

TUGAS AKHIR

**ANALISA PENGARUH SUHU TEKAN PANAS TERHADAP SIFAT FISIS
DAN MEKANIK PADA SAMPAH PLASTIK DAUR ULANG**



OLEH :

RAJU MASRA
15.331.0181

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2022

HALAMAN PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

**ANALISA PENGARUH SUHU TEKAN PANAS TERHADAP
SIFAT FISIS DAN MEKANIK PADA SAMPAH PLASTIK
DAUR ULANG**

Disusun Oleh :

RAJU MASRA
NPM : 153310181

Disetujui Oleh :



JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., Ph.D
Dosen Pembimbing

Tanggal : 11 Agustus 2022

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**ANALISA PENGARUH SUHU TEKAN PANAS TERHADAP
SIFAT FISIS DAN MEKANIK PADA SAMPAH PLASTIK
DAUR ULANG**

Disusun Oleh :

RAJU MASRA
NPM : 153310181

Disetujui :

PEMBIMBING

JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., Ph.D
NIDN : 1009038504

PENGUJI I

PENGUJI II

Dr. Kurnia Hastuti, S.T., M.T
NIDN: 1008057102

Ir. Irwan Anwar, M.T
NIDN : 0027075901

Disahkan Oleh :

KETUA PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JHONNI RAHMAN, B.Eng., M.Eng., Ph.D
NIDN : 1009038504

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Raju Masra

NPM : 153310181

Fakultas/ Prodi : Teknik/ Teknik Mesin

Judul Skripsi/ TA : Analisa Pengaruh Suhu Tekan Panas Terhadap Sifat Fisis dan Mekanik Pada Sampah Plastik Daur Ulang

Menyatakan dengan sebenarnya, bahwa penulisan Skripsi/ Tugas Akhir ini adalah hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli dari karya tulis saya sendiri, baik dari naskah laporan maupun data-data yang tercantum sebagai bahan dari Skripsi/ Tugas Akhir ini. Jika terdapat karya tulis milik orang lain saya akan mencantumkan sumber dengan jelas di Daftar Pustaka.

Surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan serta tidak ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Universitas Islam Riau.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan kondisi sehat serta tanpa paksaan dari pihak manapun.

Pekanbaru, 19 Agustus 2022



Raju Masra
NPM: 153310181

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum, Wr. Wb.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, karunia dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal tugas sarjana ini. Adapun tujuan penulisan proposal skripsi ini adalah untuk memenuhi persyaratan guna mencapai tugas akhir/skripsi teknik di Prodi Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau.

Dibalik keberhasilan penulias dalam menyusun proposal skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka sudah sepantasnya penulis mengucapkan terima kasih yang sangat mendalam kepada semua pihak yang telah berpartisipasi dalam penelitian dan penulisan proposal skripsi ini khususnya kepada :

1. Kedua Orang tua tercinta yakni Bapak dan Ibu yang telah memberikan motivasi, semangat, dan dukungan kepada penulis, baik dukungan secara moril maupun materil.
2. Bapak Jhonni Rahman,. B.Eng. M.Eng,. PhD selaku Dosen Pembimbing Proposal Skripsi dan selaku Ketua Prodi Teknik Mesin Universitas Islam Riau yang telah membantu dan membimbing dalam penyusunan proposal skripsi.
3. Kepada seluruh dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah menuangkan ilmunya kepada saya.

4. Maharani Ayunda Ika Putri yang telah mensupport penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Rekan - rekan seperjuangan yang telah membantu memberikan dorongan moral dalam pembuatan proposal tugas sarjana.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih yang tidak terhingga kepada semua pihak yang berperan dalam penyelesaian proposal skripsi. Semoga proposal skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi penulis dan pembaca untuk menambah ilmu pengetahuan dan wawasan.

Pekanbaru, 10 Maret 2022

Penulis,

ANALISA PENGARUH SUHU TEKAN PANAS TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK PADA SAMPAH PLASTIK DAUR ULANG

Raju Masra, Jhonni Rahman

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Riau
Jl.Kaharuddin Nasution Km 11 No.113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru
Telp. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834
Email : rajumasra@student.uir.ac.id

ABSTRAK

Sampah plastik merupakan masalah yang sangat banyak terdapat di daerah perkotaan. Salah satu langkah terbaik untuk mengurangi sampah yaitu *reuse* (menggunakan kembali) dan *recycle* (mendaur ulang). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *hot press* terhadap sifat fisis dan sifat mekanik pada sampah plastik dicetak menjadi produk. Pada penelitian ini, bahan yang didaur ulang yaitu plastik HDPE diberikan variasi suhu 100°C, 120°C, 140°C dengan tekanan 5,2 Mpa dari mesin *hot press* dan ditahan selama 1 jam. Hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa banyaknya pori-pori atau rongga pada suhu 100°C dan 120°C, sedangkan pada suhu 140°C hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa sedikit pori-pori atau rongga. Hasil uji bending tertinggi pada sampel 3 yaitu suhu 140°C sebesar 36,23 Mpa, sedangkan nilai bending terendah berada pada sampel 1 yaitu suhu 100°C sebesar 16,62 Mpa. Hal ini disebabkan karena. Adanya hubungan antara suhu dengan nilai *bending*, dimana peningkatan terjadi secara linier karena semakin tinggi suhu tekan panas yang diberikan meningkatkan nilai kekuatan *bending*. harga *impact* tertinggi sebesar 0,4209 J/mm² pada suhu tekan panas 100°C, sedangkan harga *impact* terendah pada suhu tekan panas 140°C yaitu 0,2941 J/mm². Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu dan tekanan injeksi pada saat proses produksi, maka semakin meningkatkan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik tersebut. Sehingga semakin tinggi harga *impact* akan semakin mudah patah (getas) dan sebaliknya semakin rendah harga *impact* akan semakin ulet produk daur ulang plastic HDPE.

Kata kunci : Plastik HDPE, Suhu *Hot Press*, *Bending Strength*, *Impact*

ANALYSIS OF THE EFFECT OF HEAT COMPRESSING TEMPERATURE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES IN RECYCLED PLASTIC WASTE

Raju Masra, Jhonni Rahman

Mechanical Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Islamic
University of Riau

Jl. Kaharuddin Nasution Km 11 No. 113 Perhentian Marpoyan, Pekanbaru

Tel. 0761 – 674635 Fax. (0761) 674834

Email : rajumasra@student.uir.ac.id

ABSTRACT

Plastic waste is a very common problem in urban areas. One of the best steps to reduce waste is to reuse and recycle. This study aims to determine the effect of hot press temperature on physical and mechanical properties of plastic waste molded into products. In this study, the recycled material, namely HDPE plastic, was given a temperature variation of 100°C, 120°C, 140°C with a pressure of 5.2 Mpa from a hot press machine and held for 1 hour. The results of microscopic observations show that there are many pores or cavities at temperatures of 100°C and 120°C, while at a temperature of 140°C, microscopic observations show that there are few pores or cavities. The highest bending test results in sample 3, which is a temperature of 140°C at 36.23 Mpa, while the lowest bending value is in sample 1, which is a temperature of 100°C at 16.62 Mpa. This is caused by. There is a relationship between temperature and bending value, where the increase occurs linearly because the higher the heat press temperature given increases the bending strength value. the highest impact price is 0.4209 J/mm² at a hot press temperature of 100°C, while the lowest impact price at a hot press temperature of 140°C is 0.2941 J/mm². This is because the higher the injection temperature and pressure during the production process, the more amorphous atoms are formed in the plastic material. So that the higher the impact price, the easier it will be to break (brittle) and conversely, the lower the impact price, the more resilient HDPE plastic recycling products will be.

Keywords : HDPE Plastic, Hot Press Temperature, Bending Strength, Impact

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| KATA PENGANTAR | i |
| ABSTRAK | iii |
| DAFTAR ISI | v |
| DARTAR TABEL | viii |
| DAFTAR GAMBAR | ix |
| DAFTAR NOTASI | xi |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Plastik | 7 |
| 2.1.1 Jenis-jenis Plastik | 8 |
| 2.1.1.1 Polimer <i>Thermoplastik</i> | 8 |
| 2.1.1.2 Polimer <i>Thermosetting</i> | 17 |
| 2.2 <i>Thermoforming</i> | 18 |
| 2.2.1 <i>Vacuum Forming</i> | 18 |
| 2.2.2 <i>Pressure Forming</i> | 19 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2.1 Prinsip Kerja Mesin <i>Compression Molding</i> . | 20 |
| 2.2.2.2 Bagian – Bagian Mesin <i>Compression Molding</i> | 22 |
| 2.3 Sifa Fisis Material | 23 |
| 2.3.1 Kerapatan (<i>Density</i>) | 23 |
| 2.3.2 Kadar Air (<i>Maisture Content</i>) | 24 |
| 2.3.3 Pengembangan Tebal (<i>Thickness Swelling</i>) | 24 |
| 2.3.4 Pengujian Struktur Mikro | 25 |
| 2.4 Sifat Mekanik Material | 27 |
| 2.4.1 Pengujian Ketangguhan (<i>Impact</i>) | 28 |
| 2.4.2 Pengujian Bending (<i>Fleksural</i>) | 29 |
| BAB III METODE PENELITIAN | |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 31 |
| 3.2 Alat Penelitian | 33 |
| 3.3 Bahan Penelitian | 35 |
| 3.4 Prosedur Penelitian..... | 36 |
| 3.4.1 Perhitungan Volume Komposit (V_k) | 36 |
| 3.4.2 Proses <i>Hot Press</i> | 36 |
| 3.5 Pengujian Bending (<i>Fleksural Test</i>) | 37 |
| 3.6 Pengujian <i>Impact Charpy</i> | 38 |
| 3.7 Pengujian Struktur Mikro | 40 |
| 3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian | 42 |

BAB IV HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian 43

4.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro 44

4.3 Hasil Uji Bending (Fleksural) 46

4.4 Hasil Uji Impact 48

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 51

5.2 Saran..... 52

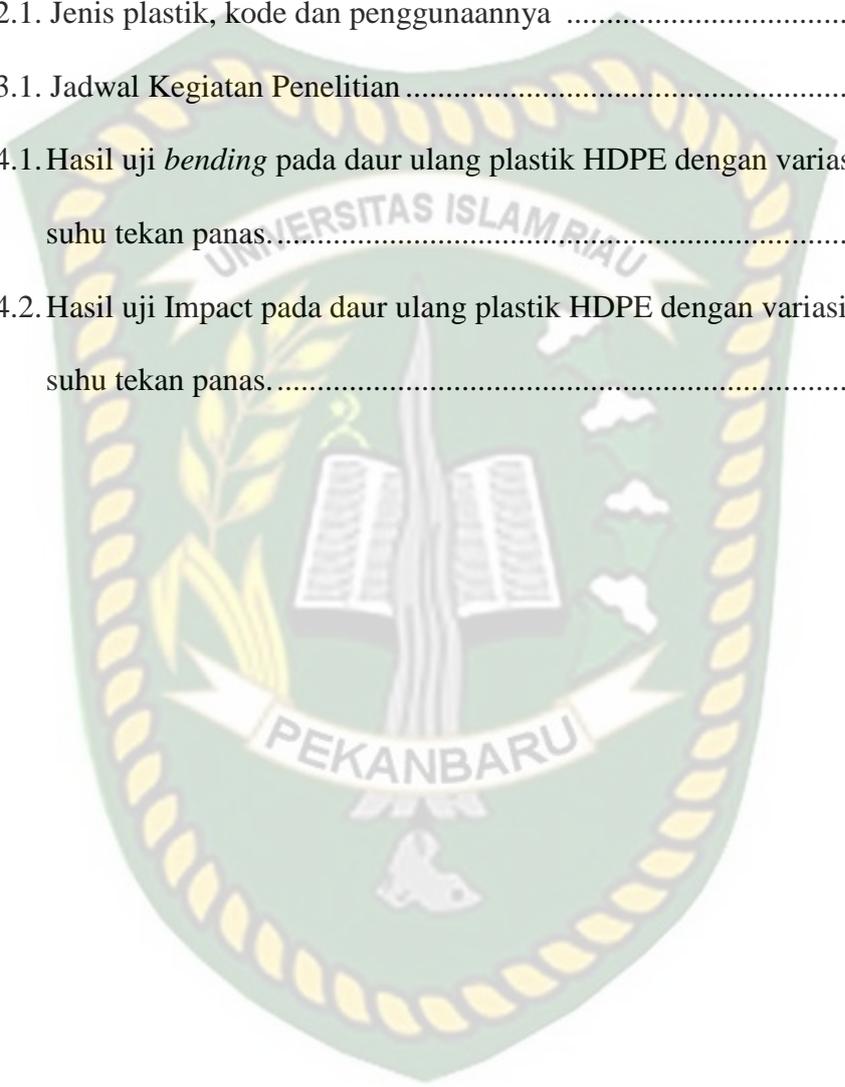
DAFTAR PUSTAKA..... 53

LAMPIRAN..... 55



DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|----------------|
| Tabel 2.1. Jenis plastik, kode dan penggunaannya | 16 |
| Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian | 42 |
| Tabel 4.1. Hasil uji <i>bending</i> pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas..... | 46 |
| Tabel 4.2. Hasil uji Impact pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas..... | 48 |



DAFTAR GAMBAR

| Gambar | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Nomor kode plastik..... | 8 |
| 2.2 Kemasan Plastik PETE | 9 |
| 2.3 Kemasan Plastik HDPE | 10 |
| 2.4 Kemasan Plastik PVC..... | 11 |
| 2.5 Kemasan Plastik LDPE | 12 |
| 2.6 Kemasan Plastik PP | 13 |
| 2.7 Kemasan Plastik PS..... | 14 |
| 2.8 Kemasan Plastik <i>Other</i> | 15 |
| 2.9 <i>Pressure Forming Process</i> | 20 |
| 2.10 Prinsip <i>Compression Molding</i> | 22 |
| 2.11 <i>Microscope</i> | 27 |
| 2.12 Pengujian Impact | 29 |
| 2.13 Dimensi <i>Beam</i> Sederhana, Tipe <i>Charpy</i> | 30 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 31 |
| 3.2 Mesin <i>Hot Press</i> | 33 |
| 3.3 Jangka Sorong | 34 |
| 3.4 Timbangan Digital | 34 |
| 3.5 <i>Stopwatch</i> | 34 |
| 3.6 <i>Moulding</i> | 35 |
| 3.7 Plastik HDPE | 35 |
| 3.8 Ukuran Spesimen Uji Bending Standar ASTM-D 790..... | 38 |
| 3.9 Ukuran Spesimen Uji Impact Standar ASTM-D 6110-02..... | 39 |
| 3.10 Alat Uji Impak..... | 40 |
| 3.11 Alat Pengujian <i>Microscope Merk Olympus BX53M</i> | 41 |
| 4.1 Hasil variasi suhu tekan panas pada plastik HDPE..... | 43 |
| 4.2 Suhu tekan panas 100°C pada daur ulang plastik HDPE..... | 44 |
| 4.3 Suhu tekan panas 120°C pada daur ulang plastik HDPE | 45 |

| | | |
|-----|--|----|
| 4.4 | Suhu tekan panas 140°C pada daur ulang plastik HDPE..... | 45 |
| 4.5 | Hasil uji <i>bending</i> pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas..... | 47 |
| 4.6 | Hasil uji <i>bending</i> pada daur ulang plastik HDPE..... | 48 |
| 4.7 | Hasil uji <i>impact</i> pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas..... | 49 |
| 4.8 | Hasil uji <i>Impact (Charpy)</i> pada daur ulang plastik HDPE..... | 50 |



DAFTAR NOTASI

| <u>Simbol</u> | <u>Notasi</u> | <u>Satuan</u> |
|---------------|-----------------------|----------------------|
| ρ | Massa Jenis | (g/cm ³) |
| V | Volume | (cm ³) |
| p | Panjang | (mm) |
| l | Lebar | (mm) |
| t | Tinggi | (mm) |
| w | berat | (gram) |
| A | Luas penampang | (mm ²) |
| T | Temperatur/Suhu | (°C) |
| τ_a | <i>Yield Strength</i> | (N/mm ²) |
| E | Energy | (Joule) |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah plastik merupakan masalah yang sangat banyak terdapat di daerah perkotaan. Oleh karena itu pembuangan dan pengolahan sampah perlu diatur oleh pemerintah agar masyarakat lebih disiplin dalam pembuangan dan pengolahan sampah pada tempatnya, sehingga menciptakan lingkungan yang sehat dan bersih. Saat ini rata-rata orang Indonesia menghasilkan sampah 0,5kg per-hari dan 13% diantaranya adalah plastik (Affandi, 2021). Sampah plastik menduduki peringkat ketiga dengan jumlah 3.6 ton per tahun atau 9% dari jumlah total produksi sampah. Langkah terbaik untuk mengurangi sampah yaitu *reuse* (menggunakan kembali) dan *recycle* (mendaur ulang). Namun secara umum, hasil yang didapat tidak sebanding dengan pertumbuhan penggunaan plastik yang terus meningkat dari hari ke hari.

Selain itu sampah plastik juga banyak dihasilkan dari keperluan atau kebutuhan masyarakat. Jenis sampah plastik yang disering digunakan oleh kebutuhan masyarakat yaitu plastik jenis *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High-Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* atau *Polypropene* (PP) dan *Polystyrene* (PS) (Mujiarto, 2005). Salah satu bahan plastik yang aman untuk digunakan manusia yaitu *High-Density Polyethylene* (HDPE), karena memiliki kemampuan untuk mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE dengan makanan atau minuman yang

dikemasnya dan plastik HDPE juga memiliki sifat bahan yang lebih kuat dan keras (Dantje, 2012). HDPE (*High-Density Polyethylene*) adalah salah satu tipe dan jenis plastik yang biasa dipakai pada botol susu yang berwarna putih, wadah makanan, galon air minum, botol deterjen, botol lotion, kursi lipat, dan lain-lain (Kurniawan, 2012).

Beberapa penelitian tentang adanya penambahan sampah plastik HDPE pada beton meningkatkan nilai kuat lentur sebesar 4,30 Mpa (Dantje dkk, 2012), sedangkan penelitian mengenai pengaruh variasi komposisi terhadap uji kuat tekan dan uji serapan air pada komposisi plastik HDPE dengan abu dasar batubara mendapatkan hasil uji tekannya sebesar 8,134 N/mm². Penambahan abu dasar batubara mempengaruhi nilai serapan air didapatkan yang ditambah pada campuran 40% : 30% serapan air sebesar 16,949% (Zaennal M, 2017). Serta pada penelitian dengan variasi suhu 135⁰C, 150⁰C dan 165⁰C. Nilai *shrinkage* panjang yang paling baik pada suhu 165⁰C, mencapai nilai *shrinkage* panjang 27,7 cm. Hal ini dapat dijelaskan bahwa semakin tinggi suhu pada mesin injeksi plastik semakin panjang ukuran benda kerja yang dihasilkan (Taufiqi, 2020).

Berdasarkan beberapa penelitian telah dilakukan, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh suhu *hot press* terhadap sifat fisis dan sifat mekanik pada sampah plastik dicetak menjadi produk tergantung suhu yang diberikan oleh mesin *hot press*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Bagaimana mendaur ulang sampah plastik dengan menggunakan mesin *hot press*?
2. Bagaimana pengaruh suhu tekan pada daur ulang sampah plastik terhadap sifat fisis?
3. Bagaimana pengaruh suhu tekan pada daur ulang sampah plastik terhadap sifat mekanik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui cara mendaur ulang sampah plastik dengan mesin *hot press*.
2. Untuk mendapatkan pengaruh suhu tekan pada sampah plastik daur ulang terhadap sifat fisis.
3. Untuk mendapatkan pengaruh suhu tekan pada sampah plastik daur ulang terhadap sifat mekanik.

1.4 Batasan Masalah

Untuk memenuhi arah penelitian yang baik dan lebih terfokus, ditentukan batasan masalah sebagai berikut :

1. Bahan yang akan didaur ulang adalah limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE).
2. Temperatur yang digunakan 100°C, 120°C dan 140°C.

3. Lama waktu pemanasan bersamaan dengan waktu tekan yang diberikan yaitu 1 jam
4. Tekanan yang digunakan sebesar 5,2 MPA
5. Sifat fisis di uji adalah Pengamatan Mikrostruktur
6. Sifat mekanik di uji Bending (Fleksural) dengan Standar ASTM D790 dan uji Impak *Charpy* dengan Standar ASTM D6110-04.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain :

a. Bagi penulis

Penelitian ini berguna untuk menambah wawasan dan pengetahuan mengenai analisa pengaruh suhu tekan panas terhadap sifat fisis dan mekanik pada sampah plastik daur ulang secara teoritis maupun dalam dunia nyata, serta pengaplikasian pengetahuan yang selama ini didapat selama masa perkuliahan.

b. Bagi akademik

Penelitian ini dapat memberikan masukan dan informasi yang diharapkan mampu memberikan manfaat baik dalam bidang akademik maupun dalam bidang praktisi.

c. Bagi peneliti selanjutnya

Penelitian ini berguna untuk memberikan masukan bagi peneliti selanjutnya dan menjadikan penelitian ini sebagai informasi pelengkap dalam penyusunan penelitian yang sejenis.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh gambaran secara umum tentang perancangan ini, penulis melengkapi pengiraianya sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Landasan teori terdiri dari membahas teori penunjang dari analisa mendaur ulang sampah plastik dengan mesin hot press.

BAB III : METODE PENELITIAN

Diagram alir rancangan, bahan dan alat, waktu dan tempat.

BAB IV : HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan pembahasan berisi tentang hasil analisa dan pembahasan dari pengaruh suhu tekan panas pada sampah plastik HDPE

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran berisi kesimpulan yang di dapat dari hasil penelitian dan masukan-masukan yang ingin disampaikan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik

Plastik adalah material yang mengandung satu atau lebih polimer yang memiliki berat molekul yang besar. Plastik terdiri dari beberapa jenis seperti sintetik atau semi-sintetik senyawa organik yang dapat ditempa sehingga bisa dibentuk atau dituang ke dalam objek yang padat. Melihat ke permasalahan global tentang polusi lingkungan yang disebabkan oleh sampah plastik, usaha dalam melakukan riset telah difokuskan untuk mengurangi jumlah sampah plastik dalam jumlah yang banyak dengan cara yang efisien dan ramah lingkungan.

Para ilmuwan merencanakan untuk menggunakan sampah plastik sebagai bahan dalam konstruksi bangunan. Kegunaan dari sampah plastik pada konstruksi bangunan tidak hanya akan membuat metode pembuangannya menjadi aman namun juga dapat meningkatkan *properties* seperti kekuatan tarik, ketahanan kimia, *drying shrinkage*, dan *creep* dalam basis yang pendek dan panjang. (Tapkire & Parihar, 2014) Mengapa plastik polimer memiliki beberapa sifat yang penting yang dapat memberikan kontribusi yang signifikan untuk meningkatkan *properties* dari bahan konstruksi :

- a. Tahan terhadap korosi
- b. Isolator dingin, panas yang baik
- c. Ekonomis dan memiliki *lifespan* yang panjang

- d. Tidak memerlukan *maintenance*
- e. Higienis dan bersih
- f. Pembuatan/pemasangan yang mudah
- g. Berat yang ringan

2.1.1 Jenis-jenis Plastik

Plastik dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *termosetting*. *Thermoplastic* adalah bahan plastik yang jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, akan mencair dan dapat dibentuk kembali menjadi bentuk yang diinginkan. Sedangkan *thermosetting* adalah plastik yang jika telah dibuat dalam bentuk padat, tidak dapat dicairkan kembali dengan cara dipanaskan.

2.1.1.1 Polimer Thermoplastik

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik di atas, *thermoplastik* adalah jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang. Jenis plastik yang dapat didaur ulang diberi kode berupa nomor untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya lihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Nomor kode plastik (Sumber : UNEP, 2009).

Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik tersebut, *thermoplastic* adalah jenis plastik yang memungkinkan untuk di daur ulang yang memiliki sifat-sifat khusus, sebagai berikut :

1. Berat molekul kecil
2. Tidak tahan terhadap panas
3. Jika dipanaskan akan melunak
4. Jika didinginkan akan mengeras
5. Mudah untuk diregangkan
6. Fleksibel
7. Dapat dibentuk ulang (daur ulang)
8. Mudah larut dalam pelarut yang sesuai.

Berikut dijelaskan karakteristiknya, yaitu :

1. *Polyester Thermoplastic* (PETE)



Gambar 2.2. Kemasan Plastik PETE (Rosmiati, 2020)

Jenis plastik PETE biasa ditemukan pada botol air mineral, botol soda, botol minyak sayur, dan tempat plastik lainnya yang memiliki karakter berwarna jernih/transparan/tembus pandang dan direkomendasikan hanya sekali pakai. Jenis plastik pada Gambar 2.1 mempunyai sifat karakteristik sebagai berikut :

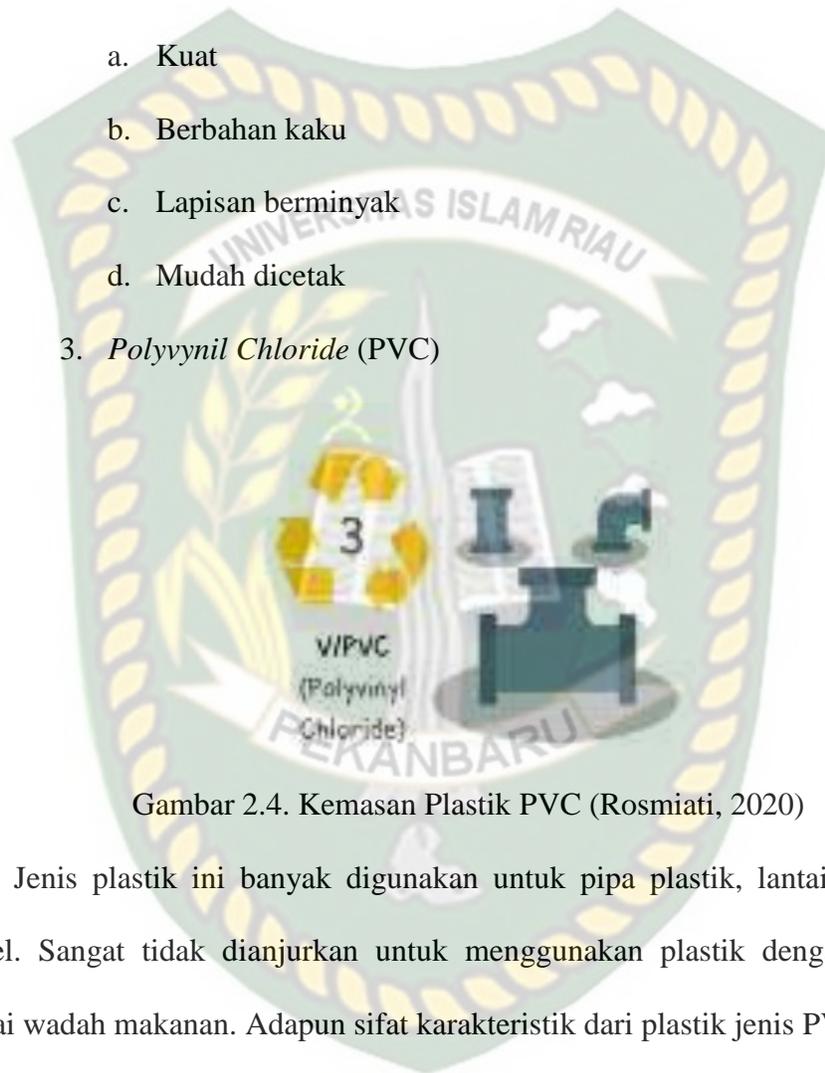
- a. Tembus pandang (transparan), bersih dan jernih
 - b. Tahan terhadap pelarut organik seperti asam-asam organik dari buah- buahan, sehingga dapat digunakan untuk mengemas minuman sari buah.
 - b. Tidak tahan terhadap asam kuat, fenol dan benzil alkohol.
 - c. Kuat dan tidak mudah sobek
 - d. Tidak mudah dikelim dengan pelarut
2. *High Density Polyethylene* (HDPE)



Gambar 2.3. Kemasan Plastik HDPE (Rosmiati, 2020)

Plastik jenis HDPE banyak digunakan untuk botol detergen, botol pemutih, botol susu yang berkemasan putih pucat, tempat mentega, tempat yoghurt, tempat shampoo, dan tempat sabun. Jenis plastik ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

- a. Kuat
 - b. Berbahan kaku
 - c. Lapisan berminyak
 - d. Mudah dicetak
3. *Polyvinil Chloride* (PVC)



Gambar 2.4. Kemasan Plastik PVC (Rosmiati, 2020)

Jenis plastik ini banyak digunakan untuk pipa plastik, lantai, dan outdoor meubel. Sangat tidak dianjurkan untuk menggunakan plastik dengan jenis PVC sebagai wadah makanan. Adapun sifat karakteristik dari plastik jenis PVC adalah :

- a. Kuat
- b. Keras
- c. Bisa jernih
- d. Bentuk dapat diubah dengan pelarut

4. *Low Density Polyethylene* (LDPE)



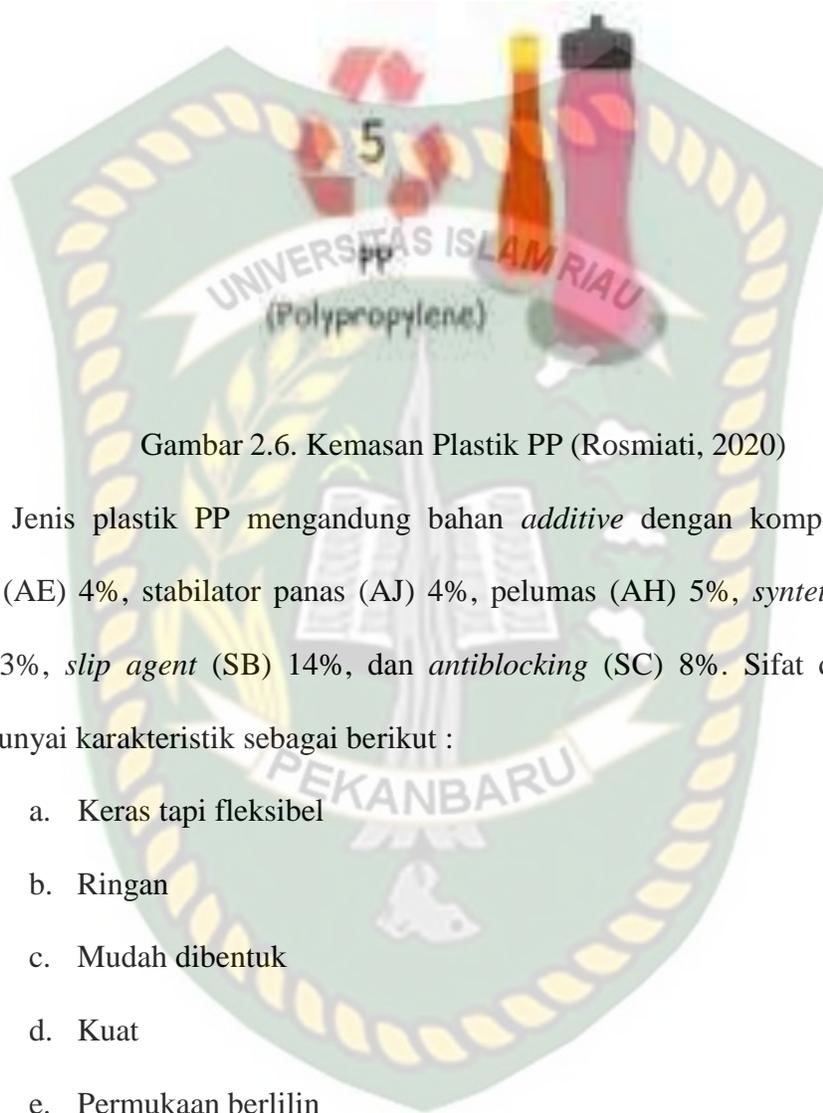
Gambar 2.5. Kemasan Plastik LDPE (Rosmiati, 2020)

Jenis plastik LDPE mengandung bahan *additive* dengan komposisi BHEB 18%, isonox 129 21%, irganox 1076 18%, dan irganox 1010 12%. Sifat dari plastik ini mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- a. Penampakkannya bervariasi dari transparan, berminyak sampai keruh tergantung proses pembuatan dan jenis resin.
- b. Lentur sehingga mudah dibentuk dan mempunyai daya rentang yang tinggi.
- c. Tahan asam, basa, alkohol, deterjen dan bahan kimia.
- d. Kedap terhadap air, uap air dan gas.
- e. Dapat digunakan untuk penyimpanan beku hingga suhu -50°C
- f. Transmisi gas tinggi sehingga tidak cocok untuk pengemasan bahan yang beraroma. Tidak sesuai untuk bahan pangan berlemak
- g. Mudah lengket sehingga sulit dalam proses laminasi, tapi

dengan bahan antiblok sifat ini dapat diperbaiki.

5. *Polypropylene* (PP)

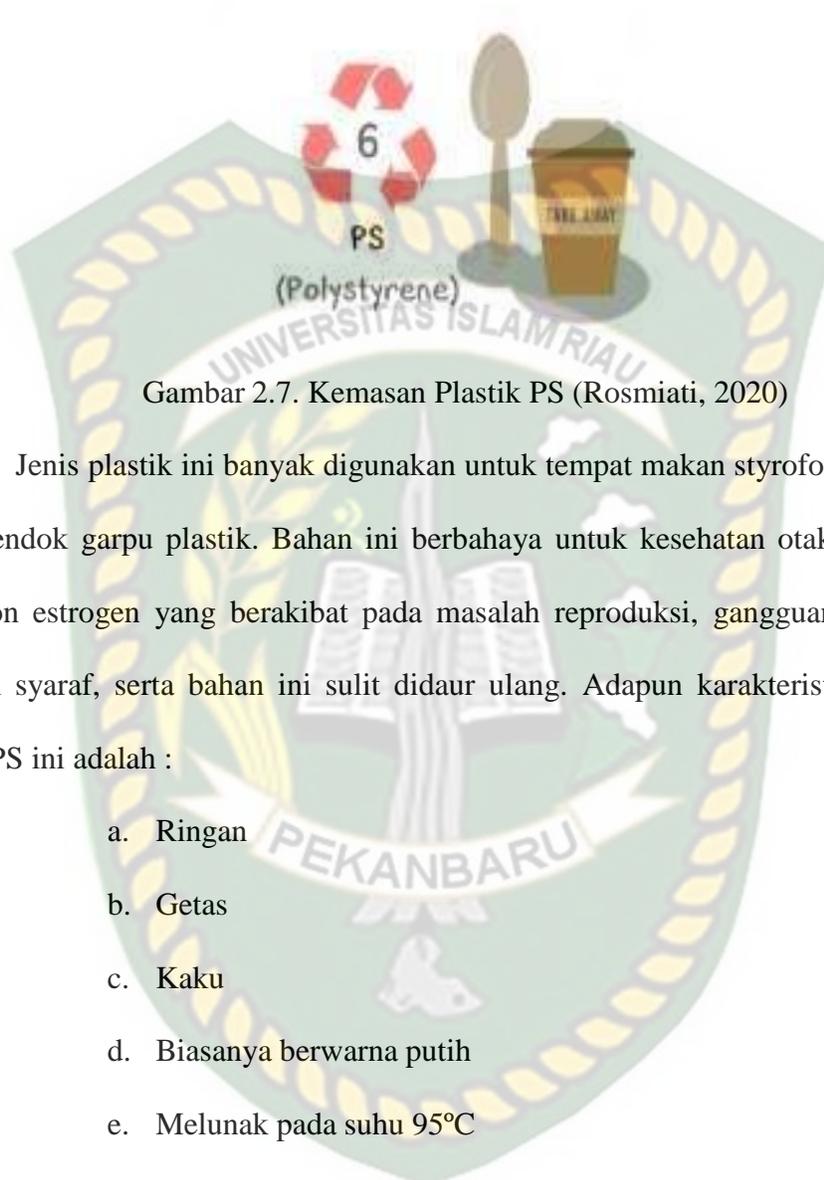


Gambar 2.6. Kemasan Plastik PP (Rosmiati, 2020)

Jenis plastik PP mengandung bahan *additive* dengan komposisi stabilator panas (AE) 4%, stabilator panas (AJ) 4%, pelumas (AH) 5%, *syntetic hydrotalcite* (HD) 3%, *slip agent* (SB) 14%, dan *antiblocking* (SC) 8%. Sifat dari plastik ini mempunyai karakteristik sebagai berikut :

- a. Keras tapi fleksibel
- b. Ringan
- c. Mudah dibentuk
- d. Kuat
- e. Permukaan berkilin
- f. Tahan terhadap bahan kimia dan minyak

6. *Polystyrene* (PS)



Gambar 2.7. Kemasan Plastik PS (Rosmiati, 2020)

Jenis plastik ini banyak digunakan untuk tempat makan styrofoam, *coffee cup*, dan sendok garpu plastik. Bahan ini berbahaya untuk kesehatan otak, mengganggu hormon estrogen yang berakibat pada masalah reproduksi, gangguan pertumbuhan sistem syaraf, serta bahan ini sulit didaur ulang. Adapun karakteristik dari plastik jenis PS ini adalah :

- a. Ringan
- b. Getas
- c. Kaku
- d. Biasanya berwarna putih
- e. Melunak pada suhu 95°C
- f. Baik untuk kemasan bahan segar
- g. Permukaan licin, jernih dan mengkilap serta mudah dicetak
- h. Bila kontak dengan pelarut akan keruh
- i. Mudah menyerap pемlastis, jika ditempatkan bersama-sama

dengan plastik lain menyebabkan penyimpangan warna

- j. Baik untuk bahan dasar laminasi dengan logam (aluminium)

7. *Other*



Gambar 2.8. Kemasan Plastik *Other* (Rosmiati, 2020)

Jenis plastik yang tergolong dalam OTHER adalah SAN (*Styrene acrylonitrile*), ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*), PC (*poly carbonate*), dan Nylon. Jenis plastik OTHER banyak ditemui pada CD, alat-alat rumah tangga, dan alat-alat elektronik. Plastik jenis ini memiliki sifat karakteristik sebagai berikut :

- a. Keras
- b. Tahan panas
- c. Tidak mudah pecah

Dalam usaha mengelola limbah atau sampah secara baik, ada beberapa pendekatan teknologi, diantaranya penanganan pendahuluan. Penanganan pendahuluan umumnya dilakukan untuk memperoleh hasil pengolahan atau daur ulang yang lebih baik dan memudahkan penanganan yang akan dilakukan.

Penanganan pendahuluan yang umum dilakukan saat ini adalah pengelompokan limbah sesuai jenisnya, pengurangan volume dan pengurangan ukuran. Usaha penanganan pendahuluan ini dilakukan dengan tujuan memudahkan dan mengefektifkan pengolahan sampah selanjutnya, termasuk upaya daur ulang.

Tabel 2.1. Jenis plastik, kode dan penggunaannya (Kurniawan, 2012).

| No. Kode | Jenis Plastik | Penggunaan |
|----------|---|---|
| 1 | PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>) | Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sampat, botol obat, dan botol kosmetik. |
| 2 | HDPE (<i>High-Density Polyethylene</i>) | Botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas dan botol kosmetik. |
| 3 | PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>) | Pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo dan botol sambal. |
| 4 | LDPE (<i>Low-Density Polyethylene</i>) | Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku dan berbagai macam plastik tipis lainnya. |
| 5 | PP (<i>Polypropylene</i> atau <i>Polypropene</i>) | Cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak dan margarine |
| 6 | PS (<i>Polystyrene</i>) | Kotak CD, sendok dan garpu dari plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam dan tempat makan plastik transparan. |
| 7 | Other (O), jenis plastik lainnya selain dari no. 1 hingga 6 | Botol susu bayi, plastik kemasan, galon air minum, suku cadang mobil dan alat-alat rumah tangga |

Respon dari polimer terhadap gaya mekanik pada temperatur yang tinggi memiliki hubungan dengan struktur dominan dari polimer tersebut. Berdasarkan perilaku polimer pada temperatur tinggi, polimer diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu *thermoplastic* dan *thermoset*. Pada *thermoplastic* polimer, ketika dipanaskan akan melunak dan ketika didinginkan akan mengeras. Proses nya dapat dibalik dan dapat diulang.

Pada temperatur yang tinggi gaya ikatan sekunder pada polimer melemah dan pergerakan molekul meningkat. Polimer jenis *thermoplastic* cenderung lunak. Berdasarkan struktur molekul nya polimer linear dan beberapa *branched polymer* yang memiliki rantai yang flexibel termasuk ke dalam kategori *thermoplastic*. Beberapa contoh *thermoplastic* yang sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari adalah *polyethylene*, PET, dan PVC. (Callister, 2007).

2.1.1.2 Polimer *Thermosetting*

Polimer *thermosetting* adalah jenis dari polimer yang ketika dipanaskan tidak melunak. Polimer jenis ini mengeras secara permanen pada pembentukannya. Berdasarkan struktur molekulnya polimer *thermosetting* adalah *network polymer* yang memiliki *mechanical* dan *thermal properties* yang spesifik.

Pada saat perlakuan panas, ikatan pada rantai polimer *thermoset* akan menguatkan diri satu sama lain pada rantainya untuk menahan pergerakan vibrasi dan rotasi. Maka dari itu, polimer *thermosetting* dapat tetap stabil dan tidak melunak meskipun dihadapkan pada temperatur yang tinggi. Namun pada temperatur yang

berlebihan polimer thermosetting akan berubah bentuk dan terdegradasi. Polimer jenis ini lebih keras dan lebih kuat dibandingkan dengan polimer thermoplastik. Beberapa contoh polimer thermosetting adalah *vulcanized rubbers*, *epoxies*, dan polyester resin (Callister, 2007).

2.2 *Thermoforming*

Thermoforming adalah proses pembentukan dimana lembaran plastik yang setelah mengalami proses pemanasan, plastik ini berubah strukturnya menjadi lunak dan lentur, yang kemudian dikenai proses *pressure* atau *vacuum*, yang sesuai dengan bentuk cetakannya (Crawford, 1998). Karena ketersediaan material plastik yang banyak maka proses *thermoforming* masih banyak digunakan sampai pada tahun 2007 ini. Selain itu faktor pengemasan adalah salah satu yang menentukan suatu produk laku di pasaran. Sehingga dapat disimpulkan bahwa keuntungan yang besar dapat dicapai dengan proses ini. Produk – produk yang termasuk dalam proses *thermoforming* adalah jendela pesawat terbang yang dapat dibuka, *refrigerator liners*, bak mandi, saklar, bumper mobil, bodi sepeda motor, dan lain – lain. Pada dasarnya *thermoforming* ini mempunyai mempunyai dua bagian besar, yaitu *vacuum forming* dan *pressure forming*.

2.2.1 *Vacuum Forming*

Vacuum forming adalah proses dimana lembaran *thermoplastic* diletakkan di atas cetakan, yang kemudian dipanaskan sampai kondisinya menjadi lunak, yang

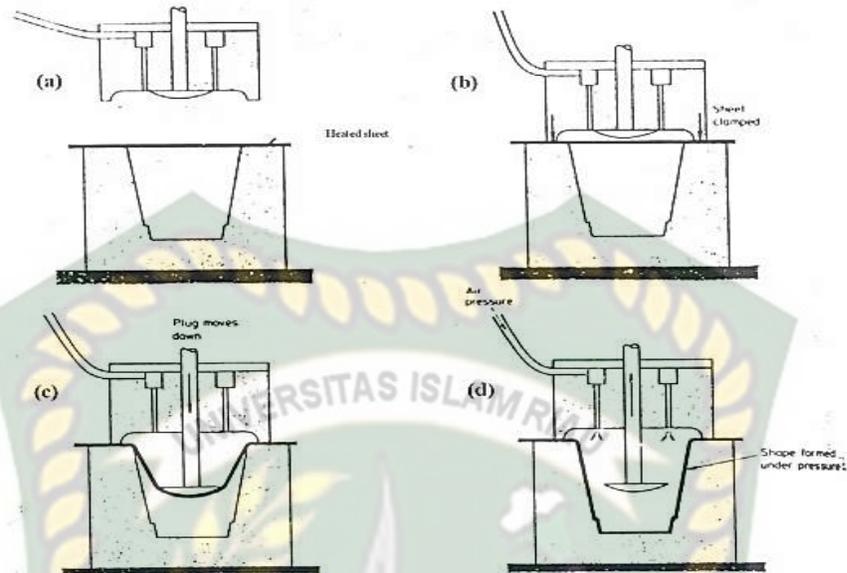
kemudian di *vacuum* sehingga plastik tadi terbentuk sesuai yang diinginkan (Crawford, 1998).

2.2.2. *Pressure Forming*

Pressure forming adalah proses dimana lembaran plastik yang dipanaskan pada cetakan, kemudian diberikan tekanan pada bagian atas lembaran plastik yang dipanaskan (Crawford, 1998). Keuntungan dari proses ini adalah dengan tekanan yang tinggi dapat dengan mudah untuk membentuk lembaran plastik, dengan cara kerja *pressure forming* ini, juga dapat digunakan untuk proses pembentukan yang lain.

1. Sistem *pressure forming* diilustrasikan pada gambar 2.1.
 - a. Pada gambar tersebut dimulai dengan meletakkan plastik di atas cetakan (gambar a).
 - b. Kemudian plastik itu dijepit dengan *frame* bagian atas (gambar b).
 - c. Setelah dijepit, plug tersebut bergerak turun, menekan plastik (gambar c), plug ini juga berfungsi sama seperti *vacuum forming*, yaitu untuk mengukur kedalaman cetakan.
 - d. Pada tahap akhir, pada kondisi plug yang sama seperti gambar c, juga dihembuskan air pressure dari *frame* bagian atas, sehingga lembaran plastik tersebut menempel pada cetakan dan terbentuk sesuai cetakan.

Pada saat ini *pressure forming* dapat digunakan sebagai alternatif untuk *injection moulding* seperti *machine housings*.



Gambar 2.9. *Pressure Forming Process*

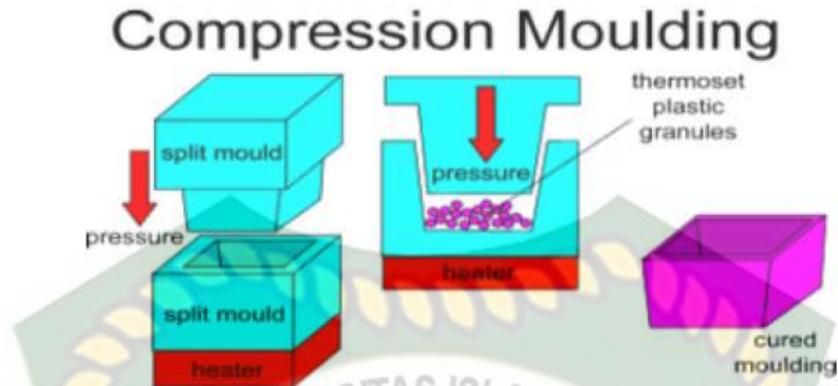
(Sumber : Gruenwald, 1998)

2.2.2.1 Prinsip Kerja Mesin *Compression Molding*

Pada prinsipnya, sebuah mesin *compression molding* merupakan jenis pencetakan dengan tekanan yang orientasinya bekerja secara vertikal terhadap dua bagian cetakan (bagian atas dan bawah). Secara umum, mekanisme hidrolis digunakan pada saat mengaplikasikan tekanan pada mesin *compression molding*. Parameter kontrol sangat dibutuhkan pada metode *compression molding* untuk memperoleh hasil akhir dari sebuah produk yang memiliki sifat-sifat propertis unggul, parameter tersebut dapat dilihat pada gambar 2.10 tiga parameter tersebut (pressure, temperature, dan waktu) merupakan bagian yang sangat penting karena tiap-tiap dari parameter tersebut memberikan dampak yang signifikan terhadap hasil

akhir sebuah produk (Davis dkk, 2003). Dampak dari tiap-tiap paramater jika tidak sesuai adalah sebagai berikut:

1. *Pressure* Jika pada saat pemberian tekanan tidak mencapai batas ketentuan, akan berdampak buruk terhadap adesi permukaan dari fiber dan matrik itu sendiri. Sedangkan jika tekanan yang diberikan terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada material yang digunakan.
2. *Temperature* yang berlebih saat proses kompresi, akan memberikan perubahan pada sifat properties material yang digunakan termasuk penyusun material sebuah komposit (fiber dan matrix). Sedangkan jika temperature terlalu rendah dari pada sifat propertis materialnya, maka fiber dari penyusun sebuah komposit tidak melakukan ikatan silang secara sempurna.
3. Waktu disesuaikan terhadap parameter pressure dan temperature, ketidaksesuaian faktor waktu berperan terhadap faktor yang menyebabkan temperatur dan pressure (terlalu tinggi atau rendah). Selain faktor parameter kontrol, faktor manufaktur juga berperan penting terhadap hasil akhir proses produksi *compression molding* seperti dinding permukaan pemanas cetakan, kesesuaian penutup antara dua plat mold, dan waktu de-molding. Raw material yang umum digunakan pada fabrikasi *composite* menggunakan proses *compression molding*.



Gambar 2.10. Prinsip *Compression Moulding*

(Sumber : Anis, 2017)

2.2.2.2 Bagian-bagian dari Mesin *Compression Moulding*

1. Cetakan (*Mold*)

Pada desain, analisis perhitungan lebih ditekankan pada perhitungan *mold*. *Mold* terdiri dari *heater*, beberapa pelat, dan 2 buah pilar sebagai guide untuk mekanisme gerak. *Mold* ditopang oleh rangka yang terbuat dari baja UNP. Analisis perhitungan desain mesin *compression moulding* juga terpaku pada kekuatan rangka tersebut.

2. Rangka

Rangka terdiri dari baja UNP yang dipotong sesuai dengan ukuran, lalu disatukan dengan baut.

3. Dongkrak Ulir

Dongkrak Ulir adalah sebuah alat angkat sederhana. Pengangkatan bebannya dengan menggunakan ulir sebagai transmisi gerakan daripada mangkuk (*cup*) dongkrak pada proses pengangkatan beban.

4. Box Panel

Box panel sebagai tempat penyimpanan peralatan otomasi dan sebagai tempat untuk menyimpan *thermocontrol*, yang dimana posisi box panel tersebut ergonomis dan memudahkan operator untuk memantau suhu dari cetakan.

2.3 Sifat Fisis Material

Sifat fisis material adalah kelakuan atau sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti kerapatan, kadar air dan pengembangan tebal yang lebih mengarah pada struktur material. Sifat fisis dari papan komposit adalah sebagai berikut:

2.3.1 Kerapatan (*Density*)

Kerapatan merupakan salah satu sifat fisis dari papan komposit yang didefinisikan sebagai massa per satuan volume material, bertambah secara teratur dengan meningkatnya nomor atomik pada setiap sub kelompok. Kerapatan dapat ditentukan dengan metode “pencelupan” biasa, tetapi untuk keperluan pembelajaran diperkenalkan penggunaan metode sinar-X. kerapatan bergantung pada massa atom, ukuran serta cara penumpukannya (Smallman, 2000: 182).

Besarnya kerapatan papan komposit dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} (\text{gr/cm}^3) \dots\dots\dots (2.1)$$

(Andriyansyah, 2014)

Dimana :

$$\rho = \text{Kerapatan papan komposit (gr/cm}^3\text{)}.$$

m = Massa papan komposit (gr).

V = Volume papan partikel (cm^3).

2.3.2 Kadar Air (*Moisture Content*)

Kadar air merupakan sifat papan komposit yang mencerminkan sifat kandungan air papan komposit dalam keadaan kesetimbangan dengan lingkungan sekitarnya. Besarnya kadar air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$KA = \frac{m_a - m_k}{m_k} 100 \% \dots\dots\dots (2.2)$$

(Andriyansyah, 2014)

Dimana :

KA = Kadar air papan komposit (%).

m_a = Massa awal papan komposit (gr).

m_k = Massa kering mutlak papan komposit (gr).

2.3.3 Pengembangan Tebal (*Thickness Swelling*)

Pengembangan tebal merupakan besaran yang menyatakan pertambahan tebal sampel uji. Untuk mengetahui pengembangan tebal dari papan komposit, terlebih dahulu sampel direndam dalam air selama 24 jam. Penentuan nilai pengembangan tebal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$PT = \frac{t_2 - t_1}{t_1} 100 \% \dots\dots\dots (2.3)$$

(Andriyansyah, 2014)

Dimana :

PT = Besar pengembangan tebal papan komposit (%).

t_1 = Tebal papan komposit sebelum direndam (cm).

t_2 = Tebal papan komposit setelah direndam (cm).

2.3.4 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian Struktur Mikro adalah gambaran dari sejumlah fasa yang dapat dilihat/diamati melalui Teknik metalografi. Struktur mikro baja dapat dilihat menggunakan mikroskop. Mikroskop yang bisa digunakan untuk melihat struktur mikro baja adalah mikroskop optic dan mikroskop electron, sebelum struktur mikro dilihat melalui mikroskop, permukaan baja harus dibersihkan terlebih dahulu kemudian direaksikan dengan *reaktan* kimia untuk mempermudah pengamatan. Untuk mengetahui sifat suatu logam, kita dapat melihat struktur mikronya, setiap jenis logam memiliki jenis struktur mikronya masing-masing. Melalui diagram fasa, dapat mengetahui struktur mikro baja dan dapat mengetahui fasa yang akan diperoleh pada komposisi dan temperatur tertentu. Dan dari struktur mikro kita dapat melihat:

1. Ukuran dan bentuk butir.
2. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam.
3. Unsur yang terdapat dalam material.

Dari struktur mikro kita juga dapat memprediksi sifat mekanik dari suatu material sesuai dengan yang kita inginkan.

Ada pun beberapa cara untuk pengamatan struktur mikro adalah sebagai berikut:

- a. Pemoongan (*sectioning*)

Pemotongan ini dipilih bagian yang akan diamati struktur mikronya. Bahan dipotong dengan ukuran seperlunya.

b. Pengamplasan Kasar (*Grinding*)

Proses ini dilakukan untuk menghaluskan dan meratakan permukaan bertujuan untuk menghilangkan retakan dan goresan yang ada di permukaan. Proses ini dilakukan bertahap dari ukuran yang paling kecil hingga besar.

c. Pemolesan (*Polishing*)

Tahap ini dilakukan agar permukaan mengkilap dan tidak ada goresan. Permukaan dipoles dengan kain yang sudah diolesi autosol.

Untuk mendapatkan hasil yang baik ada beberapa cara yang harus diperhatikan sebagai berikut:

1) Pemolesan

Sebaiknya pemolesan dilakukan dengan satu arah sehingga meminimalisir goresan.

2) Penekanan

Dalam proses pengamplasan jangan terlalu ditekan, agar posisi pemolesan tidak berubah sehingga tidak terjadi goresan-goresan yang tidak teratur.

d. Pengetsaan (*Etching*)

Pemolesan permukaan akan mendapatkan hasil permukaan yang mengkilap seperti cermin, untuk mendapatkan hasil mikro struktur permukaan harus

dietsa. Pengetsaan jangan terlalu kuat agar tidak terjadi kegosongan dipermukaan.

e. Pemotretan

Pemotretan dilakukan untuk mendapatkan hasil dari pengamatan mikro struktur spesimen setelah difokuskan menggunakan mikroskop uji



Gambar 2.11. *Microscope*

(Sumber : Widjatkarna, 2011)

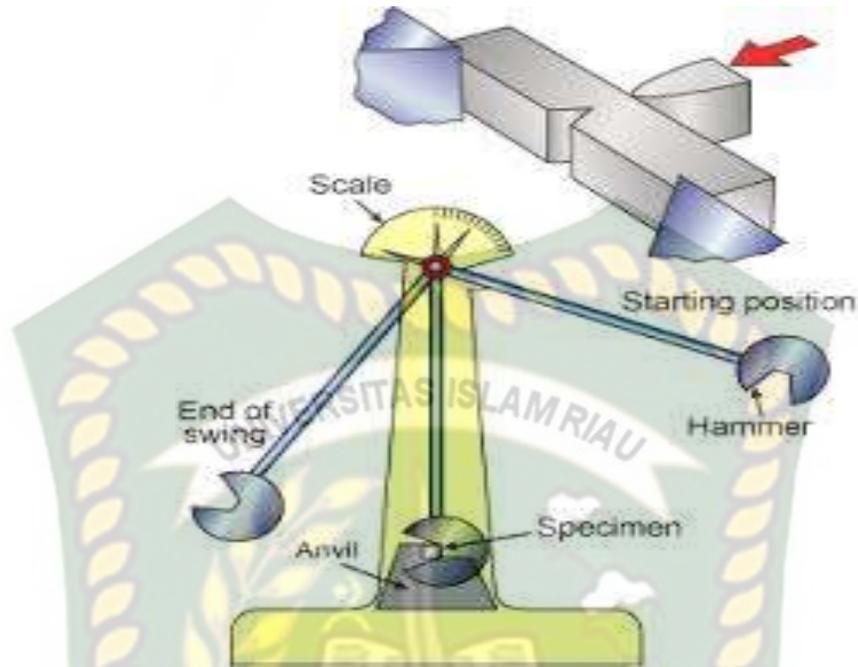
2.4 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik menggunakan metode destruktif yang digunakan untuk mengidentifikasi sifat fisis dan mekanis suatu bahan yang akan merusak atau mengaggu produk dan bersifat konvensional.

2.4.1 Pengujian Ketangguhan (*Impact*)

Pengujian ketangguhan (*impact*) adalah suatu kriteria penting untuk mengetahui kegetasanbahan polimer. Pengujian *impact charpy* pada Gambar 2.12 sering dipakai untuk melihat pengaruh takikan ada cara pengujian dengan takikan pada batang uji. Umumnya kekuatan (*impact*) bahan polimer lebih kecil dibandingkan bahan logam. Pengujian *impact* ini dilakukan untuk mengetahui ketangguhan sampel terhadap pembebanan dinamis. Sampel uji berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 150 mm sesuai dengan standart ASTM D-256. Kemudian sampel diletakkan pada alat penumpu dengan jarak 40 mm. Hammer pada posisi awal dengan sudut 160°, kemudian Hammer dilepaskan secara tiba-tiba sehingga menumbuk sampel, sebelum dilakukan pengujian sampel terlebih dahulu dilakukan percobaan tanpa sampel penguji. Hal ini dilakukan untuk mengetahui besarnya energi yang hilang akibat gesekan pada porosnya dan gesekannya dengan udara. Setelah penumpukan sampel hingga sampel patah/retak maka pengukuran dilakukan dengan membaca skala yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk skala.

Prinsip pengujian *impact* ini adalah menghitung energi yang diberikan beban dan menghitung energi yang diserap oleh spesimen. Saat beban dinaikkan pada ketinggian tertentu, beban memiliki energi potensial, kemudian saat menumbuk spesimen energi kinetik mencapai maksimum. Energi yang diserap spesimen akan menyebabkan spesimen mengalami kegagalan. Bentuk kegagalan itu tergantung pada jenis materialnya, apakah patah getas atau patah ulet.



Gambar 2.12. Pengujian Impact

(Sumber : Handoyo, 2013)

2.4.2 Pengujian *Bending*

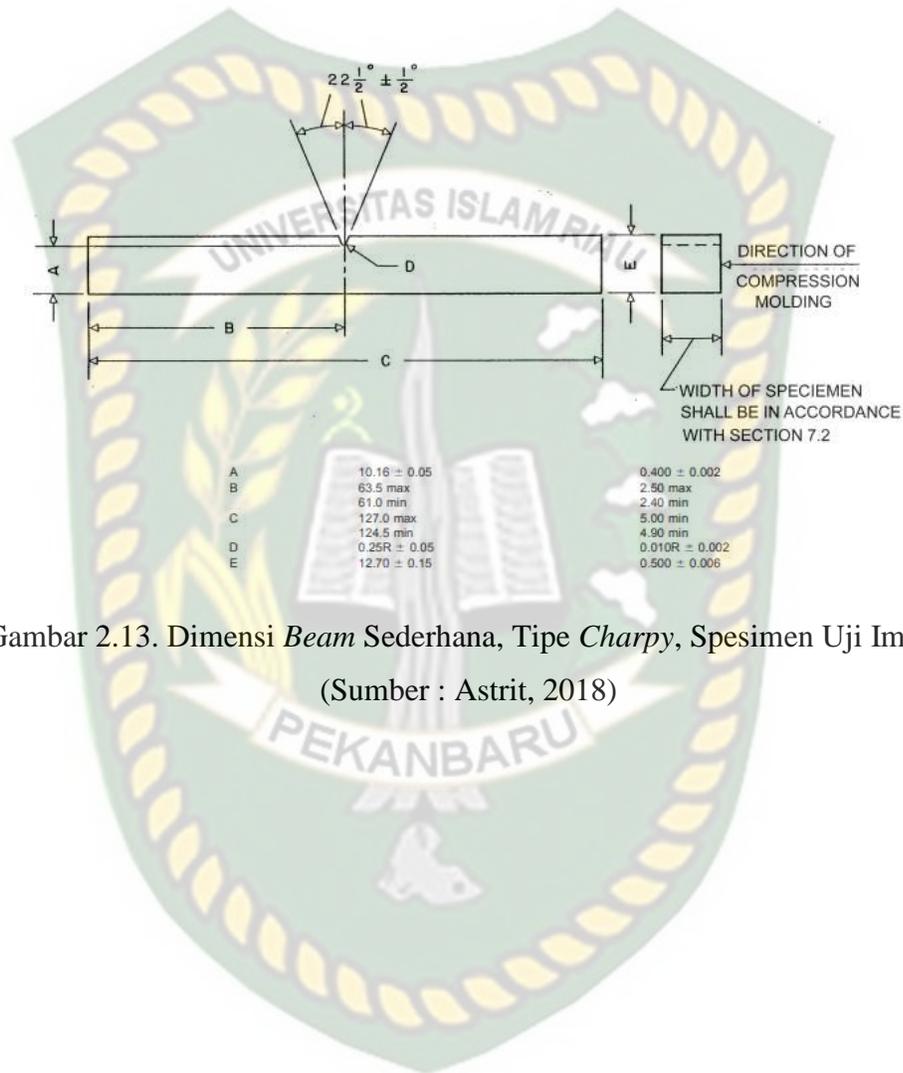
Metode yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode *charpy*. Pada metode *charpy*, spesimen uji diletakkan mendatar dengan ditahan di bagian ujung – ujungnya oleh penahan, kemudian pendulum ditarik ke atas sesuai posisi yang diinginkan. Setelah itu pendulum dilepaskan dan mengenai tepat pada bagian belakang atau sejajar dengan tarikan. Pada pengujian impact, energi yang diserap oleh benda uji biasanya dinyatakan dalam satuan joule dan dibaca langsung pada skala (dial) penunjuk yang telah dikalibrasi yang terdapat pada mesin penguji. Harga impact (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode *charpy* :

$$HI = E/A \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana,

E = energi yang diserap (joule).

A = luas penampang di bawah takik (mm²)

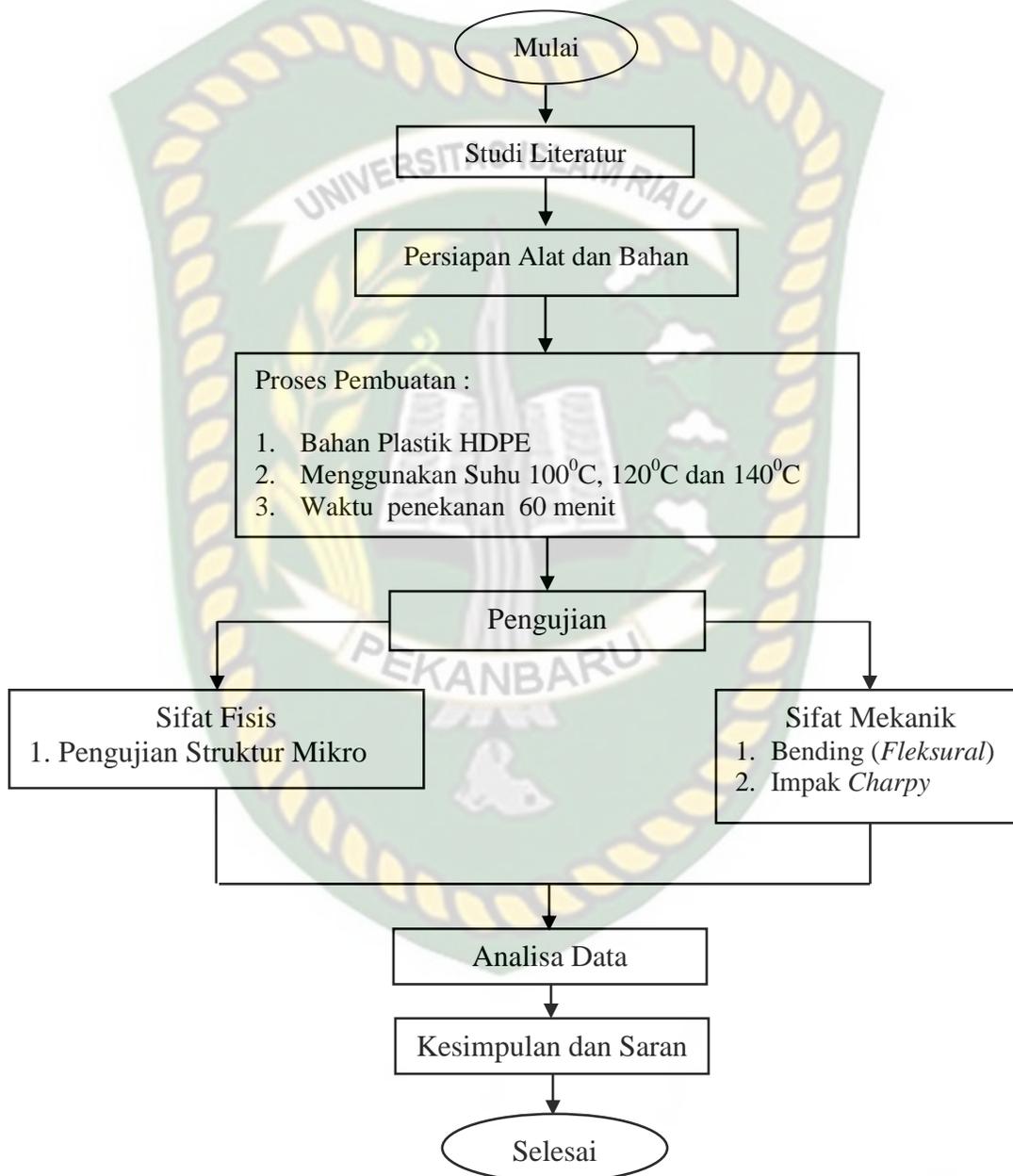


Gambar 2.13. Dimensi *Beam* Sederhana, Tipe *Charpy*, Spesimen Uji Impak

(Sumber : Astrit, 2018)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.

Dari diagram alir rancangan diatas, dapat dijelaskan bahwa dalam penelitian tugas akhir ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan. Hasil yang didapatkan dari penelitian dalam pembuatan material terbaharukan tepat sasaran dan sesuai yang diharapkan, antara lain:

1. Mulai

Mulai diawali dari pengajuan judul skripsi dan mendapatkan SK skripsi.

2. Studi literatur

Pengambilan data-data teori dari jurnal, buku yang berkaitan dalam pembuatan tugas sarjana ini sesuai dengan penelitian terdahulu.

3. Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan yang direncanakan dalam melakukan penelitian tentang pengaruh suhu tekan pada plastik daur ulang

4. Proses Pembuatan

Proses ini menggunakan dua parameter yaitu dengan suhu tekan panas yaitu sebesar 100°C , 120°C dan 140°C dalam waktu penekanan 60 menit pada proses penekanan setiap spesimen.

5. Pengujian

Melakukan pengujian sifat fisis yaitu pengujian struktur mikro dan sifat mekanis pada pengujian *bending* dan pengujian *impact* di Laboratorium Quality Control Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin Politeknik Kampar dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau.

6. Analisa Data

Berdasarkan dari hasil uji sampel dari Laboratorium di analisa dan memberikan pembahasan hasil pengujian.

7. Kesimpulan dan saran

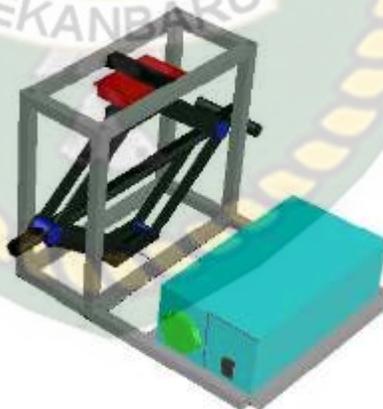
Hasil rangkuman dari Bab 1 sampai Bab 5 dan memberikan saran untuk penelitian berikutnya.

3.2 Alat Penelitian

Alat penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan data penelitian yang terdiri dari :

1. Mesin *Hot Press* adalah mesin yang bekerja memanfaatkan tekanan untuk menekan cetakan atau membentuk spesimen yang di alirkan suhu panas.

Gambar mesin hot press (CAD 3D) bisa di liat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. Mesin *Hot Press* (CAD 3D)

2. Jangka Sorong dipakai untuk mengukur dimensi spesimen. Pembacaan skala pengukuran dimensi spesimen sampai ketelitian 0,1 mm.



Gambar 3.3. Jangka sorong

3. Timbangan digital digunakan untuk menimbang berat spesimen.



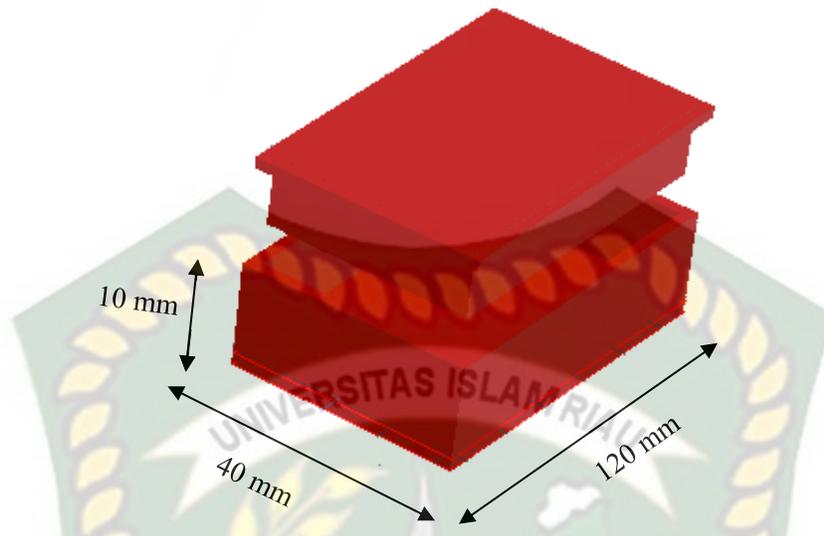
Gambar 3.4. Timbangan digital

4. *Stopwatch* digunakan untuk menghitung waktu penekanan saat proses berlangsung.



Gambar 3.5. *Stopwatch*

5. *Moulding* digunakan untuk wadah campuran bahan plastik HDPE terbuat dari baja paduan.



Gambar 3.6. Moulding

3.3 Bahan Penelitian

Bahan penelitian bertujuan untuk melengkapi perlengkapan data penelitian yang terdiri dari :

1. Plastik adalah polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain



Gambar 3.7. Plastik HDPE

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian adalah langkah-langkah untuk melakukan sesuatu hal baik melakukan suatu kegiatan yaitu terdiri 2 (dua) proses :

3.4.1 Perhitungan Volume Plastik HDPE (V_k)

Pada perhitungan volume plastik HDPE menyiapkan bahan plastik daur ulang seperti plastik HDPE. Berdasarkan massa jenis pada plastik HDPE sebagai berikut:

1. Massa jenis plastik HDPE (ρ) yaitu $0,95 \text{ g/cm}^3$ berdasarkan hasil pengujian (Tjipto, 1995)

$$\begin{aligned}\text{Volume Plastik (V}_p\text{)} &= \frac{M_a}{\rho_p} \text{ cm}^3 \\ &= \frac{35 \text{ gram}}{0,95 \text{ g/cm}^3} \\ &= 36,84\text{cm}^3\end{aligned}$$

3.4.2 Proses *Hot Press*

Proses *Hot Press* merupakan proses penekanan atau pengepresan dalam pembentukan spesimen yang di alirkan panas. Ada tiga variasi suhu yang digunakan dalam proses kompaksi untuk mengetahui pengaruh sifat mekanik pada spesimen. Adapun langkah-langkah yang digunakan untuk melakukan proses ini adalah sebagai berikut:

1. Masukkan plastik HDPE kedalam cetakan.
2. Sebelum mengoperasikan *hot press*, periksa seluruh rangkaian komponen sudah terpasang.

3. Kemudian putar tuas untuk penekanan.
4. Lakukan pengaturan tekanan sesuai yaitu 50 Bar dengan beban 2 Ton, untuk menentukan suhu tekan pada masing-masing spesimen dengan melihat nilai suhu pada alat *Hot Press*.
5. Dilakukan pencatatan disaat suhu 100⁰C sesuai penekanan pada alat *Hot Press*, dilanjutkan ke setiap nilai suhu yaitu 120⁰C dan 140⁰C.
6. Kemudian untuk memudahkan dalam mencatat suhunya, berikan label pada masing-masing tabung silinder plastik.

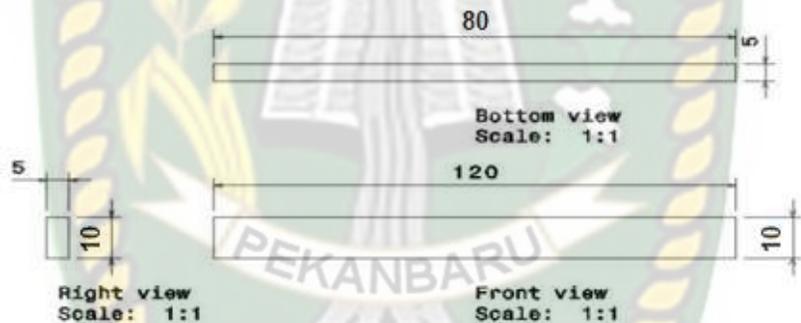
3.5 Pengujian *Bending* (*Fleksural Test*)

Pengujian *fleksural* dilakukan dengan cara pengujian *Bending* sesuai dengan mengikuti standat ASTM D 790. Pengujian ini untuk mengetahui kekuatan lapisan pada masing-masing spesimen yang akan diujii, langkah-langkah persiapan dan pengujiannya adalah sebagai berikut :

- 1) Mempersiapkan peralatan yang akan digunakan.
- 2) Hidupkan mesin uji bending dan pastikan mesin dalam keadaan aman saat digunakan.
- 3) Turunkan pencekam pada mesin bending, agar material dapat masuk kedalam pencekam yang sesuai yang telah ditentukan.
- 4) Lalu turunkan pencekan perlahan, sampai ujung pencekam menyentuh material, agar material tidak terlepas pada saat melakukan proses pembendigan/penekukan.

- 5) Pasang dial indicator lalu atus jarum menuju garis nol.
- 6) Pada mesin, setting jarum menunjuk angka nol dan gunakan spesifikasi beban sesuai yang ditentukan.
- 7) Mulai memutar handle pada mesin hingga jarum pada mesin bergerak.
- 8) Setelah jarum pada mesin bergerak, dan dial pun bergerak, catat hasil dari uji bending tersebut.
- 9) Lakukan langkah tersebut dari awal untuk seluruh spesimen yang akan di uji.

Dimensi spesimen uji bending ASTM-D 790.



Gambar 3.8. Ukuran Spesimen Uji Bending Standar ASTM-D 790 (Sumber: ASTM International D790)

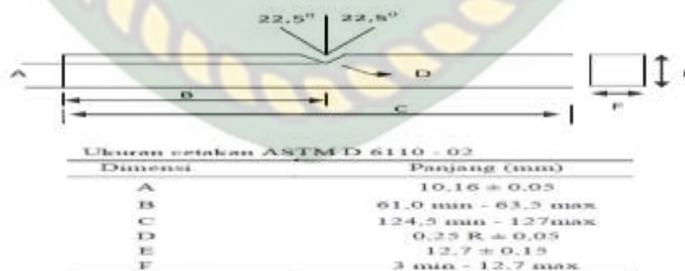
3.6 Pengujian *Impact Charpy*

Pengujian impact dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kemampuan dari material komposit terhadap impak. Metode pengujian impak pada penelitian ini menggunakan mesin uji

impact metode *Charpy*. Standar yang digunakan pada pengujian impact *Charpy* untuk komposit menggunakan ASTM D6110-04. Alat yang digunakan bermerk *Wolfrund* dengan beban impact maksimum 150 J. Berikut langkah-langkah pengujian impact yaitu:

- 1) Mengukur dimensi dari skin tabel, lebar dan panjangnya, kemudian memberikan nomor spesimen pada skin yang diuji.
- 2) Mengangkat beban palu pendulum.
- 3) Meletakkan spesimen pada tumpuan dengan cara dijepit. Lakukan pengujian satu persatu spesimen.
- 4) Melepaskan palu pendulum dengan cara menekan tombol dan menarik handel.
- 5) Palu pendulum akan jatuh menghantam spesimen secara otomatis.
- 6) Catat energi serapan yang ditunjukkan oleh jarum pada alat uji impact.
- 7) Hitung harga impact.

Dimensi spesimen uji impact ASTM-D 6110-02



Gambar 3.9. Ukuran Spesimen Uji Impact Standar ASTM-D 6110-02 (Sumber :
 Eqitha Dea Clareyna, 2013)



Gambar 3.10. Alat Uji Impak

(Lokasi : Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau)

3.7 Pengujian Struktur Mikro

Proses pengujian struktur mikro yang dilakukan membutuhkan persiapan bahan spesimen yang sangat banyak, langkah-langkah persiapan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan spesimen kemudian di potong mendapatkan panjang 1 cm, lebar 1 cm dan tinggi 5 mm.
2. Menghaluskan bagian permukaan yang akan di uji dengan hamplas halus, lalu di bersihkan dengan menggunakan air.
3. Meneteskan bagian permukaan yang akan di uji dengan etsa selama 15 detik, lalu bilas dengan alkohol.
4. Gunakan lilin sebagai media untuk tempat berdirinya spesimen dan untuk membuat spesimen lebu rata saat di uji mikrostruktur.

Setelah mendapatkan data pengamatan tampak mikros, kemudian dimasukan kedalam data pengolahan. Dapat dilihat alat uji mikrostruktur pada gambar 3.10.



Gambar 3.10. Alat Pengujian *Microscope Merk Olympus BX53M*
(Lokasi : Laboratorium Teknik Mesin Universitas Islam Riau)

3.8 Jadwal Kegiatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Riau. Dan pengujian mesin dilaksanakan laboratorium UIR. Lama penelitian dalam menganalisa pengaruh suhu tekan panas terhadap sifat fisis dan sifat mekanik pada sampah plastik daur ulang adalah selama 2 bulan. Agar penelitian tentang pengaruh pengaruh suhu *hot press* terhadap sifat fisis dan sifat mekanik pada sampah plastik dengan waktu yang ditentukan maka perlu dibuat jadwal penelitian seperti yang terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

| No | Jenis Kegiatan | Bulan | | | | | | | | | |
|----|--------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Studi Literatur | | | | | | | | | | |
| 2 | Pembuatan Proposal | | | | | | | | | | |
| 3 | Seminar Proposal | | | | | | | | | | |
| 4 | Persiapan alat dan bahan | | | | | | | | | | |
| 5 | Pengujian | | | | | | | | | | |
| 6 | Analisa dan Pembahasan | | | | | | | | | | |
| 7 | Kesimpulan | | | | | | | | | | |
| 8 | Sidang Tugas Akhir | | | | | | | | | | |

BAB IV

HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini membahas tentang hasil pengujian yang telah dilakukan. Penelitian bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi suhu 100°C , 120°C dan 140°C serta diberikan tekanan 5,2 Mpa terhadap sifat fisis dan sifat mekanik pada daur ulang plastik HDPE. Pengujian yang dilakukan pada penelitian kali ini terdiri dari pengamatan mikroskop dilakukan untuk melihat morfologi yang terdapat pada daur ulang plastik HDPE, pengujian *Bending* dilakukan untuk mengukur kekuatan lentur material akibat pembebanan dan *Impact* dilakukan untuk mendapatkan harga impact.



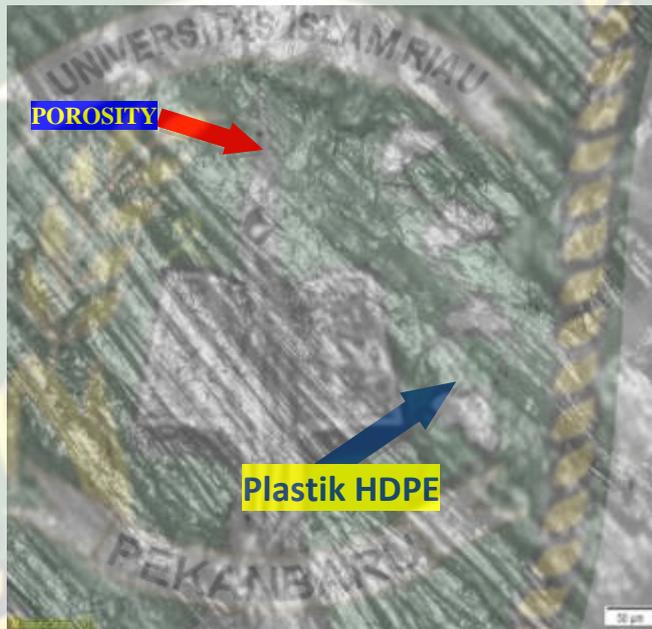
a. Suhu 100°C b. Suhu 120°C c. Suhu 140°C

Gambar 4.1. Hasil variasi suhu tekan panas pada plastik HDPE

4.2 Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro pada spesimen ini bertujuan untuk melihat susunan makros pada spesimen daur ulang plastik HDPE. Spesimen yang akan diamati yaitu dengan melihat variasi suhu tekan panas 100°C, 120°C dan 140°C.

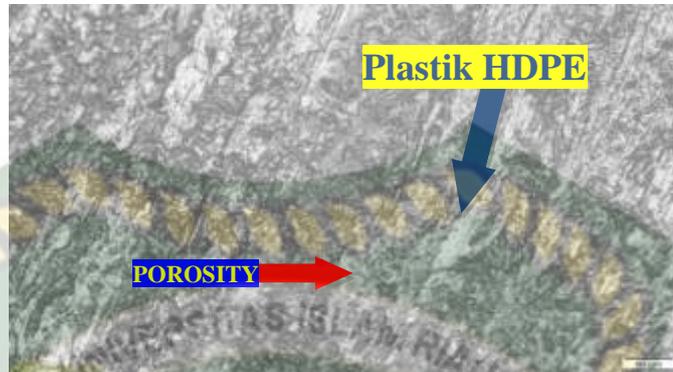
a) Topografi sampel suhu 100°C



Gambar 4.2. Suhu tekan panas 100°C pada daur ulang plastik HDPE

Dari hasil pengujian pada gambar 4.2 bahwa bentuk struktur mikro dengan variasi suhu 100°C dan tekanan 5,2 Mpa pada daur ulang plastik HDPE. Hasil Pengujian struktur mikro terlihat bahwa banyaknya pori-pori atau rongga yang terjadi akibat tidak sampainya titik leleh plastik HDPE.

b) Topografi sampel suhu 120°C



Gambar 4.3. Suhu tekan panas 120°C pada daur ulang plastik HDPE

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.3 bahwa bentuk struktur mikro dengan variasi suhu 120°C dan tekanan 5,2 Mpa pada daur ulang plastik HDPE. Hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa banyaknya pori-pori atau rongga yang terjadi akibat tidak sampainya titik leleh plastik HDPE.

c) Topografi sampel suhu 140°C



Gambar 4.4. Suhu tekan panas 140°C pada daur ulang plastik HDPE

Dari hasil pengamatan pada gambar 4.3 bahwa bentuk struktur mikro dengan variasi suhu 140°C dan tekanan 5,2 Mpa pada daur ulang plastik HDPE.

Hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa sedikit pori-pori atau rongga yang terjadi akibat melebihi titik leleh plastik HDPE.

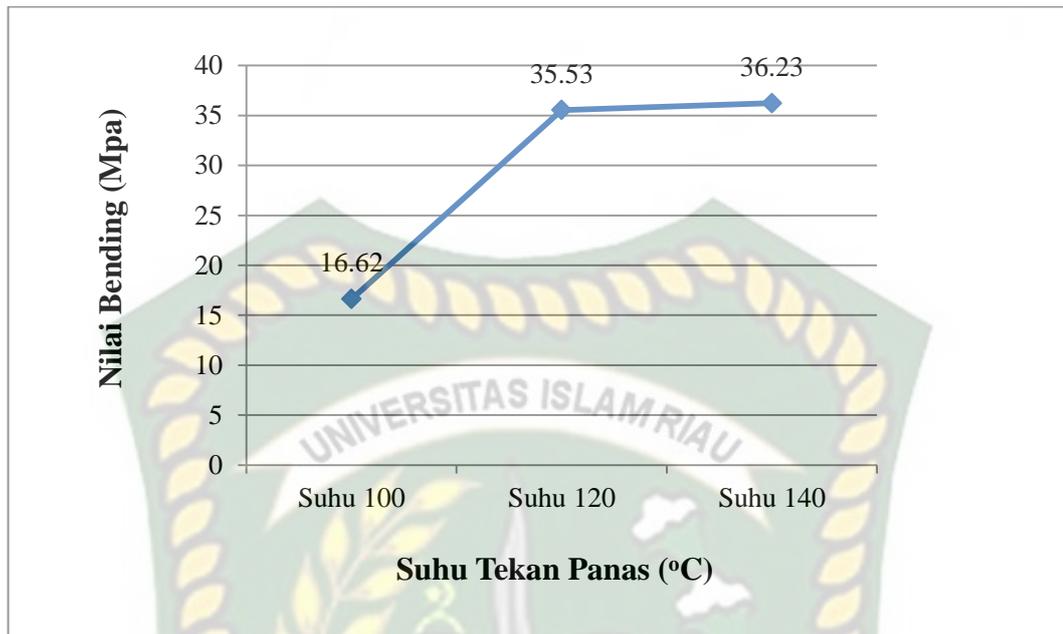
Dari ketiga sampel tersebut terlihat bahwa variasi suhu tekan panas pada daur ulang plastik HDPE berpengaruh terhadap pengamatan mikrostruktur, dengan hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa banyaknya pori-pori atau rongga pada suhu 100°C dan 120°C, sedangkan pada suhu 140°C hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa sedikit pori-pori atau rongga. Hal ini disebabkan karena titik leleh plastik HDPE terjadi di atas suhu 127°C menurut Tjipto (1995).

4.3 Hasil Uji *Bending* (Fleksural)

Pengujian *bending* bertujuan untuk menunjukkan kelenturan dari suatu material ketika diberi beban. Pengujian *Bending* sesuai dengan ASTM D 790 setelah dilakukan pengujian terhadap setiap spesimen. Tabel 4.1 menunjukkan data pengujian kekuatan lentur sebagai berikut:

Tabel 4.1. Hasil uji *bending* pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas.

| Spesimen | Suhu (°C) | Area (mm ²) | Max. Force (N) | Yield strength (Mpa) | Bending strength (Mpa) | Elongation (%) |
|----------|-----------|-------------------------|----------------|----------------------|------------------------|----------------|
| Sampel 1 | 100 | 46.214 | 59.4 | 0.76 | 16.62 | 26.33 |
| Sampel 2 | 120 | 46.214 | 127.0 | 0.98 | 35.53 | 26.33 |
| Sampel 3 | 140 | 43.400 | 113.7 | 0.52 | 36.23 | 26.33 |

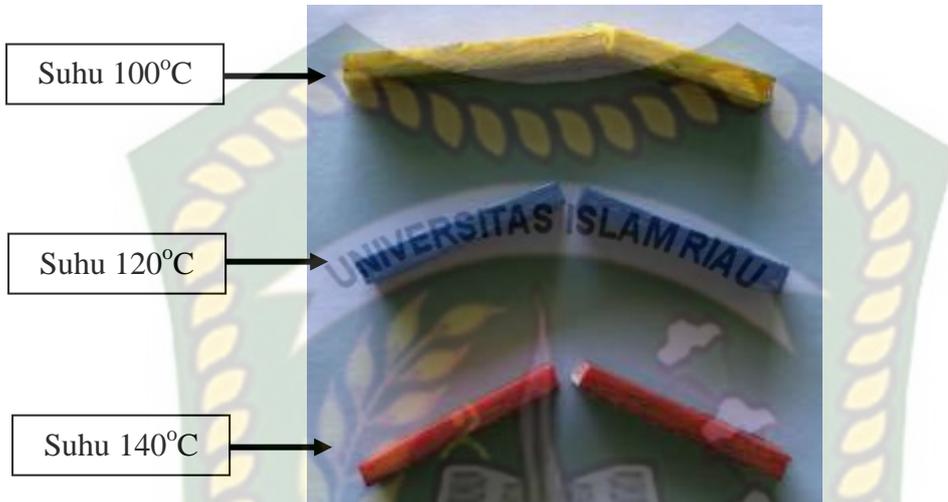


Gambar 4.5. Hasil uji *bending* pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas.

Gambar 4.5 menunjukkan hasil uji *bending* pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas. Nilai *bending* pada sampel 1 dengan suhu 100°C yaitu 16,62 Mpa, terus meningkat pada suhu 120°C yaitu sebesar 35,53 Mpa dan terjadi penurunan pada suhu 140°C yaitu 36,23 Mpa. peningkatan kekuatan maupun penurunan kekuatan berkaitan dengan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik tersebut.

Berdasarkan dari uraian diatas, nilai *bending* tertinggi pada sampel 3 yaitu suhu 140°C sebesar 36,23 Mpa, sedangkan nilai *bending* terendah berada pada sampel 1 yaitu suhu 100°C sebesar 16,62 MPa. Hal ini disebabkan karena. Adanya hubungan antara suhu dengan nilai *bending*, dimana peningkatan terjadi

secara linier karena semakin tinggi suhu tekan panas yang diberikan meningkatkan nilai kekuatan bending.



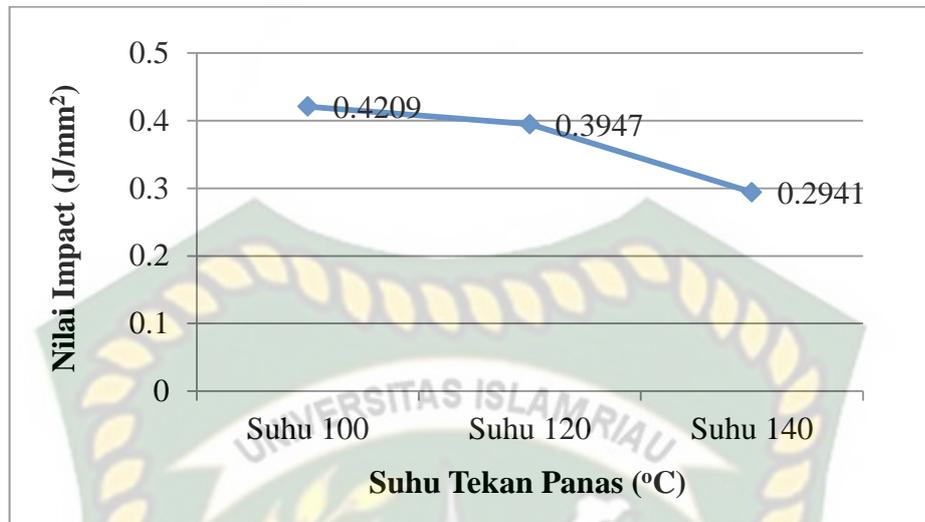
Gambar 4.6. Hasil uji *bending* pada daur ulang plastik HDPE

4.4 Hasil Uji Impact (*Charpy*)

Uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya. Pengujian impak merupakan respon terhadap beban kejut atau beban tiba - tiba (beban impak).

Tabel 4.2. Hasil uji Impact pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas.

| Jenis Sampel | Suhu (°C) | Tekanan (Mpa) | Area (mm ²) | Energy (Joule) | Harga Impact (Joule/mm ²) |
|--------------|-----------|---------------|-------------------------|----------------|---------------------------------------|
| Sampel 1 | 100 | 5,2 | 80 | 33,6778 | 0,4209 |
| Sampel 2 | 120 | 5,2 | 80 | 31,5798 | 0,3947 |
| Sampel 3 | 140 | 5,2 | 80 | 23,5281 | 0,2941 |



Gambar 4.7. Hasil uji impact pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas.

Gambar 4.5 menunjukkan hasil uji impact pada daur ulang plastik HDPE dengan variasi suhu tekan panas. Harga impact pada daur ulang plastik HDPE dengan suhu tekan panas 100°C didapatkan nilai energi impact sebesar 0,4209 J/mm², pada suhu tekan panas 120°C didapatkan nilai energi impact sebesar 0,3947 J/mm² dan pada suhu tekan panas 140°C diperoleh nilai energi impact sebesar 0,2941 J/mm². Dapat diketahui bahwa hasil dari pengujian impact daur ulang HDPE dengan variasi suhu terjadi penurunan yang signifikan terhadap suhu tekan panas.

Berdasarkan hasil uji impact nilai energi impact tertinggi sebesar 136 J/mm² pada suhu tekan panas 100°C, sedangkan nilai energy impact terendah pada suhu tekan panas 140°C yaitu 131 J/mm². Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu dan tekanan injeksi pada saat proses produksi, maka semakin meningkatkan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik tersebut. Sehingga kekuatan impact akan semakin mudah patah

(getas) dan sebaliknya semakin rendah kekuatan impact akan semakin ulet produk daur ulang plastic HDPE.



Gambar 4.8. Hasil uji Impact (*Charpy*) pada daur ulang plastic HDPE

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari penelitian tentang analisa pengaruh suhu tekan panas terhadap sifat fisis dan sifat mekanis pada daur ulang sampah plastik HDPE didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa banyaknya pori-pori atau rongga pada suhu 100°C dan 120°C, sedangkan pada suhu 140°C hasil pengamatan mikroskop terlihat bahwa sedikit pori-pori atau rongga. Hal ini disebabkan karena titik leleh plastik HDPE terjadi di atas suhu 127°C
2. Hasil nilai bending tertinggi pada sampel 3 yaitu suhu 140°C sebesar 36,23 Mpa, sedangkan nilai bending terendah berada pada sampel 1 yaitu suhu 100°C sebesar 16,62 MPa. Hal ini disebabkan karena. Adanya hubungan antara suhu dengan nilai bending, dimana peningkatan terjadi secara linier karena semakin tinggi suhu tekan panas yang diberikan meningkatkan nilai kekuatan bending.
3. Berdasarkan hasil uji impack nilai energi impak tertinggi sebesar 0,4209 J/mm² pada suhu tekan panas 100°C, sedangkan nilai energy impack terendah pada suhu tekan panas 140°C yaitu 0,2941 J/mm². Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu dan tekanan injeksi pada saat proses produksi, maka semakin meningkatkan atom-atom yang tersusun secara tidak teratur (*amorphous*) yang terbentuk pada material plastik dan material plastik akan mengalami patahan ulet.

4. Sehingga kekuatan impact akan semakin mudah patah (getas) dan sebaliknya semakin rendah kekuatan impact akan semakin ulet produk daur ulang plastik HDPE.

5.2 Saran

Penelitian tentang analisa pengaruh suhu tekan panas pada daur ulang plastik (HDPE) ini meski sudah cukup memenuhi harapan, namun masih mempunyai kekurangan. Oleh karena itu, peneliti memberikan saran sebagai berikut :

1. Penelitian plastik HDPE perlu dilakukan penambahan serat alam agar mendapatkan sifat fisis dan mekanis yang optimal.
2. Penelitian ini perlu dilakukan uji kekuatan tarik untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, 2021. Sosialisasi Sampah Plastik Di Smp Negeri 1 Seunagan Kabupaten Nagan Raya. *Jurnal Pengabdian Agro & Marine Industry*. Universitas Teuku Umar. Aceh Barat
- Agustinus, 2006. *Pembuatan Keramik Komposit sebagai Bahan Bangunan*. Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI. Bandung.
- Ardiansyah, A, F. 2014. Efektivitas pemberian ekstrak kunyit (*Curcuma domestica*, Val) dan simvastatin terhadap kadar kolesterol darah dan bobot badan pada kelinci (*Oryctolagus cuniculus*) hiperkolesterolemia. Skripsi. *Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor*. Bogor
- Taufiqi, A, K. 2020. Analisa Variasi Suhu Pemanas Mesin Injeksi. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Pancasila Tegal*. Tegal.
- Bondan, T. 2011. *Pengantar Material Teknik*. Salemba Teknika. Jakarta
- Callister, W, D. 2007. *Material Science and Engineering an Introduction*. Utah: John Wiley & Sons.
- Crawford, Roy J. 1998. *Plastics Engineering (Therd edition)*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Dantje, dkk. 2012. Pengaruh Penambahan Cacahan Limbah Plastik Jenis High Density Polyethylene (HDPE) Pada Kuat Lentur Beton. Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana
- Kurniawan, A. 2012. *Mengenal Kode Kemasan Plastik yang Aman dan Tidak*. <http://ngeblogging.wordpress.com/2012/06/14/mengenal-kodekemasan-plastik-yang-aman-dan-tidak/>
- Maloney, TM. 1993. *Modern Particleboard and Dry Process Fiberboard Manufacturing*. MILLER Freeman, Inc. San Fransisco

- Muttaqim, Zaennal., 2017. Pengaruh Variasi Komposisi Antara Limbah Plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* dan Abu Dasar Batubara Sebagai Material Komposit Dengan Matrik Semen Terhadap Kekuatan Tekan Dan Serapan Air, *Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Surakarta.
- Nurun, N. 2016. *Teknologi Material Komposit*. <http://nurun.lecturer.uin-malang.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2013/03/Material-Komposit.pdf>.
- R. E. Smallman and R. J. Bishop, 2000. *Modern Physical Metallurgy And Materials Engineering*, Hill International Book Company. New York.
- Sudarsono, dkk. 2010. Pembuatan Papan Partikel Berbahan Baku Sabut Kelapa Dengan Bahan Pengikat Alami (Lem Kopal). *Jurnal Teknologi. Teknik Mesin Universitas Muria Kudus*. Jawa Tengah.
- Tapkire, G., & Parihar, S. (2014). *Recycled Plastic Used in Concrete Paving Block*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Bhopal. India
- Triyono, T., dan Diharjo, K. 1999. *Buku Pegangan Kuliah Material Teknik*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- United Nation Environment Programme (UNEP), 2009. *Resource Efficient and Cleaner Production*. <http://www.unep.fr/scp/cp/>.