,” vol. 1, no. 1, 2012.
- [12] T. Stapler, G. Morphis, C. Irigoyen, and H. Heimann, “Is there a role for long-term silicone oil tamponade for more than twelve months in vitreoretinal surgery?,” *Ophthalmologica*, vol. 226, no. SUPPL. 1, pp. 36–41, 2011.
- [13] F. Barca, T. Caporossi, and S. Rizzo, “Silicone oil: Different physical proprieties and clinical applications,” *Biomed Res. Int.*, vol. 2014, 2014.