

KAJI EKSPERIMENTAL SIFAT MEKANIK OBJEK MATERIAL *THERMOPLASTIC POLYURETHANE* MENGGUNAKAN *FUSED DEPOSITION MODELING ADDITIVE MANUFACTURING*

Casey Ediana Goestiandi^a dan Marten Darmawan^{a,†}

^a*Program Studi Teknik Mesin, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Raya Cisauk, Tangerang, 15345, Indonesia*

Abstract—Teknologi *additive manufacturing (3D Printing)* dalam dunia industri berkembang semakin cepat. Produk yang dibuat pun juga memiliki fungsi yang beragam dalam kehidupan sehari-hari. Karet sintetis (*TPU*) merupakan salah satu material alternatif yang dapat digunakan dalam *additive manufacturing* dikarenakan sifatnya yang elastis dan memiliki titik leleh untuk mencapai fasa cair yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan material pada umumnya (*ABS, PLA*, dan lain sebagainya). Oleh karena itu dilakukan kaji eksperimental akan sifat mekanik dari *TPU* dengan variabel berupa variasi temperatur pemanasan (240 °C, 250 °C, dan 260 °C) dan variasi *printing orientation* (X, Y, dan Z). Selain sifat mekanik, dilakukan juga pengamatan dalam membandingkan kualitas hasil *printing* terhadap spesimen uji tersebut. Dari hasil pengujian didapatkan modulus elastisitas tertinggi oleh *z printing orientation* pada variabel suhu 260 °C sedangkan *strain* tertinggi dicapai oleh *Y printing orientation* pada suhu 240 °C. Kemudian kualitas *printing* terbaik dihasilkan pada suhu ; *printing* 260 °C.

Index Terms—*additive manufacturing, fused deposition modeling, thermoplastic polyurethane, material alternatif.*

I. LATAR BELAKANG

ADDITIVE *manufacturing* adalah proses pembuatan suatu benda dengan sistem pemodelan 3 dimensi yang didesain melalui suatu program *computer aided design*. Penemuan *additive manufacturing* ini sudah ada sejak abad ke-20 dan dikomersilkan pertama kali pada tahun 1980 oleh Charles Hull [1]. Terdapat beberapa karakteristik yang membuat *additive manufacturing* memiliki potensi yang mendukung dalam dunia industri. Pertama *rapid prototyping*, dimana pemodelan dibuat lebih cepat dibandingkan proses manufaktur konvensional dan meminimalisir material yang terbuang. Kedua adalah tingkat ketelitian dan presisi yang tinggi yang dapat membuat struktur kompleks serta properti model dapat diprediksi. Ketiga adalah tidak membutuhkan proses penyambungan dan pemesinan lanjutan (*tooling, machining*, dan lain sebagainya) [2].

Sistem kerja dari *additive manufacturing* yang umum digunakan adalah sistem kerja *Fused Deposition Modelling*

(*FDM*). Proses kerja *FDM* adalah *layer per layer*, di mana model dibuat dengan pembuatan *layer* atau lapisan yang bergerak dari bawah ke atas. Tingkat ketelitian (resolusi) dari proses pembuatan model pada *FDM* berdasarkan dari ukuran *nozzle* yang digunakan. Selain itu, pada proses kerja *FDM*, penentuan orientasi (sumbu X, Y, dan Z) pada saat proses pembuatan model akan memengaruhi hasil dari produk pada saat proses pembuatan [3] (seperti pada jenis *PLA*, akan memengaruhi pada posisi penyangga yang akan diletakkan). Selain faktor orientasi, penentuan tingkat kepadatan dari produk yang akan dibuat juga memengaruhi kecepatan dari proses pemodelan. Semakin padat model yang dibuat, maka semakin lama proses pembuatannya, begitu pun sebaliknya.

Pada umumnya material yang digunakan untuk *additive manufacturing* adalah *ABS* atau *PLA*. *ABS* merupakan termoplastik yang memiliki ketahanan terhadap benturan, konduktivitas termal yang rendah, dan ketahanan pada suhu tinggi [4]. Kemudian *PLA* merupakan material termoplastik yang berasal dari sumber daya terbarukan seperti pati jagung, umbi, singkong, dan atau tebu. Selain itu *PLA* ini juga bersifat bioaktif dan dapat terurai kembali sehingga sangat ramah lingkungan [5]. Namun kedua material tersebut menghasilkan produk dengan sifat mekanik yang cenderung cukup kaku sehingga membatasi fungsionalitas dari produk yang dihasilkan. Dengan demikian maka diperlukan material baru yang memiliki sifat lebih elastis dari *ABS* dan *PLA* untuk memperluas variasi produk yang dapat dihasilkan oleh *additive manufacturing* dan salah satu dari material itu adalah karet sintetis (*TPU*). Untuk dapat mengetahui sifat-sifat yang dimiliki oleh *TPU* maka akan dilakukan kaji eksperimental kuantitatif berupa pengujian sifat mekanik produk *TPU* berdasarkan temperatur pemanasan yang digunakan dan arah orientasi *printing* serta mengamati kualitas hasil *printing* produk. Kaji eksperimental ini bertujuan untuk mengetahui kualitas serta sifat mekanik dari produk *TPU* hasil *printing* dengan metode *FDM*.

II. METODE PENELITIAN

Pengujian pada penelitian akan dilakukan dengan cara kaji eksperimental (*trial and error*) yang bertujuan untuk menge-

[†]Corresponding author: Marten Darmawan (e-mail: marten.darmawan@atmajaya.ac.id).

Manuscript received February 9, 2020; revised March 12, 2020.

tahui dan menentukan temperatur pemanasan dan *printing orientation* dalam proses pengerjaannya dan pengaruh dari dua variabel itu sendiri terhadap sifat mekanik material dari bahan TPU, dimana spesimen yang dibuat menggunakan standar ASTM D695. Pemilihan temperatur pemanasan juga akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dibuat sehingga spesimen yang sudah dibuat akan diuji dengan 2 pengujian, yaitu pengujian tekan *compression test* dan pengujian kualitas hasil *printing*. Pengujian tekan dilakukan menggunakan mesin Shimadzu AG-X plus Universal Testing Machine. Sedangkan pengujian kualitas dilakukan menggunakan mesin mikroskop Olympus BX53M. Ilustrasi pengujian tekan dan kualitas dapat dilihat pada Gambar 1.

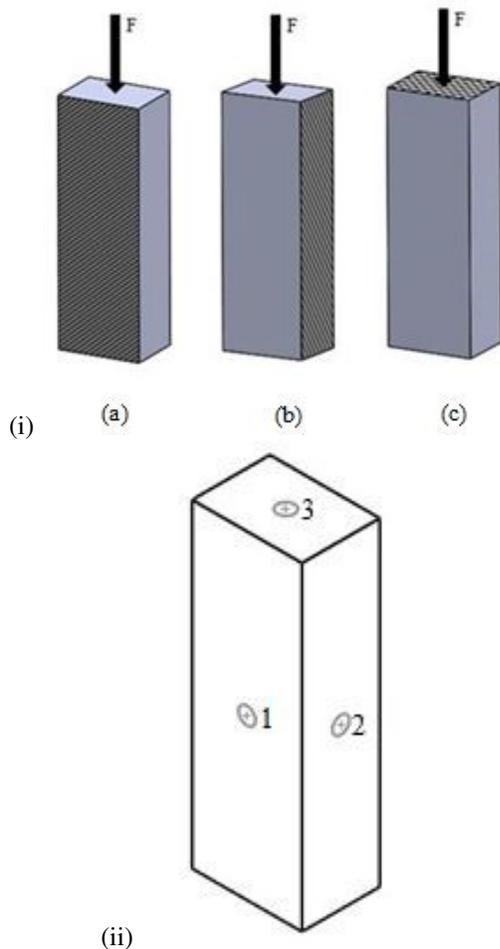


Fig. 1. Ilustrasi (i) Pengujian Tekan Terhadap Spesimen (a) *X Printing Orientation*, (b) *Y Printing Orientation*, dan (c) *Z Printing Orientation*. dan (ii) Titik Pengamatan Pengujian Kualitas.

III. HASIL

Sifat mekanik yang akan didapatkan hasilnya setelah dilakukan pengujian tekan adalah kekuatan (*stress*), keuletan (*strain*), dan kekakuan (modulus elastisitas) di mana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2.

Adanya kecacatan spesimen uji pada setiap proses pembuatannya (berlaku untuk spesimen uji dengan *X printing orientation* dan *Y printing orientation*), dimana perimeter hanya menempel pada setiap sisi ujungnya saja, sehingga pada bagian

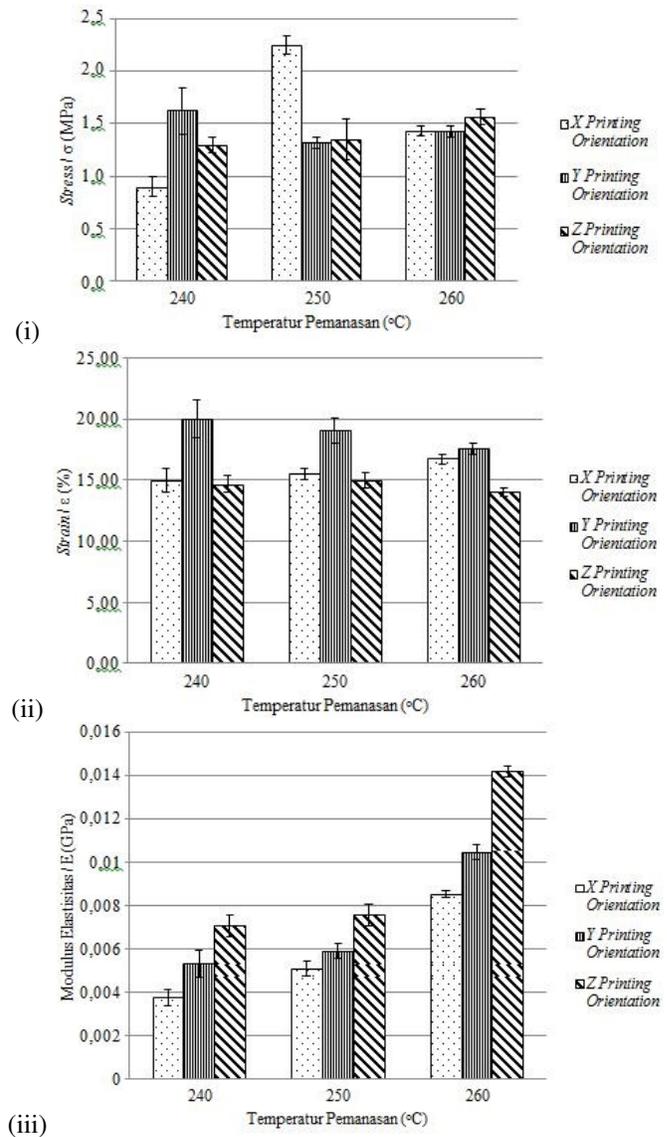


Fig. 2. Hasil Pengujian Nilai (i) Kekuatan, (ii) Keuletan, dan (iii) Kekakuan.

sekelilingnya tidak menempel. Cacat ini dinamakan “*under-extrusion*”, dimana printer tidak mengeluarkan cukup *filament* sehingga terbentuk jarak (*gaps*) antara perimeter dengan infill. Hal ini dapat mempengaruhi nilai kekuatan pada saat pengujian dikarenakan perimeter tidak dapat “membantu menahan” gaya yang diberikan terhadap spesimen uji. Sehingga dapat mengurangi atau menyebabkan ketidakakuratan nilai kekuatan yang seharusnya terukur saat dilakukan pengujian.

Untuk *Z printing orientation*, cacat *under-extrusion* tidak terjadi pada saat proses *printing* karena ukuran layer yang lebih kecil dibandingkan *X printing orientation* dan *Y printing orientation*. Pada *Z printing orientation*, perimeter dan infill tidak terdapat jarak (*gaps*), sehingga spesimen lebih “tersolidifikasi” dengan baik jika dibandingkan dengan *X printing orientation* dan *Y printing orientation*. Sehingga pada *Z printing orientation* dapat terlihat pengaruh temperatur pemanasan terhadap nilai *stress* (kekuatan), yaitu semakin tinggi temperatur pemanasan, nilai *stress* akan meningkat.

Dari hasil pengujian untuk nilai *strain*, dapat dilihat bahwa material *TPU* yang digunakan memiliki tingkat elastisitas yang cukup tinggi (keseluruhan memiliki nilai di atas 13% dan beberapa memiliki nilai yang melebihi 20%). Hal ini juga ditunjukkan dengan tidak adanya kerusakan/patahan dari spesimen yang diuji dikarenakan sifat elastis dari *TPU* yang merupakan karet sintesis itu sendiri.

Y printing orientation memiliki nilai keuletan atau elastisitas yang paling tinggi, diikuti oleh *X* dan *Z printing orientation*. Spesimen dengan *Z printing orientation* memiliki nilai keuletan yang paling rendah. Hal ini dikarenakan posisi *layer* pada *Z printing orientation* memiliki arah tegak lurus terhadap gaya yang diberikan. Sedangkan pada *X* dan *Y printing orientation*, posisi *layer* searah (paralel) dengan gaya yang diberikan.

Dari hasil pengujian untuk nilai kekakuan, dapat dilihat pengaruh temperatur pemanasan dan *printing orientation* terhadap sifat mekanik dari produk *TPU* yang digunakan dalam pengujian. Semakin tinggi temperatur pemanasan, maka semakin tinggi juga nilai kekakuan/modulus elastisitasnya. Sedangkan untuk *printing orientation*, nilai kekakuan tertinggi terdapat pada *Z printing orientation* dengan variasi temperatur pemanasan yang digunakan.

Dikarenakan posisi *layer* pada *Z printing orientation* tegak lurus dengan arah gaya tekan. Sedangkan posisi *layer* pada *X* dan *Y printing orientation* paralel dengan arah gaya tekan. Sehingga pada nilai kekakuan, dapat dilihat pengaruh temperatur pemanasannya, dimana temperatur pemanasan 260 °C memiliki nilai kekakuan tertinggi dengan variasi *printing orientation*.

Pengujian kualitas dilakukan untuk melihat baik atau tidaknya kualitas dari produk yang telah dibuat ditentukan berdasarkan adanya kecacatan atau tidak dan kerapihan dari susunan *layer* hasil dari proses *printing*. Sehingga dapat dilakukan pemilihan variasi temperatur pemanasan yang tepat jika ingin membuat produk apapun selain spesimen uji dengan material *TPU*. Beberapa hasil dari pengujian kualitas dapat dilihat pada Gambar 3.

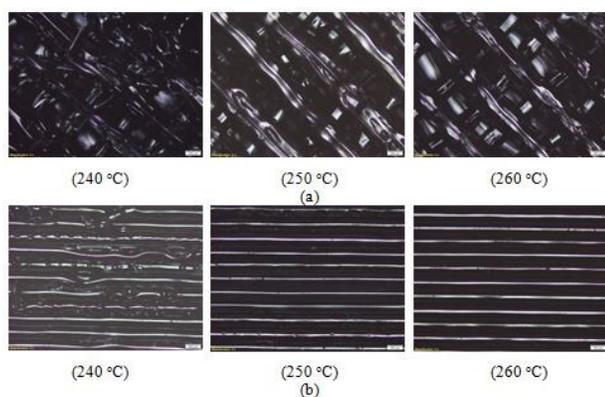


Fig. 3. Hasil Mikroskop pada (a) Titik 1 *X Printing Orientation*, (b) Titik 2 *X Printing Orientation*.

Dari hasil mikroskop yang dilakukan, dapat terlihat kualitas permukaan pada spesimen uji. Terdapat beberapa cacat yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *printing*, dalam sisi sifat

mekanik maupun kualitas produk. Jika dilihat pada keseluruhan Gambar 4.15., hasil *printing* pada temperatur pemanasan 260 °C memiliki kualitas yang paling baik, diikuti dengan temperatur pemanasan 250 °C dan 240 °C. Beberapa cacat yang ditemukan dari gambar adalah:

- *Stringing/Oozing*
- *Gaps in top layer*
- *Over-extrusion*
- *Blobs and Zits*
- *Inconsistent extrusion*

IV. SIMPULAN

Dari penelitian ini, didapatkan hasil pengaruh temperatur pemanasan dan *printing orientation* terhadap sifat mekanik spesimen uji dengan material *TPU*:

- Semakin tinggi temperatur pemanasan, semakin tinggi nilai kekuatan (*stress*). Hal ini dapat terlihat pada *Z printing orientation* karena tidak adanya cacat *under-extrusion*.
- Semakin tinggi temperatur pemanasan, nilai kekakuan (modulus elastisitas) akan semakin meningkat..
- Nilai *strain* dari *Y printing orientation* relatif lebih tinggi 3 – 6% jika dibandingkan *printing orientation* yang lain.
- Nilai modulus elastisitas *Z printing orientation* relatif lebih tinggi 23 – 48% jika dibandingkan *printing orientation* yang lain.
- Penggunaan temperatur pemanasan 260 °C memiliki hasil *printing* dengan kualitas paling baik yang ditunjukkan dengan hasil cetak yang lebih rapih.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Holzmann, J. Robert, A. Aqeel Breiteneker, Soomro, J. S. Erich, (2017): *User entrepreneur business models in 3D printing*. Manufacturing Technology Management, Vol. 28, No. 1, February 2017: 75-94, Britania Raya.
- [2] Quan, Z., Wu, A., Keefe, M., Qin, X., Yu, J., Suhr, J., Byun, J.H., Kim, B.S. and Chou, T.W., (2015): *Additive manufacturing of multi-directional preforms for composites: opportunities and challenges*. Materials Today, Vol. 18, No. 9, November 2015: 503-512, Belanda.
- [3] Farzadi, A., Mehran, S., Mitra, A. and Noor, A.A.O., (2014): *Effect of Layer Thickness and Printing Orientation on Mechanical Properties and Dimensional Accuracy of 3D Printed Porous Samples for Bone Tissue Engineering*. PLoS ONE, Vol. 9, No. 9, September 2014, Perancis.
- [4] Rutkowski, J.V. and Levin, B.C., (1986), *Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymers (ABS): pyrolysis and combustion products and their toxicity –a review of the literature*, Fire and Materials, Vol. 10 No. 3-4, Desember 1986: 93-105, Amerika Serikat.
- [5] Martin, O. and Averous, L. (2001), *Poly (lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multi-phase systems*, Polymer, Vol. 42 No. 14, June 2001: 6209-6219, Perancis.