

## Pengaruh Temperatur Ekstrusi dan Kecepatan Screw Terhadap Karakteristik Pellet HDPE Daur Ulang

Dennis Farina Nury<sup>1</sup>, Muhammad Zulfikar Luthfi<sup>1</sup>, Ferry Ikhsandy<sup>1</sup>, Muhammad Erwin Cahyo Nugroho<sup>1</sup>, Rohiman Ahmad Zulkipli<sup>1</sup>, Maghfira Arum Lestari<sup>1</sup>, Andhini Putri Trianita<sup>1</sup>, Fadhilah Nur Afifah<sup>1</sup>, Amelia Naomi Agustina<sup>1</sup>, Denny Hendrik Nainggolan<sup>1</sup>, Haryo Mubiarto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Industri Petrokimia Banten

[\\*dennis.farina@poltek-petrokimia.ac.id](mailto:dennis.farina@poltek-petrokimia.ac.id)

### ABSTRAK

Pengelolaan limbah plastik menjadi isu penting yang perlu ditangani secara berkelanjutan. Salah satu jenis plastik dengan konsumsi tinggi adalah High-Density Polyethylene (HDPE), yang banyak digunakan dalam industri kemasan dan perpipaan. Upaya daur ulang HDPE menjadi pellet merupakan solusi untuk mengurangi dampak lingkungan sekaligus mendukung penerapan ekonomi sirkular. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur ekstrusi dan kecepatan screw terhadap karakteristik pellet HDPE hasil ekstrusi. Proses dilakukan menggunakan extruder tipe single screw dengan variasi temperatur 200°C, 220°C, dan 240°C, serta kecepatan screw 15 rpm, 20 rpm, dan 25 rpm. Hasil menunjukkan bahwa kombinasi 240°C dan 25 rpm menghasilkan pellet paling seragam, padat, dan berwarna cerah tanpa cacat permukaan. Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) menunjukkan tidak adanya perubahan gugus fungsi, menandakan bahwa struktur kimia HDPE tetap stabil tanpa degradasi termal selama proses berlangsung. Dengan demikian, pengaturan kondisi operasi yang tepat mampu menghasilkan pellet HDPE daur ulang dengan kualitas fisik dan kimia yang baik, serta mendukung proses pengolahan limbah plastik secara efisien dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** HDPE, ekstrusi, pellet daur ulang, temperatur, kecepatan screw

### ABSTRACT

Plastic waste management has become a critical environmental issue that requires sustainable solutions. One of the most widely used plastics is High-Density Polyethylene (HDPE), commonly applied in packaging and piping industries. Recycling HDPE into pellets provides an effective approach to reducing environmental impact while supporting a circular economy. This study aims to analyze the effect of extrusion temperature and screw speed on the characteristics of extruded HDPE pellets. The process was carried out using a single-screw extruder with temperature variations of 200°C, 220°C, and 240°C, and screw speeds of 15 rpm, 20 rpm, and 25 rpm. The results showed that the combination of 240°C and 25 rpm produced the most uniform, dense, and defect-free pellets. FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) analysis confirmed that no functional group changes occurred, indicating that the chemical structure of HDPE remained stable without thermal degradation during processing. Therefore, proper control of extrusion parameters can produce high-quality recycled HDPE pellets, contributing to efficient and sustainable plastic waste recycling.

**Keywords:** HDPE, extrusion, recycled pellets, temperature, screw speed

### PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah plastik menjadi isu lingkungan yang semakin mendesak di tingkat global, termasuk di Indonesia. Berdasarkan data *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)* Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

(KLHK), timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2024 mencapai sekitar 30,1 juta ton, dengan tingkat pengelolaan sebesar 60,22%, sedangkan 39,38% (sekitar 11 juta ton) belum ditangani secara optimal [1]. Kondisi ini menunjukkan perlunya inovasi dalam pengelolaan limbah, khususnya dalam mendaur ulang plastik yang bernilai ekonomi tinggi seperti High-Density Polyethylene (HDPE). HDPE merupakan polimer termoplastik yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya sebagai botol kemasan, perpipaan dan komponen industri lainnya [2]. HDPE memiliki sifat sangat kristalin, non-polar, dengan sifat mekanik yang baik, stabilitas kimia, kelenturan, dan rentang suhu operasi yang luas [3]. Namun, tingginya konsumsi HDPE tanpa sistem daur ulang yang memadai menimbulkan permasalahan lingkungan yang signifikan. Oleh karena itu, pengolahan ulang (recycling) HDPE menjadi pellet daur ulang (r-HDPE) menjadi solusi strategis yang mendukung ekonomi sirkular [4], [5].

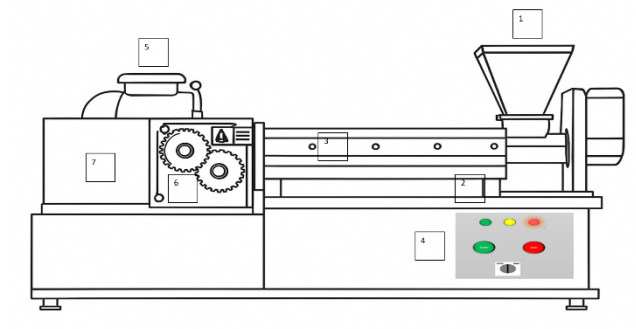
Salah satu metode yang paling umum dan efisien untuk menghasilkan pellet HDPE adalah ekstrusi yang menggabungkan pemanasan, pelelehan, pencampuran dan pembentukan menjadi satu proses kontinu [6]. Dalam proses ekstrusi, kondisi operasi seperti temperatur [7], kecepatan sekrup (screw speed) [8], dan laju umpan (feed rate) [5] berpengaruh terhadap pembentukan diameter pellet dan dimensi pellet yang dihasilkan. Oleh karena itu, kondisi operasi dari ekstrusi menjadi fokus utama untuk memperoleh pellet HDPE dengan karakteristik fisik dan mekanik pellet yang diinginkan.

Dua parameter proses yang menjadi faktor utama kualitas pellet adalah temperatur ekstrusi dan kecepatan sekrup. Temperatur mempengaruhi viskositas lelehan serta sifat mekanik pellet [4]. Kecepatan sekrup menentukan waktu tinggal (residence time), energi pemotongan dan ukuran pellet serta konsumsi energi [7]. Pada temperatur tinggi dengan putaran sekrup yang terlalu cepat dapat mempercepat degradasi termal dan menimbulkan cacat permukaan, sementara temperatur terlalu rendah atau putaran sangat rendah dapat menghasilkan pellet dengan densitas tidak seragam.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur ekstrusi dan kecepatan screw terhadap karakteristik pellet HDPE hasil ekstrusi, mencakup ukuran butiran, morfologi permukaan, dan struktur kimia dari HDPE dan rHDPE. Luaran dari penelitian ini diharapkan menghasilkan kondisi operasi optimum untuk pellet HDPE dengan ukuran seragam dan kualitas fisik yang sesuai untuk mendukung industri daur ulang plastik.

#### METODE PENELITIAN

Peralatan utama yang digunakan terdiri dari *extruder* tipe *single screw*, *thermocouple* untuk pengukuran suhu, control panel sebagai pengatur kecepatan dan temperatur, *cooling tank* untuk proses pendinginan lelehan, serta *cutter* untuk memotong hasil ekstrusi menjadi pellet.



**Gambar 1** 1. Hopper, 2. Heater, 3. Cooling tank, 4. Control panel, 5. Pompa, 6. Cutter, 7. Pellet outlet

Bahan penelitian berupa HDPE hasil cacahan botol bekas yang telah dicuci, dikeringkan, dan disortir hingga berukuran sekitar  $\pm 5$  mm. Limbah HDPE yang telah siap selanjutnya diproses melalui ekstruder dengan variasi temperatur ekstrusi (200°C, 220°C, dan 240°C) dan kecepatan screw (15 rpm, 20 rpm, dan 25 rpm). Mesin dipanaskan hingga mencapai temperatur yang diinginkan, kemudian HDPE cacah dimasukkan melalui hopper dan dilelehkan sepanjang barrel ekstruder. Lelehan HDPE yang keluar dari die dialirkan ke dalam *cooling tank* berisi air untuk didinginkan, lalu dipotong menggunakan cutter menjadi pellet berukuran seragam. Karakterisasi pellet hasil ekstrusi menggunakan mikroskop optik untuk mengamati bentuk dan keseragaman ukuran pellet, dan FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan memastikan tidak terjadi degradasi kimia selama proses ekstrusi. Selain itu, ukuran dan berat pellet juga dibandingkan dengan standar ASTM D1238.

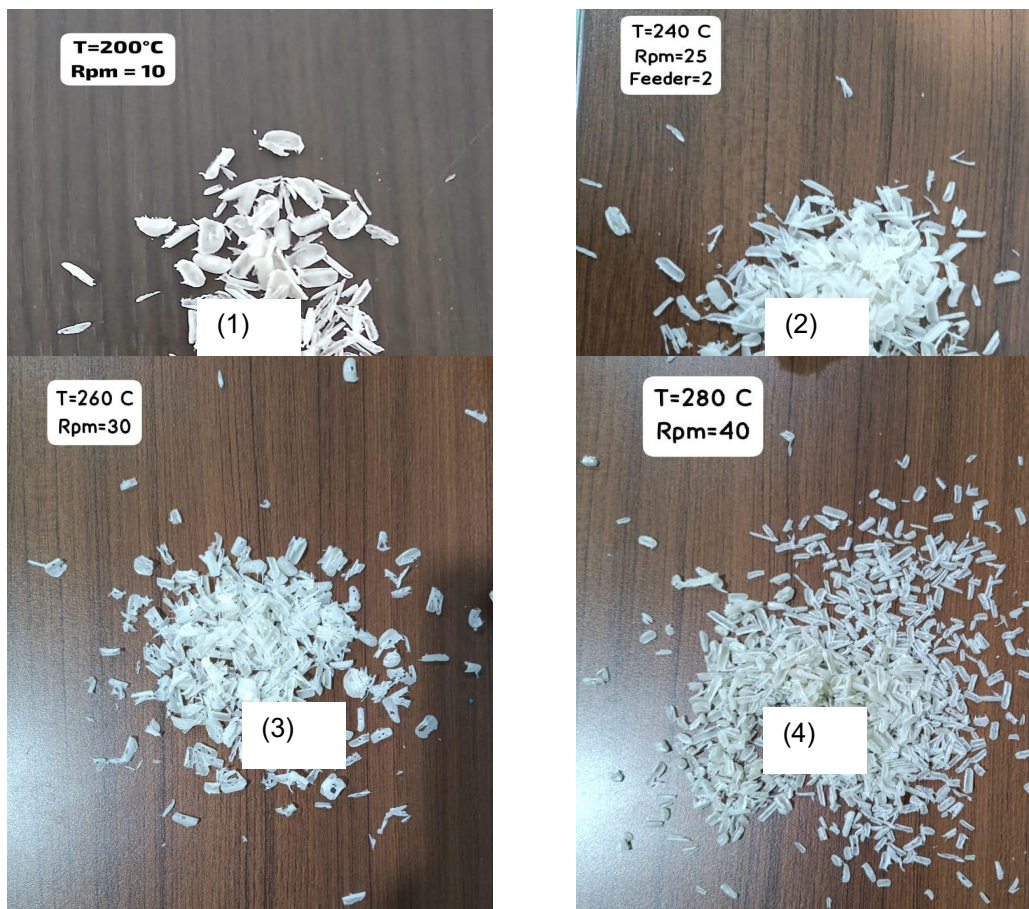
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Screw terhadap Morfologi Pellet

Hasil observasi menunjukkan bahwa temperatur dan kecepatan screw berpengaruh signifikan terhadap keseragaman dan permukaan pellet.

- Pada 200°C dan 15 rpm, pellet tidak terbentuk sempurna, permukaan kasar, dan berpori akibat pencairan yang tidak homogen.
- Pada 240°C dan 25 rpm, diperoleh pellet paling seragam, padat, dan berwarna putih cerah tanpa cacat, menandakan viskositas optimum dan aliran stabil.
- Di atas 260°C, muncul perubahan warna kekuningan akibat degradasi termal, sejalan dengan hasil studi *Kharis et al.* (2024) bahwa suhu optimum ekstrusi HDPE berada di kisaran 230–250°C.

Hasil visual pellet dari variasi berbagai kondisi operasi ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 2** Visual pellet plastik pada variasi berbagai kondisi operasi

Pada temperatur 200°C dan kecepatan 10 rpm, pellet yang dihasilkan tampak belum seragam, sebagian masih setengah meleleh dan memiliki permukaan kasar. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses pelelehan belum sempurna karena suhu berada di batas bawah titik leleh HDPE. Aliran lelehan belum stabil sehingga pembentukan pellet tidak konsisten.

Pada temperatur 240°C dengan kecepatan 25 rpm menghasilkan pellet yang lebih seragam, padat, dan berwarna putih cerah. Permukaan butiran tampak halus dan homogen, menandakan proses pelelehan dan pencampuran berada pada kondisi termal optimum. Pada kondisi ini, viskositas lelehan cukup rendah untuk mengalir dengan baik tanpa menyebabkan degradasi termal. Hasil visual ini menunjukkan proses ekstrusi berjalan stabil [5], [8].

Ketika temperatur dinaikkan ke 260°C dengan kecepatan 30 rpm, pellet mulai menunjukkan penurunan kualitas visual. Bentuk butiran menjadi tidak seragam, sebagian memanjang, dan muncul warna kekuningan pada permukaan. Hal ini disebabkan oleh overheating, di mana suhu tinggi mempercepat degradasi termal polimer dan

menurunkan kestabilan viskositas lelehan.

Pada temperatur tertinggi, 280°C dan kecepatan 40 rpm, hasil pellet terlihat kasar, berpori, dan berwarna kecoklatan. Kondisi ini menunjukkan terjadinya degradasi termal yang cukup kuat akibat suhu berlebih dan gesekan tinggi pada screw. Ketidakstabilan pada proses pelelehan menghasilkan pelet dengan ukuran yang bervariasi serta densitas yang tidak seragam [9].

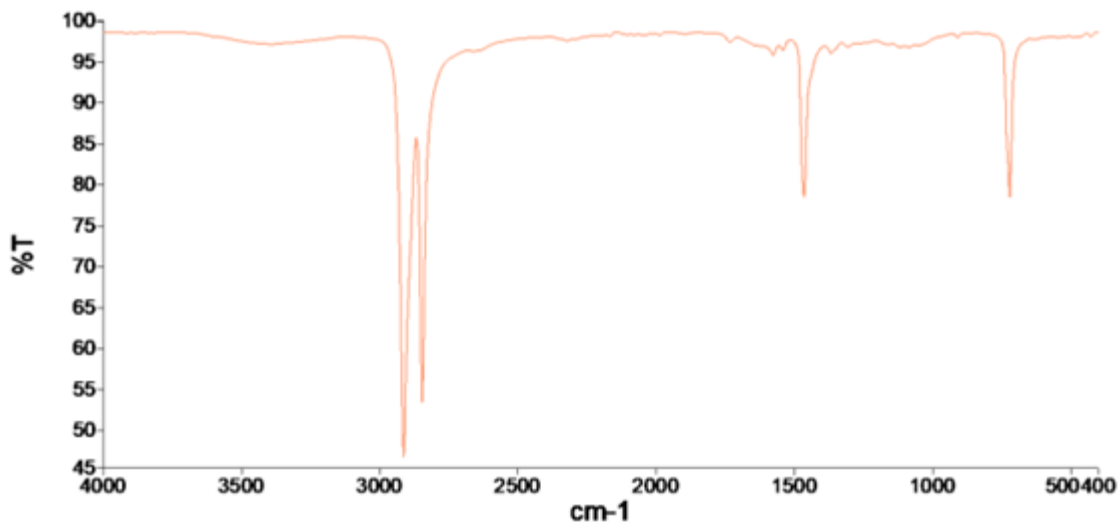
Secara umum, hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa parameter temperatur dan kecepatan screw sangat berpengaruh terhadap kualitas morfologi pellet:

- Temperatur rendah (200°C) belum mampu menghasilkan lelehan yang homogen.
- Temperatur menengah (240°C) merupakan kondisi optimum, di mana bentuk pellet paling seragam dan stabil.
- Temperatur tinggi (260–280°C) menyebabkan degradasi termal dan penurunan kualitas visual.

Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kharis et al., (2024) yang melaporkan bahwa temperatur ideal ekstrusi HDPE berada pada kisaran 230–250°C, karena pada rentang tersebut viskositas lelehan berada dalam kondisi stabil tanpa degradasi material dari pellet[10].

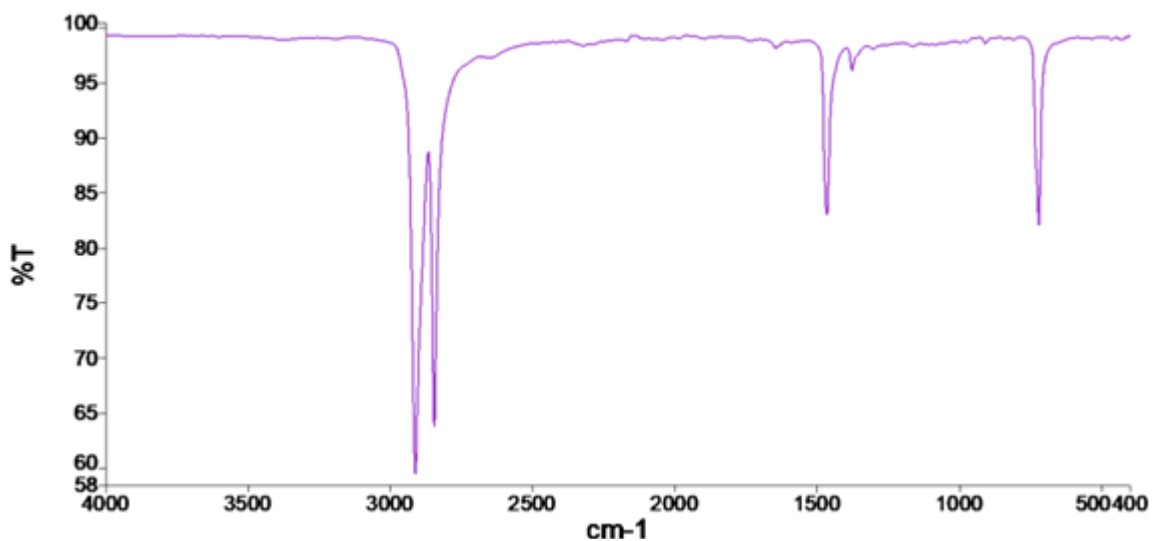
### Karakterisasi FTIR

#### Spectrum

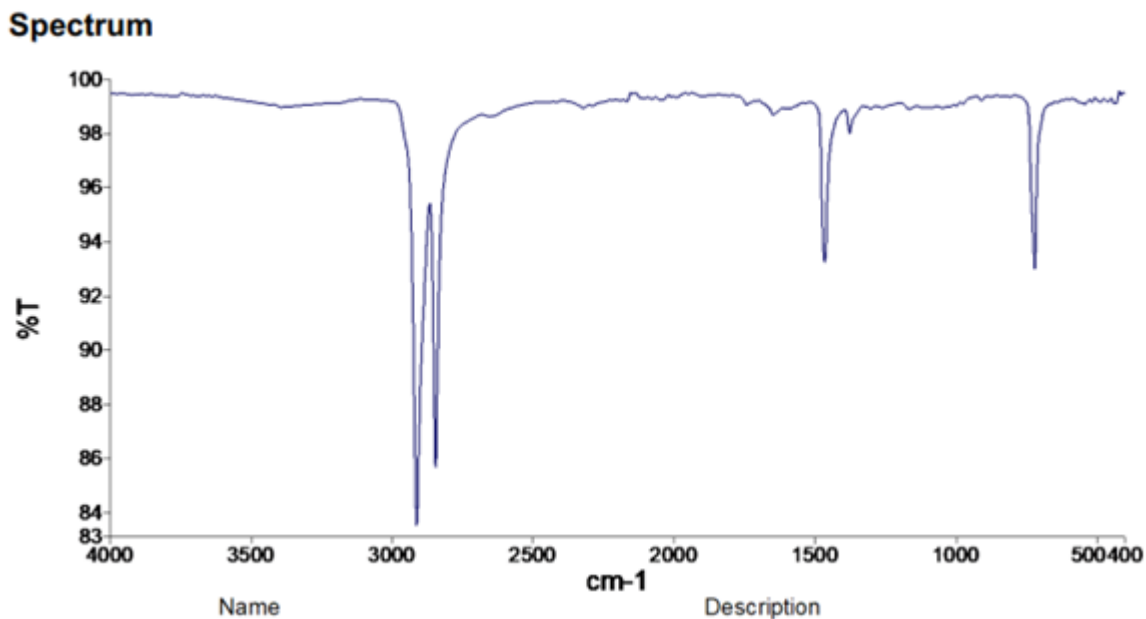


Gambar 3 FTIR HDPE

#### Spectrum



Gambar 4 FTIR r-HDPE



Gambar 5 FTIR pada T 240 °C

Gambar 3 menunjukkan hasil analisa FTIR pada sampel HDPE. Pada daerah analitikal spektrum FTIR menunjukkan pada 2915–2848  $\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya gugus fungsi C–H stretching. Pada daerah fingerprint spektrum FTIR menunjukkan pita serapan pada 1472  $\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya  $\text{CH}_2$  bending, dan pita khas pada 720  $\text{cm}^{-1}$  yang mengindikasikan adanya  $\text{CH}_2$  rocking. Identifikasi tersebut merupakan ciri utama polietilena. Kemudian tidak ditemukan pita pada sekitar 1700  $\text{cm}^{-1}$  maupun 3300  $\text{cm}^{-1}$ , sehingga dapat dipastikan bahwa material tidak mengandung gugus polar seperti C=O atau O–H. Berdasarkan hal tersebut, sampel dikonfirmasi sebagai polimer Polyethylene (PE) [3].

Gambar 4 menunjukkan hasil Analisa FTIR pada sampel r-HDPE. Spektrum FTIR menunjukkan pita serapan kuat pada 2915–2848  $\text{cm}^{-1}$  (C–H stretching), 1472  $\text{cm}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$  bending), dan pita khas pada 720  $\text{cm}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$  rocking) yang merupakan ciri utama polietilena. Tidak ditemukan pita pada sekitar 1700  $\text{cm}^{-1}$  maupun 3300  $\text{cm}^{-1}$ , sehingga dapat dipastikan bahwa material tidak mengandung gugus polar seperti C=O atau O–H.

Pada Analisa FTIR Gambar 4 didapatkan bahwa sampel r-HDPE tidak mengalami perubahan atau penambahan gugus fungsi baik di daerah analitik maupun di daerah fingerprint. Hal ini menunjukkan bahwa proses daur ulang HDPE yang dilakukan berjalan dengan baik. Tidak adanya gugus fungsi tambahan menunjukkan bahwa tidak adanya kontaminasi selama proses berlangsung sehingga kualitas material hasil daur ulang tidak mengalami penurunan.

Gambar 5 menunjukkan hasil Analisa FTIR pada temperatur 240 °C. Spektrum FTIR menunjukkan pita serapan kuat pada 2915–2848  $\text{cm}^{-1}$  (C–H stretching), 1472  $\text{cm}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$  bending), dan pita khas pada 720  $\text{cm}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$  rocking) yang merupakan ciri utama polietilena. Tidak ditemukan peak pada sekitar 1700  $\text{cm}^{-1}$  maupun 3300  $\text{cm}^{-1}$ .

Pada Analisa FTIR Gambar 4 didapatkan bahwa sampel 9 tidak mengalami perubahan atau penambahan gugus fungsi baik di daerah analitik maupun di daerah fingerprint. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembuatan sampel dimana menggunakan suhu mencapai 240 °C, kecepatan screw 30 rpm, dan kecepatan feeder 15 rpm, tidak mengubah gugus fungsi. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas polimer dapat dipertahankan selama proses berlangsung.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur ekstrusi dan kecepatan screw berpengaruh nyata terhadap kualitas pellet HDPE hasil daur ulang. Kondisi optimum diperoleh pada temperatur 240°C dan kecepatan screw 25–30 rpm, menghasilkan pellet paling seragam, padat, dan bebas cacat permukaan. Analisis FTIR mengonfirmasi bahwa tidak terjadi perubahan gugus fungsi, sehingga struktur kimia HDPE tetap stabil tanpa degradasi termal. Dengan demikian, pengaturan kondisi operasi ekstruder yang tepat mampu menghasilkan pellet HDPE daur ulang berkualitas tinggi serta mendukung proses daur ulang plastik yang efisien dan berkelanjutan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada Politeknik Industri Petrokimia Banten atas dukungan fasilitas dan pendanaan Hibah Internal dengan nomor kontrak 465 Tahun 2025.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. T. Hidayat, "Pemanfaatan Sampah Plastik PET ( Polyethylene Terephthalat e ) dan PP ( Polypropylene ) Menggunakan Proses Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," vol. 7, no. 4, pp. 2840–2854, 2025.
- [2] "Recycling of waste HDPE and PP plastic in preparation of plastic brick and its mechanical properties", [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772397622000739>
- [3] Y. Zhu, S. Wei, C. Guo, X. Cao, X. Yin, and G. He, "Preparation and characterization of long-chain branched HDPE by UV-induced reactive extrusion at mild temperature," *Polymer (Guildf).*, vol. 282, 2023, doi: 10.1016/j.polymer.2023.126193.
- [4] F. Castéran, K. Delage, N. Hascoët, A. Ammar, F. Chinesta, and P. Cassagnau, "Data-Driven Modelling of Polyethylene Recycling under High-Temperature Extrusion," *Polymers (Basel).*, vol. 14, no. 4, 2022, doi: 10.3390/polym14040800.
- [5] R. Rida, M. F. Z. Siregar, M. D. A. Putra, F. K. Harahap, and M. N. A. Barus, "Pengaruh Suhu terhadap Laju Aliran Plastik pada Mesin Extruder," *Elektrise J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 01, pp. 51–59, 2024, doi: 10.47709/elektrise.v14i01.4384.
- [6] Amanda Putri Aulia, "Optimasi Produksi Filamen 3D dari Sampah Plastik : Studi Eksperimental Suhu Heater," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 23, no. 2, 2024, doi: 10.31358/techne.v23i2.465.
- [7] R. A. Z. Muhammad Erwin Cahyo Nugroho, Rachmadi Tutuka, "Pengaruh Kecepatan Screw dan Feeder pada Mesin Extruder terhadap Karakteristik Hasil Biji Plastik," pp. 8–15, 2025.
- [8] A. R. Hakim, W. T. Handoyo, A. Fauzi, and W. Sarwono, "Desain dan Kinerja Mesin Ekstruder Twin Screw untuk Pembuatan Pakan Ikan Terapung," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 7, no. 2, pp. 129–136, 2020, doi: 10.19028/jtep.07.2.129-136.
- [9] N. Dragutinovic, I. Höfer, and M. Kaltschmitt, "Joint examination of fuel-related measures for the improvement of corn cob combustion properties," *J. Renew. Sustain. Energy*, vol. 13, no. 3, 2021, doi: 10.1063/5.0044971.
- [10] A. Kharis, B. Cristanto Putra Mbulu, and N. Tugur Redationo, "Analysis of Tensile Strength of Hdpe 3D Printer Filament Production Process Through Temperature and Time Variations," *Mech. Energy Mater.*, vol. 2, no. 2, pp. 17–24, 2024, doi: 10.59581/metal.v2i2.100.