



Pengaruh Parameter Proses 3D *Printing* terhadap Kekuatan Tarik Filamen PLA+ menggunakan Metode *Taguchi*

Effect of 3D Printing Process Parameters on the Tensile Strength of PLA+ Filament using Taguchi Method

Pristiansyah^{1,a)}, Zaldy Sirwansyah Suzen¹, Afiq Durrani Irdin¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung, Bangka, Indonesia

^{a)}Corresponding author: pristian_pay@yahoo.com

Abstrak

Teknologi Pencetakan 3D, atau dikenal sebagai Manufaktur Aditif, telah membawa kemajuan pesat dan berdampak signifikan pada industri manufaktur. Kehadirannya mengubah industri secara keseluruhan, terutama dalam hal proses produksi. Pencetakan 3D adalah metode manufaktur yang dikembangkan secara luas untuk pembuatan prototipe cepat sesuai desain yang tidak hanya terlihat, tetapi juga dapat disentuh dan memiliki volume nyata. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kekuatan tarik menggunakan filamen PLA+ dengan berbagai parameter, dan menganalisis pengaruh parameter tersebut melalui metode *Taguchi*. Percobaan dilakukan dengan menggunakan printer 3D FDM *Creality Ender 3 Pro* dengan area pencetakan XYZ 220mm x 220mm x 250mm dan ukuran *nozzle* 0,4 mm. Parameter yang diuji meliputi *Nozzle Temperature* (210 °C, 220 °C, 230 °C), *Bed Temperature* (60°C, 65°C, 70°C), dan *Layer Thickness* (0.10mm, 0.15mm, 0.20mm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik optimal diperoleh pada percobaan pertama dengan parameter *Nozzle Temperature* 210°C, *Bed Temperature* 60°C, dan *Layer Thickness* 0,10mm, dengan nilai kekuatan tarik rata-rata 21,16 MPa dari tiga replikasi.

Kata Kunci: 3D *printing*; metode *taguchi*; PLA+; uji kuat tarik

Abstract

3D Printing technology, otherwise known as Additive Manufacturing, has brought rapid progress and has had a significant impact on the manufacturing industry. Its presence changed the industry as a whole, especially in terms of the production process. 3D Printing is a widely developed manufacturing method for rapid prototyping as per a design that is not only visible, but also touchable and has a real volume. This study aims to measure the tensile strength using PLA+ filament with various parameters, and analyze the influence of these parameters through the *Taguchi* method. The experiment was carried out using an FDM *Creality Ender 3 Pro* 3D printer with an XYZ Printing area of 220mm x 220mm x 250mm and a nozzle size of 0.4 mm. The tested parameters include *Nozzle Temperature* (210°C, 220°C, 230°C), *Bed Temperature* (60°C, 65°C, 70°C), and *Layer Thickness* (0.10mm, 0.15mm, 0.20mm). The results showed that the optimal tensile strength was obtained in the first experiment with the parameters of *Nozzle Temperature* of 210°C, *Bed Temperature* of 60°C, and *Layer Thickness* of 0.10mm, with an average tensile strength value of 21.16 MPa from three replications.

Keywords: 3D *printing*; *taguchi* method, PLA+; tensile strength

PENDAHULUAN

3D *Printing*, atau sering disebut *Additive Manufacturing*, telah mendorong kemajuan pesat dan memberikan dampak yang signifikan pada industri manufaktur. Teknologi cetak menggunakan printer 3D ini telah mengubah berbagai aspek, terutama dalam sektor industri. Banyak orang memanfaatkan 3D *Printing* sebagai

teknologi produksi yang memungkinkan pembuatan prototipe dengan cepat, sesuai dengan desain yang diharapkan dan bisa dilihat serta disentuh ^[1]. Teknologi yang paling umum digunakan oleh peneliti dalam teknologi pencetakan 3D adalah FDM (*Fused Deposition Modelling*), karena teknologi ini mudah digunakan, lebih ekonomis, ramah lingkungan, dan mempermudah proses pengembangan, *prototyping*, serta produksi produk.

Namun, untuk memperoleh permukaan yang halus, diperlukan proses *finishing*, karena teknik FDM pada 3D *Printing* memiliki kelemahan mekanis akibat titik-titik lemah di antara lapisannya [2].

Dalam proses pembuatan produk dengan 3D *Printing*, filamen berperan sebagai material utama yang menjadi komponen inti dalam pencetakan. Terdapat berbagai jenis filamen yang sering digunakan pada printer 3D, seperti *Polyethylene Terephthalate Glycol* (PETG), *Nylon*, *Polyactic Acid* (PLA), *Polycarbonate* (PC), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), dan lain sebagainya [3]. Dalam penelitian ini, peneliti memilih menggunakan filamen PLA+ karena memiliki reputasi ramah lingkungan, *biodegradable* (plastik berbasis bio), aroma yang menyenangkan, serta memiliki tingkat deformasi lengkung yang rendah dan kualitas cetakan yang sangat baik dengan formula (C₃H₈O). Untuk meningkatkan kualitas produk dan menurunkan biaya dalam desain dan produksi, peneliti menerapkan metode *Taguchi* yang berfokus pada kekuatan tarik filamen PLA+ [4].

Metode *Taguchi* merupakan pendekatan teknik yang inovatif, yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas produk dan proses sambil menekan biaya sumber daya serendah mungkin. Pendekatan ini dirancang untuk mencapai kualitas yang diinginkan dengan membuat produk atau proses lebih kebal terhadap berbagai faktor gangguan. Faktor-faktor tersebut meliputi material, peralatan produksi, tenaga kerja, dan kondisi operasional, yang semuanya dianggap sebagai parameter gangguan [5]. Melakukan analisis terhadap parameter proses yang diuji untuk menemukan nilai optimum menggunakan metode *Taguchi* L₉. Data hasil analisis kemudian digunakan untuk menarik kesimpulan dari eksperimen atau penelitian yang telah dilaksanakan [6].

Pada penelitian yang menggunakan metode *Taguchi* diterapkan dengan konsep eksperimen menggunakan L₉ (3⁴) OA. Dengan hasil penelitian parameter proses yang paling berpengaruh berturut-turut yaitu *Bed Temperature* (92°C), *Nozzle Temperature* (237°C), dan *Layer Thickness* (0,22 mm). Dapat dilihat bahwa suhu meja, suhu *nozzle* dan tebal lapisan ini tetap menjadi faktor penting yang harus diperhatikan, sejalan dengan eksperimen penulis [7]. Berdasarkan penelitian yang meneliti tentang pengaruh parameter terhadap kuat tarik menggunakan filamen ASA, menghasilkan parameter yang optimal untuk kekuatan terbaik dengan metode *Taguchi* meliputi: *Nozzle Temperature* (240°C), *Bed Temperature* (50°C), *Print Speed* (60 mm/s), *Cooling Speed* (50°C), dan *Layer Thickness* (0,4 mm). Pada pengujian konfirmasi, kombinasi parameter optimum ini menghasilkan kekuatan tarik sebesar 20,16 MPa, penelitian ini menunjukkan bahwa *Nozzle Temperature*, *Bed Temperature* dan *Layer Thickness* menjadi parameter yang penting sehingga

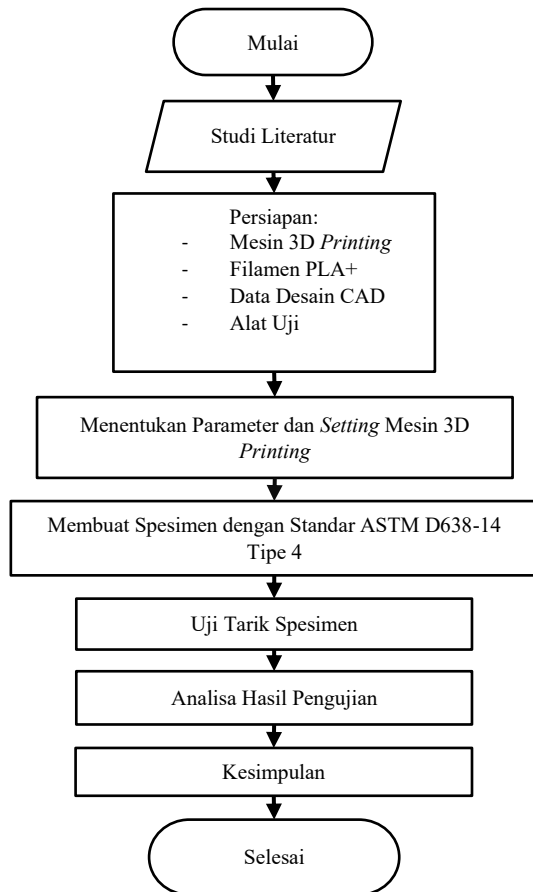
penulis menggunakan ketiga parameter ini untuk dilakukan pengujian [8].

Rovi. A, DKK pernah melakukan penelitian tentang kekuatan tarik dari produk 3D *Printing* menggunakan filamen PETG dengan menggunakan parameter proses pengujian tarik yang paling optimal mencakup ketebalan dinding (1,2 mm), suhu *nozzle* (230°C), kecepatan cetak (40 mm/s), ketebalan lapisan (0,24 mm), suhu meja (60°C), laju aliran (80%), dan densitas *infill* (25%). Kombinasi ini menghasilkan kekuatan tarik rata-rata tertinggi sebesar 30,1 MPa, suhu *nozzle* 230°C dan suhu meja 60°C menunjukkan parameter yang optimum sesuai parameter yang akan digunakan penulis [9]. Penelitian yang lain tentang kuat tarik pernah dilakukan juga dengan menggunakan *filament* PLA+ ESUN menunjukkan suhu *nozzle* dan tipe *infill concentric* menjadi yang paling optimal, penelitian ini hanya menggunakan tipe *infill concentric* [10]. Penelitian optimasi parameter proses 3D *Printing* terhadap kelengkungan dengan menggunakan *Layer Thickness* 0,2 menghasilkan kepadatan spesimen yang baik dan juga fleksibel sehingga baik untuk digunakan dalam pengujian tarik [11]. Pada penelitian tentang nilai parameter proses optimal dengan standar ASTM D638 menggunakan *filament* PETG menunjukan *Nozzle Temperature* dan *Layer Thickness* menjadi parameter yang berpengaruh [12]. Penelitian yang menggunakan mesin 3D *Printing* merek SOVOL SV06 dan filamen PETG merek SUNLU didapatkan suhu *nozzle* dan tebal lapisan berpengaruh dalam pengujian tarik [13]. Penelitian yang mencari untuk mengetahui berapa kekuatan tarik dari bahan yang digunakan pada printer 3D yaitu ABS diketahui *Layer Thickness* dengan 0.15mm menjadi yang paling optimal [14]. Berdasarkan hasil analisa uji tarik spesimen ASTM D638-10 *type 1* diperoleh parameter *print temperature* sebesar 260°C dan *layer height* sebesar 0,12 mm dan *print speed* maksimal sebesar 50 mm/s adalah hasil optimum [15]. Pada penelitian pengaruh parameter proses pada 3d *Printing* terhadap transparansi filamen petg nilai transparansi yang paling optimal ditemukan pada spesimen desain *factorial* L27 dengan *Nozzle Temperature* (250°C), dan *Layer Height* (0,05 mm) [16].

Mengacu pada penelitian yang telah dilakukan terhadap material lainnya, eksperimen ini difokuskan pada tiga parameter proses dalam pencetakan 3D *Printing* FDM yang diatur melalui *Software Slicing*, yaitu *Nozzle Temperature*, *Bed Temperature*, dan *Layer Thickness*, dengan menggunakan filamen PLA+. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sebagai faktor utama untuk mencapai hasil optimal dalam penelitian-penelitian sebelumnya, dan dapat membantu para penggiat 3D *Printing* serta industrialis dalam mengembangkan produk-produk manufaktur plastik.

METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini perlu ditentukan agar kegiatan penelitian berjalan terarah dan fokus pada tujuan akhir yang ingin dicapai. Proses penelitian ini diawali dengan studi literatur, yaitu mencari referensi - referensi yang relevan dengan kasus yang sedang diteliti. Referensi ini mencakup berbagai sumber, seperti jurnal, buku, laporan, artikel, dan situs web. Langkah-langkah penelitian ini dapat dilihat dari diagram alir pada [Gambar 1](#).



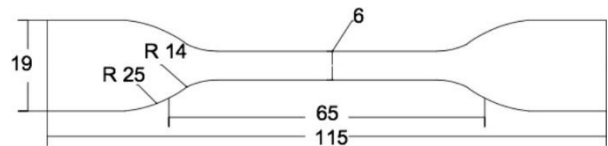
Gambar 1. Diagram Alir

Setelah melakukan studi literatur, tahapan selanjutnya adalah mempersiapkan mesin 3D Printing, filamen PLA+ diameter 1,75 mm, *software slicing Creality slicer*, serta *software* desain. Semua peralatan dan bahan yang diperlukan untuk penelitian ini harus dipersiapkan sebaik mungkin agar proses penelitian dapat berjalan dengan lancar dan terarah. Setelah semua alat dan bahan siap, langkah berikutnya adalah menentukan level dan parameter cetak menggunakan aturan metode *Taguchi orthogonal array* (OA), seperti *Nozzle Temperature*, *Bed Temperature* dan *Layer Thickness*, sebagaimana yang tercantum pada [Tabel 1](#).

Tabel 1. Parameter Cetak Desain *Taguchi*

Exp	Nozzle Temperature (°C)	Bed Temperature (°C)	Layer Thickness (mm)
1	210	60	0,10
2	210	65	0,15
3	210	70	0,20
4	220	60	0,15
5	220	65	0,20
6	220	70	0,10
7	230	60	0,20
8	230	65	0,10
9	230	70	0,15

Eksperimen dalam [Tabel 1](#) dirancang menggunakan metode *Taguchi*, dengan pembuatan spesimen uji yang terdiri dari 9 variasi dan masing-masing direplikasi sebanyak 3 kali. Desain spesimen yang digunakan dalam penelitian ini dengan standar ukuran ASTM D638-IV Type 4 yang ditunjukkan pada [Gambar 2](#).

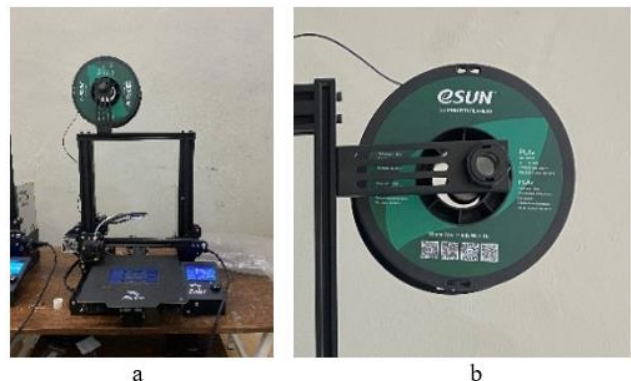


Gambar 2. Desain Spesimen Standar Ukuran ASTM D638-IV Type 4

Berikutnya, *file* akan diproses menggunakan *software slicing Creality slicer*, dengan tujuan mempersiapkan desain agar dapat dicetak dan diproses oleh mesin 3D Printing. Setelah semua tahap selesai, spesimen uji akan menjalani pengujian tarik menggunakan alat uji tarik tipe *Zwick Roell* untuk mendapatkan nilai hasil uji kuat tarik.

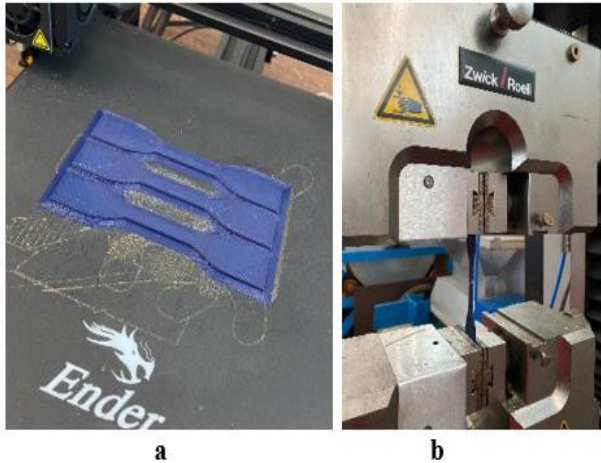
Alat dan Bahan Penelitian

Mesin 3D Printing *Ender* dengan volume XYZ 220 mm x 220 mm x 250 mm seperti pada [Gambar 3 a](#) dan filamen PLA+ dengan diameter 1,75 mm yang digunakan untuk mencetak spesimen ditunjukkan pada [Gambar 3 b](#).



Gambar 3. a. mesin 3D Printer, b. filamen PLA+ (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Spesimen uji hasil dari proses pencetakan mesin 3D *Printing Ender* seperti pada [Gambar 4 a](#). Dan kemudian diuji dengan mesin uji tarik untuk mengetahui kekuatan tarik seperti pada [Gambar 4 b](#).



Gambar 4. a. Spesimen uji, b. Mesin uji tarik (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang dihasilkan dari pencetakan spesimen atau benda kerja dengan variasi parameter pada mesin 3D *Printing* akan dianalisis guna mendapatkan nilai pengujian tariknya.

Data Hasil Eksperimen

Hasil uji tarik diperoleh melalui pengambilan *sample* dan pengujian yang dilakukan dalam tiga kali replikasi (R1, R2 dan R3). Setelah itu, rata-rata dari ketiga replikasi tersebut dihitung, dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk [Tabel 2](#) berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan rata-rata pengujian tarik

Exp	R1	R2	R3	Rata-Rata
1	20,3	21,1	22,1	21,16
2	20,8	21,5	20,4	20,9
3	20,9	19,9	20,9	20,56
4	15,8	16,8	17,2	16,6
5	17,0	16,7	16,1	16,6
6	16,8	17,5	17,8	17,37
7	16,9	17,0	16,6	16,83
8	16,4	16,8	16,6	16,6
9	17,6	16,9	18,0	17,5

Hasil rata-rata pengujian tarik yang paling tinggi berdasarkan data eksperimen pada [Tabel 2](#) diperoleh pada percobaan nomor 1, dengan nilai rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 21,16 Mpa, dengan menggunakan parameter *nozzle temperature* (210°C), *bed temperature* (60°C) dan *layer thickness* (0,10 mm). Parameter ini

belum merupakan parameter yang optimum, karena akan diuji kembali menggunakan perhitungan *S/N ratio* dengan karakteristik kualitas semakin besar semakin baik atau *large is better*.

Pengolahan Data Hasil Eksperimen

Data hasil pengujian dianalisis untuk menentukan konfigurasi parameter proses yang optimal dan signifikan terhadap uji tarik menggunakan metode *Taguchi*. Pengolahan data dilakukan dengan bantuan perangkat lunak analisis, di mana nilai data pengujian dimasukkan kedalam *software minitab* untuk menghasilkan *mean plot* dan *S/N ratio*.

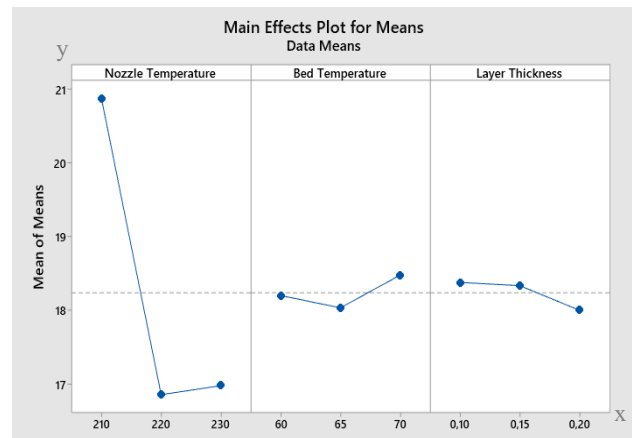
Grafik Mean Plot

Berikut adalah tampilan *analyze Taguchi design* yang menunjukkan hasil *signal to noise ratio* dan *means*. Perhitungan *mean plot* oleh *software minitab* ditampilkan pada [Tabel 3](#). Perhitungan pada ini bertujuan untuk menentukan pengaruh tiap parameter terhadap kekuatan tarik.

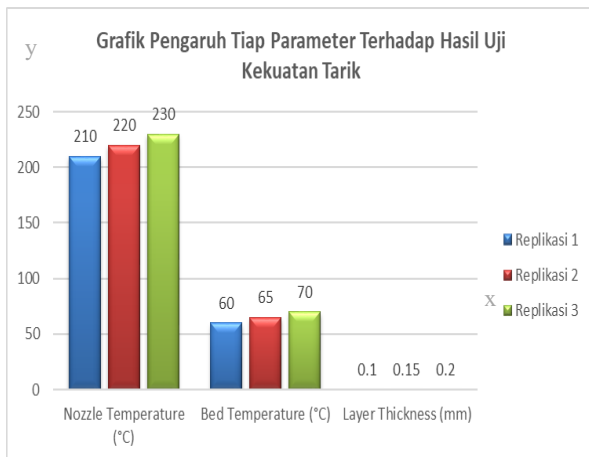
Tabel 3. Mean Plot

Level	Nozzel Temperature	Bed Temperature	Layer Thickness
1	20,88	18,20	18,38
2	16,86	18,03	18,33
3	16,98	18,48	18,00
Delta	4,02	0,44	0,38
Rank	1	2	3

Berdasarkan hasil perhitungan pada [Tabel 3](#), parameter seperti *suhu nozzle*, *bed temperature* dan *layer thickness* menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik dari spesimen yang diuji secara berurutan. Hasil tersebut diolah secara grafis sebagaimana ditampilkan pada [Gambar 5](#).

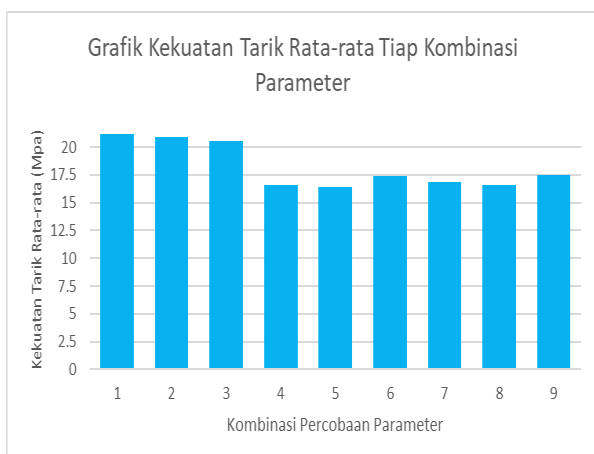


Gambar 5. Grafik Mean Plot Pengaruh Tiap Parameter Terhadap Hasil Uji Kekuatan Tarik



Gambar 6. Grafik Pengaruh Tiap Parameter Terhadap Hasil Uji Kekuatan Tarik

Gambar 6 menunjukkan pengaruh tiap parameter terhadap kuat tarik, dimana *nozzle temperature* mempunyai pengaruh paling besar diikuti dengan *bed temperature* dan *layer thickness*.



Gambar 7. Grafik Kekuatan Tarik Rata-rata Tiap Kombinasi Parameter

Gambar 7 menunjukkan kekuatan tarik rata-rata dari 9 kombinasi percobaan parameter proses. Hasilnya memperlihatkan bahwa kombinasi 1, 2, dan 3 menghasilkan kekuatan tarik tertinggi (di atas 20 MPa), sementara kombinasi 4 hingga 9 memiliki nilai yang lebih rendah (sekitar 16–18 MPa). Hal ini mengindikasikan bahwa parameter pada kombinasi awal lebih optimal dalam meningkatkan kekuatan tarik material. Grafik ini berguna untuk mengevaluasi dan membandingkan efektivitas tiap kombinasi dalam proses pengujian material.

Grafik S/N Ratio

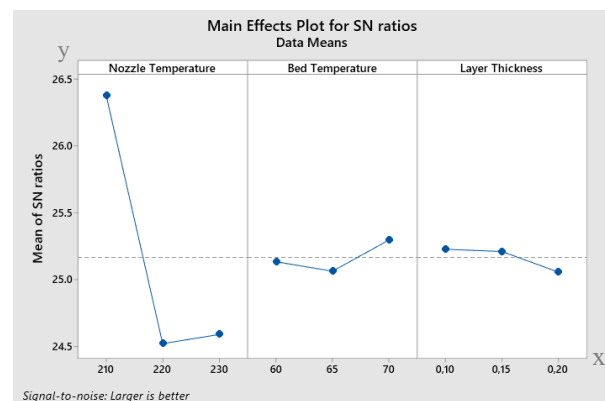
Hasil perhitungan S/N ratio menggunakan *software minitab* ditampilkan pada Tabel 4. Tujuan dari Perhitungan ini adalah untuk menentukan level dari

parameter proses yang optimum terhadap kuat tarik berdasarkan spesimen yang telah diuji.

Tabel 4. S/N Rasio

Level	Nozzel Temperature	Bed Temperature	Layer Thickness
1	26,38	25,13	25,23
2	24,52	25,06	25,21
3	24,59	25,30	25,06
Delta	1,86	0,23	0,17
Rank	1	2	3

Hasil perhitungan pada Tabel 4 diolah secara grafis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8 agar parameter proses yang optimum dapat diketahui.



Gambar 8. Grafik S/N Ratio

Berdasarkan Gambar 8 dan Tabel 4 parameter proses yang optimum terhadap kekuatan tarik adalah *Nozzle Temperature* (210°C), *Bed Temperature* (70°C) dan *Layer Thickness* (0,10 mm). Parameter tersebut akan diuji kembali (uji konfirmasi) untuk membandingkan dengan parameter pada percobaan nomor 1. Hasil uji konfirmasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Uji Konfirmasi Parameter Optimum

Replikasi Kombinasi Optimum			Rata-rata
R1	R2	R3	
21,3	22,3	22,5	22,03

Hasil uji konfirmasi pada Tabel 5 menunjukkan kuat tarik dari 3 replikasi sebesar 22,03 Mpa. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan dari kuat tarik pada percobaan nomor 1 sebesar 0,87 Mpa.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan analisis *Taguchi* terhadap kuat tarik pada eksperimen ini, maka didapatkan parameter dengan pengaruh berturut-turut terbesar pada uji tarik untuk filamen PLA+ adalah *Nozzle Temperature*, *Bed Temperature* dan *Layer Thickness*. Sedangkan untuk nilai level dari parameter yang optimum

adalah *Nozzle Temperature* (210°C), *Bed Temperature* (70°C), dan *Layer Thickness* (0,10 mm) dengan nilai kekuatan uji tarik dari 3 replikasi sebesar 21,16 Mpa. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan acuan oleh para industrialis untuk membuat *end product* dari mesin 3D *Printing*, seperti *cover body* sepeda motor, *cover lampu*, *helm* serta produk-produk manufaktur lainnya yang harus mempunyai ketahanan tarik pada saat digunakan.

Saran

Saran yang dapat disampaikan setelah menyelesaikan eksperimen ini yaitu dari sisi keilmuan, eksperimen ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan analisis yang lebih mendalam pada parameter-parameter yang melibatkan berbagai tingkatan. Selain itu, penggunaan metode optimasi dapat diperluas dengan menerapkan metode lain selain *Taguchi* untuk memperluas cakupan eksperimen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. CHRISTILIANA, Pristiansyah, and Y. Oktriadi, "Optimasi Parameter Proses pada 3D *Printing* FDM terhadap Akurasi Dimensi Filament PLA Food Grade", *Manutech*, vol. 13, no. 01, pp. 1-8, Jun. 2021.
- [2] M. H. B. Bari, P. Pristiansyah, and F. Aswin, "Optimasi Parameter Proses 3d *Printing* Terhadap Kekuatan Tarik Filamen Pla Food Grade", *SNITT*, vol. 1, no. 01, pp. 169–174, Aug. 2021.
- [3] R. D. Trisaplin, Z. S. Suzen, "Analisis Pada Proses 3d Printer Terhadap Pengujian Tarik Menggunakan Filamen PLA Pro", *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*:p-ISSN: 2723 -6609, 2107-2117. 2021.
- [4] P. Pristiansyah, H. Hasdiansah, S. Sugianto, and Naufal Rafiq Muhammad, "Pengaruh Bentuk Infill Terhadap Kekuatan Lentur Produk 3d *Printing* Menggunakan Filamen Super Tough Pla". *Momentum*, vol. 19, No. 1, pp. 20-26. 2023.
- [5] S. Irawan, "Desain Eksperimen dengan Metode *Taguchi*", Yogyakarta : Graha Ilmu. 2009.
- [6] M. Masdani, I. Feriadi, P. Pristiansyah, and H. Hasdiansah, "Optimasi Parameter Proses Terhadap Akurasi Dimensi Pla Food Grade Menggunakan Metode *Taguchi*", *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, vol. 1, 2020.
- [7] P. Pristiansyah, H. Hasdiansah, and A. Ferdiansyah, "Pengaruh Parameter Proses Pada 3D *Printing* FDM Terhadap Kekuatan Tarik Filament ABS CCTREE", *Manutech*, vol. 14, no. 01, pp. 15-22, Jun. 2022.
- [8] W. R. Saputra, Z. S. Suzen, P. Pristiansyah, "Pengaruh Parameter Proses terhadap Kuat Tarik Produk Hasil 3d *Printing* Menggunakan Filamen ASA (*Acrylonitrile Styrene Acrylate*)", *j-proteksion. j. kaji. ilm. dan. teknologi. teknik. mesin.*, vol. 7, no. 1, pp. 73–78, Feb. 2023.
- [9] R. Avriansah, P. Pristiansyah, and E. Erwanto, "OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TERHADAP KEKUATAN TARIK FILAMENT POLYETHYLENE TEREPHTHALET GLYCOL", *SNITT*, vol. 2, no. 01, pp. 394–400, Feb. 2022.
- [10] P. Pristiansyah, "Pengaruh Sudut Part Build Orientation Z-Direction Terhadap Kuat Tarik Spesimen Uji Standar Astm D638 Type IV Menggunakan Filamen Pla+", *Manutech*, vol. 15, no. 02, pp. 174 - 182, Dec. 2023.
- [11] H. Hasdiansah, T. V. Viniolita, P. Pristiansyah, and H. Herianto, "OPTIMASI PARAMETER PROSES 3D *PRINTING* TERHADAP KELENGKUNGAN SOFT PNEUMATIC GRIPPER DENGAN MENGGUNAKAN FILAMENT EFLEX," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 2, pp. 685–692, Aug. 2024.
- [12] D. S. Paksi, H. B., "Optimasilisasi Kekuatan Tarik Produk Drone Propeller FDM Dengan Filamen Petg Pada Proses 3d *Printing* Dengan Metode Response Surface Methodology (RSM)", *Skripsi yang dipublikasikan*, Universitas Tanjungpura, Pontianak. 2023.
- [13] Z. Silsa, "Optimasi Parameter Proses 3D *Printing* Terhadap Kuat Tarik Filament PETG Menggunakan Metode *Taguchi*", *Jurnal Sistem Dan Teknik Industri*, pp. 538-545. 2023.
- [14] A. Kholil, "Pengaruh Layer Thickness Dan Orientasi 3D *Printing* Terhadap Uji Tarik Material ABS", *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, pp. 219-226. 2020.
- [15] K. A. N. Felix, "Optimasi Parameter 3D *Printing* Menggunakan Material PP Daur Ulang pada Spesimen ASTM 638 D 10 type 1 dengan Response Surface Method", *Jurnal Teknologi*, pp. 82-87. 2022.
- [16] P. Pristiansyah, I. A. Wahyudie, and R. Rosa, "Pengaruh Parameter Proses pada Pencetakan 3d *Printing* terhadap Transparansi Filamen Petg Menggunakan Metode *Taguchi*", *j-proteksion. j. kaji. ilm. dan. teknologi. teknik. mesin.*, vol. 9, no. 1, pp. 13–18, Aug. 2024.