

Pengaruh Temperatur Sintesis Terhadap Karakteristik *Polidimethylsiloxane*

Siti Nur Kholifiyah*, Anisa Tri Rahayu, Wiendartun, Waslaluddin

Prodi Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Pendidikan Indonesia

*Corresponding Author: snurkholifiyah@gmail.com

ABSTRAK

Dalam bidang medis, material *polydimethylsiloxane* (PDMS) memiliki peranan yang sangat penting. Dikarenakan sifat *polydimethylsiloxane* yang biokompatibilitas unggul, toksisitas rendah, oksidatif dan temperatur stabil. Selain itu PDMS juga bersifat tidak beracun sehingga aman digunakan untuk tubuh manusia. Salah satu penggunaannya adalah sebagai cairan pengganti vitreous humor. Untuk itu, diperlukan PDMS yang memiliki karakteristik menyerupai karakteristik vitreous humor. Pada penelitian ini, PDMS disintesis menggunakan teknik *ring-opening polymerization*. Temperatur sintesisnya divariasikan sebesar 140 °C, 150 °C, dan 170 °C. PDMS yang terbentuk dikarakterisasi menggunakan viskometer, refraktometer, tensiometer dan FTIR. Nilai viskositas masing-masing PDMS terukur sebesar 0,088 Pa.s, 0,332 Pa.s, dan 1,210 Pa.s. Untuk nilai indeks bias masing-masing PDMS diperoleh sebesar 1,4001, 1,4014, dan 1,4032. Adapun nilai tegangan permukaan masing-masing PDMS yang terukur adalah sebesar 21,5 mN/m, 21,8 mN/m, dan 22,0 mN/m. Ketiga data PDMS memiliki gugus fungsi serapan yang sama dengan PDMS standar, yaitu terdapat getaran deformasi CH₃ aromatik, ikatan Si-O-Si, Si-CH₃, Si-CH₃ dan kelompok metilen.

Kata kunci : Temperature, *Polydimethylsiloxane*, Teknik *Ring Opening Polymerization*

ABSTRACT

In the medical field, polydimethylsiloxane (PDMS) material has very important importance. Due to the superior biocompatibility, low toxicity, oxidative and temperature stable properties of polydimethylsiloxane. In addition, PDMS is also non-toxic so it is safe to use for the human body. One of its uses is as a vitreous fluid. For that, a PDMS is needed which contains humor. In this study, PDMS was synthesized using ring-opening polymerization technique. The synthesis temperature was varied by 140 0C, 150 0C, and 170 0C. The PDMS formed was characterized using a viscometer, refractometer, tensiometer and FTIR. The viscosity values of each measured PDMS were 0.088 Pa.s, 0.332 Pa.s, and 1,210 Pa.s. For the refractive index value of each PDMS, it was obtained 1.4001, 1.4014, and 1.4032. The measured surface tension values of each PDMS were 21.5 mN / m, 21.8 mN / m, and 22.0 mN / m. The third data PDMS has the same absorption functional group as the PDMS standard, namely there is a deformation vibration of CH₃ aromatic, Si-O-Si bonds, Si-CH₃, Si-CH₃ and methylene groups.

Keywords: Temperature, Polydimethylsiloxane, Ring Opening Polymerization Technique

1. Pendahuluan

Dalam pembuatan perangkat biomedis, material *polydimethylsiloxane* (PDMS) memiliki peranan yang sangat penting. Polydimethylsiloxane (PDMS) merupakan salah satu jenis polimer sintetik yang memiliki sifat berpori [1]. Beberapa keunggulan yang dimiliki *polydimethylsiloxane*, diantaranya adalah biokompatibilitas yang unggul, toksisitas rendah, oksidatif dan temperatur yang stabil [2]. Selain itu, *polydimethylsiloxane* memiliki sifat transparansi dan fleksibilitas [3].

Salah satu penggunaan PDMS di bidang medis adalah sebagai cairan pengganti vitreous humor. Vitreous humor adalah gel avaskuler yang terdiri dari fibril kolagen yang terletak diantara lensa dan retina. Penggantian cairan vitreous humor diperlukan untuk mengobati beberapa penyakit, seperti ablasi mata dan retinopati diabetik [4]. Ablasi mata merupakan peristiwa pelepasan vitreous humor akibat permukaan retina yang bersentuhan langsung dengan vitreous. Adanya pelepasan vitreous atau ablasi dapat menyebabkan kebutaan [5].

Polydimethylsiloxane dipilih karena memiliki sifat tidak berfluoresensi dan tidak beracun sehingga aman untuk tubuh [6]. Selain itu, *polydimethylsiloxane* juga memiliki risiko lebih rendah mengalami emulsifikasi [7].

Polimerisasi merupakan nama lain dari sintesis polimer, proses dimana monomer monomer dihubungkan untuk menghasilkan rantai panjang yang terdiri dari unit berulang. Dalam polimerisasi terdapat beberapa faktor yang mempengaruhinya, diantaranya konsentrasi katalis, bahan yang digunakan dan suhu [8]. Terdapat berbagai macam teknik dalam mensintesis *polydimethylsiloxane*, teknik *ring-opening polymerization* (ROP) merupakan salah satunya. Teknik ROP menghasilkan kontrol atas parameter monomer dari polimer lebih besar. Selain itu, penerapannya memungkinkan adanya kontrol atas urutan penyisipan monomer ke dalam rantai polimer berdasarkan stereokimia [9]. Teknik ROP sendiri merupakan teknik yang digunakan untuk memutuskan rantai ikatan siklik suatu senyawa [10]. Pemutusan ikatan ini dilakukan untuk memudahkan senyawa siklik bereaksi dengan senyawa lain [11]. Teknik ini juga digunakan untuk menghasilkan poli dengan berat monomer tinggi [12].

Dalam penelitian ini, untuk mensintesis PDMS teknik ring-opening polymerization (ROP) digunakan untuk

memutuskan rantai siklik dari D4. Pemutusan rantai monomer ini dilakukan supaya monomer D4 dapat cepat bereaksi dengan MM dalam membentuk PDMS [13]. PDMS yang terbentuk hasil sintesis akan menunjukkan sifat transparan dan kental. Untuk mengetahui karakteristik PDMS tersebut, dapat dilakukan karakterisasi menggunakan alat ukur yang sesuai. Dalam penelitian ini, PDMS disintesis menggunakan teknik *ring-opening polymerization*, kemudian dikarakterisasi untuk dimanfaatkan sebagai cairan pengganti vitreous humor.

2. Metode

2.a. Sintesis

Dalam mensintesis PDMS, bahan yang digunakan yaitu, *Octamethylcyclotetrasiloxane* (D4), dan *Hexamethyldisiloxane* (MM) sebagai monomer, serta temperatur sebagai inisiator.

D4 dicampurkan dengan MM dengan perbandingan 26 : 10 [14], kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan temperatur 140 °C. Ketika D4 dan MM diaduk, larutan KOH ditambahkan secara perlahan sebanyak 0,06 ml. Pengadukan larutan dilakukan selama 40 menit sampai terbentuk gel PDMS.

Gel PDMS yang terbentuk kemudian dipurifikasi. Gel dilarutkan menggunakan kloroform dengan perbandingan volume gel dan kloroform adalah 1:1. Campuran gel dan kloroform kemudian diaduk. Pengadukan ini dilakukan selama 10 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu, *mili-q water* ditambahkan ke dalam larutan dengan perbandingan volume larutan dan *mili-q water* yaitu 2:1. Kemudian larutan didiamkan sampai terbentuk dua fasa yang terdiri dari gel dan air. Air yang dihasilkan dibuang dan di cek pHnya. Tahap purifikasi dilakukan sampai menghasilkan pH bernilai 7 atau netral. Tahap ini dilakukan untuk menghilangkan kandungan KOH sisa reaksi dalam gel. Langkah terakhir dalam mensintesis PDMS, yaitu pengadukan kembali larutan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperatur 40 °C sampai kloroform dalam larutan hilang.

2.b. Karakterisasi

PDMS hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan beberapa alat ukur, yaitu refraktometer, viskometer, tensiometer, dan FTIR. Refraktometer AS ONE I-500 (Brix 0 ~ 90%) digunakan untuk mengukur karakteristik indeks bias PDMS. Viskometer model VM-10AMH digunakan untuk mengukur karakteristik viskositas PDMS. Tensiometer digunakan untuk mengukur karakteristik tegangan permukaan PDMS. Dan FTIR digunakan untuk melihat gugus fungsi PDMS.

3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis PDMS dengan metode polimerisasi yang digunakan, yaitu teknik *ring-opening polymerization* (ROP) dan temperatur sintesisnya divariasikan telah dilakukan. Terdapat tiga sampel PDMS yang berhasil disintesis dengan variasi suhu sintesisnya, yaitu 140 °C, 150 °C, dan °C. Kemudian dilakukan karakterisasi untuk mengetahui pengaruh temperatur sintesis yang divariasikan terhadap beberapa karakteristik PDMS. Karakteristik PDMS yang diukur, diantaranya viskositas, indeks bias, tegangan permukaan, dan gugus fungsi. Adapun hasil yang diperoleh dari hasil karakterisasi adalah sebagai berikut.

3.a. Viskositas

Hasil pengukuran viskositas PDMS dengan konsentrasi KOH 0,75 M dan temperatur sintesisnya divariasikan ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Nilai viskositas PDMS dengan temperatur sintesis divariasikan

Sampel	Temperatur Sintesis (°C)	Viskositas (mPa.s)
1	140	87,7
2	150	332,0
3	170	1210,0

Tabel 1. menunjukkan viskositas yang terukur pada PDMS dengan temperatur sintesis yang divariasikan mengalami perubahan. Perubahan ini membuktikan

adanya pengaruh temperatur sintesis terhadap karakteristik PDMS berupa viskositas. Hal ini disebabkan karena temperatur mempengaruhi kecepatan reaksi [5]. Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa PDMS dengan viskositas rendah memiliki berat monomer rendah [16]. PDMS yang memiliki berat monomer rendah lebih rentan terhadap emulsifikasi [17]. Dari ketiga data yang dihasilkan, PDMS dengan temperatur 170 °C memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi. Nilai ini menunjukkan bahwa pada temperatur 170 °C berat monomer PDMS lebih tinggi dibandingkan kedua sampel PDMS lainnya.

Untuk itu, PDMS dengan temperatur 170 °C memiliki jangka waktu yang panjang dikarenakan terjadinya emulsifikasi lebih lambat. PDMS dengan temperatur 170 °C juga adalah PDMS yang nilai viskositasnya paling mendekati nilai viskositas PDMS komersial 1300 cSt, yaitu sebesar 1,08 Pas [14].

3.b. Indeks Bias

Berdasarkan pengukuran indeks bias PDMS yang telah dilakukan menggunakan refraktometer, nilai indeks bias PDMS yang terukur terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai indeks bias PDMS dengan temperatur sintesis divariasikan

Sampel	Temperatur	Indeks Bias
1	140	1,40006
2	150	1,40142
3	170	1,40320

Tabel 2. menunjukkan adanya perubahan pada indeks bias PDMS yang terukur. Hasil ini menunjukkan bahwa temperatur sintesis yang divariasikan memengaruhi indeks bias PDMS. Jika dibandingkan nilai indeks bias pada vitreous humor yang berada pada kisaran 1,3345 hingga 1,3348 dengan nilai indeks bias sampel PDMS dalam penelitian ini, nilai indeks bias sampel PDMS-lah yang lebih tinggi. Perbedaan ini dapat mengakibatkan miopia pada pasien bedah vitreoretinal [18]. Walaupun demikian, nilai indeks bias PDMS dengan temperatur 170 °C mendekati nilai indeks bias yang dihasilkan oleh jurnal lain, yaitu sebesar 1,4040 [13].

3.c. Tegangan Permukaan

Tabel 3. menunjukkan adanya pengaruh temperatur terhadap tegangan permukaan PDMS yang telah diukur menggunakan tensiometer. Tegangan permukaan bertanggung jawab atas bentuk tetesan cairan karena menggambarkan kekuatan yang cenderung menjaga keseluruhan gelembung.

menjaga keseluruhan gelembung. Tegangan permukaan PDMS yang tinggi merupakan alasan dimana PDMS dengan viskositas yang lebih tinggi dianggap lebih jarang mengemulsi dibandingkan PDMS dengan viskositas yang lebih rendah (Barca dkk., 2014). Sampel satu, yaitu PDMS dengan temperatur sintesisnya 140 °C mendekati nilai tegangan permukaan PDMS komersial tipe 1300 cSt sebesar 20 mN/m [14].

Tabel 3. Nilai tegangan permukaan PDMS dengan temperatur sintesis divariasikan

Sampel	Temperatur Sintesis (°C)	Tegangan Permukaan (mN/m)
1	140	21,5
2	150	21,8
3	170	22,0

Untuk menghindari terjadinya emulsifikasi, faktor penurunan tegangan permukaan ketika PDMS disuntikkan ke mata diusahakan tidak ada [19].

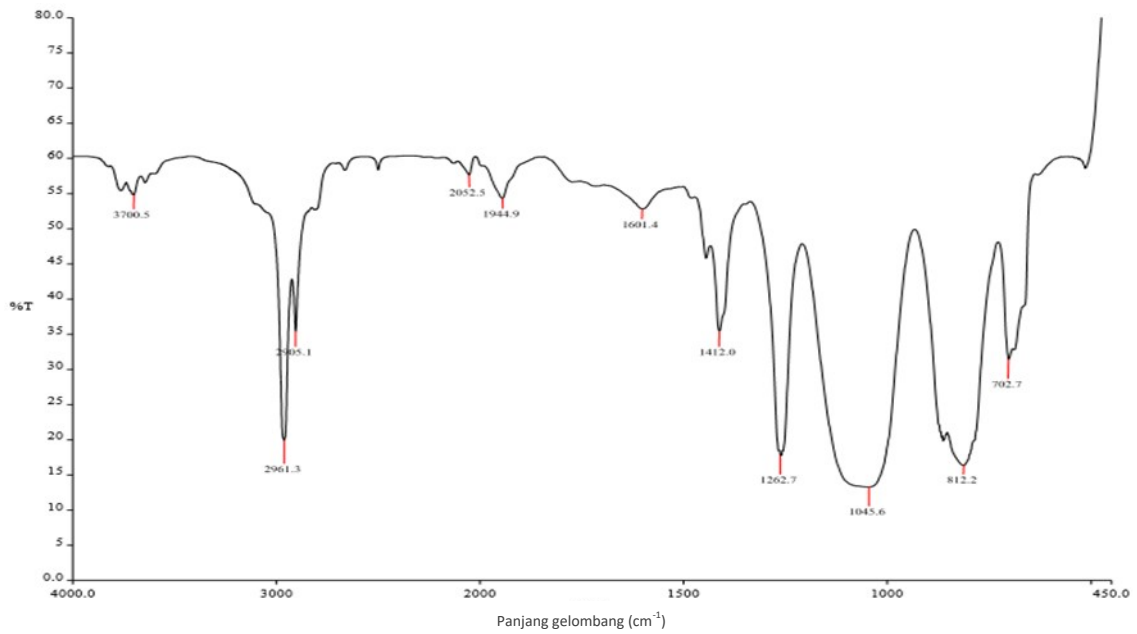
3.d. Gugus Fungsi

Hasil karakterisasi sampel PDMS dan PDMS komersial tipe 1300 cSt menggunakan FTIR ditunjukkan oleh gambar 1.

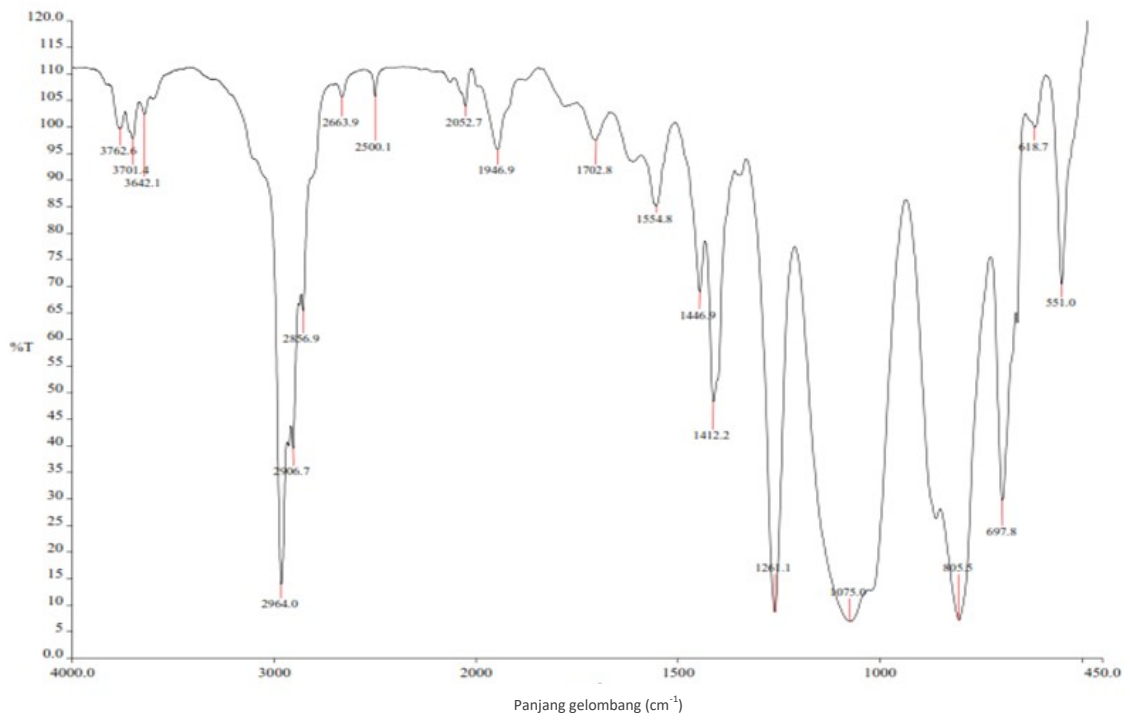
Hasil FTIR PDMS komersial pada gambar 1(a) menunjukkan adanya beberapa puncak yang terbentuk,

diantaranya pada 2961,4 cm⁻¹, 2905,1 cm⁻¹, 1412,0 cm⁻¹, 1262,7 cm⁻¹, 1045,6 cm⁻¹, 812,2 cm⁻¹, dan 702,7 cm⁻¹. Dari data tersebut, dapat diamati bahwa ada puncak penyerapan yang kuat pada panjang gelombang 1262,7 cm⁻¹ dan 812,2 cm⁻¹. Kedua puncak tersebut menunjukkan adanya ikatan Si-CH₃ pada PDMS. Puncak kuat lainnya, yaitu 1045,6 cm⁻¹ menunjukkan adanya getaran peregangan Si-O-Si pada PDMS komersil. Untuk puncak penyerapan kuat lainnya pada PDMS diidentifikasi pada 1412,0 cm⁻¹. Puncak ini sesuai dengan deformasi asimetris metilen (CH₃) dari Si-CH₃. Sementara itu, untuk puncak serapan 2961,4 cm⁻¹ dan 2905,1 cm⁻¹ disebabkan oleh adanya kelompok metilen dari PDMS. Puncak terakhir yang memiliki penyerapan kuat teridentifikasi pada panjang gelombang 702,7 cm⁻¹. Puncak ini sesuai dengan getaran deformasi CH₃ aromatik.

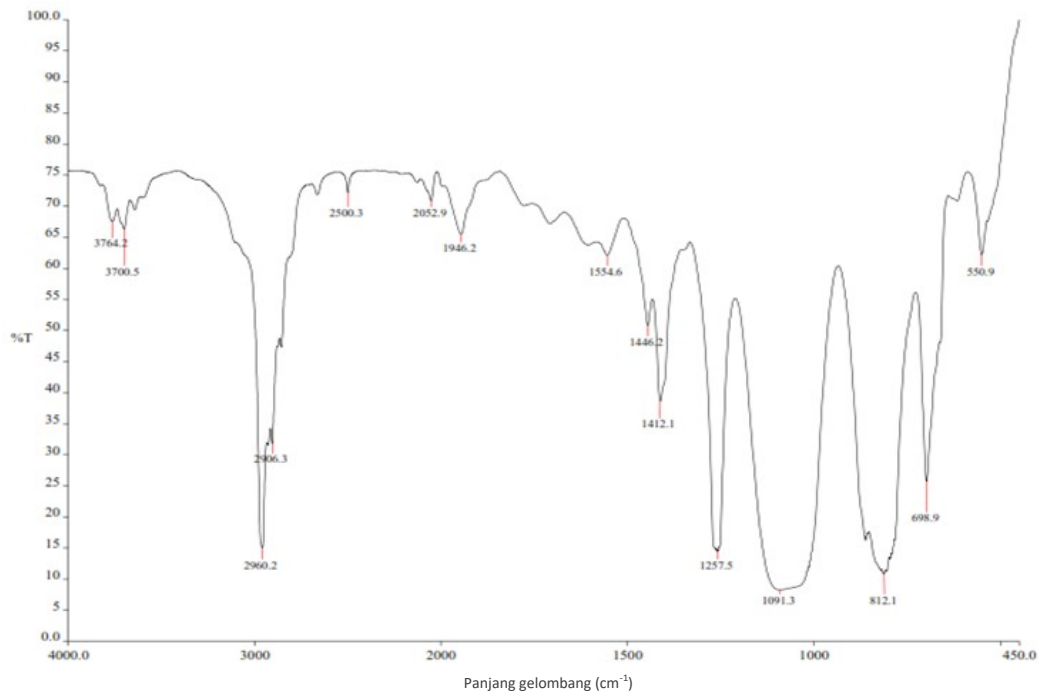
Pada Gambar 1, ketiga sampel PDMS memiliki gugus fungsi yang sama dengan PDMS komersial, yaitu ikatan Si-O-Si, Si-CH₃, Si-CH₃ dan kelompok metilen. Tetapi titik puncak ketiga sampel PDMS yang dihasilkan dari karakterisasi FTIR berbeda sedikit dengan titik puncak PDMS komersil. Puncak-puncak yang teridentifikasi pada PDMS dengan temperatur 140 °C, yaitu pada panjang gelombang 2964,0 cm⁻¹, 2906,7 cm⁻¹, 1412,2 cm⁻¹, 1261,1 cm⁻¹, 1075,0 cm⁻¹, 805,5 cm⁻¹, dan 697,8 cm⁻¹. Untuk sampel PDMS dengan temperatur sintesis



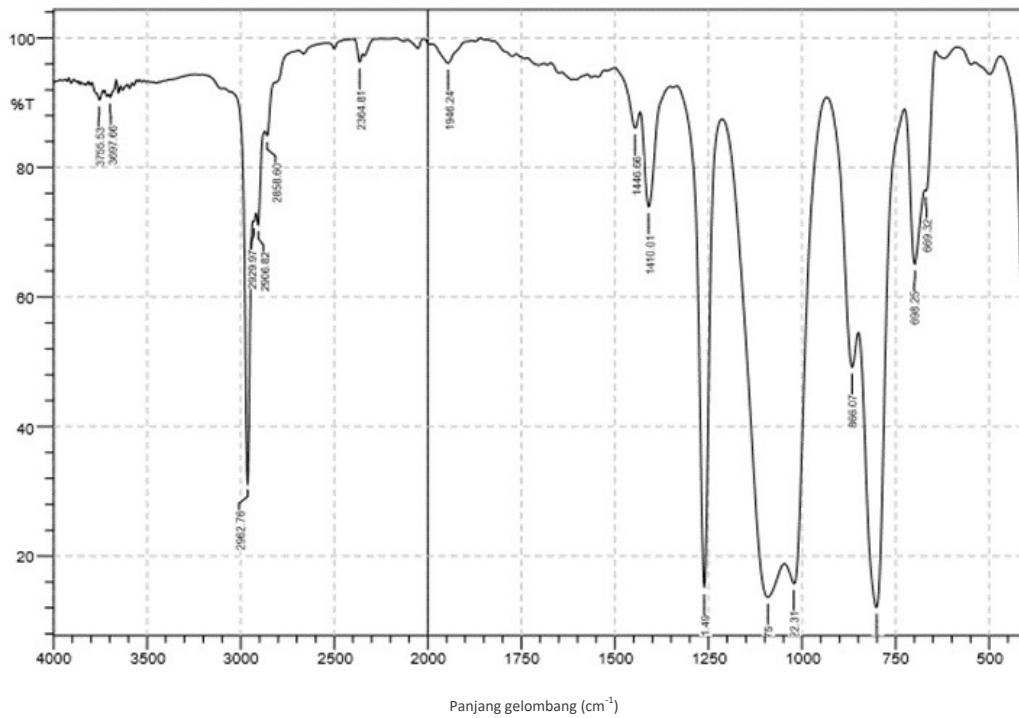
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 1. Hasil FTIR PDMS (a) Komersil 1300 cSt, (b) sampel satu T = 140 °C, (c) sampel dua T = 150 °C, dan (d) pada T = 170 °C

150 0C, puncak penyerapannya ada pada panjang gelombang 2960,2 cm⁻¹, 2906,3 cm⁻¹, 1412,1 cm⁻¹, 1257,5 cm⁻¹, 1091,3 cm⁻¹, 812,1 cm⁻¹, dan 698,9 cm⁻¹. Dan pada sampel tiga PDMS yaitu 170 0C, puncak penyerapan yang teridentifikasi, diantaranya pada panjang gelombang 2962,76 cm⁻¹, 2929,97 cm⁻¹, 2906,82 cm⁻¹, 1410,01 cm⁻¹, 1261,49 cm⁻¹, 1091,75 cm⁻¹, 1022,31 cm⁻¹, 866,07 cm⁻¹, 800,49 cm⁻¹, dan 698,25 cm⁻¹.

Adapun persamaan ikatan yang terbentuk antara ketiga sampel PDMS dengan PDMS komersil yang dijelaskan

dengan PDMS komersil yang dijelaskan diatas ditunjukkan pada tabel 4. Selain itu, terdapat juga perbedaan hasil karakterisasi ketiga sampel PDMS dengan PDMS komersil. Perbedaan tersebut terletak pada puncak yang terbentuk. Puncak yang dihasilkan pada ketiga sampel PDMS, tidak hanya yang terdapat pada tabel tetapi juga terdapat puncak lainnya meskipun tingkat penyerapannya lebih rendah dari puncak yang di tabel. Puncak ini berasal dari bahan sisa sintesis yang tidak terikat atau terperangkap dalam PDMS [20].

Tabel 1. Perbandingan Gugus Fungsi PDMS komersil 1300cSt dengan PDMS yang temperaturnya divariasikan

Pita	Panjang Gelombang			
	Komersil	Pada T = 140 0C	Pada T = 150 0C	Pada T = 170 0C
Getaran deforma- si CH ₃ aromatik	702,7 cm ⁻¹	697,8 cm ⁻¹	698,9 cm ⁻¹	866,07 cm ⁻¹ dan 698,9 cm ⁻¹
Si-O-Si	1045,6 cm ⁻¹	1075,0 cm ⁻¹	1091,3 cm ⁻¹	1091,75 cm ⁻¹ dan 1022,31 cm ⁻¹
Si-CH ₃	1262,7 cm ⁻¹ dan 812,2 cm ⁻¹ 1	1261,1 cm ⁻¹ dan 805,5 cm ⁻¹	1257,5 cm ⁻¹ dan 812,1 cm ⁻¹	1261,49 cm ⁻¹ dan 800,49 cm ⁻¹
Deformasi as- imetris metilen (CH ₃) dari Si- CH ₃	1412,0 cm ⁻¹	1412,2 cm ⁻¹	1412,1 cm ⁻¹	1410,01 cm ⁻¹
Kelompok Metilen (CH ₃)	2961,4 cm ⁻¹ dan 2905,1 cm ⁻¹	2964,0 cm ⁻¹ dan 2906,7 cm ⁻¹	2960,2 cm ⁻¹ dan 2906,3 cm ⁻¹	2962,76 cm ⁻¹ , 2929,97 cm ⁻¹ dan 2906,82 cm ⁻¹

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, sintesis PDMS dengan teknik *ring-opening polymerization* dan temperatur sintesisnya diubah-ubah telah terbentuk. Sintesis dilakukan dengan D4 dan MM sebagai bahannya, larutan KOH sebagai katalis dengan konsentrasi 0,75 M, dan temperatur sintesisnya, yaitu 140 °C, 150 °C, dan 170 °C.

Hasil karakterisasi ketiga sampel PDMS menunjukkan adanya pengaruh temperatur terhadap karakteristik PDMS. Ketiga sampel PDMS masing-masing memiliki nilai viskositas sebesar 0,088 Pa.s, 0,332 Pa.s, dan 1,210 Pa.s. Sampel PDMS dengan temperatur sintesis sebesar 170 °C mendekati nilai viskositas PDMS komersil 1300 cSt. Hasil pengukuran refraktometer untuk sampel PDMS dengan temperatur sintesisnya 140 °C, yaitu 1,4001. Sedangkan untuk sampel PDMS dengan temperatur 150 °C, dan 170 °C, nilai indeks biasnya adalah 1,4014, dan 1,4032. Adapun nilai tegangan permukaan sampel PDMS yang memiliki nilai viskositas 0,088 Pa.s, yaitu sebesar 1,4001. Untuk sampel dengan viskositas 0,332 Pa.s memiliki nilai tegangan permukaan sebesar 1,4014 dan PDMS dengan viskositas 1,210 Pa.s, sebesar 1,4032. Ketiga sampel PDMS memiliki ikatan fungsi yang sama dengan PDMS komersil, yaitu ikatan Si-O-Si, Si-CH₃, Si-CH₃ dan kelompok metilen.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan untuk seluruh pihak yang berkontribusi dalam penelitian ini. Pihak yang telah mendanai penelitian ini adalah Kemenristek Dikti untuk Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) dengan No.2019 No.6/E/KPT/2019. Penelitian ini juga didukung Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UPI No.171A/ UN40.D/PP/2019.

6. Referensi

1. Toepke, M. W., & Beebe, D. J. (2006). PDMS absorption of small molecules and consequences in microfluidic applications. *Lab on a Chip*, 6(12), 1484–1486. doi: <https://doi.org/10.1039/b612140c>
2. Yamamoto, T., Nojima, T., & Fujii, T. (2002). PDMS-glass hybrid microreactor array with embedded temperature control device. Application to cell-free protein synthesis. *Lab on a Chip*, 2(4), 197–202. doi: <https://doi.org/10.1039/b205010b>
3. Niu, X., Peng, S., Liu, L., Wen, W., & Sheng, P. (2007). Characterizing and patterning of PDMS-based conducting composites. *Advanced Materials*, 19(18), 2682–2686. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.200602515>
4. Raia, Nicole R, Di Jia, Chiara E. G., Murugappan M., & David L. K.

- (2019). “Characterization of silk-hyaluronic acid composite hydrogels towards vitreous humor substitutes”. *Biomaterials*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2019.119729>
5. Silue, Tjerignimin A., Saugandhika M., & Nathalia P. (2016). “Electrochemical Characterization of Vitreous Humor”. *Procedia Technology*, 27, 301 – 303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2017.04.124>
6. Mata, A., Fleischman, A. J., & Roy, S. (2005). Characterization of polydimethylsiloxane (PDMS) properties for biomedical micro/nanosystems. *Biomedical Microdevices*, 7(4), 281–293. doi: <https://doi.org/10.1007/s10544-005-6070-2>
7. Sheen-Ophir, S., Rosner, M., & Rubowitz, A. (2018). Feasibility of using experimental high viscosity silicone oils: A pilot study. *International Journal of Retina and Vitreous*, 4(1), 1–5. doi: <https://doi.org/10.1186/s40942-017-0105-8>
8. Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
9. Stanford, M. J., & Dove, A. P. (2010). Stereocontrolled ring-opening polymerisation of lactide. *Chemical Society Reviews*, 39(2), 486–494. doi: <https://doi.org/10.1039/b815104k>
10. Zechel, D. L., Hultsch, K. C., Rulkens, R., Balaishis, D., Ni, Y., Pudelski, J. K., Lough, A. J., Manners, I., & Foucher, D. A. (1996). Thermal and transition-metal-catalyzed ring-opening polymerization (ROP) of [1]silaferrocenophanes with chlorine substituents at silicon: A route to tunable poly(ferrocenylsilanes). *Organometallics*, 15(8), 1972–1978. doi: <https://doi.org/10.1021/om950911v>
11. Tanabe, M., & Manners, I. (2004). Photolytic living anionic ring-opening polymerization (ROP) of silicon-bridged [1]ferrocenophanes via an iron-cyclopentadienyl bond cleavage mechanism. *Journal of the American Chemical Society*, 126(37), 11434–11435. doi: <https://doi.org/10.1021/ja046657s>
12. Honeyman, C. H., Foucher, D. A., Dahmen, F. Y., Rulkens, R., Lough, A. J., & Manners, I. (1995). Thermal Ring-Opening Polymerization (ROP) of Strained, Ring-Tilted, Phosphorus-Bridged [1]Ferrocenophanes: Synthesis of Poly(ferrocenylphosphines) and Poly(ferrocenylphosphine sulfides). *Organometallics*, 14(12), 5503–5512. doi: <https://doi.org/10.1021/om00012a017>
13. Giordano, G. G., & Refojo, M. F. (1998). Silicone oils as vitreous substitutes. In *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 23(3), 509–532. doi: [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(97\)00046-4](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(97)00046-4)
14. Setiadji, S., Fitrilawati, Fauza, A. N.,

- Ardi, A., Novianti, R. M., Syakir, N., Waslaluiddin, Rahayu, I., Kartasasmita, A. S., & Risdiana. (2019). Optimization of polydimethylsiloxane synthesized parameters as vitreous humour substitutes. *Materials Science Forum*, 966 MSF, 189–193. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.966.189>
15. Handayani, P. A. (2010). *Polimerisasi Akrilamid Dengan Metode Mixed-*. 8, 69–78.
16. Roberts, C., Graham, A., Nemer, M., Phinney, L., Garcia, R., & Stirrup, E. (2017). Physical Properties of Low-Molecular Weight Polydimethylsiloxane Fluids. *Http://Prod.Sandia.Gov/Techlib/Access-Control.Cgi/2017/171242.Pdf*, February. <http://prod.sandia.gov/>
17. Liang, M. C., Vora, R. A., Duker, J. S., & Spaide, R. F. (2013). Diagnostic and therapeutic challenges. *Retina*, 33(7), 1471–1474. <https://doi.org/10.1097/IAE.0b013e318285ce03>
18. Fitrilawati, Fauza, A. N., Ardi, A., Novianti, R. M., Syakir, N., Kartasasmita, A. S., & Risdiana. (2018). Effect of KOH concentration on characteristics of polydimethylsiloxane synthesized by ring opening polymerization method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1080(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1080/1/012016>
20. Barca, F., Caporossi, T., & Rizzo, S. (2014). Silicone oil: Different physical properties and clinical applications. *BioMed Research International*, 2014, 7. <https://doi.org/10.1155/2014/502143>
21. González-Rivera, J., Iglío, R., Barillaro, G., Duce, C., & Tinè, M. R. (2018). Structural and thermoanalytical characterization of 3D porous PDMS foam materials: The effect of impurities derived from a sugar templating process. *Polymers*, 8(6), 1–13. <https://doi.org/10.3390/polym10060616>