



Perancangan Eksperimen Proses Ekstrusi dengan Bahan Limbah Plastik PP dan PET

Hanky Fransiscus¹, Sugih Sudharma Tjandra², Monika Pangestu³, Lusi Handranto⁴

^{1,2,3,4} Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Katolik Parahyangan
Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung 40141

Email: hanky.fransiscus@unpar.ac.id, sugih.sudharma@unpar.ac.id, monikapangestu@gmail.com,
lusihandranto@gmail.com

Abstract

Today, plastic waste is a serious problem and needs to be resolved immediately. Indonesia is the second largest contributor of plastic waste to the sea after China. This condition needs to be resolved immediately by looking for alternative solutions for plastic waste in all areas of life, including plastic waste in educational institutions. Observations at the Parahyangan Catholic University (Unpar) show that 41% of the total inorganic waste come from plastic packaging bottles. One alternative solution to the plastic waste problem is to recycle plastic waste and process it into other products that can be used. One alternative that is being explored for the process of recycling plastic waste in the Unpar environment is to use an extrusion machine in the Production Process Laboratory of the Faculty of Industrial Technology (FTI) Unpar. However, this machine has never been used for recycling plastic waste to be made into other products and the process parameters that can produce a good product are not yet known. Therefore, in this study, experimental design was carried out to determine process parameters to produce a good product with the existing extrusion machine. The plastic waste used in this test is plastic waste from Polypropylene (PP) plastic and Polyethylene Terephthalate (PET) plastic. The research consist of determining factors, factor levels, and randomization of treatment using completely randomized design method. The response of this experimental test is the result of product quality assessment involving 3 experts. The results show that the extrusion process on PET plastic waste materials with existing machines has not produced good recycled products. Other processes and machine improvements are still needed to produce a good product. As for PP plastic waste material, the recycling results obtained are quite good. The ANOVA test results show that the barrel temperature will affect the value of the quality of the product produced from PP plastic waste.

Keywords: *anova, plastic waste, extrusion machine, design experiment, randomized*

Abstrak

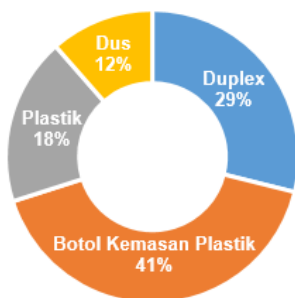
Pada masa ini, limbah plastik merupakan suatu masalah besar dan perlu segera diatasi. Indonesia menempati posisi kedua terbesar sebagai penyumbang limbah plastik ke laut setelah Cina. Kondisi ini perlu segera diatasi dengan mencari alternatif-alternatif penyelesaian untuk limbah plastik di semua bidang kehidupan, tidak terkecuali dengan limbah plastik yang ada di institusi pendidikan. Pengamatan di lingkungan Universitas Katolik Parahyangan (Unpar) menunjukkan bahwa 41% total limbah anorganik adalah limbah dari botol kemasan plastik. Salah satu alternatif yang telah dilakukan sebagai upaya penyelesaian dalam masalah limbah plastik ini adalah melakukan daur ulang limbah plastik dan mengolahnya untuk menjadi produk lain yang dapat digunakan. Salah satu alternatif yang sedang dijajaki untuk proses daur ulang limbah plastik di lingkungan Unpar adalah menggunakan mesin ekstrusi yang ada di Laboratorium Proses Produksi Fakultas Teknologi Industri (FTI) Unpar. Namun mesin tersebut belum pernah digunakan untuk daur ulang limbah plastik untuk dijadikan produk lain dan belum diketahui parameter proses yang dapat menghasilkan produk yang baik. Atas dasar hal tersebut, maka pada penelitian ini, dilakukan perancangan eksperimen penentuan parameter proses untuk menghasilkan produk yang baik dengan mesin ekstrusi yang ada. Limbah plastik yang dipakai pada pengujian ini adalah limbah plastik berbahan Polypropylene (PP) dan Polyethylene Terephthalate (PET). Penelitian meliputi penentuan faktor, level faktor, dan pengacakan treatment

menggunakan metoda completely randomized design. Respon dari pengujian eksperimen ini adalah hasil penilaian kualitas produk dengan melibatkan 3 orang ahli. Hasil menunjukkan bahwa proses ekstrusi pada bahan limbah plastik PET dengan mesin yang ada, belum menghasilkan produk daur ulang yang baik. Masih dibutuhkan proses lain dan penyempurnaan mesin untuk menghasilkan produk yang baik. Sedangkan untuk bahan limbah plastik PP, hasil daur ulang yang didapat sudah cukup baik. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa temperatur barrel akan mempengaruhi nilai kualitas produk yang dihasilkan dari limbah plastik PP.

Kata kunci: *anova*, limbah plastik, mesin ekstrusi, perancangan eksperimen, *randomized*

Pendahuluan

Pada saat ini, produk dari plastik merupakan produk yang paling banyak dipakai dalam segala segi kehidupan. Proses pembentukan plastik relatif lebih sederhana dan lebih kecil energinya dibanding proses pembentukan material lain, seperti logam, keramik atau komposit. Selain itu, proses pembentukan plastik dapat menghasilkan geometri bentuk produk yang tidak terbatas dan produk akhir tidak memerlukan lagi proses lain seperti proses pengecatan atau pelapisan. Beberapa sifat plastik pun sangat berguna untuk produk-produk tertentu yang tidak bisa dipenuhi jika menggunakan logam, keramik atau komposit. Akibat banyaknya produk tersebut, maka limbah yang dihasilkan juga sangat banyak. Hal ini disebabkan karena plastik merupakan bahan yang sulit terurai kembali sehingga menimbulkan masalah besar di masa yang akan datang. Indonesia merupakan penyumbang limbah plastik terbesar kedua seperti yang disebutkan pada Jambeck et al. (2015). Demikian pula yang diamati di lingkungan Unpar. Jumlah limbah plastik berbentuk botol kemasan plastik merupakan limbah terbanyak dibanding limbah anorganik lainnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Sampah Anorganik Unpar 2017

Banyak cara telah dilakukan untuk mengurangi efek polusi dari limbah plastik ini. Salah satunya adalah dengan mendaur ulang

kembali limbah plastik menjadi produk lain yang masih dapat dipakai. Salah satu jenis alat yang telah digunakan untuk melakukan proses daur ulang limbah plastik adalah mesin ekstrusi. Mesin ekstrusi ini tidak hanya digunakan di industri besar, tapi juga dapat digunakan untuk skala kecil.

Pada Laboratorium Proses Produksi FTI Unpar, terdapat mesin pencacah plastik dan mesin ekstrusi. Kedua mesin ini, diharapkan ke depannya mampu mendaur ulang limbah plastik, khususnya botol minuman bekas yang merupakan limbah plastik terbanyak di lingkungan Unpar. Namun parameter atau faktor yang mempengaruhi proses ekstrusi untuk bahan plastik belum ditentukan secara pasti. Mesin ekstrusi tersebut merupakan mesin buatan lokal merujuk dari pembuatan mesin ekstrusi sederhana karya Dave Hakkens dan timnya. Untuk menghasilkan produk yang optimal, maka diperlukan kepastian parameter-parameter apa saja yang memberi pengaruh signifikan terhadap hasil produksi. Dari percobaan pendahuluan, diamati bahwa pemilihan parameter yang belum tepat, akan mengakibatkan bentuk produk tidak sempurna, baik dalam hal pengisian cetakan, bentuk atau tampilan.

Beberapa penelitian mengenai rancang bangun prototipe mesin ekstrusi *single screw* seperti pada Sumardi & Mawardi (2009), Irawan & Bisono (2018), dan Ugboya, Odiamenti & Aigbojie (2019), menunjukkan bahwa mesin ekstrusi *single screw* ini, banyak dikembangkan dan digunakan dalam proses pembuatan produk dari bahan daur ulang limbah plastik. Beberapa penelitian juga telah membahas mengenai parameter atau faktor yang mempengaruhi proses ekstrusi bahan plastik dengan mesin ekstrusi *single screw* ini, seperti pada Fu, Haworth, & Mascia (2016) dan Mulyana (2020). Karena mesin ekstrusi yang ada di Laboratorium Proses Produksi FTI Unpar ini berbeda rancang bangunnya dan

belum pernah dipakai untuk membuat produk dari bahan daur ulang, maka penelitian harus dilakukan untuk mendapatkan parameter dan faktor yang menghasilkan pembuatan produk yang optimal.

Berdasarkan hal tersebut, maka dirumuskan masalah yang akan diteliti, yaitu parameter-parameter apa saja dan interaksinya yang dapat mempengaruhi proses pembuatan produk hasil daur ulang limbah plastik dan berapa nilai parameter yang dapat menghasilkan produk terbaik.

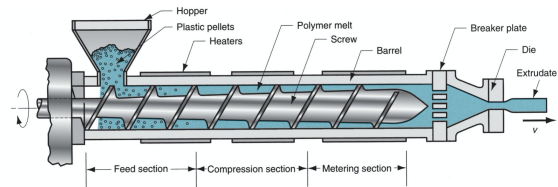
Pada penelitian ini, masalah dibatasi pada pembuatan produk hasil daur ulang limbah plastik PP dan PET. Hal ini didasarkan pada jenis limbah plastik terbanyak yang ada di lingkungan Unpar, yaitu limbah plastik PP dan PET. Mesin yang digunakan hanya mesin yang ada di Laboratorium Proses Produksi FTI Unpar dan produk hasil daur ulang merupakan produk yang berukuran kecil dengan sistem cetakan tertutup. Pengujian yang dilakukan untuk produk hasil daur ulang hanya berupa penilaian kualitas dari tiga orang expert.

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini adalah menentukan parameter-parameter dan interaksinya yang dapat mempengaruhi proses pembuatan produk hasil daur ulang limbah plastik dan menentukan nilai parameter yang dapat menghasilkan produk terbaik. Dengan mengetahui parameter-parameter tersebut dapat didesain suatu proses produksi untuk menghasilkan produk dengan performansi terbaik.

Metodologi

Tahap pertama yang dilakukan adalah pengamatan proses ekstrusi plastik yang dilakukan dengan mesin yang ada di Laboratorium Proses Produksi FTI Unpar serta pemilihan jenis bahan baku plastik yang akan digunakan.

Proses ekstrusi plastik dilakukan dengan menekan bahan dasar plastik agar mengalir melalui lubang pada cetakan menghasilkan produk kontinu yang bentuknya ditentukan oleh bentuk lubang cetakan (Groover, 2013). Mesin yang dipakai biasanya dinamakan mesin ekstrusi, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

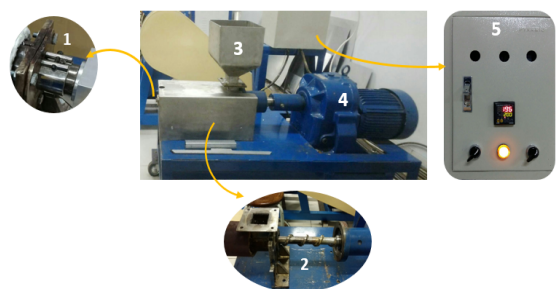


Gambar 2. Mesin ekstrusi

Komponen utama pada mesin ekstrusi adalah hopper (wadah), screw (ulir), heater (pemanas), die (cetakan), motor penggerak beserta gearbox. Hopper berfungsi sebagai tempat memasukkan bahan baku plastik, dalam penelitian ini berupa limbah plastik yang telah dicacah. Screw berfungsi untuk mendorong bahan baku plastik untuk melewati lubang pada cetakan. Pemanas digunakan untuk melelehkan bahan baku plastik dan cetakan sebagai tempat pengeluaran bahan plastik ke bentuk yang diinginkan. Screw digerakkan oleh motor penggerak dalam hal ini berupa motor listrik dan untuk mengubah putaran digunakanlah gear box.

Mesin ekstrusi plastik di Laboratorium Proses Produksi FTI Unpar tergolong pada jenis mesin ekstrusi single screw dan memiliki komponen yang lebih sederhana dibanding mesin ekstrusi standar. Konstruksi mesin ekstrusi di Laboratorium Proses Produksi FTI dapat dilihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3, komponen-komponen utama yang terdapat pada mesin extruder Laboratorium Proses Produksi terdiri atas:



Gambar 3. Mesin ekstrusi di Lab Proses Produksi FTI Unpar

1. Nozzle, yang berfungsi untuk mengatur aliran material dari barrel menuju cetakan.

2. Barrel dan Screw, yang berfungsi untuk melelehkan, mencampur, dan mendorong material plastik dari hopper menuju ke bagian nozzle.

3. Hopper, yang berfungsi sebagai wadah material plastik serta mengarahkan material menuju ke bagian barrel.

4. Motor listrik, yang berfungsi untuk mengatur kecepatan putar screw saat mencampur dan mendorong material plastik.

5. Control Panel, yang terdiri atas rangkaian listrik mesin, inverter, dan temperature controller. Inverter berfungsi untuk mengatur kecepatan motor listrik AC dengan cara mengubah frekuensi input-nya. Rentang nilai frekuensi input motor listrik berada antara 0 Hz - 50 Hz. Temperature controller berfungsi menunjukkan suhu aktual yang didapat dari hasil pembacaan suhu heater dengan menggunakan termocouple.

Bahan baku plastik yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu

a. PP (Polypropylene)

PP termasuk jenis plastik kelompok polyolefin, yaitu kelompok polimer yang terbentuk dari polimerisasi olefin (Al Ma'adeed & Krupa, 2016). Plastik jenis ini bersifat kuat, ringan, tahan panas, dan dapat menjaga kelembaban bahan yang ada di dalamnya. PP biasa digunakan sebagai kemasan makanan atau minuman seperti gelas plastik, kemasan yoghurt, dan kemasan margarin. PP dapat digunakan untuk sedotan, kaleng plastik, ember, tali dan isolasi. Plastik jenis ini aman untuk digunakan kembali dan dapat didaur ulang.

b. PET (Polyethylene Terephthalate)

PET adalah plastik yang terbentuk dari campuran ethylene glycol dan terephthalic acid yang membentuk rantai polimer. Sintesis PET terdiri dari dua langkah, yaitu esterifikasi dan polikondensasi (Scheirs, 2003). Jenis plastik ini sering digunakan sebagai tempat makanan. Hampir semua botol air mineral dan pembungkus makanan menggunakan jenis plastik ini. Jenis plastik ini hanya digunakan untuk satu kali penggunaan saja, mengingat risiko terkonsumsinya bahan plastik dan bakteri yang berkembang pada plastik tersebut. Jenis ini dapat didaur ulang tapi tidak dapat digunakan kembali sebagai tempat makanan (Groover, 2013).

Untuk tahap selanjutnya, akan dilakukan tahapan perancangan eksperimen. Menurut Hicks (1993), perancangan eksperimen adalah " teknik penelitian menggunakan metoda statistika, yang khusus mempelajari cara melakukan sebuah percobaan yang sesuai

dengan masalah yang dihadapi dengan biaya dan usaha minimum". Sedang menurut Montgomery (2012), perancangan eksperimen adalah " suatu atau serangkaian percobaan dimana terdapat sejumlah penyesuaian dilakukan terhadap variabel masukan proses atau sistem, sehingga dapat diteliti sebab-sebab perubahan pada variabel keluaran " . Hal yang dapat menyebabkan perubahan pada variabel keluaran itu selanjutnya dinamakan faktor.

Pada penelitian ini, tahapan-tahapan pada proses perancangan eksperimen mengikuti perancangan eksperimen pada Montgomery (2012) adalah sebagai berikut :

- a) Penelitian pendahuluan
- b) Penentuan respons, faktor dan level
- c) Pelaksanaan eksperimen dan pengolahan data
- d) Analisis perancangan eksperimen

Pelaksanaan eksperimen baik untuk plastik PP maupun plastik PET, menggunakan metode *completely randomized design*. Menurut Mitra (2016), *Completely Randomized Design* (CRD) merupakan sebuah desain yang paling sederhana dan tidak membatasi. Treatment diberikan secara acak terhadap unit-unit eksperimen dan setiap unit memiliki peluang yang sama untuk mendapatkan setiap jenis treatment. Pengacakan dilakukan dengan menggunakan uniform random numbers yang melambungkan kombinasi treatment yang akan dilakukan dalam eksperimen. Pada penelitian ini, ditentukan 4 treatment dengan masing-masing 3 replikasi, sehingga dibutuhkan 12 random number.

Setelah pelaksanaan eksperimen, baik untuk plastik PP maupun plastik PET, dilakukan penilaian kualitas dari tiga orang *expert* yang menguasai proses pembuatan bahan plastik. Kriteria kualitas produk hasil daur ulang plastik didapatkan dengan mengumpulkan beberapa jenis kriteria yang cocok dengan produk berdasarkan literatur (Groover, 2013; Hakim, 2016) dan hasil wawancara dengan *expert*. Sesudah didapat kriteria kualitas yang akan digunakan dalam penilaian kualitas produk dilakukan pembobotan terhadap tingkat kepentingan dari setiap kriteria. Pembobotan didapat dari hasil pengisian kuesioner oleh tiga orang penilai dengan mengisi rentang nilai antara satu sampai dengan lima. Tinggi nilai yang

diberikan menunjukkan semakin penting suatu kriteria kualitas tersebut. Hasil penilaian akan dirata-ratakan dengan asumsi bahwa ketiga orang *expert* mempunyai kemampuan dan kompetensi yang sama dalam memberi penilaian. Penilaian masing-masing *expert* menggunakan skala rasio rentang 1 sampai 10, di mana 1 menyatakan produk sangat buruk sedang 10 menyatakan produk sangat baik.

Selanjutnya, untuk plastik PP maupun PET, dilakukan uji ANOVA terhadap rata-rata penilaian kualitas untuk mengetahui pengaruh parameter atau faktor terhadap respon, dalam hal ini adalah kualitas produk. Menurut Montgomery & Runger (2013), ANOVA merupakan alat primer dalam melakukan analisis data statistik pada desain eksperimen. ANOVA dapat digunakan untuk menguji hipotesis mengenai efek atau pengaruh dari parameter-parameter beserta dengan interaksinya.

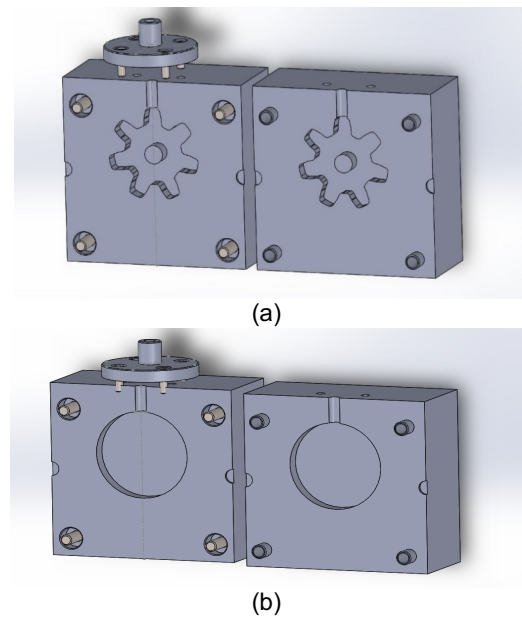
Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini, akan diuraikan hasil penelitian pada tahap penelitian pendahuluan, penentuan respons, faktor dan level, dan perancangan eksperimen.

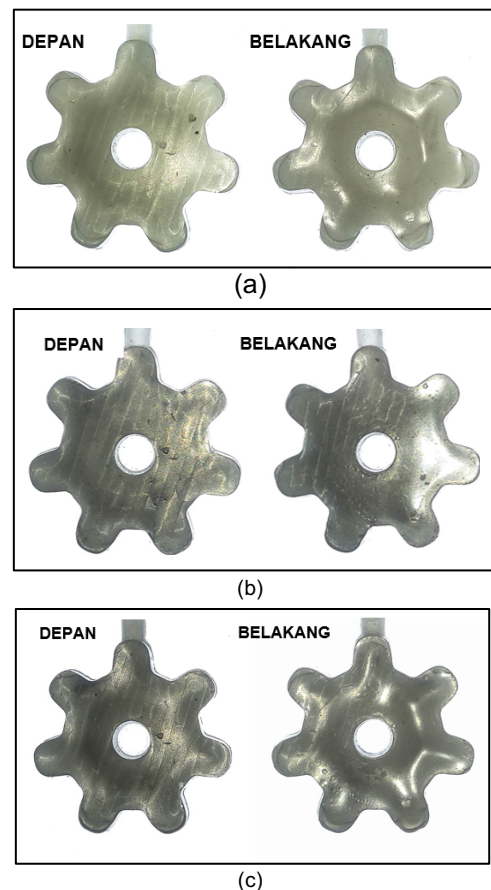
Penelitian Pendahuluan

Berdasarkan pengamatan dari tahap sebelumnya, disimpulkan bahwa temperatur barrel dan kecepatan putar screw sebagai faktor yang mungkin untuk diatur dengan rentang nilai yang jelas pada mesin ekstrusi yang ada di Lab Proses Produksi FTI Unpar. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan cetakan yang memungkinkan dilakukan untuk penelitian kali ini. Cetakan yang digunakan mempunyai dua bentuk, yaitu bentuk silinder dan gear. Bentuk silinder mewakili bentuk yang sederhana, sedangkan bentuk gear mewakili bentuk yang lebih rumit. Bentuk cetakan dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada penelitian pendahuluan ini juga, dilakukan pengujian untuk beberapa level temperatur. Untuk bahan PP dipakai cetakan dengan bentuk *gear* dilakukan mulai dari 150 °C sampai 200 °C dengan selisih antar level 10 °C. Sedang frekuensi input yang diuji mulai dari 10 Hz sampai 50 Hz dengan selisih antar level sebesar 10 Hz. Hasil produk daur ulang dari bahan PET ditunjukkan pada Gambar 5.



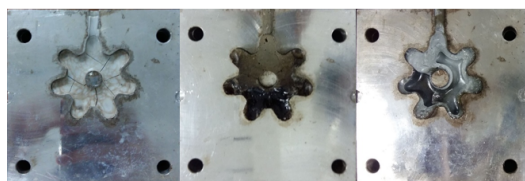
Gambar 4. Konstruksi cetakan (a) gear dan (b) silinder



Gambar 5. Produk dengan frekuensi input (a) 10 Hz (b) 20 Hz (c) 50 Hz dan temperatur barrel 170°C

Sedang untuk bahan PET dilakukan penelitian pendahuluan dengan temperatur barrel 255 °C dan 275 °C, dan frekuensi input 30 Hz, namun gagal mengisi rongga cetak secara sempurna. Oleh sebab itu dilakukan modifikasi dengan menambahkan 4 *stick*

heater, 1 unit *thermo couple* dan 1 unit *temperatur controller*. Juga dilakukan pembuatan lubang venturi dengan diameter 2,5 mm untuk mengatasi permasalahan udara yang terjebak. Selanjutnya dilakukan percobaan untuk suhu barrel 255 °C, 260 °C dan 265 °C dengan frekuensi input 30 Hz. Pada percobaan kali ini, material PET dapat masuk mengisi seluruh rongga cetak namun produk yang dihasilkan mempunyai banyak retakan dan menempel sangat kuat pada cetakan sehingga sulit untuk dikeluarkan. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 6 berikut. Akibat kondisi tersebut, maka penelitian untuk bahan PET selanjutnya difokuskan pada cetakan bentuk silinder dengan tingkat kerumitan yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan cetakan berbentuk *gear*. Beberapa percobaan awal dengan bentuk silinder ini menunjukkan jumlah bagian yang retak jauh berkurang, namun pengisian produk masih banyak yang belum sempurna, dan hasil produk mempunyai warna yang berbeda jauh dengan bahan mula-mulanya.



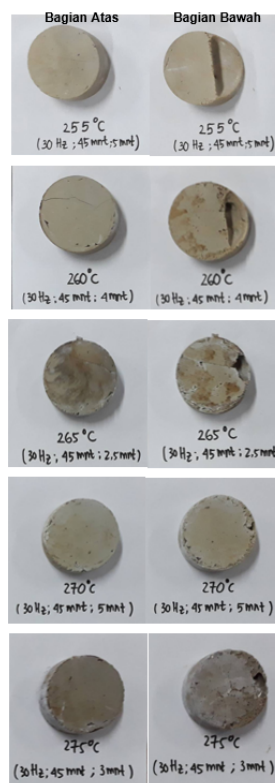
Gambar 6. Produk hasil percobaan pada suhu 255 °C, 275 °C dan 265 °C

Selanjutnya dilakukan percobaan awal untuk bahan PET dengan cetakan silinder. Temperatur *barrel* antara 255 °C sampai 275 °C dan frekuensi input dari 20 Hz sampai 50 Hz. Hasil dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.

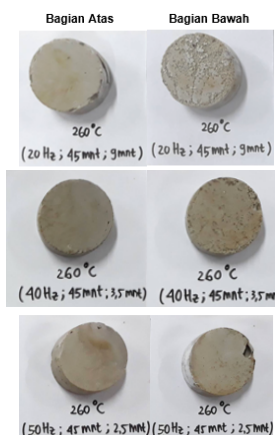
Penentuan Respons, Faktor dan Level

Dari penelitian pendahuluan untuk bahan PP dengan cetakan berbentuk *gear*, pada suhu 150 °C material plastik belum mengalir keluar dari nozzle, dan baru bisa mengisi penuh rongga cetakan pada suhu 160 °C. Pada suhu 200 °C, material masih bisa mengisi penuh rongga cetakan, namun mulai terjadi perubahan warna. Sedangkan pada percobaan pada kecepatan putar dengan frekuensi input 10 Hz, material berhasil penuh mengisi cetakan namun pada permukaan produk terdapat cekungan yang cukup dalam.

Permukaan rata mulai dihasilkan pada kecepatan putar dengan frekuensi input 20 Hz. Ketika terus ditingkatkan frekuensi inputnya, mulai 50 Hz kembali hasil produk menunjukkan permukaan yang cekung. Dari percobaan tersebut, diambil level faktor untuk temperatur *barrel* adalah 160 °C dan 190 °C, sedangkan level faktor untuk kecepatan putar adalah 20 Hz dan 40 Hz.



Gambar 7. Hasil ekstrusi bahan plastik PET pada temperatur 260 °C sampai 275 °C



Gambar 8. Hasil ekstrusi bahan plastik PET pada frekuensi input 20 Hz sampai 50 Hz

Dari hasil percobaan pendahuluan untuk bahan PET dengan cetakan silinder, material plastik akan mulai bisa mengisi penuh pada

suhu 255 °C dan pada suhu 275 °C mulai terjadi perubahan warna menjadi hitam. Sedang kecepatan putar yang sesuai antara 20 Hz sampai 50 Hz. Atas dasar hal tersebut, maka dipilih level faktor untuk temperatur *barrel* adalah 255 °C dan 270 °C, sedang frekuensi input adalah 30 Hz dan 50 Hz. level, dan perancangan eksperimen.

Dari hasil percobaan pendahuluan untuk kedua jenis plastik (PP dan PET) disimpulkan masing-masing faktor yaitu temperatur *barrel* dan kecepatan putar screw terdiri dari dua level dan percobaan dilakukan dengan 3 replikasi, sehingga total eksperimen yang dilakukan adalah 12.

Pelaksanaan Eksperimen dan Pengolahan Data Plastik PP

Hasil pelaksanaan eksperimen untuk plastik PP ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Urutan eksperimen berdasarkan hasil pengacakan (bahan PP)

Temperatur <i>barrel</i> (Celcius)	Frekuensi input (Hz)	
	20	40
160	4	1
	6	2
	11	10
	7	3
190	9	5
	12	8

Empat kriteria penilaian produk PP, hasil diskusi dari tiga orang expert, ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Kriteria penilaian kualitas produk dari bahan PP

No.	Kriteria penilaian	Bobot (%)
I	Kesempurnaan pengisian material (<i>Short-Shot</i>)	34
II	Kerataan permukaan / tidak terjadi pembentukan cekungan (<i>Sink</i>)	23
III	Kerataan pengisian / tidak terjadi pembentukan gelembung udara (<i>Air Bubble</i>)	25
IV	Kesesuaian dengan warna asli/ tidak terjadi perubahan warna (<i>Discolored Molding</i>)	18

Hasil penilaian rata-rata dari ketiga *expert* ditampilkan pada Tabel 3 dan hasil uji ANOVA ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil perhitungan rata-rata kualitas produk dari bahan PP

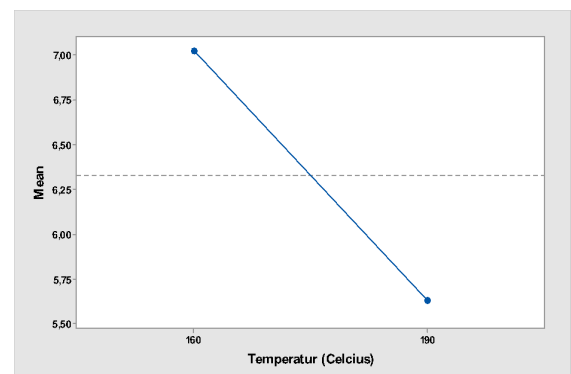
Produk	Nilai rata-rata kualitas produk
1	7,15
2	6,76
3	5,83
4	6,76
5	7,15
6	7,23
7	5,18
8	4,8
9	5,07
10	6,64
11	7,59
12	5,74

Tabel 4. Hasil uji ANOVA untuk produk PP

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperatur (Celcius)	1	5,824	5,824	13,23	0,007
Kecepatan Screw (Hz)	1	0,048	0,048	0,11	0,749
Temperatur (Celcius)* Kecepatan Screw (Hz)	1	0,662	0,662	1,51	0,255
Error	8	3,522	0,440		
Total	11	10,0			

Analisis Perancangan Eksperimen Plastik PP

Berdasarkan hasil pengujian ANOVA dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh faktor temperatur *setting barrel* terhadap nilai kualitas produk keseluruhan. Berdasarkan *Main effect Plot* pada Gambar 9, dapat dilihat bahwa pada level temperatur *barrel* 160°C, rata-rata nilai kualitas produk lebih tinggi (7,03). Dapat disimpulkan nilai parameter terbaik dari parameter temperatur *barrel* adalah 160°C.



Gambar 9. Main effects plot faktor temperatur barrel terhadap nilai kualitas produk

Pelaksanaan Eksperimen dan Pengolahan Data Plastik PET

Hasil pelaksanaan eksperimen untuk plastik PET ditunjukkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Urutan eksperimen berdasarkan hasil pengacakan (bahan PET)

No.	Temperatur <i>barrel</i> (°C)	Frekuensi <i>input</i> (Hz)
1	270	30
2	270	50
3	270	30
4	255	50
5	270	50
6	270	30
7	255	50
8	270	50
9	255	30
10	255	50
11	255	30
12	255	30

Empat kriteria penilaian produk PET, hasil diskusi dari tiga orang *expert*, ditunjukkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Kriteria penilaian kualitas produk dari bahan PET

No	Kriteria kualitas produk	Bobot (%)
1.	<i>Flow Lines</i>	16,667
2.	<i>Short Shot</i>	27,778
3.	<i>Air Bubbles</i>	22,222
4.	<i>Burn Marks</i>	18,519
5.	<i>Preform Color Failure</i>	14,815

Hasil penilaian rata-rata dari ketiga *expert* ditampilkan pada Tabel 7 dan hasil Hasil uji ANOVA ditunjukkan pada Tabel 8.

Analisis Perancangan Eksperimen Plastik PET

Berdasarkan hasil pengujian ANOVA dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh faktor temperatur *barrel* atau frekuensi input maupun interaksinya terhadap nilai kualitas produk keseluruhan. Namun hasil ini tidak mencerminkan kondisi sesungguhnya. Masalah utama pada produk dengan bahan PET ini adalah rata-rata nilai kualitas produk

yang dihasilkan dari perancangan eksperimen ini hanya berada pada kisaran nilai lima hingga enam saja. Setelah melanjutkan dengan studi literatur dan wawancara dengan *expert*, didapatkan informasi yaitu dalam pengolahan material plastik PET, terdapat dua hal yang perlu diperhatikan yaitu proses pemanasan dan pendinginan. Proses pemanasan atau pengeringan *raw material* dilakukan sebelum material memasuki *extruder*. Sedangkan untuk proses pendinginan dilakukan saat terbentuknya produk hasil cetakan silinder.

Tabel 7. Hasil perhitungan rata-rata kualitas produk dari bahan PET

Produk	Nilai rata-rata kualitas produk
1	5,673
2	5,253
3	5,793
4	6,716
5	5,741
6	5,660
7	5,154
8	6,565
9	6,586
10	6,978
11	6,006
12	6,602

Tabel 8. Hasil uji ANOVA untuk produk PET

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Temperatur	1	0.93912	0.939121	2.45	0.156
Frekuensi	1	0.00063	0.000631	0.00	0.969
Temperatur*Frekuensi	1	0.05057	0.050570	0.13	0.726
Error	8	3.06602	0.383252		
Total	11	4.05634			

Proses pendinginan secara cepat perlu dilakukan saat plastik selesai mengisi rongga cetakan. Udara tersebut ditembakkan ke bagian luar cetakan sehingga *latent heat* dapat dihentikan dengan cepat sebelum material mengalami degradasi. Jika hal tersebut tidak dilakukan, maka struktur material PET *flakes* akan terpengaruh oleh lingkungan sekitar dan menyebabkan proses *latent heat* tidak dapat dihentikan. Perlu diingat pula bahwa ketika wujud dari produk yang dihasilkan telah berubah menjadi *yellowing*, kekuningan atau

tidak transparan, maka sifat material akan mirip seperti kristal dimana produk akan menjadi sangat rapuh karena ikatan rantai polimernya menjadi lemah dan tidak seragam. Proses pendinginan dapat dilakukan dengan memberikan komponen tambahan pada mesin ekstruder yang berfungsi sebagai *chiller*. Dari kondisi tersebut, maka kegagalan yang terjadi dari produk berbahan dasar PET ini berasal dari kondisi mesin ekstrusi di Lab Proses Produksi yang belum sempurna. Masih diperlukan pengembangan alat untuk memproses daur ulang bahan PET baik di bagian penyiapan bahan baku daur ulang maupun dibagian cetakan.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa mesin ekstrusi di Laboratorium Proses Produksi FTI Unpar dapat digunakan untuk mendaur ulang bahan limbah plastik PP dan PET dengan beberapa perbaikan dan penyempurnaan.

Untuk proses ekstrusi dengan bahan limbah plastik PP, hasil daur ulang yang didapat dari mesin ekstrusi yang ada, sudah cukup baik dilihat dari segi penampilan fisik, yaitu kesempurnaan pengisian, kerataan permukaan, tidak terjadi pembentukan gelembung serta kesesuaian warna asli. Hasil uji ANOVA menunjukkan bahwa temperatur barrel akan mempengaruhi nilai kualitas produk yang dihasilkan. Nilai terbaik untuk parameter proses temperatur barrel pada mesin ekstrusi Lab Proses Produksi FTI Unpar adalah 160 °C.

Untuk proses ekstrusi dengan bahan limbah plastik PET dengan mesin yang ada, belum menghasilkan produk daur ulang yang baik. Masih dibutuhkan proses lain dan penyempurnaan mesin untuk menghasilkan produk yang baik. Proses lain berupa pemanasan bahan baku daur ulang sehingga kadar air dari bahan baku bahan PET sebelum masuk mesin ekstrusi tidak terlalu tinggi. Selain itu diperlukan juga proses pendinginan cepat saat plastik sudah mengisi seluruh rongga agar material PET tidak mengalami degradasi.

Penelitian lanjutan yang bisa dilakukan adalah pengujian kembali hasil produk daur ulang dengan bahan PET, juga untuk bahan lain seperti HDPE atau LDPE. Selain itu, dapat

pula dilanjutkan pengujian-pengujian lain, seperti uji keras, uji tarik atau uji berat jenis untuk kualitas produk daur ulang mesin ini baik dari bahan PP, PET, HDPE maupun LDPE.

Daftar Pustaka

- Al Ma'adeed, M. A. & Krupa, I. (2016). *Polyolefin Compound and Materials. Switzerland: Springer International Publishing*.
- Fu, T., Haworth, B. & Mascia, L. (2016). Analysis of Process Parameter related to the single-screw extrusion of recycled polypropylene blends by using design of experiments. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 33(2), 1-23.
- Groover, M. P. (2013). *Principles of Modern Manufacturing* (5th ed.). Singapore: John Wiley & Sons.
- Hakim, A. R. (2016). Pengaruh Suhu, Tekanan dan Waktu Pendinginan Terhadap Cacat Warpage Produk Berbahan Plastik. *Dimensi*, 5.
- Hicks, C. (1993). *Fundamentals Concepts in the Design of Experiments* (4th ed.). Florida: Saunders College Publishing.
- Irawan, D. & Bisono, R. M. (2018). Rancang Bangun Prototype Mesin Ekstrusi Polimer Single Screw. *Seminar Nasional Multidisiplin*, 13-19.
- Jambeck, J.R. , Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., ..., Law, K. L. (2015). Plastic Waste Inputs From Land Into The Ocean. *Science*, 347(6223), 768-770.
- Mitra, A. (2016). *Fundamentals of Quality Control and Improvement*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C. (2012). *Design and Analysis Experiments* (8th ed.). New York: John Wiley & Sons.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2013). *Applied Statistics and Probability for Engineers*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Mulyana, S. T. (2020). Analisis Pengaruh Temperatur pada Barel terhadap hasil ekstrusi dengan Material Daur Ulang Kulit Kabel PVC. *UG Jurnal*, 14, 19-27.
- Scheirs, J. (2003). *Modern of Polyesters : Chemistry and Technology of Polyesters and Co Polyester*. Chicester : John Wiley & Sons.

DOI: <https://doi.org/10.26593/jrsi.v11i2.5750.157-166>

Sumardi & Mawardi, I. (2009). Perancangan dan fabrikasi mesin extrusi single screw. *Jurnal Polimesin*, 7(1), 602-606.

Ugboya, A. P., Odiamenhi, A. M. & Aigbojie, O. E. (2019). The Design and Construction of

a Single Screw Extruder. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology*, 6(7), 10340-10349.