

**PROSES PEMBENTUKAN DAN UJI MEKANIK PRODUK
PALU BERBAHAN LIMBAH PLASTIK HASIL INJECTON
MOULDING DENGAN VARIASI BAHAN PLASTIK
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DAN
POLYPROPYLENE (PP)**

Skripsi

**Untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S1
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

DISA PUTRA MAHENDRA

3331210012

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

CILEGON-BANTEN

2025

**PROSES PEMBENTUKAN DAN UJI MEKANIK PRODUK
PALU BERBAHAN LIMBAH PLASTIK HASIL INJECTON
MOULDING DENGAN VARIASI BAHAN PLASTIK
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DAN
POLYPROPYLENE (PP)**

Skripsi

**Untuk memenuhi persyaratan mencapai derajat Sarjana S1
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh:

DISA PUTRA MAHENDRA

3331210012

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

CILEGON-BANTEN

2025

TUGAS AKHIR

PROSES PEMBENTUKAN DAN UJI MEKANIK PRODUK PALU BERBAHAN LIMBAH PLASTIK HASIL INJECTION MOULDING DENGAN VARIASI BAHAN PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DAN POLYPROPYLENE (PP)

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

Disa Putra Mahendra
3331210012

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
pada tanggal, 06 Januari 2025

Pembimbing Utama

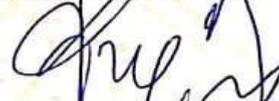


Prof. Dr. Ir. Eng. Hendra, S.T., M.T
NIP. 197311182003121002



Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng
NIP. 198305102012121006

Anggota Dewan Penguji



Dr. Sunardi, ST., M.Eng.
NIP. 197312032006041002



Sidik Susilo, S.T., M.Sc.
NIP. 198806052019031006



Prof. Dr. Ir. Eng. Hendra, S.T., M.T
NIP. 197311182003121002



Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng
NIP. 198305102012121006

Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal, 21 Januari 2025
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA



Ir. Dhimas Satria, ST., M.Eng
NIP. 198305102012121006

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : DISA PUTRA MAHENDRA

NPM : 3331210012

JUDUL : PROSES PEMBENTUKAN DAN UJI MEKANIK PRODUK
PALU BERBAHAN LIMBAH PLASTIK HASIL INJECTON
MOULDING DENGAN VARIASI BAHAN PLASTIK
POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DAN
POLYPROPYLENE (PP)

Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain,
kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya

Cilegon 06 Januari 2025



DISA PUTRA MAHENDRA

NPM. 3331210012

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur tercurah limpahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Proses Pembentukan dan Uji Mekanik Produk Palu Berbahan Limbah Plastik Hasil Injection Moulding Dengan Variasi Bahan Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dan Polypropylene (PP)”. Tugas Akhir merupakan salah satu syarat kelulusan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Oleh karenanya, dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga bisa menyelesaikan laporan ini.
2. Bapak Dhimas Satria, ST., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
3. Bapak Prof. Dr. Eng Ir. Hendra, S.T., M.T dan Dhimas Satria, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing satu dan dua yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk membimbing dan mengarahkan saya selama bimbingan Tugas Akhir.
4. Bapak Kurnia Nugraha, S.T., M.T selaku dosen pembimbing akademik yang telah membimbing selama perkuliahan.
5. Bapak Yusvardi Yusuf, S.T., M.T. selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Mamah, Papah, dan Adek yang telah mendukung secara moral maupun material dan mendoakan yang terbaik untuk penulis.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan baik dalam segi materi maupun teknik penyajian. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan wawasan dalam

peningkatan ilmu pengetahuan yang bermanfaat. Dan semoga dapat berguna untuk pengembangan dalam bidang teknologi kedepannya.

Cilegon, 03 Januari 2025

Penulis

ABSTRAK

PROSES PEMBENTUKAN DAN UJI MEKANIK PRODUK PALU BERBAHAN LIMBAH PLASTIK HASIL INJECTION MOULDING DENGAN VARIASI BAHAN PLASTIK POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DAN POLYPROPYLENE (PP)

Disusun Oleh :

DISA PUTRA MAHENDRA

NIM. 3331210012

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Plastik merupakan bahan yang memiliki tingkat kristalisasi lebih rendah dibandingkan serat dan dapat dilelehkan atau dibentuk. Tujuan penelitian sebagai berikut : Mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap produk palu hasil proses pengolahan limbah plastik dengan injection molding pada varian plastik PET dan plastik PP. Mendapatkan nilai uji mekanik dan karakteristik fisik antara plastik PET dan plastik PP. Adapun metode penelitian yang digunakan yaitu eksperimen. Mendapatkan data hasil yaitu : beban max plastik PP murni sebesar 455,76 N, Tegangan tarik bernilai 7,17 MPa, regangan sebesar 12% dan modulus elastisitas 59,98 MPa. PET Murni beban max sebesar 398,26 N, Tegangan tarik senilai 8,11 MPa, regangan sebesar 11.33% dan modulus elastisitas sebesar 74,76. PP dan PET 200°C mendapatkan nilai beban max sebesar 372,16, tegangan tarik 12,40 MPa, Regangan 9,33% dan modulus elastisitas 122,17 MPa. PP dan PET 250°C beban max 398,67 N, tegangan tarik 13,29 MPa, regangan 12% dan modulus elastisitas 105,44. PP dan PET 300°C mendapatkan beban max 357, 26 N, tegangan tarik 2,87 MPa, regangan 8%, modulus elastisitas 61,36MPa.

Kata Kunci : Plastik, injection moulding

ABSTRACT

THE FORMATION PROCESS AND MECHANICAL TESTING OF HAMMER PRODUCTS MADE FROM PLASTIC WASTE USING INJECTION MOULDING WITH VARIATIONS OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) AND POLYPROPYLENE (PP)

Compiled By :

DISA PUTRA MAHENDRA

NIM. 3331210012

UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA

Plastic is a material that has a lower crystallization rate than fibers and can be melted or shaped. The objectives of the study are as follows: To determine the effect of temperature variations on hammer products resulting from the plastic waste treatment process by injection molding in PET plastic and PP plastic variants. Obtain the mechanical test values and physical characteristics between PET plastic and PP plastic. The research method used is experimental. The results were obtained as follows: the max load of pure PP plastic is 455.76 N, the tensile stress is 7.17 MPa, the handle is 12% and the modulus of elasticity is 59.98 MPa. Pure PET has a max load of 398.26 N, tensile strength of 8.11 MPa, strain of 11.33% and modulus of elasticity of 74.76. PP and PET 200°C get a max load value of 372.16, tensile stress of 12.40 MPa, strain of 9.33% and modulus of elasticity of 122.17 MPa. PP and PET 250°C max load 398.67 N, tensile strength 13.29 MPa, strain 12% and modulus elasticity 61.36MPa.

Keywords: Plastic, injection molding

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Stage Of Art.....	5
2.2 Limbah Plastik.....	8
2.3 Plastik	10
2.3.1 Jenis-Jenis Plastik	10
2.4 Polyethylene Terephthalate (PET).....	12
2.5 Polypropylene (PP).....	13
2.6 Injection Moulding	14
2.7 Komponen-Komponen Injection Moulding	15
2.8 Palu.....	17
2.8.1 Penggunaan Palu Pada Kehidupan Kehidupan Sehari- hari	18
2.8.2 Material Palu	18
2.8.1 Sifat Material Palu.....	20
2.9 Sifat Mekanik Material	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	

3.1 Diagram Alir	24
3.2 Metode Penelitian	25
3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan.....	26
3.4 Persiapan Pembentukan Spesimen Uji	30
3.4.1 Pemebentukan Produk.....	30
3.4.2 Proses Pengujian Impak	31
3.4.3 Proses Pengujian Tarik	31
3.4.4 Proses Pembuatan Cetakan	32
3.5 Prosedur Pengujian Impak.....	32
3.6 Prosedur Pengujian Tarik.....	32
3.7 Uji Impact.....	33
3.8 Uji Tarik	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses <i>Injection Moulding</i>	43
4.2 Dimensi Proses <i>Injection Moulding</i> Produk Palu	43
4.3 Cacat Pada Produk Palu Hasil <i>Injection Moulding</i>	43
4.4 Hasil Uji Mekanik Dari Produk Palu.....	43
4.4.1 Uji Tarik	43
4.4.1.1 Hasil Pengujian Plastik <i>Polypropylene</i>	44
4.4.1.2 Hasil Pengujian Plastik <i>Polyethylene</i>	47
4.4.1.3 Hasil Pengujian Plastik PP dan PET Suhu 200° C.....	49
4.4.1.4 Hasil Pengujian Plastik PP dan PET Suhu 250° C.....	51
4.4.1.5 Hasil Pengujian Plastik PP dan PET Suhu 300° C	53
4.4.2 Uji <i>Impact</i>	55
4.4.2.1 Hasil Uji <i>Impact</i> PP Murni	58
4.4.2.2 Hasil Uji <i>Impact</i> PET Murni	441
4.4.2.3 Hasil Uji <i>Impact</i> PP dan PET 200°C.....	445
4.4.2.4 Hasil Uji Impak PP dan PET 250°C	447

4.4.2.5 Hasil Uji Impak PP dan PET 300°C	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Injection Moulding.....	14
Gambar 2. 2 Nozzle	15
Gambar 2. 3 Mold Freform.....	15
Gambar 2. 4 Sekrup	16
Gambar 2. 5 Barrel.....	16
Gambar 2. 6 Hopper.....	17
Gambar 2. 7 Palu.....	17
Gambar 3. 1 Thermocouple.....	26
Gambar 3. 2 Timbangan Elektrikal	27
Gambar 3. 3 Mesin Injection Moulding.....	27
Gambar 3. 4 Mesin Impact Testing.....	28
Gambar 3. 5 Mold (Cetakan)	28
Gambar 3. 6 Alat Uji Tarik	29
Gambar 3. 7 Plastik PET.....	29
Gambar 3. 8 Plastik PP	30
Gambar 3. 9 Minyak Sayur	30
Gambar 3. 10 Bentuk Spesimen Uji Impak	32
Gambar 3. 11 Uji Impact.....	33
Gambar 3. 12 Alat Uji Tarik	35
Gambar 4. 1 Hasil Produk Palu Injection Moulding.....	36
Gambar 4. 2 Produk Palu Suhu 200°C	37
Gambar 4. 3 Produk Palu Suhu 250°C	37
Gambar 4. 4 Produk Palu Suhu 300°C	38
Gambar 4. 5 Palu 200°C	38
Gambar 4. 6 Palu 250°C	39
Gambar 4. 7 Palu 300°C	40
Gambar 4. 8 Palu Bersuhu 200°C.....	41

Gambar 4. 9 Palu Bersuhu 250°C	42
Gambar 4. 10 Palu Bersuhu 300°C	43
Gambar 4. 11 Hasil Uji tarik PP Murni	46
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Tegangan Regangan	47
Gambar 4. 13 Hasil Uji Tarik PET Murni	49
Gambar 4. 14 Hasil Uji Tarik PP dan PET 200°C.....	51
Gambar 4. 15 Hasil Uji Tarik PP dan PET 250°C.....	53
Gambar 4. 16 Hasil Uji Tarik PP dan PET 300°C.....	55
Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan Impak Spesimen PP Murni	57
Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Energi yang dibutuhkan untuk Spesimen PP Murni.....	59
Gambar 4. 19 Spesimen Uji Impak PP Murni.....	59
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Kekuatan Impak (Is) untuk Spesimen PET Murni.....	60
Gambar 4. 21 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan (E) Spesimen PET Murni	62
Gambar 4. 22 Spesimen pengujian impak PET Murni.....	62
Gambar 4. 23 Perbandingan kekuatan impak pada spesimen PP dan PET 200°C.....	63
Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan Pada Spesimen PP dan PET 200°C.....	64
Gambar 4. 25 Spesimen Uji Impak Material Kombinasi PP dan PET 200°C.....	65
Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Nilai Kkeuatan Impak pada Spesimen PP dan PET 250°C	66
Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan (E) pada Spesimen PP dan PET 250°C	67
Gambar 4. 28 Spesimen Uji Impak pada Material PP dan PET 250°C	68
Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Kekuatan Impak (Is) pada Spesimen PP dan PET 300°C	69

Gambar 4. 30 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan Pada Spesimen PP dan PET 300°C.....	70
Gambar 4. 31 Spesimen Uji Impak Material	70
Gambar 4. 32 Kurva Perbandingan Beban Max	71
Gambar 4. 33 Kurva Perbandingan Tegangan Tarik.....	73
Gambar 4. 34 Kruva Perbnadingan Tegangan	74
Gambar 4. 35 Kurva Perbandingan Modulus Elastisitas	74
Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan Kekuatan Impak (Is) pada setiap spesimen uji	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2. 1 Stage Of Art.....	5
Tabel 4. 1 Perbandingan Beban Max Spesimen PP Murni	45
Tabel 4. 2 Tabel Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas Spesimen PP Murni.....	45
Tabel 4. 3 Perbandingan Beban Max pada spesimen PET Murni.....	47
Tabel 4. 4 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus ``Elastisitas pada spesimen PET Murni	47
Tabel 4. 5 Perbandingan Beban Max pada spesimen PP dan PET 200° C	49
Tabel 4. 6 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas pada spesimen PP dan PET 200° C.....	50
Tabel 4. 7 Perbandingan Beban Max pada spesimen PP dan PET 250° C	51
Tabel 4. 8 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas pada spesimen PP dan PET 250.....	52
Tabel 4. 9 Perbandingan Beban Max pada spesimen PP dan PET 300°C	53
Tabel 4. 10 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas pada spesimen PP dan PET 300°C.....	54
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian impak spesimen PP Murni.....	57
Tabel 4. 12 Hasil Perbandingan Energi yang dibutuhkan (E) Spesimen PP Murni.....	58
Tabel 4. 13 Perbandingan Nilai Kekuatan Impak (Is) Spesimen PET Murni ...	60
Tabel 4. 14 Perbandingan Energi yang dibutuhkan pada spesimen PET Murni	61
Tabel 4. 15 Perbandingan Nilai Kekuatan Impak pada Spesimen PP dan PET 200°C	63
Tabel 4. 16 Perbandingan Energi yang dibutuhkan pada Spesimen PP dan PET 200°C.....	64
Tabel 4. 17 Perbandingan Kekuatan Impak pada Spesimen PP dan PET 250°C	65

Tabel 4. 18 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan pada Spesimen	67
Tabel 4. 19 Perbandingan Kekuatan Impak (Is) pada Spesimen PP dan PET 300°C	68
Tabel 4. 20 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan Pada Spesimen PP dan PET 300°C.....	69
Tabel 4. 21 Perbandingan Rata-Rata Nilai Beban Max	71
Tabel 4. 22 Perbandingan Rata-rata Nilai Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas	72

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah adalah sebuah proses yang tidak menambah nilai dalam suatu kegiatan [1]. pada jaman sekarang bertambahnya populasi manusia mengakibatkan banyaknya limbah yang menjadi permasalahan pada masyarakat di dunia ini. Limbah terbagi dalam beberapa macam jenis diantaranya: limbah cair, limbah gas, limbah padat, dan limbah plastik. Limbah plastik merupakan limbah yang sering kali ditemukan pada lingkungan masyarakat. Menurut data BPS (2018), pada tahun 2017 jumlah penduduk Indonesia mencapai 261,89 juta jiwa. Kondisi ini menyebabkan peningkatan jumlah produksi sampah. Selain itu, pertumbuhan sektor industri juga memengaruhi pendapatan rumah tangga, yang berhubungan dengan daya beli dan pola konsumsi masyarakat. Akibatnya, volume, jenis, dan karakteristik sampah yang dihasilkan menjadi semakin beragam dan meningkat [2].

Plastik merupakan bahan yang memiliki tingkat kekristalan lebih rendah dibandingkan serat dan dapat dilelehkan atau dibentuk pada suhu tinggi, yaitu suhu peralihan kaca yang berada di atas suhu ruangan [3]. plastik dikelompokkan dalam 2 bagian yaitu: plastik *thermoplast* dan plastik *thermoset*. Plastik *thermoplast* adalah jenis plastik yang dapat dicetak ulang dengan menggunakan panas. Beberapa contoh plastik termoplast meliputi *Polyethylene (PE)*, *Polypropylene (PP)*, *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, *Polystyrene (PS)*, *Polyethylene Terephthalate (PET)*, *Polyacetal (POM)*, dan *Polycarbonate (PC)*. Sebaliknya, plastik termoset adalah plastik yang, setelah mengalami proses tertentu, tidak bisa dicetak kembali karena polimernya membentuk jaringan tiga dimensi. Contoh plastik termoset termasuk *Polyurethane (PU)*, *Urea Formaldehyde (UF)*, *Melamine Formaldehyde (MF)*, *polyester*, epoksi, dan lainnya [4].

Polyethylene Terephthalate (PET) dan *Polypropylene* (PP) adalah dua jenis plastik yang umum digunakan dalam berbagai industri. PET dikenal karena kekuatan mekanik yang tinggi, ketahanan terhadap suhu dan bahan kimia, sehingga ideal untuk botol dan kemasan makanan. Sebaliknya, PP adalah plastik ringan, tahan bahan kimia dan korosi, serta fleksibel, sehingga sering digunakan dalam komponen otomotif dan kemasan. Pemilihan bahan plastik yang tepat dan pengujian hasil injection moulding sangat penting untuk memastikan kualitas produk akhir.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan parameter yang melibatkan pengaturan suhu, kapasitas awal, dan kecepatan motor yang konstan. Material yang digunakan adalah limbah daur ulang plastik jenis PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*). Hasil penelitian meliputi hasil pembentukan produk dengan injeksi moulding, pengujian sifat mekanik produk, dan pengujian sifat thermal produk. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis material plastik dan parameter proses injection moulding sedangkan variabel terikatnya meliputi sifat mekanik, sifat thermal, dan sifat fisik. Hasilnya berupa perbandingan spesimen dengan menggunakan suhu 200°C, 250°C dan 300°C mendapat analisis sifat mekanik dan sifat fisik dari spesimen yang uji impak. dapat memperluas pemahaman mengenai aplikasi bahan plastik dan proses produksi di industri manufaktur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah didapatkan dapat dirumuskan, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut ini:

1. Bagaimana pengaruh variansi temperatur terhadap kualitas produk plastik dari varian PET dan PP ?
2. Apakah terdapat perbedaan yang signifikan dari ketahanan terhadap deformasi dan stabilitas dimensi antara produk varian PET dan PP hasil *injection molding* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Didapatkan beberapa tujuan penelitian yang dapat tercapai dalam penelitian ini, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap produk palu hasil proses pengolahan limbah plastik dengan *injection molding* pada varian PET dan PP.
2. Mendapatkan nilai uji mekanik dan karakteristik fisik antara bahan PET dan PP.

1.4 Manfaat Penelitian

Untuk manfaat penelitian ini supaya tidak melebar, maka terdapat beberapa batasan-batasan seperti dibawah ini :

1. Penelitian ini membahas solusi untuk mengurangi jumlah limbah plastik dengan menggunakan *injection moulding* yang menghasilkan produk palu.
2. Hasil produk pengolahan limbah plastik PET dan PP dengan menggunakan metode *injection moulding* dapat memberikan masyarakat produk yang ramah lingkungan. dengan menghasilkan produk palu yang memiliki fungsional dan berkontribusi pada kelestarian lingkungan
3. Penelitian ini mendukung kebijakan pemerintah pada visi pemerintah dalam mendukung industri yang ramah lingkungan.
4. Mendukung kebijakan pemerintah dalam pengolahan plastik dan daur ulang.
5. Pemerintah dapat menggunakan hasil penelitian ini sebagai alat edukasi dalam kampanye pengurangan sampah plastik dan pentingnya daur ulang plastik.

1.5 Batasan Masalah

Ada beberapa batasan masalah dari penelitian ini, seperti di bawah adalah :

1. Jenis plastik yang digunakan PET dan PP

2. Suhu yang diinginkan sebesar 200°C, 250°C, dan 300°C
3. Pengujian mekanik menggunakan Uji Impak dan Uji Tarik
4. Pada Spesimen Uji Impak menggunakan standar ASTM D6110
5. Spesimen Uji Tarik menggunakan standar ASTM D638 Tipe 1

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stage Of Art

Dalam penelitian mengacu pada literatur berupa jurnal dari penelitian sebelumnya yang juga menggunakan mesin dan standar yang sama sebagai referensi literatur. State of the art dijelaskan dalam bentuk tabel yang menyertakan penjelasan tentang perbedaan penelitian sebelumnya, yang sangat penting sebagai acuan dalam penelitian ini. Tabel 2.1 berikut menampilkan State of the art yang dijadikan referensi.

Tabel 2. 1 *Stage Of Art*

No.	Deskripsi Jurnal (Jurnal, Peneliti, Tahun)	Objek Penelitian	Hasil dan Pembahasan
1.	Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis PP, PET, dan Campuran (PP+PET) [5].	Pengujian impact untuk bahan plastik PP, PET, dan campuran (PP+PET) dengan jumlah masing-masing spesiemen 10. Dengan ukuran 10 x 10 x 100 mm (tinggi x lebar x panjang). Posisi takik (notch) berada ditengah, kedalaman takik 2 mm dari permukaan benda uji dan sudut takik 45° bentuk	Pada pengujian spesimen dengan menggunakan suhu rata-rata benda uji 200°C mempunyai nilai rata-rata untuk masing-masing plastik. Untuk spesimen plastik jenis PP energi impaknya sebesar 1,31 joule. Kekuatan impact (<i>impact strength</i>) sebesar 0.0161 joule/mm ² . kemudian untuk speisemen plastik PET energi impaknya sebesar 1,15 joule. Kekuatan impact (<i>impact strength</i>) sebesar

		<p>takik berupa huruf V.</p>	<p>0.0138 joule/mm². untuk spesimen campuran PP dan PET energi impaknya sebesar 1,18 joule. Kekuatan impact (<i>impact strength</i>) sebesar 0.0145 joule/mm². pada pengujian spesimen plastik jenis PP mempunyai nilai kekuatan impak/<i>impact strength</i> yang tertinggi dengan energi impak = 1.31 Joule dan kekuatan impak/<i>impact strength</i> = 0.019 Joule/mm²</p>
2.	<p>Pengaruh Variasi Komposisi Zeolit Alam Terhadap Hasil Pirolisis Plastik Campuran Polypropylene Dan Polyethylene Terephthalate [6].</p>	<p>campuran sampah plastik Polyethylene terephthalate (PET) dan polypropylene (PP) murni disublimasi melalui pirolisis dengan tambahan zeolite</p>	<p>Pada pengujian plastik PET dan PP dengan campuran pirolisis menggunakan suhu 300°C. massa setiap spesimen sebesar 5kg dengan hasil 200 ml. dengan komposisi murni, zeolite 5%, 10%, 15%. Untuk campuran murni membutuhkan waktu 176 menit, tambahan zeolite 5% membutuhkan waktu 142 menit, tambahan zeolite 10% membutuhkan waktu 93 menit dan untuk</p>

			<p>campuran 15% membutuhkan waktu 82 menit. zeolit alam memiliki potensi sebagai katalis dalam proses pirolisis plastik campuran PP dan PET. Penambahan zeolit dapat meningkatkan kualitas bahan bakar hasil pirolisis, yang dapat memiliki implikasi positif dalam upaya mengurangi dampak sampah plastik dan mendapatkan sumber energi alternatif</p>
3.	<p>Analisa hasil cacahan plastik terhadap kekuatan tarik material plastik jenis PP dan PET pada mesin pengolah plastik [7].</p>	<p>Analisa sifat mekanik spesimen hasil cacahan plastik kombinasi PP dan PET hasil dari mesin pengolahan plastik dengan menggunakan metode uji tarik.</p>	<p>Diketahui bahwa terjadi penurunan tegangan dari material PP daur ulang, jika dibandingkan dengan PP Murni nilai tegangan sebesar 27 MPa, penurunan tegangan dari variasi ukuran cacahan 20 x 20 dengan nilai rata – rata dari 3 spesimen pengujian yaitu 3.1 MPa dan 163 N (penurunan 85%), kemudian nilai tegangan terendah pada variasi cacahan 10 x 10 mm dengan nilai rata rata dari 3 spesimen 1.1 MPa</p>

			<p>dan 58 N (penurunan 96%). Penurunan nilai kekuatan tarik juga terjadi pada material plastic PET penurunann nilai tegangan dan beban tarik sebesar 94% (1.6 MPa dan 82 N) dan penurunan tertinggi sebesar 98% (0.5 MPa dan 25 N). Penurunan kekuatan tarik dan beban tarik disebabkan tingginya tempratur pada proses pemanasan menyebabkan rendahnya nilai ketahanan mekanis pada material daur ulang</p>
--	--	--	--

2.2 Limbah Plastik

Limbah plastik adalah sisa-sisa atau produk plastik yang telah digunakan dan tidak lagi memiliki nilai pakai. Menurut Pratiwi (2016), setiap aktivitas manusia pasti menghasilkan limbah atau sampah. Volume sampah yang dihasilkan sebanding dengan tingkat konsumsi barang atau material yang digunakan setiap hari. Jenis sampah yang dihasilkan juga bergantung pada jenis material yang dikonsumsi. Rata-rata, setiap orang menghasilkan lebih dari setengah ton sampah per tahun, atau sekitar satu kilogram per hari. Jika sampah ini tidak dikelola dengan baik, dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan dan masyarakat. Misalnya, dapat menjadi tempat berkembangbiaknya nyamuk *aedes aegypti* yang menyebarkan penyakit demam berdarah *dengue*, serta mengurangi keindahan lingkungan [8]

Limbah plastik yang terbawa ke laut dapat mencemari ekosistem laut dan menyebabkan kematian pada berbagai hewan laut. Banyak hewan, termasuk sekitar satu juta burung laut dan seratus ribu mamalia laut, serta ikan, mati akibat mengonsumsi plastik. Di daratan, tanah yang tercemar partikel plastik beracun dapat membunuh organisme pengurai seperti cacing, yang kemudian mengurangi kesuburan tanah. Sampah yang menumpuk di sungai dapat menyebabkan pendangkalan dan penyumbatan aliran, yang berpotensi menyebabkan banjir. Bagi manusia, asap dari pembakaran limbah plastik dapat memicu berbagai penyakit seperti kanker, gangguan pernapasan, gangguan sistem saraf, dan hepatitis. Oleh karena itu, limbah plastik sangat berbahaya bagi manusia dan lingkungan.

Limbah plastik dapat dilakukan pengolahan dengan prinsip 3R yaitu *Reduce* (mengurangi), *Reuse* (menggunakan/memanfaatkan kembali), dan *Recycle* (mendaur ulang). *Reuse* berarti memanfaatkan kembali barang-barang yang terbuat dari plastik, sementara *Reduce* berarti mengurangi pembelian atau penggunaan produk plastik, terutama yang bersifat sekali pakai. *Recycle* merujuk pada proses mendaur ulang barang-barang plastik. Berdasarkan konsep 3R ini, berbagai penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan plastik yang telah dibuang ke lingkungan, dengan fokus pada konsep *Recycle* [9].

Selain dengan penanggulangan konsep 3R pemerintah berupaya menanggulangi limbah plastik dengan mengeluarkan pasal secara umum, peraturan pemerintah mengenai pengendalian sampah diatur dalam Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 Pasal 11 ayat 1. Peraturan ini mencakup beberapa hal penting, di antaranya pada Pasal 11 ayat 1 huruf a yang membahas pengelolaan sampah dengan prinsip 3R, dimulai dengan pembatasan timbulan sampah (*Reduce*). Tujuannya adalah untuk mengurangi penggunaan sampah sekali pakai serta membatasi penggunaan material yang sulit terurai, seperti plastik, styrofoam, dan kaleng. Pasal 11 ayat 1 huruf b mengatur tentang pendauran ulang sampah (*Recycle*), yang berarti upaya memanfaatkan kembali atau mendaur ulang sisa-sisa sampah menjadi barang yang berguna dan bernilai ekonomi. Selanjutnya, Pasal 11 ayat 1 huruf c

mengatur tentang pemanfaatan kembali sampah (*Reuse*), di mana kita dianjurkan untuk menggunakan kembali barang-barang yang sudah tidak terpakai, seperti memanfaatkan botol bekas sebagai pot tanaman.

2.3 Plastik

Plastik memiliki pengertian secara umum yaitu plastik adalah bahan yang tampak bersih dan praktis, sehingga banyak barang kebutuhan sehari-hari seperti botol minuman, gelas, piring, dan kantong plastik dibuat dari plastik. Oleh karena itu, hampir semua orang menggunakan barang-barang plastik karena kemudahannya [10]. Plastik adalah bahan yang dapat didaur ulang. Namun proses alami dekomposisi plastik membutuhkan waktu yang lama, bahkan hingga ribuan tahun [11]. Plastik banyak digunakan dalam berbagai aspek kehidupan manusia, mulai dari pembungkus makanan hingga komponen otomotif. Plastik merupakan salah satu bahan yang paling populer dan banyak digunakan dalam pembuatan komponen otomotif selain logam seperti besi. Masalah utama plastik adalah sampahnya yang tidak dapat terurai secara alami, sehingga membutuhkan waktu lama untuk membersihkan sampah plastik dari lingkungan. Penggunaan plastik yang tidak terkendali semakin memperburuk masalah ini. Plastik juga berkontribusi pada peningkatan suhu udara karena sifat polimernya yang tidak berpori.

Pada zaman sekarang, banyak produk yang diproduksi tanpa mempertimbangkan dampak lingkungan setelah produk tersebut dikonsumsi. Selain itu, banyak produk yang sengaja dirancang untuk memiliki masa pakai yang terbatas. Desain semacam ini berkontribusi pada penumpukan sampah di tempat pembuangan, terbentuknya pulau plastik di lautan, dan mencemari ekosistem, terutama dari kemasan, pembungkus, dan produk lainnya

2.3.1 Jenis-Jenis Plastik

Pada umumnya masyarakat sering menggunakan plastik untuk berbagai macam keperluan. Pada umumnya plastik dibagi

beberapa jenis. Berikut ini merupakan jenis plastik pada umumnya yang sering digunakan.

a) *Low-Density Polyethylene* (LDPE)

LDPE adalah jenis plastik yang banyak digunakan karena harganya terjangkau dan mudah dibentuk. Namun, LDPE merupakan jenis poliolefin yang paling rentan terhadap fotodegradasi. Plastik LDPE cukup sulit terfragmentasi oleh hidrolisis, karena rantai utama LDPE memiliki ketahanan tinggi terhadap proses tersebut [12].

b) *High-Density Polyethylene* (HDPE)

Robertson (1993) menyatakan bahwa HDPE lebih tahan terhadap zat kimia dibandingkan dengan LDPE dan memiliki ketahanan yang baik terhadap minyak dan lemak. Robertson (1993) juga mengungkapkan bahwa polipropilen memiliki densitas lebih rendah dan titik lunak yang lebih tinggi dibandingkan dengan polietilen, serta permeabilitas gas yang sedang, tahan terhadap lemak, dan bahan kimia. Rochman (2007) menambahkan bahwa plastik propilen lebih kaku, cerah, dan kuat dibandingkan polietilen. Firman (2012) menjelaskan bahwa pengemasan buah rambutan dengan menggunakan plastik stretch film pada suhu ruang kurang efektif karena lapisan plastiknya yang lebih tipis [13].

Namun, hal ini masih memungkinkan terjadinya respirasi dan transpirasi dalam jumlah besar. Plastik jenis PP pada suhu ruang memiliki efektivitas yang hampir sama dengan plastik HDPE, di mana keduanya mampu mempertahankan kesegaran buah rambutan lebih lama dibandingkan dengan penggunaan plastik stretch film [13].

c) *Polyethylene Terephthalate* (PET)

Polyethylene terephthalate (PET) adalah poliester termoplastik yang diproduksi secara komersial melalui proses kondensasi, ditandai dengan adanya banyak ikatan ester yang

tersebar di sepanjang rantai utama polimernya. PET digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan botol plastik untuk minuman. Botol plastik PET merupakan polimer yang secara komersial diproduksi dengan ciri khas berupa ikatan ester yang tersebar di sepanjang rantai utama polimernya [14].

d) *Polypropylene* (PP)

Polipropilena atau *polipropena* (PP) adalah polimer termoplastik yang diproduksi oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Beberapa di antaranya adalah kemasan, tekstil, alat tulis, berbagai jenis wadah yang dapat digunakan kembali, komponen plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, serta uang kertas polimer [15].

2.4 Polyethylene Terephthalate (PET)

Penggunaan plastik yang meluas mengakibatkan penumpukan sampah plastik, yang berdampak pada berbagai masalah lingkungan dan menjadi salah satu kontributor terbesar limbah tereftalat (PET). Limbah PET menyumbang 8% dari total berat dan 12% dari volume limbah padat dunia, namun hanya sebagian kecil dari limbah PET yang didaur ulang [16].

Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) pertama kali muncul pada tahun 1973 dan mulai didaur ulang pada tahun 1977. PET adalah resin poliester yang kuat, tahan lama, ringan, dan mudah dibentuk ketika dipanaskan. Dengan kepekatan sekitar 1,35-1,38 gram/cc, PET memiliki struktur yang kokoh, dengan rumus molekul $(-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_5-\text{CO}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{O}-)_n$. *Polyethylene Terephthalate* merupakan resin polimer termoplastik dari kelompok poliester, yang banyak diproduksi dalam industri kimia dan digunakan untuk serat sintetis, botol minuman, wadah makanan, aplikasi thermoforming, serta dikombinasikan dengan serat kaca dalam resin teknik [17].

PET (*Polyethylene Terephthalate*) adalah material yang transparan, kuat, tahan terhadap bahan kimia dan panas, serta memiliki sifat elektrik

yang baik. Namun, jika digunakan berulang kali, terutama untuk menampung air panas, lapisan polimer pada botol dapat meleleh dan mengeluarkan zat karsinogenik yang berpotensi menyebabkan kanker. PET biasanya digunakan sebagai kemasan untuk minuman berkarbonasi (soda), botol jus buah, peralatan tidur, dan serat tekstil. PET memiliki sifat tidak tahan panas, keras, tembus cahaya, dan titik lelehnya adalah 85°C. Material ini terbentuk dari kondensasi antara ethylene glycol dan asam tereftalat, dan termasuk dalam jenis termoplastik. PET dapat dibentuk menjadi serat seperti dacron dan film seperti mylar, serta merupakan plastik utama dalam pembuatan kantong kemasan makanan [11].

PET tidak tahan panas, transparan, dan memiliki titik leleh sekitar 260°C. Material ini dihasilkan dari reaksi kondensasi antara ethylene glycol dan asam tereftalat, dan termasuk dalam jenis termoplastik. PET bisa diolah menjadi serat seperti dacron dan film seperti mylar. Plastik PET sering digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan botol plastik [16].

2.5 Polypropylene (PP)

Polypropylen (PP) adalah bahan polimer termoplastik yang diproduksi oleh industri polimer dan digunakan dalam berbagai aplikasi, baik sebagai serat maupun plastik. PP adalah polimer yang ringan dengan densitas antara 0,90-0,92 g/cm³, memiliki kekerasan dan kerapuhan yang tinggi, serta kurang stabil terhadap panas [18].

Plastik PP memiliki permukaan halus, tahan terhadap bahan kimia, serta menawarkan fleksibilitas dan daya tahan yang tinggi. Plastik ini juga mudah didaur ulang dan memiliki sifat isolasi listrik. Selain itu, harganya relatif lebih terjangkau dibandingkan dengan bahan baku lainnya [11].

Plastik *polypropylene* (PP) sering digunakan dalam proses injection molding. Hasil *injection moulding* berbahan plastik *polypropylene* (PP) sering digunakan pada beberapa aspek diantaranya: industri otomotif, kemasan makanan, produk medis, alat elektronik, dan lainnya.

2.6 Injection Moulding

Mesin cetak injeksi pertama kali dipatenkan di Amerika Serikat pada tahun 1872 untuk pembuatan seluloid. Kemudian, pada tahun 1920-an, peralatan cetak injeksi diproduksi di Jerman, namun prosesnya masih dilakukan secara manual dan cetaknya dioperasikan dengan tuas. Mesin cetak injeksi yang menggunakan tekanan hidrolik mulai diperkenalkan pada tahun 1930-an ketika berbagai jenis resin tersedia. Sebagian besar peralatan cetakan injeksi saat ini masih menggunakan desain sekrup reciprocating satu sisi yang asli. Pada tahun 1950-an, *relay* dan pengatur waktu mulai digunakan untuk mengatur proses injeksi [19].

Secara umum, *injection moulding* adalah proses pembuatan benda atau produk dari plastik dengan bentuk dan ukuran tertentu. Proses ini melibatkan perlakuan panas dan tekanan menggunakan alat bantu berupa cetakan atau *mold*. *Mold* plastik adalah alat yang digunakan untuk memproduksi komponen plastik dengan mesin cetak plastik. Metode dasar plastik moulding bertujuan untuk menghasilkan produk yang sesuai dengan sifat fisik yang diinginkan, termasuk desain produk, luas penampang, ketebalan, toleransi ukuran, dan pemilihan material yang tepat [20].
dibawah ini merupakan gambar dari mesin *injection moulding* yaitu:



Gambar 2. 1 *Injection Moulding*

Injection molding adalah metode di mana material plastik yang telah meleleh akibat panas dan gesekan di dalam barel kemudian disuntikkan ke dalam cetakan atau mold.

2.7 Komponen-Komponen *Injection Moulding*

Pada mesin *injection molding* plastik, terdapat berbagai komponen dengan fungsi masing-masing. Berikut adalah komponen-komponen tersebut:

1. *Nozzle*

Nozzle adalah komponen yang digunakan untuk menyuntikkan bahan material cair ke dalam cetakan [19].



Gambar 2. 2 *Nozzle*

2. *Mold Preform*

Mold preform adalah komponen utama dalam mesin *injection molding* yang bertanggung jawab untuk mencetak material menjadi preform sesuai dengan cetakan yang dibuat. Bagian *mold preform* melanjutkan proses injeksi dari *screw* dan *barrel*. Setelah cetakan tertutup, unit injeksi yang terdiri dari *nozzle*, *barrel*, dan *screw* menyuntikkan material ke dalam cetakan yang didinginkan oleh *chiller*. Selanjutnya, preform yang sudah dingin dan mengeras dikeluarkan dari cetakan oleh pendorong hidrolik [21].



Gambar 2. 3 *Mold Preform*

3. Sekrup

Sebuah sekrup berfungsi untuk menggabungkan, mencairkan, dan mendorong bahan plastik ke dalam cetakan. Sekrup mengambil bahan plastik dari hopper dan mengalirkannya ke dalam barrel untuk diproses. Selama bahan plastik melewati barrel, sekrup berputar dan mencampurkan bahan, memastikan bahan meleleh dengan baik dan mencapai konsistensi yang tepat. Setelah bahan plastik meleleh, sekrup menekannya ke dalam sprue dan runner, lalu memasukkannya ke dalam cetakan [21].



Gambar 2. 4 Sekrup

4. Barrel

Barrel berfungsi untuk mengisi material dan mencampurnya pada suhu barrel, sehingga material yang telah mencair dapat didorong ke dalam cetakan.



Gambar 2. 5 Barrel

5. Hopper

Hopper adalah wadah yang menyimpan material PET yang akan dipanaskan dan dicairkan sebelum dialirkan ke bagian *screw*. Di dalam *Hopper*, bahan dikeringkan dengan aliran udara dari *blower* yang dipanaskan hingga 170°C oleh elemen pemanas (*heater*) dan dicampur dengan pewarna *BWE Hooland Colour* oleh *Doozing Unit* [21].



Gambar 2. 6 Hopper

2.8 Palu

Palu adalah alat yang berfungsi untuk memberikan pukulan atau benturan pada suatu objek. Alat ini umumnya memiliki pegangan yang panjang dan kepala yang berat, yang biasanya terbuat dari logam atau bahan keras lainnya. Kepala hammer memiliki dua sisi: satu sisi datar untuk memukul dan sisi lainnya dapat berupa ujung tajam, kait, atau permukaan bulat, tergantung pada jenis palu. Berikut ini merupakan gambar palu.



Gambar 2. 7 Palu

Palu digunakan dalam berbagai keperluan, mulai dari konstruksi, bengkel, hingga kerajinan tangan. Sebagai contoh, hammer palu sering digunakan untuk memaku atau melepas benda, sedangkan hammer martil biasanya digunakan dalam pekerjaan logam atau pembongkaran. Seperti dibawah merupakan gambar dari palu.

2.8.1 Penggunaan Palu Pada Kehidupan Kehidupan Sehari-hari

Pada dunia industri sering kali membutuhkan alat palu untuk kegiatan yang berupa perbaikan rumah, perbaikan mesin, pemasangan rak, pembongkaran dinding, proses manufaktur, dan lainnya.

2.8.2 Material Palu

Palu dapat dibuat dari berbagai material tergantung pada penggunaannya. Berikut ini merupakan material umum yang sering digunakan untuk membuat palu adalah:

1. Logam

Logam adalah unsur alam yang memiliki konduktivitas listrik tinggi dan dapat ditemukan di atmosfer, kerak bumi, dasar laut, dan tempat lainnya. Logam yang memiliki densitas lebih dari 5 g/cm^3 dan nomor atom lebih dari 20 biasanya disebut sebagai logam berat. Logam berat ini juga bersifat toksik dan dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan dan makhluk hidup. Kelompok logam yang termasuk dalam kategori logam berat meliputi logam transisi serta logam transisi dalam, yaitu lantanida dan aktinida [22].

2. Aluminium

Aluminium adalah logam ringan yang memiliki ketahanan korosi yang baik, konduktivitas listrik yang baik, dan berbagai sifat unggul lainnya sebagai logam. Kekuatan mekaniknya meningkat secara signifikan dengan penambahan unsur-unsur seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, dan Ni, baik secara individu maupun bersama-sama. Material ini digunakan secara luas, tidak hanya dalam peralatan rumah tangga, tetapi juga dalam pembuatan pesawat terbang, mobil, kapal, dan konstruksi. Selain sifat-sifat tersebut, aluminium juga relatif murah dan mudah didapat, yang menyebabkan peningkatan penggunaannya dari waktu ke waktu. Namun, meningkatnya penggunaan aluminium juga mengakibatkan peningkatan

jumlah kaleng minuman, peralatan rumah tangga, velg, dan blok mesin yang tidak terpakai, menimbulkan masalah baru berupa penumpukan sampah aluminium. Jika aluminium bekas tidak diolah dengan baik, dapat mencemari lingkungan karena logam ini memerlukan waktu yang lama untuk larut dalam air atau terurai di tanah [23].

3. Karet

Karet adalah material elastis yang diperoleh dari getah pohon karet (*Hevea brasiliensis*) atau dapat dibuat secara sintetis.

4. Plastik

Plastik adalah material buatan yang terbuat dari polimer, yaitu molekul-molekul besar yang tersusun dalam rantai panjang yang saling terhubung. Plastik dapat diolah menjadi berbagai bentuk dan ukuran, serta memiliki berbagai sifat yang membuatnya bermanfaat untuk berbagai aplikasi.

5. Komposit

Istilah "komposit" pada material yang terdiri dari dua atau lebih material berbeda yang digabungkan atau dicampur menjadi satu kesatuan. Komposit adalah struktur material yang menggabungkan dua atau lebih bahan pada skala makroskopik dan menyatu secara fisik. Secara umum, komposit berarti gabungan dari dua atau lebih bahan yang dicampur pada tingkat makroskopis. Menurut Triyono dan Diharjo, istilah "komposit" (*composite*) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan, yang berasal dari kata kerja "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabungkan. Dengan demikian, bahan komposit secara sederhana adalah bahan yang merupakan gabungan dari dua atau lebih material yang berbeda [24].

6. Kayu

Kayu adalah salah satu kekayaan alam Indonesia yang dimanfaatkan secara luas oleh berbagai industri, baik kecil

maupun besar. Saat ini, hutan tanaman yang menanam berbagai jenis kayu baik spesies lokal maupun spesies eksotik semakin berkembang, termasuk di hutan rakyat, hutan kemasyarakatan, dan hutan industri. Dengan demikian, keberagaman jenis kayu sebagai bahan baku industri semakin meningkat [25].

2.8.1 Sifat Material Palu

Sifat material palu dapat mempengaruhi performa dan kegunaan dalam berbagai penggunaan. Berikut ini adalah sifat utama dari material yang umum digunakan untuk pemilihan material yang akan digunakan dalam pembuatan palu:

1. Ringan

Palu memiliki sifat material yang diharuskan menggunakan material yang ringan agar daya yang dihasilkan dapat terdistribusikan pada benda yang ditabrakan. Untuk material yang bersifat ringan seperti: plastik, aluminium dan lainnya.

2. Tahan karat

Material yang sering digunakan untuk membuat palu diharuskan memiliki sifat yang tahan karat. Palu yang tahan karat dirancang untuk mencegah atau mengurangi efek tersebut, memastikan alat tetap berfungsi dengan baik dan memiliki umur pakai yang lebih lama.

3. Ketangguhan

Sifat ketangguhan pada produk palu merujuk pada kemampuan material palu untuk menyerap energi dan menahan benturan atau tekanan secara tiba-tiba tanpa retak atau pecah. Ketangguhan sangat penting untuk memastikan palu dapat digunakan dengan aman dan efektif, terutama ketika digunakan untuk pekerjaan yang melibatkan benturan keras, seperti memaku, memahat, atau memecahkan benda keras.

Pada palu, sifat ketangguhan biasanya diperoleh dari bahan yang digunakan, seperti baja karbon atau baja paduan

yang dikeraskan melalui proses perlakuan panas. Hal ini memungkinkan kepala palu memiliki kombinasi sifat keras pada permukaan (agar tidak cepat aus) dan tangguh di dalam (agar tidak rapuh). Adapun untuk standard nilai Harga Impak yang dibutuhkan untuk membuat palu sebesar $2,20 \text{ J/mm}^2$ [26].

4. Kekuatan tinggi dengan bobot yang ringan

Sifat palu yang menggabungkan kekuatan tinggi dengan bobot ringan berdasarkan kemampuan alat tersebut untuk memberikan kinerja yang efisien tanpa menambah beban atau menyebabkan kelelahan pada penggunanya. Untuk standar produk palu yang di produksi oleh industri sebesar 42 N/mm^2 . kemudian hasil pengujian produk palu berbahan limbah plasti PP sebesar 41 N/mm^2 . Dan untuk pengujian produk palu berbahan limbah plastik PET senilai $33,4 \text{ N/mm}^2$ [27].

2.9 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah suatu sifat yang menjelaskan karakteristik dari jenis material dan kondisi mekanikal yang berada pada material itu. Sifat mekanik material ada beberapa macam diantaranya sebagai berikut ini:

1. Kegetasan (*brittleness*)

Kegetasan (*brittleness*) adalah sifat material yang berlawanan dengan keuletan. Material yang rapuh cenderung pecah dengan sedikit deformasi permanen. Bahan yang rapuh dapat mengalami kerusakan di bawah beban regang tanpa mengalami banyak peregangan. Contoh material dengan sifat kerapuhan adalah besi cor [28].

2. Ketangguhan (*toughness*)

Ketangguhan (*toughness*) adalah suatu kemampuan yang dimiliki material untuk menyerap energi tanpa mengalami patah. Ketangguhan diukur dengan modulus ketangguhan (*modulus of toughness atau toughness index number*) [28].

3. Kekuatan (*strength*)

Kekuatan (*strength*) merupakan kemampuan material logam untuk menahan gaya berupa tegangan tanpa mengalami patah [28].

4. Keuletan (*ductility*)

Keuletan (*ductility*) adalah sifat material yang digambarkan seperti kabel yang digunakan dalam aplikasi kekuatan tarik. Material yang ductile harus memiliki kekuatan dan kelenturan. Keleluasan biasanya diukur dengan persentase deformasi setelah periode tertentu. Sifat ini umumnya diterapkan dalam teknik, dan bahan-bahan yang memiliki sifat ini meliputi besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dan sebagainya[26].

5. Kekakuan (*stiffness*)

Kekakuan (*stiffness*) adalah ukuran seberapa baik suatu material atau struktur menahan deformasi ketika dikenakan beban atau gaya. Kekakuan menunjukkan sejauh mana material akan berubah bentuk di bawah beban tertentu. Material dengan kekakuan tinggi akan mengalami deformasi yang lebih sedikit

6. Elastisitas (*elasticity*)

Elastisitas (*elasticity*) adalah kemampuan material untuk kembali ke bentuk aslinya setelah mengalami deformasi akibat beban atau gaya. Saat material dikenakan tegangan, ia akan mengalami perubahan bentuk atau ukuran; namun, setelah beban dihilangkan, material elastis dapat kembali ke bentuk semula tanpa mengalami kerusakan permanen.

7. Kelenturan (*resilience*)

Kelenturan (*resilience*) adalah kemampuan material untuk menyerap dan mengembalikan energi saat mengalami deformasi elastis. Ini menunjukkan seberapa baik material dapat menyerap energi selama deformasi dan kemudian mengembalikan energi tersebut setelah beban dihilangkan, tanpa mengalami kerusakan atau deformasi permanen.

8. Kelunakan (*malleability*)

Kelunakan (*malleability*) adalah kemampuan material untuk dibentuk atau ditempa menjadi bentuk lain tanpa mengalami retak atau

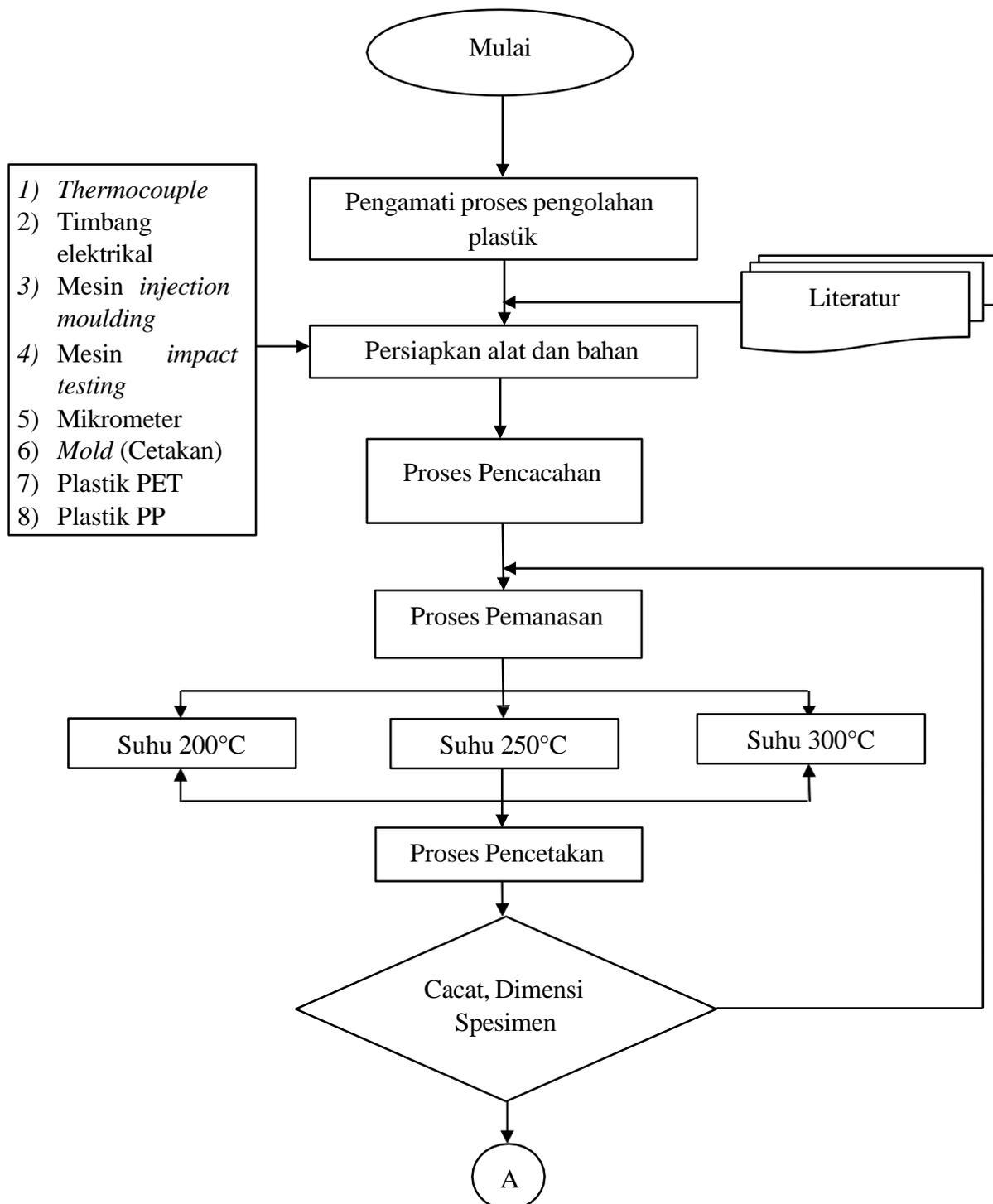
pecah. Ini menggambarkan sejauh mana material dapat mengalami deformasi plastis di bawah tekanan atau gaya tanpa mengalami kerusakan.

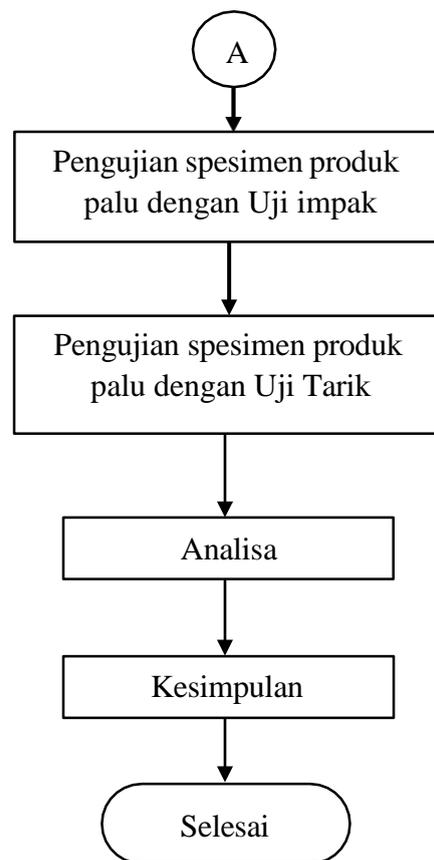
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.1.





3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan parameter yang melibatkan pengaturan suhu dengan menggunakan suhu 200°C, 250°C dan 300°C, kapasitas awal, dan kecepatan motor yang konstan pada 25 rpm. Material yang digunakan adalah limbah daur ulang plastik jenis PET (*polyethylene terephthalate*) dan PP (*polypropylene*). Hasil penelitian meliputi hasil pembentukan produk dengan injeksion moulding, pengujian sifat mekanik produk, dan pengujian sifat thermal produk. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis material plastik dan parameter proses injection moulding sedangkan variabel terikatnya meliputi sifat mekanik, sifat thermal, dan sifat fisik. Parameter penelitian ini didasarkan pada studi sebelumnya yang menggunakan massa sebesar 60 gram[29].

3.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan

Pada pengujian ini, terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk mengumpulkan data, yaitu sebagai berikut:

A. Alat yang digunakan untuk penelitian ini adalah

1. Thermocouple

Alat ini digunakan untuk mengukur suhu pada keempat sisi cetakan dan *monitoring* selama proses pengisian pada cetakan (*mold*).



Gambar 3.1 *Thermocouple*

2. Timbangan Elektrikal

Digunakan untuk mengukur berat dari masing-masing cacahan plastik sebelum dilakukan proses pemanasan pada mesin injection moulding.



Gambar 3. 2 Timbangan Elektrikal

3. Mesin *Injection Moulding*

Mesin ini merupakan alat utama dalam penelitian ini . berfungsi untuk memproduksi cacahan plastik menjadi barang yang dapat digunakan kembali.



Gambar 3. 3 Mesin *Injection Moulding*

4. Mesin *Impact Testing*

Alat ini berfungsi untuk menguji produk dari mesin *injection moulding* untuk mendapatkan data sifat mekanik dari produk yang diproduksi oleh mesin *injection moulding*.



Gambar 3. 4 Mesin *Impact Testing*

5. Mold (Cetakan)

Mold merupakan alat yang berfungsi untuk proses pemebntukan produk. Cetakan terbuat dari baja, aluminium, dan lainnya.



Gambar 3. 5 *Mold* (Cetakan)

6. Uji Tarik

Alat pengujian tarik berfungsi untuk menguji sifat mekanik dari spesimen yang telah dilakukan pembentuk pada injection moulding



Gambar 3. 6 Alat Uji Tarik

B. Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah

1. Plastik PET

Plastik Pet merupakan bahan yang digunakan untuk penelitian yang dikombinasikan oleh plastik pet. Plastik Pet sering digunakan untuk kemasan minuman.



Gambar 3. 7 Plastik PET

2. Plastik PP

Plastik PP merupakan bahan yang digunakan untuk penelitian yang akan dikombinasikan dengan plastik PET.



Gambar 3. 8 Plastik PP

3. Minyak Sayur

Minyak sayur berfungsi untuk mempermudah saat melepaskan produk hasil injection moulding dari cetakan (mold).



Gambar 3. 9 Minyak Sayur

3.4 Persiapan Pembentukan Spesimen Uji

Adapun persiapan pembentuk spesimen uji, sebagai seperti di bawah ini:

3.4.1 Pemebentukan Produk

1. Mempersiapkan limbah plastik dan alat yang akan digunakan pada proses pengujian ini.
2. Melakukan pembersihan terdapat limbah plastik yang akan dilakukan proses pengujian.

3. Melakukan pencacahan terhadap limbah plastik PET dan PP supaya dapat masuk ke dalam *hooper*.
4. Menimbang berat dari masing-masing cacahan limbah plastik yang akan dimasukkan ke dalam *hooper*.
5. Menyetting *stopwatch* untuk mengetahui waktu saat proses pengujian berjalan.
6. Menyalakan panel suhu.
7. Menyetting suhu yang digunakan pada proses pengujian ini, untuk suhu yang digunakan yaitu 200°C, 250°C dan 300°C. kemudian masukan cacahan yang sudah dilakukan penimbangan kedalam mesin pengolah plastik, *stopwatch* mulai berjalan.
8. Melakukan pengamatan terhadap biji plastik yang keluar, kemudian menimbang hasil dari lelehan biji plastik pada *mold* (cetakan).
9. Melakukan pendataan secara *continue* sampai waktu pengujian didapatkan.

3.4.2 Proses Pengujian Impak

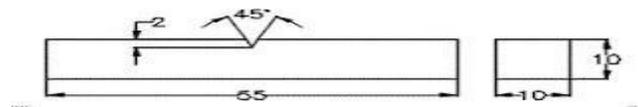
Ada pengujian ini digunakan metode uji impak, namun sebelum melakukan uji impak, perlu diketahui terlebih dahulu ukuran spesimen yang akan diuji. Pada percobaan ini, digunakan standar ASTM D6110, yang merupakan standar umum untuk pengujian impak pada bahan plastik seperti PET dan PP.

3.4.3 Proses Pengujian Tarik

Pada pengujian ini selain menggunakan metode pengujian impak juga menggunakan pengujian tarik. Pada pengujian tarik menggunakan standar ASTM D638 tipe 1, dimana standar ASTM D638 tipe 1 merupakan standar yang umum digunakan pada bahan limbah plastik PP dan PET.

3.4.4 Proses Pembuatan Cetakan

Sebelum membentuk spesimen untuk uji impact, diperlukan mold atau cetakan untuk menampung plastik cair atau lelehan plastik hasil proses injection molding. Pengujian akan dilakukan sesuai dengan standar ASTM D6110. Metode yang digunakan untuk uji impact yaitu dengan metode charpy. Yang telat disesuaikan oleh standard ASTM D6110. Cetakan yang digunakan memiliki ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm dengan ukuran takikan sebesar 45° [30]. Dibawah ini merupakan bentuk dari spesimen uji impact yang telat disesuaikan dengan standard ASTM D6110.



Gambar 3. 10 Bentuk Spesimen Uji Impact

(Sumber:astm.org)

3.5 Prosedur Pengujian Impact

Adapun prosedur pengujian impact yang dilakukan, sebagai seperti di bawah ini yaitu:

1. Mempersiapkan material yang akan dilakukan pengujian impact
2. Ukur panjang awal, lebar, dan tinggi spesimen yang akan dilakukan pengujian impact
3. Memasang spesimen pada jig mesin uji impact, spesimen dipasang vertikal dengan sisi yang bertakik menghadap pendulum.
4. Pendulum dilepaskan dan menumbuk spesimen pada titik yang bertakik.
5. Kemudian mencatat hasil yang didapatkan berupa energi impact yang diserap dalam satuan(joule atau ft-lb) dicatat dari digital display pada mesin.

3.6 Prosedur Pengujian Tarik

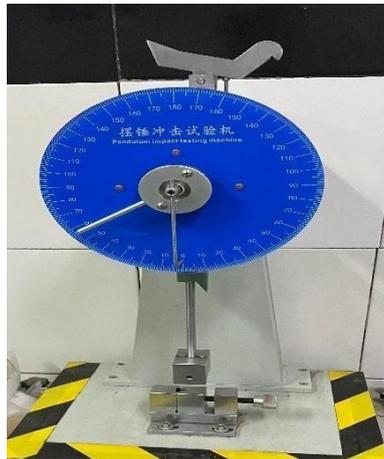
Pada pengujian tarik terdapat beberapa prosedur yang harus dilaksanakan sebagai berikut ini :

1. Menyiapkan spesimen yang akan dilakukan pengujian tarik
2. Melakukan kalibrasi terhadap mesin uji tarik

3. Memasang spesimen yang akan dilakukan pengujian tarik
4. Menempatkan alat ukur
5. Mengatur Kecepatan sesuai dengan literatur
6. Melaksanakan penarikan
7. Melakukan pencatatan data hasil dari proses penarikan
8. Merekaman Grafik hasil pengujian

3.7 Uji *Impact*

Uji *impact* merupakan suatu bentuk pengujian yang melakukan dengan metode menerapkan beban secara cepat (*rapid loading*). Dalam pengujian mekanik, terdapat perbedaan dalam cara beban diberikan pada material. Uji tarik, uji tekan, dan uji puntir menggunakan beban statik, sementara uji impak (*fatigue*) menggunakan beban dinamik [31]. Dibawah ini merupakan gambar dari uji impak.



Gambar 3. 11 Uji *Impact*

Secara teori, uji *impact* bertujuan untuk mengukur ketahanan material terhadap beban kejut. Hal ini yang membedakan uji impak dari uji tarik dan uji kekerasan, di mana pembebanan dilakukan secara bertahap. Prinsip dasar uji *impact* melibatkan penyerapan energi potensial dari pendulum yang berayun dari ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji, menyebabkan deformasi maksimum hingga terjadi patahan.

Uji *impact* digunakan untuk menentukan kecenderungan material apakah rapuh atau ulet, berdasarkan sifat ketangguhannya. Pengujian ini mengukur respons material terhadap beban kejut atau beban tiba-tiba (beban impact). Bandul dengan ketinggian tertentu berayun dan memukul spesimen, dan energi yang diserap oleh spesimen dihitung dari perbedaan energi potensial bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji.

Besarnya energi impact (dalam joule) dapat dibaca pada skala mesin pengujian. Selain itu, energi impact juga dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$E_o = W \cdot h_o \dots\dots\dots (3.1)$$

$$E_1 = W \cdot h_1 \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\Delta E = E_o - E_1 = W(h_o - h_1) \dots\dots\dots (3.3)$$

$$W \ell (-\cos \alpha + \cos \beta) \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\Delta E = W \ell (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana:

E_o = Energi awal (J)

E_1 = Energi akhir (J)

h_o = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

h_1 = Ketinggian bandul setelah dilepas (m)

W = Berat bandul (N)

ℓ = Panjang lengan bandul (m)

α = sudut awal ($^\circ$)

β = sudut akhir ($^\circ$)

3.8 Uji Tarik

Pengujian tarik merupakan metode paling dasar untuk menguji material. Metode ini sangat sederhana, pengujian sangat efisien dan telah distandarisasi di seluruh dunia, misalnya di Amerika Serikat dengan ASTM E8 dan Jepang dengan JIS 2241.

Dengan menarik suatu material akan segera mengetahui cara kerja material tersebut bereaksi terhadap gaya tarik-menarik dan mengetahui

seberapa jauh material memanjang[32]. pada Gambar 3.12 dapat dilihat alat uji tarik.



Gambar 3. 12 Alat Uji Tarik

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Proses *Injection Moulding*

Setelah proses pencacahan selesai, material kemudian dilelehkan menggunakan mesin pengolah plastik sesuai dengan variasi ukuran yang telah ditentukan, yaitu 10 x 10 mm. Hasil dari proses ini membentuk spesimen yang akan digunakan untuk uji impak dan uji tarik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Produk Palu *Injection Moulding*

Jika dilihat secara visual pada produk palu dengan menggunakan cacahan 10x10 mm, terdapat bermacam perbedaannya akibat dari adanya perbedaan suhu. Seperti pada produk palu dengan menggunakan suhu 200°C. produk palu menunjukkan hasil yang mendekati sempurna. Namun, terdapat sedikit kecacatan pada permukaan produk yang disebabkan oleh suhu yang relatif rendah. Suhu ini belum cukup optimal untuk melelehkan material plastik

secara sempurna, sehingga menghasilkan ketidaksempurnaan pada permukaan. dapat palu bersuhu 200°C dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Produk Palu Suhu 200°C

Adapun untuk produk palu hasil injection moulding kombinasi plastik PET dan PP dengan menggunakan suhu 250°C. hasil produk palu berwarna kecokelatan pada beberapa bagian. Hal ini diakibatkan oleh pengaruh suhu yang mulai mendekati batas atas proses pengolahan, di mana material mulai terlalu panas di beberapa titik, meskipun sebagian besar permukaan masih dalam kondisi baik. Seperti gambar dibawah ini:



Gambar 4. 3 Produk Palu Suhu 250°C

Kemudian untuk hasil produk palu dengan suhu 300°C, produk palu mengalami kegosongan yang lebih signifikan. Hal ini disebabkan oleh suhu yang terlalu tinggi, mengakibatkan material plastik mengalami degradasi dan terbakar. Proses injection moulding pada suhu ini menghasilkan produk dengan cacat di beberapa lokasi, menunjukkan bahwa suhu tersebut tidak ideal untuk

memproduksi palu dengan kualitas baik. Dapat dilihat hasilnya pada gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Produk Palu Suhu 300°C

4.2 Dimensi Proses *Injection Moulding* Produk Palu

Setelah dilakukan pembentuk produk palu dengan menggunakan limbah plastik PP dan PET maka dilakukan pengukuran penyesuaian dimensi dengan rancangan awal pembuatan desain palu. Untuk prose penyeusian dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Palu 200°C

pada gambar 4.5. merupakan produk palu berbahan limbah plastik PP dan PET dengan menggunakan suhu lebur 200°C yang disesuaikan dengan desain palu yang sudah dibuat sebelum dilakukannya pembentukan produk palu. Dimana terdapat kelebihan pada panjang palu sebesar 5 mm. karena adanya beberapa penyebab terjadinya kelebihan ukuran pada saat dilakukan pemanasan dengan suhu 200°C molekul plastik akan mengalami ekspansi termal. Kemudian plastik yang sudah dipanaskan dimasukkan pada cetakan ukuran material akan lebih besar dari desain awal akibat pemuaian. Kemudian disebabkan oleh tekanan pada proses *injection moulding*. Tekanan injeksi yang terlalu tinggi atau ketidak stabilan dapat mengakibatkan penyebaran lebih banyak ke dalam cetakan sehingga pengisian ruang lebih banyak ke dalam bagian tertentu. dan faktor pendinginan dapat mempengaruhinya apabila pendinginan tidak merata atau terlalu cepat material tidak stabil yang dikeluarkan dari cetakan, menyebabkan ukuran lebih besar. Lalu dilakukan perbandingan hasil pembentukan palu dengan bahan PP dan PET dengan suhu lebur 250°C dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Palu 250°C

Pada gambar 4.6. hasil pembentukan produk palu berbahan limbah plastik PP dan PET dengan menggunakan suhu 250°C dilakukan penyesuaian dengan menggunakan desain produk palu. Dimana terdapat kelebihan ukuran pada panjang palu sekitar 6 mm. Hal ini disebabkan oleh terdapat beberapa penyebab yaitu: adanya ekspansi termal pada saat pembentukan produk palu, ketika plastik panas hasil *injection moulding* dimasukkan ke cetakan ukuran material akan mengalami pembesaran dari desain awalnya akibat pemuaian. Kemudian terdapat penyusutan pada lebar palu sebesar 3 mm. karena dalam proses penyetakan produk palu plastik mengalami penyusutan saat berubah dari keadaan cair menjadi padat. Dimana bahan PP dan PET memiliki nilai penyusutan yang besar menyebabkan perubahan ukuran setelah material didinginkan dan mencapai suhu ruangan. Berikutnya produk palu menggunakan bahan PP dan PET dengan suhu 300°C dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Palu 300°C

Pada hasil pembentuk palu yang berbahan limbah plastik PP dan PET dengan suhu 300°C dilakukan penyesuaian dengan desain awal pembentukan palu. Terdapat ketidaksesuaian untuk ukuran panjang produk palu. Dimana terdapat kelebihan panjang yang seharusnya 114 mm pada didesain awal palu.

Pada produk palu yang dihasilkan memiliki panjang 124 mm. kelebihan panjang dikarenakan pemuai material saat dilakukan penyetakan plastik panas menjadi produk palu yang menyebabkan terjadinya ekspansi termal. Pada hasil akhir akan lebih besar dari pada desain awalnya.

4.3 Cacat Pada Produk Palu Hasil *Injection Moulding*

Pada hasil pembentukan produk palu menggunakan proses injection moulding dengan suhu 200°C, terdapat beberapa cacat yang muncul. Salah satunya adalah cacat weld line, yang disebabkan oleh suhu injeksi yang terlalu rendah atau aliran material yang tidak cukup lancar. Selain itu, terdapat juga cacat short shot, yang terjadi akibat tekanan injeksi yang rendah atau suhu yang tidak cukup untuk melelehkan material sepenuhnya. Cacat short shot pada produk palu bisa menyebabkan kepala palu tidak terbentuk dengan sempurna, sehingga produk tidak bisa berfungsi dengan baik. Dapat dilihat pada gambar 4.8.



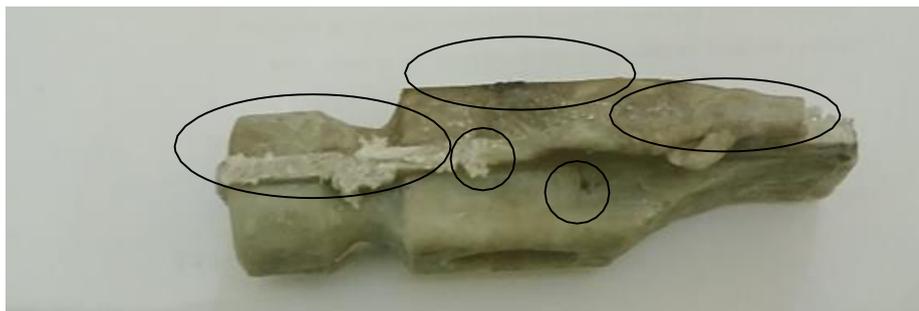
Gambar 4. 8 Palu Bersuhu 200°C

Kemudian memakai suhu 250°C dengan combination plastik PET dan PP. dapat dilihat terdapat beberapa macam cacat seperti: *sink marks*, *flash*, *void*, *warping*, *burn marks*, dan *weld lines*. Cacat *shink marks* adalah lekukan kecil yang muncul di permukaan produk akibat pendinginan yang tidak merata atau tekanan injeksi yang tidak cukup. Pada produk palu, cacat ini biasanya terlihat pada bagian kepala atau gagang yang tebal. Lekukan ini dapat mengurangi kekuatan mekanis produk dan memengaruhi penampilan estetika. Cacat *Flash*

terjadi ketika material plastik berlebih keluar dari rongga cetakan, membentuk lapisan tipis di sekitar tepi produk. Hal ini biasanya disebabkan oleh tekanan injeksi yang terlalu tinggi atau cetakan yang tidak tertutup rapat.

Cacat *void* adalah cacat berupa rongga kecil yang terbentuk di dalam produk akibat pendinginan yang terlalu cepat atau material yang tidak terisi penuh ke dalam cetakan. Pada produk palu, void dapat menyebabkan kelemahan struktural, terutama pada bagian yang membutuhkan kekuatan tinggi, seperti kepala palu. Cacat *warping* terjadi ketika produk mengalami penyusutan yang tidak merata selama proses pendinginan, mengakibatkan deformasi pada produk. Cacat *burn marks* muncul sebagai noda hitam atau kecokelatan di permukaan produk akibat pemanasan berlebih pada material atau gesekan yang terjadi di dalam cetakan.

Cacat ini sering terjadi jika suhu injeksi terlalu tinggi atau jika waktu siklus terlalu lama. Pada produk palu, burn marks tidak hanya memengaruhi penampilan, tetapi juga dapat melemahkan struktur material di area yang terkena. Cacat *weld lines* adalah garis tipis yang muncul di permukaan produk akibat aliran material yang bertemu di dalam cetakan. Cacat ini biasanya terjadi jika suhu injeksi terlalu rendah atau aliran material tidak cukup lancar. Pada palu, weld lines dapat melemahkan area yang memiliki garis sambungan, sehingga membuat produk lebih rentan patah. Untuk hasil produk injection moulding dengan suhu 250°C dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 9 Palu Bersuhu 250°C

Pada percobaan terakhir menggunakan suhu 300°C terdapat cacat *weld liner*, *shirts hots*, *burn marks*, dan *void*. Cacat *weld liner* biasanya terjadi jika suhu injeksi terlalu rendah atau aliran material tidak cukup lancar. Cacat *shorts*

hots terjadi ketika material plastik tidak mengisi cetakan secara penuh, meninggalkan bagian produk yang tidak terbentuk dengan sempurna. Cacat ini sering disebabkan oleh tekanan injeksi yang terlalu rendah atau suhu yang tidak cukup untuk melelehkan material secara menyeluruh. Cacat *burn marks* sering terjadi jika suhu injeksi terlalu tinggi atau jika waktu siklus terlalu lama. Cacat *void* adalah cacat berupa rongga kecil yang terbentuk di dalam produk akibat pendinginan yang terlalu cepat atau material yang tidak terisi penuh ke dalam cetakan. Seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 10 Palu Bersuhu 300°C

4.4 Hasil Uji Mekanik Dari Produk Palu Hasil *Injection Moulding*

Setelah dilakukan pembentukan produk maka dilakukan pengujian produk untuk mengetahui hasil uji mekanik dari produk hasil injection moulding dengan bahan plastik combination PET dan PP. menggunakan dua metode pengujian yaitu uji tarik dan uji impact.

4.4.1 Uji Tarik

Pada penelitian ini produk hasil pengolahan injection moulding dilakukan pembentukan yang sudah disesuaikan dengan standard pengujian uji tarik ASTM D638 Tipe I. pengujian ini dilakukan dengan bahan PET dan PP dengan berikan variasi ukuran cacahan sebesar 10×10 mm. maka didapatkan hasil uji tarik berupa data beban dan pertambahan panjan. Dari data dapat diperoleh nilai

tegangan tarik pada setiap spesimen sampel uji tarik. Dibawah ini merupakan rumus-rumus yang digunakan.

- A. Standar untuk uji tarik menggunakan standar ASTM D638 Tipe I
- B. Mengetahui besar luas penampang pada sampel uji tarik sebelum dilakukan perhitungan kekuatan tarik pada sampel uji tarik dengan cara dibawah ini:

A = Luas penampang spesimen

A = Tebal \times Lebar

$$A = 3 \times 10$$

$$A = 30 \text{ mm}^2 = 30 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Untuk contoh perhitungan sampel lainnya ditampilkan pada tabel.

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{491 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 16366666.6 \text{ Pa} = 16,366667 \text{ MPa}$$

Contoh perhitungan mencari Regangan untuk sampel lainnya bisa dilihat pada tabel.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{55 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.10 = 10\%$$

Kemudian untuk contoh perhitungan mencari Modulus Elastisitas untuk sampel lainnya dapat dilihat pada tabel di lampiran.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{16.366667}{0.10}$$

$$E = 163,67 \text{ MPa}$$

4.4.1.1 Hasil Pengujian Plastik *Polypropylene*

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan data hasil pengujian tarik pada spesimen produk hasil *injection moulding* plastik *polypropylene*.

Pada hasil pengujian tarik berbahan plastik *polypropylene* dengan cacahan 10 x 10 mm didapatkan hasil pengujian dengan komposisi yang memiliki bervariasi didapatkan hasil beban maksimal kekuatan uji tarik setiap spesimen seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Perbandingan Beban Max Spesimen PP Murni

No.	Kode Spesimen	(A (m^2))	Beban Max (N)
1	PP Murni S1	30×10^{-6}	810
2	PP Murni S2	30×10^{-6}	812
3	PP Murni S3	30×10^{-6}	809
Rata-Rata			810,33

Pada cacahan diperoleh nilai beban untuk maksimal rata-rata sebesar 810,33 N. kemudian untuk tabel Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 2 Tabel Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas Spesimen PP Murni

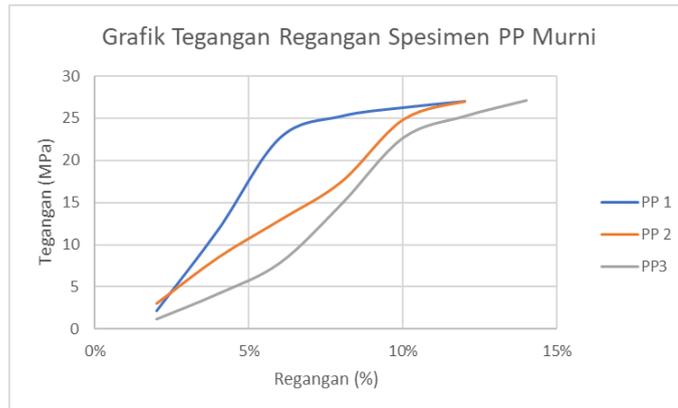
NO	Kode Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
1	PP Murni S1	27	12	225
2	PP Murni S2	26,97	14	192,64
3	PP Murni S3	26,75	12	163.67
Rata-Rata		26,91	12,67	193,77

Pada tabel diatas hasil merupakan perbandingan tegangan tarik, regangan dan modulus elastisitas pada tiga spesimen plastik PP Murni. Dimana berdasarkan data diatas diperoleh nilai tegangan tarik dari setiap specimen mengalami kenaikan dari spesimen plastik PP Murni. Dimana untuk nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 26,91 Mpa, untuk nilai regangan rata-rata sebesar 12,67% dan modulus elastisitas rata-rata sebesar 193,77 Mpa. Hasil uji tarik pada spesimen PP dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Hasil Uji tarik PP Murni

Pada Gambar 4.11. dapat dilihat hasil pengujian tarik pada spesimen PP terdapat patah Ulet (*Ductile Fracture*) yang disebabkan oleh temperatur yang tinggi bersifat ulet. Spesimen yang bersifat ulet mengalami kenaikan laju pembebanan yang mengakibatkan energi diserap semakin kecil nilainya. Adapun grafik perbandingan tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan Tegangan Regangan
4.4.1.2 Hasil Pengujian Plastik PET

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapatkan untuk data hasil pengujian tarik pada spesimen limbah plastik PET dapat dilihat pada Tabel 4.3 .

Tabel 4. 3 Perbandingan Beban Max pada spesimen PET Murni

No.	Kode Spesimen	(A (m ²))	Beban Max (N)
1	PET Murni S1	30×10^{-6}	629.6
2	PET Murni S2	30×10^{-6}	350.5
3	PET Murni S3	30×10^{-6}	214.7
Rata-Rata			398.26

Dari hasil pengujian dengan menggunakan beban didapatkan perbandingan spesimen plastik PET murni pada setiap spesimennya diperoleh nilai beban max rata-rata dari setiap spesimen mengalami kenaikan dan penurunan. Untuk spesimen PET Murni memiliki nilai beban maksimal rata-rata sebesar 398.26 N.

Tabel 4. 4 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus
 ``Elastisitas pada spesimen PET Murni

NO	Kode Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
1	PET Murni S1	20.99	0.8	95.63
2	PET Murni S2	11.68	1.2	97,33
3	PET Murni S3	7.16	1.4	51.14
	Rata-Rata	13.28	1.13	81.36

Dari hasil pengujian beban yang didapatkan perbandingan antara tiga spesimen plastik PET. Dimana nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 13.28 Mpa atau mengalami kenaikan yang sangat signifikan. Kemudian pada tiga spesimen plastik PET mendapatkan nilai regangan rata-rata sebesar 11.33 atau pada spesimen S1 ke spesimen S2 mengalami kenaikan dari 0.8% ke 1.2% kemudian mengalami kenaikan dari spesimen S2 ke S3 sebesar 1.4%. Pada S3 mendapatkan nilai sebesar 1.13%. Lalu pada tiga spesimen plastik PET mendapatkan nilai modulus elastisitas rata – rata sebesar 81.36 Mpa atau pada spesimen S1 ke S2 mengalami kenaikan sebesar 1.7 MPa, kemudian mengalami kenaikan pada spesimen S2 ke S3 sebesar 46.19 MPa. Gambar hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 13 Hasil Uji Tarik PET Murni

Dapat dilihat hasil pengujian tarik spesimen PET Murni terjadi patah getas (*Brittle Fracture*) yang disebabkan oleh sifat material yang kaku, suhu dapat mempengaruhinya untuk material PET pada suhu rendah cenderung getas. Kristalinitas pada struktur spesimen PET Murni tinggi menyebabkan terjadinya patah getas.

4.4.1.2 Hasil Pengujian Plastik PP dan PET Suhu 200° C

Dari hasil perhitungan didapatkan data hasil pengujian tarik pada spesimen limbah plastik kombinasi PP dan PET dengan menggunakan suhu lebur sebesar 200° C. dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Perbandingan Beban Max pada spesimen PP dan PET 200° C

No.	Kode Spesimen	(A (m ²))	Beban Max (N)
1	PP dan PET 200° C S1	30 × 10 ⁻⁶	639.9
2	PP dan PET 200° C S2	30 × 10 ⁻⁶	340.6
3	PP dan PET 200° C S3	30 × 10 ⁻⁶	136
Rata-Rata			372.16

Pada hasil pengujian beban didapatkan data perbandingan limbah plastik kombinasi PP dan PET dengan menggunakan suhu lebur 200° C diperoleh nilai beban Max rata-rata dari setiap spesimen sebesar 372.16 N atau mengalami kenaikan pada setiap perbandingan spesimennya.

Tabel 4. 6 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas pada spesimen PP dan PET 200° C

NO	Kode Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
1	PP dan PET 200° C S1	21.33	6	355.5
2	PP dan PET 200° C S2	11.35	10	113.5
3	PP dan PET 200° C S3	4.53	12	37.75
	Rata-Rata	12.40	9.33	168.92

Berdasarkan hasil pengujian beban yang didapatkan dari perbandingan antara spesimen S1,S2, dan S3 didapatkan tegangan tarik rata-rata 12.40 Mpa atau mengalami kenaikan antara spesimen S1,S2, dan S3. kemudian mendapatkan nilai regangan rata-rata sebesar 9.33% atau mengalami nilai yang konstan antara spesimen S1,S2, dan S3. Lalu mendapatkan nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 168.92 Mpa atau mengalami kenaikan dari spesimen S1 ke spesimen S2, kemudian mengalami kenaikan yang cukup tinggi dari spesimen S2 ke spesimen S3. Hasil spesimen PP dan PET 200° C uji tarik dapat dilihat pada Gambar 4. .



Gambar 4. 14 Hasil Uji Tarik PP dan PET 200°C

Pada Gambar 4.13. dapat dilihat patahan ulet (*Ductile Fracture*) karena kenaikan temperatur dapat meningkatkan mobilitas dari rantai polimer yang dapat menurunkan kekakuan menyebabkan karakteristik mekanik pada spesimen berubah.

4.4.2.3 Hasil Pengujian Plastik PP dan PET Suhu 250° C

Berdasarkan hasil yang didapatkan pada perhitungan data hasil pengujian tarik menggunakan limbah plastik PP dan PET yang dilebur dengan suhu 250° C. dapat dilihat pada Tabel 4.7 .

Tabel 4. 7 Perbandingan Beban Max pada spesimen PP dan PET 250° C

No.	Kode Spesimen	(A (m ²))	Beban Max (N)
1	PP dan PET 250° C S1	30×10^{-6}	616.4
2	PP dan PET 250° C S2	30×10^{-6}	426.1
3	PP dan PET 250° C S3	30×10^{-6}	153.5
	Rata-Rata		398,67

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada perbandingan spesimen limbah plastik kombinasi PP dan PET menggunakan suhu lebur 250° C didapatkan nilai beban max rata-rata sebesar 398,67 N atau mengalami penurunan dari setiap spesimen yang dibandingkan antara spesimen S1,S2, dan S3.

Tabel 4. 8 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas pada spesimen PP dan PET 250

NO	Kode Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
1	PP dan PET 250° C S1	20.54	10	205.4
2	PP dan PET 250° C S2	14.20	12	118.33
3	PP dan PET 250° C S3	5.08	14	94.92
	Rata-Rata	13.27	12	139.55

Dari hasil pengujian yang didapatkan untuk spesimen limbah plastik kombinasi PP dan PET dengan suhu lebur 250° C mendapatkan nilai tegangan tarik rata-rata sebesar 13.27 Mpa atau mengalami peningkatan cukup besar untuk setiap perbandingannya antara spesimen S1,S2, dan S3. Lalu mendapatkan regangan rata-rata sebesar 12% atau nilai regangan mengalami kestabilan untuk perbandingan antara spesimen S1,S2,

dan S3. Kemudian mendapatkan nilai modulus elastisitas rata-rata 139.55 Mpa atau mengalami peningkatan antara spesimen S1,S2, dan S3. Untuk hasil pengujian tarik spesimen PP dan PET Suhu 250° C dapat dilihat pada Gambar 4.14 .



Gambar 4. 15 Hasil Uji Tarik PP dan PET 250°C

Hasil pengujian tarik pada spesimen PP dan PET dengan menggunakan suhu 250° C terdapat patah ulet yang disebabkan oleh temperatur pada suhu 250° C pada fase leleh yang menyebabkan penurunan kekakuan pada spesimen, mengakibatkan meningkatnya rantai polimer maka terjadi patah ulet.

4.4.2.4 Hasil Pengujian Plastik PP dan PET Suhu 300° C

Berdasarkan hasil dari perhitungan pengujian beban untuk spesimen limbah plastik PP dan PET dengan menggunakan suhu lebur 300° C. dapat dilihat pada Tabel 4.9 .

Tabel 4. 9 Perbandingan Beban Max pada spesimen PP dan PET 300°C

No.	Kode Spesimen	(A (m ²))	Beban Max (N)
-----	------------------	-----------------------	------------------

1	PP dan PET 300° C S1	30×10^{-6}	407.4
2	PP dan PET 300° C S2	30×10^{-6}	332.7
3	PP dan PET 300° C S3	30×10^{-6}	331.7
Rata-Rata			357.26

Dari hasil perhitungan pengujian beban untuk spesimen limbah plastik kombinasi PP dan PET dengan menggunakan suhu lebur 300°C mendapatkan beban max rata-rata sebesar 357.26 N atau mengalami penurunan untuk perbandingan anatar spesimen S1,S2, dan S3.

Tabel 4.10 Perbandingan Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas pada spesimen PP dan PET 300°C

NO	Kode Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
1	PP dan PET 300° C S1	13.58	6	226.3
2	PP dan PET 300° C S2	11.09	8	138.6
3	PP dan PET 300° C S3	11.06	12	92.17
Rata-Rata		11.91	8.67	152.36

Pada hasil pengujian beban didapatkan perbandingan plastik dengan kombinasi PP dan PET menggunakan suhu lebur 300° C mendapatkan nilai tegangan tarik sebesar 11.91 MPa atau mengalami penurunan nilai antara setiap perbandingan yaitu: spesimen S1,S2, dan S3. Lalu mendapatkan nilai regangan rata-rata sebesar 8.67 %. Atau mengalami keadaan konstan untuk perbandingan anatara spesimen S1,S2, dan S3. Lalu mendapatkan nilai modulus elastisitas sebesar 152.36 Mpa atau mengalami penurunan perbandingan anatar S1,S2, dan S3. Gambar spesimen PP dan PET dengan suhu 300°C dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 16 Hasil Uji Tarik PP dan PET 300°C

Pada Gambar 4.15. dapat dilihat hasil pengujian tarik untuk spesimen PP dan PET dengan suhu 300°C menghasilkan patah getas (*Brittle Fracture*) akibat dari kedua kombinasi limbah plastik PP dan PET berada di titik leleh rentang suhu degradasi termal yang ekstrim.

4.4.2 Uji Impact

Pada penelitian ini setelah dilakukan proses pembentukan palu maka spesimen akau dilakukan pengujian uji impak. Menggunakan standard ASTM D256. Dimana standard ASTM D256 merupakan standard yang digunakan untuk pengujian uji impak spesimen plastik. Adapun beberapa data yang diperoleh sebagai berikut ini:

- A. Berat Bandul (w) = 15 joule
 B. Panjang Lengan (ℓ) = 0,59 m
 C. Sudut awal (α) = 155°
 D. Ketinggian awal (h_0) = 0,27 m

Adapun contoh perhitungan pengujian impak sebagai berikut ini adalah :

Mencari luas penampang dengan menggunakan rumus berikut ini:

$$A = a \times b$$

$$A = 10,16 \text{ mm} \times 12,7 \text{ mm}$$

$$A = 129,03 \text{ mm}^2$$

Kemudian untuk contoh perhitungan kekuatan impak (I_s) sebagai berikut :

$$I_s = \frac{E}{A}$$

$$I_s = \frac{14,17 \text{ joule}}{129,03 \text{ mm}^2}$$

$$I_s = 0,109 \frac{\text{joule}}{\text{mm}^2}$$

Selanjutnya contoh perhitungan periode (detik) adalah :

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{\ell}{g} \right)$$

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \left(\frac{0,59 \text{ m}}{9,81 \text{ m/detik}^2} \right)$$

$$T = 0,38 \text{ detik}$$

Adapun untuk perhitungan yang lainnya berada pada lampiran penelitian. Kemudian dibawah ini merupakan hasil uji impak dari beberapa spesimen sebagai berikut ini:

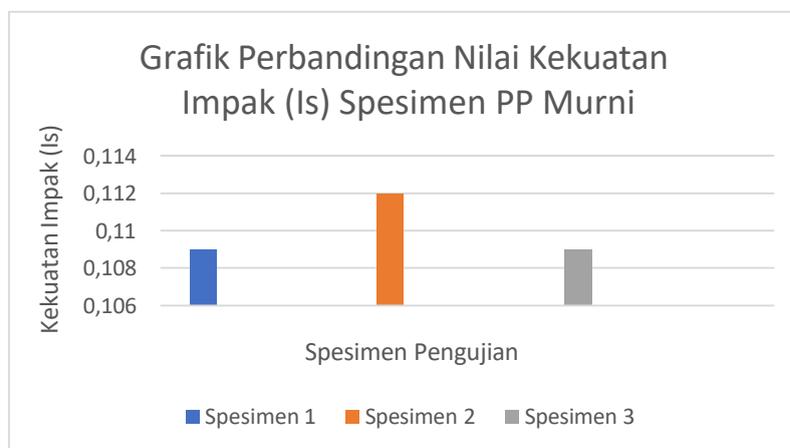
4.4.2.1 Hasil Uji Impak PP Murni

Setelah dilakukan pembentukan produk palu maka selanjutnya dilakukan pengujian uji impact dan didapatkan hasil yang disajikan menggunakan tabel kekuatan impact sebagai berikut ini:

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian impact spesimen PP Murni

Spesimen	PP					Rata-Rata Is (joule/mm ²)
	a (mm)	b (mm)	A (mm ²)	E (Joule)	Is (joule/mm ²)	
S1	10,16	12,7	129,03	14	0,109	0,110
S2	10,16	12,7	129,03	14,5	0,112	
S3	10,16	12,7	129,03	14	0,109	

Pada pengujian spesimen mendapatkan nilai kekuatan impact untuk spesimen S1 sebesar 0,109 joule/mm², spesimen S2 sebesar 0,112 joule/mm² dan spesimen S3 senilai 0,109 joule/mm². Kemudian untuk rata-rata nilai kekuatan impact spesimen PP Murni sebesar 0,110 joule/mm². Kemudian dilakukan perbandingan dengan menggunakan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. 17 Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan Impact Spesimen PP Murni

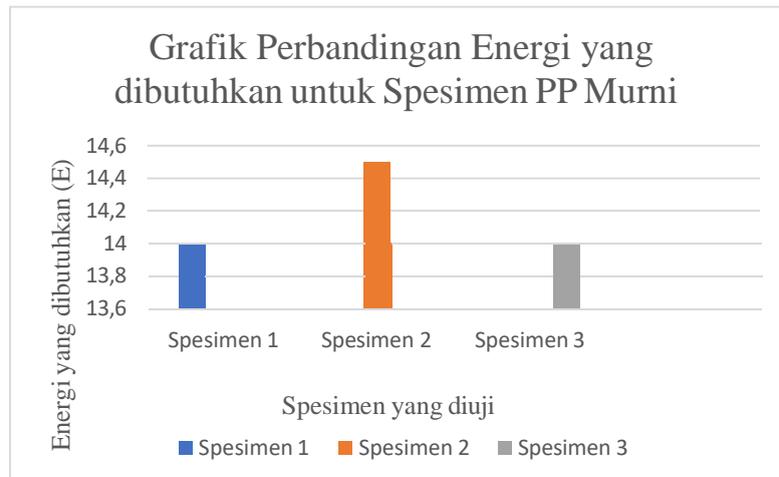
Pada pengujian ini didapatkan perbandingan untuk spesimen 2 lebih unggul dibandingkan spesimen 1 dan spesimen

3. Dengan nilai yang didapatkan sebesar $0,112 \frac{joule}{mm^2}$.
 Kemudian untuk spesimen 1 dan spesimen 3 mendapatkan nilai yang sama yaitu: $0,109 \frac{joule}{mm^2}$. Kemudian dicari nilai energi yang dibutuhkan (E) yang disajikan menggunakan tabel sebagai berikut ini:

Tabel 4. 12 Hasil Perbandingan Energi yang dibutuhkan (E) Spesimen PP Murni

Spesimen	PP					
	h0 (m)	h1 (m)	Sudut α	Sudut β	Hasil E (Joule)	Rata- Rata Hasil E (Joule)
S1	0,27	0,255	155	140	14	14,17
S2	0,27	0,255	155	140	14,5	
S3	0,27	0,255	155	140	14	

Pada pengujian impak spesimen PP mendapatkan energi yang dibutuhkan untuk Spesimen S1 sebesar 14 joule, Spesimen S2 senilai 14,5 joule dan S3 senilai 14 joule. Pada Spesimen S1 dan Spesimen S3 mendapatkan nilai yang sama dan untuk spesimen S2 mendapatkan nilai terbesar dibandingkan dengan tiga spesimen yang diuji impak. Dibawah ini merupakan Gambar 4.18 grafik perbandingan energi yang dibutuhkan untuk spesimen PP Murni. Sebagai berikut ini:



Gambar 4. 18 Grafik Perbandingan Energi yang dibutuhkan untuk Spesimen PP Murni

pada spesimen PP Murni dilakukan pengujian impak dapat dilihat pada Gambar 4.19 hasil dari pengujian impak didapatkan patahan Ulet dikarenakan pada limbah plastik PP memiliki polimerr semi kristalin dengan daerah amorf yang cukup signifikan. Dimana daerah amorf memberikan sifat fleksibel pada material, sehingga plastik PP Murni memiliki kemampuan untuk menyerap energi sebelum patah. Hal tersebut menyebabkan terjadi patah yang bersifat Ulet.



Gambar 4. 19 Spesimen Uji Impak PP Murni

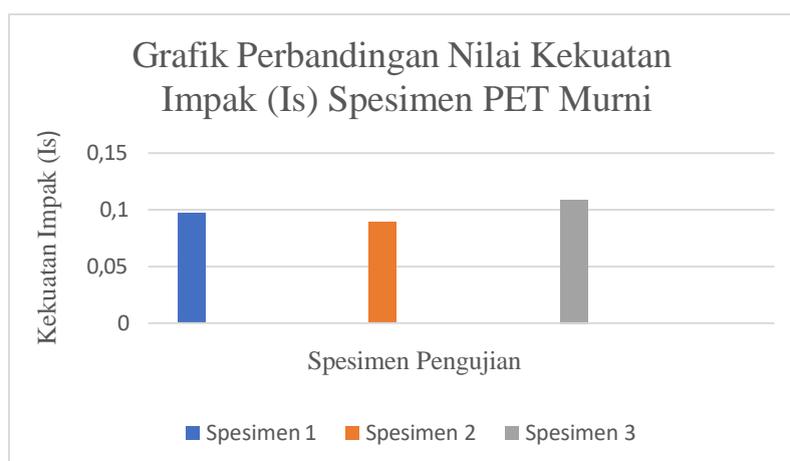
4.4.2.2 Hasil Uji Impak PET Murni

Kemudian selanjutnya melakukan pengujian impk pada spesimen PET Murni yang didapatkan data berupa kekuatan impak dan energi yang dibutuhkan. Adapun untuk data kekuatan impak dibuat dalam bentuk tabel. Dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Perbandingan Nilai Kekuatan Impak (Is) Spesimen PET Murni

PET MURNI						
Spesimen	a	b	A	E	Is	Rata-Rata Is
	(mm)	(mm)	(mm ²)	(Joule)	(joule/mm ²)	(joule/mm ²)
S1	10,16	12,7	129,03	12,5	0,097	0,096
S2	10,16	12,7	129,03	11,5	0,089	
S3	10,16	12,7	129,03	13	0,101	

Pada pengujian impak pada spesimen PET Murni mendapatkan nilai kekuatan Impak untuk Spesimen 1 sebesar $0,097 \text{ joule/mm}^2$, Spesimen 2 sebesar $0,089 \text{ joule/mm}^2$, dan Spesimen 3 senilai $0,101 \text{ joule/mm}^2$. Adapun untuk nilai kekuatan impak (Is) rata-rata spesimen PET Murni yaitu: $0,096 \text{ joule/mm}^2$. Kemudian untuk perbandingan nilai kekuatan impak disajikan dalam bentuk grafik dibawah ini yaitu:

**Gambar 4. 20** Grafik Perbandingan Kekuatan Impak (Is) untuk Spesimen PET Murni

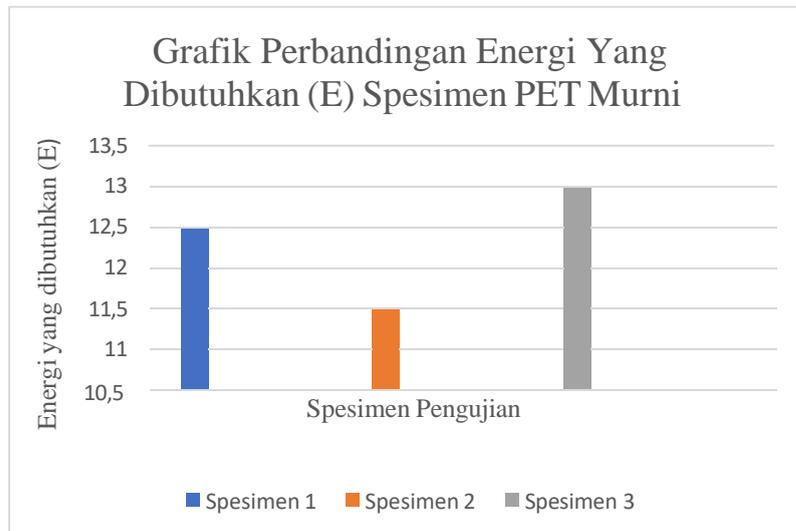
Pada gambar 4.20 grafik perbandingan kekuatan Impak (Is) spesimen PET Murni dapat dilihat untuk nilai masing-masing spesimen yaitu: spesimen 1 mendapat nilai $0,097 \text{ joule/mm}^2$,

spesimen 2 sebesar $0,089 \frac{joule}{mm^2}$. Dan spesimen 3 senilai $0,101 \frac{joule}{mm^2}$. Pada spesimen ke-3 merupakan nilai terbesar yang didapatkan pada spesimen PET Murni. Kemudian untuk nilai terkecil didapat oleh spesimen ke-1. kemudian untuk nilai energi yang dibutuhkan disajikan dalam bentuk tabel. Yaitu:

Tabel 4. 14 Perbandingan Energi yang dibutuhkan pada spesimen PET Murni

PET						
Spesimen	h0 (m)	h1 (m)	Sudut α	Sudut β	Hasil E (Joule)	Rata-Rata Hasil E (Joule)
S1	0,27	0,255	155	140	12,5	12,33
S2	0,27	0,255	155	140	11,5	
S3	0,27	0,255	155	140	13	

Pada spesimen PET Murni didapatkan energi yang dibutuhkan sebagai berikut: Spesimen S1 sebesar 12,5 joule, Spesimen S2 senilai 11,5 joule dan Spesimen S3 sebesar 13 joule. Pada spesimen PET Murni untuk nilai terendah pada Spesimen S2. Dan untuk nilai tertinggi pada Spesimen S3. Kemudian untuk nilai energi yang dibutuhkan rata-rata spesimen PET Murni sebesar 12,33 joule. Kemudian dapat dilihat pada Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Energi yang dibutuhkan untuk Spesimen PET Murni.



Gambar 4. 21 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan (E) Spesimen PET Murni

Kemudian didapatkan sampel hasil pengujian impak untuk material limbah plastik PET Murni yang dapat dilihat pada Gambar 4.22



Gambar 4. 22 Spesimen pengujian impak PET Murni

Pada Gambar 4.22 menunjukkan patah yang bersifat getas disebabkan karna tingkat kristalinitas tertentu yang mempengaruhi sifat mekanisnya. Bagian yang bersifat kristalin cenderung lebih keras dan rapuh, sehingga material cenderung mengalami patah getas ketika menerima beban kejut.

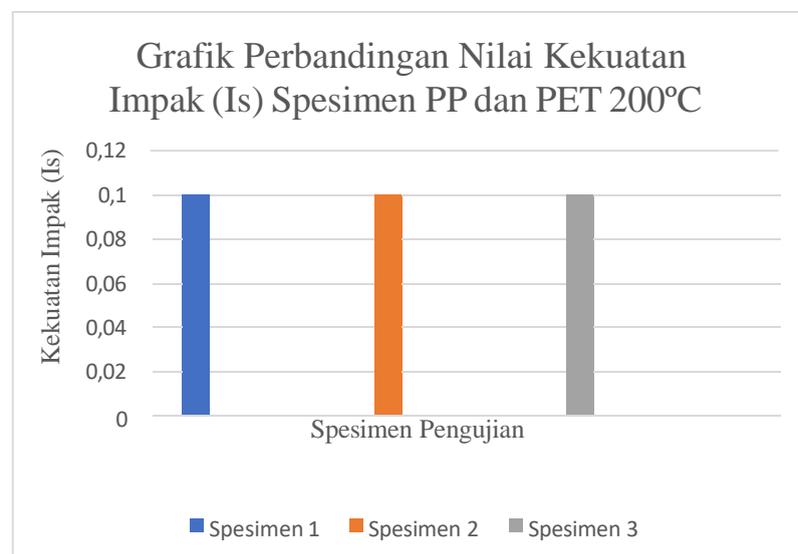
4.4.2.3 Hasil Uji Impak PP dan PET 200°C

Pada pengujian impak spesimen PP dan PET 200°C yang didapatkan hasil berupa nilai kekuatan impak dan energi yang dibutuhkan. Pada Tabel 4.15 Tabel perbandingan Kekuatan Impak untuk spesimen PP dan PET 200°C.

Tabel 4. 15 Perbandingan Nilai Kekuatan Impak pada Spesimen PP dan PET 200°C

PP + PET 200°C						
Spesimen	a (mm)	b (mm)	A (mm ²)	E (Joule)	Is (joule/mm ²)	Rata-Rata Is (joule/mm ²)
S1	10,16	12,7	129,03	13	0,101	0,101
S2	10,16	12,7	129,03	13	0,101	
S3	10,16	12,7	129,03	13	0,101	

Pada Tabel 4.15 dapat dilihat untuk nilai kekuatan impak masing-masing spesimen. Untuk spesimen S1 mendapatkan nilai $0,101 \frac{joule}{mm^2}$, Spesimen S2 mendapatkan nilai $0,101 \frac{joule}{mm^2}$, dan Spesimen S3 bernilai $0,101 \frac{joule}{mm^2}$. Adapun untuk nilai kekuatan impak rata-rata pada spesimen PP dan PET 200°C yaitu: $0,101 \frac{joule}{mm^2}$. Berikutnya Garfik 4.21 merupakan perbandingan kekuatan impak pada spesimen PP dan PET 200°C.



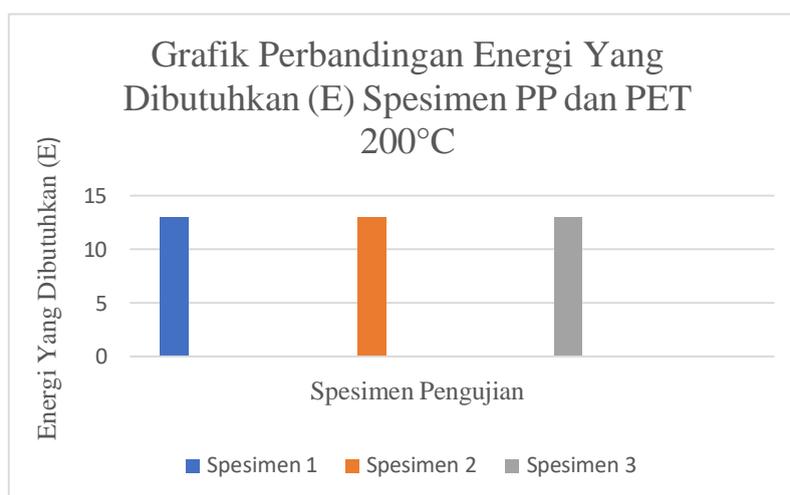
Gambar 4. 23 Perbandingan kekuatan impak pada spesimen PP dan PET 200°C

Kemudian untuk spesimen PP dan PET 200°C mendapatkan energi yang dibutuhkan yang dapat dilihat pada Tabel 4.16 sebagai berikut ini:

Tabel 4. 16 Perbandingan Energi yang dibutuhkan pada Spesimen PP dan PET 200°C.

PP + PET 200°C						
Spesimen	h0 (m)	h1 (m)	Sudut α	Sudut β	Hasil E (Joule)	Rata-Rata Hasil E (Joule)
S1	0,27	0,255	155	140	13	13
S2	0,27	0,255	155	140	13	
S3	0,27	0,255	155	140	13	

Pada Spesimen PP dan PET 200°C mendapatkan energi yang dibutuhkan pada spesimen S1 sebesar 13 joule, spesimen S2 senilai 13 joule dan spesimen S3 senilai 13 joule. Dimana untuk energi yang dibutuhkan rata-rata pada spesimen PP dan PET 200°C sebesar 13 joule. Kemudian disajikan dalam bentuk grafik perbandingan yang dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan Pada Spesimen PP dan PET 200°C

Kemudian didapatkan gambar spesimen hasil pengujian impak pada material kombinasi PP dan PET dengan suhu 200°C. Dapat dilihat pada Gambar 4. 25.



Gambar 4. 25 Spesimen Uji Impak Material Kombinasi PP dan PET 200°C

Pada Gambar 4.25 dapat dilihat untuk spesimen material plastik PP dan PET 200°C didapatkan patah dengan sifat Ulet dikarenakan adanya penyebab yaitu : pada suhu 200°C material terjadi deformasi plastis yang sangat signifikan mengakibatkan material dapat menyerap energi benturan dalam jumlah besar sebelum materi patah. Kemudian pada material plastik limbah PP lebih lentur pada suhu 200°C dan material PET yang berstruktur semi-kristalin memiliki fasa amorf yang lebih dominan. Kombinasi material PP dan PET dapat menyerap energi yang lebih baik sehingga terjadinya patah yang bersifat Ulet.

4.4.2.4 Hasil Uji Impak PP dan PET 250°C

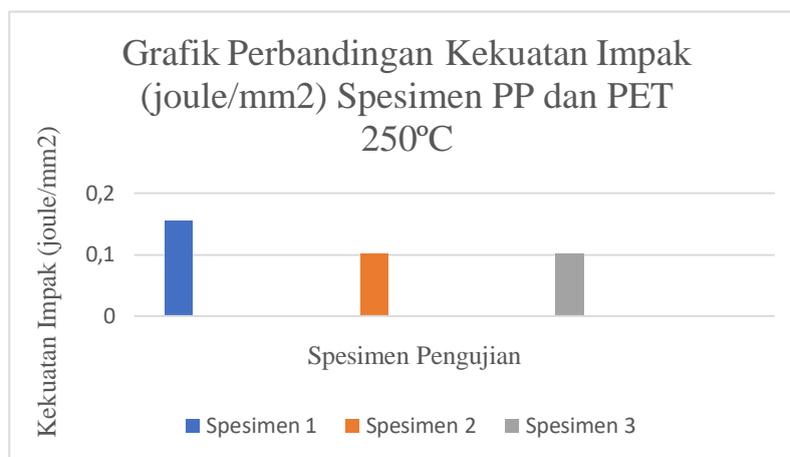
Pada spesimen PP dan PET 250°C didapatkan beberapa data seperti Kekuatan Impak dan Energi yang dibutuhkan yang disajikan dalam bentuk Tabel dan Grafik sebagai berikut ini:

Tabel 4. 17 Perbandingan Kekuatan Impak pada Spesimen PP dan PET 250°C

PP + PET 250°C

Spesimen	a (mm)	b (mm)	A (mm ²)	E (Joule)	Is (joule/mm ²)	Rata-Rata Is (joule/mm ²)
S1	10,16	12,7	129,03	20	0,155	0,119
S2	10,16	12,7	129,03	13	0,101	
S3	10,16	12,7	129,03	13	0,101	

Tabel 4.17 dapat dilihat nilai kekuatan impak pada setiap spesimen sebagai berikut: spesimen S1 sebesar $0,155 \text{ joule/mm}^2$, spesimen S2 mendapatkan nilai $0,101 \text{ joule/mm}^2$, dan spesimen S3 senilai $0,101 \text{ joule/mm}^2$. Adapun untuk nilai terbesar didapatkan pada spesimen S1. Dimana untuk nilai rata-rata kekuatan impak pada spesimen PP dan PET 250°C yaitu: $0,119 \text{ joule/mm}^2$. Kemudian disajikan grafik perbandingan kekuatan impak pada Gambar 4.23.



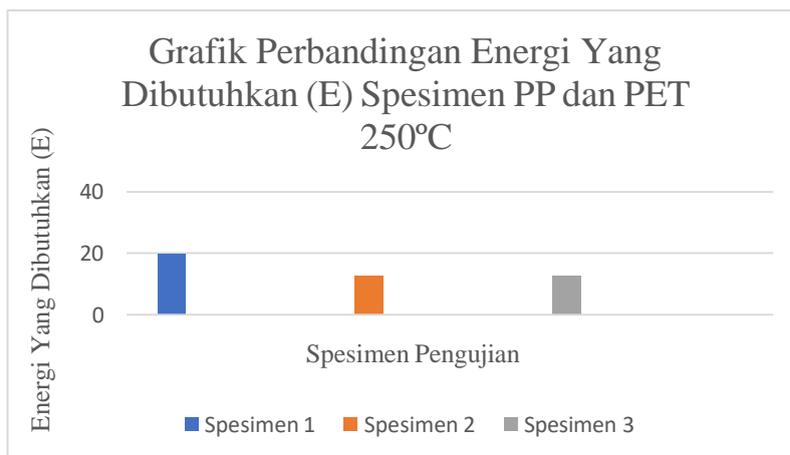
Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Nilai Kekuatan Impak pada Spesimen PP dan PET 250°C

Kemudian pada spesimen PP dan PET 250°C didapatkan nilai energi yang dibutuhkan dalam bentuk Tabel 4.19.

Tabel 4. 18 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan pada Spesimen PP dan PET 250

PP + PET 250°C						
Spesimen	h0 (m)	h1 (m)	Sudut α	Sudut β	Hasil E (Joule)	Rata- Rata Hasil E (Joule)
S1	0,27	0,255	155	140	20	15,33
S2	0,27	0,255	155	140	13	
S3	0,27	0,255	155	140	13	

Pada Tabel 4.18 dapat dilihat untuk nilai energi yang didapatkan nilai terbesar pada spesimen S3 sebesar 20 joule. Untuk rata-rata nilai energi yang dibutuhkan bernilai 15,33 Joule . kemudian dibuat grafik perbandingan pada Gambar 4.27.



Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan (E) pada Spesimen PP dan PET 250°C.

Sampel uji impak menunjukan terjadinya patah yang bersifat Ulet. Karena pada suhu 250°C material limbah plastik PP mengalami fasa leleh yang membuat sifat sangat lentur dan dapat menyerap energi yang didapatkan dalam jumlah besar. Kemudian untuk material

limbah plastik PET dalam keadaan melunak mendekati suhu transisi gelas (T_g) atau mengalami pencairan sebagian. Struktur ini membuat PET lebih lentur dibandingkan pada suhu lebih rendah



Gambar 4. 28 Spesimen Uji Impact pada Material PP dan PET 250°C.

4.4.2.5 Hasil Uji Impact PP dan PET 300°C

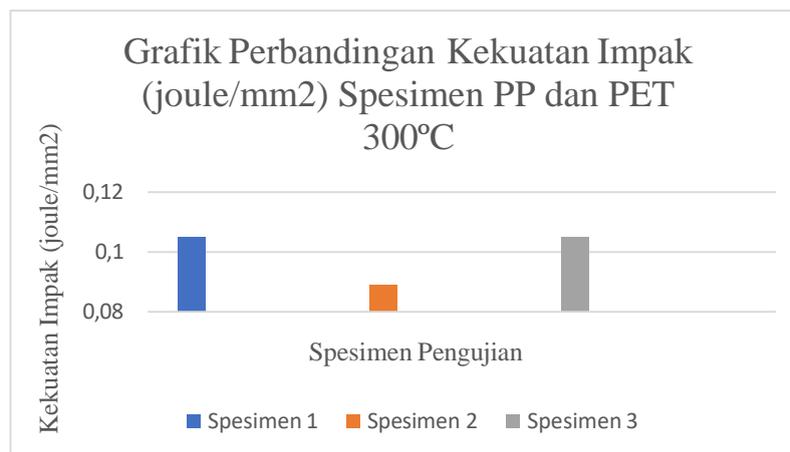
Pada pengujian impact spesimen PP dan PET 300°C mendapatkan hasil kekuatan impact dan Energi yang dibutuhkan yang dapat disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Untuk kekuatan impact dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 19 Perbandingan Kekuatan Impact (I_s) pada Spesimen PP dan PET 300°C

PP + PET 300°C						
Spesimen	a (mm)	b (mm)	A (mm ²)	E (Joule)	I_s (joule/mm ²)	Rata-Rata I_s (joule/mm ²)
S1	10,16	12,7	129,03	13,5	0,105	0,099
S2	10,16	12,7	129,03	11,5	0,089	
S3	10,16	12,7	129,03	13,5	0,105	

Pada Tabel 4.19 dapat dilihat untuk nilai kekuatan impact terbesar pada spesimen S2 dan S3. Kemudian nilai kekuatan impact terkecil pada spesimen S2. Untuk rata-rata nilai kekuatan impact

pada spesimen PP dan Pet 300°C bernilai $0,099 \frac{joule}{mm^2}$. Kemudian dibuatkan grafik perbandingan kekuatan impact (Is) pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Kekuatan Impact (Is) pada Spesimen PP dan PET 300°C

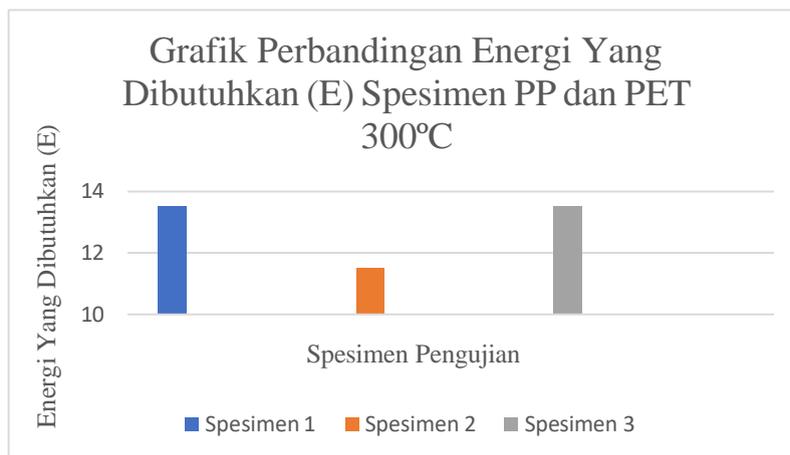
Kemudian mencari nilai energi yang dibutuhkan pada spesimen PP dan PET 300°C yang dibentuk dalam tabel. Yang dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4. 20 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan Pada Spesimen PP dan PET 300°C

PP + PET 300°C						
Spesimen	h0 (m)	h1 (m)	Sudut α	Sudut β	Hasil E (Joule)	Rata-Rata Hasil E (Joule)
1	0,27	0,255	155	140	13,5	12,83
2	0,27	0,255	155	140	11,5	
3	0,27	0,255	155	140	13,5	

Pada Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa energi yang dibutuhkan terbesar pada spesimen S1 dan spesimen S2. Kemudian yang energi

yang dibutuhkan terendah pada spesimen S2. Untuk rata-rata energi yang dibutuhkan sebesar 12,83 Joule. Untuk Grafik perbandingan energi yang dibutuhkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4. 30 Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan Pada Spesimen PP dan PET 300°C

Pada Gambar 4.31 hasil pengujian Impak didapatkan hasil patah yang bersifat Getas yang disebabkan karena suhu tinggi dapat berpengaruh energi yang diserap material sebelum mengalami patah. Pada suhu 300°C terjadi degradasi termal dan energi yang diserap berkurang Sehingga cenderung patah getas.



Gambar 4. 31 Spesimen Uji Impak Material
PP dan PET 300°C

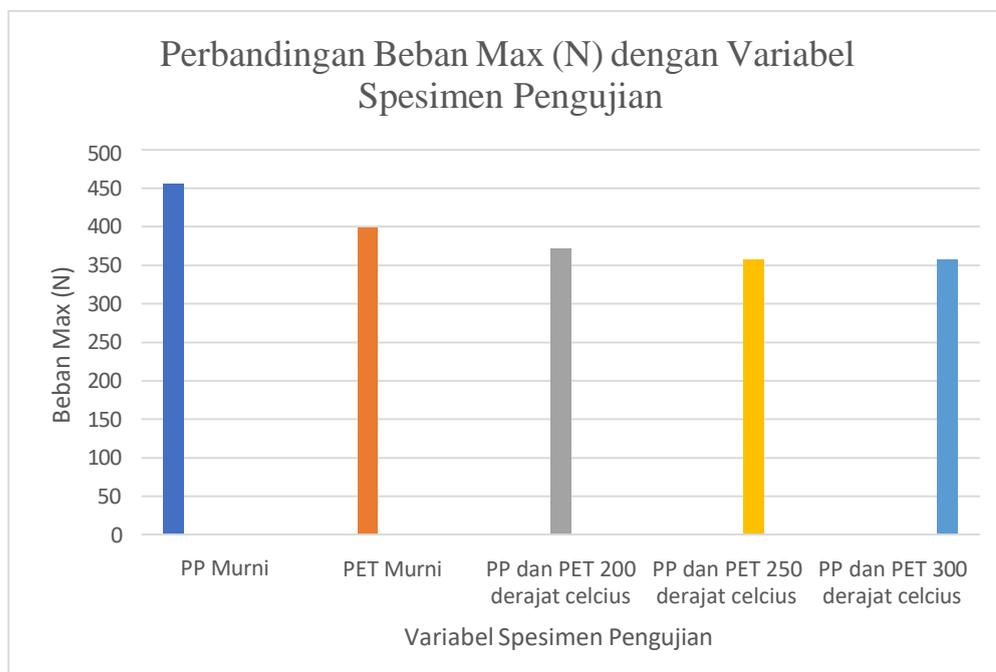
4.5 Analisa dan Pembahasan

Pada sub bab 4.5 terdapat tabel hasil pengujian tarik berupa beban max, tegangan, regangan, dan modulus elastisitas perbandingan untuk spesimen limbah plastik PP dan PET dengan menggunakan suhu yang bermacam-macam seperti: 200°C, 250°C, 300°C. Dapat dilihat pada tabel 4. . dan tabel 4. .

Tabel 4. 21 Perbandingan Rata-Rata Nilai Beban Max

No.	Kode Spesimen	(A (m^2))	Beban Max (N)
1	PP Murni	30×10^{-6}	455.76
2	PET Murni	30×10^{-6}	398.26
3	PP dan PET 200°C	30×10^{-6}	372.16
4	PP dan PET 250°C	30×10^{-6}	398.67
5	PP dan PET 300°C	30×10^{-6}	357.26

Perbandingan hasil beban maksimal rata-rata dari setiap spesimen uji tarik hasil pengujian tarik menggunakan perbandingan beban maksimal pada setiap spesimen produknya.



Gambar 4. 32 Kurva Perbandingan Beban Max

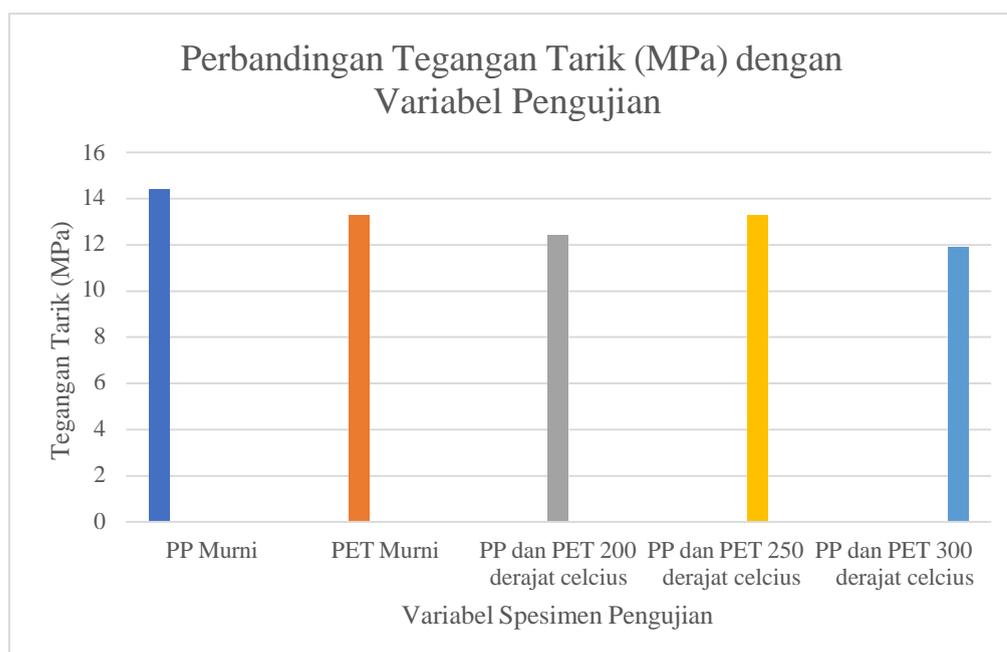
Hasil pengujian menunjukkan perbandingan beban maksimum pada sampel PP murni, PET murni dan campuran PP dan PET dengan variasi suhu leleh 200°C, 250°C dan 300°C. Sampel PP murni memiliki beban maksimum 455,76 N, sedangkan PET murni mencapai 398,26 N, pada suhu 200 °C beban maksimumnya turun menjadi 372,16 N. Kombinasi pada suhu 250 °C menghasilkan beban maksimum sebesar 398,67 N, peningkatan yang signifikan dibandingkan sampel lainnya, karena suhu ini mendekati titik leleh PET dan memungkinkan campuran menjadi stabil. Namun pada suhu 300°C, campuran PP dan PET mengalami penurunan kekuatan pada 357,26 N akibat degradasi termal yang melemahkan ikatan molekul. Pada Tabel 4.12 dapat dilihat perbandingan nilai Rata-rata Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastisitas.

Tabel 4. 22 Perbandingan Rata-rata Nilai Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas

NO	Kode Spesimen	Tegangan Tarik (MPa)	Regangan (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
1	PP Murni	26.91	12.67	193.77
2	PET Murni	13.28	1.13	81.36
3	PP dan PET 200°C	12.40	9.33	168.92
4	PP dan PET 250°C	13.27	12	139.55
5	PP dan PET 300°C	11.91	8.67	153.36

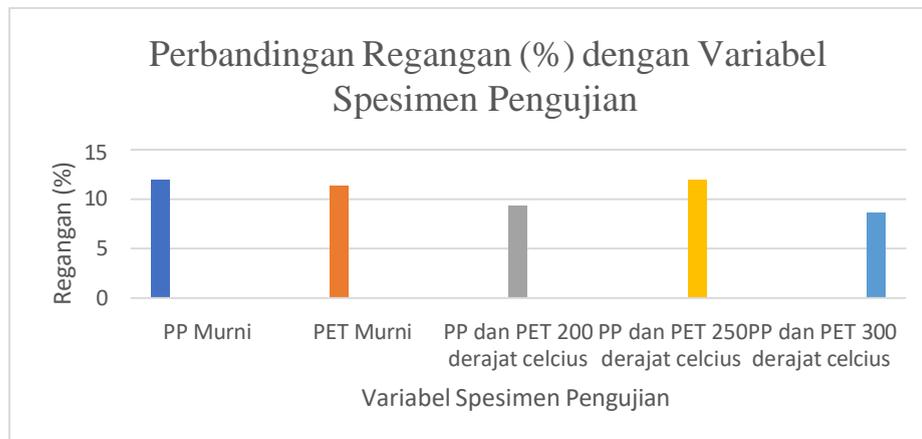
Hasil uji tarik menunjukkan sampel PP murni mempunyai tegangan sebesar 26.91 MPa, regangan sebesar 12.67%, dan modulus elastisitas sebesar 193.77 MPa. Sampel PET murni mencapai tegangan 13.28 MPa, regangan 1.13%, dan modulus elastisitas 81.36 MPa. Kombinasi PP dan PET pada suhu

200 °C menghasilkan tegangan sebesar 12.40 MPa, regangan sebesar 9.33% dan modulus elastisitas sebesar 168.92 MPa. Pada suhu 250 °C, kombinasi ini meningkat dengan tegangan sebesar 13.27 MPa, regangan sebesar 12%, dan modulus elastisitas sebesar 139.55 MPa. Namun pada suhu 300 °C, tegangan turun tajam menjadi 11.91 MPa, regangan 8.67 %, dan modulus elastisitas 153.36 MPa. Pada grafik dibawah ini merupakan perbandingan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas dengan setiap variabel yang digunakan. Dapat dilihat pada Gambar 4.33 Kurva Perbandingan Tegangan Tarik dibawah ini.



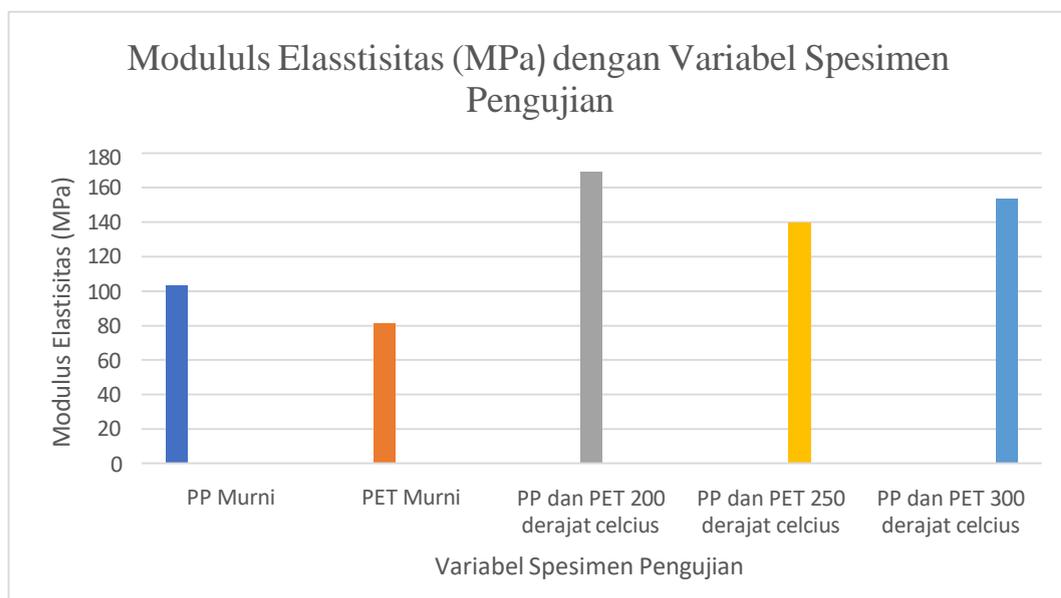
Gambar 4. 33 Kurva Perbandingan Tegangan Tarik

Grafik menunjukkan perbandingan tegangan tarik antara sampel PP murni, PET murni, dan campuran PP-PET pada suhu 200°C, 250°C, dan 300°C. Tegangan tarik menurun dari PP murni (14.42 MPa) ke PET murni (13.28 MPa), PP-PET 200°C (12.40 MPa), dan meningkat pada PP-PET 250°C (13.27 MPa) karena suhu ini mendukung interaksi molekuler yang lebih kuat dan kristalisasi yang lebih tinggi. Namun, pada suhu 300°C, tegangan tarik menurun drastis menjadi 11.91 MPa karena degradasi termal yang merusak struktur molekuler dan mengurangi kekuatan tarik.



Gambar 4. 34 Kurva Perbandingan Tegangan

Setelah dilakukan uji tarik, dilakukan perbandingan nilai regangan pada sampel cetakan injeksi: campuran PP murni, PET murni, dan PP-PET pada suhu 200°C, 250°C, dan 300°C. PP dan PET 300°C menunjukkan deformasi yang rendah karena struktur molekulnya yang kaku dan kristalinitas yang tinggi, membuatnya kuat tetapi kurang elastis dibandingkan PP. Hal ini membuat PET kurang mampu melakukan peregangan saat terkena stres. Perbandingan modulus elastisitas disajikan pada Gambar 4.19.

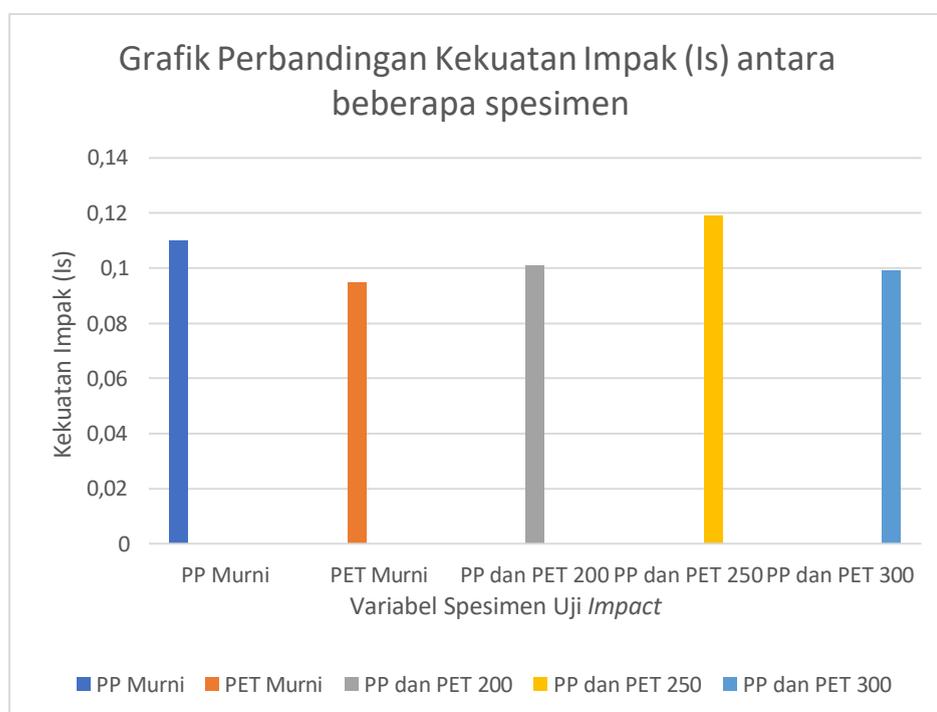


Gambar 4. 35 Kurva Perbandingan Modulus Elastisitas

Perbandingan modulus elastisitas dari uji tarik menunjukkan peningkatan dari sampel PP murni ke sampel PP dan PET pada suhu 250°C.

PET murni memiliki kristalinitas dan kekakuan yang tinggi, sedangkan PP murni lebih fleksibel. Suhu 200°C meningkatkan mobilitas molekul dalam campuran PP-PET, sehingga strukturnya lebih stabil dan kaku. Pada suhu 250°C, molekul PP-PET mengalami reorientasi yang membuat ikatan lebih rapat, sehingga meningkatkan modulus elastisitas. Namun, pada suhu 300°C, modulus elastisitas menurun karena degradasi termal dan penurunan kristalinitas, yang mengarah ke struktur yang lebih amorf dan kurang mengalami kekakuan.

Kemudian dilakukan pembahasan mengenai hasil uji impact yang telah didapatkan perbandingan nilai kekuatan impact antara beberapa material seperti PP dan PET dengan menggunakan suhu yang bermacam-macam seperti: 200°C, 250°C, 300°C.:yang dapat dilihat pada Gambar 4.36.



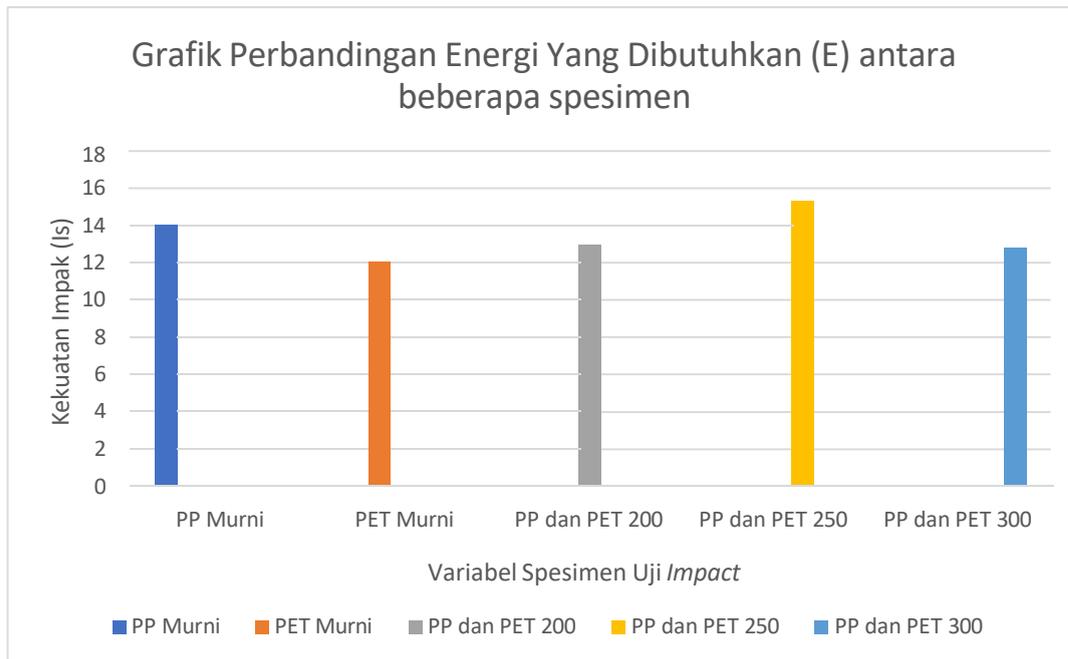
Gambar 4. 36 Grafik Perbandingan Kekuatan Impact (Is) pada setiap spesimen uji

Pada Gambar 4.36 dapat dilihat pada grafik untuk nilai PP Murni mendapatkan posisi nomer 2 terbesar karena Material PP murni menempati

posisi kedua karena memiliki sifat yang lebih lentur dan stabil dibandingkan campuran PP dan PET pada suhu tinggi.

Namun, kekuatannya masih lebih rendah dibandingkan PET murni yang memiliki keunggulan dalam kekuatan mekanis. Untuk meningkatkan kinerja campuran PP dan PET, diperlukan penggunaan compatibilizer serta pengaturan proses yang lebih optimal. Kemudian untuk material plastik limbah PET Murni mendapatkan peringkat ke-5 karena PET murni memiliki kekuatan dampak yang rendah karena sifatnya yang cenderung rapuh pada suhu ruang, ketiadaan aditif penguat, dan kemampuan yang terbatas dalam menyerap energi saat uji dampak. Untuk meningkatkan performanya, dapat digunakan plasticizer atau dilakukan pemrosesan pada suhu lebih tinggi agar rantai molekulnya menjadi lebih fleksibel.

Kemudian untuk PP dan PET 200°C mendapatkan peringkat ke-3 karena Campuran PP dan PET 200°C memiliki kekuatan dampak yang rendah akibat ketidaksesuaian antar fasa, lemahnya adhesi, serta sifat PET yang cenderung rapuh. Untuk meningkatkan kinerjanya, perlu digunakan compatibilizer atau dilakukan modifikasi material guna memperkuat ikatan antar fasa dan meningkatkan ketangguhan material. Berikutnya PP dan PET 200°C mendapatkan peringkat ke-1 karena terjadinya Material PP dan PET pada suhu 250°C menunjukkan kekuatan dampak tertinggi karena berada dalam kondisi ideal untuk pencampuran fasa, dengan degradasi yang minimal, serta menggabungkan sifat ulet dari PP dan kekuatan dari PET. Kemudian yang terjadi PP dan PET 300°C peringkat ke-4 karena Material PP dan PET pada suhu 300°C menunjukkan kekuatan dampak tertinggi karena suhu ini memfasilitasi pencampuran fasa yang lebih efektif, menghasilkan kombinasi ketangguhan dan kekuatan yang ideal. Proses pemrosesan pada suhu tersebut memungkinkan kedua material bekerja bersama secara sinergis, menghasilkan performa mekanis yang optimal dalam uji dampak. Selanjutnya dilakukan perbandingan untuk energi yang dibutuhkan dari hasil pengujian dampak dapat dilihat pada Gambar 4.37.



Gambar 4.37 Grafik Perbandingan Energi Yang Dibutuhkan (E) pada setiap spesimen uji

Pada Gambar 4.37 dapat dilihat untuk urutan pertama spesimen PP dan PET 250°C disebabkan karena Kombinasi material PP dan PET pada suhu 250°C memperoleh peringkat pertama karena suhu ini menciptakan kondisi optimal untuk pencampuran fasa yang efisien, mengurangi degradasi termal, dan menghasilkan kombinasi kekuatan serta ketangguhan terbaik. Suhu tersebut memungkinkan kedua material berfungsi secara sinergis, memberikan performa mekanis terbaik dalam uji impact. Kemudian untuk urutan ke-2 material PP Murni karena meskipun memiliki ketangguhan yang baik dalam menyerap energi impact. Kemudian untuk urutan ke-3 yaitu spesimen PP dan PET 200°C karena pada suhu 200°C, pencampuran fasa antara PP dan PET tidak optimal, mengurangi kekuatan dan ketangguhan material. Sementara itu, PP murni unggul dalam hal ketangguhan pada suhu ini, dan kombinasi PP dan PET pada suhu 250°C dan 300°C memberikan performa lebih baik karena interaksi antar fasa yang lebih baik. Berikutnya untuk urutan ke-4 material kombinasi PP dan PET 300°C karena Degradasi termal yang terjadi pada suhu tinggi mengurangi ketangguhan dan kekuatan material.

Kombinasi ini tidak bekerja sebaik pada suhu 250°C, di mana kekuatan dan ketangguhan material lebih terjaga. Pada suhu yang lebih rendah

(200°C), PP murni dan PET murni juga menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam uji impak dibandingkan dengan kombinasi PP dan PET pada suhu 300°C. kemudian untuk urutan ke-5 yaitu: materia spesimen PET Murni karena sifat getasnya yang mengurangi kemampuannya untuk menyerap energi impak dengan baik. Dibandingkan dengan kombinasi PP dan PET pada suhu 250°C dan 300°C yang menghasilkan interaksi fasa yang lebih baik dan ketangguhan yang lebih tinggi, PET murni cenderung tidak mampu memberikan performa yang setara dalam uji impak.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan proses penelitian dan pengambilan spesimen, diperoleh beberapa kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut ini:

1. Variasi temperatur pada proses pembentuk produk palu hasil injection moulding dengan varian plastik limbah PET dan PP berpengaruh sangat signifikan terhadap kualitas yang dihasilkan berupa produk palu. Dengan mengatur temperatur yang tepat, sifat mekanis dan kekuatan produk palu dapat ditingkatkan, yang mencakup kekuatan, kekerasan, serta ketahanan produk terhadap deformasi. Variasi temperatur yang sangat optimal akan dapat menghasilkan produk palu yang baik dari segi kualitas material yang dihasilkan maupun fungsional produk palunya. Berdasarkan pengaplikasiannya membutuhkan ketahanan mekanis.

2. Pada hasil penelitian produk palu berbahan limbah plastik PP dan PET menggunakan dua metode pengujian yaitu: uji tarik dan uji impak mendapatkan hasil pada setiap variabelnya yaitu: untuk PP murni mendapatkan beban max sebesar 602.3 N, Tegangan mendapatkan nilai sebesar 7.1733 MPa, regangan bernilai 14% dan modulus elastisitas yang didapatkan sebesar 52.2380 MPa. Kemudian PET Murni mendapatkan nilai beban max sebesar 612.7 N, tegangan tarik yang didapatkan senilai 8.6166 MPa, regangan sebesar 13.33% dan modulus elastisitas senilai 61.0988 MPa. Lalu spesimen perpaduan PP dan PET 200°C mendapatkan beban max sebesar 600.6N, tegangan tarik senilai 12.4055 MPa, regangan sebesar 14% dan modulus elastisitas mendapatkan nilai 65.3637 MPa. Berikutnya hasil pengujian tarik pada material kombinasi PP dan PET dengan suhu 250°C mendapatkan beban max sebesar 704.3 N, tegangan sebesar 13.2888 MPa, regangan sebesar 14% dan modulus elastisitas senilai 94.9202 MPa. Lalu untuk spesimen PP dan PET bersuhu 300°C mendapatkan hasil beban max sebesar 357.3 N, tegangan sebesar 2.8688 MPa, regangan senilai 14% dan modulus elastisitas yang didapatkan sebesar 11.95345 MPa. Pada PP Murni terdapat karakteristik fisik berupa kristalinitas yang tinggi, kecenderungan bersifat kekakuan yang lebih rendah. PET Murni memiliki karakteristik fisik berupa kristalinitas yang tinggi, kekakuan yang tinggi dan lebih kaku. Kemudian PP dan PET pada suhu 200°C kecenderungan untuk karakteristik fisiknya kristalinitas menurun dan kekakuan pada material menurun. Lalu pada PP dan PET 250°C mengalami karakteristik fisik titik mulai meleleh sepenuhnya, kristalinitas lebih rendah, dan kekakuan cenderung lebih kaku. Berikutnya pada PP dan PET 300°C mengalami kakarakteristik fisik secara penurunan signifikan pada kristalisasi dan kekakuan menurun. Kemudian untuk uji impak didapatkan nilai kekuatan impak pada masing masing spesimen yaitu : PP Murni $0,110 \frac{J}{mm^2}$, PET Murni

$0,096 \frac{J}{mm^2}$, PP dan PET 200°C $0,101 \frac{J}{mm^2}$, PP dan PET 250°C
 $0,119 \frac{J}{mm^2}$, dan PP dan PET 300°C $0,099 \frac{J}{mm^2}$.

5.2 Saran

Pada penelitian ini terdapat saran untuk penelitian berikutnya, sebagai berikut ini:

1. Untuk penelitian selanjutnya melakukan pengujian SEM

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Nasir, “Model Pengolahan Limbah Menuju Environmental Friendly Product,” *BENEFIT J. Manaj. dan Bisnis Moech. Nasir BENEFIT J. Manaj. dan Bisnis*, vol. 16, no. 1, pp. 58–68, 2012.
- [2] A. Apriyani, M. M. Putri, and S. Y. Wibowo, “Pemanfaatan sampah plastik menjadi ecobrick,” *Masy. Berdaya dan Inov.*, vol. 1, no. 1, pp. 48–50, 2020, doi: 10.33292/mayadani.v1i1.11.
- [3] R. Nadlifatin, “Pengolahan Limbah Plastik Menjadi Produk Kerajinan Tangan Untuk Meningkatkan Ekonomi Masyarakat Sendang Dajah,” *J. Abdikarya J. Karya Pengabd. Dosen dan Mhs.*, vol. 01, no. 1, pp. 98–102, 2018.
- [4] J. A. Riandis, A. R. Setyawati, and A. S. Sanjaya, “Pengolahan Sampah Plastik dengan Metode Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak (Plastic Waste Processing using Pyrolysis Method into Fuel Oil),” *J. Chemurg.*, vol. 05, no. 1, pp.814,2021,[Online].Available:<http://ejournals.unmul.ac.id/index.php/Kp>.

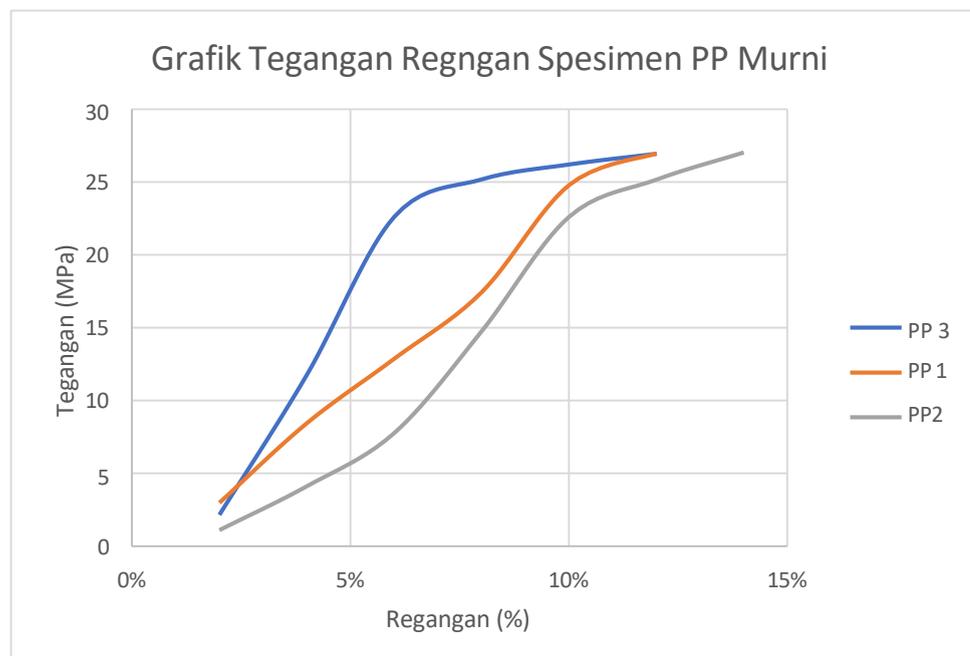
- [5] W. T. Putra, "Analisa Hasil Uji Impak Sampah Plastik Jenis," vol. 2, no. 1, pp. 51–56, 2017.
- [6] M. Zaenuri, K. Kosjoko, and N. A. Mufarida, "Pengaruh Variasi Komposisi Zeolit Alam Terhadap Hasil Pirolisis Plastik Campuran Polypropylene Dan Polyethylene Terephthalate," *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 21, no. 2, pp. 227–233, 2023, doi: 10.31963/sinergi.v21i2.4342.
- [7] R. Irawan, *Analisa Hasil Cacahan Plastik Terhadap Kekuatan Tarik Material Plastik Jenis PP Dan PET Pada Mesin Pengolahan Plastik*. 2023.
- [8] D. Pratiwi, "Pengenalan Pengolahan Sampah Untuk Anak-Anak Taman Kanak-Kanak Melalui Media Banner," *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidik. Biol.)*, vol. 7, no. 1, pp. 49–54, 2016, doi: 10.24127/bioedukasi.v7i1.491.
- [9] S. N. Wong, C. M. Chandra, S. Ardita, S. Muljadi Art, and C. A. Kuistono, "Analisis Konsep 3R Terhadap Pengelolaan Sampah di Jakarta Berdasarkan Peraturan Perundang-Undangan yang Berlaku," *J. Kewarganegaraan*, vol. 6, no. 4, pp. 6635–6641, 2022, [Online]. Available: <https://eppid.pu.go.id/>
- [10] N. Karuniastuti, "Bahaya Plastik terhadap Kesehatan dan Lingkungan," *Swara Patra Maj. Pusdiklat Migas*, vol. 3, no. 1, pp. 6–14, 2013, [Online]. Available: <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/43/65>
- [12] Aminatus Sa'diyah dan Yulinah Trihadiningrum, "Kajian Fragmentasi Low Density Polyethylene," *J. Tek. Its*, vol. 9, no. 2, pp. C34–C40, 2020.
- [13] A. Johansyah, E. Prihastanti, E. Kusdiyantini, J. Biologi, F. Sains, and U. Diponegoro, "Pengaruh Plastik Pengemasan Low Density Polyethylene (LDPE), High Density Polyethylene (HDPE) dan Polipropilen (PP) Terhadap Penundaan Kematangan Buah Tomat (*Lycopersicon esculentum*.Mill)," *Bul. Anat. dan Fisiol.*, vol. XXII, no. 1, pp. 46–57, 2014.
- [14] R. Armidion and T. Rahayu, "Peningkatan nilai kuat tarik belah beton dengan campuran limbah botol plastik polyethylene terephthalate (pet)," *J. Konstr.*, vol. 10, no. 1, pp. 117–126, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/article/view/3877>

- [15] I. A. Setiorini, "Karakteristik termoplastik elastomer dari karet alam dan polipropilena dengan penambahan carbon black filler elastomeric thermoplastic characteristics of natural rubber and polypropylene with the addition of carbon black filler," *J. Tek. Patra Akad.*, vol. 10, no. 02, pp. 41–55, 2019.
- [16] M. Hafshah and T. Kartini, "Degradasi Polietilen Tereftalat Dengan Radiasi Sinar Matahari Dan Metanolisis," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 43, no. 2, p. 103, 2021, doi: 10.24817/jkk.v43i2.6824.
- [17] W. Fathonah, D. E. Intari, E. Mina, and M. Sulaiman, "Pemanfaatan Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Lempung Ekspansif (Studi Kasus : Jalan Kampung Cibayone, Sumur-Pandeglang)," *J. Fondasi*, vol. 7, no. 2, pp. 31–40, 2018, doi: 10.36055/jft.v7i2.4073.
- [18] V. P. Khavilla, S. Wahyuni, A. F. Riyanto, Jumaeri, and Harjono, "Preparasi dan Karakterisasi PP (Polypropylene) Termodifikasi LLDPE (Linear Low Density Polyethylene) dengan Teknik Pencampuran Biasa," *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 176–184, 2019.
- [19] Agus Supriyanto, "Pengaruh Variasi Injection Velocity Dan Packing Pressure Terhadap Kualitas Part Produk Injection Molding," *Buana Ilmu*, vol. 8, no. 1, pp. 13–24, 2023, doi: 10.36805/bi.v8i1.5999.
- [20] I. S. Asisdiq and S. Side, "Optimasi Pendaaur Ulang Plastik Bekas Jadi Pot Mini Kapasitas 12 Buah/Jam," *Pendidik. Kim. PPs UNM*, vol. 1, no. 1, pp. 91–99, 2021.
- [21] F. & Eidelweis, "Proses Pembuatan preform dengan material bahan polyethylene terephthalate menggunakan mesin injection molding," *Semin. Teknol. Majalengka*, pp. 272–278, 2021.
- [22] A. R. Widiyanti, D. R. Setiani, F. Salsabila, A. Anggraeni, U. Pratomo, and H. H. Bahti, "Pengaruh Surfaktan terhadap Pemisahan Logam Transisi Periode Pertama Menggunakan Metode Emulsion Liquid Membrane," *ALCHEMY Journal Chem.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–11, 2023, doi: 10.18860/al.v11i1.15020.
- [23] F. Fasya and N. Iskandar, "Melt Loss dan Porositas pada Aluminium Hasil

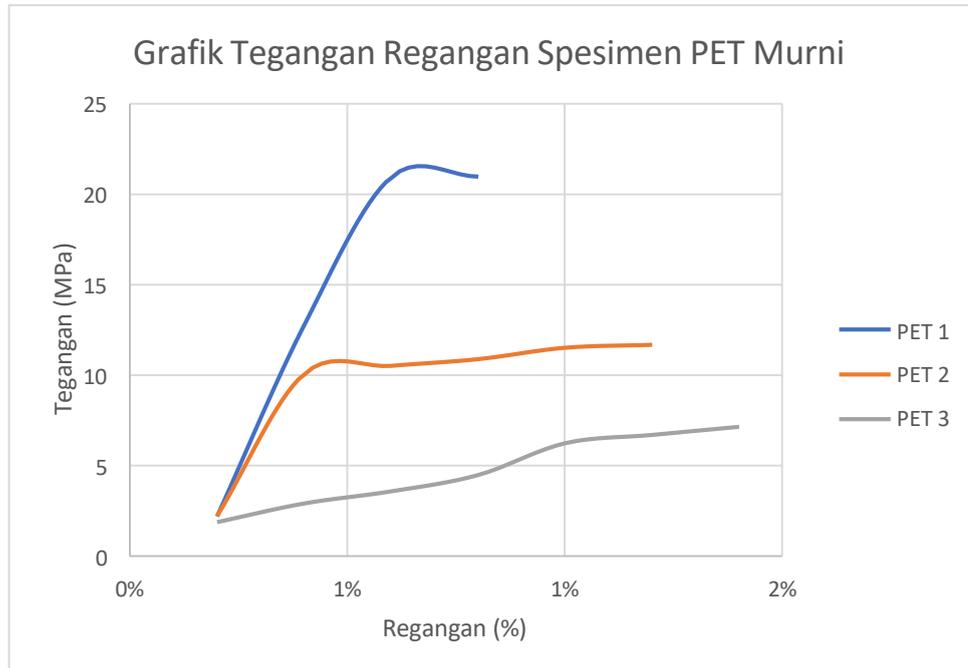
- Daur Ulang,” *J. Tek. Mesin S-I*, vol. 3, no. 1, pp. 44–50, 2015, [Online]. Available:
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/8694>
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/download/8694/8457>
- [24] H. Harsi, N. H. Sari, and S. Sinarep, “Karakteristik Kekuatan Bending Dan Kekuatan Tekan Komposit Serat Hybrid Kapas/Gelas Sebagai Pengganti Produk Kayu,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, pp. 59–65, 2015, doi: 10.29303/d.v5i2.30.
- [25] N. Neneng, N. U. Putri, and E. R. Susanto, “Klasifikasi Jenis Kayu Menggunakan Support Vector Machine Berdasarkan Ciri Tekstur Local Binary Pattern,” *Cybernetics*, vol. 4, no. 02, pp. 93–100, 2021, doi: 10.29406/cbn.v4i02.2324.
- [26] S. Suyadi, “Pembuatan Model Produk Palu Plastik Dari Bahan Daur Ulang Plastik Pp, Pet, Dan Hdpe,” pp. 80–85, 2015.
- [27] R. S. Amri, G. R. Willis, and M. F. Sidiq, “Carburizing Hammer Blacksmith Dengan Arang Cangkang Kerang & Kulit Durian,” *MESTRO J.*, vol. 4, no. 1, pp. 43–46, 2022.
- [28] F. D. Izaak, F. A. Rauf, and R. Lumintang, “Analisis sifat mekanik dan daya serap air material komposit serat rotan,” *J. Kim. Khatulistiwa*, vol. 2, no. 1, p. 12, 2013.
- [29] Dandy Indra Gunawan, “Pembentukan dan Uji Kerja Sistem Pengatur Temperatur Mesin Pengolah Plastik,” 2022.
- [30] R. Waluyo, A. R. Ahmad, G. E. Pramono, and K. Kurniansyah, “Pengembangan Wood Plastic Composite (WPC) Melalui Pemanfaatan Limbah Plastik dan Serbuk Gergaji Kayu,” *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.32832/ame.v7i1.3434.
- [31] B. Bambang, “Analisa Teknomik Proses Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda Jenis E6013 Berbeda Merk Pada Material baja Grade A Marine use,” *Techno Bahari*, vol. 8, no. 2, pp. 1–8, 2023, doi: 10.52234/tb.v9i2.124.
- [32] R. D. Salindeho, J. Soukota, and R. Poeng, “Pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material,” *J. Online Poros Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 88–98, 2018.

LAMPIRAN

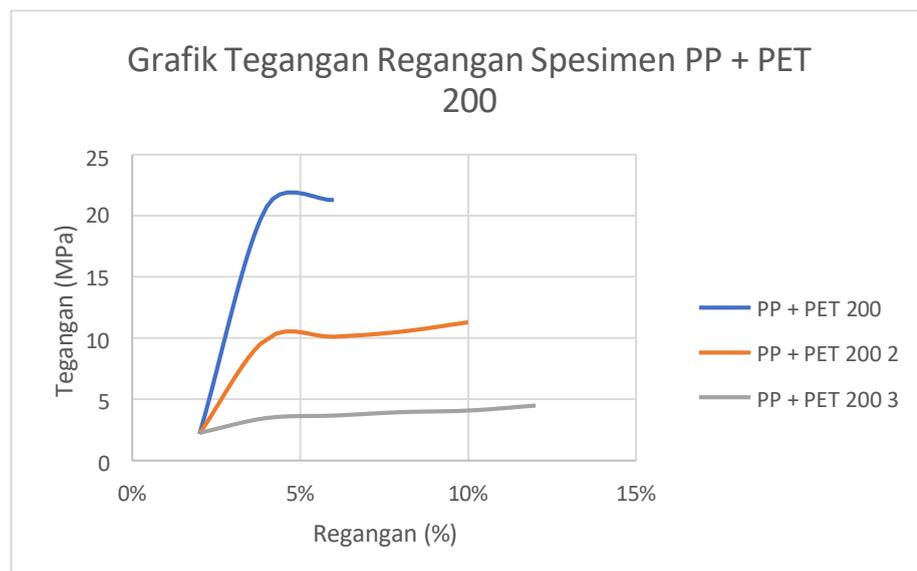
A. Gambar Grafik Tegangan Regangan Pengujian Tarik Plastik Polypropylen (PP)



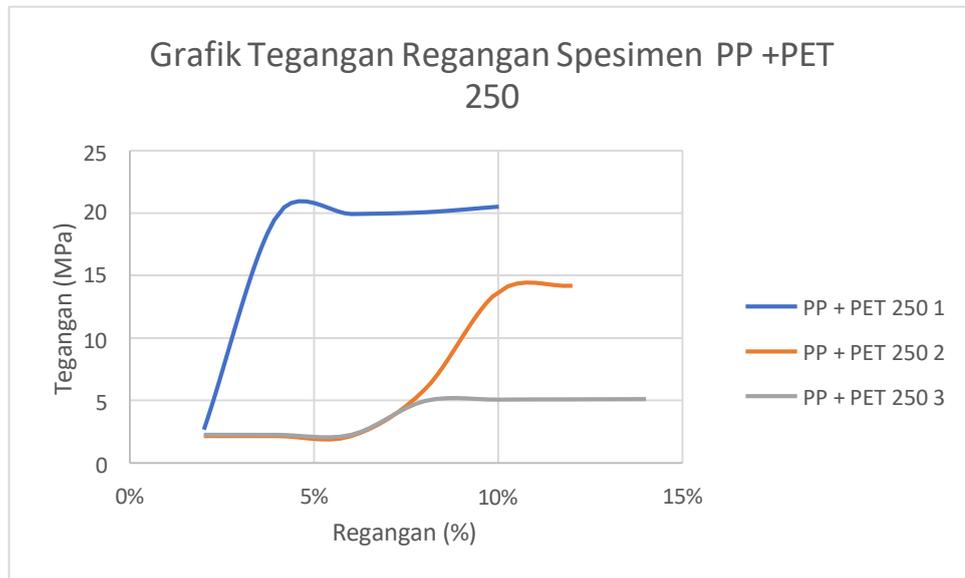
B. Gambar Grafik Tegangan Regangan Pengujian Tarik Plastik (PET)



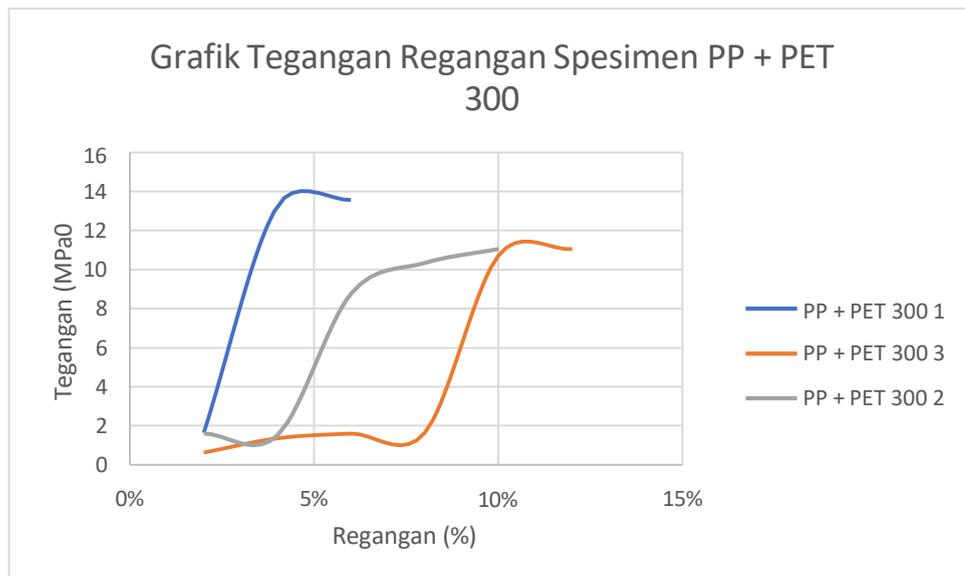
C. Gambar Grafik Tegangan Regangan Pengujian Tarik Plastik Polypropylen (PP)



D. Gambar Grafik Tegangan Regangan Pengujian Tarik Plastik Polypropylen (PP)



E. Gambar Grafik Tegangan Regangan Pengujian Tarik Plastik Polypropylen (PP)



F. PERHITUNGAN

1. Perhitungan Spesimen Uji Tarik Plastik *Polypropylen* (PP) Murni

- Menghitung Luas Penampang

A = Luas penampang spesimen

$$A = \text{Tebal} \times \text{Lebar}$$

$$A = 3 \times 10$$

$$A = 30 \text{ mm}^2 = 30 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Menghitung Tegangan Tarik

- Spesimen 1

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{432.7 \text{ (N)}}{30 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = 14786666.66 \text{ Pa} = 14.42 \text{ MPa}$$

- Spesimen 2

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{443.6 \text{ (N)}}{30 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = 14786666.6 \text{ Pa} = 14.79 \text{ MPa}$$

- Spesimen 3

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{491 \text{ (N)}}{30 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = 16366666.6 \text{ Pa} = 16.37 \text{ MPa}$$

- Menghitung Regangan

- Spesimen 1

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{57 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.14 = 14\%$$

- Spesimen 2

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{56 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.12 = 12\%$$

- Spesimen 3

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$\epsilon = \frac{55 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.10 = 10\%$$

- Menghitung Modulus Elastisitas

- Spesimen 1

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{14.42}{0.14}$$

$$E = 103 \text{ MPa}$$

- Spesimen 2

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{14.79}{0.12}$$

$$E = 123.25 \text{ MPa}$$

- Spesimen 3

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{16.37}{0.10}$$

$$E = 129.97 \text{ MPa}$$

2. Perhitungan Spesimen Uji Tarik Plastik *Polyetylen* (PET) Murni

- Menghitung Luas Penampang

A = Luas penampang spesimen

A = Tebal × Lebar

A = 3 × 10

A = 30 mm² = 30 × 10⁻⁶ m²

- Menghitung Tegangan Tarik

- Spesimen 1

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{629.6 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 20986666.6 Pa = 20.99 MPa$$

➤ Spesimen 2

$$\sigma = \frac{\text{beban} (N)}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{350.5 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 11683333.3 Pa = 11.68 MPa$$

➤ Spesimen 3

$$\sigma = \frac{\text{beban} (N)}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{214.7 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 7156666.6 Pa = 7.16 MPa$$

• Menghitung Regangan

➤ Spesimen 1

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{54 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.08 = 8\%$$

➤ Spesimen 2

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{56 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.12 = 12\%$$

➤ Spesimen 3

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{57 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.14 = 14\%$$

• Menghitung Modulus Elastisitas

➤ Spesimen 1

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{20.99}{0.08}$$

$$E = 95.63 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 2

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{11.68}{0.12}$$

$$E = 97.33 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 3

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{7.16}{0.14}$$

$$E = 51.14 \text{ MPa}$$

3. Pehitungan Plastik Polypropylen (PP) dan Polyetylen (PET) suhu 200°C

• Menghitung Luas Penampang

A = Luas penampang spesimen

A = Tebal × Lebar

A = 3 × 10

A = 30 mm² = 30 × 10⁻⁶ m²

• Menghitung Tegangan Tarik

➤ Spesimen 1

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{340.6 (N)}{30 \times 10^{-6}(m^2)}$$

$$\sigma = 11353333.3 \text{ Pa} = 11.35 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 2

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{639.9 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 21330000 Pa = 21.33 MPa$$

➤ Spesimen 3

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{136(N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 4533333,3 Pa = 4.53 MPa$$

• Menghitung Regangan

➤ Spesimen 1

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{53 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.06 = 6\%$$

➤ Spesimen 2

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{55 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.10 = 10\%$$

➤ Spesimen 3

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{56 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.12 = 12\%$$

• Menghitung Modulus Elastisitas

➤ Spesimen 1

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{21.33}{0.12}$$

$$E = 177.75 MPa$$

➤ Spesimen 2

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{11.35}{0.10}$$

$$E = 113.5 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 3

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{4.53}{0.06}$$

$$E = 75.5 \text{ MPa}$$

4. Pehitungan Plastik Polypropylen (PP) dan Polyetylen (PET) suhu 250°C

• Menghitung Luas Penampang

A = Luas penampang spesimen

A = Tebal × Lebar

$$A = 3 \times 10$$

$$A = 30 \text{ mm}^2 = 30 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

• Menghitung Tegangan Tarik

➤ Spesimen 1

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{616.4 \text{ (N)}}{30 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = 20546666.6 \text{ Pa} = 20.55 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 2

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = \frac{426.1 \text{ (N)}}{30 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$\sigma = 14203333.3 \text{ Pa} = 14.20 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 3

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{153.5(N)}{30 \times 10^{-6}(m^2)}$$

$$\sigma = 5.1166666 Pa = 5.12 MPa$$

- Menghitung Regangan

- Spesimen 1

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{55 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.10 = 10\%$$

- Spesimen 2

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{56 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.12 = 12\%$$

- Spesimen 3

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{57 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.14 = 14\%$$

- Menghitung Modulus Elastisitas

- Spesimen 1

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{5.12}{0.10}$$

$$E = 51.2 MPa$$

- Spesimen 2

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{14.20}{0.12}$$

$$E = 118.33 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 3

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{20.55}{0.14}$$

$$E = 146.79 \text{ MPa}$$

5. Pehirungan Plastik Polypropylen (PP) dan Polyetylen (PET) suhu 300°C

- Menghitung Luas Penampang

A = Luas penampang spesimen

A = Tebal × Lebar

$$A = 3 \times 10$$

$$A = 30 \text{ mm}^2 = 30 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

- Menghitung Tegangan Tarik

➤ Spesimen 1

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{407.4 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 13580000 \text{ Pa} = 13.58 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 2

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{332.7 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 11090000 \text{ Pa} = 11.09 \text{ MPa}$$

➤ Spesimen 3

$$\sigma = \frac{\text{beban (N)}}{A (m^2)}$$

$$\sigma = \frac{321.9 (N)}{30 \times 10^{-6} (m^2)}$$

$$\sigma = 10730000 \text{ Pa} = 10.73 \text{ MPa}$$

- Menghitung Regangan

- Spesimen 1

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{53 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.6 = 6\%$$

- Spesimen 2

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{55 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.10 = 10\%$$

- Spesimen 3

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

$$\epsilon = \frac{56 - 50}{50}$$

$$\epsilon = 0.12 = 12\%$$

- Menghitung Modulus Elastisitas

- Spesimen 1

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{13.58}{0.06}$$

$$E = 205.4 \text{ MPa}$$

- Spesimen 2

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{11.09}{0.10}$$

$$E = 118.33 \text{ MPa}$$

- Spesimen 3

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$$E = \frac{11.06}{0.12}$$
$$E = 94.92 \text{ MPa}$$

G. Gambar Pembuatan Produk Palu



