

Pengaruh Temperatur dan Waktu Reaksi terhadap Karakteristik Polydimethylsiloxane (PDMS) sebagai Pengganti Vitreous Humour

Nafila Amalia Syahida*, Ajrina Nur Shabrina, Wiendartun, Waslaluddin

Universitas Pendidikan Indonesia
*Alamat email: nafilasyahida@upi.edu

ABSTRAK

Polydimethylsiloxane merupakan salah satu material pengganti vitreous humour yang memiliki karakteristik inert secara kimia, transparan, hidrofobik, nonabsorbable (tidak menyerap zat lain), dan pada rentang cahaya tampak memiliki nilai transmisi mencapai 100% sehingga semua cahaya tampak dapat ditransmisikan sepenuhnya. PDMS telah berhasil di sintesis dengan metode Ring – Opening Polymerization dengan memvariasikan temperatur dan waktu reaksi. Diperoleh tiga sampel diantaranya sampel 170 °C dengan waktu reaksi selama 13 menit, sampel 160 °C dengan waktu reaksi selama 18 menit, dan sampel 150 °C dengan waktu reaksi selama 27 menit. Hasil karakterisasi untuk viskositas PDMS dengan temperature reaksi 150 °C, 160 °C, dan 170 °C masing – masing sebesar 1113.65, 4250.37, dan 6144.14, sedangkan untuk nilai tegangan permukaan diperoleh nilai 19 mN/m, 19.5 mN/m, dan 20 mN/m. Hasil karakterisasi untuk indeks bias pada masing – masing sampel adalah 1.40339, 1.40358, dan 1.40398. Gugus fungsi seluruh sampel yang di karakterisasi menggunakan FTIR menunjukkan kesesuaian dengan gugus fungsi pada PDMS komersial 1300 cSt.

Kata kunci : Polydimethylsiloxane, temperatur, waktu reaksi, Ring-Opening Polymerization.

ABSTRACT

Polydimethylsiloxane is one of material substitution of vitreous humor which has the characteristics of chemically inert, transparent, hydrophobic, nonabsorbable (does not absorb other substances), and in the visible range has a transmittance value of up to 100% so that all visible light can transmitted completely. PDMS has been successfully synthesized by *Ring - Opening Polymerization* method by varying the temperature and reaction time. Three samples were obtained including a sample of 170 °C with a reaction time of 13 minutes, a sample of 160 °C with a reaction time of 18 minutes, and a sample of 150 °C with a reaction time of 27 minutes. Characterization results for the viscosity of PDMS with reaction temperatures of 150 °C, 160 °C, and 170 °C were 1113.65, 4250.37, and 6144.14, respectively, while for surface tension values obtained values of 19 mN / m, 19.5 mN / m, and 20 mN / m. The results of characterization for the refractive index for each sample were 1.40339, 1.40358, and 1.40398. The functional groups of all samples characterized using FTIR showed compatibility with the functional groups in the commercial PDMS 1300 cSt.

Keywords : *Polydimethylsiloxane*, temperature, reaction time, *Ring-Opening Polymerization*

PENDAHULUAN

Vitreous humor merupakan zat yang bening dan transparan yang mengisi dua pertiga dari volume mata, terdiri dari 99% air dengan sebagian kecil kolagen (Skeie dkk., 2015). Vitreous humor memiliki peran penting untuk mempertahankan volume okular dan

bentuk mata, membantu mempertahankan beberapa struktur mata, terutama lensa dan retina pada posisi anatomi yang tepat, serta merupakan bagian dari lintasan optik yang harus dilalui cahaya dalam perjalanan ke retina (Tram & Swindle-Reilly, 2018).

Seiring dengan bertambahnya usia pada manusia, kadar air yang tinggi di dalam vitreous

humor akan menyebabkan terjadinya likuifaksi sehingga cairan vitreous terlepas dari retina atau yang disebut dengan ablasi retina (Bévalot dkk., 2016). Ablasi retina juga dapat terjadi ketika segmen retina neurosensorik terpisah dari epitel pigmen retina (Swindle-Reilly dkk., 2016). Ablasi retina dapat ditangani dengan menggunakan teknik bedah vitreoretinal. Teknik pembedahan tersebut disesuaikan dengan tingkat ablasi retina yang di derita oleh pasien, seperti ablasi retina ringan dan komplikasi ablasi retina (Spandau & Tomic, 2018). Vitrektomi adalah salah satu teknik bedah vitreoretinal dengan menggantikan vitreous kemudian menyuntikkan gas, udara, atau cairan ke dalamnya. Salah satu cairan yang dimanfaatkan dalam teknik vitrektomi tersebut yaitu *polydimethylsiloxane* (PDMS) (Matsuo dkk., 2017).

Polydimethylsiloxane (PDMS) merupakan jenis polimer hybrid, yaitu polimer yang terdiri dari molekul berulang organik dan anorganik. PDMS memiliki rantai utama Si-O-Si dan struktur kimia berupa $(\text{CH}_3)_3\text{SiO}-[\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{O}]_n-\text{Si}(\text{CH}_3)_3$. PDMS dipilih sebagai pengganti cairan vitreous karena memiliki karakteristik yang mirip dengan cairan vitreous yang asli yaitu inert (tidak bereaksi dengan zat lain) secara kimia, transparan, hidrofobik, nonabsorbable (tidak menyerap zat lain), dan pada rentang cahaya tampak memiliki nilai transmitansi mencapai 100% sehingga semua cahaya tampak dapat ditransmisikan sepenuhnya (Fitrilawati dkk., 2018). Dalam aplikasinya sebagai pengganti cairan vitreous humor, *polydimethylsiloxane* (PDMS) dapat mengalami emulsifikasi. Emulsifikasi terjadi ketika droplet kecil PDMS bercampur dengan droplet yang lebih besar di dalam mata manusia seperti yang terdapat pada protein, darah, dan sebagainya (Fitrilawati, 2019). Emulsifikasi dapat dipengaruhi oleh ketidakstabilan karakteristik fisis seperti viskositas dan tegangan permukaan (Caramoy dkk., 2015).

Pada penelitian ini, *polydimethylsiloxane* (PDMS) di sintesis dengan metode *Ring-Opening Polymerization*. *Ring-Opening Polymerization* merupakan suatu bentuk polimerisasi pertumbuhan rantai dengan memanfaatkan inisiator yang bertindak sebagai pusat reaktif untuk dapat bereaksi dengan monomer siklik sehingga monomer siklik dapat terbuka rantai cincinnya dan membentuk rantai polimer yang lebih panjang (Fitrilawati, 2019). Metode ini terdiri dari tiga tahap yaitu inisiasi,

propagasi, dan terminasi. Inisiasi merupakan proses membukanya rantai polimer, propagasi merupakan perpanjangan rantai, dan terminasi merupakan penghentian propagasi (netralisasi). *Polydimethylsiloxane* (PDMS) yang telah disintesis kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui beberapa karakteristik fisis seperti viskositas, tegangan permukaan, indeks bias, dan gugus fungsi.

METODE

a. Sintesis

Bahan utama yang digunakan dalam proses sintesis PDMS diantaranya adalah D4 (*octamethylcyclotetrasiloxane*) sebagai monomer siklik, MM (*hexamethyldisiloxane*) sebagai *chain terminator*, dan KOH sebagai katalis untuk mempercepat proses reaksi. D4 dan MM dicampurkan dengan perbandingan volume 26:10. KOH dengan konsentrasi 0.58 M ditambahkan ke dalam larutan dengan volume 0.12 ml. Larutan di aduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan variasi temperatur 170 °C, 160 °C, dan 150 °C masing – masing selama 13 menit, 18 menit, dan 27 menit dengan kecepatan putaran 300 rpm.

Purifikasi dilakukan dengan menambahkan kloroform ke larutan dengan perbandingan volume 1:1. Setelah homogen, ditambahkan mili-q water dengan perbandingan volume 2:1 terhadap larutan. Pada tiap penambahan kloroform dan mili-q water, larutan di aduk selama 10 menit dengan kecepatan putaran 100 rpm pada temperatur 50 °C. Kemudian akan terbentuk dua fasa, fasa cair di pisahkan dari fasa gel dan di cek pH nya. Purifikasi dilakukan beberapa kali hingga di peroleh nilai pH 7 (netral).

Setelah dipurifikasi, dilakukan evaporasi yang bertujuan untuk menghilangkan sisa zat yang tidak diperlukan, seperti kloroform. Proses ini berlangsung selama ± 12 jam pada temperatur 40 °C dengan kecepatan putaran 100 rpm.

b. Karakterisasi

Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan viscometer untuk viskositas, tensiometer untuk tegangan permukaan, refraktometer untuk indeks bias, dan spektroskopi FTIR untuk mengetahui gugus fungsi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Viskositas

Berdasarkan data hasil eksperimen, nilai viskositas untuk masing – masing *polydimethylsiloxane* (PDMS) dengan variasi temperatur dan waktu reaksi terdapat pada Tabel 1. Pada penelitian yang dilakukan oleh Setiadji, dkk, karakterisasi juga dilakukan untuk PDMS komersial. Pada penelitian tersebut diperoleh nilai viskositas untuk PDMS 1300 cSt adalah 1080 cP dan PDMS 5500 cSt adalah 3550 cP. Nilai pengukuran yang terdapat pada Tabel 1 tersebut menunjukkan bahwa untuk PDMS yang disintesis dengan temperatur sebesar 150 °C selama 27 menit nilai viskositas yang diperoleh mendekati nilai viskositas PDMS komersial 1300 cSt. Hal ini mengindikasikan bahwa rantai polimer berubah semakin panjang dipengaruhi oleh temperatur dan waktu reaksi (Setiadji, dkk., 2019).

Waktu yang diperlukan untuk mensintesis *polydimethylsiloxane* (PDMS) dengan temperatur 170 °C cenderung lebih cepat dibandingkan dengan waktu yang diperlukan untuk mensintesis *polydimethylsiloxane* (PDMS) dengan temperatur 160 °C dan 150 °C. Hal ini mengindikasikan bahwa dengan temperatur tinggi (170 °C), molekul – molekul yang terdapat dalam sistem bergerak lebih cepat dan saling berinteraksi sehingga dapat mempercepat proses reaksi dan proses perpanjangan rantai dengan demikian dapat berpengaruh pada waktu yang diperlukan untuk membentuk suatu gel PDMS.

Temperatur (°C)	Waktu reaksi (menit)	Viskositas (cP)
150	27	1113.65
160	18	4250.37
170	13	6144.14

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Viskositas PDMS

Viskositas dan berat molekul merupakan dua hal penting yang mempengaruhi emulsifikasi dalam mata manusia. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa PDMS dengan viskositas tinggi lebih sulit teremulsi dibandingkan dengan PDMS dengan viskositas rendah, sebaliknya PDMS dengan viskositas rendah lebih rentan terjadi emulsifikasi. Berdasarkan hal tersebut, maka PDMS dengan berat molekul rendah juga lebih rentan

mengalami emulsifikasi. PDMS dengan berat molekul rendah bergerak lebih bebas karena rantai yang kurang panjang membentuk cabang dan membentuk koneksi dengan molekul lainnya yang lebih sedikit sehingga lebih cenderung untuk mengemulsi (Patel dkk., 2015).

b. Tegangan Permukaan

Hasil pengukuran tegangan permukaan terdapat pada Tabel 2. Pada temperatur dan waktu sintesis yang berbeda, nilai tegangan permukaan pada PDMS yang disintesis dengan temperatur 170 °C selama 13 menit sesuai dengan PDMS komersial 1300 cSt yang telah dikarakterisasi oleh Setiadji, 2019 dengan nilai 20 mN/m. Nilai tersebut menunjukkan bahwa tegangan permukaan PDMS dipengaruhi oleh temperatur dan waktu reaksi. Adanya perbedaan nilai tegangan permukaan dapat memungkinkan terjadinya emulsifikasi di dalam mata manusia. Pada tegangan permukaan yang rendah, droplet kecil PDMS dapat mengakses bagian sub retina sehingga akan menyebabkan komplikasi lainnya, seperti glaukoma sekunder, keratopati dan gangguan secara subjektif bahkan setelah PDMS dibuang dari rongga vitreous dkk., 2015). Tegangan permukaan dapat berkurang seiring dengan berkurangnya ukuran droplet pada rentang keadaan tertentu. Penurunan secara signifikan terjadi pada droplet dengan ukuran yang sangat kecil.

Temperatur (°C)	Waktu reaksi (menit)	Tegangan Permukaan (mN/m)
150	27	19
160	18	19.5
170	13	20

Tabel 2. Hasil Karakterisasi Tegangan Permukaan

c. Indeks Bias

Karakteristik fisis PDMS lainnya adalah indeks bias. Untuk masing – masing sampel nilai pengukuran indeks bias terdapat pada Tabel 3. Nilai indeks bias berkaitan dengan kekuatan lensa intraokular yang merupakan salah satu indikator performa kinerja mata manusia (Nusa dkk., 2015). Hasil karakterisasi untuk indeks bias dengan temperatur 150 °C selama 27 menit, 160 °C selama 18 menit, dan 170 °C selama 13 menit masing – masing adalah 1.40339, 1.40358, dan 1.40398.

Perbedaan nilai indeks bias ini memungkinkan terjadinya penambahan dioptri pada mata manusia dan berdampak pada perubahan lintasan cahaya yang menuju retina (Setiadji, Sumiyanto, dkk., 2019). Perubahan lintasan cahaya ini dapat mengakibatkan mata yang awalnya normal menjadi rabun dekat karena adanya penambahan nilai dioptri (Setiadji, Sumiyanto, dkk., 2019). Nilai penambahan dioptri dapat ditentukan melalui persamaan (1) sebagai berikut :

$$((N_s - N_v)/(AL - ACD)) \times 1000 = \text{additional IOL power (dioptries)} \quad (1)$$

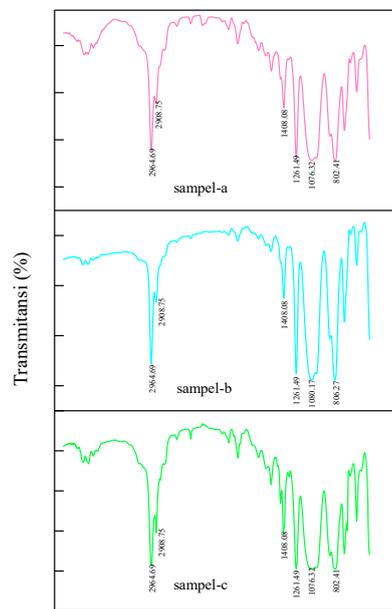
Dengan N_s adalah indeks bias PDMS, N_v adalah indeks bias vitreous (1.3348), AL adalah panjang aksial (23.25 mm) dan ACD adalah kedalaman ruang anterior (3.06 mm). Nilai penambahan dioptri juga dapat dipengaruhi oleh waktu simpan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Setiadji dkk., 2019, ketika PDMS disimpan selama 90 hari, maka terdapat penambahan dioptri sebesar +3,41055 D hingga +3,8098 D. Selain itu, nilai viskositas dapat mempengaruhi nilai indeks bias. Indeks bias merupakan perbandingan cepat rambat cahaya di ruang vakum terhadap cepat rambat cahaya pada suatu medium. PDMS dengan viskositas yang lebih tinggi memiliki medium yang lebih rapat dengan cepat rambat yang lebih kecil sehingga menyebabkan nilai indeks bias yang di peroleh cenderung lebih besar.

Temperatur (°C)	Waktu reaksi (menit)	Indeks Bias
150	27	1.40339
160	18	1.40358
170	13	1.40398

Tabel 3. Hasil Karakterisasi Indeks Bias PDMS

d. Gugus Fungsi

Berdasarkan data hasil eksperimen, Gambar 1 menunjukkan hasil karakterisasi menggunakan FTIR untuk PDMS yang disintesis dengan temperatur 150 °C selama 27 menit (sampel a), 160 °C selama 18 menit (sampel b), dan 170 °C selama 13 menit (sampel c). Berdasarkan Gambar 1 tersebut, pita serapan yang diamati ditunjukkan pada Tabel 4. Peneliti lainnya dkk., 2019) juga menunjukkan karakteristik gugus fungsi PDMS komersial 1300 cSt dengan kelompok fungsional terdapat pada tabel 4.



Gambar 1. Hasil Karakterisasi FTIR untuk seluruh sampel

Tabel 4. Gugus Fungsi PDMS

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm-1)			
	PDMS 1300 cSt	Sampel-a	Sampel-b	Sampel-c
Getaran deformasi Si – C dan CH ₃	812.2	802.41	806.27	802.41
Getaran Si – O – Si	1045.6	1076.32	1080.17	1076.23
Getaran deformasi simetris dari Si – CH ₃	1262.7	1261.49	1261.49	1261.49
Getaran Si – O – CH ₃	1412.10	1408.08	1408.08	1408.08

Getaran		2905.1	2908.75	2908.75	2908.75
peregangan	CH	2961.3	2964.69	2964.69	2964.69
dari CH₃					

Hasil karakterisasi FTIR yang terdapat pada Tabel 4 menunjukkan bahwa Getaran deformasi Si – C dan CH₃ untuk sampel-a, sampel-b, dan sampel-c masing – masing berada pada bilangan gelombang 802.41, 806.27, dan 802.41. Getaran Si – O – Si masing – masing berada pada bilangan gelombang 1076.32, 1080.17, dan 1076.23. Getaran deformasi simetris dari Si – CH₃ masing – masing pada bilangan gelombang 1261.49. Getaran Si – O – CH₃ masing – masing pada bilangan gelombang 1408.08, dan getaran peregangan CH dari CH₃ masing – masing pada bilangan gelombang 2908.75 dan 2964.69. Hasil karakterisasi dengan menggunakan spektrofotometer FTIR menunjukkan bahwa seluruh sampel PDMS memiliki kelompok fungsional yang mirip dengan PDMS komersial 1300 cSt. Terdapat berbagai pita serapan yang menunjukkan gugus fungsi yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa PDMS berhasil di sintesis dengan karakteristik yang mirip dengan PDMS komersial.

PENUTUP

Berdasarkan data hasil eksperimen, dapat disimpulkan bahwa sintesis *polydimethylsiloxane* (PDMS) dengan variasi temperatur dan waktu reaksi mempengaruhi karakteristik fisis *polydimethylsiloxane* (PDMS). Nilai viskositas yang diperoleh untuk PDMS yang disintesis dengan temperatur 150 °C selama 27 menit, 160 °C selama 18 menit, dan 170 °C selama 13 menit masing – masing adalah 1113.65 cP, 4250.37 cP, dan 6144.14 cP. Nilai tegangan permukaan yang diperoleh adalah sebesar 19 mN/m, 19.5 mN/m, dan 20 mN/m. Nilai indeks bias untuk PDMS dengan temperatur 150 °C selama 27 menit, 160 °C selama 18 menit, dan 170 °C selama 13 menit masing – masing adalah 1.40339, 1.40358, dan 1.40398. Hasil karakterisasi dengan menggunakan FTIR untuk seluruh sampel menunjukkan kesesuaian dengan gugus fungsi PDMS komersial.

DAFTAR PUSTAKA

- Bévalot, F., Cartiser, N., Bottinelli, C., Fanton, L., & Guillon, J. (2016). Vitreous humor analysis for the detection of xenobiotics in forensic toxicology: a review. *Forensic Toxicology*. <https://doi.org/10.1007/s11419-015-0294-5>
- Caramoy, A., Kearns, V. R., Chan, Y. K., Hagedorn, N., Poole, R. J., Wong, D., Fauser, S., Kugler, W., Kirchhof, B., & Williams, R. L. (2015). Development of emulsification resistant heavier-than-water tamponades using high molecular weight silicone oil polymers. *Journal of Biomaterials Applications*. <https://doi.org/10.1177/0885328215575623>
- Fitrilawati, F. (2019). PENENTUAN KURVA KALIBRASI UNTUK ESTIMASI VISKOSITAS POLYDIMETHYLSILOXANE (PDMS). *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*. <https://doi.org/10.24198/jiif.v3i1.16519>
- 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*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1080/1/012016>
- Matsuo, T., Uchida, T., Nitta, M., Yamashita, K., Takei, S., Ido, D., Tanaka, M., Oguchi, M., & Furukawa, T. (2017). Subretinal implantation of Okayama university-type retinal prosthesis (OURepTM) in canine eyes by vitrectomy. *Journal of Veterinary Medical Science*. <https://doi.org/10.1292/jvms.17-0450>
- Nusa, H. S., Astuti, W., Kartasasmita, A. S., Virgana, R., Syakir, N., Bahtiar, A., Safriani, L., & Risdiana. (2015). Characterization of optical and structure properties of polydimethylsiloxanes. *Materials Science Forum*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.827.99>
- Patel, A. V., Papakostas, T. D., & Elliott, D. (2015). Silicone oil emulsification in retina surgery: Despite its benefits as a tamponade, silicone oil presents a risk to patients when it remains in the eye.

Retina Today.

- Setiadji, S., Fitrilawati, Fauza, A. N., Ardi, A., Novianti, R. M., Syakir, N., Waslaluudin, Rahayu, I., Kartasasmita, A. S., & Risdiana. (2019). Optimization of polydimethylsiloxane synthesized parameters as vitreous humour substitutes. *Materials Science Forum*. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.966.189>
- Setiadji, S., Sumiyanto, E., Seprinandar, P. D. J., Farida, H., Fitrilawati, Syakir, N., & Risdiana. (2019). Uji Stabilitas Bahan Polydimethylsiloxane. *Material Dan Energi Indonesia*.
- Skeie, J. M., Roybal, C. N., & Mahajan, V. B. (2015). Proteomic insight into the molecular function of the vitreous. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127567>
- Spandau, U., & Tomic, Z. (2018). Surgical techniques. In *Retinal Detachment Surgery and Proliferative Vitreoretinopathy: From Scleral Buckling to Small Gauge Vitrectomy*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78446-5_8
- Swindle-Reilly, K. E., Reilly, M. A., & Ravi, N. (2016). Current concepts in the design of hydrogels as vitreous substitutes. In *Biomaterials and Regenerative Medicine in Ophthalmology: Second Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100147-9.00005-5>
- Tram, N. K., & Swindle-Reilly, K. E. (2018). Rheological properties and age-related changes of the human vitreous humor. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2018.00199>