



PAPER – OPEN ACCESS

Pengaruh Temperatur Ekstrusi Terhadap Sifat Mekanis dan Komposisi Kimia Filamen UHMWPE/PEG/PO

Author : Azka Aulia, dkk
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1872
Electronic ISSN : 2654-7031
Print ISSN : 2654-7031

Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Pengaruh Temperatur Ekstrusi Terhadap Sifat Mekanis dan Komposisi Kimia Filamen UHMWPE/PEG/PO

Azka Aulia*, Muslim Mahardika, Budi Arifvianto, Urip A. Salim

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281, Indonesia
Centre for Innovation of Medical Equipments and Devices (CIMEDs), Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Teknik Utara,
Yogyakarta 55281, Indonesia

azkaulia96@gmail.com, muslim_mahardika@ugm.ac.id, budi.arif@gmail.com, urip-as@ugm.ac.id

Abstrak

Kemampuan dalam membuat suatu bentuk yang rumit dan spesifik menjadi kelebihan dari metode 3D *printing*. Di bidang medis, pemilihan material yang tepat menjadi krusial karena interaksinya dengan jaringan hidup. Salah satu jenis material yang tergolong dalam kategori untuk aplikasi biomedis adalah *Ultra High Molecular Weight Polyethylene* (UHMWPE). Sejauh ini, ketersediaan material dalam bentuk bahan baku untuk 3D *printing* masih belum banyak ditemukan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk membuat filamen UHMWPE menggunakan kombinasi *polyethylene glycol* (PEG) dan *paraffin oil* (PO) dengan komposisi campuran 95% UHMWPE, 5% PEG dan 10 phr PO. Penambahan PEG dan PO diperlukan untuk meningkatkan *flowability* dan *processability* dari UHMWPE. Filamen dibentuk melalui proses ekstrusi yang dilakukan dengan mesin ekstruder *single screw* dengan tiga variasi temperatur, yakni pada 140, 150, dan 160 °C. Dapat dianalisis mengenai pengaruh peningkatan temperatur ekstrusi terhadap sifat mekanis dan komposisi kimia filamen dengan hasil pengujian FTIR didapati puncak gelombang filamen yang menunjukkan adanya material UHMWPE, PEG dan PO yang menyusunnnya yang menunjukkan filamen memiliki campuran dan stabilitas kimia yang baik. Terjadi penurunan intensitas tertinggi pada filamen 160 °C dibanding filamen 140 °C dan 150 °C. Sementara itu, hasil uji mekanis menunjukkan kekuatan tarik filamen meningkat seiring meningkatnya temperatur ekstrusi dengan kekuatan tarik rata-rata terbesar 20 MPa pada temperatur ekstrusi 160 °C. Titik lebur dan derajat kristalinitas filamen yang diperoleh lebih rendah dari nilai-nilai untuk material bahan baku UHMWPE. Filamen 140 °C memiliki titik leleh tertinggi dan derajat kristalinitas terendah dibanding dengan filamen 150 °C dan 160 °C.

Kata Kunci: Ekstrusi; Filamen; UHMWPE

Abstract

The ability to transform complex and specific forms is a distinct advantage of 3D printing. In the field of medicine, the selection of suitable materials is crucial due to their interaction with living tissues. One type of material suitable for biomedical applications is Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE). However, the availability of UHMWPE material in raw form for 3D printing is still limited. Therefore, this research focuses on synthesizing UHMWPE filament using a mixture of polyethylene glycol (PEG) and paraffin oil (PO) with a composition of 95% UHMWPE, 5% PEG, and 10 phr PO. The addition of PEG and PO is necessary to improve the flowability and processability of UHMWPE. Filaments are formed through the extrusion process using a single-screw extruder machine at three different temperatures: 140, 150, and 160 °C. The effect of adding extrusion temperature on the mechanical parcels and chemical composition of the hair is anatomized. Fourier Transform Infrared (FTIR) testing reveals peak waveforms indicating the presence of UHMWPE, PEG, and PO in the filament, demonstrating a good chemical mixture and

stability. The highest intensity decrease is observed in the filament extruded at 160 °C compared to those extruded at 140 and 150 °C. Meanwhile, mechanical testing shows an increase in tensile strength with the increasing extrusion temperature, with the highest average tensile strength of 20 MPa achieved at an extrusion temperature of 160 °C. The melting point and degree of crystallinity obtained for the filament are lower than those of the raw UHMWPE material. Among the tested filaments, the one extruded at 140 °C exhibits the highest melting point and the lowest degree of crystallinity compared to those extruded at 150 and 160 °C..

Keywords: Extrusion; Filament; UHMWPE

1. Pendahuluan

3D printing merupakan proses pencetakan benda tiga dimensi yang berasal dari file digital. Objek dibuat dengan menumpuk material secara berurutan [1]. Satu jenis yang banyak digunakan dalam 3D printing adalah *fused deposition modelling* (FDM), dimana filamen dilelehkan dan dibentuk oleh *nozzle* menjadi lapisan yang sesuai dengan desain *computer aided design* (CAD) [2]. Beberapa parameter penting FDM termasuk sudut raster, ketebalan lapisan, air gap, raster *width* [3], *feed rate*, dan temperatur ekstrusi [4].

Untuk bahan baku 3D printing, filamen yang biasa digunakan berdiameter 1,75 mm dengan toleransi $\pm 0,05$ mm [5]. *polylactic acid* (PLA) adalah bahan yang paling umum digunakan karena mudah dicetak dan murah [6]. Namun, ada banyak bahan lain yang dapat digunakan seperti PP, LDPE, HDPE, PET [7], PPSU, ABS, dan PC [3].

Salah satu aplikasi 3D printing adalah dibidang medis karena kemampuannya untuk membuat desain yang kompleks dan sesuai dengan kondisi pasien [8]. Namun, bahan yang digunakan dalam bidang medis harus bersifat biomedis seperti UHMWPE yang dapat digunakan untuk membuat sisipan tibial sendi lutut. [9]. Meskipun UHMWPE memiliki banyak keunggulan, proses ekstrusi sulit karena mudah menggumpal, kekentalan lelehan yang tinggi dan kemampuan alir yang rendah [10].

Dalam suhu window tertentu, ekstrusi UHMWPE dapat dilakukan menggunakan tekanan yang lebih rendah dan menunjukkan permukaan yang halus. *Window temperature* berada pada kisaran 153-160°C dan meningkat seiring meningkatnya berat molekul. Tekanan ekstrusi dapat juga menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan dan temperatur ekstrusi [11].

Saat ini belum ada filamen UHMWPE yang dijual dipasaran. Pengembangan material UHMWPE sebagai bahan baku 3D printing memerlukan proses yang panjang dan memerlukan pemesinan lebih lanjut untuk memastikan keakuratan dimensi dan kemampuan cetak filamen pada mesin 3D *printing*. Karakteristik dari filamen UHMWPE yang diekstrusi juga merupakan hal yang perlu dikaji seperti kekuatan tarik, titik leleh, dan gugus fungsinya.

Untuk meningkatkan *processability* dan *flowability*, UHMWPE dapat dipadukan dengan *polyethylene glycol* (PEG) dan *paraffin oil* (PO). PEG dapat mengurangi viskositas lelehan dan meningkatkan laju alir sehingga meningkatkan *porcessability* [12]. PEG aman digunakan sebagai material medis karena sudah digunakan dalam obat-obatan dan alat medis [13]. PO ditambahkan untuk mengurangi viskositas dan mampu proses dari UHMWPE saat diekstrusi [14]. PO juga banyak digunakan dalam bidang medis dengan adanya *PO medical grade*.

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk memahami dampak dari meningkatnya suhu ekstrusi terhadap sifat mekanis dan komposisi kimia dari filamen UHMWPE yang dicampur dengan PEG dan PO dengan komposisi campuran 95% UHMWPE, 5% PEG, dan 10 phr PO dan diekstrusi dengan ekstruder *single screw*.

2. Metode Penelitian

2.1. Material

Dalam pembuatan filamen UHMWPE ini digunakan bahan baku berupa batang UHMWPE dengan diameter 22 mm seperti nampak pada Gambar 1, PEG cair memiliki berat molekul sebesar 400 g/mol sementara PO memiliki massa jenis antara 0,845-0,905 g/ml.



Gambar 1. Batang UHMWPE

2.2. Metode

Batang UHMWPE dibubut untuk mengecilkan ukuran sehingga dapat masuk ke dalam mesin *planetary ballmill* dan mesin ekstruder. Tatal yang didapat kemudian dipotong manual dan dicincang lagi untuk lebih mengecilkan ukuran sehingga dapat terlapisi dengan baik ketika dicampur dengan PEF dan PO. Tatal UHMWPE hasil cincang nampak pada gambar 2. Setelah dicincang, dilakukan sterilisasi uap. Setelah tatal dikeringkan, tatal UHMWPE dilakukan pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi dan reaksi senyawa campuran. Uji coba dilakukan pada rentang spektrum gelombang antara 400 hingga 4000 cm^{-1} (*mid-IR spectrum*). Selanjutnya dilakukan pengujian DSC untuk mengetahui titik leleh dan derajat kristalinitasnya. Pengujian DSC menggunakan gas nitrogen dengan laju aliran 10 ml/menit dan dilakukan pada rentang temperatur 30-300 °C.

Bahan yang akan diekstrusi adalah campuran tatal UHMWPE dengan *polyethylene glycol* dan *paraffin oil* untuk meningkatkan *procesability* dan *flowability* dari UHMWPE saat diekstrusi. Komposisi campuran berupa 95% UHMWPE, 5% PEG dan 10 phr PO. Pencampuran dilakukan di dalam *planetary ballmill* dengan putaran 500 rpm dalam waktu 30 menit.

Penelitian dilakukan dengan mesin ekstrusi *single screw* dengan menggunakan 3 temperatur ekstrusi yaitu pada 140, 150, dan 160 °C. Diameter *nozzle* adalah 1,54 mm. Putaran *screw* diatur pada 11 rpm. Selanjutnya dilakukan pengujian FTIR pada masing-masing filamen. Spesimen yang digunakan pada pengujian FTIR adalah filamen UHMWPE/PEG/PO yang dibuat menjadi serbuk. Penggunaan FTIR dalam pengujian filamen bertujuan untuk mendapatkan data mengenai ikatan kimia dan molekul yang membentuk filamen UHMWPE setelah dicampur dengan PEG dan PO yang kemudian dilakukan proses ekstrusi. Hasil yang didapat kemudian dibandingkan dari masing-masing spesimen yang ada. Selanjutnya dilakukan pengujian tarik untuk mendapat kekuatan tarik filamen. Tegangan tarik dapat dicari dengan persamaan (1). Spesimen uji tarik berupa filamen dengan panjang 50 mm sebanyak 8 buah untuk mengetahui deviasinya. Kecepatan penarikan diatur pada 50 mm/menit. Dari hasil yang didapat kemudian dihitung rata-ratanya kemudian dibandingkan dengan hasil variabel lainnya. Selanjutnya dilakukan pengujian DSC untuk mengetahui titik leleh filamen dan derajat kristalinitas dari filamen UHMWPE/PEG/PO. Pengujian dilakukan dengan gas nitrogen yang dialirkan dengan *flowrate* 10 ml/min. Pengujian dilakukan pada temperatur 30-300 °C. Derajat kristalinitas didapatkan dengan menggunakan persamaan (2).



Gambar 2. Tatal Hasil Cincang

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dengan:

- σ = Tegangan (N/m²)
 F = Gaya (N)
 A = Luas penampang (m²)

$$\%X = \frac{\Delta H_{\text{endotherm}}}{\Delta H_f} \quad (2)$$

dengan:

- $\%X$ = Derajat kristalinitas
 $\Delta H_{\text{endotherm}}$ = Kalor endotermik (j/g)
 ΔH_f = Kalor fusi UHMWPE (289 j/kg)

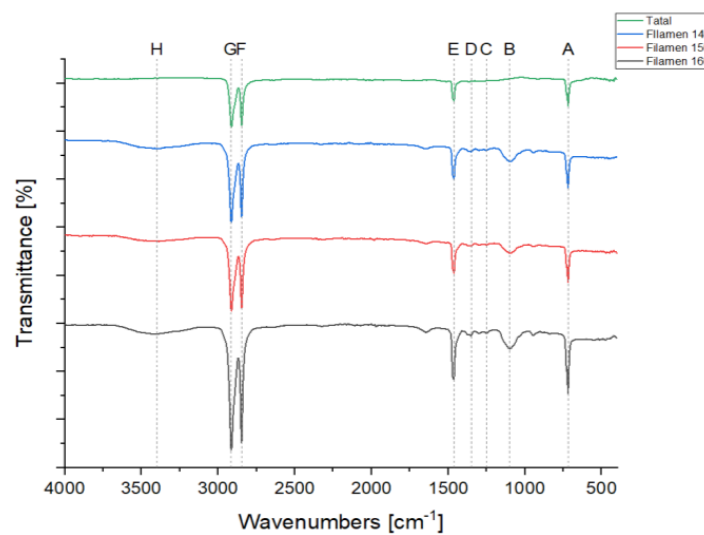
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi dengan FTIR

Pengujian FTIR dilakukan pada sampel material UHMWPE, filamen dengan temperatur ekstrusi 140, 150, dan 160 °C. Serbuk dari filamen yang diuji FTIR nampak pada Gambar 3. Tujuan dari pengujian FTIR filamen adalah untuk gugus fungsi sehingga dapat diketahui reaksi senyawa antar campurannya yang kemudian dibandingkan dengan material UHMWPE. Dengan ditambahkan PEG dan PO pada UHMWPE yang akan diekstrusi, muncul puncak gelombang baru pada hasil FTIR seperti pada Gambar 4.



Gambar 3. Serbuk filamen



Gambar 4. Hasil FTIR filamen UHMWPE/PEG/PO

Dari hasil FTIR pada Gambar 4, ditampilkan dan dibandingkan dengan literatur FTIR sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil FTIR filamen UHMWPE dengan vibrasinya

Kode	Spesimen	Wavenumbers		Vibrasi	Referensi
		Eksperimen (cm ⁻¹)	Literatur (cm ⁻¹)		
A	Tatal	717,52		C-Cl <i>stretching vibration</i>	[20]
	Filamen 140	717,52	800-700		
	Filamen 150	717,52			
	Filamen 160	717,52			
B	Tatal	-		C-O-C of <i>ether</i>	[16]
	Filamen 140	1099,43	1100-1060		
	Filamen 150	1095,57			
	Filamen 160	1095,57			
C	Tatal	-		C-O <i>stretching of alcohol</i>	[19]
	Filamen 140	1249,87	1250		
	Filamen 150	1249,87			

	Filamen 160	1249,57			
	Tatal	-			
D	Filamen 140	1350,17	1377	CH ₃ bending	[18]
	Filamen 150	1365,6			
	Filamen 160	1365,6			
	Tatal	1462,04			
E	Filamen 140	1462,04	1485-1445	Methylene C-H bending	[21], [22]
	Filamen 150	1462,04			
	Filamen 160	1462,04			
	Tatal	2846,93			
F	Filamen 140	2846,93	2865-2845	Methylene C-H symmetric stretching s	[21]
	Filamen 150	2846,93			
	Filamen 160	2846,93			
	Tatal	2912,51			
G	Filamen 140	2916,37	3000-2900	C-H stretching vibrations	[20]
	Filamen 150	2912,51			
	Filamen 160	2916,37			
	Tatal	-			
H	Filamen 140	3398,57	3400-3200	OH stretching	[21], [22]
	Filamen 150	3406,29			
	Filamen 160	3394,72			

PEG menunjukkan absorpsi yang sama seperti alkohol primer. Karena itu, penyerapan ini melibatkan perubahan dalam rentangan dan lenturan terbatas pada penyeretan C-C, penyeretan C-O, penyeretan CH (penyerapan metilena), dan lenturan C-H [15]. Gelombang FTIR PEG telah dipelajari sebelumnya dan diamati pada rentang 3400 cm⁻¹, 2900 cm⁻¹, 1450 - 1292 cm⁻¹, 1250 cm⁻¹, dan 1100 - 1060 cm⁻¹ [16]. Untuk jejak gelombang FTIR pada PO pada 2916 cm⁻¹, 2848 cm⁻¹, 1466 cm⁻¹, 1377 cm⁻¹, dan 720 cm⁻¹ [17], [18]. Jika dibandingkan antara filamen UHMWPE/PEG/PO dengan UHMWPE murninya, nampak ada puncak baru yang teridentifikasi. Hal ini disebabkan penambahan PEG dan PO cair pada UHMWPE yang akan diekstrusi. Pada hasil FTIR filamen, seluruh puncak yang terdeteksi berasal dari UHMWPE, PEG dan PO sehingga dapat disimpulkan bahwa filamen UHMWPE/PEG/PO memiliki stabilitas kimia yang baik [17].

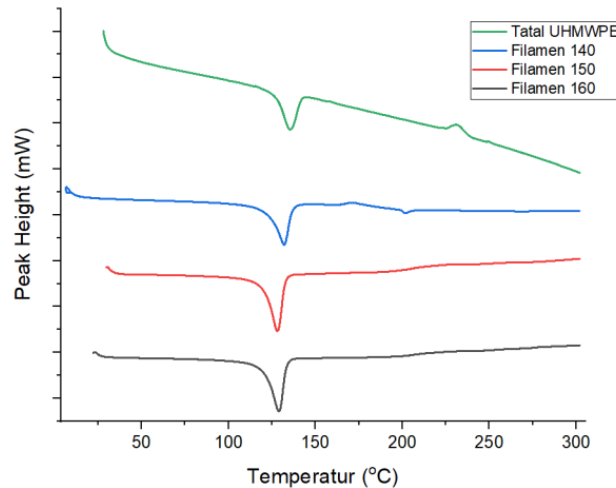
Dari hasil pengujian FTIR didapati bahwa pada filamen dengan suhu ekstrusi 140 °C dibanding dengan 150 °C memiliki perbedaan intensitas yang tidak terlalu besar. Perbedaan yang cukup besar ada pada filamen dengan suhu ekstrusi 160 °C jika dibanding dengan filamen 150 °C. Peningkatan intensitas yang cukup signifikan terjadi pada A sebesar 13%, E sebesar 9,6%, F sebesar 37,6%, dan G sebesar 43,6%. Seluruh filamen memiliki intensitas A, E, F dan G lebih tinggi dibanding dengan UHMWPE murninya.

3.2. Karakterisasi dengan DSC

Tujuan dilakukannya karakterisasi DSC adalah untuk mengetahui besar panas yang dibutuhkan untuk melelehkan filamen. Hal ini menggambarkan perubahan fasa material dari pada ke cair tanpa terjadi perubahan komposisi material. Selain mendapatkan titik leleh suatu material, uji DSC juga mendapatkan *heat endothermic* dari masing-masing filamen. Dari *heat endothermic* yang didapat, dapat dihitung berapa derajat kristalinitas dari masing-masing filamen. Hasil DSC nampak pada gambar 5.

Nampak pada gambar 5 terjadi penurunan titik leleh (*melting point*) dari filamen jika dibandingkan dengan tatalnya. Hal ini terjadi karena adanya proses pemésinan (bubut, sterilisasi uap, dan ekstrusi) dimana material menyerap banyak kalor. Hasil perbandingan dari titik leleh dari masing-masing filamen menunjukkan titik leleh dari filamen 140 °C lebih tinggi 3,06% dari filamen 150 °C, sedangkan filamen 160 °C memiliki titik leleh filamen 0,68% lebih tinggi dari filamen 150 °C. Selain itu derajat kristalinitas filamen juga mengalami penurunan dibanding dengan derajat kristalinitas tatal UHMWPE. Dengan diketahuinya *heat endotherm*, maka dapat dicari derajat kristalinitas menggunakan persamaan 1 dan ditampilkan sebagaimana nampak pada tabel 2. Filamen 140 °C memiliki derajat

kristalinitas 11,6% lebih rendah dari filamen 150 °C dan filamen 160 °C memiliki derajat kristalinitas lebih rendah 0,87% dari filamen 150 °C. Derajat kristalinitas filamen tidak menunjukkan pola yang dapat disimpulkan akibat adanya fluktuasi *heat endotherm* dari filamen. Hal ini dimungkinkan akibat tidak homogenya filamen hasil ekstrusi.



Gambar 5. Hasil DSC total UHMWPE dan filamen UHMWPE/PEG/PO

Tabel 2. Hasil DSC total UHMWPE dan filamen UHMWPE/PEG/PO

Spesimen	Titik leleh (°C)	Heat endotherm (J/g)	Derajat kristalinitas (%)
Total	135,43	192,21	66,51%
Filamen 140	132,05	116,25	40,22%
Filamen 150	128,13	149,75	51,82%
Filamen 160	129,01	147,25	50,95%

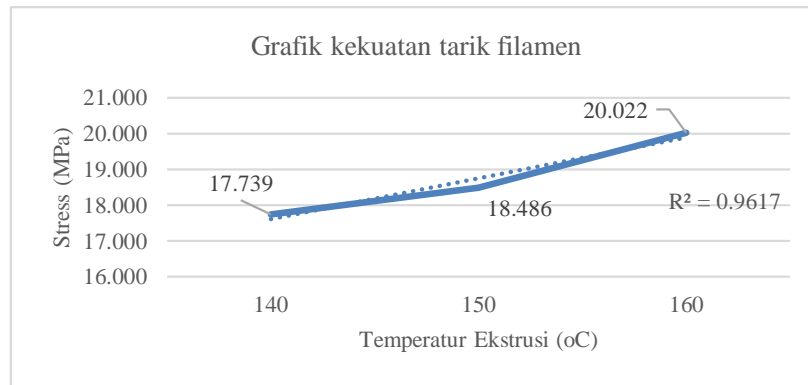
3.3. Pengujian Tarik

Pengujian tarik filamen UHMWPE dilakukan menggunakan spesimen filamen dengan panjang 50 mm dengan total delapan filamen. Diameter filamen diukur terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian tarik. Spesimen uji tarik nampak pada Gambar 6. Pengujian dilakukan di temperatur ruang dengan *tensile speed* 50 mm/menit. Hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Spesimen uji Tarik

Dari hasil yang didapat, filamen dengan kekuatan tarik tertinggi didapat dari filamen dengan temperatur ekstrusi 160 °C. Peningkatan temperatur ekstrusi secara langsung meningkatkan kekuatan tarik filamen. Grafik hasil uji tarik filamen nampak pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik kekuatan tarik filamen

Gambar 8 menunjukkan filamen yang telah diuji tarik. Nampak terjadi regangan yang tinggi untuk filamen dapat mengalami patah. Hal ini menunjukkan sifat ulet dari filamen mampu menyerap beban tinggi sebelum patah [2].



Gambar 8. Filamen hasil uji tarik

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil membuat filamen dengan bahan UHMWPE dengan campuran PEG dan PO. Pengujian FTIR menunjukkan bahwa filamen memiliki stabilitas kimia yang baik dengan diindikasikan seluruh puncak dari bahan baku muncul pada filamen. Terjadi penurunan intensitas cukup tinggi pada filamen 160 °C dibanding dengan 140 °C dan filamen 150 °C. Tarikan filamen meningkat sejalan dengan kenaikan suhu proses ekstrusi. Nilai kekuatan tarik tertinggi dicapai oleh filamen yang memiliki suhu 160 derajat Celsius dengan nilai rata-rata kekuatan tarik sebesar 20 MPa. Foto filamen yang telah diuji tarik dan patahan filamen menunjukkan bahwa filamen bersifat ulet. Pengujian DSC menunjukkan filamen memiliki titik leleh dan derajat kristalinitas lebih rendah dari UHMWPE murninya. Titik leleh filamen 140 °C lebih tinggi dibanding dengan filamen 150 °C dan 160 °C. Filamen 140 °C memiliki derajat kristalinitas terendah dibanding dengan filamen 150 °C dan 160°C

Referensi

- [1] A. J. Almaliki, "The Processes and Technologies of 3D Printing," *International Journal of Advances in Computer Science and Technology*, vol. 4, 2015.
- [2] C. Irawan, B. Arifvianto, and M. Mahardika, "Pengaruh Temperatur Ekstrusi Terhadap Sifat Fisis, Kimiawi Dan Kekuatan Tarik Filamen Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE)," *Jurnal Teknologi Terapan* |, vol. 7, no. 2, 2021.
- [3] S. H. Masood, "Advances in Fused Deposition Modeling," in *Comprehensive Materials Processing*, Elsevier Ltd, 2014.
- [4] V. E. Kuznetsov, A. N. Solonin, A. Tavitov, O. Urzhumtsev, and A. Vakulik, "Increasing strength of FFF three-dimensional printed parts by influencing on temperature-related parameters of the process," *Rapid Prototyp J*, vol. 26, no. 1, 2020.
- [5] Herianto, S. I. Atsani, and H. Mastrisiswadi, "Recycled Polypropylene Filament for 3D Printer: Extrusion Process Parameter Optimization," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2020.
- [6] R. Noorani, *3D Printing TECHNOLOGY, APPLICATION, and SELECTION*. Boca Raton: CRC Press, 2018.
- [7] M. K. J. E. Exconde, J. A. A. Co, J. Z. Manapat, and E. R. Magdaluyo, "Materials selection of 3D printing filament and utilization of recycled polyethylene terephthalate (PET) in a redesigned breadboard," in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2019.
- [8] H. N. Chia and B. M. Wu, "Recent advances in 3D printing of biomaterials," *J Biol Eng*, vol. 9, no. 1, 2015.
- [9] B. T. Prayoga and R. Dharmastiti, "Perbandingan Sifat Keausan Uhmwpe Terhadap Commercially Pure Titanium (Cp-Ti) Dan Stainless Steel 316l Untuk Aplikasi Sendi Lutut Buatan," *Jurnal Material Teknologi Proses*, vol. 1, no. 1, 2015.
- [10] Y. Li, H. He, Y. Ma, Y. Geng, and J. Tan, "Rheological and mechanical properties of ultrahigh molecular weight polyethylene/high density polyethylene/polyethylene glycol blends," *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [11] L. M. Fang, P. Gao, and X. W. Cao, "Temperature window effect and its application in extrusion of ultrahigh molecular weight polyethylene," *Express Polym Lett*, vol. 5, no. 8, 2011.
- [12] M. Xie, X. Liu, and H. Li, "Influence of poly(ethylene glycol)-containing additives on extrusion of ultrahigh molecular weight polyethylene/polypropylene blend," *J Appl Polym Sci*, vol. 100, no. 2, 2006.
- [13] D. Hutanu, "Recent Applications of Polyethylene Glycols (PEGs) and PEG Derivatives," *Modern Chemistry & Applications*, vol. 02, no. 02, 2014.
- [14] M. Catauro, C. Scolaro, G. Dal Poggetto, S. Pacifico, and A. Visco, "Wear resistant nanocomposites based on biomedical grade UHMWPE paraffin oil and carbon nano-filler: Preliminary biocompatibility and antibacterial activity investigation," *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 4, 2020.
- [15] A. Reddy Polu and R. Kumar, "Impedance Spectroscopy and FTIR Studies of PEG-Based Polymer Electrolytes," *E-Journal of Chemistry*, 2011.
- [16] Khairuddin, E. Pramono, S. B. Utomo, V. Wulandari, A. W. Zahrotul, and F. Clegg, "FTIR studies on the effect of concentration of polyethylene glycol on polymerization of Shellac," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, 2016.
- [17] C. O. Chin, X. Yang, S. C. Paul, Susilawati, L. S. Wong, and S. Y. Kong, "Development of thermal energy storage lightweight concrete using paraffin-oil palm kernel shell-activated carbon composite," *J Clean Prod*, vol. 261, 2020.
- [18] N. A. Hamizi *et al.*, "Raman spectroscopy and FTIR spectroscopy studies of Mn-doped CdSe QDs at different particles size," *Optik (Stuttg)*, vol. 179, 2019.
- [19] K. Yuniarto, Y. A. Purwanto, S. Purwanto, B. A. Welt, H. K. Purwadaria, and T. C. Sunarti, "Infrared and Raman studies on polylactide acid and polyethylene glycol-400 blend," in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., 2016.
- [20] D. A. Skoog, F. J. Holler, and S. R. Crouch, *Principles of Instrumental Analysis*, 7th ed., no. 3. Boston: Cengage Learning, 2018.
- [21] A. B. D. Nandiyanto, R. Oktiani, and R. Ragadhita, "How to read and interpret ftir spectroscopy of organic material," *Indonesian Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, 2019.
- [22] S. A. Haddadi, A. R. Ahmad, M. Amini, and A. Kheradmand, "In-situ preparation and characterization of ultra-high molecular weight polyethylene/diamond nanocomposites using Bi-supported Ziegler-Natta catalyst: Effect of nanodiamond silanization," *Mater Today Commun*, vol. 14, 2018.