

KARAKTERISASI SIFAT TERMAL DAN OPTIK POLYDIMETHYLSILOXANE SEBAGAI LENS A INVERS

Yenny Meliana¹, Andinnie Juniarsih² dan Juvitha Anggraini²

¹Pusat Penelitian Kimia - LIPI

Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan

²Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Cilegon 42118

E-mail: yenn001@lipi.go.id

Diterima: 6 Februari 2017

Diperbaiki: 28 April 2017

Disetujui: 4 Mei 2017

ABSTRAK

KARAKTERISASI SIFAT TERMAL DAN OPTIK POLYDIMETHYLSILOXANE SEBAGAI LENS A INVERS. Polydimethylsiloxane (PDMS) adalah karet silikon yang stabil secara fisik dan kimia dan telah tersedia komersial. PDMS merupakan material polimer dengan rentang indeks bias 1,47-1,55 dan mempunyai karakter transparansi yang tinggi mencapai 95% sehingga bahan ini baik digunakan sebagai alat optik sederhana berupa lensa invers. Penelitian ini bertujuan untuk membuat lensa invers dari polimer PDMS serta mengetahui sifat optik dan termalnya. Tahapan penelitian lensa invers meliputi: pencampuran antara base PDMS dengan curing agent PDMS dengan perbandingan 10 :1, kemudian dilakukan proses penetasan diatas slide kaca lalu dibalikkan (invers) dengan variasi jumlah tetesan 2,3 dan 4 drop dan terakhir dilakukan proses curing dengan variasi suhu curing 70 °C, 80 °C, dan 90 °C. Karakterisasi bahan meliputi analisis morfologi lensa menggunakan SEM/EDX, intensitas cahaya menggunakan luxmeter serta analisis nilai transition glass (Tg) menggunakan TGA/DTA. Hasil karakterisasi analisis luxmeter menunjukkan semakin rendah suhu curing semakin tinggi intensitas cahaya yang dapat menembus lensa. Foto SEM memperlihatkan adanya gelembung pada lensa. Semakin besar volume lensa maka semakin sedikit gelembung pada lensa. Hasil analisis menggunakan TGA memperlihatkan untuk rentang suhu pemanasan antara 70 °C hingga 90 °C nilai suhu degradasi (Td) lensa invers tidak berpengaruh signifikan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lensa yang baik adalah pada variasi 4 tetes dan suhu curing 70 °C dengan nilai intensitas 177 lux dan nilai Td sebesar 301,5 °C

Kata kunci: Polydimethylsiloxane, Suhu, Tetesan, Intensitas cahaya, Termal

ABSTRACT

CHARACTERIZATION THERMAL AND OPTICAL PROPERTIES OF POLYDIMETHYL SILOXANE AS LENS INVERSE. Polydimethylsiloxane (PDMS) is stable silicone rubber by physical and chemical. This material available by commercially. PDMS is a polymer material has a refractive index of 1.47 to 1.55 and high transparency till 95% that it best used as simple optical instruments such as an inverse lens. The aims this study is to create the inverse lens of PDMS and investigated the optical and thermal properties this polymer. Step researches are mixing, dripping, invers, and curing. Mixing is done by PDMS base with PDMS curing agent in ratio 10:1. Then dripping on a glass slide and then inverted with variations droplets is 2, 3, and 4 drops. Curing has variations temperature is 70, 80, and 90 °C. Characterizations are use SEM, lux meter, and TGA. The result of lux meter analysis is the lower temperature can be higher light intensity. SEM showed bubbles on the lens which the more high volume of lens can be more less bubbles on the lens. TGA analysis showed there is no significant change for value of degradation (Td) for the curing temperature in the range 70°C to 90 °C. The best results are used with a variety of 4 drops at temperature of 70 °C with value of intensity at 177 lux and value of Td at 301,5 °C.

Keywords: Polydimethylsiloxane, Suhu, Dripping, Light intensity, Thermal

PENDAHULUAN

Polimer adalah rantai berulang dari atom yang panjang terbentuk dari pengikat yang berupa molekul identik yang disebut monomer [1]. Polimer digunakan sebagai karet, plastik, botol dan lain-lain. Seiring dengan perkembangan waktu, polimer dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan lensa. Lensa yang terbuat dari polimer ini memiliki keunggulan dimana mampu melakukan perbesaran 60 kali hingga 100 kali. *PDMS* dapat digunakan sebagai lensa optik yang jernih, umumnya bersifat inert, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. *Dimethicone* adalah nama lain, merupakan salah satu dari beberapa jenis minyak silikon (*polymerised siloxane*) [2]. Saat ini lensa yang terbuat dari bahan polimer memiliki kekurangan yaitu tidak dapat dibuat dengan ukuran lebih dari 1 inchi, mudah meleleh dan mudah terjadi degradasi apabila digunakan pada suhu tinggi ($>100^{\circ}\text{C}$) [3]. Lee dkk telah melakukan pembuatan lensa *polydimethylsiloxane* (siliKon) dengan menggunakan substrat berbentuk *curve* yang mempunyai sifat yang bagus [3].

Dari berbagai material polimer, silikon mempunyai kelebihan karena sifat elastisitasnya yang tinggi dan tahan terhadap degradasi lingkungan [4]. Silikon berbasis elastomer *PDMS* merupakan salah satu material teknik polimer yang populer sebab sifat-sifatnya seperti biokompatibilitas tinggi, fleksibel dan stabil secara mekanik, proses pembuatannya murah, dan transparansi pada spektrum *UV*, *VIS*, dan *NIR* [5]. *PDMS* merupakan optik transparan (*UV cutoff*, 240 nm) dan memiliki konduktivitas termal 0.2 W/m K [6]. Selain itu, untuk membentuk membran komposit, *PDMS* larut dalam berbagai pelarut organik [7], juga memiliki permukaan superhidrofobik yang transparan [8,9].

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Lee dkk, polimer jenis *polydimethylsiloxane* dapat digunakan sebagai lensa karena mempunyai indeks bias sebesar 1,47 hingga 1,55 [2]. Hal inilah yang membuat para peneliti menggunakan bahan *polydimethylsiloxane* sebagai lensa yang dapat digunakan sebagai alat optik sederhana. Keunggulan *polydimethylsiloxane* sebagai alat optik yang telah diteliti oleh para peneliti sebelumnya adalah memiliki indeks bias pada rentang sebesar 1,47 hingga 1,55 dan memiliki tingkat transparan lebih dari 95%.

Selain itu, *PDMS* memiliki *crosslinking* yang berguna untuk meningkatkan ketahanan dan kekuatan material. *Crosslinking* dapat meningkatkan kekuatan dikarenakan terdapat rantai polimer yang membentuk ikatan dua rantai yang membentuk ikatan silang yang berulang-ulang [10]. Karakterisasi termal dibutuhkan agar lensa tidak rusak atau meleleh pada saat diaplikasikan ke kamera *handphone* dan indeks bias sebesar 1,47 [2]. Karakterisasi termal diukur berdasarkan reaksi dekomposisi ini. Stabilitas termal berhubungan erat dengan energi ikatan antara atom-atom dalam polimer,

energi ikatan yang tinggi akan menghasilkan stabilitas *thermal* yang lebih tinggi [11]. Sehingga perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengetahui sifat *thermal* dari *polydimethylsiloxane*. Pada penelitian ini di harapkan dapat di ketahui karakter termal dan sifat optik dari lensa invers *polydimethylsiloxane*

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 184 elastomer *kit dow corning* yang terdiri dari *Polydimethylsiloxane* (*PDMS*) dan *silicone elastomer curing agent* dari *Dow Corning*.

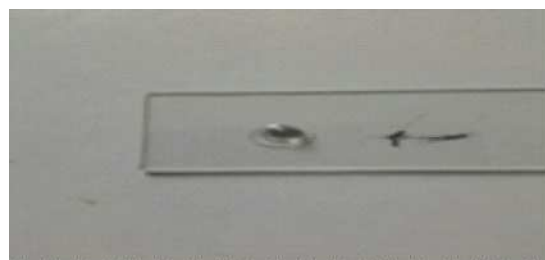
Alat karakterisasi yang digunakan adalah *Scanning Electron Microscope (SEM)* JEOL JSM-6390A untuk analisis morfologi lensa invers. *Thermogravimetric Analysis (TGA)* Linseis untuk analisis degradasi pada polimer, dan *Lux meter IEEE* untuk analisis intensitas cahaya.

Cara Kerja

Polydimethylsiloxane (PDMS) dicampurkan dengan *curing agent* dengan perbandingan 10 : 1. *PDMS* diaduk dengan *curing agent* hingga tercampur rata dan didiamkan agar residu gelembung berkurang. Proses penetasan pertama dilakukan menggunakan suntikan ke atas *slide* kaca dengan pada variasi suhu oven 70°C , 80°C , dan 90°C selama 15 menit pertetasan. Penetasan berikutnya dengan cara *invers* pada variasi jumlah tetesan 0,032 mL (2 tetes), 0,048 mL (3 tetes) dan 0,064 mL (4 tetes).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel lensa *invers* yang didapat dengan mencampurkan *base PDMS* dengan *curing agent* dengan perbandingan 10:1 sebanyak 2 tetes (volume pertetes sebanyak 0,016 mL) pada suhu 70°C , dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sampel lensa *invers* dari base *PDMS* dengan *curing agent* (10:1) sebanyak 0,032 mL pada suhu 70°C .

Proses penetasan dilakukan diatas preparat kaca lalu membalikkannya hingga membentuk cembungan dengan variasi jumlah tetesan.

Pengamatan Intensitas Cahaya

Hasil pengamatan intensitas cahaya lensa *invers* yang dimulai dari *mixingdroplet*, *invers* dan *curing* dengan variasi suhu yang berbeda. Variasi suhu yang dilakukan yaitu pada suhu 70 °C, 80 °C, dan 90 °C. Variasi jumlah tetesan yaitu 0,032 mL, 0,048 mL, dan 0,064 mL yang dilakukan untuk mengetahui besar intensitas cahaya yang dapat menembus lensa. Hasil pengukuran intensitas cahaya lensa *invers* dengan variasi suhu *curing* dan jumlah tetesan yang dilakukan dengan menggunakan sumber cahaya lampu pijar 12 volt, jarak antara sumber cahaya ke kaca (Rm) sepanjang 2 cm, dan jarak antara medium ke lensa *invers* (Rl) 2 cm. Seperti diperlihatkan pada Tabel 1 yang menunjukkan besarnya intensitas cahaya yang dapat menembus lensa *invers* tersebut.

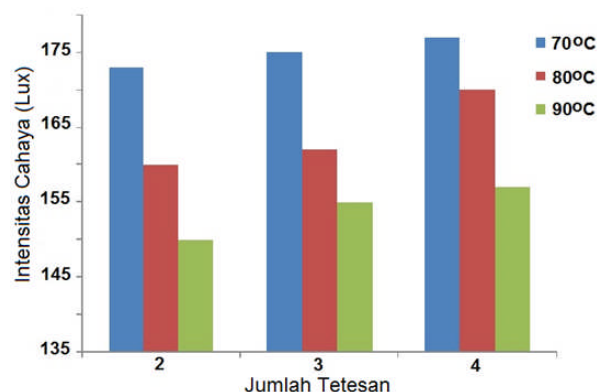
Tabel 1. Data hasil pengukuran intensitas cahaya.

Suhu (°C)	Jumlah Tetesan (ml)	Intensitas (Lux)	Rm (cm)	Rl (cm)
70°C	0,032	173	2	2
	0,048	175	2	2
	0,064	177	2	2
80°C	0,032	160	2	2
	0,048	162	2	2
	0,064	170	2	2
90°C	0,032	150	2	2
	0,048	155	2	2
	0,064	157	2	2

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah tetesan maka semakin besar intensitas cahaya yang dapat ditembus oleh cahaya. Sedangkan semakin tinggi suhu maka intensitas yang didapatkan semakin kecil. Hal ini terjadi karenasemakin besar jumlah tetesan maka semakin cembung lensa yang terbentuk. Lensa cembung memiliki sifat dapat mengumpulkan cahaya (kovergen) sehingga nilai intensitas cahaya semakin besar [12]. Selain itu, suhu juga mempengaruhi intensitas cahaya, dimana semakin tinggi suhu *curing* semakin cepat terjadi *cross linking* yang menyebabkan banyak gelembung yang terperangkap pada lensa *invers*. Gelembung pada lensa dapat mengakibatkan pemantulan baur (difus) sehingga cahaya yang terbaur tersebut tidak fokus dan tidak terdeteksi pada *lux meter* [13].

Dari Gambar 2 pada grafik dijelaskan pada suhu 70 °C memiliki nilai intensitas cahaya yang besar yakni untuk sampel dengan jumlah tetesan 0,032 mL sebesar 173 *lux*, jumlah tetesan 0,048 mL sebesar 175 *lux*, dan jumlah tetesan 0,064 mL sebesar 177 *lux*. Hal ini disebabkan lensa pada suhu 70 °C memiliki waktu proses terjadinya *crosslinking* lebih lambat sehingga gelembung udara yang terperangkap pada lensa dapat keluar terlebih dahulu. Gelembung udara menyebabkan cahaya yang datang akan dibaurkan karena adanya perbedaan kerapatan optik medium 1 dan medium 2. Hal ini yang terjadi pada lensa *invers* karena pada sampel lensa *invers* terdapat gelembung yang menyebabkan perbedaan

kerapatan dengan bagian lensa *invers* yang terbuat dari PDMS dengan gelembung udara.



Gambar 1. Grafik hasil pengukuran intensitas cahaya

Gelembung pada lensa memiliki kerapatan optik yang berbeda mengakibatkan terjadi pembauran sehingga cahaya mengalami penyimpangan menjauhi garis normal. Sesuai dengan Hukum II Snellius (hukum II Pembiasan) yang berbunyi : Sinar datang dari medium kurang rapat menuju ke medium lebih rapat dibiaskan mendekati garis normal. Sebaliknya, sinar datang dari medium lebih rapat menuju ke medium kurang rapat dibiaskan menjauhi garis normal [13]. Sehingga pada lensa dengan variasi tetesan semakin banyak dan suhu semakin rendah nilai intensitas cahaya lebih besar karena gelembung pada lensa semakin sedikit.

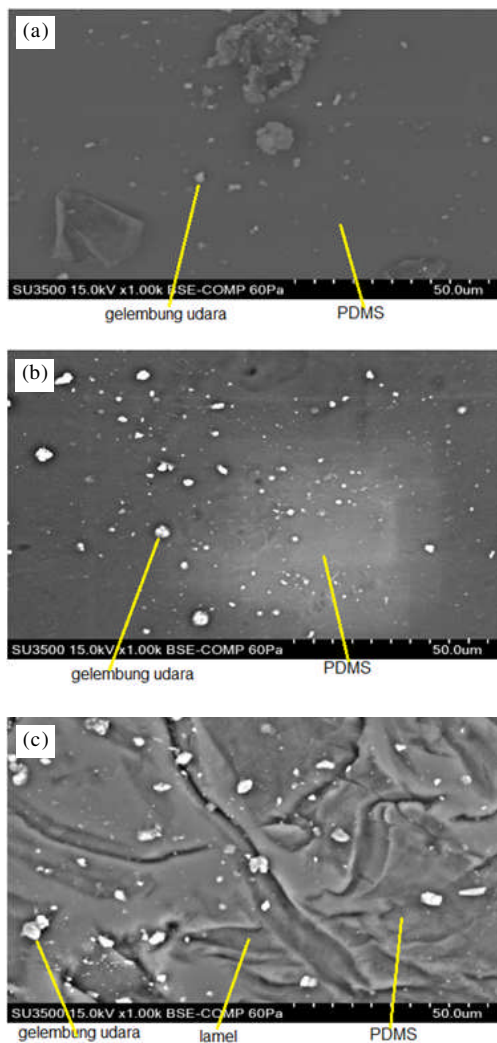
Lensa dengan jumlah tetesan yang sedikit akan mengalami waktu *curing* yang lebih cepat. Oleh karena itu, lensa *invers* dengan jumlah tetesan sedikit lebih banyak gelembung udara terperangkap pada lensa yang menyebabkan pembauran cahaya. Pembauran cahaya menyebabkan cahaya tidak fokus ke *lux meter* sehingga nilai intensitasnya rendah karena terjadi perbedaan kerapatan dimana kerapatan PDMS lebih rapat dibandingkan dengan udara [13].

Gambar 2 untuk suhu 90 °C terlihat memiliki intensitas cahaya yang paling kecil dimana jumlah tetesan 0,032 mL sebesar 150 *lux*, jumlah tetesan 0,048 mL sebesar 155 *lux*, dan jumlah tetesan 0,064 mL sebesar 157 *lux*. Dari hasil pengujian intensitas maka didapatkan nilai intensitas tertinggi ialah pada suhu 70 °C dengan jumlah tetesan 0,064 mL yaitu sebesar 177 *lux*, sedangkan yang terkecil pada suhu 90 °C dengan jumlah tetesan 0,032 mL yaitu sebesar 50 *lux*. Hasil ini juga didukung dengan hasil dari analisis morfologi dengan menggunakan SEM.

Analisis SEM

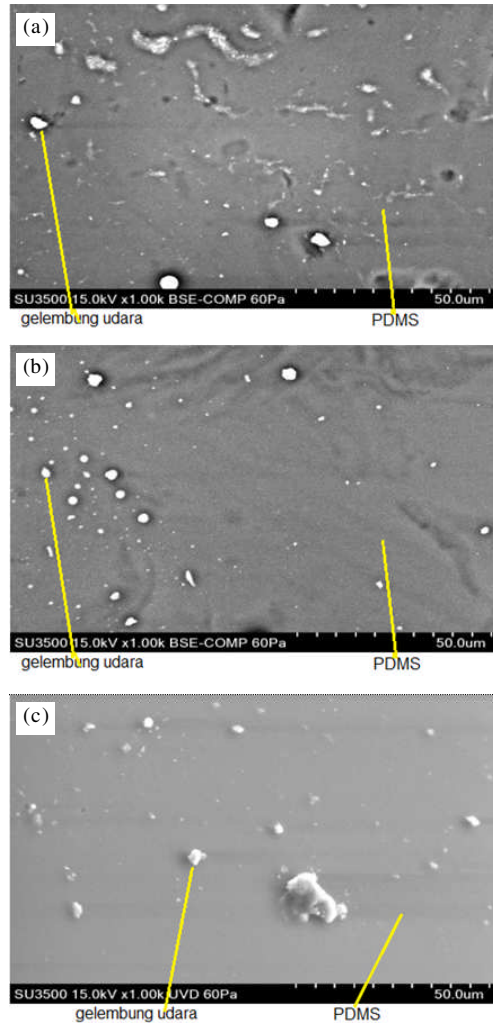
Pengujian SEM dilakukan terhadap sampel yang mempunyai variasi suhu, yaitu; 70 °C, 80 °C, dan 90 °C serta variasi jumlah tetesan yaitu 0,032 mL, 0,048 mL, dan 0,064 mL.

Pada Gambar 3 menunjukkan hasil SEM pada suhu 70 °C dengan variasi jumlah tetesan 0,032 mL, 0,048 mL, dan 0,064 mL. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa jumlah tetesan 0,032 mL memiliki gelembung udara sedikit tetapi gelembung udara yang terbentuk cukup besar. Pada lensa *invers* dengan jumlah tetesan 0,048 mL tetes terdapat banyak gelembung udara yang terperangkap tetapi volume gelembung udaranya lebih kecil, sedangkan pada jumlah tetesan 0,064 mL ditemukan lamel dan gelembung udara yang banyak. Lamel terbentuk dari gelembung udara yang saling bergabung dan ingin bergerak keluar sehingga gabungan gelembung udara yang belum keluar berbentuk lamel pada hasil SEM.



Gambar 2. Hasil analisis SEM dengan suhu 70 °C variasi (a). 0,032 mL, (b). 0,048 mL, dan (c). 0,064 mL

Hasil SEM variasi jumlah tetesan pada suhu *curing* 80 °C dengan variasi jumlah tetesan 0,032 mL, 0,048 mL, dan 0,064 mL dapat dilihat dalam Gambar 4. Pada jumlah tetesan 0,032 mL terlihat masih banyak terdapat lamel gelembung udara yang mulai menyatu.

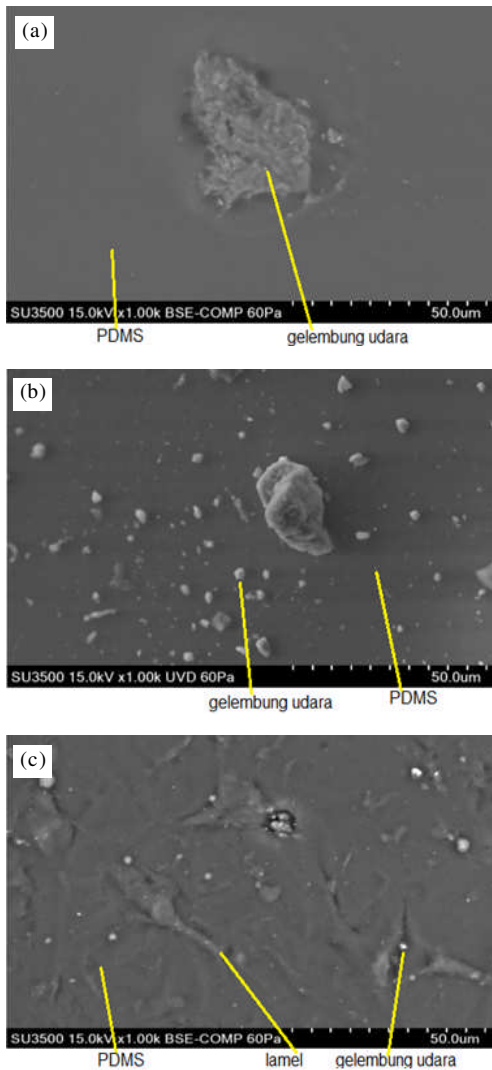


Gambar 4. Hasil analisis SEM-EDS dengan suhu 80 °C variasi (a) 0,032 mL, (b) 0,048 mL, dan (c) 0,064 mL.

Lensa dengan jumlah tetesan 0,048 mL mulai terdapat lamel dari hasil penggabungan udara pada lensa yang sudah mulai keluar dan jumlah gelembung yang terperangkap lebih sedikit daripada jumlah tetesan 0,032 mL. Pada jumlah tetesan 0,064 mL hanya terdapat sedikit gelembung udara.

Gambar 5 menunjukkan hasil SEM yang memiliki variasi jumlah tetesan pada suhu *curing* 90°C. Pada Gambar 5 terlihat adanya gelembung udara yang besar pada sampel (a), sedangkan pada sampel (b) terdapat banyak gelembung udara yang berukuran kecil pada hasil lensa *invers*. Lensa pada jumlah tetesan 0,064 mL terdapat gelembung udara yang sedikit karena gelembung udara yang bergabung mulai hilang sehingga membentuk lamel.

Proses *curing* mempengaruhi morfologi lensa hal ini disebabkan oleh proses *curing* dimana material mengalami proses *crosslink* secara sempurna. Ketika suhu proses *curing* diberikan rendah maka tidak semua sistem antara matriks dengan *hardener* mengalami *crosslinking* dan masih terdapat rantai matriks dan *hardener* atau *curing agent* yang bergerak bebas [10].



Gambar 5. Hasil analisis SEM dengan suhu 90 °C variasi (a). 0,032 mL, (b). 0,048 mL dan (c). 0,064 mL.

Sehingga udara yang terperangkap masih dapat bergerak keluar dan tidak membentuk gelembung di dalam lensa.

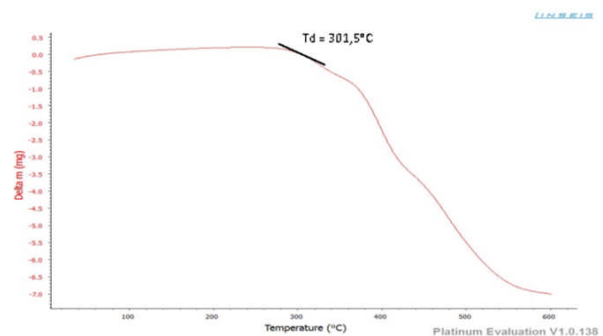
Hasil SEM menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah tetesan maka semakin sedikit gelembung yang terperangkap sedangkan semakin tinggi suhu maka semakin banyak gelembung yang terdapat pada lensa. Hal ini disebabkan semakin banyak jumlah tetesan maka semakin banyak volume PDMS sehingga waktu proses untuk terjadi *crosslinking* semakin lama. Lamanya waktu tersebut menyebabkan gelembung yang terperangkap dapat hilang secara perlahan. Sebelum menghilang gelembung akan membentuk lamel dan kemudian menghilang. Hasil SEM lensa invers pada variasi suhu 90 °C dengan jumlah tetesan 0,032 mL, memperlihatkan hanya terdapat satu gelembung lensa invers dengan variasi suhu 90 °C dengan jumlah tetesan 0,032 mL lebih baik sebab pada saat proses penetasan udara yang terdapat pada jarum suntik lebih sedikit. Jumlah udara yang lebih sedikit mempengaruhi hasil

tetesannya sehingga pada lensa dengan variasi 90 °C dengan jumlah tetesan 0,032 mL hanya terdapat satu gelembung lebih sedikit dibandingkan lensa dengan variasi yang lain. Oleh karena itu, untuk memilih lensa invers yang baik perlu dilihat dari karakterisasi termal lensa karena sifat termal mempengaruhi hasil gambar yang dihasilkan oleh lensa invers. Karakterisasi yang digunakan dengan menggunakan TGA untuk mengetahui kualitas lensa karena lensa invers akan mengalami penurunan kualitas berupa degradasi.

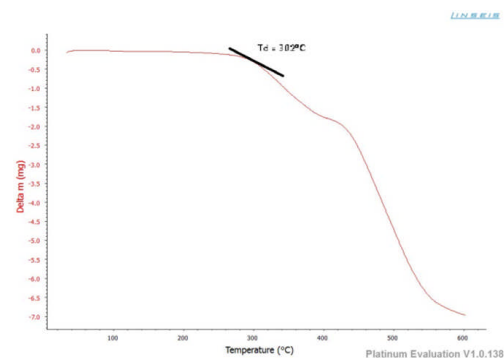
Analisis TGA

Pada penelitian ini dilakukan variasi dengan salah satunya yaitu suhu. Suhu berpengaruh pada sifat polimer agar tidak terjadi degradasi. Degradasi pada polimer disebabkan karena adanya penurunan sifat dari polimer yang salah satunya disebabkan oleh suhu [14]. Agar pemakaian lensa dapat digunakan dengan hasil yang baik diperlukan suhu degradasi (T_d). T_d akan mempengaruhi sifat lensa apabila lensa telah terdegradasi maka akan terlihat menguning sehingga gambar yang dihasilkan lensa akan menghasilkan gambar yang kurang akurat. Dari hasil analisis TGA pada variasi suhu 70 °C, 80 °C, dan 90 °C pada jumlah tetesan 0,032 mL kemudian diolah dengan menggunakan software Origin Pro 9.1 diperoleh pada Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.

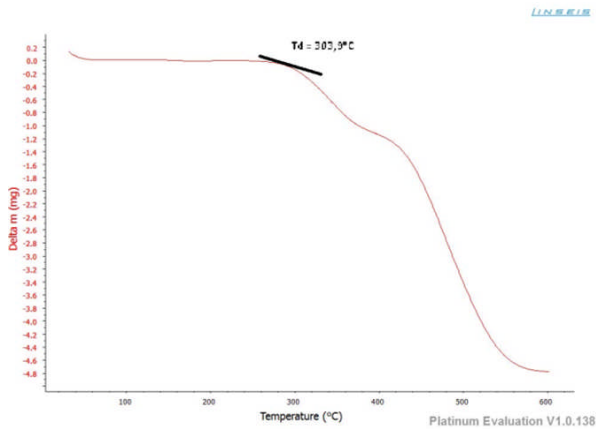
Pada hasil analisis TGA didapatkan hasil pada suhu pemanasan 70 °C nilai T_d sebesar 301,5 °C, pada suhu pemanasan 80 °C nilai T_d sebesar 302 °C dan pada



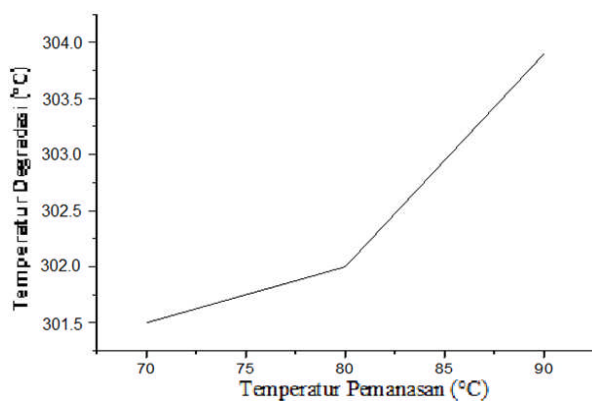
Gambar 6. Hasil analisis TGA Suhu 70 °C.



Gambar 7. Hasil analisis TGA Suhu 80 °C.



Gambar 8. Hasil analisis TGA Suhu 90 °C.



Gambar 9. Grafik nilai Td.

suhu pemanasan 90 °C nilai Td sebesar 303,9 °C. Dari hasil tersebut terlihat pada variasi suhu *curing* 70 °C hingga 90 °C maka nilai Td dari lensa *invers* tersebut tidak berpengaruh begitu signifikan.

Kenaikan nilai Td berbanding lurus dengan kenaikan suhu pemanasan. Hal ini disebabkan pada saat terjadi proses *curing* pada suhu semakin tinggi maka tidak terdapat gas yang menghalangi terjadinya pembentukan rantai atau *cross linking* antara *base PDMS* dengan *curing agent PDMS*. Oleh karena itu, ikatan rantai akan semakin cepat terbentuk sehingga untuk mendegradasi sampel diperlukan suhu yang lebih tinggi dibandingkan suhu yang lebih rendah. Terlihat adanya kenaikan seiring dengan suhu proses *curing* yang dilakukan pada sampel tersebut. Suhu degradasi ini berhubungan erat dengan stabilitas termal, stabilitas termal diukur berdasarkan reaksi dekomposisi. Stabilitas termal berhubungan erat dengan ikatan energi antara atom-atom dalam polimer, ikatan energi yang tinggi akan menghasilkan stabilitas termal yang lebih tinggi [11].

KESIMPULAN

Polydimethylsiloxane dapat digunakan sebagai lensa *invers* karena memiliki sifat optik dan termal yang baik. Semakin tinggi suhu pada pembuatan lensa *invers*

maka nilai intensitas lensa semakin kecil, sedangkan semakin rendah suhunya maka nilai intensitas lensa semakin tinggi. Pengaruh volume tetesan menunjukkan semakin banyak maka semakin besar nilai intensitas lensa. Hasil nilai intensitas cahaya terbesar pada lensa *invers* dengan variasi suhu 70 °C dengan jumlah tetesan 4 tetes (0,064 mL) yaitu sebesar 177 lux. Morfologi lensa dipengaruhi oleh suhu dan volume tetesan, semakin tinggi suhu maka semakin banyak gelembung udara yang terperangkap. Pengaruh volume tetesan semakin banyak volume tetesan maka semakin sedikit gelembung yang terperangkap sebaliknya semakin sedikit volume tetesan maka semakin banyak gelembung udara. Hasil analisis TGA ini menunjukkan variasi suhu *curing* pada lensa *invers* tidak banyak berpengaruh terhadap nilai Td. Lensa *invers* dengan variasi suhu 90 °C memiliki nilai Td paling tinggi yaitu sebesar 303,9 °C. Dari hasil karakterisasi nilai intensitas dan analisis SEM didapatkan lensa *invers* yang baik digunakan adalah lensa dengan variasi suhu 70 °C dengan jumlah tetesan 4 tetes.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih untuk Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia program Unggulan untuk suport dananya. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Tri Partutidan Adhitya Trenggono untuk diskusi dan masukannya.

DAFTAR ACUAN

- [1]. Rohmadi. Teknologi Polimer. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada, 2010.
- [2]. Z. Wang. "Polydimethylsiloxane Mechanical Properties Measured by Macroscopic Compression and Nanoindentation Techniques". Scholar Commons, Graduate Thesis and Dissertations, University of South Florida, 2011
- [3]. W. M. Lee, A. Upadhya, P.J. Reece, and Tri Glang Phan. "Fabricating Low Cost and High Performance Elastomer Lenses Using Hanging Droplets." Biomedical Optics Express, vol. 5, pp. 1626-1635, 2014.
- [4]. Adrian Bele, George Stiubianu, Cristian-Dragos Varganici, Mircea Ignat, and Maria Cazacu. "Silicone Dielectric Elastomers Based on Radical Crosslinked High Molecular Weight Polydimethylsiloxane Co-Filled with Silica and Barium Titanate." Journal of Materials Science, vol. 50, pp. 6822-6832, October 2015.
- [5]. N. E. Stankova, P. A. Atanasov, Ru. G. Nikov, R. G. Nikov, N. N. Nedyalkov, T. R. Stoyanchoy, N. Fukata, K. N. Kolev, E. I. Valova, J. S. Georgieva, and St. A. Armyanov. "Optical Properties of Polydimethylsiloxane (PDMS) During Nanosecond Laser Processing." Applied Surface Science, vol. 374, pp. 96-103, June 2016.

- [6]. Gang Li and Shengyong Xu. "Small Diameter Microchannel of PDMS and Complex Three-Dimensional Microchannel Network." *Materials and Design*, vol. 81, pp. 82-86, 2015.
- [7]. H.S. Hong, L.X. Chen, Q.W. Zhang, and F. He. "The Structure and Pervaporation Properties for Acetic Acid/Water of Polydimethylsiloxane Composite Membranes." *J. Mater. Des.*, vol. 34, pp. 732-738, 2012.
- [8]. E.K. Her, T.J. Ko, B. Shin, H. Roh, W. Dai, W.K. Seong, H.Y. Kim, K.R. Lee, K.H. Oh, and M.W. Moon. "Superhydrophobic Transparent Surface of Nanostructured Poly(Methyl Methacrylate) Enhanced by A Hydrolysis Reaction." *Plasma Processes Polym*, vol. 10, pp. 481-488, 2013.
- [9]. Z. Hua, J. Yang, T. Wang, G. Liu, and G. Zhang. "Transparent Surface with Reversiblyswitchable Wettability Between Superhydrophobicity and Superhydrophilicity." *Langmuir*, vol. 29, pp. 10307-10312, 2013.
- [10]. Amit Bhattacharya, James W. Rawlins, and Paramita Ray. "Polymer Grafting and Crosslinking." New York: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [11]. William D. Callister, Jr. and David G. Rethwisch. "Materials Science and Engineering an Introduction". 9th edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [12]. Ganijanti A. S. "Gelombang dan Optika. Jakarta: Salemba Teknik, 2011.
- [13]. Abdullah, R. "Asas-asas Ilmu Alam Universitas. Ujung Pandang: Lembaga Penerbitan Universitas Hasanuddin, 1985.
- [14]. P.M. Visakh, and Yoshihiko, A. *Thermal Degradation of Polymer Blends, Composites and Nanocomposites*. Switzerland: Springer International Publishing, 2015.