



## Pengaruh Diameter *Nozzle* dan Temperatur Pemanasan Mesin Ekstruder Sampah Plastik Hdpe terhadap Laju Produksi dan Keseragaman Diameter Filamen

Saipul Bahri<sup>1\*</sup>, Nurlia Pramita Sari<sup>2</sup>, Moh Hartono<sup>3</sup>, Agus Harijono<sup>4</sup>

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

Jl. Soekarno Hatta No.9. Kec. Lowokwaru. Kota Malang. Jawa Timur. 65141

Korespondensi penulis: [saipulbahri0602@gmail.com](mailto:saipulbahri0602@gmail.com)

**Abstract.** Plastic waste, particularly High-Density Polyethylene (HDPE), poses a serious threat to the environment due to its extremely long decomposition time. One effective recycling method is the extrusion process, in which process parameters such as nozzle diameter and heating temperature significantly affect the production rate and the quality of the resulting filament. This study aims to analyze the effect of nozzle diameter and heating temperature on the production rate and diameter uniformity of recycled HDPE plastic filament. The method used is an experimental approach with a quantitative design, utilizing a single-screw type extruder machine. The tested parameter variations include two nozzle diameters (1.75 mm and 2.85 mm) and three temperature levels (200°C, 240°C, and 280°C). The results of the analysis, using factorial ANOVA and control charts, show that both parameters significantly influence production performance. The highest production rate, approximately  $\pm 1.0$  kg/hour, was achieved with the 2.85 mm nozzle and 280°C temperature combination, while the combination of the 1.75 mm nozzle and 200°C temperature produced the most consistent filament diameter and the best quality, with a resulting diameter of 2.84 mm, which is very close to the target of 2.85 mm. Higher temperatures increase flow rate due to decreased viscosity, but also carry the risk of thermal degradation. This study provides practical guidelines for optimizing the HDPE recycling process through extrusion.

**Keywords:** HDPE, Extrusion, Nozzle Diameter, Heating Temperature, Production Rate.

**Abstrak.** Sampah plastik, khususnya jenis High-Density Polyethylene (HDPE), menjadi ancaman serius bagi lingkungan karena waktu dekomposisinya yang sangat lama. Salah satu metode daur ulang yang efektif adalah proses ekstrusi, di mana parameter proses seperti diameter *nozzle* dan suhu pemanasan sangat mempengaruhi laju produksi dan kualitas filamen yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh diameter *nozzle* dan suhu pemanasan terhadap laju produksi serta keseragaman diameter filamen plastik HDPE daur ulang. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan pendekatan kuantitatif menggunakan mesin ekstruder tipe sekrup tunggal. Variasi parameter yang diuji meliputi dua diameter *nozzle* (1.75 mm dan 2.85 mm) serta tiga tingkat suhu (200°C, 240°C, dan 280°C). Hasil analisis menggunakan ANOVA faktorial dan *control chart* menunjukkan bahwa kedua parameter berpengaruh signifikan terhadap performa produksi. Laju produksi tertinggi sebesar  $\pm 1.0$  kg/jam dicapai pada kombinasi *nozzle* 2.85 mm dan suhu 280°C, sementara kombinasi *nozzle* 1.75 mm dan suhu 200°C menghasilkan filamen dengan diameter paling konsisten dan kualitas terbaik, karena diameter yang dihasilkan 2.84 mm yang menunjukkan hampir mendekati target yaitu 2.85 mm. Suhu tinggi meningkatkan laju aliran akibat penurunan viskositas, tetapi berisiko menyebabkan degradasi termal. Penelitian ini memberikan panduan praktis untuk optimalisasi proses daur ulang HDPE melalui ekstrusi.

**Kata kunci:** HDPE, Ekstrusi, Diameter *Nozzle*, Suhu Pemanasan, Laju Produksi.

### 1. LATAR BELAKANG

Permasalahan sampah plastik, khususnya jenis High-Density Polyethylene (HDPE), menjadi isu lingkungan serius karena sifatnya yang sulit terurai dan banyak digunakan dalam produk kemasan (Masyruroh & Rahmawati, 2021). Plastik HDPE merupakan jenis plastik yang susah diuraikan karena laju dekomposisinya yang lambat, yang memakan waktu 500-1000 tahun untuk terurai secara alami (Farin, 2021). Oleh karena itu, salah satu metode pengolahan ulang yang efektif adalah proses ekstrusi, yaitu melelehkan plastik pada suhu tinggi dan

mendorongnya melalui *nozzle* untuk membentuk produk baru, seperti filamen (Prakoso et al., 2022; Siddique et al., 2022). Untuk melakukan proses ekstrusi membutuhkan mesin ekstruder dalam prosesnya.

Mesin ekstruder merupakan komponen utama dalam proses ini, dan efisiensi produksinya dipengaruhi oleh pengaturan parameter operasional, terutama diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan (Darianto et al., 2021). Pemilihan diameter *nozzle* yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan proses ekstrusi dan kualitas produk (Czyżewski et al., 2022; Sukindar et al., 2016). Sedangkan suhu pemanasan mempengaruhi viskositas material dan kelancarannya saat melewati barrel dan *nozzle* (Martana et al., 2021). Suhu merupakan faktor kritis dalam proses ekstrusi karena mempengaruhi sifat fisik dan mekanis bahan plastik (Calderon & Izquierdo, 2020; Hanky et al., 2022). Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan bahan tidak meleleh sempurna, mengakibatkan aliran yang terhambat dan produk dengan kualitas buruk (Yuzan, 2021). Namun, suhu pemanasan yang terlalu tinggi berpotensi menyebabkan penurunan kualitas pada material, yang pada akhirnya dapat menurunkan kualitas produk filamen serta memperpendek umur operasional mesin ekstruder (Solgi et al., 2023).

Kedua parameter yang digunakan, diameter *nozzle* dan suhu pemanasan memiliki peran krusial dalam menentukan dua hal utama dalam proses ekstrusi filamen, yaitu laju produksi (output per waktu) dan keseragaman diameter filamen dalam kualitas produk. Pengaturan yang tidak tepat akan berdampak pada efisiensi produksi, keausan mesin, dan kualitas hasil akhir (Murtdlo et al., 2021). Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kedua variabel tersebut terhadap hasil ekstrusi plastik HDPE, sehingga dapat ditentukan parameter optimal yang mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga kualitas filamen yang dihasilkan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi daur ulang limbah plastik secara lebih efisien dan berkelanjutan, khususnya dalam mendukung upaya pengurangan dampak lingkungan akibat akumulasi sampah plastik jenis HDPE.

## **2. KAJIAN TEORITIS**

Penelitian ini bertujuan untuk menemukan parameter terbaik yang dapat meningkatkan efisiensi dan kualitas hasil ekstrusi karena pengaturan parameter diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan yang keduanya menentukan laju produksi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu proses pengolahan sampah plastik, mendukung keberlanjutan lingkungan, dan mendorong pengembangan teknologi daur ulang yang lebih efisien. Oleh

karena itu, penelitian ini mengkaji pengaruh diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan terhadap laju produksi serta keseragaman diameter filamen HDPE pada proses ekstrusi. Kajian ini didasarkan pada beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini untuk memberikan data nyata sebagai pedoman praktis bagi industri.

Penelitian dari (Rijekki et al., 2024) mengenai variasi temperatur pemanasan terhadap konsistensi diameter hasil ekstrusi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa suhu ideal untuk menghasilkan filamen terbaik adalah 220°C untuk HDPE dan 190°C untuk LDPE, dengan diameter lubang *nozzle* 1.75 mm dan kecepatan putar screw 75 rpm. Data menunjukkan bahwa suhu pemanasan mempengaruhi reologi material, sehingga sangat penting untuk memastikan parameter ekstrusi yang ideal untuk meningkatkan kualitas dan konsistensi material. Selain itu, stabilitas dalam proses ekstrusi dapat ditingkatkan dengan menggunakan sistem pendingin yang sesuai. Penelitian dari (Rida et al., 2024) tentang variasi temperatur terhadap laju aliran. Temuan penelitian mengindikasikan bahwa peningkatan suhu yang lebih tinggi secara signifikan mempercepat laju aliran plastik. Pada suhu 150°C, laju ekstrusi hanya mencapai 1 gram per menit, sementara pada suhu 300°C, laju tersebut meningkat menjadi 26 gram per menit. Penurunan viskositas material plastik pada suhu tinggi mempermudah aliran, namun suhu yang sangat tinggi dapat menyebabkan degradasi termal yang merusak kualitas produk. Penelitian dari (Sukindar et al., 2016) mengenai pengaruh diameter *nozzle* pada proses Fused Deposition Modeling (FDM), sebuah teknologi pencetakan 3D. Penelitian dilakukan dengan menggunakan material polylactic acid (PLA) dan memvariasikan diameter *nozzle* dari 0.2 mm hingga 0.4 mm. Dengan menggunakan Finite Element Analysis (FEA) untuk menganalisis, mendapatkan hasil yang menunjukkan bahwa diameter *nozzle* yang lebih kecil (0.2 mm) menghasilkan tekanan yang lebih tinggi, yang memengaruhi konsistensi lebar lintasan material dan mengurangi kualitas produk akhir. Sebaliknya, *nozzle* berdiameter lebih besar (0.3 dan 0.4 mm) menghasilkan tekanan lebih rendah dan waktu ekstrusi lebih pendek tetapi meningkatkan kesalahan geometri. Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian, diameter *nozzle* 0.3 mm dianggap optimal karena menyeimbangkan akurasi, konsistensi, dan waktu ekstrusi.

### **3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan penelitian Eksperimen dengan pendekatan kuantitatif yaitu analisis pengaruh diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan mesin ekstruder sampah plastik HDPE terhadap laju produksi. Proses penelitian mulai dari identifikasi masalah, studi literatur, perumusan tujuan, pengumpulan data, hingga analisis dan kesimpulan.

Metodologi penelitian dilakukan dengan pendekatan eksperimental menggunakan mesin ekstruder tipe single screw dengan kecepatan putar screw 50 rpm. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah diameter *nozzle* (1.75 mm dan 2.85 mm) dan temperatur pemanasan (200°C, 240 °C, dan 280°C). Variabel terikat yang diamati adalah laju produksi, yang diukur berdasarkan massa filamen yang dihasilkan per satuan waktu dan mengukur keseragaman diameter filamen. Pengambilan data laju produksi dilakukan dengan cara menimbang massa filamen yang dihasilkan dalam waktu tertentu, kemudian dikonversi ke dalam satuan Kg/jam. Sedangkan pengambilan data keseragaman diameter filamen dilakukan dengan mengukur diameter filamen di 10 titik dengan jarak 30 cm menggunakan mikrometer, lalu dihitung rata-ratanya. 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. Perangkat ukur yang digunakan meliputi micrometer screw, tachometer, termometer digital, multimeter, serta anemometer untuk menjamin akurasi hasil pengukuran suhu, kecepatan screw, dan dimensi filamen. Meterial uji menggunakan sampah plastik berbahan HDPE yang sudah dicacah menjadi kecil-kecil.

Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan metode ANOVA faktorial dengan bantuan software Minitab versi 21. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen dimasukkan ke dalam tabel dan dibuat grafik untuk dianalisis secara statistik. Tujuannya adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan terhadap laju produksi dan keseragaman diameter filamen dari sampah plastik HDPE.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

##### **Hasil Penelitian**

Dalam proses pengambilan data menggunakan mesin ekstruder dengan mengatur kecepatan sekrup sebesar 50 rpm, masukkan bahan baku sebanyak 50gram dan menggunakan blower sebagai sistem pendingin. Pengumpulan data yang dilakukan untuk mencari laju produksi adalah dengan melakukan 5 kali pengukuran pada setiap 1 variasi *nozzle* dan temperatur sebagai penambihan sampel. Sehingga ada sebanyak 30 sampel dan 30 data laju produksi. Dari data sampel yang didapat, selanjutnya adalah melakukan pengukuran keseragaman diameter filamen dengan mengukur setiap sampel pada keseragaman diameter di setiap 30 cm dalam 10 kali pengukuran. Sehingga ada sebanyak 300 data dari pengukuran keseragaman diameter filamen.

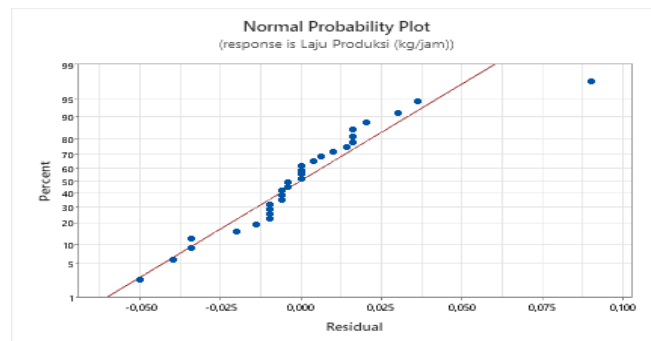
### Laju Produksi Ekstrusi Filamen

Data hasil pengukuran laju produksi pada masing-masing kombinasi perlakuan ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Data uji Laju Produksi**

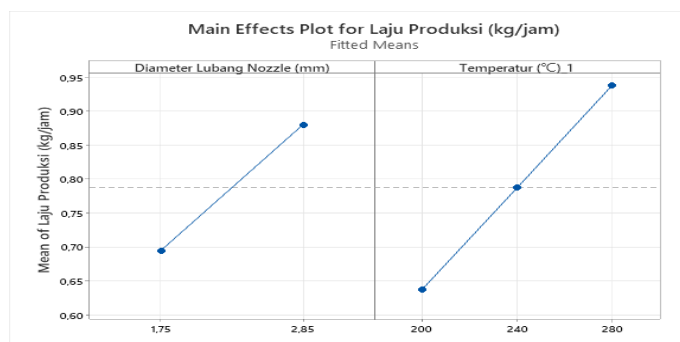
Diameter Nozzle (mm)	Temperatur (°C)	Laju Produksi (kg/jam)	Rata-rata (kg/jam)
1.75	200	0.56	0.52
		0.54	
		0.49	
		0.54	
	240	0.49	0.67
		0.67	
		0.68	
		0.67	
	280	0.67	0.89
		0.66	
		0.85	
		0.92	
2.85	200	0.91	0.75
		0.89	
		0.88	
		0.84	
	240	0.70	0.90
		0.74	
		0.73	
		0.74	
	280	0.89	0.98
		0.90	
		0.92	
		0.91	
		0.90	
		1.00	
		0.99	
		0.98	
		0.98	
		0.98	

Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut dari data yang telah dikumpulkan yang disajikan pada Tabel 1. dilakukan uji normalitas untuk memastikan distribusi data memenuhi asumsi parametrik. Gambar 1 menunjukkan grafik normalitas yang mengindikasikan bahwa data terdistribusi normal.



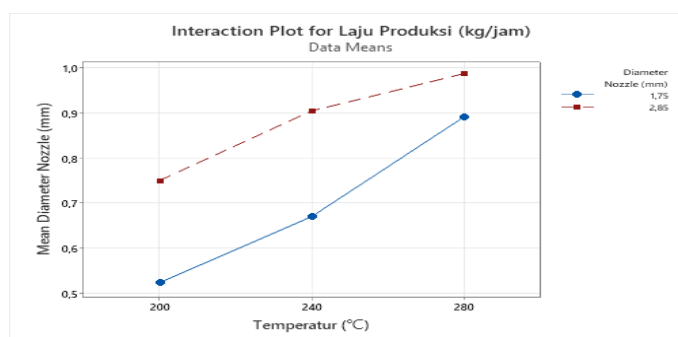
**Gambar 1. Uji Normalitas Data Laju Produksi**

Pada Gambar 2 menunjukkan Normal Probability Plot untuk residual pada data laju produksi (kg/jam). Plot probabilitas normal adalah teknik grafis untuk menilai apakah suatu kumpulan data terdistribusi secara normal atau tidak (Fearn et al., 2000). Dari grafik terlihat bahwa sebagian besar titik residual tersebar di sekitar garis lurus, yang menunjukkan bahwa residual berdistribusi normal. Hal ini menandakan bahwa model yang digunakan dalam pengolahan data memenuhi asumsi normalitas, sehingga hasil analisis dapat dianggap valid untuk interpretasi lebih lanjut.



**Gambar 2. Grafik Main Effect Laju Produksi**

Sebagaimana terlihat dari grafik Main Effects Plot yang disajikan pada Gambar 2, secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan secara simultan meningkatkan laju produksi filamen HDPE secara signifikan. Perbedaan diameter lubang *nozzle* dari 1.75 mm menjadi 2.85 mm menyebabkan peningkatan rata-rata laju produksi, dari sekitar 0,70 kg/jam menjadi sekitar 0,87 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran diameter *nozzle*, semakin besar pula volume material yang dapat keluar, sehingga laju produksi meningkat. Namun berdasarkan grafik tersebut, temperatur pemanasan terbukti memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan diameter *nozzle*, yang menunjukkan kemiringan garis lebih tajam pada variabel temperatur. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan temperatur mempercepat proses pencairan material dan memperlancar aliran melalui *nozzle*, sehingga meningkatkan efisiensi produksi. Hasil ini sejalan dengan temuan (Sabitah et al., 2024) yang menunjukkan bahwa temperatur tinggi berkontribusi terhadap peningkatan laju aliran material dalam proses ekstrusi. Implikasi dari temuan ini penting bagi industri daur ulang plastik dan manufaktur berbasis ekstrusi, terutama dalam upaya peningkatan efisiensi produksi dan pengendalian kualitas.



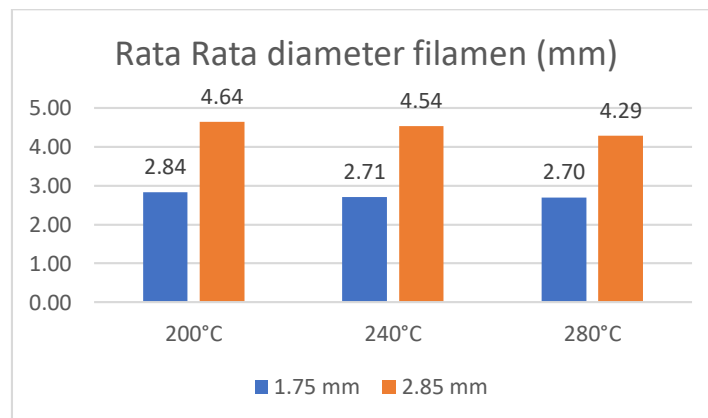
**Gambar 3. Grafik Interaction Plot Laju Produksi**

Sebagaimana terlihat dari grafik interaction plot yang disajikan pada Gambar 3, di atas menampilkan grafik interaksi faktor antara temperatur pemanasan dan diameter lubang *nozzle* terhadap laju produksi (kg/jam). Berdasarkan Gambar tersebut, dapat diketahui bahwa kedua garis mewakili diameter *nozzle* 1.75 mm dan 2.85 mm. diketahui tidak sejajar dan

menunjukkan arah kenaikan yang berbeda. Hal tersebut mengindikasikan adanya interaksi antara kedua faktor. Pada diameter *nozzle* 1.75 mm. peningkatan temperatur dari 200°C ke 280°C menyebabkan peningkatan laju produksi yang signifikan. dari sekitar 0.52 kg/jam menjadi 0.89 kg/jam. Sementara itu. pada diameter *nozzle* 2.85 mm. peningkatan temperatur juga menaikkan laju produksi. namun peningkatannya tidak sebesar pada diameter yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh temperatur terhadap laju produksi lebih dominan ketika diameter *nozzle* lebih kecil. Pola garis yang tidak sejajar memperkuat dugaan bahwa kombinasi antara temperatur dan diameter *nozzle* memengaruhi hasil secara simultan. Oleh karena itu. dalam proses optimasi produksi. penting untuk mempertimbangkan interaksi antara kedua variabel ini agar diperoleh hasil yang maksimal.

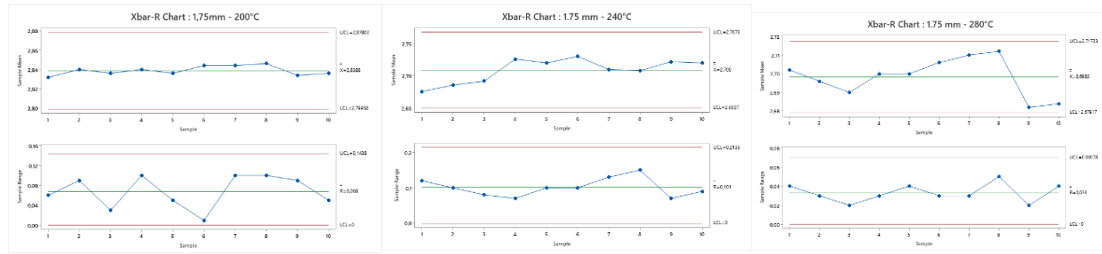
### Keseragaman Diameter Filamen

Keseragaman diameter filamen dianalisis berdasarkan hasil produksi dari masing-masing variasi diameter *nozzle*. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik sepanjang filamen yang dihasilkan, kemudian dianalisis menggunakan Control Chart tipe X-bar dan R untuk menilai kestabilan proses dan variasi dimensi. Berdasarkan data yang didapatkan dari hasil pengujian, diketahui rata-rata diameter filamen yang dihasilkan disajikan pada Gambar 4 dibawah ini.



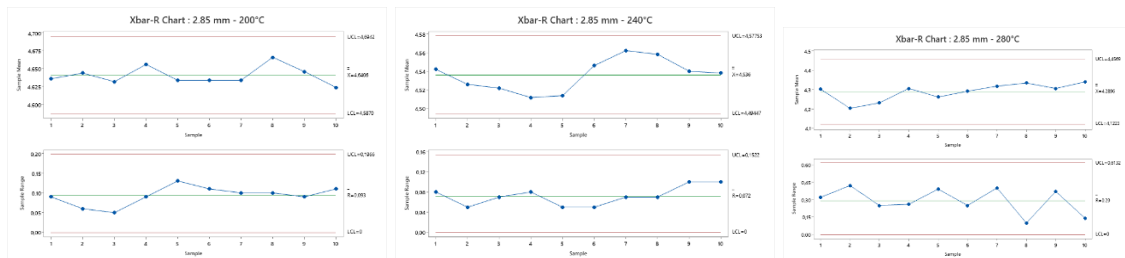
**Gambar 4. Rata-rata Diameter Filamen**

Data yang telah didapatkan diolah menjadi grafik control chart untuk mengetahui keseragaman diameter filamen yang ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Grafik control chart X-bar dan R merupakan alat yang digunakan dalam pengendalian kualitas untuk memantau stabilitas proses produksi, khususnya untuk data variabel (Rizkiah & Yenni Kurniawati, 2025). Sehingga sangat relevan digunakan untuk penelitian ini.



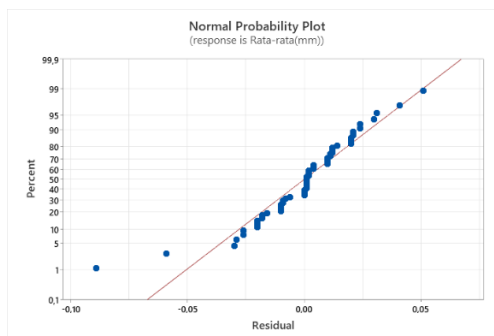
**Gambar 3. Grafik Control Chart pada Diameter nozzle 1.75 mm**

Pada hasil analisis menggunakan diameter *nozzle* 1.75 mm dengan temperature pemanasan 200C, 240C, dan 280C dihasilkan secara keseluruhan, proses produksi filamen HDPE yang relatif stabil pada temperatur rendah hingga sedang. Namun, pada temperatur tinggi 280°C mulai terlihat peningkatan variasi dan indikasi ketidakstabilan proses, yang dapat memengaruhi keseragaman produk. Oleh karena itu, kontrol lebih ketat diperlukan pada temperatur tinggi untuk menjaga konsistensi dimensi filamen.



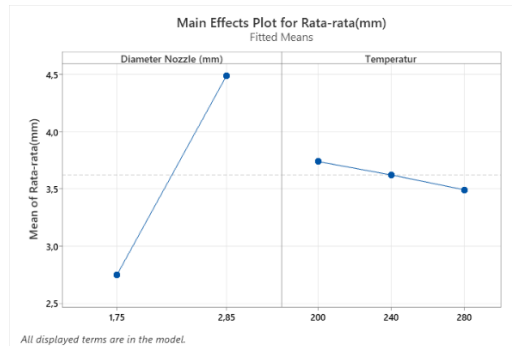
**Gambar 4. Grafik Control Chart pada Diameter nozzle 2.85 mm**

Sedangkan Penggunaan *nozzle* 2.85 mm menunjukkan proses produksi filamen HDPE yang stabil pada suhu 200°C–240°C. namun mulai terjadi peningkatan variasi dimensi pada 280°C yang dapat memengaruhi keseragaman.  $\bar{X}$  Chart menunjukkan bahwa rata-rata diameter masih dalam batas kendali. meski pada suhu 280°C mulai terlihat tren penurunan yang mengindikasikan potensi variasi khusus. R Chart juga menunjukkan variasi antar sampel masih dalam batas wajar. meskipun fluktuasi lebih tampak pada kombinasi *nozzle* 2.85 mm dan suhu tinggi. Oleh karena itu. kontrol proses lebih ketat diperlukan pada temperatur tinggi untuk menjaga kualitas filamen.



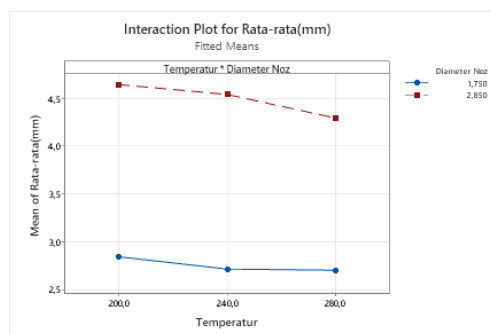
**Gambar 5. Normal probability Plot**

Pada Gambar 2 menunjukkan *Normal Probability Plot* untuk residual untuk residual pada data keseragaman diameter filamen. Dari grafik terlihat bahwa sebagian besar titik residual tersebar di sekitar garis lurus, yang menunjukkan bahwa residual berdistribusi normal. Hal ini menandakan bahwa model yang digunakan dalam pengolahan data memenuhi asumsi normalitas, sehingga hasil analisis dapat dianggap valid untuk interpretasi lebih lanjut.



**Gambar 6. Main Effects Plot**

Grafik *Main Effects Plot* menunjukkan pengaruh diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan terhadap rata-rata diameter filamen HDPE. *Nozzle* berdiameter lebih besar (2.85 mm) secara signifikan meningkatkan diameter filamen dari  $\pm 2.85$  mm menjadi  $>4.5$  mm, namun menurunkan keseragaman karena aliran material lebih sulit dikendalikan. Sebaliknya, peningkatan suhu dari  $200^{\circ}\text{C}$  ke  $280^{\circ}\text{C}$  justru menurunkan rata-rata diameter filamen ( $\pm 3.6$  mm menjadi  $\pm 3.4$  mm) akibat viskositas yang menurun, sehingga aliran lebih stabil dan seragam. Meski begitu, pengaruh diameter *nozzle* terhadap hasil lebih dominan dibandingkan temperatur.



**Gambar 6. Interaction Plot**

Grafik interaksi menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dari  $200^{\circ}\text{C}$  ke  $280^{\circ}\text{C}$  menurunkan rata-rata diameter filamen pada kedua ukuran *nozzle* (1.75 mm dan 2.85 mm), akibat viskositas HDPE yang menurun sehingga aliran material lebih cepat. Meskipun begitu, *nozzle* 2.85 mm tetap menghasilkan filamen dengan diameter lebih besar dibandingkan *nozzle* 1.75 mm. Garis yang tidak sejajar menunjukkan adanya interaksi signifikan: efek temperatur lebih besar pada *nozzle* besar, sementara dampaknya relatif kecil pada *nozzle* kecil. Artinya,

kombinasi diameter *nozzle* dan temperatur saling memengaruhi kualitas diameter filamen yang dihasilkan.

## **Pembahasan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa diameter nozzle dan temperatur pemanasan berpengaruh signifikan terhadap laju produksi filamen HDPE pada proses ekstrusi. Laju produksi tertinggi tercapai pada konfigurasi nozzle 2.85 mm dan temperatur 280°C, dengan output 1,00 kg/jam. Hal ini disebabkan oleh penurunan viskositas material HDPE pada suhu tinggi, yang meningkatkan kelancaran aliran melalui nozzle (Nuryosuwito et al., 2021). Diameter nozzle yang lebih besar juga memberikan ruang keluaran yang lebih besar, mempercepat proses ekstrusi. Sebaliknya, nozzle kecil dan temperatur rendah menyebabkan hambatan aliran dan menurunkan efisiensi produksi.

Temuan ini konsisten dengan studi sebelumnya, penelitian (Rida et al., 2024) menunjukkan peningkatan aliran plastik PET seiring kenaikan suhu, serta (Rijekki et al., 2024) yang menekankan pentingnya temperatur ideal untuk kestabilan proses dan konsistensi diameter filamen HDPE. Selain itu, hasil ini juga didukung oleh (Sukindar et al., 2016) yang meneliti penggunaan nozzle besar pada teknologi FDM dengan material PLA, yang mempercepat ekstrusi namun berisiko menurunkan presisi geometri. Secara keseluruhan, kombinasi optimal antara diameter nozzle dan temperatur pemanasan sangat krusial untuk menghasilkan laju produksi yang tinggi dan stabil, dengan tetap memperhatikan kualitas produk. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan desain mesin ekstruder yang lebih efisien dan adaptif terhadap variasi parameter proses, baik untuk skala laboratorium maupun industri.

Selanjutnya, penelitian ini menunjukkan bahwa diameter nozzle dan temperatur pemanasan berpengaruh signifikan terhadap keseragaman diameter filamen HDPE pada proses ekstrusi. Keseragaman diameter filamen menjadi indikator penting dalam menjamin kualitas produk akhir, terutama dalam aplikasi manufaktur aditif seperti 3D printing. Diameter nozzle memberikan faktor yang dominan. Semakin besar diameter nozzle, semakin besar pula diameter filamen yang dihasilkan. Sebagai contoh, nozzle 1.75 mm menghasilkan diameter filamen 2.70–2.84 mm, sementara nozzle 2.85 mm menghasilkan 4.29–4.64 mm. Hubungan ini bersifat linear karena peningkatan diameter nozzle memperbesar luas penampang aliran, sehingga volume material yang keluar per satuan waktu turut meningkat. Temperatur pemanasan juga memberikan pengaruh signifikan terhadap diameter filamen, meskipun tidak sekuat pengaruh diameter nozzle. Kenaikan suhu dari 200°C ke 280°C menyebabkan penurunan diameter filamen akibat turunnya viskositas material, yang mempercepat aliran dan

mengurangi ketebalan produk ekstrusi. Pengaruh ini lebih terasa pada nozzle besar, karena aliran menjadi lebih sulit dikendalikan pada viskositas rendah. Kombinasi antara nozzle besar dan suhu tinggi berisiko menghasilkan fluktuasi diameter yang tinggi. Sebaliknya, kombinasi nozzle kecil dan temperatur sedang (200–240°C) menghasilkan diameter filamen yang lebih stabil dan konsisten.

Hasil ini sejalan dengan temuan (Rijekki et al., 2024) yang menyarankan suhu 220°C dan nozzle 1.75 mm sebagai kombinasi optimal untuk konsistensi diameter filamen HDPE. Temuan ini juga didukung oleh (Fan et al., 2022) dan (Rida et al., 2024) yang menunjukkan pengaruh linear antara diameter nozzle dan hasil diameter filamen, serta peran suhu terhadap kecepatan aliran material. Selain itu, (Sukindar et al., 2016) menguatkan bahwa nozzle kecil memberikan tekanan ekstrusi tinggi yang mendukung kestabilan aliran, sementara nozzle besar cenderung lebih rawan terhadap variasi dimensi.

Secara keseluruhan, penelitian ini memperluas pemahaman terkait efek interaksi antara diameter nozzle dan temperatur terhadap performa ekstrusi plastik HDPE. Temuan ini penting sebagai dasar optimalisasi proses dalam produksi filamen untuk kebutuhan manufaktur presisi dan teknologi pencetakan 3D.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa diameter *nozzle* dan temperatur pemanasan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap laju produksi dan keseragaman diameter filamen HDPE hasil proses ekstrusi. Penggunaan *nozzle* berdiameter 2.85 mm meningkatkan laju produksi karena area keluaran yang lebih besar, namun menghasilkan filamen dengan diameter yang kurang seragam. Sebaliknya, *nozzle* 1.75 mm menghasilkan filamen dengan diameter lebih konsisten dan stabil. Sedangkan, peningkatan suhu pemanasan dari 200°C hingga 280°C meningkatkan laju produksi seiring menurunnya viskositas material, tetapi suhu yang terlalu tinggi berisiko menurunkan kualitas akibat degradasi termal. Dan untuk kombinasi parameter *nozzle* 2.85 mm dan suhu 280°C menghasilkan laju produksi tertinggi  $\pm 1.0$  kg/jam, sementara kombinasi *nozzle* 1.75 mm dan suhu 200°C menghasilkan filamen dengan diameter paling konsisten dan kualitas terbaik, karena diameter yang dihasilkan 2.84 mm yang menunjukkan hampir mendekati target yaitu 2.85 mm. Oleh karena itu, pemilihan parameter optimal harus disesuaikan dengan tujuan utama proses apakah untuk memaksimalkan kuantitas atau menjaga kualitas produk hasil ekstrusi.

## DAFTAR REFERENSI

- Calderon, R. R., & Izquierdo, R. B. (2020, March 4–7). *Machines for Industry 4.0 in higher education*. In *EDUNINE 2020 - 4th IEEE World Engineering Education Conference: The challenges of education in engineering, computing and technology without exclusions: Innovation in the era of the industrial revolution 4.0, Proceedings* (pp. 4–7). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EDUNINE48860.2020.9149501>
- Czyżewski, P., Marciniak, D., Nowinka, B., Borowiak, M., & Bieliński, M. (2022). Influence of extruder's nozzle diameter on the improvement of functional properties of 3D-printed PLA products. *Polymers*, *14*(2), Article 356. <https://doi.org/10.3390/polym14020356>
- Darianto, D., Nasution, A., & Idris, M. (2021). Analisis temperatur pada proses extruding pelet apung. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, *5*(2), 179–186. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v5i2.5205>
- Fan, Y., Xu, Y., Hao, Z., & Lin, J. (2022). Cutting deformation mechanism of SiCp/Al composites based on strain gradient theory. *Journal of Materials Processing Technology*, *299*, 117345. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117345>
- Farin, S. E. (2021). *Penumpukan sampah plastik yang sulit terurai berpengaruh pada lingkungan hidup yang akan datang* (pp. 1–10).
- Fearn, T., Science, S., & Street, G. (2000). Chemometric space plotting to assess normality care about chemometric space. *Chemometric Space*, *11*(3), 14–15.
- Hanky, F., Sugih Sudharma, T., Monika, P., & Lusi, H. (2022). Perancangan eksperimen proses ekstrusi dengan bahan plastik bekas pakai. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, *11*(2), 157–166. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v11i2.5750.157-166>
- Martana, B., Pradana, S., & Lukmana, M. A. (2021). Perancangan mesin ekstrusi untuk daur ulang sampah plastik berbentuk silinder. *Jurnal Poli-Teknologi*, *19*(3), 289–294. <https://doi.org/10.32722/pt.v19i3.3005>
- Masyruroh, A., & Rahmawati, I. (2021). Pembuatan recycle plastik HDPE sederhana menjadi asbak. *ABDIKARYA: Jurnal Pengabdian dan Pemberdayaan Masyarakat*, *3*(1), 53–63. <https://doi.org/10.47080/abdikarya.v3i1.1278>
- Murtadlo, M., Andesta, D., & Ismiyah, E. (2021). Analisis efektivitas mesin blowing dengan menggunakan metode Overall Equipment Effectiveness sebagai dasar usulan perbaikan (Studi kasus: UD. Karunia Plastik). *JUSTI (Jurnal Sistem dan Teknik Industri)*, *1*(3), 356. <https://doi.org/10.30587/justicb.v1i3.2616>
- Nuryosuwito, N., Rosydi, M. A. I., & Istiqlaliyah, H. (2021). Pemanfaatan sampah plastik jenis HDPE menjadi bahan bakar alternatif proses pyrolysis. *Jurnal Mesin Nusantara*, *3*(2), 92–101. <https://doi.org/10.29407/jmn.v3i2.15573>
- Prakoso, A. T., Davin, S., Mahendra, N. Y., Saputra, M. A. A., & Basri, H. (2022). Pemanfaatan limbah plastik dalam pembuatan filamen 3D printer menggunakan mesin ekstrusi pada Lab Konversi Energi Universitas Sriwijaya. *Jurnal Pelita Sriwijaya*, *1*(2), 43–52. <https://doi.org/10.51630/jps.v1i2.69>

- Rida, R., Siregar, M. F. Z., Putra, M. D. A., Harahap, F. K., & Barus, M. N. A. (2024). Pengaruh suhu terhadap laju aliran plastik pada mesin ekstruder. *Elektriase: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, 14(1), 51–59.
- Rijekki, N. F., Sari, N. P., Faizin, A., & Rosady, S. D. N. (2024). Pengaruh suhu pemanasan terhadap konsistensi diameter filamen cetak 3D yang dihasilkan oleh mesin ekstrusi plastik HDPE dan LDPE. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(2), 104–117.
- Rizkiah, N., & Kurniawati, Y. (2025). An application X-bar chart and statistical process control with R package. *UNP Journal of Statistics and Data Science*, 3(2), 197–204. <https://doi.org/10.24036/ujsds/vol3-iss2/363>
- Sabitah, A. Y., Ardiyat, I. N., Misbachudin, M., Wusko, I. U., & Ningsih, R. P. (2024). Analisis proses pirolisis limbah plastik HDPE dan PET: Pengaruh temperatur dan waktu reaksi dalam upaya daur ulang plastik. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 9(1), 98–106. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v9i1.318>
- Siddique, S. H., Hazell, P. J., Wang, H., Escobedo, J. P., & Ameri, A. A. H. (2022). Lessons from nature: 3D printed bio-inspired porous structures for impact energy absorption – A review. *Additive Manufacturing*, 58, 103051. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103051>
- Solgi, P., Chenarani, M., Eivani, A. R., Ghosh, M., Kumar, V., & Jafarian, H. R. (2023). Heat checking as a failure mechanism of dies exposed to thermal cycles: A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 26, 865–895. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.07.170>
- Sukindar, N. A., Ariffin, M. K. A., Baharudin, B. T. H. T., Jaafar, C. N. A., & Ismail, M. I. S. (2016). Analyzing the effect of nozzle diameter in fused deposition modeling for extruding polylactic acid using open source 3D printing. *Jurnal Teknologi*, 78(10), 7–15. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.6265>
- Yuzan, M. G. (2021). Pengaruh perpindahan panas tabung barrel pada mesin ekstruder plastik. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik (JIMT)*, 1(3), 1–8.