

Pengaruh Kecepatan Screw, Feeder, dan Temperatur Pemanas terhadap Proses Ekstrusi Biji Plastik Daur Ulang Menggunakan Mesin Extruder

Muhammad Erwin Cahyo Nugroho^{*1}, Rachmadi Tutuka²

^{1,2}Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Indonesia
Email: ¹erwin.cahyo@poltek-petrokimia.ac.id, ²rachmadi.tutuka@poltek-petrokimia.ac.id

Abstrak

Limbah plastik berbasis polyethylene terephthalate (PET) dari botol bekas merupakan salah satu penyumbang utama pencemaran lingkungan akibat volumenya yang tinggi dan proses dekomposisi yang lambat. Pencemaran dari limbah ini memerlukan penanganan berbasis teknologi daur ulang. Salah satu metode pengolahannya adalah proses ekstrusi yang mengubah limbah menjadi biji plastik yang dapat digunakan kembali. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kecepatan *screw*, kecepatan *feeder*, dan temperatur pemanas pada proses ekstrusi terhadap kualitas biji plastik hasil daur ulang. Metode eksperimen dilakukan dengan menggunakan mesin extruder, memvariasikan kecepatan *screw*, kecepatan *feeder*, dan temperatur pemanas, serta menjaga kecepatan pemotongan tetap. Evaluasi dilakukan terhadap rasio *screw/feeder* dan efisiensi pemotongan yang dihitung dari rasio kecepatan pemotong terhadap kecepatan *feeder*. Penilaian kualitas biji dilakukan melalui pengamatan visual homogenitas dan stabilitas bentuk produk. Hasil menunjukkan bahwa rasio *screw/feeder* antara 2,0–2,5 menghasilkan biji dengan bentuk paling seragam dan stabil. Efisiensi pemotongan paling tinggi didapat hanya 15% memengaruhi kualitas biji plastik yang menunjukkan kesesuaian laju aliran material antara kecepatan *feeder* dan kecepatan pemotong. Perhitungan kecepatan pemotong ideal diperoleh sebesar 128 rpm, sedangkan kecepatan konstan extruder ini adalah 140 rpm dinilai terlalu tinggi sehingga berpotensi menimbulkan cacat produk dan ukuran yang bervariasi. Kombinasi parameter optimal diperoleh pada kecepatan *screw* 25 rpm, *feeder* 10 rpm, dan temperatur 220°C. Pengaturan parameter proses yang seimbang diperlukan dalam menghasilkan biji plastik berkualitas tinggi dari limbah PET daur ulang. Temuan ini berkontribusi dalam pengembangan teknologi ekstrusi plastik daur ulang yang efisien dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Ekstrusi Plastik, Kecepatan Feeder, Kecepatan Screw, Mesin Extruder, Temperatur Pemanas

Abstract

Polyethylene terephthalate (PET)-based plastic waste from used bottles is one of the main contributors to environmental pollution due to its high volume and slow decomposition process. Pollution from this waste requires treatment based on recycling technology. One of the processing methods is the extrusion process that converts waste into reusable plastic ore. This study aims to evaluate the effect of variations in screw speed, feeder speed, and heating temperature in the extrusion process on the quality of recycled plastic ore. The experimental method was carried out using an extruder machine, varying the screw speed, feeder speed, and heating temperature, and keeping the cutting speed fixed. The screw/feeder ratio and cutting efficiency calculated from the ratio of cutter speed to feeder speed were evaluated. Ore quality assessment was conducted through visual observation of homogeneity and product shape stability. The results show that the screw/feeder ratio between 2.0-2.5 produces the most uniform and stable shaped ore. The highest cutting efficiency obtained was only 15%, affecting the quality of the plastic ore, indicating the suitability of the material flow rate between the feeder speed and the cutter speed. The ideal cutter speed calculation is 128 rpm, while the constant speed of this extruder is 140 rpm, which is considered too high, potentially causing product defects and varying sizes. The optimal parameter combination was obtained at a screw speed of 25 rpm, feeder speed of 10 rpm, and temperature of 220°C. A balanced setting of process parameters is necessary in producing high-quality plastic ore from recycled PET waste. These findings contribute to the development of efficient and environmentally friendly recycled plastic extrusion technology.

Keywords: Extruder Machine, Feeder Speed, Heater Temperature, Plastic Extrusion, Screw Speed

1. PENDAHULUAN

Permasalahan limbah plastik semakin meningkat, khususnya dari botol berbahan polyethylene terephthalate (PET). Hal ini telah menjadi isu global dalam beberapa dekade terakhir. PET merupakan salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan di industri makanan dan minuman karena sifatnya yang ringan, kuat, dan tahan terhadap gas dan kelembapan. Tingginya konsumsi produk berbasis PET yang tidak diiringi dengan sistem daur ulang yang efektif menyebabkan akumulasi limbah plastik di lingkungan, mencemari tanah dan perairan serta menimbulkan bahaya ekologi (Fransiscus et al., 2022; Islam et al., 2024).

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengolah limbah plastik PET, salah satunya adalah proses ekstrusi yang mengubah material plastik daur ulang menjadi bijih plastik. Sebelum diproses di unit ekstruder, penggunaan unit mesin penghancur berfungsi untuk menghancurkan sampah plastik yang masih utuh dalam bentuk potongan-potongan (Pranoto et al., 2021). Proses ekstrusi merupakan kombinasi dari pemanasan, pencampuran, pelelehan, dan pembentukan ulang material termoplastik melalui *screw* di dalam barrel mesin ekstruder. Beberapa parameter penting yang memengaruhi kualitas produk, antara lain kecepatan *screw*, kecepatan *feeder*, dan temperatur pemanas.

Kecepatan *screw* mengontrol laju aliran material dan waktu tinggal di dalam barrel serta berpengaruh terhadap viskositas dan distribusi suhu lelehan (Gálvez et al., 2020). Kecepatan *feeder* menentukan jumlah material yang masuk per satuan waktu dan memengaruhi kestabilan aliran (Maina et al., 2025). Jika kecepatan *screw* dan *feeder* tidak seimbang, maka dapat terjadi *underfeeding* atau *overfeeding*. *Underfeeding* menyebabkan tekanan rendah dan hasil bijih tidak merata, sedangkan *overfeeding* mengakibatkan tekanan berlebih yang dapat menurunkan kualitas produk. Temperatur pemanas yang terlalu rendah menyebabkan pencairan tidak sempurna, menghasilkan permukaan bijih yang kasar dan bentuk tidak seragam. Temperatur yang terlalu tinggi dapat memicu degradasi termal pada rantai polimer PET sehingga mengakibatkan perubahan warna dan kerapuhan struktur (Abeykoon et al., 2020; Chowdhury & Wang, 2023).

Kesenjangan dalam studi sebelumnya adalah belum banyak penelitian yang secara sistematis menganalisis kombinasi parameter seperti kecepatan *screw*, kecepatan *feeder*, temperatur pemanas, dan efisiensi pemotongan terhadap kualitas bijih plastik PET hasil ekstrusi daur ulang. Sebagian besar fokus hanya pada satu atau dua parameter atau pada material polimer virgin. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan holistik yang menggabungkan parameter operasional utama dalam konteks daur ulang plastik PET bekas kemasan (Krishnanand et al., 2023; Sha et al., 2024).

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kombinasi parameter kecepatan *screw*, *feeder*, dan temperatur pemanas dalam menghasilkan bijih plastik PET daur ulang yang optimal. Fokus penelitian diarahkan pada pencarian nilai rasio *screw/feeder* dan temperatur pemanas yang dapat menghasilkan produk dengan ukuran, bentuk, dan homogenitas yang baik. Kontrol kecepatan *screw* berpengaruh terhadap tekanan dan suhu dalam barrel. Kecepatan *screw* juga memiliki pengaruh antara suhu ekstrusi dan degradasi termal material. Selain itu, desain *screw* dan rasio *feeder* turut memengaruhi efisiensi aliran dan homogenitas produk (Kazmer et al., 2020). Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi dasar teknis dalam pengembangan teknologi ekstrusi plastik daur ulang yang efisien dan ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan persiapan bahan baku yaitu botol plastik bekas pakai yang terbuat dari polietilena tereftalat (PET). Badan botol, tutup botol, dan label dipisahkan. Botol plastik PET dibersihkan, dikeringkan, dan dipotong dengan ukuran ± 5 mm. Setelah itu, plastik yang sudah kering disimpan dalam wadah tertutup untuk mencegah penyerapan air dari udara.

Proses ekstrusi dilakukan dengan menggunakan mesin ekstruder laboratorium yang mencakup corong masukan plastik dan silinder pemanas horizontal dengan enam elemen pemanas yang mampu mencapai suhu maksimum 300°C. *Screw extruder* berdiameter 28 mm digerakkan oleh motor gearbox 0,5 HP. Tangki pendingin stainless steel nozzle 6 mm (10x10x50 cm) yang berisi air untuk mendinginkan plastik yang keluar dari *nozzle screw extruder*. Unit pencacah dilengkapi dengan pisau baja HSS untuk memotong bijih plastik. Kecepatan *screw* dan pencacah dapat dimodifikasi

menggunakan inverter digital. Sistem secara keseluruhan dikontrol oleh panel kontrol terintegrasi yang dipasang pada rangka dengan dilengkapi roda kastor.

Sebelum memulai menjalankan mesin extruder, temperatur pemanas perlu dinyalakan dan diatur dengan rentang 200°C sampai 250°C. Temperatur pemanas disetel dalam rentang 180–240°C, mengacu pada suhu peleburan optimal PET dan untuk menghindari degradasi termal (Fauza et al., 2023). Bahan baku berupa serpihan plastik PET kering dimasukkan ke dalam *hopper* mesin extruder. Mesin extruder memanaskan material dan mendorong menuju *nozzle* sehingga keluar produk dalam bentuk lelehan panjang. Lelehan plastik didorong keluar menuju tangki pendingin yang berisi air bersirkulasi. Selanjutnya, plastik ditarik dan dilewatkan ke dalam tangki pendingin untuk menuju unit pencacah. Hasil lelehan panjang yang sudah mengeras masuk melewati *feeder* dan langsung dipotong oleh mesin granulator menjadi bijih plastik. Kecepatan *screw* divariasikan dalam delapan kali percobaan dengan rentang 15 sampai 31 rpm. Kecepatan *screw* dipilih antara 20–35 rpm untuk mencakup kondisi minimum hingga maksimum perpindahan material tanpa menyebabkan *overheat* atau *underfeeding* (Gálvez et al., 2020). Kecepatan *feeder* juga diatur sesuai antara 5 hingga 18 rpm. Kecepatan *feeder* bervariasi antara 5–15 rpm guna merepresentasikan berbagai laju suplai material dan menguji stabilitas aliran. Kombinasi eksperimen temperatur dan kecepatan ini digunakan untuk mengamati pengaruh terhadap proses pencetakan dan karakteristik hasil produk bijih plastik. Dalam penelitian ini, kecepatan pemotong dijaga konstan selama seluruh proses berlangsung.

Produk berupa bijih plastik dikumpulkan untuk dianalisis dari segi bentuk, ukuran, dan homogenitas. Rasio kecepatan *screw* terhadap *feeder* dihitung sebagai parameter penting dalam menjaga keseimbangan aliran material. Pengaruh efisiensi pemotongan antara kecepatan *feeder* dengan kecepatan pemotongan juga perlu dihitung. Efisiensi ini dihitung menggunakan rumus (Katjo & Sialana, 2022):

$$\text{Efisiensi Pemotongan} = \frac{\text{Kecepatan Feeder (rpm)}}{\text{Kecepatan Pemotong (rpm)}} \times 100\% \quad (1)$$

Selanjutnya, sebagai cara untuk memaksimalkan hasil potongan bijih plastik perlu ada koreksi pada kecepatan pemotongan. Acuan rumus yang bisa digunakan adalah sebagai berikut (Rasid et al., 2022):

$$N_c = \frac{N_s \cdot N_f}{l} \quad (2)$$

Keterangan:

N_c = kecepatan pemotongan (rpm)

N_s = kecepatan *screw* rata-rata (rpm)

N_f = kecepatan *feeder* rata-rata (rpm)

l = ukuran bijih plastik yang diinginkan (2 cm)

Selain itu, dilakukan pengamatan visual terhadap homogenitas butiran untuk mendeteksi adanya degradasi termal akibat pengaturan suhu dan kecepatan ekstrusi. Semua data dari setiap percobaan dicatat dan dilakukan analisis untuk mencari hubungan korelatif antara variabel temperatur pemanas, kecepatan *screw*, kecepatan *feeder*, dan kecepatan pemotongan terhadap kualitas hasil bijih plastik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh Rasio Screw/Feeder terhadap Kualitas Bijih Plastik

Tabel 1. Indikator Rasio Screw/Feeder

Rasio Screw/Feeder	Indikator	Keterangan Kualitas Bijih Plastik
< 1,5	<i>Overfeeding</i>	Bijih menggumpal, tekanan berlebih
1,5 – 2,0	Cenderung Stabil	Masih berpotensi cacat ringan
2,0 – 2,5	Stabil	Homogen, bentuk dan ukuran seragam
2,5 – 3,0	Cenderung <i>Underfeed</i>	Ada penurunan kepadatan
> 3,0	<i>Underfeeding</i>	Cacat, berpori, tidak meleleh rata

Tabel 2. Data Rasio *Screw/Feeder*

No	Temperatur Pemanas (°C)	Kecepatan <i>screw</i> (rpm)	Kecepatan <i>feeder</i> (rpm)	Rasio	Catatan Kualitas
1.	200	20	5	4,00	<i>Underfeeding</i>
2.	200	30,37	16,24	1,87	Cenderung Stabil
3.	200	25,03	10,27	2,44	Stabil
4.	200	31,31	18,85	1,66	Cenderung Stabil
5.	220	25,01	10,21	2,45	Stabil
6.	220	30,36	15,8	1,92	Cenderung Stabil
7.	225	25,28	18,85	1,34	<i>Overfeeding</i>
8.	250	15,98	5,43	2,94	Cenderung <i>Underfeed</i>

Rasio antara kecepatan *screw* dan kecepatan *feeder* berperan penting dalam menentukan kelancaran aliran material di dalam barrel extruder. Tabel 1 menunjukkan klasifikasi kualitas bijih plastik berdasarkan penelitian Nastaj & Wilczyński (2020) tentang nilai rasio *screw/feeder*. Rasio ini menentukan apakah proses tergolong *starve-fed* (*underfeeding*) atau *flood-fed* (*overfeeding*). Jika laju material yang masuk terlalu tinggi dibandingkan dengan kemampuan *screw* dalam mendorong dan melelehkan bahan, maka akan terjadi *overfeeding* yang mengakibatkan peningkatan tekanan secara berlebihan dan akumulasi material di zona pencairan. Kondisi *underfeeding* membuat waktu tinggal tidak cukup sehingga lelehan menjadi tidak merata. Kondisi aliran optimal dicapai pada rasio 2,0 hingga 2,5 sejalan dengan penelitian dari Gálvez et al., (2020) yang merekomendasikan kisaran tersebut untuk menjaga tekanan dan viskositas lelehan dalam kondisi stabil.

Tabel 2 menunjukkan rasio *screw/feeder* antara 2,0 hingga 2,5 menghasilkan bijih dengan bentuk paling seragam. Kombinasi kecepatan *screw* dan *feeder* yang menunjukkan performa "Stabil" berdasarkan hasil pengujian adalah 25 rpm untuk *screw* dan 10 rpm untuk *feeder*. Kombinasi ini dimungkinkan sebagai parameter operasi optimal, karena sejalan dengan penelitian Ge-Zhang et al., (2022) tentang parameter indikator rasio *screw/feeder* mengenai ekstrusi material polimer daur ulang menggunakan *screw* konvensional. Rasio di atas 3,0 menyebabkan *underfeeding*, mengurangi tekanan, dan menghasilkan cacat permukaan. Desain *screw* modern dengan rasio kompresi yang sesuai dirancang agar sinkron dengan laju aliran material agar proses homogenisasi dan pencairan berlangsung sempurna (Kazmer et al., 2020).

3.2. Efisiensi Pemotongan

Efisiensi pemotongan merupakan parameter penting yang menunjukkan kesesuaian antara laju pemotong dan laju keluaran material dari extruder. Rasio antara kecepatan *feeder* dengan kecepatan pemotongan mengindikasikan seberapa banyak material yang dipotong per rotasi pisau. Pengaturan yang tepat penting untuk memastikan ukuran bijih plastik yang konsisten dan sesuai spesifikasi.

Tabel 3. Data Efisiensi Pemotongan

No	Temperatur Pemanas (°C)	Kecepatan <i>feeder</i> (rpm)	Kecepatan pemotongan (rpm)	Efisiensi pemotongan
1.	200	5	140	4%
2.	200	16,24	140	12%
3.	200	10,27	140	7%
4.	200	18,85	140	13%
5.	220	10,21	140	7%
6.	220	15,8	140	11%
7.	225	18,85	140	13%
8.	250	5,43	140	4%

Efisiensi pemotongan berkontribusi langsung terhadap ukuran dan bentuk bijih plastik. Tabel 3 menunjukkan nilai efisiensi relatif rendah (4%–13%), jauh dari target efisiensi ideal 100%. Hal ini kemungkinan besar disebabkan ketidaksesuaian antara laju *feeder* dan kecepatan pemotong tetap (140 rpm). Hasil ini konsisten dengan temuan Bharadwaaj et al. (2024), yang menyatakan kesesuaian

pemotong dan aliran material berperan penting dalam menjaga bentuk bijih. Salah satu penyebab efisiensi yang kecil ini karena perbandingan pengaturan kecepatan *feeder* dan pemotongan yang terlalu besar. Penggunaan pengaturan kecepatan adaptif untuk menjaga kestabilan proses pemotongan dan meningkatkan efisiensi produksi (Krishnanand et al., 2023).

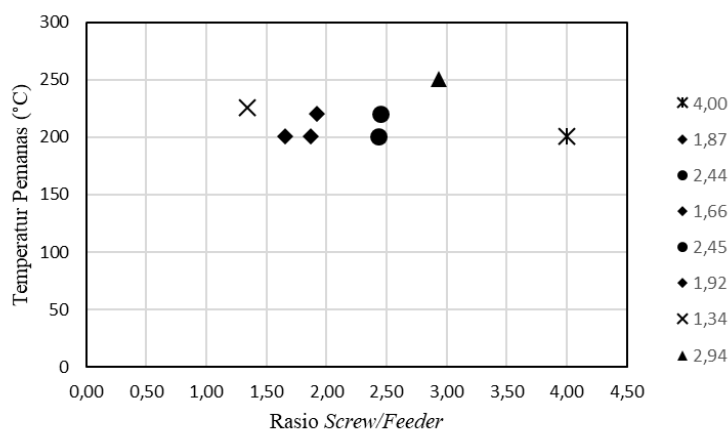
3.3. Kecepatan Pemotongan Ideal

Berdasarkan rasio kecepatan *screw* dan *feeder* dengan kualitas “Stabil”, didapatkan rata-rata kecepatan *screw* (N_s) = 25,02 rpm; kecepatan *feeder* (N_f) = 10,24 rpm. Selanjutnya, untuk memaksimalkan hasil potongan bijih plastik perlu ada koreksi pada kecepatan pemotongan. Hasil perhitungan didapatkan kecepatan pemotongan ideal adalah 128 rpm.

Desain alat mesin extruder saat ini hanya bisa diatur pada kecepatan konstan 140 rpm sehingga terlalu cepat untuk kondisi pemotongan yang ideal. Kecepatan *screw* dan laju umpan memengaruhi laju aliran massa dan suhu leleh material. Pengembangan model eksperimental untuk mengoptimalkan rasio kecepatan pemotong dan *feeder* juga dilakukan oleh Bharadwaaj et al. (2024) menghasilkan efisiensi pemotongan yang lebih tinggi dan kualitas bijih yang lebih baik. Kecepatan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *over-shear*, meningkatkan suhu, dan memengaruhi kualitas potongan. Kecepatan pemotongan harus disesuaikan dengan laju keluaran material dari extruder untuk menghasilkan ukuran bijih plastik yang konsisten. Jika kecepatan pemotongan terlalu tinggi dibandingkan dengan kecepatan *feeder* menyebabkan bijih plastik yang dihasilkan akan terlalu kecil. Sebaliknya, kecepatan yang terlalu rendah dapat menghasilkan bijih plastik terlalu besar dan besaran bijih plastik yang bervariasi. Penelitian oleh Ayofemi et al. (2022) menyoroti pentingnya parameter pemotongan dalam proses ekstrusi, menunjukkan bahwa kecepatan pemotongan yang optimal berkontribusi pada kualitas fisik pelet yang lebih baik. Optimalisasi kecepatan pemotongan penting untuk memastikan kualitas dan konsistensi produk akhir (Sha et al., 2024).

3.4. Pengaruh Temperatur Pemanas terhadap Kualitas Bijih Plastik

Temperatur pemanas berperan sebagai pengendali utama proses pelelehan polimer di dalam barrel. Berdasarkan penelitian Abeykoon et al. (2020), suhu yang tidak optimal dapat menyebabkan ketidakteraturan dalam viskositas material, menghasilkan bijih yang kasar atau bahkan cacat. Temperatur terlalu rendah ($<200^{\circ}\text{C}$) menyebabkan lelehan tidak sempurna. Temperatur yang terlalu tinggi ($>230^{\circ}\text{C}$) mempercepat degradasi rantai polimer PET, menurunkan kekuatan mekanik dan warna produk (Gálvez et al., 2020). Penelitian oleh Nastaj dan Wilczyński (2022) juga menunjukkan bahwa distribusi suhu yang tidak merata di sepanjang barrel extruder menyebabkan gradien viskositas yang signifikan, berdampak pada kualitas bijih plastik. Kontrol temperatur yang akurat berkontribusi terhadap kestabilan dimensi dan mekanis dari hasil ekstrusi Afolabi et al. (2023).



Gambar 1. Hubungan Rasio *Screw/Feeder* dan Temperatur Pemanas terhadap Kualitas Bijih Plastik

Keterangan Simbol sebagai Catatan Kualitas:

× = *Overfeeding*

◆ = Cenderung Stabil

● = Stabil

▲ = Cenderung *Underfeed*

* = *Underfeeding*

Gambar 1 memperlihatkan hubungan keseimbangan antara rasio *screw/feeder* dengan kestabilan temperatur pemanas terhadap kualitas produk bijih plastik. Temperatur optimal berada di kisaran 200 sampai 220°C dengan nilai rasio *screw/feeder* 2,44 dan 2,45 yang menunjukkan catatan kualitas performa “Stabil”. Pada temperature tersebut menghasilkan keseimbangan yang baik antara proses pencairan dan kestabilan termal. Temperatur di bawah 200°C tidak mencairkan material secara merata, sementara suhu di atas 230°C mulai menyebabkan degradasi termal (Gálvez et al., 2020).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan variasi kecepatan *screw*, kecepatan *feeder*, dan temperatur pemanas terbukti memengaruhi karakteristik fisik bijih plastik PET hasil ekstrusi daur ulang. Kombinasi parameter yang seimbang menghasilkan bijih dengan bentuk lebih seragam dan dimensi lebih stabil. Ketidakseimbangan laju proses menurunkan kualitas produk. Rasio *screw/feeder* yang optimal serta kontrol kecepatan pemotongan yang mendekati nilai ideal berkontribusi pada efisiensi proses dan homogenitas produk. Hasil studi ini memberikan dasar teknis bagi pengaturan parameter operasional dalam sistem ekstrusi plastik daur ulang. Sebagai tindak lanjut, disarankan pengembangan sistem extruder dengan penggunaan teknologi sensor dan kontrol kecepatan variabel secara otomatis berbasis umpan balik untuk meningkatkan efisiensi serta kualitas produk akhir yang lebih konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- Abeykoon, C., Pérez, P., & Kelly, A. L. (2020). The effect of materials' rheology on process energy consumption and melt thermal quality in polymer extrusion. *Polymer Engineering and Science*, 60(6), 1244–1265. <https://doi.org/10.1002/pen.25377>
- Ayofemi, S., Adeyeye, O., Oke, E., Luis Hoyos-Concha, J., Ortega-Toro, R., Villada-Castillo, S., Fernando Roa-Acosta, D., & Fernández-Quintero, A. (2022). *Extrusion parameters and physical transformations of an extrudate for fish: Effect of the addition of hydrolyzed protein flour from by-products of Oncorhynchus mykiss*.
- Bharadwaaj, S. K., Jaudan, M., Kushwaha, P., Saxena, A., & Saha, B. (2024). Exploring cutting-edge approaches in plastic recycling for a greener future. In *Results in Engineering* (Vol. 23). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102704>
- Chowdhury, T., & Wang, Q. (2023). Study on Thermal Degradation Processes of Polyethylene Terephthalate Microplastics Using the Kinetics and Artificial Neural Networks Models. *Processes*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/pr11020496>
- Fauza, A. N., Qalbina, F., Nurdin, H., Ambiyar, & Refdinal. (2023). The influence of processing temperature on the mechanical properties of recycled PET fibers. *Teknomekanik*, 6(1), 21–28. <https://doi.org/10.24036/teknomekanik.v6i1.21472>
- Fransiscus, H., Tjandra, S. S., Pangestu, M., & Handranto, L. (2022). Perancangan Eksperimen Proses Ekstrusi dengan Bahan Plastik PP dan PET. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 11(2), 157–166. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v11i2.5750.157-166>
- Gálvez, J., Correa Aguirre, J. P., Hidalgo Salazar, M. A., Mondragón, B. V., Wagner, E., & Caicedo, C. (2020). Effect of extrusion screw speed and plasticizer proportions on the rheological, thermal, mechanical, morphological and superficial properties of PLA. *Polymers*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/POLYM12092111>

- Ge-Zhang, S., Liu, H., Song, M., Wang, Y., Yang, H., Fan, H., Ding, Y., & Mu, L. (2022). Advances in Polyethylene Terephthalate Beverage Bottle Optimization: A Mini Review. In *Polymers* (Vol. 14, Issue 16). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym14163364>
- Islam, M., Xayachak, T., Haque, N., Lau, D., Bhuiyan, M., & Pramanik, B. K. (2024). Impact of bioplastics on environment from its production to end-of-life. In *Process Safety and Environmental Protection* (Vol. 188, pp. 151–166). Institution of Chemical Engineers. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.05.113>
- Katjo, M. B., & Sialana, J. (2022). *Analisa Gaya dan Efisiensi Pemotongan pada Proses Pembubutan Tirus Menggunakan Pahat Karbida*.
- Kazmer, D. O., Grosskopf, C. M., Rondeau, D., & Venoor, V. (2020). Design and Evaluation of General Purpose, Barrier, and Multichannel Plasticating Extrusion Screws. *Polymer Engineering and Science*, 60(4), 752–764. <https://doi.org/10.1002/pen.25333>
- Krishnanand, Singh, V., Mittal, V., Branwal, A. K., Sharma, K., & Taufik, M. (2023). Extrusion strategies in fused deposition additive manufacturing: A review. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E*, 238(2), 988–1012. <https://doi.org/10.1177/09544089221150709>
- Maina, A., Mwema, F., Bayode, A., & Nyanga, L. (2025). Effects of Screw Speed on Screw Pressure and Temperature: A Case of Non-Newtonian Non-Isothermal Flow. *The 8th Mechanical Engineering, Science and Technology International Conference*, 70. <https://doi.org/10.3390/engproc2025084070>
- Nastaj, A., & Wilczyński, K. (2020). Optimization for starve fed/flood fed single screw extrusion of polymeric materials. *Polymers*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/polym12010149>
- Nastaj, A., & Wilczyński, K. (2022). Computational Scale-Up for Flood Fed/Starve Fed Single Screw Extrusion of Polymers. *Polymers*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/polym14020240>
- Pranoto, H., Arifin, Z., & Carles, H. (2021). Innovation Design and Development of PET Plastic Waste Processing Machines by Extruder Method. *International Journal of Advanced Technology in Mechanical, Mechatronics and Materials*, 1(3), 90–99. <https://doi.org/10.37869/ijatec.v1i3.32>
- Rasid, R., Michelle, M., & Atiqah, A. (2022). Temperature Profile Measurement Using Modified Cooled Stainless Tube Technique in a Single Screw Extruder Coupled with a Modified Thermocouple Mesh – Effect of Screw Speed. *Jurnal Teknologi*, 84(6–2), 145–149. <https://doi.org/10.11113/jurnalteknologi.v84.19365>
- Sha, Z., Shi, L., Yin, J., Jiang, S., Zhang, S., & Liu, Y. (2024). Research on cutting force of extrusion cutting process based on material flow characteristics. *Journal of Manufacturing Processes*, 122, 83–96. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.05.068>

Halaman Ini Dikosongkan