

Desain Parameter pada Proses *Reciprocating Blow Molding* untuk Penentuan Berat Produk Botol 190 ml

Dika Galang R.W¹, Moh. Hartono^{2*}

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang

²Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No.9 Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

Corresponding author: moh.hartono@polinema.ac.id; dikawardoyo2001@gmail.com

Abstract

The plastic molding industry needs to have a way to cut production costs without compromising on quality. Therefore, the right parameters are needed so that the product quality remains within specifications. One way is to use regrind materials, which are recycled materials from unused plastic molding product components. This material provides added value to the industry because it can save production costs. In addition, shotsize is a parameter used in reciprocating blow molding machines. The main objective of this study is to determine the effect, interaction between variables and optimization of the combination of regrind material and shotsize on product weight in reciprocating blow molding machines. This study used the design of experiments (DOE) method with a response surface methodology (RSM) approach to evaluate and model the effect of the two variables on product weight. The regrind composition parameter variations used were 18%, 20%, and 22% and shotsize variations of 3.5 inch, 3.55 inch, and 3.6 inch. Each research variable was repeated five times. The results showed that regrind composition and shotsize had a significant effect on product weight. The higher the regrind composition, the greater the weight of the product produced, while an increase in shotsize value results in a decrease in product weight. The optimization results for the target product weight of 11.55 grams show that the optimal parameters for regrind composition are 20% and shotsize of 3.59 inches, the optimized parameters can be used as recommendations in the production process.

Keywords: optimization, product weight, reciprocating blow molding, regrind, shotsize

Abstrak

Industri cetak plastik perlu memiliki cara untuk memangkas biaya produksi tanpa mengurangi kualitas. Oleh karena itu, diperlukan parameter yang tepat agar kualitas produk tetap sesuai spesifikasi. Salah satu caranya adalah dengan menggunakan material *regrind*, yaitu material hasil cacahan ulang dari komponen produk cetak plastik yang tidak terpakai. Material ini memberikan nilai tambah bagi industri karena dapat menghemat biaya produksi. Selain itu, *shotsize* adalah parameter yang digunakan dalam mesin *reciprocating blow molding*. Tujuan utama penelitian ini untuk mengetahui pengaruh, interaksi antar variabel dan optimasi kombinasi material *regrind* serta *shotsize* terhadap berat produk pada mesin *reciprocating blow molding*. Penelitian ini menggunakan metode design of experiments (DOE) dengan pendekatan response surface methodology (RSM) untuk mengevaluasi dan memodelkan pengaruh kedua variabel tersebut terhadap berat produk, variasi parameter komposisi *regrind* yang digunakan adalah 18%, 20%, dan 22% serta variasi *shotsize* 3,5 inch, 3,55 inch, dan 3,6 inch. Setiap variabel penelitian dilakukan lima kali pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi *regrind* dan *shotsize* berpengaruh signifikan terhadap berat produk. Semakin tinggi komposisi *regrind*, semakin besar berat produk yang dihasilkan, sedangkan peningkatan nilai *shotsize* mengakibatkan penurunan berat produk. Hasil optimasi untuk target berat produk 11,55 gram menunjukkan bahwa parameter yang optimal untuk komposisi *regrind* adalah 20 % dan *shotsize* 3,59 inch, parameter hasil optimasi dapat digunakan sebagai rekomendasi pada proses produksi.

Kata kunci: berat produk, optimasi, *reciprocating blow molding*, *regrind*, *shotsize*

1. Pendahuluan

Penggunaan plastik meningkat pesat, dengan produksi global mencapai 400 juta ton pada 2020. Plastik populer karena bentuknya yang fleksibel, kuat, ringan,

tahan air, dan tahan lama, tetapi sulit terurai alami, menyebabkan polusi tinggi. Daur ulang plastik menjadi solusi efektif untuk mengurangi limbah dan biaya [1], [2].

Dalam industri plastik, metode seperti Injection Molding dan Blow

Molding umum digunakan, namun limbah produksi menjadi tantangan. Inovasi dalam daur ulang plastik menggunakan mesin modern kini memungkinkan pengolahan limbah produksi menjadi bahan baku yang dapat digunakan kembali[3]

Penelitian ini menggunakan mesin Reciprocating Blow Molding (RBM), kombinasi antara extrusion blow molding untuk membentuk parison dan injection molding untuk memberikan tekan pada lelehan plastik[4]. Dalam RBM, shotsize mengatur jarak mundur screw sebelum maju, yang penting untuk efisiensi dan kualitas proses. Shotsize yang tepat menghindari pemborosan material dan biaya produksi tinggi, serta memastikan produk sesuai spesifikasi[5], [6], [7]. Produk RBM terbuat dari HDPE, menggunakan kombinasi material murni dan regrind untuk mengurangi biaya produksi[8].

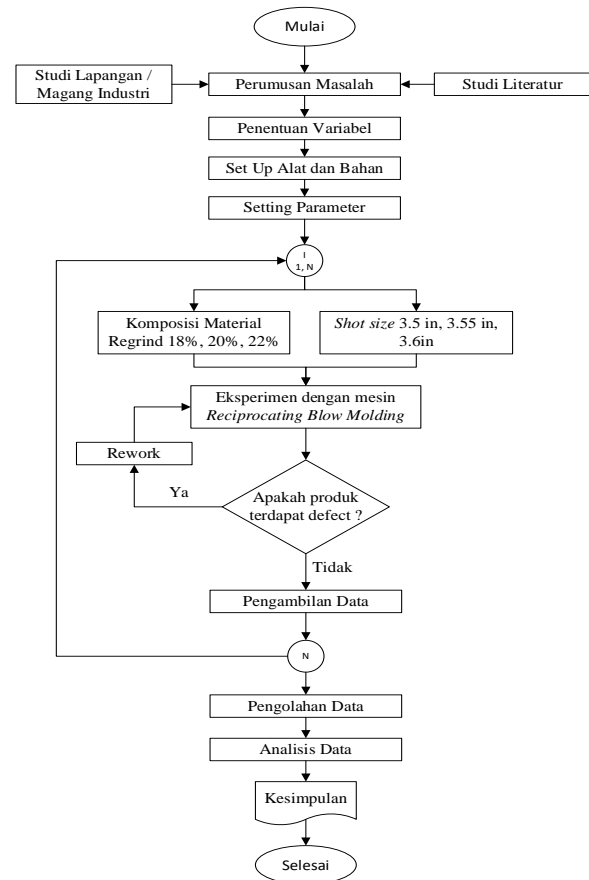
Optimalisasi dalam industri plastik penting untuk efisiensi dan kualitas produk[9]. Parameter mesin dan penggunaan material yang tepat, serta fokus pada kualitas produk merupakan aspek penting dari optimalisasi. Penelitian ini adalah kolaborasi antara Politeknik Negeri Malang dan industri, bertujuan untuk meningkatkan pendidikan dan pengembangan sumber daya manusia di Indonesia. Dengan judul “Desain Parameter pada Proses *Reciprocating Blow Molding* untuk Penentuan Berat Produk Botol 190 ml” penelitian ini menarik untuk diteliti.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini berjenis kuantitatif menggunakan metode eksperimen, respons surface methodology (RSM) dipilih untuk mencari dan mengetahui juga untuk menentukan optimasi dari variabel bebas terhadap variabel tetap. Diagram alir penelitian ditampilkan Gambar 1.

Waktu penelitian dilakukan pada bulan Februari 2024 – April 2024 di PT.X yang berlokasi di Cikarang, Jawa Barat. PT.X merupakan perusahaan manufaktur cetak plastik skala nasional yang

memproduksi bermacam produk menggunakan berbagai teknik cetak.



Gambar 1. Diagram alir

Material yang digunakan dalam penelitian ini ialah plastik HDPE dan regrind HDPE yang merupakan material daur ulang dari sisa potongan produk. Tidak hanya itu, regrind terdiri dari produk yang tidak lolos spesifikasi industri untuk dipasarkan. Keunggulan plastik HPDE adalah sifat awet, mudah dibentuk dan tahan terhadap bahan kimia, sehingga produk berbahan ini banyak dijumpai di kehidupan sehari – hari seperti botol susu, wadah detergen dll[10]. Namun dampak penggunaan plastik ini sangat besar karena material ini sulit terurai secara alami, dengan itu banyak industri yang memanfaatkan limbah ini untuk digunakan kembali menjadi sebuah produk[4].

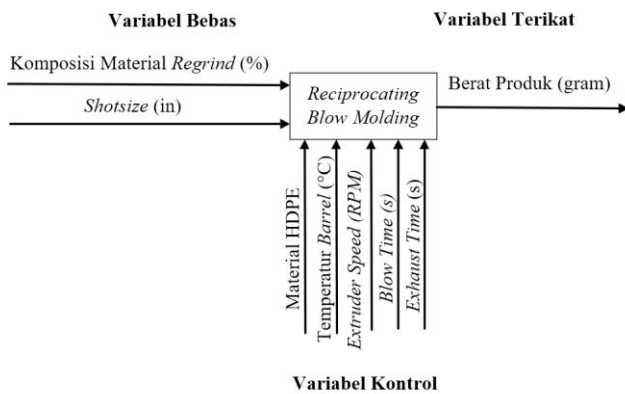
Penelitian ini memiliki dua variabel bebas yaitu komposisi regrind dan jarak shotsize, kedua variabel tersebut memiliki tiga level faktor untuk mengamati efek variabel tersebut kepada variabel bebas.

Pemilihan variabel regrind dan shotsize ini memiliki latar belakang bahwa peneliti pernah melakukan operasional produksi menggunakan mesin reciprocating blow molding dan juga adanya dugaan bahwa kedua variabel tersebut dapat mempengaruhi berat produk.

Tabel 1. Parameter setting yang diujikan

No	Parameter	Nilai
1	Komposisi regrind HDPE dengan HDPE murni	18%-82% 20%-80% 22%-78%
		3,5 in
	2	Shotsize

Variabel kontrol juga menjadi batasan yang ditetapkan dan tidak dirubah selama pengambilan data, ini guna melihat pengaruh dari kedua variabel bebas.



Gambar 2. Kerangka Konsep Penelitian

Berat botol pada penelitian ini berkisar antara 11 gram hingga 12 gram, berat tersebut merupakan standart spesifikasi yang telah ditetapkan pada industri tempat penelitian.



Gambar 3. Botol 190ml

Pengambilan data dimulai dengan :

1. Menyalakan seluruh utility pendukung produksi.
2. Memastikan bahwa utility berfungsi secara normal
3. Menyalakan mesin reciprocating blow molding serta set up suhu barrel di angka 100°C
4. Apabila suhu telah tercapai set point, selanjutnya menaikkan suhu barrel kepada suhu kerja yaitu 208°C pada zona pemakanan, 214°C pada zona transisi, dan 210°C pada zona metering.
5. Proses selanjutnya adalah membuang resin yang berada dibarrel, ini berfungsi untuk membuang udara yang terjebak pada barrel dan meminimalisir kerak sisa pemanasan plastik.
6. Mesin siap untuk di jalankan dan untuk pengambilan data sesuai yang telah ditentukan pada variabel penelitian.



Gambar 4. Pemeriksaan *Utility (Chiller)*



Gambar 5. Pengoperasian Mesin *Reciprocating Blow Molding*

Pengambilan data pada setiap kombinasi variabel bebas dilakukan pada cavity 17 – 20 dengan pengulangan lima kali, sehingga jumlah sampel data yang diperoleh sebanyak 180.

Data yang telah diperoleh kemudian di analisis menggunakan metode RSM dan mencari parameter optimal dari variabel. Adapun beberapa tahapan analisis data, antara lain :

- a. Uji Kecukupan Data
- b. Uji Distribusi Data
- c. Uji Anova
- d. Persamaan Regresi
- e. Contour Plot dan Surface Plot
- f. Optimasi Desain RSM

Analisis data menggunakan software minitab 20 untuk mengetahui interpretasi data penelitian.

Tabel 2. Hasil Pengambilan data

Cav	Regri nd	Shotsi ze	Pengulangan					Avg(g r)
			1	2	3	4	5	
17	18	3,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,64
			4	4	5	3	4	
		3,55	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,63
		3	2	4	3	4		
		3,6	11,5	11,5	11,5	11,4	11,4	11,50
			0	0	2	9	7	
	20	3,5	11,4	11,4	11,4	11,4	11,5	11,49
			7	9	9	9	0	
		3,55	11,3	11,4	11,3	11,3	11,3	11,38
	7	0	6	7	9			
	3,6	11,3	11,3	11,3	11,3	11,3	11,33	
	2	7	4	4	0	1		
22	3,5	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,86	
		6	5	6	7	7		
	3,55	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,85	
		5	5	6	4	3		
	3,6	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,81	
		2	2	1	1	1		
18	18	3,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,64
			4	5	5	3	4	
		3,55	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,58
		9	7	8	7	7		
		3,6	11,5	11,5	11,4	11,5	11,5	11,50
		0	0	9	1	0		
	20	3,5	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,77
			8	6	6	8	9	
		3,55	11,8	11,7	11,8	11,8	11,8	11,80
	0	9	0	0	0			
	3,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,65	
	5	6	6	5	5			
22	3,5	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,81	
		0	1	1	0	3		
	3,55	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,75	
		5	7	7	3	3		
	3,6	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,71	
		3	3	1	0	0		
19	18	3,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,65
			6	5	4	4	4	
		3,55	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,51
		2	0	1	1	0		
		3,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,62
		1	3	2	3	3		
	20	3,5	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,71
			1	1	2	0	1	
		3,55	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,67
	8	7	7	6	7			
	3,6	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,52	
	2	2	2	1	2			
22	3,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,59	
		8	8	9	9	9		
	3,55	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,54	
		4	5	4	4	3		
	3,6	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,48	
		8	9	8	8	7		
20	18	3,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,66
			6	5	5	6	6	
		3,55	11,7	11,7	11,7	11,7	11,2	11,63
		3	3	3	2	4		
		3,6	11,7	11,6	11,7	11,7	11,7	11,70
		0	9	0	0	0		
	20	3,5	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,72
			2	2	1	2	2	
		3,55	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,64
	5	3	4	5	4			
	3,6	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,54	
	5	5	4	4	4			
22	3,5	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,61	
		2	0	0	1	1		
	3,55	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,57	
	7	7	8	8	7			
	3,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,60	
	0	1	0	0	1			

3. Hasil dan Pembahasan

Adapun hasil yang didapatkan dalam penelitian ini antara lain:

a. Uji Kecukupan data

Uji kecukupan data adalah proses untuk menentukan apakah data yang dikumpulkan dalam sebuah penelitian atau eksperimen sudah cukup untuk memberikan kesimpulan yang valid dan dapat diandalkan. Uji ini bertujuan untuk memastikan bahwa jumlah dan kualitas data yang diperoleh memenuhi syarat untuk analisis statistik yang diinginkan.

Uji kecukupan data memiliki derajat ketelitian sebesar 5% dan tingkat keyakinan 95%, sehingga $k=2$ dengan artian bahwa 95% percaya bahwa data yang telah diambil akan mempunyai error maksimal sebesar 5%. Berikut adalah hasil uji kecukupan data:

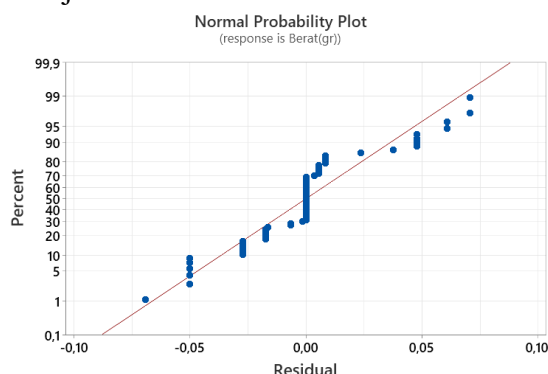
$$N' = \left[\frac{k/s \sqrt{(N \sum X^2) - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \quad (1)$$

$$N' = \left[\frac{2/0,05 \sqrt{4382010,23 - 4333141,82}}{2081,62} \right]^2$$

$$N' = 18,04$$

Berdasarkan hasil dari uji diatas adalah nilai N' tersebut jauh dibawah jumlah pengambilan data (N). Dapat disimpulkan bahwa $N' < N$, sehingga syarat uji kecukupan data telah terpenuhi.

b. Uji Distribusi Data



Grafik 6. Normal Probability Plot

Gambar 6. *Normal probability plot* menunjukkan bahwa data penelitian ini terdistribusi secara normal. Titik-titik pada grafik mendekati garis normal, meskipun beberapa titik menjauhi garis. Namun, sebagian besar titik masih dekat dengan garis, menunjukkan bahwa data hampir terdistribusi secara normal, sesuai dengan syarat statistik bahwa data harus terdistribusi normal.

c. Uji Anova

Tabel 3. Tabel *Anova*

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0,215903	0,043181	49,05	0,000
Linear	2	0,202327	0,101163	114,91	0,000
Regrind (%)	1	0,050255	0,050255	57,08	0,000
Shotsize (in)	1	0,152072	0,152072	172,73	0,000
Square	2	0,012596	0,006298	7,15	0,002
Regrind (%) *Regrind (%)	1	0,006576	0,006576	7,47	0,008
Shotsize (in) *Shotsize (in)	1	0,004402	0,004402	5,00	0,029
2-Way Interaction	1	0,000980	0,000980	1,11	0,296
Regrind (%) *Shotsize (in)	1	0,000980	0,000980	1,11	0,296
Error	59	0,051943	0,000880		
Lack-of-Fit	3	0,036183	0,012061	42,86	0,000
Pure Error	56	0,015760	0,000281		
Total	64	0,267846			

Penelitian ini menggunakan nilai alpha sebesar 0,05 atau 5%, nilai 0,05 merupakan batas maksimum kesalahan yang dapat diterima. Pada Tabel 3. nilai P-Value dari variabel regrind sebesar 0,000 atau $<0,05$ sehingga variabel bebas komposisi regrind berpengaruh terhadap berat produk hasil cetak plastik, variabel shotsize memiliki nilai P-Value sebesar 0,000 atau $<0,05$ sehingga variabel jarak shotsize berpengaruh terhadap berat produk hasil cetak plastik. Dari model 2-way interaction antara regrind dan shotsize tidak mempunyai interaksi karena nilai P-value interaksi tersebut sebesar 0,296 atau $>0,05$. Dapat

disimpulkan bahwa variabel komposisi regrind dan jarak shotsize berpengaruh signifikan terhadap berat produk hasil cetak plastik.

Berikut adalah model summary dari hasil analisis.

Tabel 4. Tabel Model Summary

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0296716	80,61%	78,96%	74,67%

Tabel 4. merupakan tabel yang menunjukkan pengaruh kedua variabel bebas terhadap berat produk dalam bentuk presentase, nilai R-sq atau koefisien determinasi sebesar 80,61% mendeskripsikan bahwa variabel berat produk dipengaruhi oleh variabel bebas dan sisanya 19,39% merupakan variabel yang tidak bisa dijelaskan oleh model. Ini dapat terjadi karena adanya error yang tidak diketahui dan jarak antar level faktor dari variabel bebas terlalu kecil.

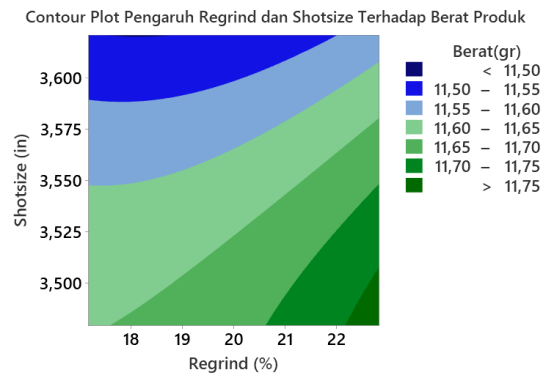
d. Persamaan Regresi

Persamaan regresi berfungsi untuk memprediksi dan dapat mencari kombinasi optimal dari variabel berat produk.

$$\text{Berat(gr)} = -44,7 + 0,129 \text{ Regrind (\%)} + 32,1 \text{ Shotsize (in)} + 0,00344 \text{ Regrind (\%)*Regrind (\%)} - 4,50 \text{ Shotsize (in)*Shotsize (in)} - 0,0700 \text{ Regrind (\%)*Shotsize (in)}$$

e. Contour Plot dan Surface Plot

Grafik contour plot merupakan grafik yang mempresentasikan sebuah grafik dari permukaan tiga dimensi yang ditampilkan pada bidang dua dimensi, tujuan grafik ini adalah untuk mendeskripsikan pengaruh dari variabel komposisi regrind dan jarak shotsize melalui warna yang berbeda.

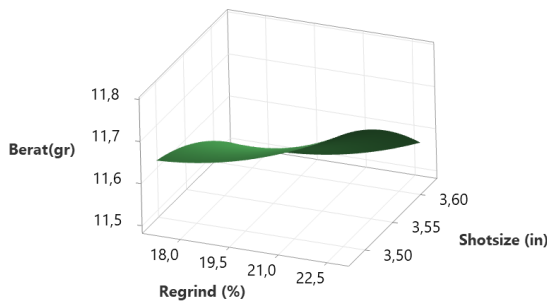


Grafik 7. Contour Plot

Grafik pada Gambar 7. diatas memiliki lima gradasi warna mulai dari hijau muda di posisi kiri atas hingga hijau tua di posisi kanan bawah, garis horizontal mewakili variabel regrind dan garis vertikal mewakili variabel shotsize. Titik hitam yang berada di area hijau muda menunjukkan kombinasi komposisi regrind dan shotsize yang memiliki berat produk rendah, sedangkan titik hitam yang berada di area hijau tua merupakan kombinasi komposisi regrind dan jarak shotsize yang menghasilkan berat produk yang tinggi.

Grafik contour plot menunjukkan bahwa komposisi regrind 20% dan shotsize 3,63 in menghasilkan nilai berat produk sebesar 11,49 gram dan komposisi regrind 22% dengan shotsize 3,5 in menghasilkan berat produk sebesar 11,71 gram.

Grafik surface plot adalah grafik tiga dimensi yang memvisualisasikan pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat, besarnya pengaruh dari variabel bebas akan ditunjukkan dengan sebuah bidang mengikuti nilai besaran tersebut. Dalam metode RSM, grafik ini membantu peneliti untuk menganalisis dan memperkirakan titik koordinat mana yang dapat digunakan sebagai parameter kombinasi untuk mencari nilai optimasi



Gambar 8. Surface Plot

f. Optimasi Desain RSM

Optimasi berfungsi untuk mencari kombinasi parameter dengan mengacu pada nilai variabel terikat yang optimal, umumnya optimasi sering digunakan untuk memaksimalkan dan meminimalkan variabel terikat. Pada kasus tertentu, optimasi dapat disesuaikan dengan nilai variabel terikat untuk mencari sebuah kombinasi dari variabel bebas yang sesuai dengan nilai variabel terikat yang telah ditentukan.

Dalam penelitian ini, optimasi dilakukan dengan menyesuaikan berat produk untuk menemukan kombinasi parameter komposisi regrind dan shotsize.

Tabel 5. Paramater Optimasi Berat Produk

Parameters		Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Berat(gr)	Target	11	11,55	12	1	1		

Tabel diatas merupakan tabel panduan untuk menentukan parameter optimal regrind dan shotsize dalam mencapai target berat yang telah ditentukan sebesar 11,55 gram.

Tabel 6. Hasil Optimasi Desain RSM

Solution

Solution	Regrind (%)	Shotsize (in)	Berat(gr) Fit	Composite Desirability
1	20	3,59826	11,5500	1,00000

Tabel diatas merupakan hasil analisis dari desain optimasi RSM, ditemukan

bahwa nilai parameter optimal untuk mencapai berat 11,55 gram adalah kombinasi komposisi regrind 20% dan shotsize 3,59 in dengan ketebalan produk sebesar 0,5785 mm [11].

Dari hasil analisis di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai komposisi regrind akan menghasilkan berat produk yang ikut tinggi, ini diakibatkan karena material regrind hdpe memiliki titik leleh yang berbeda dengan HDPE murni [12]. Sehingga pada proses pelelehan terjadi pencampuran yang tidak merata dan perbedaan kepadatan yang terjadi pada barrel extruder [13]. Nilai berat botol semakin berkurang seiring naiknya nilai shosize, ini diakibatkan oleh jumlah material yang dikeluarkan extruder terlalu banyak yang menimbulkan parison terlalu panjang dan titik ketebalan parison yang telah diatur pada mesin menjadi berubah[11]. Tidak hanya itu, Melt Flow Indeks (MFI) berpengaruh pada berat produk karena nilai MFI material regrind HDPE lebih tinggi 0,01 – 0,03 g/10min[14]. Ini dimaksud bahwa keluarnya lelehan plastik dengan komposisi regrind yang tinggi akan menambah berat produk jika dibandingkan dengan menggunakan material murni saja [15].

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa komposisi material regrind dan jarak shotsize dapat mempengaruhi berat produk, komposisi regrind yang tinggi menghasilkan berat produk yang tinggi juga. Selain itu, bertambahnya nilai shotsize dapat mengurangi berat produk. Hasil dari optimasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa parameter komposisi regrind 20% dan shotsize 3,59 dapat memenuhi nilai target optimasi yang telah ditentukan yaitu 11,55 gram.

Referensi

[1] Admin, “Mesin Pencacah Plastik: Solusi Inovatif untuk Pengelolaan Limbah Plastik,” <https://mesin.uma.ac.id/>.

- Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <https://mesin.uma.ac.id/2023/11/29/mesin-pencacah-plastik-solusi-inovatif-untuk-pengelolaan-limbah-plastik/>
- [2] N. Naurah, "Indonesia Masuk Jajaran Negara dengan Polusi Sampah Plastik di Laut Terbesar," goodstats.id. Accessed: Jan. 07, 2024. [Online]. Available: <https://data.goodstats.id/statistic/gam-mashafina/indonesia-masuk-10-besar-negara-dengan-buangan-sampah-plastik-ke-laut-terbanyak-pada-2021-Wz1MV#:~:text=Dilansir%20World%20Population%20Review%2C%20data,plastik%20ke%20laut%20palin%20banyak.>
- [3] S. M. Abukasim, F. Zuhria, and Z. Saing, "Alternative management of plastic waste," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1517/1/012041.
- [4] Chanda Manas, *Plastics Technology Handbook Fifth Edition*, Fifth edition. Taylor & Francis Group, LLC, 2018.
- [5] B. V. Pierre G. Lafleur, *Polymer Extrusion*. ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- [6] H. F. Giles, J. R. Wagner, and E. M. Mount, *Extrusion: the definitive processing guide and handbook*. William Andrew Pub, 2005.
- [7] Norman C. Lee, *BLOW MOLDING DESIGN GUIDE*, 2nd edition. Hanser Publications, 2008.
- [8] G. M. Mamoor, W. Shahid, A. Mushtaq, U. Amjad, and U. Mehmood, "RECYCLING OF MIXED PLASTICS WASTE CONTAINING POLYETHYLENE, POLYVINYLCHLORIDE AND POLYETHYLENE TEREPHTHALATE," 2013.
- [9] M. D. C. , A. C. M. Myers Raymond H., *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY*, Third edition. John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [10] T. Oladimeji Azeez, "Thermoplastic Recycling: Properties, Modifications, and Applications." [Online]. Available: www.intechopen.com
- [11] S. Suraya, M. D. Azman, N. Fatchurrohman, A. A. Jaafar, and A. R. Yusoff, "Simulation on the Effect of Bottle Wall Thickness Distribution using Blow Moulding Technique," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2016. doi: 10.1088/1757-899X/114/1/012004.
- [12] N. N. Aisa, R. Setiawan, D. Wicaksono, E. Dimas, and A. Affiliations, "The Effect of Recycling Frequency on the Melt Flow Rate of Polypropylene Materials."
- [13] B. I. S. Murat, M. S. Kamalruzaman, M. H. N. Azman, and M. F. Misroh, "Assessment of Mechanical Properties of Recycled HDPE and LDPE Plastic Wastes," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Nov. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/957/1/012046.
- [14] A. Thakur, W. : Wwww, and T. Amare, "Melt Flow Rate Study of Recycled High Density Polyethylene A Review on Lean Manufacturing Implementation Techniques: A Conceptual Model of Lean Manufacturing Dimensions View project Optimization View project International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Melt Flow Rate Study of Recycled High Density Polyethylene," 2008. [Online]. Available: www.ijetae.com
- [15] Harper Charles A., *HANDBOOK OF PLASTIC PROCESSES*, vol. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2006.