

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Spesimen Multipurpose

Proses pembuatan spesimen multipurpose yang sudah memenuhi standar ISO 294-1:2012 ditunjukkan pada Gambar 4.1 (yang menggunakan mesin *injection molding*). Hasil spesimen PP daur ulang dengan temperatur injeksi 190°C, 220°C dan 250°C ditunjukkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1.** Spesimen *Multipurpose* PP daur ulang

Keterangan:

- Produk : Spesimen *Multipurpose Polypropylene* daur ulang
- Mesin : *Injection Molding Machine 70 B MEIKI*
- Proses injeksi : 38,50 detik/spesimen
- Massa : 87,6 gram
- Panjang : 150 mm
- *Gage length* : 50 mm
- Lebar : 10 mm
- Tebal : 4 mm

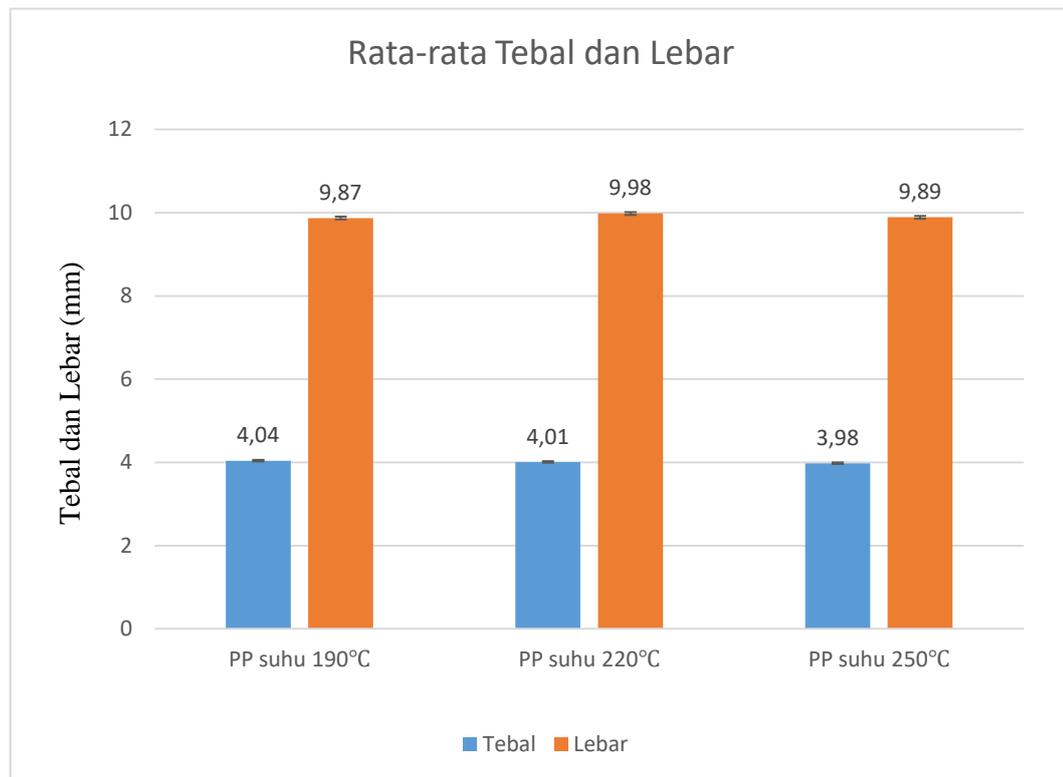


**Gambar 4.2.** Spesimen *multipurpose polypropylene* daur ulang

#### 4.2 Hasil Pengukuran Spesimen

**Tabel 4.1.** Nilai rata-rata hasil pengukuran tiap variasi

No Spesimen	Polipropilen daur ulang					
	190°C		220°C		250°C	
	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Tebal mm)	Lebar (mm)
Spesimen 1	4,01	9,84	4,06	9,88	3,97	9,90
Spesimen 2	4,01	9,89	4,02	9,89	3,97	9,89
Spesimen 3	4,08	9,9	3,98	9,88	4,01	9,89
Spesimen 4	4,07	9,88	3,99	9,90	3,97	9,88
Spesimen 5	4,01	9,86	3,98	9,88	3,97	9,87
AVERAGE	4,04	9,87	4,01	9,89	3,98	9,89
STDEV	0,04	0,02	0,02	0,01	0,02	1,01
MAX	4,08	9,90	4,06	9,90	4,01	9,90
MIN	4,01	9,89	3,98	9,88	3,97	9,87



**Gambar 4.3.** Grafik nilai rata-rata tebal dan lebar spesimen PP daur ulang

Tabel 4.1 menjelaskan bahwa dimensi pada spesimen telah sesuai dengan standar 527-1 dapat ditetapkan toleransi untuk dimensi specimen multipurpose tersebut adalah nilai tebal  $4 \text{ mm} \pm 0,5$  dan lebar  $10 \text{ mm} \pm 0,5$ . Pengukuran lebar dari spesimen PP daur ulang menggunakan alat jangka sorong. Maka didapatkan nilai rata-rata ketebalan minimum yaitu 3,98 mm dan nilai ketebalan maksimum 4,04 mm, dan didapatkan nilai rata-rata lebar minimum yaitu 9,87 mm dan nilai rata-rata lebar maksimum yaitu 9,89 mm.

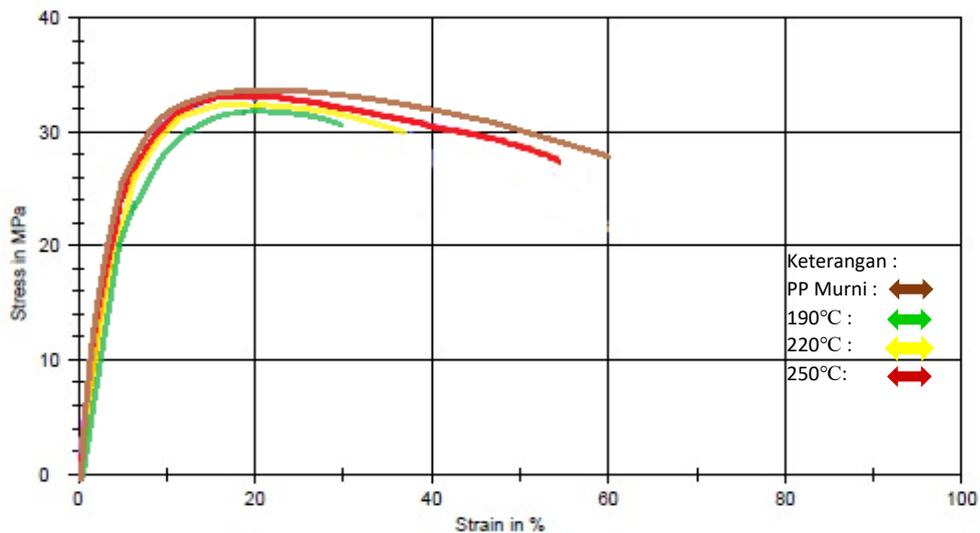
Syarat lain untuk melakukan pengujian selain dimensi ukuran adalah bentuk spesimen yang tidak memiliki cacat, karena bentuk spesimen yang memiliki cacat akan menghasilkan nilai kekuatan uji yang kurang optimal. Jenis cacat yang dapat mempengaruhi nilai pada saat pengujian adalah cacat bubbles (gelembung udara). Penyebab cacat bubbles adalah udara yang masih terperangkap didalam cylinder atau udara yang masih terjebak didalam cavity.

### 4.3 Hasil pengujian Tarik

Berdasarkan penelitian didapatkan hasil dari pengujian tarik material PP daur ulang sesuai dengan nilai dan disertai dengan grafik sebagai berikut:

#### 4.3.1 Grafik Uji Tarik PP DU dengan variasi temperatur 190°C, 220°C dan 250°C.

Series graph:



**Gambar 4.4.** Grafik Rata-rata Uji Tarik PP Daur Ulang

Analisa pada gambar 4.4 menjelaskan bahwa, pada variasi temperatur 190°C nilai rata-rata uji tarik dari 5 spesimen yaitu sebesar 33,2 MPa. Dari 5 spesimen uji tarik didapatkan nilai maksimum pada spesimen yang ke-1 yaitu sebesar 33,7 MPa dan nilai minimum pada spesimen ke-4 yaitu sebesar 32,8 MPa.

Pada variasi temperatur 220°C nilai rata-rata uji tarik dari 5 spesimen yaitu sebesar 32,4 MPa. Dari 5 spesimen uji tarik didapatkan nilai maksimum yang sama yaitu pada spesimen yang ke-3 dan ke-5 yaitu sebesar 32,8 MPa dan nilai minimum pada spesimen ke-1 yaitu sebesar 32,4 MPa.

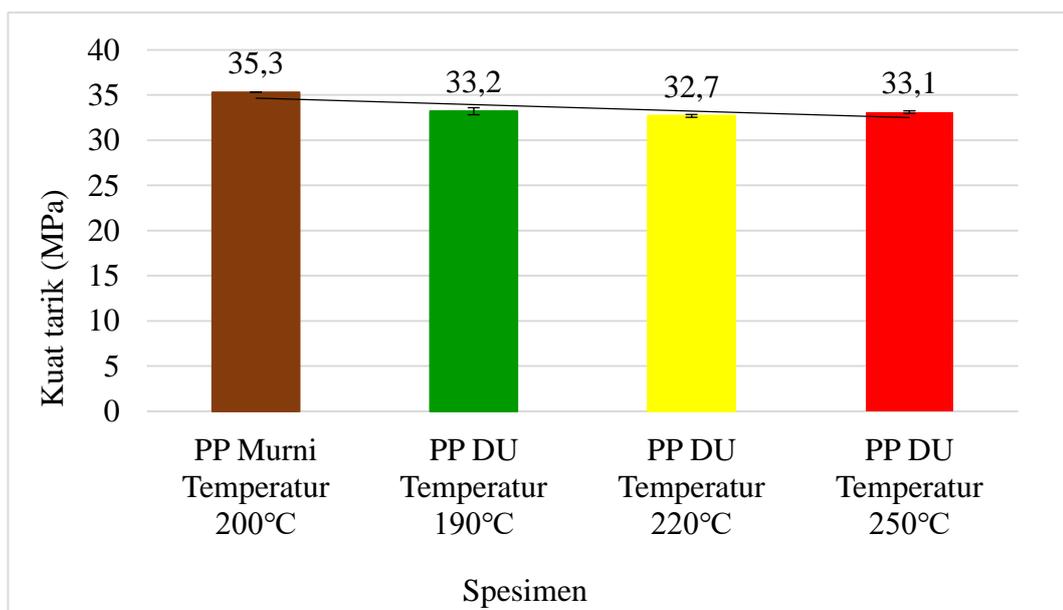
Pada variasi temperatur 250°C nilai rata-rata uji tarik dari 5 spesimen yaitu sebesar 33,1 MPa. Dari 5 spesimen uji tarik didapatkan nilai maksimum yang sama yaitu pada spesimen yang ke-1,2, dan 4 yaitu sebesar 33,2 MPa dan nilai minimum pada spesimen ke-3 yaitu sebesar 32,9 MPa.

### 4.3.2 Hasil Tabel dan Grafik

#### a. Tegangan

**Tabel 4.2.** Hasil perhitungan nilai Kuat Tarik material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai Kuat Tarik $\sigma$ (MPa)				
No.	PP MURNI 200°C	190°C	220°C	250°C
1	35,3	33,7	32,4	33,2
2	-	33,2	32,6	33,2
3		32,9	32,8	32,9
4		32,8	32,7	33,2
5		33,5	32,8	33,2
AVARAGE		35,3	33,2	32,7
STDEV	0	0,4	0,2	0,1
MAX	-	33,7	32,8	33,2
MIN	-	32,8	32,4	32,9

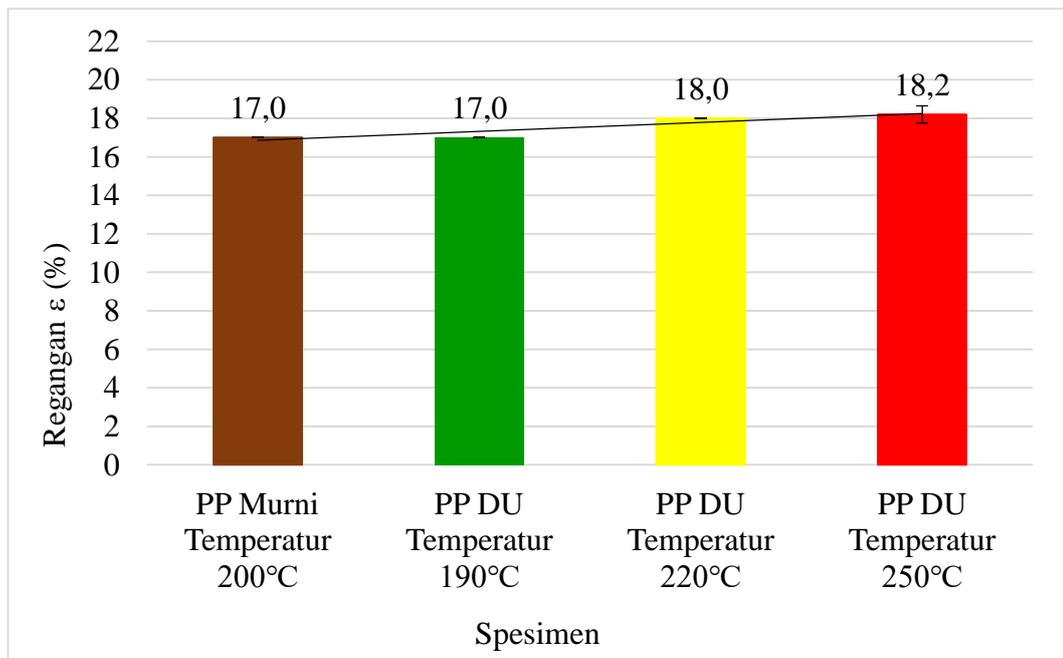


**Gambar 4.5.** Grafik nilai rata-rata tegangan

## b. Regangan

**Tabel 4.3.** Hasil perhitungan nilai Regangan material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai Regangan $\varepsilon$ (%)				
No.	PP MURNI 200°C	190°C	220°C	250°C
1	17,0	17,0	18,0	18,0
2	-	17,0	18,0	18,0
3		17,0	18,0	18,0
4		17,0	18,0	18,0
5		17,0	18,0	19,0
AVARAGE		17,0	17,0	18,0
STDEV	0,0	0,0	0,0	0,4
MAX	-	17,0	18,0	19,0
MIN	-	17,0	18,0	18,0

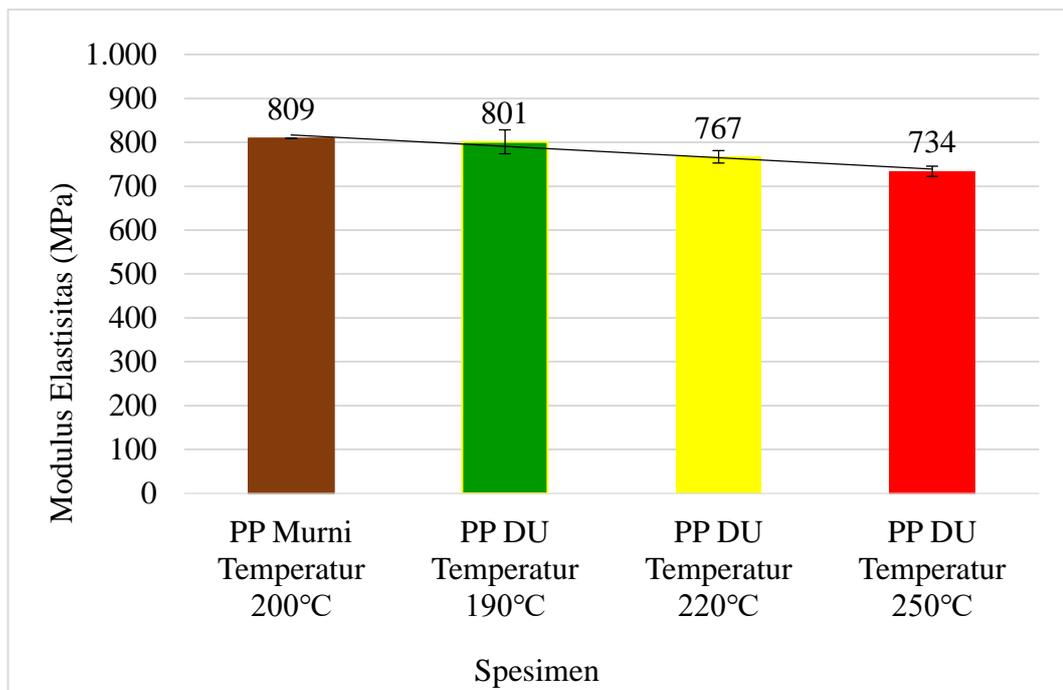


**Gambar 4.6.** Grafik nilai rata-rata regangan

## c. Modulus Elastisitas

**Tabel 4.4.** Hasil perhitungan nilai Modulus Elastisitas material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai Modulus Elastisitas E (MPa)				
No.	PP MURNI 200°C	190°C	220°C	250°C
1	809	819	742	746
2	-	838	777	717
3		781	775	730
4		773	772	743
5		791	770	735
AVARAGE		809	801	767
STDEV	0	27,5	14,5	11,6
MAX	809	838,0	777	746
MIN	809	773,0	742	717



**Gambar 4.7.** Grafik nilai rata-rata Modulus Elastisitas

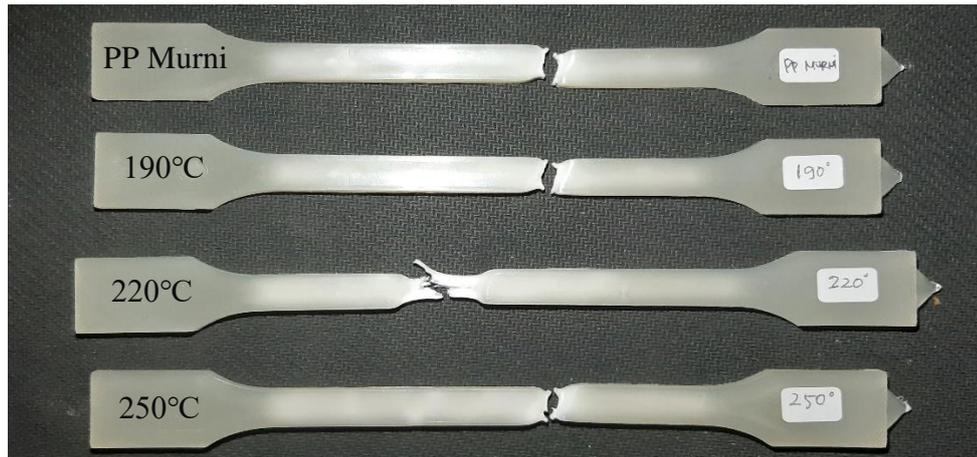
### 4.3.3 Pembahasan Uji Tarik

Pada Gambar 4.7 dijelaskan dari hasil data pengujian variasi temperatur injeksi material PP daur ulang 2 kali dapat dianalisis bahwa penurunan nilai tegangan dari material PP daur ulang 2 kali tidak terlalu banyak perubahan nilai tegangannya. Dari nilai acuan PP murni nilai tegangan sebesar 35,3 MPa, penurunan nilai tegangan terjadi pada tiap variasi temperatur injeksi. Penurunan nilai tegangan terbesar terjadi pada variasi temperatur 220°C, nilai rata-rata dari 5 spesimen pengujian yaitu sebesar 32,7 MPa terendah dari nilai tegangan variasi 190°C dan 250°C. Hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur pada proses injeksi maka semakin rendah nilai ketahanan sifat mekanis pada material daur ulang. Menurut Bernadeth dan Ariadne (2010) menjelaskan PP daur ulang masih mempunyai sifat mekanik yang sama dengan PP murni sehingga masih layak digunakan untuk aplikasi non struktural lainnya.

Pada Gambar 4.8 dijelaskan dari data data pengujian variasi temperatur injeksi material PP daur ulang 2 kali dapat dianalisis bahwa semakin rendah nilai regangan dapat mengakibatkan spesimen daur ulang tersebut menjadi getas. Dari nilai acuan PP murni nilai regangan sebesar 17%, dapat dilihat terjadi kenaikan nilai regangan pada PP DU variasi temperatur 220°C dan 250°C. Nilai perubahan regangan tertinggi didapaat pada variasi temperatur 250°C yaitu sebesar 18,2% mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Menurut Asror (2003) perubahan temperatur dan tekanan injeksi pada proses injection molding terhadap material plastik daur ulang berpengaruh signifikan dengan hasil regangan produk tersebut. Hal itu terjadi karena proses pemanasan dan tekanan pada saat injeksi kemudian pengaruh banyaknya kadar amorf pada material dapat meningkatkan kekerasan.

Pada Gambar 4.9 dijelaskan dari data pengujian variasi temperatur injeksi material PP daur ulang 2 kali dapat dianalisis bahwa semakin meningkat nilai modulus elastisitasnya maka berpengaruh terhadap sifat kekakuan material tersebut. Dari nilai acuan PP murni nilai modulus elastisitas sebesar 809 MPa, pada material PP DU terjadi penurunan nilai modulus elastisitas yang cukup signifikan. hasil uji PP DU nilai modulus elastisitas tertinggi terjadi pada variasi temperatur 190°C, nilai rata-rata modulus elastisitas yaitu sebesar 801 MPa dan nilai rata-rata

modulus elastisitas terendah yaitu pada variasi temperatur 250°C yaitu sebesar 734 MPa. Dapat dilihat dari data pengujian bahwa penurunan nilai modulus elastisitas dipengaruhi oleh bahan daur ulang dan temperatur injeksi, hal ini dikarenakan semakin tinggi temperatur injeksi PP daur ulang pada saat pembuatan produk maka nilai modulus elastisitasnya semakin menurun.



**Gambar 4.8.** Spesimen hasil pengujian tarik

#### 4.3.4 Analisis Penurunan Nilai Kuat Tarik

Berikut adalah contoh perhitungan nilai presentase penurunan kuat tarik dengan acuan pengujian PP murni temperatur injeksi 200°C yaitu sebesar 35,3 MPa. Dibandingkan dengan PP DU 2 kali temperatur injeksi 190°C, PP DU 2 kali temperatur injeksi 200°C dan PP DU 2 kali temperatur injeksi 250°C.

1. Diketahui : PP murni : 35,3 MPa

Ditanya : Penurunan : .....?

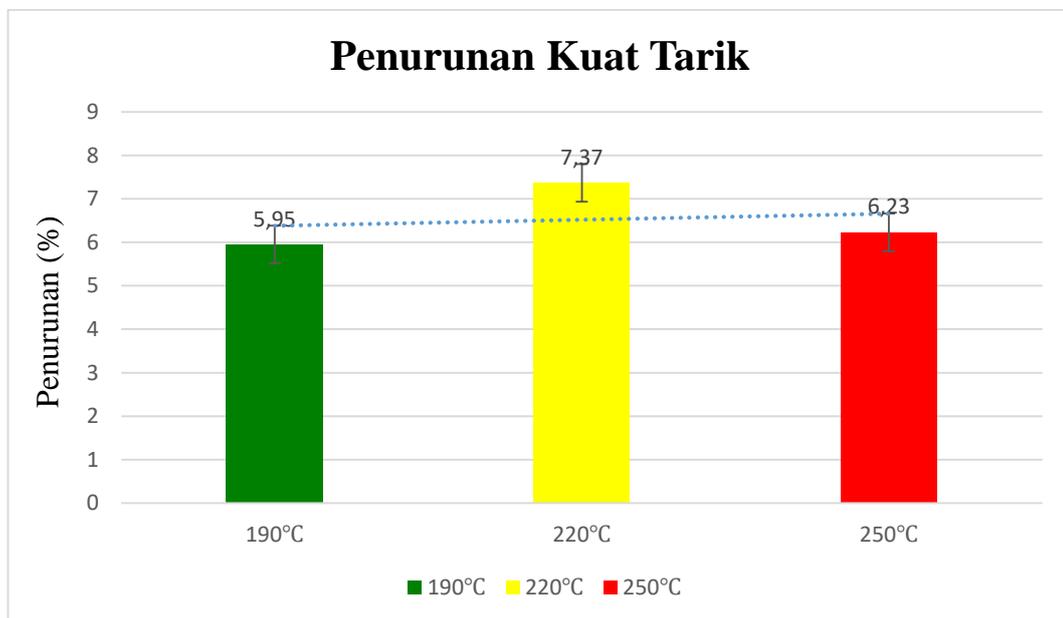
$$\text{Dijawab : Penurunan} = \frac{(\text{PP murni} - \text{PP DU})}{\text{PP murni}} \times 100\%$$

$$= \frac{(35,3 - 33,2)}{35,3} \times 100\%$$

$$= 5,86\%$$

**Tabel 4.5.** Hasil penurunan kuat tarik material PP daur ulang

Nilai Penurunan Kuat Tarik			
No.	Variasi temperatur (°C)	Kuat Tarik (MPa)	Penurunan (%)
1	190	33,2	5,95
2	220	32,7	7,37
3	250	33,1	6,23

**Gambar 4.9.** Nilai penurunan kuat tarik

Perbandingan nilai kuat tarik antara polipropilen murni dan polipropilen daur ulang yang mengacu pada nilai kuat tarik polipropilen murni mengalami penurunan persentase antara PP murni temperatur injeksi 200°C dengan PP DU temperatur injeksi 190°C mendapatkan penurunan persentase sebesar 5,95% sedangkan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 200°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 7,37% dan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 250°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 6,23%. Nilai kuat tarik mengalami penurunan diakibatkan bahan daur ulang yang mengalami proses pemanasan yang berulang-ulang dan temperatur proses pada saat pembentukan produk.

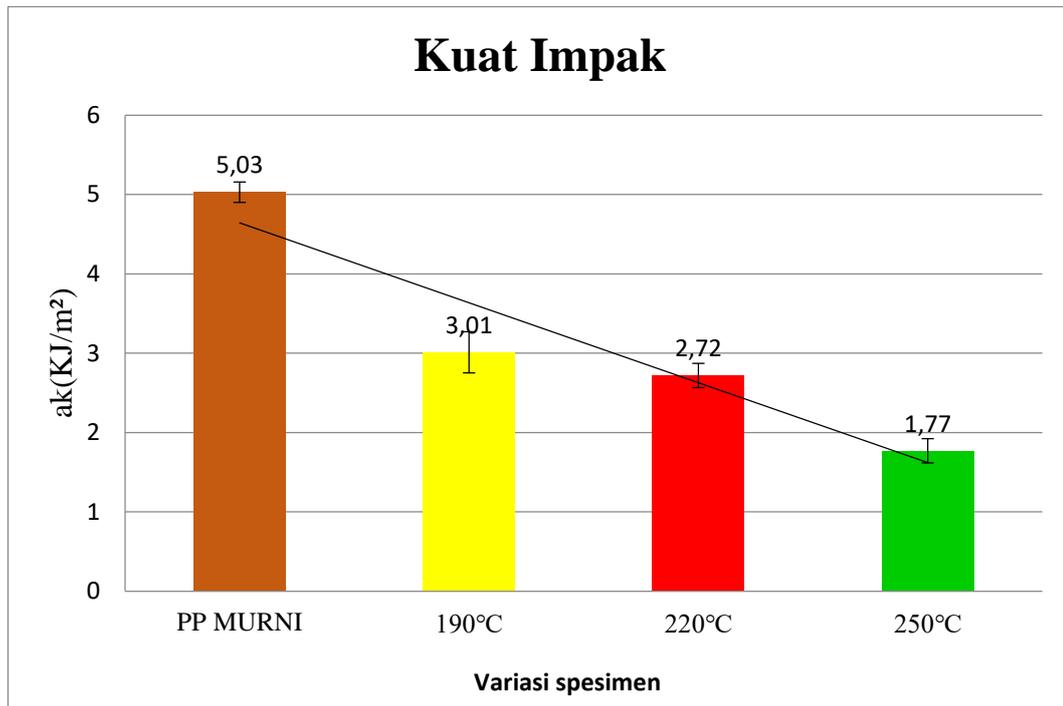
#### 4.4 Hasil pengujian Impak

Berdasarkan penelitian didapatkan hasil dari pengujian Impak material PP daur ulang variasi suhu 190°C, 220°C dan 250°C sesuai dengan nilai dan disertai dengan tabel dan grafik.

##### 4.4.1 Hasil Tabel dan Grafik Uji Impak PP daur ulang dengan variasi temperatur injeksi 190°C, 220°C dan 250°C.

**Tabel 4.6.** Hasil perhitungan uji Impak material material *polypropylene* daur ulang dengan temperatur 190°C, 220°C dan 250°C

Nilai energi yang di serap (Ak = KJ/m <sup>2</sup> )					
No.	PP Murni	190°C	220°C	250°C	Tipe
1	5,12	2,95	2,55	1,97	C
2	4,94	2,64	2,62	1,6	C
3	-	2,98	2,75	1,73	C
4		3,15	2,73	1,88	C
5		3,34	2,95	1,67	C
AVARAGE	5,03	3,01	2,72	1,77	
STDEV	0,13	0,26	0,15	0,15	
MAX	5,12	3,34	2,95	1,97	
MIN	4,94	2,64	2,55	1,6	



**Gambar 4.10.** Grafik nilai rata-rata uji impact

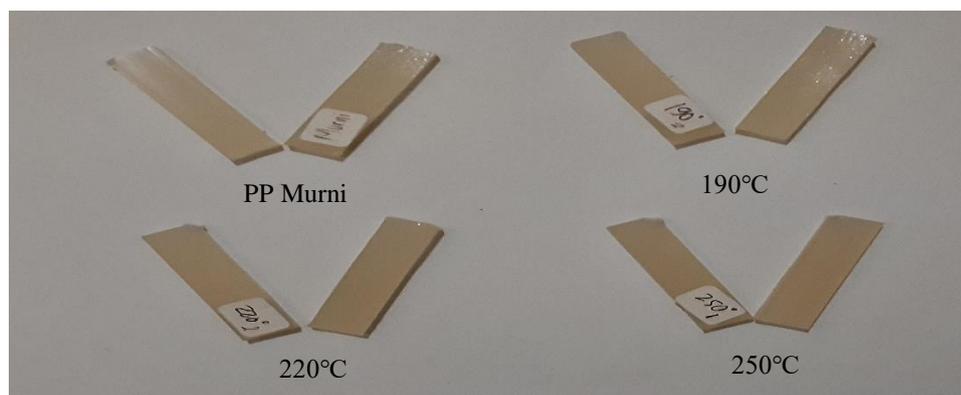
#### 4.4.2 Pembahasan Uji Impact

Hasil dari data pengujian impact polipropilen daur ulang 2 kali variasi temperatur injeksi 190°C mendapat nilai rata-rata energi impact sebesar 3,01 KJ/m<sup>2</sup>, variasi temperatur injeksi 220°C mendapat nilai rata-rata energi impact sebesar 2,27 KJ/m<sup>2</sup> dan variasi temperatur injeksi 250°C mendapat nilai rata-rata energi impact sebesar 1,77 KJ/m<sup>2</sup>. Dari nilai acuan impact PP murni nilai kuat impact sebesar 4,5 KJ/m<sup>2</sup> lebih tinggi dari hasil pengujian impact PP daur ulang variasi temperatur. Maka dapat diketahui bahwa hasil dari pengujian material polipropilen daur ulang variasi temperatur memiliki nilai penurunan yang signifikan terhadap temperatur injeksi.

Dari Gambar 4.10 dapat dijelaskan dari data variasi temperatur injeksi polipropilen dapat dianalisis bahwa semakin tinggi nilai kekuatan impact yang dihasilkan pada spesimen PP daur ulang maka semakin baik dalam ketahanan menerima beban kejut yang datang dan semakin lunak. Bentuk *type of failure* patahan dari spesimen PP daur ulang tersebut dikategorikan tipe C (*complete*

*break*), artinya patahan yang dihasilkan adalah sempurna ketika diberi energi dari pendulum sebesar 0,5 Joule yang disesuaikan dengan standar ISO 179-1 material polipropilen, sehingga plastik tersebut cenderung getas.

Tekanan pada saat melakukan proses injeksi mempengaruhi kekuatan energi impact menjadi turun. Menurut Asror (2003) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa pengaruh suhu proses dan tekanan injeksi berpengaruh terhadap nilai kekuatan energi impact dengan standar ISO 179-1 pada proses pembuatan spesimen. Semakin tinggi suhu dan tekanan injeksi pada saat proses produksi, maka semakin meningkatkan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik tersebut.



**Gambar 4.11.** Spesimen hasil pengujian impact

#### 4.4.3 Analisa Penurunan Nilai Impact

Berikut adalah contoh perhitungan nilai presentase penurunan kuat impact dengan acuan pengujian PP murni temperatur injeksi 200°C yaitu sebesar 5,03. Dibandingkan dengan PP DU 2 kali temperatur injeksi 190°C, PP DU 2 kali temperatur injeksi 200°C dan PP DU 2 kali temperatur injeksi 250°C.

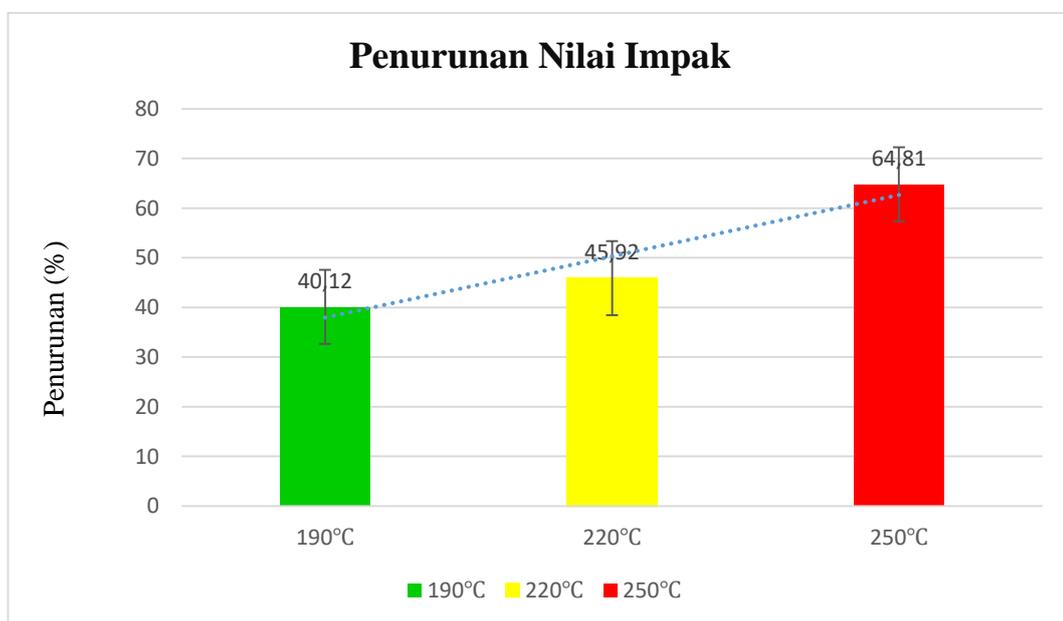
1. Diketahui : PP murni : 5,03 KJ/m<sup>2</sup>

Ditanya : Penurunan : .....?

$$\begin{aligned} \text{Dijawab : Penurunan} &= \frac{(\text{PP murni} - \text{PP DU})}{\text{PP murni}} \times 100\% \\ &= \frac{(5,03 - 3,01)}{5,03} \times 100\% \\ &= 40,12\% \end{aligned}$$

**Tabel 4.7.** Hasil penurunan Nilai Impak material PP daur ulang

Nilai Penurunan Impak			
No.	Variasi temperatur (°C)	Kuat impak (KJ/m <sup>2</sup> )	Penurunan (%)
1	190	3,01	40,12
2	220	2,72	45,92
3	250	1,77	64,81

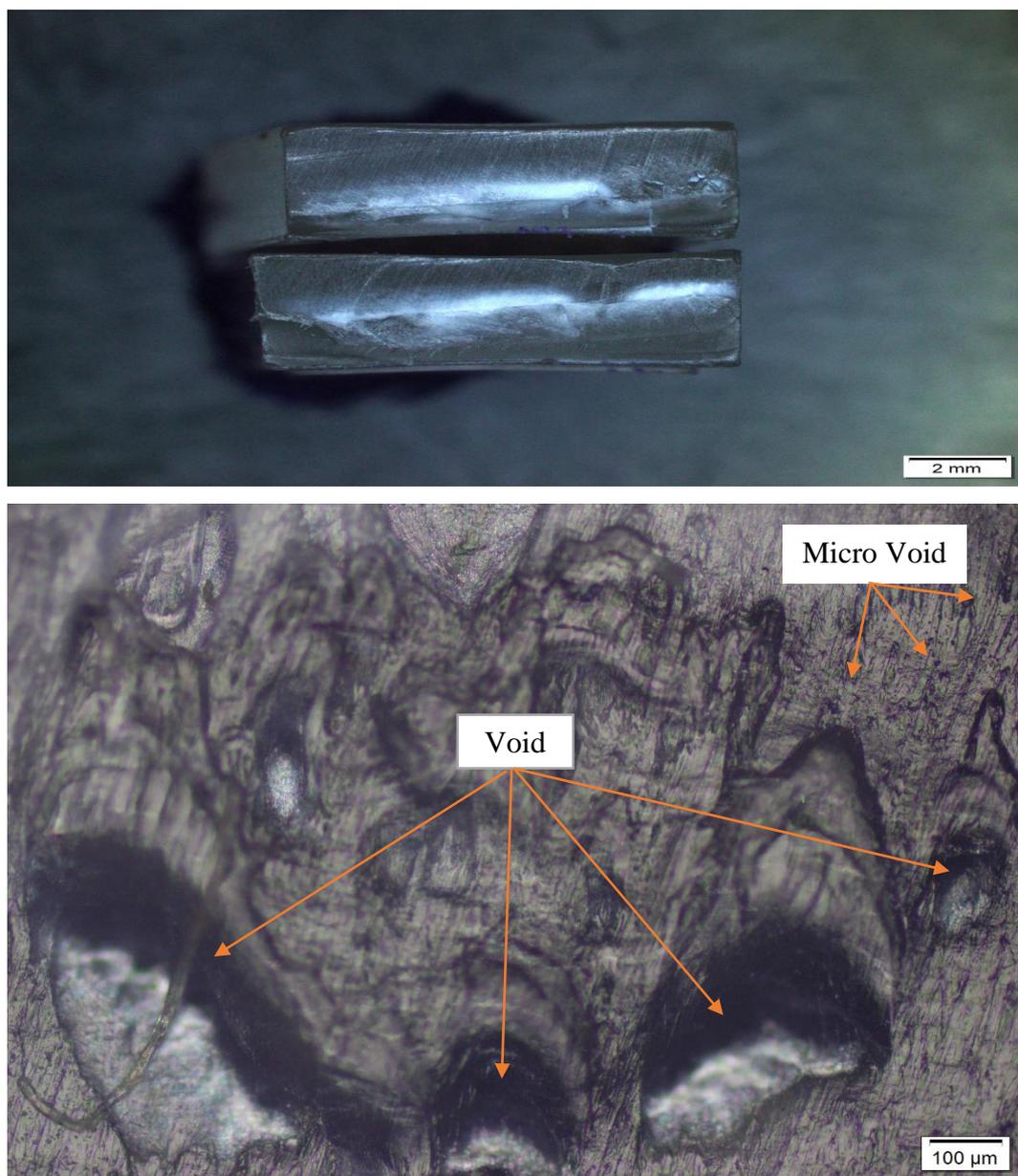
**Gambar 4.12.** Nilai penurunan kuat impak

Perbandingan nilai uji impak antara polipropilen murni dan polipropilen daur ulang yang mengacu pada nilai uji impak polipropilen murni mengalami penurunan persentase antara PP murni temperatur injeksi 200°C dengan PP DU temperatur injeksi 190°C mendapatkan penurunan persentase sebesar 40,12% sedangkan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 200°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 45,92% dan perbandingan antara PP murni dengan PP DU temperatur injeksi 250°C mendapatkan nilai penurunan persentase sebesar 64,81%. Sama seperti halnya pada uji tarik, perbandingan nilai uji impak pun mengalami penurunan diakibatkan temperatur proses pembentukan dan bahan daur ulang diakibatkan proses pemanasan yang berulang-ulang.

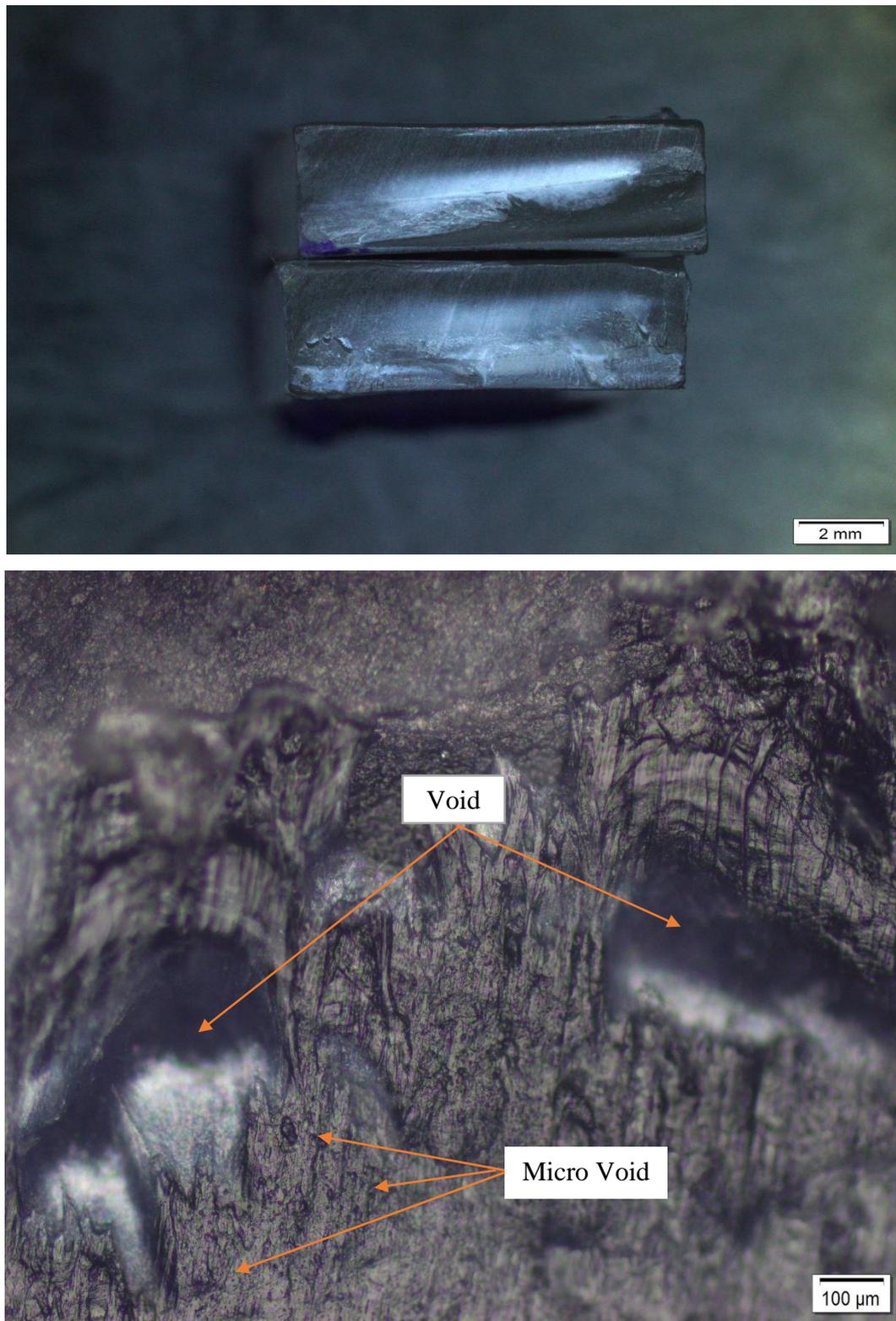
#### 4.5 Hasil Pengujian Fraktografi

Pada pengujian ini spesimen hasil uji impact dipotong pada bagian patahan impact kurang lebih 2 cm, untuk dapat diamati perbedaan variasi temperatur terhadap fraktografi pada patahan dari hasil uji impact menggunakan mikroskop optik digital.

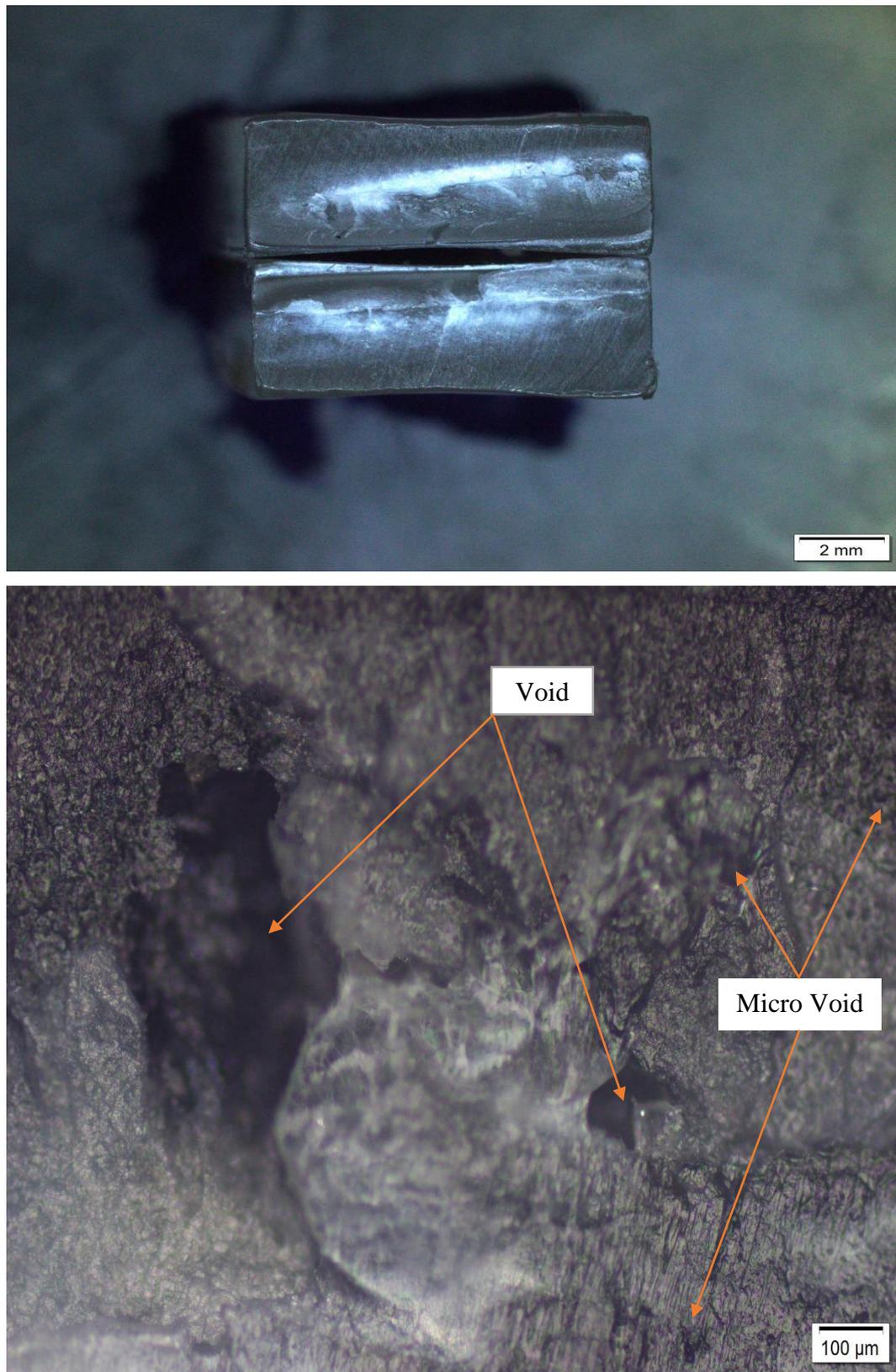
4.5.1 Gambar dari bentuk patahan impact dengan variasi suhu 190°C, 220°C dan 250°C ditunjukkan pada gambar 4.13, 4.14 dan 4.15.



**Gambar 4.13.** Bentuk patahan impact variasi temperatur 190°C



**Gambar 4.14.** Bentuk patahan impak variasi temperatur 220°C



**Gambar 4.15.** Bentuk patahan impak variasi temperatur 250°C

#### 4.5.1 Pembahasan Hasil Pengujian Fraktografi

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa setiap variasi temperatur pada spesimen terdapat rongga (*void*) yang akan mengakibatkan penurunan sifat mekanis. Ada beberapa penyebab void pada spesimen yaitu gas yang masih terperangkap didalam *cylinder* dan udara yang masih terjebak didalam *cavity*. Pada gambar 4.13 menunjukkan fraktografi PP DU 190°C menggunakan mikroskop optik digital pada patahan impak spesimen ke-4. Pada gambar 4.14 menunjukkan fraktografi PP DU 220°C menggunakan mikroskop optik digital pada patahan impak spesimen ke-5. Pada gambar 4.15 menunjukkan fraktografi PP DU 250°C menggunakan mikroskop optik digital pada patahan impak spesimen ke-4.

Jika dilihat pada hasil pengujian dapat dijelaskan bahwa pada temperatur injeksi 250°C terdapat rongga yang cukup besar dibandingkan pada variasi temperatur 190°C dan 220°C. Hal ini menunjukkan bahwa PP daur ulang temperatur injeksi 250°C memiliki luas penampang yang lebih kecil dari variasi temperatur 190°C dan 220°C yang akan mengakibatkan penurunan nilai uji mekanisnya. Hasil mikroskop optik digital ini juga didukung oleh hasil uji mekanis.

Menurut Asror (2003) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa Semakin tinggi suhu dan tekanan injeksi pada saat proses produksi, maka semakin meningkatkan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik tersebut.