
**PENGARUH *INFILL PATTERN*, *INFILL DENSITY*, DAN *PRINTING SPEED* TERHADAP
AKURASI DIMENSI MENGGUNAKAN FILAMEN ASA
(*ACRYLONITRILE STYRENE ACRYLATE*)**

Nabilah Cinta Dewi¹, Luthfy Nabila¹, Idiar¹, Zamzam Islamy¹, Pristiansyah^{1*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung
Jl. Timah Raya, Kawasan Industri Air Kantung, Sungailiat, Bangka 33211.

*Email: pristian_pay@yahoo.com

Abstrak

Fused Deposition Modeling (FDM) merupakan salah satu teknologi manufaktur aditif yang kualitas geometrinya dipengaruhi oleh pengaturan parameter proses. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh pola pengisian, kerapatan pengisian, dan kecepatan pencetakan terhadap akurasi dimensi spesimen berbahan *Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA)*. Eksperimen disusun menggunakan rancangan *Taguchi L₉* dengan tiga level untuk setiap faktor, yaitu pola grid, linear, dan rectilinear; kerapatan pengisian 40, 50, dan 60%; serta kecepatan pencetakan 30, 40, dan 50 mm/s. Dimensi X, Y, Z, dan diameter diukur tiga kali, kemudian dianalisis menggunakan rasio *signal-to-noise (S/N)*, grafik efek utama, dan *analysis of variance (ANOVA)*. Secara deskriptif, kerapatan pengisian menunjukkan perubahan *S/N* terbesar dengan delta 0,012, diikuti kecepatan pencetakan 0,010 dan pola pengisian 0,003. Kombinasi rectilinear, kerapatan 50%, dan kecepatan 40 mm/s menghasilkan respons prediksi terbaik. Namun, seluruh nilai *p* berada di atas 0,05 sehingga belum terdapat bukti pengaruh utama yang signifikan secara statistik. Uji konfirmasi menghasilkan penyimpangan maksimum 0,02 mm, yang menunjukkan konsistensi dimensi yang baik pada kombinasi parameter tersebut.

Kata kunci: Akurasi Dimensi, ASA, FDM, Taguchi

PENDAHULUAN

Manufaktur aditif memungkinkan pembuatan komponen kompleks langsung dari model digital. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah *Fused Deposition Modeling (FDM)*, yaitu proses deposisi filamen termoplastik secara berlapis. Metode ini relatif sederhana dan ekonomis, tetapi akurasi dimensi produk tetap perlu dikendalikan karena kontraksi termal, gradien pendinginan, aliran material, dan karakteristik deposisi antarlapisan dapat menimbulkan penyimpangan terhadap geometri CAD (Doshi dkk., 2022; Rehman dkk., 2022).

Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA) menarik untuk komponen fungsional karena memiliki ketahanan terhadap cuaca dan radiasi ultraviolet. Namun, karakteristik termalnya membuat pemilihan parameter pencetakan penting untuk menjaga kestabilan geometri. Saputra dkk. (2023) menunjukkan bahwa parameter proses memengaruhi respons produk ASA, sedangkan pola pengisian, kerapatan pengisian, dan kecepatan pencetakan berkaitan langsung dengan struktur internal, dukungan antarlapisan, serta kondisi deposisi dan pendinginan (Birosz dkk., 2022; Bonada dkk., 2021; Martín dkk., 2021; Suteja dan Setiawan, 2021; Tho dkk., 2021).

Pendekatan Taguchi telah banyak digunakan untuk mengevaluasi parameter FDM secara efisien, tetapi kajian ASA sebelumnya lebih dominan membahas sifat mekanik dibandingkan akurasi geometri (Hameed dkk., 2022; Kam dkk., 2022; Hikmat dkk., 2021). Studi terkait akurasi dimensi juga lebih banyak dilaporkan pada polimer lain (Pristiansyah dkk., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi sensitivitas tiga parameter proses terhadap akurasi dimensi ASA menggunakan Taguchi *L₉*. Berbeda dari pengolahan berbasis rata-rata ukuran yang memiliki target nominal berbeda, respons penelitian dirumuskan sebagai galat dimensi ternormalisasi sehingga setiap arah pengukuran dapat dibandingkan pada skala yang setara.

METODOLOGI

Penelitian menggunakan filamen ASA berdiameter nominal 1,75 mm dan mesin FDM Ender 3 Pro. Pembuatan jalur pencetakan dilakukan menggunakan perangkat lunak IdeaMaker 5.2.2. Pengukuran dimensi dilakukan menggunakan jangka sorong digital Jonnesway MTC150 dengan rentang 150 mm dan ketelitian 0,01 mm. Parameter di luar ruang lingkup penelitian, meliputi

diameter *nozzle*, *layer height*, *nozzle temperature* dan meja cetak, orientasi pencetakan, jumlah dinding/perimeter, *fan speed*, serta laju aliran material, dipertahankan konstan. Pengendalian parameter tersebut dilakukan agar pengaruh tiga faktor utama dapat dibandingkan dalam kondisi proses yang setara. Faktor dan level parameter yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor dan level parameter penelitian

Faktor	Parameter	Level 1	Level 2	Level 3
1	Infill Pattern	Grid	Linear	Rectilinear
2	Infill Density (%)	40	50	60
3	Printing Speed (mm/s)	30	40	50

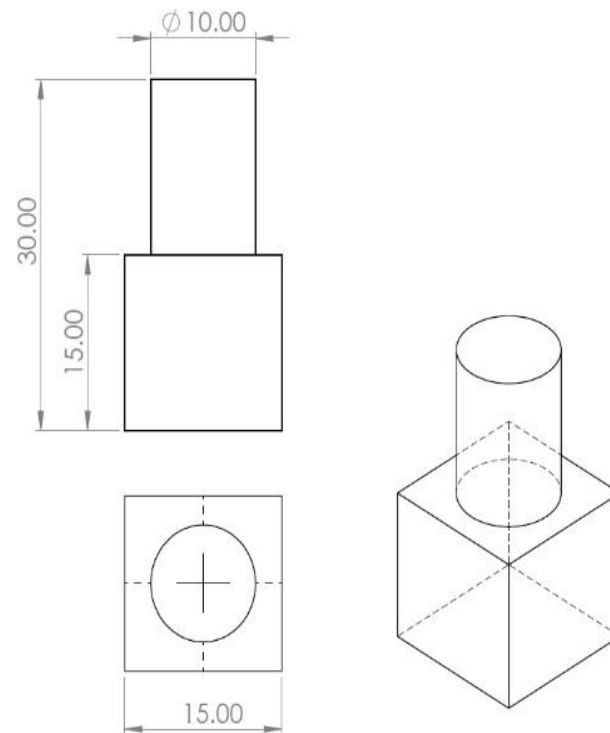
Pemilihan parameter proses dalam penelitian ini didasarkan pada karakteristik material ASA, spesifikasi filamen yang digunakan, serta hasil penelitian terdahulu. *Infill pattern* dipilih karena pola jalur material pada bagian dalam spesimen dapat memengaruhi distribusi material dan karakteristik hasil cetak. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa variasi *infill pattern* dapat menghasilkan perbedaan karakteristik pada produk hasil FDM, sehingga *infill pattern* digunakan sebagai salah satu faktor penelitian (Birosz et al., 2022; Bonada et al., 2021; Martín et al., 2021). Tiga pola yang digunakan, yaitu *grid*, *linear*, dan *rectilinear*, dipilih untuk merepresentasikan variasi susunan jalur material pada bagian dalam spesimen.

Parameter *infill density* dan *printing speed* dipilih berdasarkan rentang parameter yang direkomendasikan pada spesifikasi filamen ASA yang digunakan dalam penelitian. Berdasarkan spesifikasi tersebut, *infill density* dan *printing speed* memiliki rentang penggunaan yang sesuai untuk proses pencetakan material ASA. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan tiga level *infill density*, yaitu 40%, 50%, dan 60%, serta tiga level *printing speed*, yaitu 30, 40, dan 50 mm/s. Pemilihan tiga level tersebut dilakukan agar dapat merepresentasikan variasi kondisi pencetakan dalam rentang yang direkomendasikan untuk material yang digunakan. Penggunaan *infill density* dan *printing speed* sebagai parameter proses juga didukung oleh penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa kedua parameter tersebut merupakan faktor yang dapat memengaruhi karakteristik produk hasil FDM (Suteja and Setiawan, 2021; Tho et al., 2021; Pristiansyah et al., 2025).

Berdasarkan tiga faktor dengan masing-masing tiga level tersebut, secara faktorial penuh terdapat 27 kombinasi parameter. Untuk mengurangi jumlah eksperimen tanpa menghilangkan kemampuan untuk mengevaluasi pengaruh utama masing-masing faktor, digunakan orthogonal array Taguchi L₉. Dengan demikian, diperoleh sembilan kombinasi eksperimen yang tersusun secara seimbang sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Orthogonal array Taguchi L₉

Eksp.	<i>Infill Pattern</i>	<i>Infill Density (%)</i>	<i>Printing Speed (mm/s)</i>
1	<i>Grid</i>	40	30
2	<i>Grid</i>	50	40
3	<i>Grid</i>	60	50
4	<i>Linear</i>	40	40
5	<i>Linear</i>	50	50
6	<i>Linear</i>	60	30
7	<i>Rectilinear</i>	40	50
8	<i>Rectilinear</i>	50	30
9	<i>Rectilinear</i>	60	40

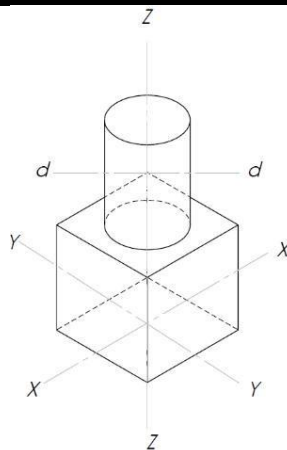


Gambar 1. Geometri nominal spesimen uji

Geometri nominal spesimen uji dibuat sama untuk seluruh kondisi eksperimen untuk memastikan bahwa perbedaan hasil pengukuran dimensi berasal dari variasi parameter proses pencetakan. Dimensi nominal spesimen terdiri atas $X = 15$ mm, $Y = 15$ mm, $Z = 30$ mm, dan diameter silinder $d = 10$ mm, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Spesimen hasil pencetakan dan arah pengukuran masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Setiap dimensi diukur sebanyak tiga kali pada spesimen yang sama, kemudian nilai rata-rata digunakan sebagai respons geometrik. Pengulangan pengukuran tersebut merupakan pengulangan pembacaan alat ukur dan bukan replikasi independen dari proses pencetakan.



Gambar 2. Spesimen hasil pencetakan



Gambar 3. Arah pengukuran spesimen

Setelah setiap spesimen dicetak, respons diukur sebanyak tiga kali pada tiap kondisi. Untuk respons yang mendekati target nominal, *signal-to-noise ratio* digunakan dengan karakteristik.

$$S/N = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (1)$$

Keterangan

n = jumlah pengulangan

y = data hasil percobaan

y_i = hasil pengukuran pada pengulangan ke- i

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis menggunakan nilai rata-rata respon dan *S/N Ratio* untuk menentukan pengaruh setiap level faktor melalui *main effects plot*. ANOVA digunakan untuk mengetahui tingkat kontribusi masing-masing parameter terhadap perubahan respon. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kombinasi parameter terbaik ditentukan dan dilakukan pengujian konfirmasi untuk memvalidasi kesesuaian antara nilai aktual hasil eksperimen dengan nilai prediksi metode Taguchi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Dimensi

Tabel 3 menyajikan nilai rata-rata hasil pengukuran dimensi dari sembilan kondisi pada rancangan L_9 . Jika dibandingkan dengan ukuran nominal $X = 15$ mm, $Y = 15$ mm, $Z = 30$ mm, dan $d = 10$ mm, seluruh hasil pengukuran berada dekat dengan target desain. Deviasi tunggal terbesar ditemukan pada eksperimen ke-1 untuk dimensi Z , yaitu 30,13 mm atau menyimpang +0,13 mm dari nilai nominal. Pada pengukuran lainnya, besar penyimpangan umumnya lebih kecil. Temuan ini menunjukkan bahwa rentang parameter proses yang digunakan masih mampu menghasilkan spesimen dengan konsistensi geometri yang baik, meskipun terdapat variasi kecil antarkondisi percobaan.

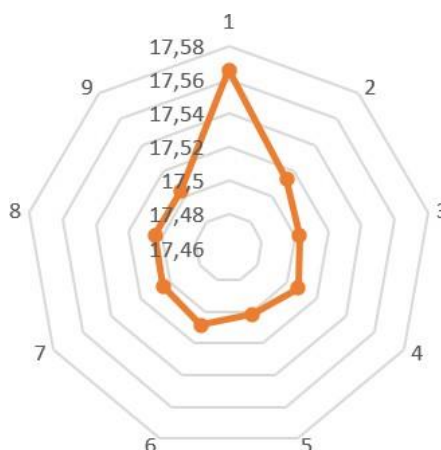
Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Pristiansyah dkk. (2025) yang menunjukkan bahwa parameter proses FDM, seperti *infill density* dan *printing speed*, perlu dipertimbangkan dalam pengendalian akurasi dimensi. Penelitian tersebut menggunakan metode Taguchi untuk mengevaluasi akurasi dimensi PLA+ dan menunjukkan bahwa kombinasi parameter hasil optimasi dapat menghasilkan dimensi yang lebih konsisten pada pengujian konfirmasi. Meskipun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan karakteristik yang berbeda karena menggunakan filamen ASA dengan rentang parameter dan geometri spesimen yang berbeda. Pada penelitian ini, deviasi maksimum sebesar 0,13 mm masih ditemukan pada salah satu kondisi eksperimen, sedangkan sebagian besar hasil pengukuran berada sangat dekat dengan dimensi nominal. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa respons akurasi dimensi tidak hanya dipengaruhi oleh parameter proses, tetapi juga dapat berkaitan dengan karakteristik material, geometri spesimen, dan kondisi pencetakan yang

digunakan. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat bahwa metode Taguchi dapat digunakan untuk mengevaluasi kecenderungan pengaruh parameter proses terhadap akurasi dimensi FDM, tetapi hasil optimasi perlu ditinjau berdasarkan material dan kondisi proses yang digunakan.

Tabel 3. Rata-rata hasil pengukuran dimensi spesimen (mm)

Eksp.	X	Y	Z	d	Rata-rata
1	15,07	15,07	30,13	10,00	17,565
2	15,01	15,00	30,00	10,04	17,513
3	15,00	15,02	30,01	9,98	17,502
4	15,01	15,00	30,02	10,00	17,507
5	15,01	15,01	30,00	9,99	17,501
6	15,01	15,00	30,02	10,00	17,508
7	15,02	15,01	30,00	9,99	17,505
8	15,01	15,01	30,00	9,99	17,504
9	15,02	15,00	30,01	9,99	17,504

Hasil pengukuran pada sembilan kondisi eksperimen menunjukkan bahwa dimensi spesimen relatif mendekati ukuran nominal yang telah ditetapkan. Meskipun demikian, masih terdapat variasi kecil antarkondisi pencetakan. Variasi tersebut dapat terjadi karena setiap kombinasi parameter memberikan kondisi deposisi dan pendinginan material yang berbeda selama proses pencetakan. Secara umum, penyimpangan yang terbentuk masih berada dalam rentang yang relatif kecil, sehingga seluruh kombinasi parameter yang diuji mampu menghasilkan geometri spesimen yang cukup konsisten. Perbandingan nilai rata-rata hasil pengukuran pada masing-masing kondisi eksperimen disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik rata-rata hasil pengukuran dimensi

Gambar 4 memperlihatkan adanya perbedaan nilai rata-rata dimensi pada sembilan kombinasi eksperimen, meskipun rentang perbedaannya relatif sempit. Kondisi eksperimen pertama menunjukkan nilai rata-rata pengukuran yang lebih tinggi dibandingkan kondisi lainnya, terutama akibat penyimpangan pada dimensi Z yang mencapai 30,13 mm. Sementara itu, hasil pada eksperimen lainnya cenderung berdekatan. Pola tersebut menunjukkan bahwa perubahan parameter proses yang digunakan tidak menghasilkan perbedaan dimensi yang besar, tetapi tetap memberikan variasi respons yang dapat dianalisis lebih lanjut melalui rasio *signal-to-noise* (S/N).

Respon S/N Ratio dan Efek Utama

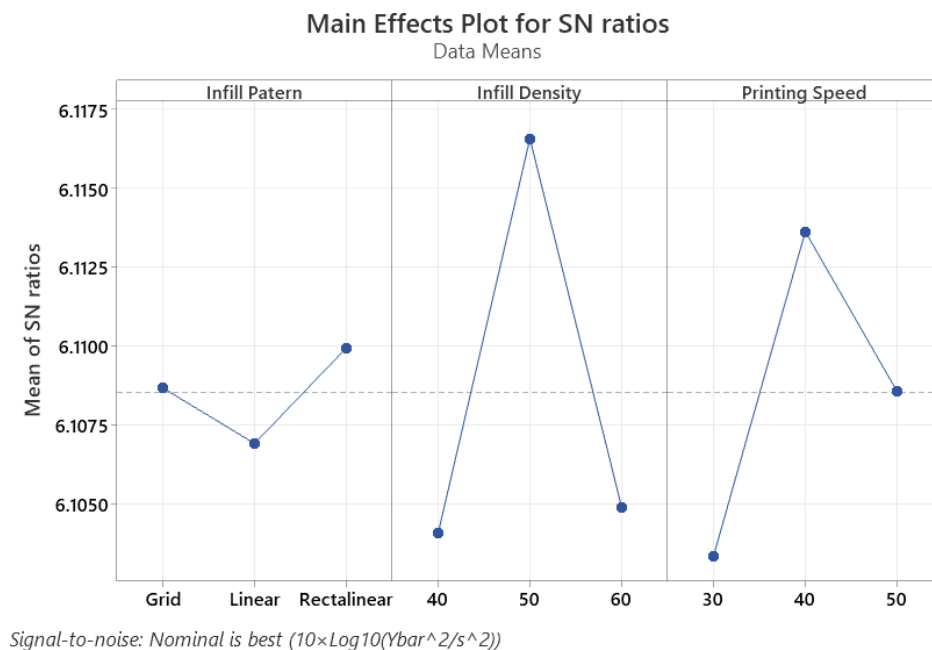
Analisis S/N Ratio digunakan untuk melihat kestabilan respons dimensi terhadap perubahan level setiap parameter proses. Berdasarkan nilai delta antarlevel, kerapatan pengisian menunjukkan perubahan respons terbesar, yaitu 0,012. Kecepatan pencetakan menempati urutan berikutnya dengan delta sebesar 0,010, sedangkan pola pengisian menghasilkan perubahan paling kecil dengan delta 0,003. Hasil tersebut menunjukkan bahwa, dalam rentang parameter yang diuji, respons dimensi cenderung lebih sensitif terhadap perubahan kerapatan pengisian dan kecepatan pencetakan

dibandingkan terhadap pola pengisian. Namun, karena selisih respons antarlevel relatif kecil, peringkat tersebut lebih tepat dipahami sebagai kecenderungan respons eksperimen dan belum dapat digunakan secara langsung untuk menyatakan dominasi statistik suatu faktor.

Gambar 5 memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perubahan nilai S/N pada setiap level faktor. Pada faktor pola pengisian, nilai rata-rata S/N masing-masing sebesar 6,109 untuk *grid*, 6,107 untuk *linear*, dan 6,110 untuk *rectilinear*. Perbedaan yang sangat kecil di antara ketiga level tersebut menunjukkan bahwa perubahan pola pengisian hanya memberikan variasi terbatas terhadap respons yang diamati.

Pada faktor *infill density*, nilai S/N meningkat dari 6,104 pada *infill density* 40% menjadi 6,117 pada *infill density* 50%, kemudian menurun menjadi 6,105 pada *infill density* 60%. Kecenderungan yang hampir serupa juga terlihat pada *printing speed*. Nilai S/N meningkat dari 6,103 pada *printing speed* 30 mm/s menjadi 6,114 pada 40 mm/s, kemudian kembali menurun menjadi 6,109 pada 50 mm/s. Dengan mempertimbangkan nilai S/N tertinggi pada setiap faktor, kombinasi yang diprediksi memberikan kestabilan dimensi terbaik adalah *infill pattern rectilinear*, *infill density* 50%, dan *printing speed* 40 mm/s.

Kombinasi tersebut merupakan hasil estimasi dari efek utama masing-masing faktor sehingga tidak harus sama dengan salah satu kombinasi yang terdapat secara langsung dalam matriks Taguchi L₉. Oleh karena itu, kombinasi dengan nilai S/N tertinggi tidak serta-merta dapat dinyatakan sebagai kondisi optimum yang telah terverifikasi. Diperlukan uji konfirmasi untuk mengetahui apakah kombinasi parameter hasil prediksi tersebut benar-benar mampu memberikan respons dimensi yang konsisten ketika diterapkan kembali pada proses pencetakan.



Gambar 5. Grafik efek utama terhadap S/N ratio

Gambar 5 memperlihatkan pola yang konsisten dengan peringkat respons. Nilai rata-rata S/N untuk *infill density* masing-masing sebesar 6,109 pada *grid*, 6,107 pada *linear*, dan 6,110 pada *rectilinear*. Pada *infill density*, nilai S/N meningkat dari 6,104 pada 40% menjadi 6,117 pada 50%, kemudian turun menjadi 6,105 pada 60%. Pola serupa terlihat pada *printing speed*, yaitu meningkat dari 6,103 pada 30 mm/s menjadi 6,114 pada 40 mm/s, lalu menurun menjadi 6,109 pada 50 mm/s. Berdasarkan pemilihan nilai S/N tertinggi pada masing-masing faktor, kombinasi yang diprediksi memberikan kestabilan terbaik adalah pola *rectilinear*, *infill density* 50%, dan *printing speed* 40 mm/s.

Kombinasi prediksi tersebut tidak harus sama dengan salah satu dari sembilan eksperimen pada matriks L₉ karena nilainya disusun dari efek utama setiap faktor yang diestimasi secara terpisah. Hal ini merupakan karakteristik penting pada penggunaan rancangan penyaringan Taguchi. Oleh

sebab itu, kombinasi hasil prediksi tetap memerlukan eksperimen konfirmasi sebelum dapat dinyatakan sebagai kondisi optimum yang telah terverifikasi secara eksperimental (Hameed dkk., 2022; Kam dkk., 2022; Hikmat dkk., 2021).

ANOVA dan Interpretasi Statistik

ANOVA digunakan untuk menilai apakah perbedaan rasio S/N yang teramati cukup besar jika dibandingkan dengan variasi residual. Pada taraf signifikansi 5%, tidak satu pun faktor penelitian menunjukkan pengaruh utama yang signifikan secara statistik. Nilai p untuk *infill pattern* adalah 0,943, *infill density* 0,440, dan *printing speed* 0,592. Dengan demikian, meskipun respons S/N menunjukkan perbedaan sensitivitas relatif, data eksperimen ini belum memberikan bukti statistik yang memadai untuk menyatakan bahwa salah satu faktor memiliki pengaruh utama yang signifikan pada rentang parameter yang diuji.

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Infill Patern	2	0.000014	0.000014	0.000007	0.06	0.943
Infill Density	2	0.000293	0.000293	0.000146	1.27	0.440
Printing Speed	2	0.000158	0.000158	0.000079	0.69	0.592
Residual Error	2	0.000230	0.000230	0.000115		
Total	8	0.000695				

Gambar 6. Hasil ANOVA terhadap S/N ratio

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat parameter yang memberikan pengaruh utama secara signifikan pada taraf signifikansi 5%. *Infill pattern* menghasilkan nilai p sebesar 0,943, *infill density* sebesar 0,440, sedangkan *printing speed* memiliki nilai p sebesar 0,592. Seluruh nilai tersebut lebih besar dari 0,05. Dengan demikian, berdasarkan data eksperimen yang digunakan, belum terdapat bukti statistik yang cukup untuk menyatakan bahwa perubahan salah satu dari ketiga parameter tersebut menghasilkan pengaruh utama yang signifikan terhadap respons dimensi (Hameed dkk., 2022; Kam dkk., 2022; Hikmat dkk., 2021; Pristiansyah dkk., 2025).

Meskipun tidak menunjukkan signifikansi statistik, perhitungan *sequential sum of squares* memberikan gambaran mengenai proporsi variasi yang berkaitan dengan setiap faktor. Kerapatan pengisian memiliki proporsi deskriptif terbesar sebesar 42,16%, diikuti oleh *printing speed* sebesar 22,73% dan *infill density* sebesar 2,01%. Sementara itu, variasi residual mencapai 33,09%. Nilai tersebut menunjukkan kecenderungan bahwa perubahan kerapatan pengisian berkaitan dengan variasi respons yang lebih besar dibandingkan dua faktor lainnya. Namun, persentase tersebut tidak dapat diperlakukan sebagai bukti bahwa *infill density* berpengaruh secara statistik karena nilai p yang diperoleh masih berada di atas batas signifikansi 0,05 (Hameed dkk., 2022; Pristiansyah dkk., 2025). Besarnya variasi residual juga menunjukkan bahwa sebagian perubahan respons belum sepenuhnya dijelaskan oleh tiga faktor yang diuji. Selain itu, keterbatasan derajat bebas galat pada rancangan eksperimen L_9 dapat mengurangi kemampuan analisis dalam mendeteksi pengaruh yang relatif kecil. Oleh sebab itu, hasil ANOVA dalam penelitian ini lebih tepat digunakan bersama dengan kecenderungan yang terlihat pada analisis S/N, bukan sebagai dasar tunggal dalam menentukan parameter yang paling berpengaruh (Hameed dkk., 2022; Kam dkk., 2022; Hikmat dkk., 2021).

Uji Konfirmasi

Berdasarkan analisis efek utama rasio S/N, kombinasi parameter yang memberikan respons prediksi terbaik adalah *infill pattern rectilinear*, *infill density* 50%, dan *printing speed* 40 mm/s. Kombinasi tersebut selanjutnya digunakan pada tahap uji konfirmasi untuk mengevaluasi apakah kondisi yang diprediksi melalui metode Taguchi dapat menghasilkan geometri yang konsisten ketika diterapkan kembali dalam proses pencetakan.

Spesimen konfirmasi dibuat menggunakan material dan kondisi pencetakan yang sama dengan pengujian sebelumnya, dengan tiga parameter utama diatur sesuai kombinasi hasil prediksi. Pembuatan lebih dari satu spesimen dimaksudkan untuk memperoleh gambaran mengenai konsistensi hasil pencetakan dan mengurangi kemungkinan penarikan kesimpulan berdasarkan satu

spesimen saja. Spesimen yang digunakan pada tahap uji konfirmasi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Spesimen uji konfirmasi

Setelah proses pencetakan selesai, setiap spesimen konfirmasi diukur menggunakan acuan dimensi yang sama dengan pengujian sebelumnya, yaitu arah X, Y, Z, dan diameter silinder (d). Penggunaan prosedur pengukuran yang sama diperlukan agar hasil uji konfirmasi dapat dibandingkan secara langsung dengan hasil eksperimen pada rancangan Taguchi L₉. Nilai hasil pengukuran dari masing-masing spesimen kemudian digunakan untuk mengevaluasi kestabilan dimensi pada kombinasi parameter hasil prediksi. Hasil pengukuran spesimen uji konfirmasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rata-rata hasil pengukuran dimensi spesimen uji (mm)

Spesimen	X	Y	Z	d
1	15,00	15,01	30,00	9,99
2	15,00	15,01	30,02	10,00
3	14,99	15,00	30,00	10,00

Hasil uji konfirmasi menunjukkan bahwa ketiga spesimen memiliki penyimpangan yang relatif kecil terhadap dimensi nominal. Penyimpangan terbesar sebesar 0,02 mm ditemukan pada dimensi Z spesimen kedua, sedangkan penyimpangan pada dimensi lainnya berada pada kisaran 0-0,01 mm. Secara deskriptif, hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang digunakan pada tahap konfirmasi mampu menghasilkan geometri yang konsisten dan mendekati ukuran nominal. Meskipun demikian, hasil ini tidak digunakan sebagai bukti tunggal bahwa kombinasi tersebut merupakan kondisi optimum karena penetapan optimum tetap perlu mempertimbangkan hasil analisis statistik dan keterbatasan jumlah replikasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian menggunakan rancangan Taguchi L₉, spesimen FDM berbahan ASA menunjukkan penyimpangan dimensi yang relatif kecil terhadap geometri nominal, dengan deviasi terbesar sebesar 0,13 mm pada arah Z. Analisis S/N Ratio menunjukkan bahwa *infill density* memiliki perubahan respons deskriptif terbesar dengan nilai delta 0,012, diikuti *printing speed* sebesar 0,010 dan *infill pattern* sebesar 0,003. Kombinasi parameter dengan nilai S/N tertinggi diperoleh pada *infill pattern* rectilinear, *infill density* 50%, dan *printing speed* 40 mm/s. Meskipun demikian, hasil ANOVA menunjukkan bahwa ketiga faktor belum memberikan pengaruh utama yang signifikan pada taraf 5%, dengan nilai p masing-masing 0,943; 0,440; dan 0,592. Oleh karena itu, perbedaan respons antarparameter lebih tepat dipahami sebagai kecenderungan pada rentang eksperimen yang diuji, bukan sebagai bukti dominasi statistik. Uji konfirmasi pada tiga spesimen menghasilkan penyimpangan maksimum sebesar 0,02 mm, sehingga kombinasi parameter hasil prediksi menunjukkan konsistensi geometrik yang baik. Penambahan replikasi independen pada proses pencetakan tetap diperlukan untuk memperkuat validitas statistik dan memastikan kestabilan kombinasi parameter pada kondisi produksi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Birosz, M.T., Ledenyák, D. and Andó, M., (2022), Effect of FDM infill patterns on mechanical properties, *Polymer Testing*, 113, 107654. doi: <https://10.1016/j.polymertesting.2022.107654>
- Bonada, J., Pastor, M.M. and Buj-Corral, I., (2021), Influence of infill pattern on the elastic mechanical properties of fused filament fabrication (FFF) parts through experimental tests and

- numerical analyses, *Materials*, 14(18), 5459. doi: <https://10.3390/ma14185459>
- Doshi, M., Mahale, A., Singh, S.K. and Deshmukh, S., (2022), Printing parameters and materials affecting mechanical properties of FDM-3D printed parts: Perspective and prospects, *Materials Today: Proceedings*. doi: <https://10.1016/j.matpr.2021.10.003>
- Hameed, A.Z., Aravind Raj, S., Kandasamy, J., Shahzad, M.A. and Baghdadi, M.A., (2022), 3D printing parameter optimization using Taguchi approach to examine Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA) mechanical properties, *Polymers*, 14(16), 3256. doi: <https://10.3390/polym14163256>
- Heidari-Rarani, M., Ezati, N., Sadeghi, P. and Badrossamay, M.R., (2022), Optimization of FDM process parameters for tensile properties of polylactic acid specimens using Taguchi design of experiment method, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 35(12), pp. 2435–2452. doi: <https://10.1177/0892705720964560>
- Hikmat, M., Rostam, S. and Ahmed, Y.M., (2021), Investigation of tensile property-based Taguchi method of PLA parts fabricated by FDM 3D printing technology, *Results in Engineering*, 11, 100264. doi: <https://10.1016/j.rineng.2021.100264>
- Kam, M., İpekçi, A. and Şengül, Ö., (2022), Investigation of the effect of FDM process parameters on mechanical properties of 3D printed samples using Taguchi method, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. doi: <https://10.1177/08927057211006459>
- Martín, M.J., Auñón, J.A. and Martín, F., (2021), Influence of infill pattern on mechanical behavior of polymeric and composite specimens manufactured using fused filament fabrication technology, *Polymers*, 13(17), 2934. doi: <https://10.3390/polym13172934>
- Pristiansyah, Yunus, M., Meri, A. and Afriansyah, S., (2025), Investigation of the effects of fused deposition modeling process parameters on the dimensional accuracy of PLA+ using the Taguchi method, *Jurnal Polimesin*, 23(6).
- Rehman, R.U., Zaman, U.K.U. and Aziz, S., (2022), Process parameter optimization of additively manufactured parts using intelligent manufacturing, *Sustainability*, 14(22), 15475. doi: <https://10.3390/su142215475>
- Saputra, W.R., Suzen, Z.S. and Pristiansyah, (2023), Pengaruh parameter proses terhadap kuat tarik produk hasil 3D printing menggunakan filamen ASA (Acrylonitrile Styrene Acrylate), *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 7(2), pp. 73–78. doi: <https://10.32528/jp.v7i2.9285>
- Suteja, J. and Setiawan, A.A., (2021), Effect of infill pattern, infill density, and infill angle on the printing time and filament length of 3D printing, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(1), pp. 145–152. doi: <https://10.21776/ub.jrm.2021.012.01.16>
- Tho, N.H., Minh, T.C. and Tai, N.P., (2021), The effect of infill pattern, infill density, printing speed and temperature on the additive manufacturing process based on the FDM technology for the hook-shaped components, *Jurnal Polimesin*, 18(1). doi: <https://10.30811/jpl.v18i1.1445>
- Valvez, A. et al., (2022), Optimization of printing parameters to maximize the mechanical performance of FDM printed parts, *Polymers*, 14(13), 2564. doi: <https://10.3390/polym14132564>