



# Pengaruh Variasi *Temperature* dan Media Pendingin Pada *Single Screw Plastic Extruder Machine* Terhadap Dimensi Diameter Filamen *3D Printing* Dengan Material Plastik ABS

Firza Nurdin Maulana<sup>1\*</sup>, Nurlia Pramita Sari<sup>2</sup>, Agus Hardjito<sup>3</sup>, Subagiyo<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup> Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Alamat : Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

Korespondensi penulis: [firzanmaulanaaa@gmail.com](mailto:firzanmaulanaaa@gmail.com)\*

**Abstract.** *3D printing technology is rapidly developing and being used in various fields. One of the main factors affecting print quality is the filament, with ABS being a popular material due to its eco-friendliness, ease of printing, and good mechanical strength. To achieve precision, the filament diameter must be consistent, around 1.75 mm or 2.85 mm according to the design nozzle diameter. The production of ABS filament uses a single screw plastic extruder machine, where the material is melted, extruded, and then cooled. Two main factors that affect the final dimensions are the extrusion temperature and the cooling medium. Improper temperature can alter the viscosity of ABS melt, affecting the extrusion rate and diameter accuracy. Meanwhile, differences in cooling media, such as blower air and water, affect material shrinkage and dimensional stability. This research aims to analyze the influence of extrusion temperature variations and cooling media on the diameter of ABS filaments. Through experiments with varying parameters, the pattern of diameter changes will be analyzed to determine the optimal conditions that minimize dimensional deviations. The research results are expected to contribute to the optimization of ABS filament extrusion parameters to support the 3D printing industry with higher quality materials.*

**Keywords :** *Acrylonitrile Butadiene Styrene; Cooling Media; Filament; Single Screw Plastic Extruder Machine; Temperature*

**Abstrak.** Teknologi 3D printing berkembang pesat dan digunakan dalam berbagai bidang. Salah satu faktor utama yang memengaruhi kualitas cetak adalah filamen, dengan ABS sebagai material populer karena ramah lingkungan, mudah dicetak, dan memiliki kekuatan mekanik baik. Untuk mencapai presisi, diameter filamen harus konsisten, sekitar 1,75 mm atau 2,85 mm sesuai dengan diameter *nozzle* desain. Pembuatan filamen ABS menggunakan *single screw plastic extruder machine*, di mana material dilelehkan, diekstrusi, lalu didinginkan. Dua faktor utama yang mempengaruhi dimensi akhir adalah temperatur ekstrusi dan media pendinginan. Temperatur yang tidak tepat dapat mengubah viskositas lelehan ABS, memengaruhi laju ekstrusi dan ketepatan diameter. Sementara itu, perbedaan media pendinginan, seperti udara blower dan air, mempengaruhi penyusutan material dan stabilitas dimensi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur ekstrusi dan media pendinginan terhadap diameter filamen ABS. Melalui eksperimen dengan parameter bervariasi, akan dianalisis pola perubahan diameter untuk menentukan kondisi optimal yang meminimalkan penyimpangan dimensi. Hasil penelitian diharapkan berkontribusi dalam optimasi parameter ekstrusi filamen ABS guna mendukung industri 3D printing dengan material berkualitas lebih baik.

**Kata kunci :** *Acrylonitrile Butadiene Styrene; Filamen; Media Pendingin; Single Screw Plastic Extruder Machine; Temperature*

## 1. LATAR BELAKANG

Teknologi 3D printing telah mengalami perkembangan pesat dan digunakan secara luas dalam berbagai sektor, seperti industri manufaktur, pendidikan, dan bidang medis. Salah satu faktor krusial yang memengaruhi kualitas hasil cetakan adalah konsistensi dimensi filamen yang digunakan, terutama diameter filamen [1]. Material *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan karena memiliki sifat

mekanik yang kuat, tahan panas, serta mudah diproses [2]. Untuk mendapatkan hasil cetakan yang optimal, filamen ABS harus memiliki diameter yang konsisten, biasanya 1.75 mm atau 2.85 mm, sesuai dengan diameter *nozzle* printer 3D. Pembuatan filamen ABS dilakukan melalui proses ekstrusi menggunakan *Single Screw Plastic Extruder Machine*, di mana material dilelehkan dan diekstrusi melalui *nozzle*, lalu didinginkan menggunakan media tertentu sebelum digulung. Dua parameter utama yang sangat mempengaruhi hasil ekstrusi ini adalah temperatur pemanasan dan media pendinginan. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi material, sedangkan suhu yang terlalu rendah menyebabkan pencairan tidak merata [3]. Di sisi lain, media pendingin seperti air atau udara blower mempengaruhi tingkat penyusutan dan kestabilan dimensi filamen [4].

Penelitian sebelumnya telah menyoroti pentingnya masing-masing parameter, namun studi yang secara spesifik menganalisis interaksi antara temperatur dan media pendinginan terhadap dimensi filamen ABS masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kedua variabel tersebut, baik secara individu maupun interaksi, terhadap diameter filamen ABS yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap optimalisasi parameter ekstrusi dan mendukung pengembangan industri 3D printing.

## **2. KAJIAN TEORI**

### **Penelitian Terdahulu**

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas variabel-variabel yang mempengaruhi kualitas produk ekstrusi, khususnya pada proses pembuatan filamen 3D printing. Penelitian oleh [1] menunjukkan bahwa suhu merupakan parameter proses paling berpengaruh terhadap konsistensi diameter filamen. Suhu pemanasan yang optimal dapat meningkatkan ikatan material dan mengurangi cacat akibat porositas internal. Riset [5] meneliti pengaruh media pendingin terhadap penyusutan produk plastik dalam proses *injection molding*. Mereka menemukan bahwa media pendingin seperti *cooling tower* dan udara memberikan efek signifikan terhadap nilai *shrinkage* produk plastik. Penelitian [6] mengkaji hubungan antara suhu dan sudut *screw* terhadap waktu ekstrusi pada material HDPE. Penelitian ini menegaskan bahwa variasi geometri *screw* dan suhu memengaruhi efisiensi ekstrusi, meskipun dalam konteks waktu proses, bukan diameter hasil. Riset oleh [2] melakukan karakterisasi termal terhadap ABS murni dan daur ulang. Hasilnya menunjukkan bahwa campuran ABS daur ulang hingga 30% masih mempertahankan karakteristik termal yang stabil, yang penting dalam proses pemanasan dan ekstrusi filamen.

Berbeda dari penelitian-penelitian tersebut, studi ini memfokuskan pada interaksi antara temperatur ekstrusi dan media pendinginan secara simultan, serta pengaruh keduanya terhadap dimensi diameter filamen ABS, yang belum banyak dibahas secara mendalam pada literatur sebelumnya.

### **Mesin *Single Screw Plastic Extruder***

Mesin ekstruder tipe *single screw* adalah alat yang digunakan untuk memproses material termoplastik menjadi bentuk tertentu melalui proses pemanasan, pencairan, pencampuran, dan dorongan menggunakan *screw* [5]. Proses ekstrusi dimulai dengan masuknya biji plastik melalui hopper, yang kemudian dilelehkan dalam *barrel* melalui pemanas (*heater element*). Setelah meleleh, material didorong oleh *screw* dan keluar melalui *nozzle*, lalu didinginkan dan digulung sebagai filamen [7]. Efisiensi dan homogenitas material sangat ditentukan oleh kecepatan *screw*, desain profil *screw*, dan suhu *barrel* [8]. Mesin jenis ini juga lebih umum digunakan dalam skala laboratorium karena strukturnya sederhana dan cukup untuk keperluan penelitian.

### **Material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*)**

ABS merupakan kopolimer termoplastik yang terdiri dari tiga monomer utama : akrilonitril, butadiena, dan stirena. Material ini dikenal memiliki kekuatan mekanik yang baik, ketahanan terhadap suhu tinggi, dan kemudahan dalam proses pencetakan [2]. ABS banyak digunakan dalam dunia 3D printing karena ketersediaannya yang luas serta variasi warnanya yang menarik [7]. Karakteristik termal ABS penting untuk diperhatikan, dengan *temperature glass transition* (T<sub>g</sub>) sekitar 105°C dan *temperature melt point* antara 180–250°C [2]. Sifat ini menjadikannya ideal untuk diproses melalui ekstrusi dan cocok sebagai bahan dasar filamen 3D printing.

### **Pengaruh *Temperature* pada Proses Ekstrusi**

*Temperature* merupakan parameter kunci dalam proses ekstrusi karena mempengaruhi viskositas lelehan plastik, laju aliran, serta ikatan antar molekul selama proses pencairan [1]. Jika temperatur terlalu rendah, material tidak akan meleleh sempurna, sementara temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi *thermal*. Secara teoritis, hubungan antara tegangan geser dan viskositas pada material Newtonian seperti ABS dapat dijelaskan oleh hukum viskositas Newton [9] :

$$\tau = \eta \times \left(\frac{du}{dy}\right) \quad (2.1)$$

Dimana :

- $\tau$  = tegangan geser (*shear stress*), Pa (N/m<sup>2</sup>)
- $\eta$  = viskositas dinamis (*dynamic viscosity*), (Pa·s)
- $\left(\frac{du}{dy}\right)$  = laju geser (*shear rate*), (s<sup>-1</sup>)

Semakin tinggi suhu, viskositas akan menurun, yang menyebabkan material mengalir lebih cepat dan mudah keluar dari *nozzle*. Namun, hal ini juga menyebabkan massa lelehan per satuan waktu meningkat, sehingga diameter filamen cenderung fluktuatif membesar [10].

### Pengaruh Media Pendinginan terhadap Dimensi Filamen

Setelah proses ekstrusi, filamen harus segera didinginkan untuk menghindari deformasi termal. Pendinginan dilakukan menggunakan dua jenis media air dan udara blower. Air sebagai media pendingin memiliki kapasitas panas jenis dan konduktivitas termal lebih tinggi, sehingga mampu menyerap panas lebih cepat dibanding udara [11]. Laju perpindahan panas dari filamen ke media pendingin dapat dijelaskan menggunakan Hukum *Fourier* :

$$\vec{q} = -k \nabla T \quad (2.2)$$

Dimana :

- $\vec{q}$  = laju perpindahan panas per satuan luas (W/m<sup>2</sup>).
- $k$  = konduktivitas termal material (W/m·K).
- $\nabla T$  = gradien suhu (K/m).
- Tanda minus (-) menandakan panas mengalir dari suhu tinggi ke rendah.

### Koefisien Penyusutan (*Shrinkage*)

Setelah pendinginan, filamen akan mengalami penyusutan akibat perubahan suhu drastis dari fase cair ke padat. Koefisien penyusutan dapat dihitung menggunakan persamaan [12] :

$$S = \left(\frac{D_0 - D}{D_0}\right) \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana :

- $S$  = *shrinkage* (%) atau koefisien penyusutan.
- $D_0$  = dimensi awal diameter saat keluar dari *nozzle* = 1.75 mm.
- $D$  = dimensi akhir setelah pendinginan (mm).

## Metode Analisis Statistik

Untuk menganalisis pengaruh temperatur dan media pendinginan terhadap dimensi filamen, digunakan *Two-Way* ANOVA, yang dapat menunjukkan apakah terdapat pengaruh signifikan dari masing-masing variabel maupun interaksinya [13]. Validitas data diuji terlebih dahulu dengan uji normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov, di mana distribusi data dianggap normal jika nilai  $p\text{-value} > 0.05$  [14]. Sementara itu, interaksi antar variabel divisualisasikan dalam bentuk Interaction Plot, yang dapat menunjukkan potensi interaksi dari sudut kemiringan garis [15]. Terakhir, untuk menentukan kombinasi parameter optimal, digunakan metode *Response Optimization* dari perangkat lunak Minitab dengan kriteria *desirability* (D). Kombinasi parameter dengan nilai *desirability* mendekati 1 dianggap paling optimal [16].

## 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, selama kurun waktu Februari hingga April 2025. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas dan perangkat uji yang memadai untuk mendukung proses ekstrusi termoplastik secara terkendali. Dalam pendekatan eksperimental ini, data diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap perubahan dimensi filamen akibat perlakuan variasi temperatur dan media pendinginan. Metode ini memungkinkan peneliti untuk menguji pengaruh variabel secara sistematis dan menghasilkan data kuantitatif yang dapat dianalisis secara statistik. Rangkaian alat yang digunakan meliputi *Single Screw Plastic Extruder* yang dilengkapi sistem pemanas bertahap menggunakan elemen pemanas listrik (*heater band*) dan pengendalian *temperature* berbasis *thermocouple*. Mesin ini digerakkan oleh motor listrik 3-fasa dengan sistem transmisi *belt-pulley* serta *gearbox* untuk menjaga kestabilan kecepatan putaran *screw* pada 50 rpm. Untuk menjaga dimensi filamen sesuai spesifikasi standar, digunakan *nozzle* dengan diameter 1,75 mm. Pendinginan filamen dilakukan dengan dua media yang berbeda, yaitu air dan udara *blower*, yang masing-masing memiliki laju konduksi termal berbeda untuk mengamati pengaruhnya terhadap proses solidifikasi material. Media air dialirkan melalui pompa sirkulasi, sementara udara disemprotkan menggunakan *blower* industri. Perangkat ukur yang digunakan meliputi *micrometer screw*, *tachometer*, *termometer digital*, *multimeter*, serta *anemometer* untuk menjamin akurasi hasil pengukuran suhu, kecepatan *screw*, dan dimensi filamen. Material uji berupa bijih plastik ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) murni, dipilih berdasarkan kestabilan termal dan karakteristik mekaniknya yang sesuai untuk aplikasi 3D printing. ABS memiliki *glass transition temperature* sekitar 105°C dan rentang suhu pelelehan

antara 180–250°C [2], menjadikannya cocok untuk diekstrusi dalam mesin ini. Penelitian ini menggunakan dua variabel bebas, yaitu variasi *temperature* ekstrusi (180°C, 200°C, dan 220°C) serta jenis media pendinginan (air dan udara *blower*). Variabel terikat adalah diameter akhir filamen yang dihasilkan sebesar 1,75 mm, diukur setelah melalui tahapan pendinginan. Adapun variabel terkontrol mencakup kecepatan putaran *screw* (50 rpm), jenis material ABS murni, diameter *nozzle* sebesar 1,75 mm, serta jarak antara *nozzle* dan area pendinginan yang dijaga konstan pada  $\pm 10$  cm. Pengelolaan variabel tersebut dimaksudkan untuk menjaga validitas internal eksperimen, dengan mengurangi pengaruh faktor luar terhadap hasil. Dengan desain eksperimental faktorial 3×2 dan pendekatan statistik inferensial (ANOVA dua arah), penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi terhadap pemahaman hubungan parameter proses ekstrusi dengan kualitas filamen plastik ABS, khususnya dari aspek dimensi dan stabilitas geometris.



**Gambar 1. Proses Ekstrusi Filamen**

### **Teknik Pengolahan dan Analisis Data**

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Minitab 21 dengan tahapan sebagai berikut :

1. Uji normalitas menggunakan metode Kolmogorov–Smirnov untuk memastikan distribusi data memenuhi asumsi uji parametrik [14].
2. Dilanjutkan dengan Two-Way ANOVA untuk menguji pengaruh temperatur, media pendinginan, dan interaksi keduanya terhadap diameter filamen. Hasil dianalisis berdasarkan nilai signifikansi ( $p\text{-value} < 0,05$ ).
3. Grafik *Interaction Plot* digunakan untuk melihat efek interaksi visual antara dua variabel bebas [15].

4. Selanjutnya dilakukan proses *Response Optimization* dengan kriteria *desirability* untuk mengetahui kombinasi parameter paling optimal [16].

Semua pengujian dilakukan dengan tingkat keakuratan 95%. Data hasil pengukuran disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan analisis statistik dalam bagian hasil dan pembahasan.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Hasil Pengukuran Diameter Filamen

**Tabel 1. Data Hasil Eksperimen**

Temperature (°C)	Media Pendingin	Rata-rata Dimensi Diameter Filamen Pada Replikasi ke- (mm)			Rata-rata Seluruh Replikasi (mm)
		I	II	III	
180	Air	2.02	2.01	2.03	2.02
	Blower	2.1	2.11	2.1	2.10
200	Air	2.2	2.21	2.2	2.20
	Blower	2.16	2.17	2.17	2.17
220	Air	2.24	2.25	2.23	2.24
	Blower	2.31	2.3	2.32	2.31

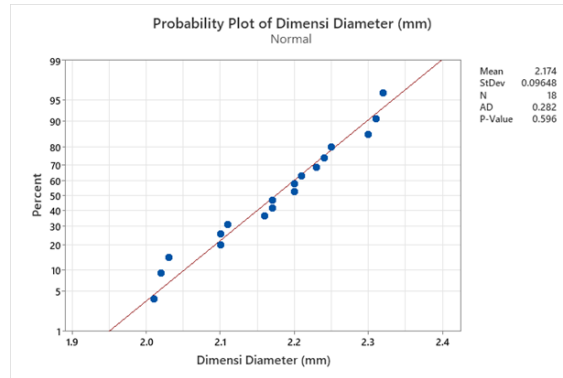
Dari Tabel 1. diatas Pengukuran dilakukan terhadap diameter filamen ABS hasil ekstrusi pada masing-masing kombinasi *temperature* dan media pendinginan. Setiap sampel diukur pada 10 titik sepanjang 30 cm dan dicatat nilai rata-ratanya.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa diameter rata-rata filamen meningkat seiring naiknya temperatur, serta lebih stabil saat menggunakan media pendinginan air. Misalnya, pada temperatur 180°C dengan pendingin air, diameter mendekati target 1.75 mm, sementara pada 220°C dengan udara blower, diameter cenderung membesar dan fluktuatif.

##### Hasil Uji Normalitas

Pada Gambar 2. merupakan uji normalitas data dengan metode Kolmogorov–Smirnov dengan nilai p-value = 0,596 menunjukkan bahwa seluruh data berdistribusi normal dengan nilai p-value > 0.05, sehingga memenuhi syarat untuk dilakukan uji parametrik [14].

##### Hasil Uji ANOVA Dua Arah



Gambar 2. Normal Probability Plot

Tabel 2. Analysis of Variance

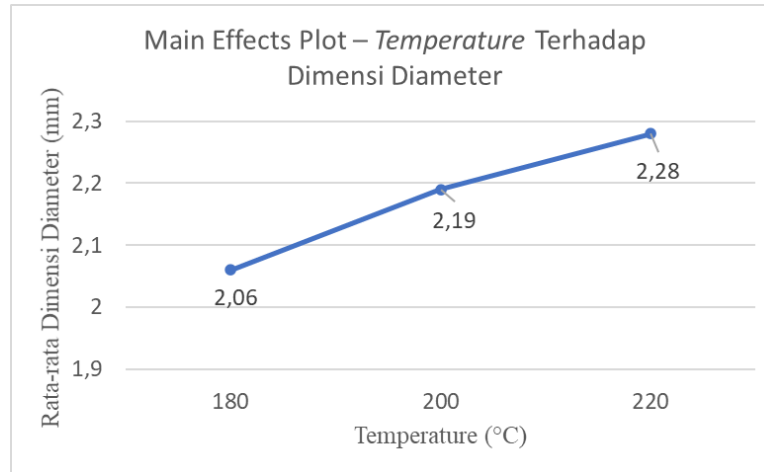
### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperatur (°C)	2	0.137644	0.068822	1032.33	0.000
Media Pendinginan	1	0.006806	0.006806	102.08	0.000
Temperatur (°C)*Media Pendinginan	2	0.012978	0.006489	97.33	0.000
Error	12	0.000800	0.000067		
Total	17	0.158228			

Pada Tabel 2. hasil Two-Way ANOVA menunjukkan bahwa : Temperatur berpengaruh signifikan terhadap diameter filamen ( $p = 0.000 < 0.05$ ), Media pendingin juga berpengaruh signifikan ( $p = 0.000 < 0.05$ ) dan Interaksi antara temperature dan media pendinginan memberikan pengaruh signifikan ( $p = 0.000 < 0.05$ ). Hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya masing-masing variabel secara individu, tetapi kombinasi keduanya juga mempengaruhi kestabilan dimensi filamen ABS. Temuan ini sejalan dengan [1], yang menyatakan bahwa temperatur tinggi meningkatkan laju alir material dan menyebabkan diameter membesar. Fenomena ini disebabkan oleh swelling, merupakan kondisi mengembangnya diameter filamen setelah keluar dari nozzle mesin ekstrusi akibat sifat viskoelastis material polimer [9].

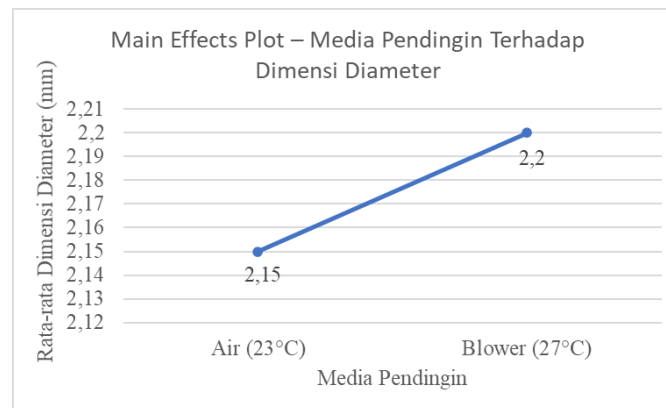
### Grafik Main Effect Plot

Grafik *Main Effect Plot* pada Gambar 4.2 menunjukkan tren peningkatan diameter filamen seiring naiknya *temperature*. Pada sisi lain, filamen yang didinginkan dengan air memiliki diameter lebih kecil dan lebih konsisten dibanding yang menggunakan udara blower. dikarenakan



**Gambar 3. Temperature Terhadap Dimensi Diameter**

Garis media pendingin pada Gambar 4.3 grafik menunjukkan gradien tajam, pada media pendingin menghasilkan diameter yang lebih kecil dari pada udara hal ini menunjukkan perbedaan signifikan, mendukung hasil uji ANOVA.



**Gambar 4. Media Pendingin Terhadap Dimensi Diameter**

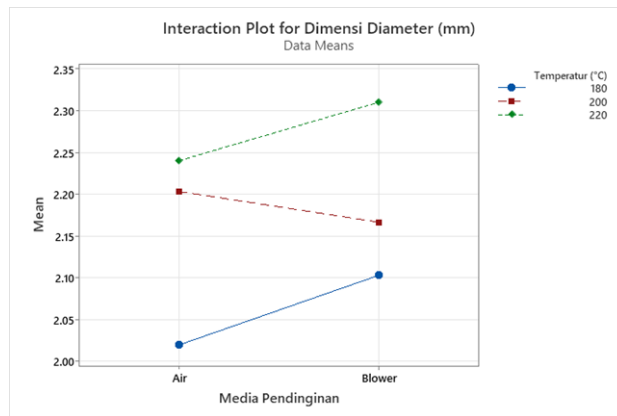
Dari Gambar 4. diatas adapun grand teory yang mendukung dari pernyataan grafik tersebut di dalam hukum fourier :

- $\vec{q} = -k \nabla T$  (4.1)
- $q^{\rightarrow}$  = laju perpindahan panas per satuan luas ( $W/m^2$ ).
- $k$  = konduktivitas termal material ( $W/m \cdot K$ ).
- $\nabla T$  = gradien suhu ( $K/m$ ).
- Tanda minus (-) menandakan panas mengalir dari suhu tinggi ke rendah.

Berdasarkan hukum Fourier, semakin besar perbedaan suhu antara panas filamen setelah proses ekstrusi dan media pendingin, semakin besar laju perpindahan panas. Air dengan suhu  $23^{\circ}C$  menciptakan gradien suhu lebih besar dibanding blower dengan suhu  $27^{\circ}C$ , sehingga filamen lebih cepat mencapai suhu solidifikasi dan mengurangi resiko *swelling* terhadap dimensi diameter filamen, sehingga deformasi termal dapat diminimalkan dan dimensi filamen lebih stabil [4].

### Grafik Interaction Plot

Grafik *Interaction Plot* pada Gambar 5. menunjukkan bahwa garis-garis antar media pendinginan tidak sejajar (*non parallel*) dan berpotongan, yang mengindikasikan adanya interaksi nyata antara temperatur dan media pendinginan terhadap diameter filamen [15]. Hal ini berarti bahwa efek satu variabel bergantung pada level variabel lainnya, misalnya pada suhu 180°C efek media pendingin berbeda dibanding saat suhu 220°C.



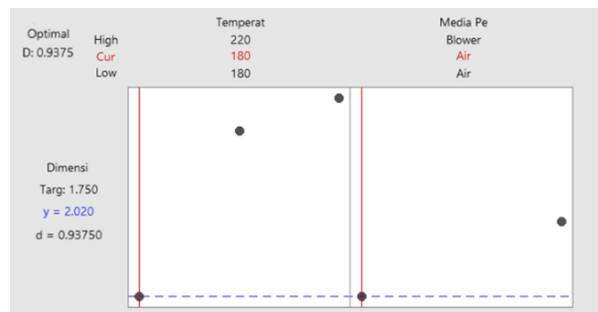
Gambar 5. Interaction Effect Plot

### Optimasi Parameter Proses

Melalui fitur *Response Optimization* pada Minitab, diperoleh kombinasi parameter paling optimal untuk menghasilkan filamen mendekati target diameter 1.75 mm, yaitu:

- Temperature proses 180°C
- Media pendingin air
- Dengan nilai *desirability* = 0.9375

Kondisi ini sesuai dengan rumus *shrinkage* [12], di mana pendinginan cepat (media air) menghasilkan penyusutan lebih kecil dan diameter akhir lebih dekat target.



Gambar 6. Response Optimization

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh variasi temperatur dan media pendinginan pada proses ekstrusi filamen ABS, dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur memiliki pengaruh signifikan terhadap diameter filamen, di mana temperatur yang lebih tinggi menyebabkan diameter yang lebih besar akibat penurunan viskositas aliran. Variasi media pendingin juga memengaruhi diameter filamen, dengan pendingin air menghasilkan diameter yang lebih mendekati target karena kemampuannya menyerap panas lebih cepat, sejalan dengan Hukum Fourier. Lebih lanjut, terdapat pengaruh interaksi yang signifikan antara temperatur dan media pendingin terhadap diameter filamen, yang dibuktikan oleh analisis statistik dengan P-value 0,000 dan grafik interaction effect plot yang non-paralel. Kombinasi paling optimal untuk menghasilkan filamen berdiameter 1,75 mm adalah pada temperatur 180°C dengan menggunakan media pendingin air.

### Saran

Penelitian ini memberikan gambaran awal mengenai pengaruh temperatur dan media pendinginan dalam ekstrusi filamen ABS. Saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Menggunakan variasi kecepatan *screw* atau *diameter nozzle* berbeda untuk mengkaji dampaknya terhadap kualitas filamen.
2. Menerapkan metode pendinginan kombinasi air dan udara, atau pendinginan bertahap untuk mengontrol penyusutan secara lebih efektif.
3. Meneliti karakteristik mekanik filamen seperti *tensile strength* atau fleksibilitas hasil ekstrusi sebagai parameter tambahan kualitas.

## DAFTAR REFERENSI

Ahadi, G. D., & Zain, N. N. L. E. (2023, June). Pemeriksaan Uji Kenormalan dengan Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling dan Shapiro-Wilk. *EIGEN MATHEMATICS JOURNAL*, 11–19. <https://doi.org/10.29303/emj.v6i1.131>

Amdoun, R., El-Kafrawy, S. M., Attia, S. M., El-Saadony, A. A., Al-Taisan, W. A., & Al-Tohamy, M. R. (2018, February). The Desirability Optimization Methodology; a Tool to Predict Two Antagonist Responses in Biotechnological Systems: Case of Biomass Growth and Hyoscyamine Content in Elicited *Datura stramonium* Hairy Roots. *Iran J Biotechnol*, 16(1), 11–19. <https://doi.org/10.21859/ijb.1339>

- Budiyantoro, C., Sosiati, H., Nugroho, A., & Anggariawan, A. (2019). Thermal Characterization of Mixed Virgin-Recycle Acrylonitrile Butadiene Styrene. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 3(2). <https://doi.org/10.18196/jmpm.3241>
- Darni, P., & Frananta, S. D. (2023, December). Determination of Cooling Water Requirement for Plastic Film Extrusion Process at PT. XYZ North Sumatra. *Jurnal Sistem dan Teknologi*, 6(1). <https://doi.org/10.31764/justek.v6i4.20319>
- Djafar, A., & Fatoni, M. A. (2021, December). PERANCANGAN MESIN SINGLE SCREW EXTRUDER UNTUK DAUR ULANG PLASTIK LDPE MENJADI FILAMENT FEED 3D PRINTING. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 26(3), 205–217. <https://doi.org/10.35760/tr.2021.v26i3.4416>
- Frost, J. (2019). *Regression Analysis: An Intuitive Guide for Using and Interpreting Linear Models*.
- Govana, A. (2023). *Studi Rancang Bangun Sistem Pendinginan Mesin Ekstrusi Kapasitas 5 Kg Per Jam Dan Pengaruhnya Terhadap Konsistensi Ketebalan Produk Filamen [Undergraduate thesis]*. Universitas Sriwijaya.
- Hamidi Ahmad Faresy, Putri Fenoria, & Arnoldi Dwi. (2022, June). *Jurnal Hamidi. MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN*, 3. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/machinery/article/view/4687/2034>
- Nugroho Fendra Eka, Putri Fenoria, & Gunawan Indra. (2023, February). *Jurnal Fendra Eka. MACHINERY JURNAL TEKNOLOGI TERAPAN*, 4. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/machinery/article/view/4898/2456>
- Paul, A., Martins, A., & Eddy, A. O. (2019, July). The Design And Construction Of A Single Screw Extruder. <https://www.jmest.org/wp-content/uploads/JMESTN42352996.pdf>
- Pranata, Y., & Arriyani, F. (2022). PROSIDING SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI TERAPAN PENGUJIAN KUAT TARIK PRODUK CETAK 3D PRINTING MATERIAL ABS. <https://snitt.polman-babel.ac.id/index.php/snitt/article/view/158/75>
- Rahmawati, A. S., & Erina, R. (2020). RANCANGAN ACAK LENGKAP (RAL) DENGAN UJI ANOVA DUA JALUR.
- Rauwendaal, C. (2014). *Polymer extrusion*. Hanser Publishers.
- Rida, R., Siregar, M. F. Z., Putra, M. D. A., Harahap, F. K., & Barus, M. N. A. (2024, July). Pengaruh Suhu terhadap Laju Aliran Plastik pada Mesin Extruder. *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, 14(01), 51–59. <https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4384>
- Rijekki, N. F., Sari, N. P., Faizin, A., Duratun, S., & Rosady, N. (2024, August). The effect of heating temperature on 3D print filament diameter consistency produced by HDPE and LDPE plastic extrusion machine. *Journal of Engineering and Applied Technology Online*, 5(2), 104–117. <https://journal.uny.ac.id/index.php/jeatech>