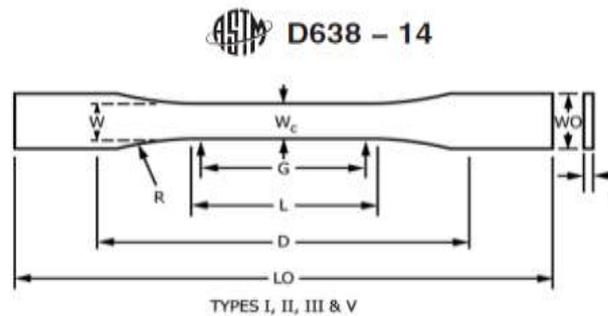


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian Uji Tarik

Pengujian uji tarik merupakan salah satu metode penting dalam analisis sifat mekanik material, khususnya untuk mengetahui kekuatan tarik, regangan, dan modulus elastisitas. Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian uji tarik pada material daur ulang dan murni yaitu LDPE, HDPE, dan PP, Dalam penelitian ini, standar yang digunakan untuk pengujian tarik adalah ASTM D638 Tipe I yang dapat dilihat pada gambar dan tabel yang ada dibawah ini.



Gambar 4.1 Spesimen Uji Tarik ASTM D638 Tipe I

Tabel 4.1 *Specimen Dimensions for Thickness ASTM D638 Type I*

<i>Dimensions Type I</i>	
W -Width of narrow section	13 mm
L - Length of narrow section	57 mm
WO -Width overall	19 mm
LO -Length Overall	165 mm
G -Gage Length	50 mm
D -Distance Between grips	115 mm
R -Radius of fillet	76 mm
T - Thick	3,2 mm

Pengujian ini merupakan langkah dalam menilai kualitas material yang dirancang untuk aplikasi batang plastik. Dengan menganalisis perilaku material terhadap gaya tarik, kita dapat memahami bagaimana variasi dalam komposisi material memengaruhi sifat mekanik yang diinginkan, seperti kekuatan dan elastisitas. Dibagian ini, akan dilakukan perbandingan hasil pengujian sifat mekanik antara material plastik daur ulang yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ldpe, hdpe, dan pp dengan jenis plastik murni yang sama yaitu ldpe, hdpe, dan pp, sebagai acuan. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi perbedaan dalam kinerja mekanik, terutama dalam hal kekuatan tarik, yang dapat memberikan wawasan mengenai potensi dan batasan dari paduan plastik daur ulang dibandingkan dengan material plastik murni.

adapun hasil dari perhitungan uji tarik yaitu pada lampiran 1 yang akan disajikan dalam sub bab 4.1.1 dan 4.1.2. Meliputi tegangan tarik max (mpa), regangan (%), modulus elastisitas (mpa) yaitu sebagai berikut:

4.1.1 Perbandingan Hasil Uji Tarik Non Paduan Plastik Murni dan Daur Ulang

Berikut disajikan data perbandingan antara plastik daur ulang PP, HDPE, dan LDPE dengan material plastik LDPE, HDPE, dan PP murni.

1. Perbandingan hasil uji tarik LDPE murni dan LDPE daur ulang

A. Perbandingan hasil uji tarik LDPE murni dengan LDPE daur ulang temperatur 190°C

Tabel 4.2 Perbandingan Hasil Uji Tarik LDPE Murni 190°C & Daur Ulang Temperatur 190°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
LDPE Murni 190°C	22.16	48.54	78.65
LDPE DU 190°C	15.25	28.07	101.7

Berdasarkan hasil uji tarik pada temperatur 190°C, LDPE murni menunjukkan nilai tegangan tarik maksimum dan regangan yang lebih tinggi dibandingkan dengan LDPE daur ulang. Tegangan tarik maksimum LDPE murni mencapai 22,16 MPa, sedangkan LDPE daur ulang hanya 15,25 MPa. Nilai regangan LDPE murni sebesar 48,54%, jauh lebih tinggi dibandingkan LDPE daur ulang yang hanya 28,07%. Hal ini disebabkan karena LDPE murni memiliki struktur rantai polimer yang masih utuh dan homogen, tanpa mengalami kerusakan akibat proses termal atau kontaminasi. Struktur yang masih murni ini memungkinkan LDPE murni meregang lebih panjang dan menahan gaya tarik lebih besar sebelum mengalami kerusakan, Sementara itu, nilai modulus elastisitas LDPE daur ulang lebih tinggi, yaitu 101,73 MPa, dibandingkan LDPE murni yang hanya 78,65 MPa. Nilai modulus elastisitas yang lebih tinggi menunjukkan bahwa LDPE daur ulang lebih kaku. Kekakuan ini terjadi akibat proses daur ulang yang menyebabkan pemutusan rantai polimer sehingga struktur material menjadi lebih pendek dan kaku. Selain itu, LDPE daur ulang juga mengandung kontaminan atau campuran material lain dari hasil daur ulang sebelumnya, yang membuat material tersebut kehilangan elastisitas dan menjadi lebih keras.

B. Perbandingan hasil uji tarik LDPE murni dengan LDPE daur ulang temperatur 200°C

Tabel 4.3 Perbandingan Hasil Uji Tarik LDPE Murni 200°C & Daur Ulang Temperatur 200°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
LDPE Murni 200°C	16.60	29.82	134.75
LDPE DU 200°C	12.30	15.79	117.90

Pada temperatur 200°C, LDPE murni menunjukkan hasil uji tarik yang lebih baik dibandingkan LDPE daur ulang. Nilai tegangan tarik maksimum LDPE murni adalah 16,6 MPa, sedangkan LDPE daur ulang hanya 12,3 MPa. Begitu juga pada nilai regangan, LDPE murni mencapai 29,82%, lebih besar dari LDPE daur ulang yang hanya 15,79%. Hal ini terjadi karena LDPE murni masih memiliki struktur molekul yang rapi dan tidak rusak. Rantai polimer pada LDPE murni masih panjang dan kuat, sehingga mampu menahan gaya tarik lebih besar dan bisa meregang lebih panjang sebelum patah. Selain itu, nilai modulus elastisitas LDPE murni juga lebih tinggi, yaitu 134,75 MPa dibandingkan LDPE daur ulang sebesar 117,9 MPa. Modulus elastisitas yang tinggi menunjukkan bahwa LDPE murni lebih kaku dan mampu menahan deformasi saat mulai ditarik. LDPE daur ulang memiliki struktur yang sudah rusak akibat proses daur ulang, seperti terkena panas berulang dan tercampur bahan lain, sehingga kekuatan dan elastisitasnya menurun. Struktur yang tidak utuh membuat LDPE daur ulang lebih mudah rusak saat diuji tarik.

2. Perbandingan hasil uji tarik HDPE murni dan HDPE daur ulang

A. Perbandingan hasil uji tarik HDPE murni dengan HDPE daur ulang temperatur 190°C

Tabel 4.6 Perbandingan Hasil Uji Tarik HDPE Murni 190°C & Daur Ulang Temperatur 190°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
HDPE Murni 190°C	37.64	73.69	142.48
HDPE DU 190°C	32.90	54.97	142.01

Hasil pengujian mekanik menunjukkan bahwa tegangan tarik maksimum pada HDPE murni mencapai 37,64 MPa. Sementara itu, pada HDPE DU, tegangan tarik maksimum mengalami penurunan menjadi 32,90 MPa, dengan penurunan sekitar 12,6%. Selain itu, regangan pada HDPE murni tercatat sebesar 73,69%, namun setelah melalui proses daur ulang, regangan pada HDPE DU menurun menjadi 54,97%, yang menunjukkan adanya penurunan sebesar 25,4%. Pada modulus elastisitas, HDPE murni memiliki nilai sebesar 142,48 MPa. Setelah didaur ulang, modulus elastisitas pada HDPE DU sedikit menurun menjadi 142,01 MPa, dengan penurunan yang sangat kecil sekitar 0,3%. Hal ini menunjukkan bahwa proses daur ulang tidak memberikan perubahan signifikan pada kekakuan material. Dimana proses daur ulang menyebabkan penurunan tegangan tarik maksimum dan regangan pada HDPE, yang mengindikasikan berkurangnya kekuatan dan elastisitas material. Namun, modulus elastisitas tetap hampir sama, menunjukkan bahwa kekakuan material tidak mengalami perubahan yang berarti setelah didaur ulang.

B. Perbandingan hasil uji tarik HDPE murni 200°C dengan HDPE daur ulang temperatur 200°C

Tabel 4.7 Perbandingan Hasil Uji Tarik HDPE Murni 200°C & Daur Ulang Temperatur 200°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
HDPE Murni 200°C	33.42	68.42	281.17
HDPE DU 200°C	31.39	73.68	172.85

Berdasarkan hasil uji tarik pada HDPE murni dan HDPE daur ulang (DU) pada suhu 200°C, terlihat bahwa nilai tegangan

tarik maksimum HDPE murni lebih tinggi, yaitu 33,42 MPa, sedangkan HDPE daur ulang hanya 31,39 MPa. Hal ini terjadi karena HDPE murni masih dalam kondisi asli dan belum mengalami kerusakan akibat proses daur ulang, sehingga plastiknya lebih kuat saat ditarik. Sementara itu, HDPE daur ulang sudah pernah digunakan sebelumnya, lalu dipanaskan dan dicetak ulang. Proses ini membuat kualitas plastik menurun karena bagian-bagian kecil penyusun plastiknya sudah tidak sekuat sebelumnya. Menariknya, nilai regangan pada HDPE daur ulang justru lebih besar dibandingkan HDPE murni. HDPE daur ulang memiliki regangan sebesar 73,68%, sedangkan HDPE murni 68,42%. Ini berarti HDPE daur ulang lebih lentur atau lebih mudah ditarik panjang sebelum putus. Hal ini bisa terjadi karena kondisi plastik daur ulang sudah melemah, sehingga lebih mudah melar saat ditarik, meskipun kekuatannya lebih rendah. Untuk nilai modulus elastisitas, HDPE murni jauh lebih tinggi yaitu 281,17 MPa, sedangkan HDPE daur ulang hanya 172,85 MPa. Nilai ini menunjukkan seberapa kaku plastik tersebut saat pertama kali ditarik. HDPE murni yang masih bagus cenderung lebih kaku, jadi butuh gaya lebih besar untuk mulai menariknya. Sedangkan HDPE daur ulang lebih mudah berubah bentuk dari awal karena kualitas plastiknya sudah menurun.

3. Perbandingan hasil uji tarik PP murni dengan PP daur ulang
 - A. Perbandingan hasil uji tarik PP murni 190°C dengan PP daur ulang temperatur 190°C

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Uji Tarik PP Murni 190°C & Daur Ulang Temperatur 190°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
PP Murni	31.56	21.05	227.44

190°C			
PP DU 190°C	27.24	15.79	218.12

Berdasarkan data uji tarik pada material PP (*Polypropylene*) murni dan PP daur ulang (DU) pada suhu 190°C, terlihat bahwa semua nilai sifat mekanik PP murni lebih tinggi dibandingkan dengan PP daur ulang. PP murni memiliki nilai tegangan tarik maksimum sebesar 31,56 MPa, sedangkan PP daur ulang hanya 27,24 MPa, sehingga ada selisih sekitar 4,32 MPa. Tegangan tarik menunjukkan seberapa kuat material menahan gaya tarik sebelum putus. Nilai yang lebih tinggi pada PP murni menandakan bahwa plastik ini lebih kuat. Hal ini terjadi karena PP murni belum pernah digunakan sebelumnya, sehingga susunan penyusunnya masih utuh dan belum rusak. Sedangkan PP daur ulang sudah melalui proses pemanasan ulang, pencetakan ulang, atau bahkan tercampur dengan plastik lain, sehingga kekuatannya menurun. Untuk nilai regangan, PP murni mencapai 21,05%, sedangkan PP daur ulang hanya 15,79%, dengan selisih sekitar 5,26%. Regangan menunjukkan seberapa jauh material bisa memanjang sebelum putus. PP murni yang belum rusak mampu melar lebih panjang, sedangkan PP daur ulang cenderung lebih cepat patah karena kualitasnya sudah menurun akibat proses daur ulang yang berulang kali memanaskan dan mendinginkan material tersebut. Sementara itu, modulus elastisitas PP murni adalah 227,44 MPa, sedangkan PP daur ulang 218,12 MPa. Modulus elastisitas ini menunjukkan seberapa kaku bahan saat pertama kali ditarik. Nilai yang lebih tinggi pada PP murni berarti material ini lebih kaku dan tidak mudah berubah bentuk saat ditarik. Perbedaan ini terjadi karena kualitas plastik murni masih bagus, sedangkan

PP daur ulang lebih lunak karena bagian penyusunnya sudah melemah.

- B. Perbandingan hasil uji tarik PP murni dengan PP daur ulang temperatur 200°C

Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Uji Tarik PP Murni & Daur Ulang Temperatur 200°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
PP Murni 200°C	20.86	10.53	251.37
PP DU 200°C	20.45	10.53	238.54

Berdasarkan data uji tarik pada material PP (*Polypropylene*) murni dan PP daur ulang (DU) pada suhu 200°C, terlihat bahwa nilai tegangan tarik maksimum dari keduanya hampir sama, yaitu 20,86 MPa untuk PP murni dan 20,45 MPa untuk PP daur ulang, dengan selisih hanya 0,41 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan tarik dari kedua material tersebut berada pada tingkat yang hampir setara. Kekuatan yang hampir sama ini bisa terjadi karena pada suhu 200°C, material PP baik murni maupun daur ulang mengalami pelelehan yang cukup merata, sehingga saat dicetak ulang menjadi spesimen uji tarik, ikatan antar bagiannya terbentuk kembali dengan cukup baik, terutama jika kualitas bahan daur ulangnya masih tergolong bersih atau tidak terlalu rusak. Sementara itu, nilai regangan dari kedua material juga sama, yaitu 10,53%, yang menunjukkan bahwa tingkat kelenturan atau kemampuan material untuk memanjang sebelum putus juga sebanding. Ini menandakan bahwa pada suhu tinggi, perbedaan kelenturan antara PP murni dan daur ulang tidak terlalu terasa. Suhu 200°C membuat kedua material menjadi lebih lunak saat

proses pencetakan, sehingga hasil akhirnya memiliki sifat elastis yang serupa, meskipun salah satunya berasal dari bahan daur ulang. Namun, yang paling terlihat berbeda adalah nilai modulus elastisitas, yaitu 251,37 MPa untuk PP murni dan 238,54 MPa untuk PP daur ulang, dengan selisih cukup besar yaitu 12,83 MPa. Modulus elastisitas menunjukkan kekakuan material saat pertama kali diberi gaya tarik. Nilai yang lebih tinggi pada PP murni menandakan bahwa material ini lebih kaku dan tidak mudah berubah bentuk di awal penarikan, sedangkan PP daur ulang lebih mudah melar dari awal karena kualitas bahannya sudah sedikit menurun. Hal ini bisa terjadi karena PP daur ulang pernah mengalami proses pemanasan dan pendinginan berulang, sehingga bagian penyusunnya tidak lagi serapat PP murni, dan akibatnya material menjadi sedikit lebih lunak.

4.1.2 Perbandingan Hasil Uji Tarik Paduan Plastik Murni dan Daur Ulang

Berikut merupakan data perbandingan antara plastik paduan daur ulang (LPDE, HDPE, dan PP) dengan material plastik paduan murni (LDPE, HDPE, dan PP)

A. Perbandingan hasil uji tarik plastik paduan murni (LPDE, HDPE, dan PP) pada temperatur 190°C dengan material plastik paduan daur ulang (LPDE, HDPE, dan PP) pada temperatur 190°C.

Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Uji Tarik Paduan Murni Temperatur 190°C & Paduan Daur Ulang Temperatur 190°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
Paduan (LPDE, HDPE, dan PP) Murni 190°C	22.09	11.41	212.09
Paduan (LPDE, HDPE, dan PP) DU 190°C	17.02	10.53	178.19

Berdasarkan data uji tarik pada material paduan plastik HDPE 50%, LDPE 20%, dan PP 30% pada suhu 190°C, terlihat bahwa nilai tegangan tarik maksimum dan regangan pada paduan murni lebih tinggi dibandingkan dengan paduan daur ulang, meskipun selisihnya tidak terlalu jauh. Nilai tegangan tarik maksimum pada paduan murni adalah 22,09 MPa, Sedangkan pada paduan daur ulang hanya 17,02 MPa, dengan selisih 5,07 MPa. Nilai ini menunjukkan bahwa paduan murni lebih kuat dan mampu menahan gaya tarik lebih besar sebelum putus, karena bahan murni masih dalam kondisi baik tanpa kerusakan akibat proses daur ulang. Sebaliknya, pada paduan daur ulang, kualitas bahan sudah menurun karena pernah mengalami proses pemanasan secara berulang, sehingga kekuatannya sedikit berkurang.

Untuk regangan, paduan murni memiliki nilai 11,41%, sedangkan paduan daur ulang 10,53%, atau hanya berselisih 0,88%. Nilai ini menunjukkan bahwa kelenturan atau kemampuan memanjang sebelum putus pada kedua paduan tidak berbeda jauh. Meskipun paduan daur ulang sudah mengalami penurunan kualitas, namun karena komposisi plastiknya masih sama dan pemrosesan dilakukan pada suhu yang cukup tinggi (190°C), maka hasil cetaknya masih memiliki sifat lentur yang mirip dengan bahan murni.

Namun, perbedaan paling besar terlihat pada modulus elastisitas, yaitu 212,09 MPa untuk paduan murni dan 178,19 MPa untuk paduan daur ulang, dengan selisih 33,9 MPa. Modulus elastisitas menunjukkan kekakuan material saat awal diberi gaya tarik. Nilai yang jauh lebih tinggi pada paduan murni menandakan bahwa material tersebut lebih kaku dan tidak mudah berubah bentuk saat pertama kali ditarik. Pada paduan daur ulang, nilai kekakuannya jauh menurun karena plastiknya sudah melewati proses daur ulang yang bisa menyebabkan struktur penyusunnya

menjadi kurang padat dan lebih lunak. Akibatnya, bahan daur ulang menjadi lebih lentur sejak awal penarikan.

B. Perbandingan hasil uji tarik plastik paduan murni (LPDE, HDPE, dan PP) pada temperatur 200°C dengan material plastik paduan daur ulang (LPDE, HDPE, dan PP) pada temperatur 200°C.

Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Uji Tarik Paduan Murni Temperatur 200°C & Paduan Daur Ulang Temperatur 200°C

Material	Tegangan Tarik Max (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (MPa)
Paduan Murni (LPDE, HDPE, dan PP) 200°C	23.67	14.04	198.88
Paduan DU (LPDE, HDPE, dan PP) 200°C	19.76	11.11	194.44

Berdasarkan data uji tarik pada paduan plastik LDPE 20%, HDPE 50%, dan PP 30% pada suhu 200°C, terlihat bahwa nilai tegangan tarik maksimum, regangan, dan modulus elastisitas dari paduan murni lebih tinggi dibandingkan dengan paduan daur ulang (DU), meskipun selisihnya tidak terlalu jauh. Tegangan tarik maksimum paduan murni adalah 23,67 MPa, sedangkan paduan daur ulang hanya 19,76 MPa, dengan selisih sekitar 3,91 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa paduan murni memiliki kekuatan yang lebih baik karena bahan plastiknya masih baru, bersih, dan belum terpengaruh oleh proses daur ulang. Sementara itu, paduan daur ulang sudah mengalami pemanasan dan pencetakan ulang yang menyebabkan penurunan kualitas.

Untuk nilai regangan, paduan murni mencapai 14,04%, sedangkan paduan daur ulang hanya 11,11%, selisihnya sekitar 2,93%. Ini berarti paduan murni lebih lentur dan mampu memanjang lebih jauh sebelum putus, karena sifat plastik aslinya seperti LDPE

dan PP yang memang memiliki karakter lentur masih terjaga. Sebaliknya, paduan daur ulang menjadi lebih kaku atau cepat retak karena proses daur ulang bisa merusak kelenturan plastik, terutama jika sudah beberapa kali digunakan atau terkena panas berulang.

Sedangkan untuk modulus elastisitas, paduan murni memiliki nilai 198,88 MPa, sedangkan paduan daur ulang 194,44 MPa, selisihnya sekitar 4,44 MPa. Nilai ini menunjukkan seberapa kaku material ketika mulai ditarik. Nilai yang sedikit lebih tinggi pada paduan murni menunjukkan bahwa material tersebut sedikit lebih kaku dibanding daur ulang. Walaupun selisihnya tidak terlalu besar, tetap terlihat bahwa bahan murni memiliki respon awal terhadap gaya tarik yang lebih kuat karena kondisinya masih bagus. Secara keseluruhan, selisih nilai yang tidak terlalu jauh ini disebabkan karena komposisi paduannya sama, namun karena bahan daur ulang sudah mengalami proses sebelumnya, maka sifat mekaniknya menurun sedikit. Jadi, perbedaan utama berasal dari kualitas bahan yang digunakan, bukan dari perbedaan jenis plastik. Bahan murni tetap lebih unggul dalam kekuatan, kelenturan, dan kekakuan karena belum terpengaruh oleh proses daur ulang.

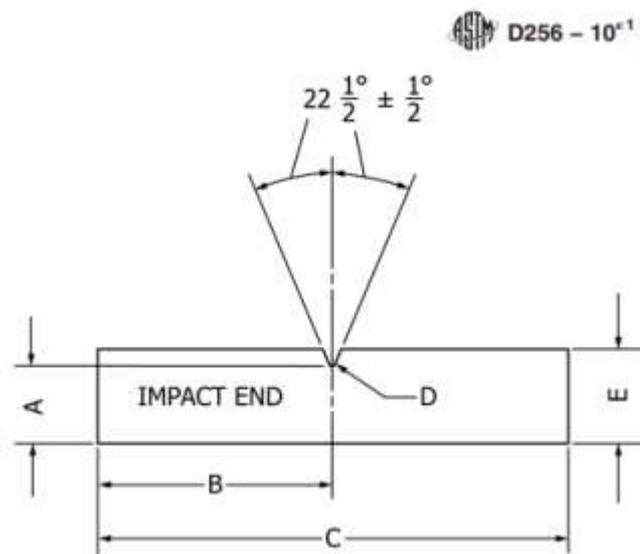
Setelah dilakukan pengujian uji tarik diperoleh paduan dan non paduan yang cocok untuk dijadikan bahan sebagai rujukan atau referensi untuk membuat batang plastik dan nantinya akan di rujukan sebagai pembuatan *sampel* uji impak, untuk dari paduan yang cocok yaitu paduan murni temperatur 200°C dengan nilai tegangan Tarik tertinggi sehingga dapat memberikan kekuatan mekanik terbaik, sedangkan dari regangan tertingginya juga dari paduan murni temperatur 200°C sehingga dapat cukup tahan Ketika terjadinya deformasi, sedangkan modulus elastisitas tertingi ada di Paduan murni juga sehingga mampu memberikan kekakuan yang dibutuhkan untuk menjaga batang plastik dibawah beban.

Sedangkan untuk yang non Paduan yang cocok untuk dijadikan rujukan temperatur mana yang cocok untuk membuat *sampel* uji impak yaitu HDPE Murni dengan temperatur 190°C dengan nilai tegangan Tarik tertinggi sehingga dapat memberikan kekuatan mekanik terbaik, sedangkan dari regangan tertingginya juga dari HDPE murni temperatur 190°C sehingga dapat cukup tahan Ketika terjadinya deformasi, sedangkan modulus elastisitas tertinggi ada di non Paduan murni juga sehingga mampu memberikan kekakuan yang dibutuhkan.

4.2 Data Hasil Pengujian Uji Impak

Pengujian impak merupakan salah satu metode dalam menentukan ketahanan material terhadap beban kejut yang diberikan secara tiba-tiba. Dalam penelitian ini, uji impak dilakukan pada berbagai jenis plastik, termasuk HDPE, LDPE, dan PP murni, serta HDPE, LDPE, dan PP daur ulang, yang diproses pada dua temperatur berbeda, yaitu 190°C dan 200°C. Selain itu, pengujian juga dilakukan pada paduan ketiga jenis plastik tersebut (HDPE 50%, LDPE 20%, PP 30%), baik dalam kondisi murni maupun daur ulang, untuk mengetahui sejauh mana kombinasi material ini mampu menyerap energi sebelum mengalami kegagalan.

Hasil pengujian ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai kekuatan dan ketahanan impak dari setiap material serta perbandingan antara material murni, daur ulang, dan paduan tiga jenis plastik. Hasil uji impak akan dianalisis dan dibandingkan guna mengidentifikasi keunggulan serta keterbatasan masing-masing material. Standar yang digunakan ASTM D256 dengan metode Izod digunakan sebagai acuan dalam pengujian ini, sebagaimana ditampilkan pada gambar dan tabel berikut.



Gambar 4.18 Spesimen Uji Impak ASTM D256

Tabel 4.18 Dimensi Spesimen Uji Impak ASTM D236

Kode	Deskripsi	Dimensi (mm)
A	Tebal Spesimen	10,16
B	Panjang dari ujung spesimen ke dasar takik	31,8
C	Panjang total spesimen	63,5
D	Dimensi dan profil takik	2,54
	Radius dasar takik	0,25
E	Lebar spesimen	12,70

Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam mencari nilai impak yaitu sebagai berikut:

Diketahui:

$$b = 12,7 \text{ mm}$$

$$h = 12,7 \text{ mm}$$

$$a = 2,54 \text{ mm}$$

Adapun untuk mencari luas penampang yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} A &= b \times (h - a) \\ &= 12,7 \times (12,7 - 2,54) \end{aligned}$$

$$= 12,7 \times 10.16$$

$$= 129.03 \text{ mm}^2$$

Setelah mengetahui luas penampangnya, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai impact, seperti yang ditunjukkan pada contoh berikut:

Contoh:

Mencari Nilai Impact spesimen LDPE (*low Density Polypropylene*) Murni:

Spesimen 1

$$\text{Nilai Impact} = \frac{135 \text{ J}}{129,03 \text{ (mm}^2\text{)}} = 1,046 \text{ J/mm}^2$$

Spesimen 2

$$\text{Nilai Impact} = \frac{136 \text{ J}}{129,03 \text{ (mm}^2\text{)}} = 1,054 \text{ J/mm}^2$$

Spesimen 3

$$\text{Nilai Impact} = \frac{133 \text{ J}}{129,03 \text{ (mm}^2\text{)}} = 1,031 \text{ J/mm}^2$$

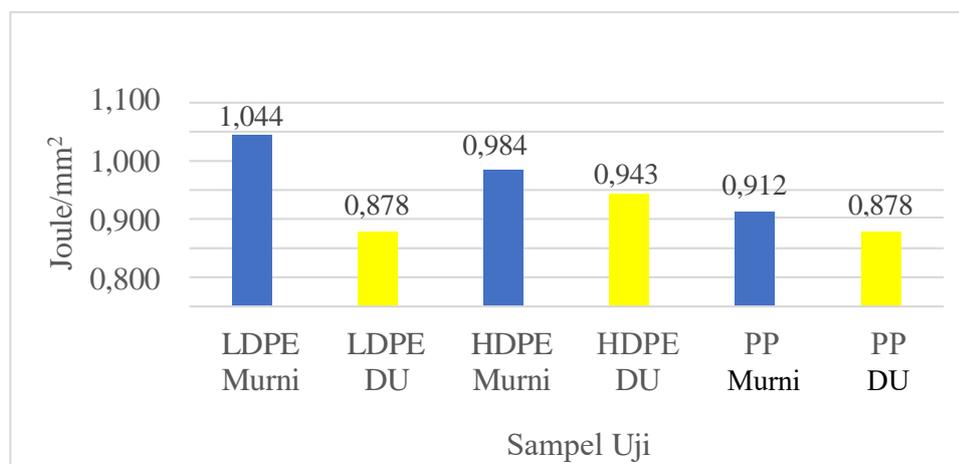
4.2.1 Analisis Perbandingan Hasil Uji Impact Plastik Murni dengan Plastik Daur Ulang

Setelah pengujian impact dilakukan pada tiga spesimen, langkah berikutnya adalah menghitung nilai rata-rata impact dari ketiga spesimen tersebut. Hasil rata-rata ini kemudian dicatat dan disajikan dalam tabel yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 4.19 Hasil Uji Impact Plastik Murni & Daur Ulang

Variabel Sampel	Spesimen Ke-	Luas Penampang (mm ²)	Energi Diserap (Joule)	Nilai Impact (J/mm ²)	Rata-rata nilai impact (J/mm ²)
PP Murni 190°C	Spesimen 1	129,03	120	0,930	0,912
	Spesimen 2	129,03	119	0,922	
	Spesimen 3	129,03	114	0,884	
HDPE Murni 190°C	Spesimen 1	129,03	126	0,977	0,984
	Spesimen 2	129,03	130	1,008	
	Spesimen 3	129,03	125	0,969	
LDPE	Spesimen 1	129,03	135	1,046	

Murni 190°C	Spesimen 2	129,03	136	1,054	1,044
	Spesimen 3	129,03	133	1,031	
PP DU 190°C	Spesimen 1	129,03	114	0,884	0,878
	Spesimen 2	129,03	114	0,884	
	Spesimen 3	129,03	112	0,868	
HDPE DU 190°C	Spesimen 1	129,03	122	0,946	0,943
	Spesimen 2	129,03	119	0,922	
	Spesimen 3	129,03	124	0,961	
LDPE DU 190°C	Spesimen 1	129,03	114	0,884	0,878
	Spesimen 2	129,03	112	0,868	
	Spesimen 3	129,03	114	0,884	



Gambar 4.19 Grafik Nilai Uji Impak Plastik Murni dan Daur Ulang

Berdasarkan data yang diperoleh diatas yaitu dalam grafik, dapat diketahui bahwa sampel dengan nilai uji impak tertinggi adalah LDPE murni, yang mencapai 1.044 Joule/mm². Nilai ini dipengaruhi oleh karakteristik LDPE murni yang memiliki struktur molekul dengan banyak percabangan, densitas tinggi, serta sifat keuletan yang baik. Kombinasi faktor-faktor tersebut membuat LDPE murni lebih mampu menyerap energi impak dibandingkan dengan HDPE dan PP.

Jika dibandingkan dengan LDPE daur ulang, terjadi penurunan nilai impak sebesar 0.166 dari 1.044 Joule/mm² menjadi 0.878 Joule/mm². Pada penurunan ini juga terjadi pada sampel HDPE dan PP.

HDPE daur ulang mengalami penurunan nilai impak sebesar 0.041 dari HDPE murni, sedangkan pada PP, terjadi penurunan sebesar 0.034 dari nilai impak PP murni.

plastik mengalami oksidasi dan mulai mengalami retakan akibat interaksi dengan faktor lingkungan seperti cahaya, panas, dan oksigen. Seiring berjalannya waktu, oksigen dan panas semakin menembus material, menyebabkan oksidasi lebih lanjut pada rantai molekul bagian dalam. Proses ini berkontribusi terhadap penurunan berat molekul serta munculnya retakan yang lebih banyak di permukaan. Dengan demikian, penyebaran retakan dan degradasi merupakan faktor utama yang menyebabkan perubahan mikrostruktur material serta penurunan sifat mekaniknya [20].

Selain itu, plastik daur ulang umumnya telah terkontaminasi oleh berbagai zat asing (impuritas), seperti debu, minyak, dan air yang berasal dari lingkungan tempat pembuangan sampah. Paparan sinar matahari dalam jangka waktu yang lama juga mempercepat degradasi plastik, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan kualitas material secara keseluruhan.

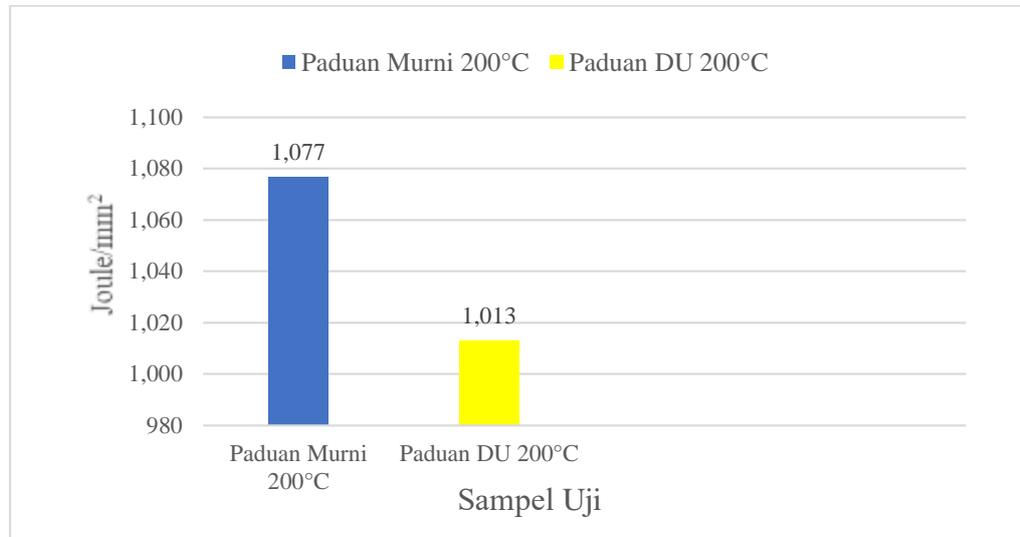
4.2.1 Analisis Perbandingan Hasil Uji Impak Plastik Murni dengan Plastik Daur Ulang

Setelah pengujian impak dilakukan pada tiga spesimen, langkah berikutnya adalah menghitung nilai rata-rata impak dari kedua paduan spesimen tersebut. Hasil rata-rata ini kemudian dicatat dan disajikan dalam tabel yang dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 4.20 Hasil Uji Impak Plastik Paduan Murni & Paduan Daur Ulang

Variabel Sampel	Spesimen Ke-	Luas Penampang (mm ²)	Energi Diserap (Joule)	Nilai Impak (J/mm ²)	Rata-rata nilai impak (J/mm ²)
Paduan Murni 200°C	Spesimen 1	129,03	137	1,062	1,077
	Spesimen 2	129,03	140	1,085	
	Spesimen 3	129,03	140	1,085	
Paduan	Spesimen 1	129,03	132	1,023	

DU	Spesimen 2	129,03	124	0,961	1,013
200°C	Spesimen 3	129,03	136	1,054	



Gambar 4.20 Hasil Uji Impak Plastik Paduan Murni & Paduan Daur Ulang

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai impak paduan plastik murni pada suhu 200°C lebih tinggi dibandingkan dengan paduan plastik daur ulang pada suhu yang sama. Paduan plastik murni memiliki nilai impak sebesar 1,077 joule/mm², sedangkan paduan plastik daur ulang memiliki nilai impak 1,013 joule/mm². Hal ini menunjukkan bahwa proses daur ulang menyebabkan penurunan ketahanan terhadap benturan pada material plastik. Penurunan nilai impak pada plastik daur ulang dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah degradasi termal yang terjadi selama proses pelelehan ulang, yang dapat merusak struktur rantai polimer dan mengurangi kekuatan material. Selain itu, plastik daur ulang sering mengalami kontaminasi dari residu material lain, yang dapat mempengaruhi sifat mekaniknya. Struktur kristal pada plastik juga dapat berubah akibat pemrosesan ulang, sehingga menyebabkan penurunan ketangguhan dan kemampuan menyerap energi saat terkena benturan.

Pada analisa yang dilakukan terhadap patahan yang dihasilkan dari uji impak pada dua jenis plastik, yaitu plastik murni paduan (HDPE+ LDPE+PP) dan plastik daur ulang paduan (HDPE+ LDPE+PP) , analisis patahan ini

bertujuan untuk mengevaluasi perbedaan sifat-sifat ketangguhan antara kedua jenis plastik.

Tabel 4.21 Patahan Spesimen Paduan Daur Ulang (HDPE+ LDPE+PP)

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Energi Impak 132 J	Energi Impak 124 J	Energi Impak 136 J

Pada tabel di atas, terdapat tiga spesimen hasil uji impact dari material plastik daur ulang yang terdiri dari campuran HDPE, LDPE, dan PP. Setiap spesimen menunjukkan karakteristik patahan yang berbeda berdasarkan energi impact yang diterima, yaitu spesimen 1 dengan energi impact 132 j, spesimen 2 dengan 124 j, dan spesimen 3 dengan 136 j.

dari bentuk patahan yang terlihat, semua spesimen menunjukkan karakteristik patahan yang berserat dan tidak sepenuhnya rapih, yang mengindikasikan bahwa material ini memiliki sifat ulet (*ductile*) tetapi tetap mengalami deformasi sebelum akhirnya patah. Spesimen 1 dan spesimen 3 memiliki energi impact yang lebih tinggi dibandingkan spesimen 2, yang berarti material pada spesimen ini mampu menyerap lebih banyak energi sebelum mengalami kegagalan. Ini bisa disebabkan oleh distribusi komposisi material yang lebih merata atau adanya faktor lain seperti ketebalan dan homogenitas campuran plastik daur ulang. Spesimen 2, dengan energi impact 124j, memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dua spesimen lainnya, yang dapat diinterpretasikan bahwa material pada spesimen ini memiliki kekuatan impact yang sedikit lebih rendah. Hal ini bisa terjadi karena adanya ketidak sempurnaan dalam pencampuran material atau faktor internal lainnya seperti porositas atau ikatan antar molekul yang kurang kuat.

Tabel 4.22 Patahan Spesimen Paduan Murni (HDPE+ LDPE+PP)

Spesimen 1	Spesimen 2	Spesimen 3
		
Energi Impak 137 J	Energi Impak 140 J	Energi Impak 140 J

Pada tabel di atas menunjukkan hasil uji impak dari material plastik paduan murni yang terdiri dari hdpe, ldpe, dan pp. Ketiga spesimen mengalami patahan dengan karakteristik yang mirip, yang menandakan bahwa material ini memiliki sifat mekanik yang relatif seragam. Berdasarkan nilai energi impak yang diperoleh, yaitu spesimen 1 dengan 137j, spesimen 2 dengan 140j, dan spesimen 3 dengan 140j, dapat disimpulkan bahwa material ini memiliki ketahanan impak yang tinggi dan konsisten.

dari bentuk patahan yang terlihat, spesimen menunjukkan pola patahan yang berserat dan tidak sepenuhnya rapih, yang merupakan indikasi bahwa material ini memiliki sifat ulet (*ductile fracture*). Perbedaan kecil pada energi impak spesimen 1 dibandingkan dengan spesimen 2 dan 3 kemungkinan disebabkan oleh faktor ketidaksempurnaan mikrostruktur atau perbedaan kecil dalam homogenitas material. Namun, secara umum, material ini mampu menyerap energi dalam jumlah besar sebelum mengalami kegagalan, menunjukkan bahwa paduan murni dari hdpe, ldpe, dan pp memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan material daur ulang yang diuji sebelumnya. Dibandingkan dengan hasil uji impak material daur ulang, paduan murni ini memiliki nilai energi impak yang lebih tinggi dan lebih konsisten, yang mengindikasikan bahwa proses daur ulang dapat sedikit mengurangi ketahanan impak material akibat adanya degradasi atau kontaminasi dalam proses pencampuran

4.3 Analisis Hasil

Berdasarkan hasil uji tarik dan uji impak antara plastik murni dan plastik daur ulang, terlihat bahwa nilai tegangan tarik, regangan, dan modulus elastisitas pada plastik daur ulang mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena plastik daur ulang telah mengalami proses pemanasan ulang saat didaur ulang, yang menyebabkan perubahan pada struktur materialnya. Akibatnya, plastik daur ulang menjadi lebih rapuh dan kekuatan tariknya berkurang [17].

Selain itu, ada beberapa faktor lain yang juga dapat menyebabkan penurunan hasil uji tarik dan uji impak pada plastik daur ulang, yaitu:

1. Kontaminasi material yang dimana plastik daur ulang bisa saja tercampur dengan debu, minyak, atau residu plastik lain, yang dapat mengurangi kualitasnya.
2. Degradasi termal yang dimana suatu proses pemanasan berulang pada suhu tinggi dapat merusak struktur polimer plastik, yang menyebabkan kekuatannya menurun [18].

Dapat dilihat pada jenis material plastik LDPE yang Dimana Menurut Simbolon (2020), modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan suatu material. Jika modulus elastisitas semakin tinggi, material menjadi lebih kaku dan sulit berubah bentuk saat diberi gaya [9]. Hal ini terjadi karena LDPE murni memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah, yang berarti materialnya lebih fleksibel dan bisa meregang lebih jauh sebelum putus. Sebaliknya, LDPE daur ulang lebih kaku setelah diproses ulang, sehingga modulus elastisitasnya menjadi lebih tinggi dibandingkan LDPE murni.

Hasil pengujian Uji Tarik juga menunjukkan adanya perbedaan yang cukup besar dalam nilai tegangan, regangan dan modulus elastisitas pada LDPE, HDPE, dan PP dibandingkan dengan referensi di Tabel 2.1, 2.2, dan 2.3. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kondisi pemrosesan *injection molding* yang digunakan dalam penelitian ini [18].

1. Mesin *injection molding* yang digunakan masih bersifat sederhana, sehingga memiliki beberapa keterbatasan, seperti:

- a. Tidak bisa mengontrol suhu pemrosesan dengan presisi,
- b. Tidak bisa mengatur tekanan injeksi.
- c. Tidak memiliki sistem pendinginan yang optimal.

Dimana akibatnya akan terjadi perubahan dalam struktur molekul plastik, yang berdampak pada sifat mekaniknya. Selain itu, nilai modulus elastisitas yang lebih rendah dibandingkan literatur menandakan bahwa material menjadi kurang kaku. Beberapa alasan yang dapat menyebabkan hal ini adalah [18].

2. Perbedaan suhu pemrosesan yang dimana dalam penelitian ini, suhu injeksi yang digunakan adalah 190°C dan 200°C , sedangkan dalam literatur tidak disebutkan dengan jelas suhu pemrosesan yang digunakan. Bisa saja suhu dalam referensi lebih tinggi atau lebih rendah, sehingga hasilnya berbeda.
3. Kualitas material plastik yang dimana meskipun jenis plastiknya sama, cara penyimpanan material berpengaruh terhadap sifat mekaniknya. Dalam penelitian ini, plastik disimpan di tempat terbuka dan tidak dikeringkan sebelum dicetak, sehingga berpotensi menyerap kelembaban yang bisa memengaruhi hasil uji tarik.
4. Metode pengujian yaitu mesin uji tarik yang digunakan merupakan versi lama, yang mungkin memiliki keterbatasan dalam akurasi pengukuran.
5. Kondisi lingkungan saat pengujian yang dimana faktor seperti suhu dan kelembaban ruangan bisa saja berbeda dengan kondisi pengujian dalam referensi literatur, yang juga dapat memengaruhi hasilnya.

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap cacat produk dengan tujuan mengevaluasi kualitas dari balok plastik yang dihasilkan dari paduan plastik daur ulang dan paduan murni dengan temperatur berbeda. Paduan plastik yang digunakan dalam penelitian ini meliputi (HDPE+LDPE+PP), adapun jenis jenis cacat pada produk batang plastik yang telah di buat yaitu sebagai berikut:

A. Paduan Plastik Daur Ulang Temperatur 190°C



Gambar 4.21 Cacat Pada Balok Paduan Plastik DU Temperatur 190°C

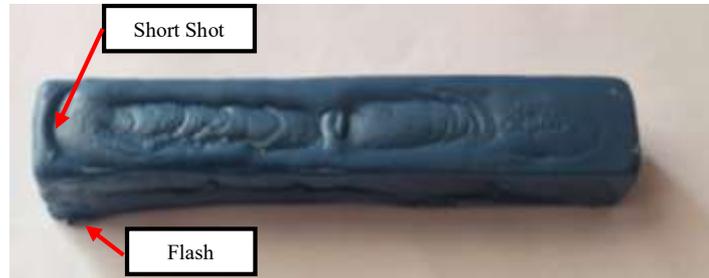
Selama proses pencetakan yang telah dilakukan, diperoleh hasil berupa balok plastik seperti yang tampak pada gambar 4.21 di atas. Dari gambar tersebut terlihat bahwa balok plastik hasil campuran (LDPE 20% + HDPE 50% + PP 30%) mengalami penyusutan ukuran setelah dikeluarkan dari cetakan. Cetakan sendiri memiliki volume sebesar 52 cm³ (130 mm x 20 mm x 20 mm), sedangkan produk akhir yang dihasilkan hanya memiliki volume 50 cm³ (125 mm x 20 mm x 20 mm). Penyusutan panjang pada produk ini dikenal dengan istilah cacat warpage, yaitu cacat yang ditandai dengan adanya perubahan bentuk atau pembengkokan setelah produk dilepaskan dari cetakan. *Warpage* merupakan salah satu cacat yang sering terjadi pada produk hasil *injection molding* dan dapat memengaruhi kualitas maupun penampilan produk akhir [21].

Penyebab utama terjadinya warpage pada proses *injection molding* adalah adanya penyusutan plastik yang tidak merata selama proses pendinginan setelah plastik cair dimasukkan ke dalam cetakan. Akibat penyusutan yang tidak seragam ini, produk bisa mengalami perubahan bentuk atau melengkung saat dikeluarkan dari cetakan. Untuk mencegah terjadinya *warpage*, sebaiknya produk tidak langsung dikeluarkan dari cetakan ketika masih panas. Jika produk dikeluarkan saat suhunya masih tinggi, risiko terjadinya deformasi atau pembengkokan akan semakin besar [21].

Ditemukan cacat berupa garis-garis warna (*colour streaks*), yaitu masalah yang terjadi akibat warna pada material tidak tercampur secara sempurna. Hal ini menyebabkan tampilan produk menjadi tidak rata

warnanya atau terlihat belang. Sebagai contoh, pada gambar 4.21 tampak bahwa plastik paduan (LDPE 20% + HDPE 50% + PP 30%) tidak tercampur homogen, sehingga pada bagian tertentu muncul perbedaan warna yang mencolok [21].

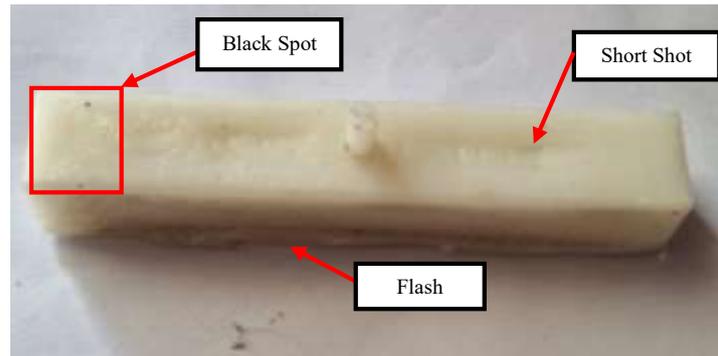
B. Paduan Plastik Daur Ulang Temperatur 200°C



Gambar 4.22 Cacat Pada Balok Paduan Plastik DU Temperatur 200°C

Balok plastik yang terlihat pada gambar 4.22 dengan paduan (LDPE 20% + HDPE 50% + PP 30%) menunjukkan beberapa jenis cacat yang sering ditemukan dalam proses *injection Molding*. Cacat *short shot*, yang juga dikenal sebagai *short mold*, yang dimana terjadi ketika material plastik yang diinjeksikan tidak sepenuhnya mengisi cetakan. Akibatnya, beberapa bagian produk tidak terbentuk dengan sempurna karena kekurangan material. Untuk mencegah terjadinya *short shot*, penting untuk mengontrol berbagai parameter, seperti suhu dan volume bahan yang diinjeksi ke dalam cetakan [19]. Selain Cacat *short shot*, cacat *flash* juga merupakan cacat yang cukup umum dalam *injection Molding*. Cacat *flash* terjadi akibat kelebihan material saat proses pencetakan, di mana plastik cair keluar dari rongga cetakan dan membentuk lapisan tipis yang meluber di sekitar tepi atau sambungan cetakan. Keberadaan cacat ini tidak hanya mengurangi nilai estetika produk, tetapi juga dapat memengaruhi fungsi serta kualitas keseluruhannya. Penyebab utama cacat *flash* adalah volume material yang melebihi kapasitas cetakan, sehingga saat pengepresan, material berlebih keluar dan cetakan tidak tertutup dengan sempurna. solusi untuk cacat *flash* ini yaitu menutup cetakan dengan rapat pada saat setelah material diinjeksikan kedalam suatu cetakan [20].

C. Paduan Plastik Murni Temperatur 190°C



Gambar 4.23 Cacat Pada Balok Paduan Plastik Murni Temperatur 190°C

Balok plastik yang terlihat pada gambar 4.23 dengan paduan (LDPE 20% + HDPE 50% + PP 30%) menunjukkan beberapa jenis cacat yang sering ditemukan dalam proses *injection Molding*. *Black spot* adalah cacat berupa bintik hitam atau noda kecil yang muncul pada permukaan plastik. Cacat ini biasanya terjadi akibat kontaminasi material, Penyebab utama dari *black spot* ini adalah kurangnya kebersihan pada bagian dalam *barrel* dan *screw* saat proses pergantian material. Jika tidak dibersihkan dengan baik, sisa material sebelumnya dapat mengalami degradasi termal dan bercampur dengan material baru selama proses pencetakan, sehingga menyebabkan munculnya noda hitam pada produk akhir [21].

Selain *black spot*, *flash* juga merupakan cacat yang cukup umum dalam *injection Molding*. Cacat *flash* terjadi akibat kelebihan material saat proses pencetakan, di mana plastik cair keluar dari rongga cetakan dan membentuk lapisan tipis yang meluber di sekitar tepi atau sambungan cetakan. Keberadaan cacat ini tidak hanya mengurangi nilai estetika produk, tetapi juga dapat memengaruhi fungsi serta kualitas keseluruhannya. Penyebab utama cacat *flash* adalah volume material yang melebihi kapasitas cetakan, sehingga saat pengepresan, material berlebih keluar dan cetakan tidak tertutup dengan sempurna. solusi untuk cacat *flash* ini yaitu menutup cetakan dengan rapat pada saat setelah material diinjeksikan kedalam suatu cetakan [20].

Cacat lainnya adalah *short shot*, Cacat *short shot*, yang juga dikenal sebagai *short mold*, yang dimana terjadi ketika material plastik yang

diinjeksikan tidak sepenuhnya mengisi cetakan. Akibatnya, beberapa bagian produk tidak terbentuk dengan sempurna karena kekurangan material. Untuk mencegah terjadinya short shot, penting untuk mengontrol berbagai parameter, seperti suhu dan volume bahan yang diinjeksi ke dalam cetakan [19].

D. Paduan Plastik Murni Temperatur 200°C



Gambar 4.24 Cacat Pada Balok Paduan Plastik Murni Temperatur 200°C

Pada produk balok plastik hasil campuran daur ulang (LDPE 20% + HDPE 50% + PP 30%), juga ditemukan cacat berupa *sink mark*. Cacat ini ditandai dengan munculnya cekungan atau lekukan pada permukaan produk. Salah satu penyebab utama terjadinya sink mark adalah tekanan injeksi yang terlalu rendah saat proses pencetakan, sehingga material cair tidak mampu mengisi cetakan secara sempurna. Selain itu, cacat ini juga bisa muncul jika produk dilepaskan dari cetakan terlalu cepat setelah injeksi, sehingga pendinginan tidak berlangsung cukup lama dan bagian dalam produk masih dalam kondisi lunak atau belum sepenuhnya mengeras. Untuk mengatasi masalah ini, disarankan agar proses penekanan injeksi (*hold pressure*) dilakukan dengan baik dan produk tidak segera dikeluarkan dari cetakan, sehingga penyusutan dan pembentukan cekungan dapat diminimalkan [16].