

Optimasi parameter material biokomposit (ha/bioplastik/serisin) dicetak dengan proses ekstruksi menggunakan metode taguchi

Patrisius Edi Prasetyo¹, Felix Krisna Aji Nugraha²

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa

²Program Studi Teknologi Perancangan Mekanik, Universitas Sanata Dharma

E-mail: ¹patrisedi@ustjogja.ac.id; ²felix@pmsd.ac.id

Received: 18 April 2021; Revised: 2 June 2021; Accepted: 31 June 2021

Abstrak: Teknik *Rapid prototyping* model *Fused Deposition Modelling* yang berbahan baku *filament* diubah dengan model ekstruksi dengan bahan baku pasta biokomposit. Tolak ukur mesin ekstruksi menghasilkan volume ekstruksi yang sama dengan volume FDM. Salah satu faktor yang memberikan hasil optimal pada produk adalah parameter proses. Material pasta biokomposit digunakan larutan hidroksiapatit [CA5(PO4)6(OH)2], bioplastik dari tepung tapioka, dan serisin dari kepopong ulat sutera. Komposisi material yang digunakan berupa larutan hidroksiapatit: bioplastik sebesar 1:1, ditambahkan dengan serisin sebesar 0,3% dari larutan hidroksiapatit. Sedangkan kandungan aquades pada material pasta ini sebesar 77,86%. Penelitian ini bertujuan mengetahui optimasi parameter proses berupa kecepatan cetak tepi (*perimeter speed*), kecepatan cetak bagian dalam (*infill speed*) dan ketinggian layer (*layer height*). Proses pencetakan spesimen dilakukan dengan metode *additive manufacturing*, dengan menggunakan mesin 3D printer yang dimodifikasi dengan sistem *Aqueous-Based Extrusion Fabrication* (ABEF). Ukuran spesimen benda uji memiliki dimensi panjang 100 mm lebar 25 mm dan tebal 3 mm. Komposisi optimal parameter ABEF dianalisis menggunakan Metode Taguchi. Hasil penelitian ini material pasta biokomposit diperoleh komposisi optimum suspensi hidroksiapatit: bioplastik pada 50:50, dengan penambahan serisin 0,3% dari suspensi hidroksiapatit. Penyusutan terkecil diperoleh dengan metode Taguchi dengan respon panjang sebesar 0%, respon lebar 1%, dan respon tebal 12%.

Kata kunci: Optimasi, Biokomposit, mesin ekstrusi printer tiga dimensi/bioprinter, *perimeter speed*, *infill speed*, *layer height*, Taguchi.

Parameter optimization of composite material (ha/bioplastik/resin) printed by extrusion process using taguchi method

Abstract: The *Rapid prototyping* technique of the *Fused Deposition Modeling* model made from *filament* was changed to an *extrusion* model with *biocomposite* paste as raw material. The benchmark *extrusion* machine produces the same *extrusion* volume as the *FDM* volume. One of the factors that give optimal results to the product is the process parameter. The *biocomposite* paste material used a solution of *hydroxyapatite* [CA5(PO4)6(OH)2], *bioplastic* from *tapioca* flour, and *sericin* from *silk* cocoon. The composition of the material used is a 1:1 solution of *hydroxyapatite*: *bioplastic*, added with *sericin* of 0.3% of the *hydroxyapatite* solution. While the *aquades* content in this *pasta* material is 77.86%. This study aims to determine the optimization of process parameters in the form of *peripheral speed*, *infill speed*, and *layer height*. The specimen printing process is carried out using the *additive manufacturing* method, using a 3D printer modified with the *Aqueous-Based Extrusion Fabrication* (ABEF) system. The size of the specimen has dimensions of 100 mm long, 25 mm wide, and 3 mm thick. The optimal composition of ABEF parameters was analyzed using the Taguchi method. The result of this research was that the *biocomposite* paste material obtained the optimum composition of *hydroxyapatite* suspension: *bioplastic* at 50:50, with the addition of 0.3% *sericin* from the *hydroxyapatite* suspension. The smallest shrinkage was obtained by the Taguchi method with a length response of 0%, a width response of 1%, and a thickness response of 12%.

Keywords: Optimization, Biocomposite, three-dimensional printer/bioprinter extrusion machine, *perimeter speed*, *infill speed*, *layer height*, Taguchi.



How to Cite: PE Prasetyo & FKA Nugraha. (2021). Optimasi parameter material biokomposit (ha/bioplastik/serisin) dicetak dengan proses ekstruksi menggunakan metode taguchi. *Jurnal Taman Vokasi*, 9(1), 15-23. doi: <https://doi.org/10.30738/jtv.v9i1.10439>

PENDAHULUAN

Proliferasi yang cepat dari *Additive Manufacturing* (AM) dalam 50 tahun terakhir telah terlihat pada perkembangan sektor manufaktur yang terintegrasi ke dalam desain dan pemodelan sebagai teknik *rapid prototyping* (Gao et al., 2015). *Additive manufacturing* adalah metode membuat benda kerja berupa benda kerja fisik tiga dimensi yang berasal dari model benda kerja tiga dimensi secara digital dengan menggunakan mesin otomatis (Heynick & Stotz, 2006). Teknik *additive manufacturing* merupakan peleburan dan pemadatan dengan menginduksi profil termal yang kompleks di seluruh bagian material (Kirka et al., 2017; Mukherjee et al., 2017). Bahan yang ditambahkan pada *additive manufacturing* berbentuk bubuk atau kawat, lapisan pertama dilebur dan dipadatkan ke substrat. Ketika lapisan kedua diendapkan pada lapisan sebelumnya, panas yang masuk harus benar-benar melelehkan lapisan kedua dan melelehkan kembali lapisan di bawahnya. Selain itu, zona yang terkena panas dibuat di lapisan yang diendapkan pertama yang tergantung pada material yang dapat mendorong transformasi ke keadaan padat tambahan. Proses ini dilakukan berulang-ulang sampai bagian selesai. Oleh karena itu, panas yang dimasukkan ke deposit setiap lapisan menghasilkan zona yang terkena panas berturut-turut pada lapisan yang diendapkan sebelumnya, dalam proses yang mirip dengan pengelasan *multi-pass fusion* (Duranton et al., 2004; Maekawa et al., 2015; Manurung et al., 2013; Murugan et al., 2001). Perbedaan proses dengan mesin manufaktur konvensional yang berprinsip mengurangi volume benda kerja dengan menggunakan alat potong dalam proses pembuatan model tersebut, sedangkan pada proses ini membentuk benda kerja dengan menambahkan material layer demi layer pada benda kerja. Beberapa teknik *additive manufacturing* adalah *Stereolithography* (SLA), *Laminated Object Manufacturing* (LOM), *Selective Laser Sintering* (SLS), *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Three-Dimensional Printing* (3DP), *Thermal Phase Change Inkjets*, *Photopolymer Phase Change Inkjets* (Polyjet), dan *Contour Crafting* (CC) (Heynick & Stotz, 2006).

Modifikasi prinsip FDM pada mesin 3D printer Portabee kit yang semula menggunakan filamen diubah menggunakan sistem pengumpanan ekstruksi ulir tunggal dengan menggunakan material silika bioplastik telah dilakukan sebelumnya (Ridho, 2014). Pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan volume hasil ekstruksi material filamen *poly lactic acid* (PLA) sebagai *default* dengan membuat volume hasil ekstruksi material pasta silika bioplastik sama. Kecepatan rotasi ulir tunggal menjadi faktor yang paling berpengaruh pada hasil volume silika bioplastik yang dihasilkan. Dihasilkan kecepatan rotasi ulir tunggal sebesar 19,7521 rpm untuk menghasilkan volume ekstruksi material pasta sama dengan material filamen PLA. Parameter proses merupakan faktor penting dalam pembuatan model fisik tiga dimensi sesuai dengan model digital (Lu et al., 2009). Tiga proses parameter yang merupakan aspek penting pada proses pencetakan yaitu kecepatan gerak sumbu, ketebalan layer, dan kecepatan ekstruksi (Huang et al., 2009). Dalam pencetakan benda dengan menggunakan metode FDM dengan *software* yang disediakan oleh mesin Portabee Kit kecepatan proses terdapat tiga parameter yaitu *parameter speed*, *infill speed*, dan *travel speed* (Schöppner & KTP, 2011).

Pada dasarnya, *Aqueous-Based Extrusion Fabrication* (ABEF) memiliki prinsip kerja yang serupa dengan FDM. Namun, metode ABEF menggunakan material berupa pasta semi-cair untuk konstruksi benda tiga dimensi. Bahan pasta diekstrusi dari wadah ke nosel dengan menggunakan prinsip ekstrusi sekrup (Mason et al., 2007). Dalam penelitian ini, modifikasi dilakukan pada mesin tiga dimensi *printer Portabee* untuk memodifikasi prinsip kerjanya dari FDM ke sistem ABEF. Modifikasi sistem ABEF yang dilakukan dengan menggunakan *extruder* ulir tunggal. Penelitian ini bertujuan mengetahui optimasi parameter proses berupa kecepatan cetak tepi (*perimeter speed*), kecepatan cetak bagian dalam (*infill speed*) dan ketinggian layer (*layer height*) untuk mencetak biokomposit [hidroksiapatit/bioplastik/serisin] dengan metode *additive manufacturing* menggunakan mesin ekstrusi printer tiga dimensi yang dimodifikasi dengan sistem ABEF.

METODE

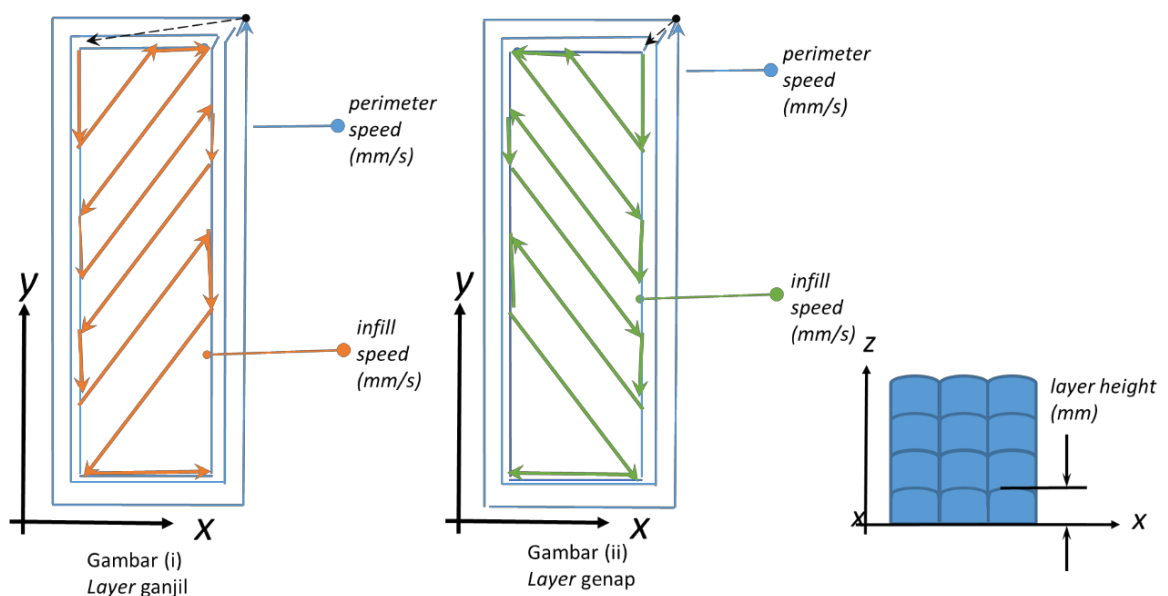
Bahan material biokomposit dalam penelitian ini adalah hidroksiapatit (katalog no 04328, Sigma-Aldrich) dan tepung tapioka yang ada di pasaran. Serisin diekstraksi dari kopompong ulat sutera (*Bomix morii*) dengan pengolahan secara hidrotermal. Bahan asam sitrat dan gliserin yang

digunakan merupakan bahan tingkat teknis (Tontowi et al., 2014). Larutan hidroksiapatit dibuat dengan menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer* dengan tahapan yaitu pencampuran komposisi bubuk sitrat 10% w/v dari aquades dengan kecepatan 300 rpm pada suhu 25°C selama 20 menit. Selanjutnya mencampurkan bubuk hidroksiapatit sebesar 20% w/v dari aquades kedalam larutan asam sitrat dengan kecepatan 500 rpm dalam suhu ruangan selama 20 jam (Tontowi et al., 2014).

Material bioplastik dibuat dengan campuran tepung tapioka, gliserin, sitrat, dan aquades. Proses pencampuran material tersebut, menggunakan *hot plate* dan *magnetic stirrer*. Langkah pertama pembuatan larutan sitrat dengan komposisi bubuk sitrat 2% w/v dari aquades diputar dengan kecepatan 300 rpm pada temperatur 50OC selama 15 menit. Setelah itu dimasukkan gliserin sebesar 3,25% v/v dari aquades dengan kecepatan 300 RPM pada temperatur 50OC selama 15 menit. Lalu dicampur dengan tepung tapiokam sebesar 20% w/v dari aquades ke dalam larutan dengan kecepatan 600 RPM dalam temperatur 50OC selama 15 menit. Setelah kedua bahan tersebut selesai lalu pembuatan material biokomposit dilanjutkan dengan pencampuran serisin, larutan hidroksiapatit dan bioplastic. Serisin yang digunakan sebesar 0,3% dari berat larutan hidroksiapatit (Sunarintyas & Siswomihardjo, 2011). Perbandingan komposisi bahan untuk membuat material pasta biokomposit sebagai berikut: larutan pasta : *bioplastic* : serisin sebesar 1:1:0,3% w/v (larutan hidroksiapatit). Ketiga material tersebut dicampur dengan kecepatan 500 RPM dengan suhu 50OC selama 20 menit. Pasta ini memiliki viskositas sebesar 600 dPa.s. Proses pencetakan spesimen menggunakan material yang berbentuk pasta dengan sistem ABEF, material tersebut diektuksi pada setiap lapisan layer di proses pencetakan benda. Parameter mesin pada penelitian ini tertera pada Tabel 1 dan Gambar 1 (Mason et al., 2007).

Tabel 1. Parameter

No.	Parameter	Keterangan	Satuan
1.	<i>Perimeter speed</i>	Kecepatan proses <i>printing</i> bagian luar. Bergerak secara vertikal dan horizontal pada sumbu X dan Y.	mm/s
2.	<i>Infill speed</i>	Kecepatan proses <i>printing</i> bagian dalam. Bergerak secara diagonal pada sumbu X dan Y. Pada setiap <i>layer</i> pergerakannya saling berpotongan dengan <i>layer</i> sebelumnya seperti pada Lampiran 5.	mm/s
3.	<i>Layer height</i>	Jarak setiap <i>layer</i> . Bergerak mengikuti sumbu Z positif.	mm



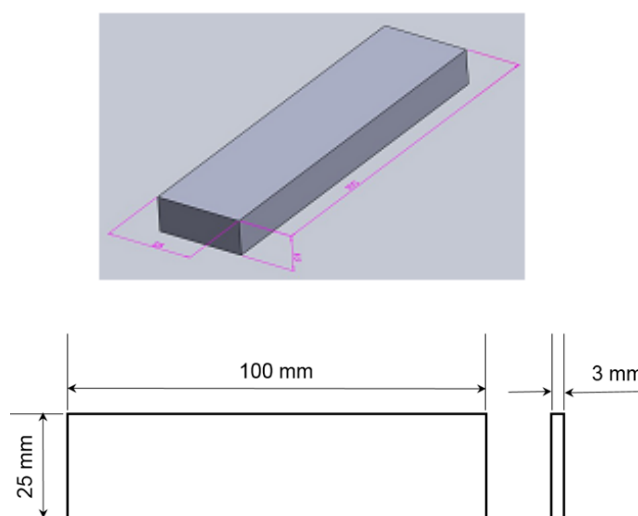
Gambar 1. Parameter yang digunakan

Besar dan level setiap parameter yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini:

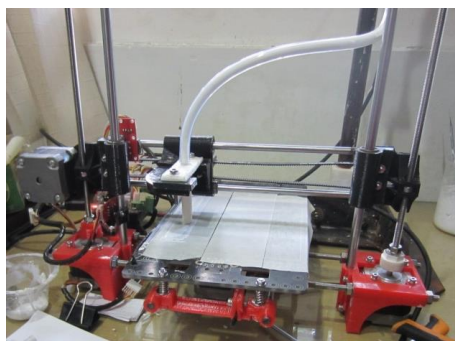
Tabel 2. Level pada tiap-tiap parameter

Faktor	Coded Variable	Actual Variable	Satuan
Perimeter Speed	-1	40	mm/s
	0	60	mm/s
	+1	80	mm/s
Infill Speed	-1	5	mm/s
	0	10	mm/s
	+1	15	mm/s
Layer height	-1	0,35	mm
	0	0,4	mm
	+1	0,45	mm

Pembuatan gambar tiga dimensi spesimen atau model gambar digital dengan dimensi 100 mm x 25 mm x 3mm dibuat dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

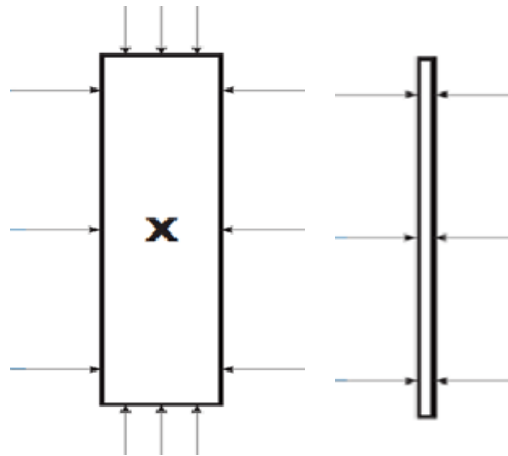


Gambar 2. Gambar 3 dimensi spesimen uji



Gambar 3. Proses pencetakan spesimen uji menggunakan mesin *printing* tiga dimensi
Alat ukur yang digunakan pada pengukuran dimensi benda kerja yang dihasilkan dengan menggunakan kaliper digital dengan ketelitian 0,01 mm. Dimensi terukur hasil dari benda kerja

dimensi berupa panjang, lebar, dan tebal didapatkan, hasil pengukuran tersebut kemudian dikumpulkan. Hasil pengukuran spesimen, nilai dimensi merupakan rata-rata dari nilai dimensi yang diukur pada tiga titik ukur yang berbeda. Pengukuran dimensi spesimen diilustrasikan pada Gambar 4. Tiga kali replikasi diterapkan untuk setiap komposisi.



Gambar 4. Titik pengukuran spesimen uji

Langkah selanjutnya, hasil pengukuran yang diperoleh dan dihitung rata-rata untuk setiap dimensi panjang, lebar dan tebal produk untuk 9 produk yang dihasilkan. Data diolah dengan metode Taguchi dengan tujuan memperbaiki produk dan proses sehingga dapat menekan biaya. Pada penelitian ini proses pencetakan spesimen menggunakan desain faktorial 3^k , dengan mendidentifikasi setiap level dari parameter, yaitu *low*, *medium*, dan *high*. Karakteristik pengujian penyusutan spesimen uji menggunakan jenis *smaller is better*, yaitu nilai kualitas dari target yang tepat pada nilai tertentu. Metode Taguchi menggunakan dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel respon. Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi nilai variabel respon (Taguchi & Rafanelli, 1994). Variabel bebas dalam penelitian ini menggunakan 3 variabel yaitu *Perimeter Speed* (PS), *Infill Speed* (IS), dan *Layer Height* (LH), seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Variabel respon adalah variabel yang muncul sebagai hasil proses variabel bebas. Variabel bebas dalam pencetakan spesimen adalah, panjang, lebar, dan tebal.

Jumlah kombinasi dari variabel bebas dan variabel respon didapatkan sejumlah 27 kali percobaan, tetapi hal ini tidak dilakukan karena terbatasnya bahan material hidroksiapatite. Penggunaan *orthogonal array* (OA) dengan tujuan untuk mengurangi dan membatasi jumlah percobaan. Pembatasan jumlah kombinasi percobaan dengan menggunakan *orthogonal array* L9 untuk menentukan parameter optimum. Pada pencetakan spesimen dengan menggunakan 3 variabel bebas dan 3 variabel respon yang dicari didapatkan sebanyak 9 kombinasi percobaan, seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Dari data yang didapatkan dilakukan uji analisis dengan menggunakan *software* Minitab, dengan DoE Metode Taguchi untuk mencari data mean dan *Signal to Noise Ratio* SNR hingga diperoleh parameter optimal.

Tabel 3. L9 *orthogonal array* Taguchi

PS	IS	LH	panjang	lebar	tebal
1	1	1	Y1	Y2	Y3
1	2	2	Y1	Y2	Y3
1	3	3	Y1	Y2	Y3
2	1	2	Y1	Y2	Y3
2	2	3	Y1	Y2	Y3
2	3	1	Y1	Y2	Y3
3	1	3	Y1	Y2	Y3
3	2	1	Y1	Y2	Y3
3	3	2	Y1	Y2	Y3

HASIL DAN PEMBAHASAN

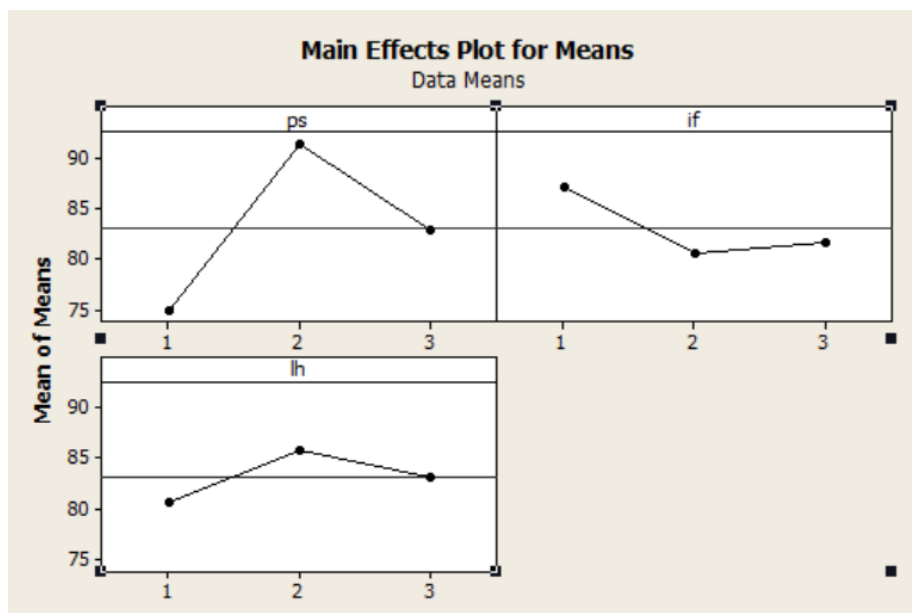
Hasil pengukuran dimensi spesimen uji ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil pengukuran tersebut kemudian dianalisis menggunakan Metode Taguchi dengan karakteristik "*smaller is better*".

Tabel 4. Hasil pengukuran spesimen uji

Coded Form			Uncoded Form			Rata-Rata Dimensi Pengukuran		
PS	IF	LH	PS	IF	LH	Panjang	Lebar	Tebal
mm/s	mm/s	mm	mm/s	mm/s	mm	mm	mm	mm
40	5	0.35	40	5	0.35	197,9	28,94	1,2
40	10	0.4	40	10	0.4	210,78	38,21	2,4
40	15	0.45	40	15	0.45	194,36	23,26	2,37
60	5	0.4	60	5	0.4	252,2	41,2	1,29
60	10	0.45	60	10	0.45	212,98	25,79	1,59
60	15	0.3	60	15	0.3	244,29	41,99	2,38
80	5	0.45	80	5	0.45	258,69	27,4	1,52
80	10	0.35	80	10	0.35	214,61	17,01	2,22
80	15	0.4	80	15	0.4	207,87	14,94	2,67

1. Analisis *mean* terhadap parameter respon

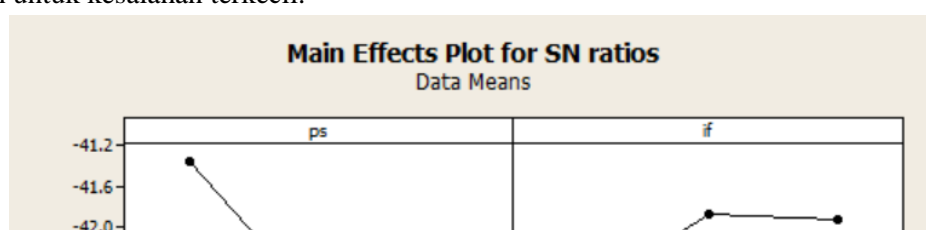
Hasil analisa perhitungan menggunakan fungsi mean untuk menentukan nilai yang paling kecil dengan menggunakan karakteristik *smaller is better* dalam mencari nilai ketidaksuaian/galat yang paling kecil. Pada gambar ditunjukkan dimensi respon terhadap panjang, lebar dan tebal dengan nilai ketidaksuaian terdapat pada untuk *parameter speed* pada level 1, *infill speed* pada level 2, dan *layer height* pada level 1.



Gambar 5. Grafik analisa *mean* dari parameter berpengaruh terhadap parameter respon

2. Analisa SNR terhadap parameter respon

Analisa *Signal to Noise Ratio* (SNR) bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap respon. Karakteristik SNR dengan nilai terbesar menunjukkan tingkat kesalahan terkecil. Pada gambar dibawah ditunjukkan nilai yang mempengaruhi faktor dimensi panjang, lebar, tebal yang dihasilkan pada benda kerja. Pada *parameter speed level 1* memengaruhi faktor kesalahan yang terkecil, pada *infill speed level 2* berpengaruh untuk kesalahan terkecil dan untuk *layer height level 1* berpengaruh untuk kesalahan terkecil.



Gambar 5. Grafik parameter respon panjang, lebar, dan tebal

Dari hasil optimasi dengan metode taguchi diperoleh bahwa faktor yang mempengaruhi kesalahan terkecil yaitu PS sebesar 40mm/s, IS sebesar 10 mm/s, dan LH sebesar 0,35 mm. Dengan hasil parameter tersebut dilakukan pencetakan spesimen, dengan hasil pengukuran dimensi yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil dimensi respon produk dengan parameter optimal (metode Taguchi)

No	Panjang (mm)			Lebar (mm)			Tebal (mm)		
	Pbar	galat	galat	Lbar	galat	galat	Tbar	galat	galat
1	112	12	12,00%	25,71	0,71	2,84%	1,3	-1,7	56,78%
2	111,03	11,03	11,03%	25,6	0,6	2,40%	1,36	-1,64	54,78%
3	112,84	12,84	12,84%	26,45	1,45	5,80%	1,43	-1,57	52,33%
4	111,99	11,99	11,99%	24,91	-0,09	0,35%	1,19	-1,81	60,33%
5	113,09	13,09	13,09%	26,62	1,62	6,47%	1,41	-1,59	53,11%
6	114,03	14,03	14,03%	26,72	1,72	6,89%	1,22	-1,78	59,22%
7	110,43	10,43	10,43%	25,59	0,59	2,37%	1,17	-1,83	60,89%
Rata-rata		12,2	12,20%		0,94	3,87%		-1,7	56,78%

Hasil pencetakan spesimen jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Nugroho, 2015) yang menggunakan parameter, material dan mesin yang sama, namun proses optimasi dianalisis dengan metode *Response Surface*. Pada parameter sebelumnya didapatkan optimasi parameter sebesar 6 mm/s (PS), 26 mm/s (IS), dan 0,344 mm (LH). Kelebihan metode *Response Surface* dari penelitian sebelumnya dapat menghasilkan parameter yang lebih optimal, tetapi diperlukan percobaan dengan kombinasi yang lebih banyak. Jumlah skenario kombinasi yang didapatkan dengan *software* Minitab sebanyak 20 kombinasi parameter. Namun belum diadakan validasi pencekatan spesimen menggunakan parameter yang didapatkan, hal ini berhubungan dengan tingkat kepresisian atau ketelitian parameter mesin yang tersedia. Kelebihan dari metode Taguchi atau yang sering disebut *Robust Design* yang dilakukan pada penelitian ini ialah didapatkan jumlah skenario kombinasi yang lebih sedikit. Jumlah skenario kombinasi parameter dengan *software* Minitab untuk Metode Taguchi dapat dilakukan sebanyak 9 kombinasi parameter. Hal ini sangat menguntungkan dari segi waktu dan biaya, dimana material hidroksiapatite sangat mahal harganya. Hasil dari analisis metode Taguchi yang

digunakan diperoleh optimasi parameter sebagai berikut sebesar 40 mm/s (PS), 10 mm/s (IS), dan 0,35 mm (LH).

SIMPULAN

Dari proses penelitian diperoleh hasil bahwa komposisi optimal material biokomposit dengan penyusutan terendah sebesar adalah perbandingan HA/bP 50/50 (w/w). Penyusutan yang pada dimensi panjang sebesar 0%, dimensi lebar 1%, dan dimensi tebal 12%. Pada penelitian ini baru dihasilkan komposisi material pasta biokomposit untuk penyusutan terkecil. Diperlukan penelitian lebih lanjut tentang parameter proses mesin sewaktu melakukan proses pencetakan spesimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang terlibat dan berperan di penelitian ini yaitu Program Studi Teknik Industri Universitas Sarjanawiyata Tamansiswa Yogyakarta dan Program Studi Teknologi Perancangan Mekanik Universitas Sanata Dharma yang telah mendukung dan memberikan fasilitas hingga penelitian ini terselesaikan.

DAFTAR RUJUKAN

- Duranton, P., Devaux, J., Robin, V., Gilles, P., & Bergheau, J. M. (2004). 3D modelling of multipass welding of a 316L stainless steel pipe. *Journal of Materials Processing Technology*, 153, 457–463.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Wang, C. C. L., Shin, Y. C., Zhang, S., & Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65–89.
- Heynick, M., & Stotz, I. (2006). 3D CAD, CAM and rapid prototyping. *LAPA Digital Technology Seminar Workshop, 1*.
- Huang, T., Mason, M. S., Zhao, X., Hilmas, G. E., & Leu, M. C. (2009). Aqueous-based freeze-form extrusion fabrication of alumina components. *Rapid Prototyping Journal*.
- Kirka, M. M., Nandwana, P., Lee, Y., & Dehoff, R. R. (2017). Solidification and solid-state transformation sciences in metals additive manufacturing. *Scripta Materialia*, 135, 130–134.
- Lu, X., Lee, Y., Yang, S., Hao, Y., Evans, J. R. G., & Parini, C. G. (2009). Fine lattice structures fabricated by extrusion freeforming: Process variables. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(10), 4654–4661.
- Maekawa, A., Serizawa, H., & Murakawa, H. (2015). Fast computation based on an iterative substructure method for three-dimensional simulation of multipass welding. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 137(4).
- Manurung, Y. H. P., Lidam, R. N., Rahim, M. R., Zakaria, M. Y., Redza, M. R., Sulaiman, M. S., Tham, G., & Abas, S. K. (2013). Welding distortion analysis of multipass joint combination with different sequences using 3D FEM and experiment. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 111, 89–98.
- Mason, M. S., Huang, T., Landers, R. G., Leu, M. C., Hilmas, G. E., & Hayes, M. W. (2007). *Aqueous-based extrusion fabrication of ceramics on demand*. MISSOURI UNIV-ROLLA.
- Mukherjee, T., Manvatkar, V., De, A., & DebRoy, T. (2017). Mitigation of thermal distortion during additive manufacturing. *Scripta Materialia*, 127, 79–83.
- Murugan, S., Rai, S. K., Kumar, P. V., Jayakumar, T., & Raj, B. (2001). Temperature distribution and residual stresses due to multipass welding in type 304 stainless steel and low carbon steel weld pads. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 78(4), 307–317.
- Nugroho, Y. (2015). *Optimasi Parameter Proses Ekstrusi Pasta Biokomposit [Hidroksiapatit/Bioplastik/Serisin] Menggunakan Metode Response Surface*. Universitas Gadjah Mada.
- Ridho, H. (2014). *Evaluasi Laju Aliran Volumetrik Material Pasta Silika-Bioplastik pada Sistem Pengumpanan Ekstruksi Ulir Tunggal Mesin Printer Tiga Dimensi*. Universitas Gadjah Mada.
- Schöppner, V., & KTP, K. P. (2011). Mechanical properties of fused deposition modeling parts manufactured with Ultem* 9085. *Proceedings of the 69th Annual Technical Conference of the*

- Society of Plastics Engineers (ANTEC'11), Boston, MA, USA, 1–5.*
- Sunarintyas, S., & Siswomihardjo, W. (2011). The effect of sericin application over hydroxyapatite surface on osteoblast cells proliferation. *2011 2nd International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Biomedical Engineering*, 145–149.
- Taguchi, G., & Rafanelli, A. J. (1994). *Taguchi on robust technology development: bringing quality engineering upstream.*
- Tontowi, A. E., Perkasa, D. P., & Mahulauw, A. (2014). Erizal, “Experimental Study on Nanobiocomposite of [nHA/Bioplastic] for Building a Porous Block Scaffold.” *Proceeding of The 3rd International Conference on Nanotechnology-NANOCON014, Pune, India.*