

Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D-Printing Material Nylon 6 Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi

Safwan Noor^a, Aris Widyo Nugroho^a, Cahyo Budiyanoro^a

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta,
 Jl. Brawijaya, Tamantirto, Bantul, Yogyakarta 55183
safwannoor932@gmail.com

Intisari

Teknologi *Rapid Prototyping* berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM) banyak digunakan sebagai teknologi *Additive Manufacturing* atau 3D *printing*. Teknologi ini bekerja dengan cara memanaskan bahan berbentuk filamen lalu menghasilkan ekstrusi yang kemudian membentuk lapisan demi lapisan. Filamen nylon adalah salah satu jenis kopolimer yang memiliki kekuatan mekanis tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh parameter proses optimal dan kombinasi level optimal parameter proses terhadap respon akurasi dimensi dan kekuatan tarik pada produk 3D *printing* bahan *nylon 6* menggunakan metode Taguchi.

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen orthogonal arrays L9 (3³). Terdapat sembilan percobaan dengan tiga parameter proses yang digunakan yaitu *nozzle temperature*, *layer thickness*, dan *infill density* yang sangat berpengaruh terhadap karakteristik spesimen, serta dengan tiga variasi level pada setiap parameter (240°C, 245°C, 250°C, 0.1mm, 0.2mm, 0.25mm, 50%, 60%, 70%). Respon yang digunakan pada penelitian ini adalah akurasi dimensi (LO, WO, w dan T) dan kekuatan tarik, selanjutnya data hasil respon dianalisis menggunakan SNR dan ANOVA.

Berdasarkan hasil analisis SNR dan ANOVA menunjukkan parameter proses paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi didominasi oleh *nozzle temperature*, sedangkan untuk respon kekuatan tarik dipengaruhi oleh parameter proses *nozzle temperature* lalu diikuti oleh *infill density* dan *layer thickness*. Berdasarkan eksperimen konfirmasi terhadap respon kekuatan tarik dengan menggunakan kombinasi level parameter proses optimal yang dihasilkan dari Metode Taguchi yaitu *nozzle temperature* 250°C, *infill density* 70%, dan *layer thickness* 0.1mm menunjukkan hasil yang secara signifikan dapat memperbaiki kekuatan tarik produk nylon dengan nilai tegangan tarik sebesar 11.8489 MPa pada interval kepercayaan (CI) 95%.

Kata kunci: 3D Printing, Nylon 6, Akurasi Dimensi, FDM, Infill density, Taguchi, Kekuatan Tarik, Layer thickness, Nozzle temperature

1. PENDAHULUAN

Proses *additive manufacturing* menggunakan mesin printer 3D telah menarik minat dunia industri, begitu pula dengan para peneliti dan akademik. Teknologi printer 3D merupakan salah satu teknologi manufaktur untuk fabrikasi suatu objek dengan teknik *layer by layer* (lapis demi lapis) (Mohamed, 2015). Pada proses fabrikasinya, suatu objek akan didesain terlebih dahulu menggunakan komputer melalui software computer aided design (CAD) structure, yang kemudian suatu objek akan dibentuk dengan lapis demi lapis oleh mesin printer 3D. Proses ini memiliki sedikit perbedaan dengan proses manufaktur konvensional seperti pada proses computer numerical controlled (CNC) yang mengikis material padat menjadi suatu objek tertentu. Keuntungan utama dari proses printer 3D ini adalah dapat menghasilkan benda

dengan desain struktur dan geometri yang kompleks. Teknologi printer 3D telah diaplikasikan secara luas dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan industri, seperti pada industri pesawat terbang, otomotif dan manufaktur, peralatan medis, arsitektur, seni, makanan dan pakaian (Al Abadi et al, 2018). Pada penelitian-penelitian yang sedang berkembang saat ini, seperti pada bidang konstruksi dan penguatan struktur, teknik printer 3D membuat pengaruh yang luar biasa dengan digunakannya material semen untuk proses fabrikasinya (Khoshnevis, 2004).

Ada beberapa metode dalam proses printing 3D, seperti *fused deposition modelling* (FDM), *direct metal deposition* (DMD), *selective laser sintering* (SLS), *Ink Jet Modelling* (IJM) dan *stereo lithography* (SLA) (Mohamed, 2015). Pada umumnya metode *fused deposition modelling* merupakan metode yang sering digunakan dalam proses fabrikasi. Pada proses ini, filamen termoplastik sebagai bahan filler dipanaskan didalam *nozzle* dengan temperatur yang diatur sesuai karakteristik material (temperature leleh). Kemudian, material yang telah meleleh didorong keluar dari *nozzle* menuju *print bed*.

Menurut Mahardika (2018), PLA dan ABS merupakan material yang sering digunakan sebagai filamen untuk fabrikasi menggunakan mesin printer 3D, sehingga telah banyak penelitian yang dilakukan menggunakan kedua bahan tersebut. Akan tetapi, nylon merupakan bahan yang relative jarang digunakan sebagai filamen untuk fabrikasi mesin printer 3D (Sari, 2017). Filamen nylon biasanya hanya digunakan untuk membuat bagian-bagian structural yang membutuhkan kekuatan mekanis yang besar.

Pada tahun 2017, David mengatakan bahwa perusahaan manufaktur printer 3D Airwolf 3D di California telah melakukan pengujian untuk mengetahui filamen printer 3D yang terkuat. Pengujian dilakukan dengan menggunakan filamen Nylon, ABS dan PLA yang dicetak menjadi bentuk kait menggunakan printer. Pengujian dilakukan dengan mengangkat sebuah ban traktor dengan berat 150 kg. kait-kait tersebut kemudian diuji seberapa kuat mampu mengangkat beban berat. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa material nylon memiliki kekuatan sebesar 7000 psi yang lebih besar daripada material ABS dan PLA memiliki kekuatan yang hampir sama yaitu 4700 psi.

Proses manufaktur *fused deposition modelling* (FDM) dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, akan membutuh biaya yang tinggi dalam prosesnya, sehingga harus mengoptimalkan parameter prosesnya (Anithaa et al, 2001). Metode Taguchi merupakan metode yang seringkali digunakan untuk mengoptimalkan parameter pada produk 3D printing. Pendekatan metode Taguchi menunjukkan pengaruh pada setiap parameter yang dimasukkan. Penelitian menggunakan *analysis of variance* (ANOVA) dilakukan dalam mengidentifikasi pentingnya masing-masing variasi parameter proses terhadap respon kualitas produk. Keuntungan utama dari desain eksperimen menggunakan teknik Taguchi adalah penyederhanaan rencana eksperimen dan efek interaksi pada parameter yang berbeda (Anithaa dkk, 2001). Sembilan percobaan pernah dilakukan dengan menggunakan array ortogonal Taguchi L9 (3³) menunjukkan tebal lapisan (*layer height*) sebesar 0.3 mm memberikan hasil yang lebih baik pada bidang XY, sedangkan nilai terbaik untuk bidang Z diperoleh dengan tebal lapisan (*layer height*) sebesar 0.2 mm (Moza dkk, 2015).

Penelitian ini memfokuskan pada pengaruh variasi parameter proses 3D printing dengan bahan filament nylon. Parameter proses yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *nozzle temperature*, *infill density* dan *layer thickness*. Selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi dan uji kekuatan tarik untuk mengetahui sifat mekanik dari produk 3D printing. Dengan menggunakan desain eksperimen taguchi akan didapat data-data hasil percobaan, kemudian diolah secara statistik untuk mengetahui jumlah percobaan dan variasi yang disesuaikan dengan jumlah level yang digunakan pada penelitian.

Pada hasil respon dilakukan analisis menggunakan ANOVA dan SNR untuk mengetahui pengaruh parameter optimum dan kombinasi level optimum.

2. METODE

2.1. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian digunakan untuk menyederhanakan permasalahan yang diteliti, sehingga dapat membahas dan menjelaskan permasalahan secara tepat. Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu untuk mengetahui parameter yang berpengaruh pada produk 3D printing dengan bahan PLA. Langkah awal adalah membuat gambar tiga dimensi (CAD) menggunakan software Inventor Profesional dengan format .OBJ file. Selanjutnya mengolah data pengaturan parameter dengan metode DOE pada software Minitab, kemudian memasukkan pengaturan parameter pada software Slic3r. Kemudian melakukan proses slicing dengan software Repitier-Host selanjutnya melakukan proses cetak spesimen. Spesimen yang telah jadi selanjutnya dilakukan pengukuran akurasi dimensi dan pengambilan data pengujian kekuatan tarik.

2.2. Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Karangnongko Maguwoharjo Sleman Yogyakarta

2.3. Tempat Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Politeknik ATMI Surakarta menggunakan universal testing machine (UTM).

2.4. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. 3D Printer gatefromC02 | 7. Software Slic3r |
| 2. Kunci L | 8. Software repetier-Host |
| 3. Masking Tape | 9. Software Minitab |
| 4. Laptop | 10. Vernier Caliper |
| 5. Praying Tools | 11. Universal Testing Machine |
| 6. Software Inventor Professional 2017 | Zwick Roell Z020 |

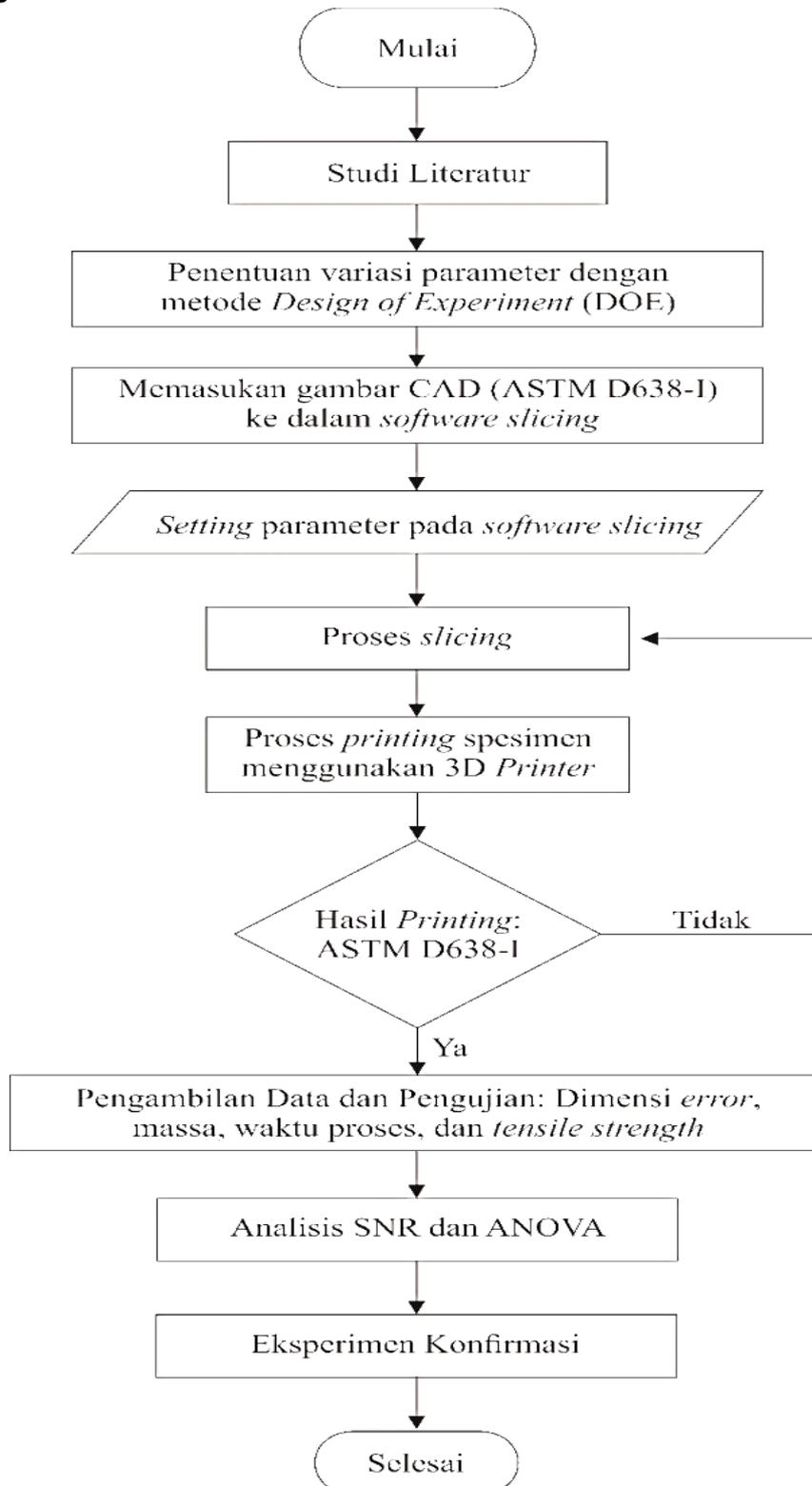
2.5. Bahan Penelitian

Bahan untuk penelitian ini adalah material plastik berbentuk filamen dengan diameter 1.75 mm. Dalam penelitian ini filamen yang digunakan adalah berbahan nylon berwarna putih. nylon ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 3.1. Filamen *nylon 6*

2.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2.2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan menggunakan metode standar pengujian ASTM D638 tipe 1 dengan menggunakan kecepatan pengujian sebesar 5 mm/menit. Spesimen setelah proses pengujian tarik ditunjukkan pada gambar 3.1 untuk spesimen I,II,dan III, gambar 3.2 untuk IV,V, dan VI, dan gambar 3.3 untuk spesimen VII,VIII,dan IX.



Gambar 3.1. Spesimen I,II,III



Gambar 3.2. Spesimen IV,V,VI



Gambar 3.3. Spesimen VII, VIII, IX

Tabel 3.1. Data hasil perhitungan *tensile strength*

Percobaan	<i>Tensile Strength</i> (MPa)			Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi
	R1	R2	R3		
1	10.866	11.931	11.969	11.588	0.62613
2	11.121	10.817	11.327	11.089	0.25656
3	11.485	11.628	12.253	11.788	0.40843
4	9.888	10.320	10.424	10.210	0.28423
5	10.330	10.950	10.324	10.534	0.3597
6	12.764	12.212	13.428	12.801	0.60885
7	12.847	11.933	12.480	12.420	0.45994
8	12.958	12.207	11.614	12.259	0.67354
9	11.482	12.954	12.891	12.442	0.83226

Setelah dilakukan perhitungan nilai tegangan tarik didapat nilai kekuatan tarik untuk setiap spesimen uji. Dari pengujian tersebut spesimen percobaan 6 replikasi ke 3 menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi yaitu sebesar 13,428 MPa, sedangkan nilai terendah dihasilkan oleh spesimen percobaan 4 replikasi ke 1 yang hanya menghasilkan nilai tegangan tarik sebesar 9,888 MPa seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1. Data nilai tegangan tarik dari penelitian ini lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Basavaraj dkk, (2016) walaupun dengan menggunakan bahan yang sama.

Tabel 3.2. Data nilai *tensile strength* penelitian Basavaraj dkk, (2016)

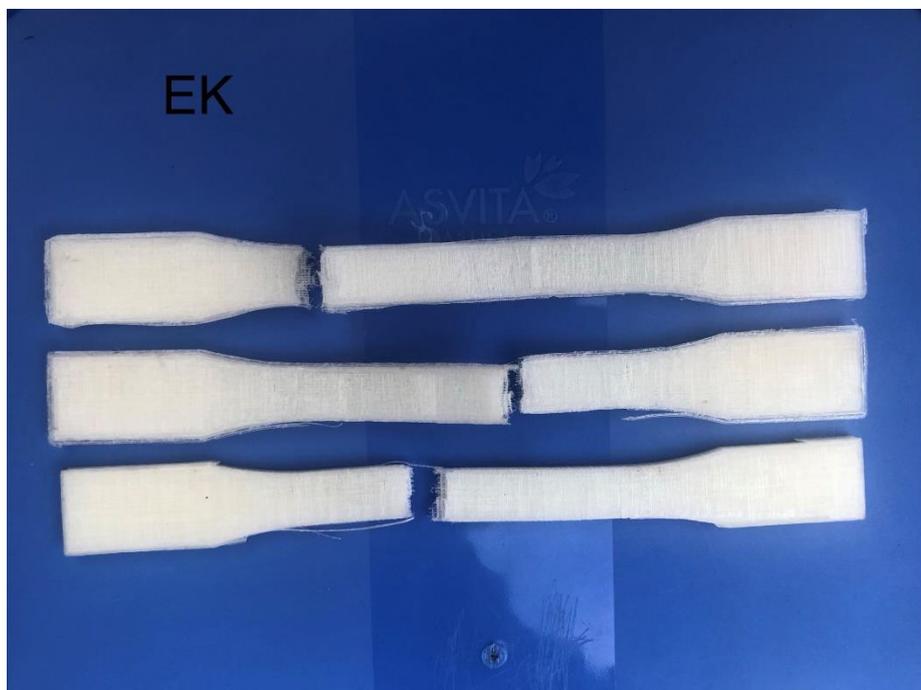
Percobaan	Parameter/level			<i>Tensile Strength</i> (MPa)
	Layer thickness	Orientation angle	Shell thickness	
1	0,1	0	0,4	19,05
2	0,1	15	0,8	19,18
3	0,1	30	1,2	25,48
4	0,2	0	0,8	9,51

5	0,2	15	1,2	15,68
6	0,2	30	0,4	7,71
7	0,3	0	1,2	8,35
8	0,3	15	0,4	8,83
9	0,3	30	0,8	11,82

Dalam hasil penelitiannya menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 25,48 MPa dihasilkan oleh parameter *layer thickness* 0,1mm, *orientation angle* 30⁰ dan *shell thickness* 1,2mm sedangkan nilai kekuatan tarik minimum sebesar 7,71 MPa dihasilkan oleh parameter *layer thickness* 0,2mm, *orientation angle* 30 dan *shell thickness* 0,4mm. Hal ini disebabkan karena perbedaan pengaturan parameter proses pencetakannya. dalam penelitiannya, Basavaraj menggunakan parameter proses *layer thickness*, *orientation angle* dan *shell thickness* sedangkan dalam penelitian ini menggunakan parameter proses *nozzle temperature*, *infill density* dan *layer thickness*.

3.2. Hasil dan Analisis Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilaksanakan dengan cara membuat spesimen yang proses pengerjaannya menggunakan hasil kombinasi level optimal berdasarkan hasil yang telah didapat pada analisis SNR. Selain itu, pada eksperimen konfirmasi hasil perhitungan prediksi untuk memperkirakan nilai tegangan Tarik yang akan didapatkan. Pembuatan spesimen eksperimen konfirmasi berjumlah 1 percobaan dengan 3 kali pengulangan yang setiap replikasinya membutuhkan waktu pengerjaan selama 289 menit. Selanjutnya spesimen eksperimen konfirmasi dilakukan pengujian Tarik menggunakan metode standar pengujian ASTM D-638 untuk tipe 1 yaitu menggunakan kecepatan pengujian sebesar 5 mm/menit. Hasil uji Tarik spesimen eksperimen konfirmasi ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. hasil uji Tarik spesimen eksperimen konfirmasi

Berdasarkan Gambar 3.4. hasil pengujian tarik pada spesimen eksperimen konfirmasi menunjukkan hasil yang lebih baik. Terlihat letak potongan atau patahan pengujian tarik untuk semua replikasi berada didalam *gage length* dan posisinya cenderung sama sehingga hal tersebut dianggap proses pengujian tarik berhasil dan sesuai dengan harapan. Berikut adalah data hasil pengujian Tarik yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

Table 3.3. hasil pengujian tarik eksperimen konfirmasi

Replikasi	LO (mm)	WO (mm)	w (mm)	T (mm)	Massa (gram)	F_{max} (N)	Tensile Strength (MPa)	Rata-rata (MPa)	Standar Deviasi
1	165,16	19,36	13,45	4,08	12,421	662,11	12,0655	11,8489	0.60661
2	165,38	19,26	13,33	4,16	12,358	683,05	12,3176		
3	165,72	19,18	13,31	4,32	12,087	641,91	11,1638		

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon akurasi dimensi produk 3D printing bahan nylon menunjukkan hasil yang berbeda-beda pada keempat dimensi. Berdasarkan hasil analisis ANOVA parameter layer thickness merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap respon dimensi LO dan WO dengan nilai persen kontribusi sebesar 42,0802% dan nilai persen kontribusi WO sebesar 18,9439% sedangkan untuk dimensi w dan T parameter paling berpengaruh dihasilkan oleh parameter *nozzle temperature* dengan nilai kontribusi w sebesar 60,1022% dan nilai kontribusi T sebesar 43,3853%. Parameter proses yang paling berpengaruh terhadap respon kekuatan tarik pada produk 3D printing bahan nylon berdasarkan analisis ANOVA dihasilkan oleh parameter *nozzle temperature* dengan nilai kontribusi yaitu sebesar 22,5899%
2. Kombinasi level parameter proses optimal untuk respon akurasi dimensi yaitu *nozzle temperature* level 1 (240°C), *infill density* level 3 (70 %), dan *layer thickness* level 1 (0,1 mm). Kombinasi level parameter proses optimal untuk respon kekuatan tarik yaitu *nozzle temperature* level 3 (250°C), *infill density* level 3 (70 %), dan *layer thickness* level 1 (0,1 mm). Kombinasi level parameter pada eksperimen konfirmasi terbukti dapat meningkatkan kualitas produk 3D printing dengan memperbaiki nilai kekuatan tarik menjadi 11,8489 MPa dimana hasilnya kurang dari nilai prediksi dan berada didalam kisaran interval kepercayaan (CI: 95%).

REFERENSI

- Al Abadi H., Thai H.T., Paton Cole V., Patel V.I. Elastic properties of 3D printed fiber-reinforced structures. *Compos. Struct.* (193) 8–18.
- Anithaa, R., Arunachalamb, S., dan Radhakrishnana, P. (2001). Critical parameters influencing the quality of prototypes in fused deposition modelling. *Journal of Materials Processing Technology* Vol. 118, 385-388.

- Basavaraj, C. K., dan Vishwas, M. (2016). Studies on Effect of Fused Deposition Modelling Process Parameters on Ultimate Tensile Strength and Dimensional Accuracy of Nylon. *Materials Science and Engineering* Vol. 2016, 1–12.
- Christiyan, K. G., Chandrasekhar, U., dan Venkateswarlu, K. (2016). A Study On The Influence of Process Parameters on The Mechanical Properties of 3D Printed ABS Composite. *Materials Science and Engineering* Vol. 2016, 1–9.
- Foster, A. M. (2015). *Materials Testing Standards for Additive Manufacturing of Polymer Materials: State of the Art and Standards Applicability*. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology.
- Horvath, Joan. (2014). *Mastering 3D Printing*. California: Heinz Weinheimer.
- Johansson, F. (2016). *Optimizing Fused Filament Fabrication 3D Printing for Durability Tensile Properties and Layer Bonding*. Karlskrona: Blekinge Institute of Technology.
- Khoshnevis, Behrokh (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. *Automation in Construction*. 13 (1): 5–19
- Lee David, (2017). *Handbook of Block Chain, Digital Finance, and Inclusion*. Academic Press: Oxford.
- Mahardika, A. H. (2017). Analisis Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Material Polyactid Acid Terhadap Respon Akurasi Dimensi dan Kekuatan Tarik Menggunakan Metode Taguchi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Mardiyah R. A., Coniwati P. and Laila L. (2013). Pembuatan Film Plastik Biodegredabel dari Pati Jagung dengan Penambahan Kitosan dan Pemplastis Gliserol. *Jurnal Teknik Kimia* No. 4 Vol. 20. Universitas Sriwijaya.
- Mohamed, A. O., Masood, S. H., dan Bhowmik, J. L. (2014). Optimization of fused deposition modeling process parameters: a review of current research and future prospects. *Advances in Manufacturing* Vol. 3: 42.
- Moza, Z., Kitsakis, K., Kechagias, J., dan Mastorakis, N. (2015). Optimizing Dimensional Accuracy of Fused Filament Fabrication using Taguchi Design. *Recent Researches in Electrical and Computer Engineering*, 110-114.
- Sari R. S. and Putra K. S., (2017). Pemanfaatan Teknologi 3D Printing Dalam Proses Desain Produk Gaya Hidup. Seminar Nasional Sistem Informasi dan Teknologi Informasi 2018 (SENSITEK 2018). STMIK Pontianak.
- Soejanto, Irwan. (2009). *Desain Eksperimen dengan Metode Taguchi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sukindar, N. A., Ariffin, M. A., Baharudin, B. B., Jaafar, C. A., dan Ismail, M. B. (2017). Analysis on The Impact Process Parameters on Tensile Strength Using 3D Printer Repetier-Host Software. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 12, 3341–3346.
- Tanoto, Yopi Y., Anggono, J., Siahaan, I. H., dan Budiman, W. (2017). The effect of orientation difference in fused deposition modeling of ABS polymer on the processing time, dimension accuracy, and strength. *AIP Conference Proceedings* Vol. 1788, 1-7.
- Thomas, D. J., dan Claypole, T. C. (2016). *3-D Printing. Printing on Polymers: Fundamentals and Applications*. 293–306.
- Tontowi, A. E., Ramdani, L., Baroroh, K. D., dan Erdizon, R. V. (2017). Optimization of 3D-Printer Process Parameters for Improving Quality of Polylactic Acid Printed Part. *International Journal of Engineering and Technology* Vol. 9, 589-600.
- Tymrak, B. M., Kreiger, M., dan Pearce, J. M. (2014). Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. *Materials and Design* Vol. 58, 242–246.

Vicente, Miguel F., Calle, Wilson, Ferrandizz, Santiago dan Conejero, Andres. (2016). Effect of Infill Parameters on Tensile Mechanical Behavior in Desktop 3D Printing. 3D Printing and Additive Manufacturing Vol. 3: 3, 183-192.