

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Bernadeth dan Ariande (2010) melakukan penelitian tentang perbandingan sifat mekanik *polypropylene* murni dengan daur ulang. Penelitian ini menggunakan menggunakan polipropilen murni dan polipropilen komersial yang biasa digunakan sebagai gantungan baju, disimpulkan bahwa hasil perbandingan kekuatan tarik dan uji kekerasan pada plastik polipropilen murni dan daur ulang tidak terdapat perubahan yang signifikan. Hasil dari kekuatan tarik PP daur ulang itu lebih rendah dari PP murni yang berkisar 22,1%, pada modulus young juga rendah 8,1% dan berkurang derastis pada strain-at break sebesar 65,7%. Dari hasil tersebut PP daur ulang masih mempunyai sifat mekanik yang sama dengan PP murni sehingga masih layak digunakan untuk aplikasi non struktural lainnya.

Mujiarto (2005) melakukan penelitian bahwa *Polypropylene* mempunyai titik leleh yang cukup tinggi (190-200)°C, sedangkan titik kristalisasinya antara (130-135)°C. *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*cemical resistance*) yang tinggi, tetapi ketahanan pukul (*impact strength*) nya rendah. Naik (2014) meneliti tentang meminimalkan cacat *sink mark* dengan *injection molding* menggunakan metode Taguchi. Pada penelitian ini variasi parameter yang berpengaruh pada cacat *sink mark* adalah temperatur leleh, tekanan injeksi, kecepatan injeksi, dan waktu pendinginan.

Sumaryono (2012) melakukan penelitian tentang perilaku sifat mekanis bahan plastik polistiren dan *polypropylene*. Pada Penelitian tersebut disimpulkan bahwa hasil rata-rata pengujian tarik material polistiren mendapatkan nilai 1,59 km/mm<sup>2</sup> dan material *polypropylene* nilai sebesar 19,53 km/mm<sup>2</sup>. Perbedaan hasil tersebut dapat dipengaruhi oleh proses injeksi material yang kurang merata dan sifat dari material tersebut yaitu material polistiren lebih ulet sedangkan material *polypropylene* cenderung lebih getas (*brittle*).

Asror dkk, (2003) melaporkan penelitiannya tentang pengaruh suhu proses dan tekanan pada *injection molding* terhadap kekuatan benturan dan kekerasan pada material *high density polyethylene* yang menjelaskan bahwa peranan suhu sangat penting dalam proses plastifikasi yang nantinya akan berpengaruh terhadap *melt flow rate* material tersebut.

Mawardi (2015) meneliti tentang kualitas produk dengan beda temperatur injeksi material plastik *polypropylene* (PP). Hasil penelitian menyebutkan bahwa parameter temperatur injeksi sangat berpengaruh terhadap kualitas produk plastik, baik dari dimensi maupun tampilan produk. Produk penyangga gantungan hanger yang diinjeksi pada temperatur injeksi 170°C menggunakan mesin injeksi manual sistem toggle, menghasilkan kualitas produk yang lebih baik dibandingkan temperatur 160°C dan 165°C. Semakin rendah temperatur injeksi terhadap temperatur leleh maka kecenderungan cacat yang terjadi semakin besar.

Zulianto (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh beda temperatur terhadap cacat *warpage*, hasil penelitian menyebutkan bahwa secara umum menaikkan temperatur injeksi membuat persentase *warpage* yang terjadi semakin besar begitu juga sebaliknya. Temperatur yang baik dari penelitian ini yaitu pada temperatur 150°C karena pada temperatur ini membutuhkan *melting time* tercepat dan tidak ditemukannya cacat *warpage*. pengaruh temperatur terhadap persentase luas *warpage* pada percobaan 155°C di temukan cacat pada ketiga specimen dengan luas terkecil 17,82 Cm<sup>2</sup> (22,68%) dan luasan terbesar sebesar 25,81 Cm<sup>2</sup> (32,85%), dan cacat *warpage* terbesar pada suhu 160°C besarnya *warpage* yaitu dengan luasan terkecil 26.06 Cm<sup>2</sup> (33,17 %) dan luasan terbesarnya sebesar 32,40 Cm<sup>2</sup> (41,24%).

Juwono (2010) melakukan penelitian, dengan menggunakan material PP murni, PP daur ulang. Hasil uji tarik dan uji kekerasan menunjukkan terdapat perubahan antara PP murni dengan PP daur ulang. Hasil uji tarik PP daur ulang menunjukkan bahwa kuat tariknya lebih rendah 22,1% daripada PP murni. Untuk pengujian kekerasan dilakukan pengamatan permukaan dengan *scanning electron microscope* (SEM) memperlihatkan PP daur ulang memiliki permukaan lebih datar

dengan ukuran butiran lebih kecil dibandingkan dengan permukaan PP murni, yang menunjukkan bahwa bahan PP daur ulang lebih *brittle* (getas) dibandingkan PP murni. Dapat disimpulkan bahwa PP daur ulang memiliki sifat mekanis yang tidak berubah terlalu signifikan dengan PP murni, sehingga layak digunakan sebagai gantungan pakaian.

Dari penelitian terdahulu bisa disimpulkan bahwa penelitian tentang sifat mekanis dan struktur mikro terhadap bahan *polypropylene* (PP) sebagai pembuatan produk sudah banyak dilakukan, namun penelitian tentang beda temperatur injeksi bahan *polypropylene* daur ulang masih belum banyak dilakukan. Maka dari itu dilakukan penelitian dengan beda variasi temperatur injeksi bahan PP daur ulang dengan pengujian mekanis dan struktur mikro dengan tujuan hasil dari pengujian dapat digunakan sebagai referensi.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1. *Polypropylene***

*Polypropylene* (PP) merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada suhu tinggi. *Polypropylene* berasal dari monomer propilena yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi. Data sheet material *polypropylene* PT Chandra Asri Petrochemical ditunjukkan pada Tabel 2.1.

PT Chandra Asri Petrochemical merupakan penggabungan antara PT Chandra Asri dengan PT Tri Polyta Indonesia Tbk. Chandra Asri Petrochemical merupakan BUMS yang bergerak di bidang petrokimia dengan memproduksi *Olefins* dan *Polyethylene* (PE) dan merupakan produsen *Polypropylene* (PP) terbesar di Indonesia. Chandra Asri Petrochemical (CAP) adalah perusahaan petrokimia terbesar dan terintegrasi secara vertikal di Indonesia dengan fasilitas-fasilitasnya yang terletak di Ciwandan, Cilegon dan Puloampel, Serang di Provinsi Banten.

Tabel 2.1. Data sheet *polypropylene* produksi Chandra Asri Petrochemical

Physical Properties		Test Method*	Unit	Value
Melt Flow Rate (230 °C / 2.16 kg)		ASTM D 1238	g/10 min	10
Density		ASTM D 792	g/cm <sup>3</sup>	0.9
Tensile Yield Strength (@50 mm/min)		ASTM D 638	MPa	35
Tensile Yield Elongation		ASTM D 638	%	13
Flexural Modulus (@1.3 mm/min)		ASTM D 790A	MPa	1,500
Notched Izod Impact Strength (@23 °C)		ASTM D 256	J/m	30
Hardness, Rockwell		ASTM D 785	R-Scale	90
Deflection Temperature (@0.455 MPa)		ASTM D 648	°C	104
Vicat Softening Temperature		ASTM D1525B	°C	152
Melting Temperature		ASTM D 3418	°C	163

\*Polypropylene tested per ASTM D 4101

Conversion: 1 MPa = 10.2 kgf/cm<sup>2</sup>  
1 kJ/m<sup>2</sup> = 0.01 kgf cm/mm<sup>2</sup>

**Recommended Processing Conditions:**  
Melt Temperature.....220-250 °C  
Chill Roll Temperature.....20-40 °C

**Product Available Form:**  
Natural pellet

**Packaging:**  
25 kg woven bag

**Safety:**

- The product is not classified as a hazardous material.
- Please refer to our Safety Data Sheet (SDS) for details on various aspects of safety, recovery and disposal of the product.

Secara industri, polimerisasi *polypropylene* dilakukan dengan menggunakan katalis koordinasi. *Polypropylene* memiliki sifat tahan terhadap pelarut kimia, asam, dan basa, selain itu bahan *polypropylene* juga dapat di daur- ulang dan symbol daur ulang nomor “5” seperti terlampir pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** Simbol daur ulang *polypropylene*

(Sumber : <http://id.m.wikipedia.org/wiki/polipropilena>)

### **2.2.2 Keunggulan *Polypropylene***

*Polypropylene* memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu, mudah dalam pengolahannya, tahan terhadap penyerapan air dan ketahanan kimia yang baik sebagai pelarut. Namun untuk pengaplikasian dibidang rekayasa termoplastik masih terbatas penggunaannya karena memiliki tingkat susut yang tinggi dan temperatur *polypropylene* yang rendah (DeBoest, 1988).

### **2.2.3 Aplikasi *Polypropylene***

Aplikasi *polypropylene* HI10HO dalam bidang manufaktur misalnya: material *polypropylene* diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti wadah minuman botol, alat rumah tangga interior mobil, kotak makan, komponen otomotif, loudspeaker dll.

### 2.2.4 Daur Ulang

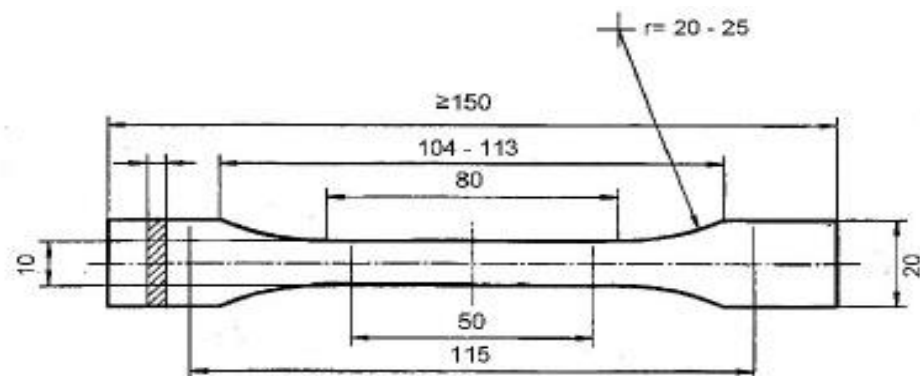
Daur ulang adalah teknik pembentukan kembali dari material yang sudah diproduksi sebelumnya karena mengalami gagal produk (*reject*) atau tidak sesuai (*NG*) dengan standar produk dengan tujuan mengurangi pembelian material baru, mengurangi polusi, dan mengurangi tenaga. Daur ulang dapat diolah dengan tiga proses yaitu perajangan (*Crusher*), peleburan (*melting*), dan pembentukan (*formation*) kembali.

Daur ulang dan pembakaran adalah aspek biasa dari metode pemulihan dalam kasus polimer termoplastik. Pembakaran ini menimbulkan beberapa masalah seperti produksi gas beracun dan residu abu yang mengandung timbal dan kadmium. Daur ulang ini menghadirkan keuntungan seperti pengurangan masalah lingkungan dan menghemat bahan dan energi (Grigore, 2017).

### 2.2.5 Spesimen *Multipurpose*

Spesimen *Multipurpose* adalah spesimen yang biasa digunakan sebagai standar peneliti dibidang teknik. Penelitian tersebut menggunakan spesimen *multipurpose* yang berukuran sebagai berikut dan ditunjukkan pada Gambar 2.2. :

Panjang keseluruhan	: 150 mm
Panjang gauge	: 50 mm
Tebal	: 4 mm
Lebar	: 20 mm



**Gambar 2.2.** Model dan dimensi ukuran spesimen *multipurpose*

### **2.2.6 Injection Molding Machine**

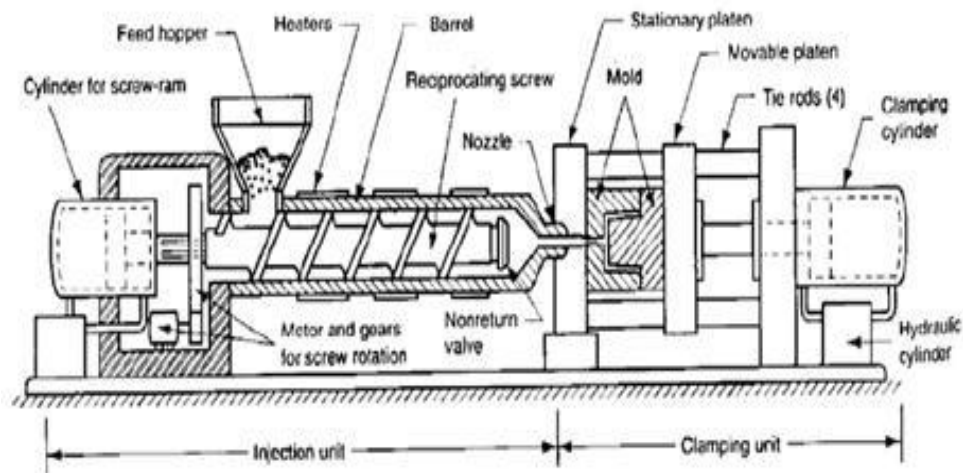
*Injection Molding* merupakan salah satu metode dalam pengolahan plastik dengan teknik menyuntikan plastik kedalam cetakan (*Mold*). Produk yang dibentuk secara bersamaan dengan cetakan yang didesain khusus, material yang digunakan pada *injection moulding* berupa bijih-bijih plastik, cacahan plastik atau bisa juga plastik dicampur dengan serat. Sebelum masuk kedalam proses, material harus dipanaskan terlebih dahulu dalam *barrel*. Pemanasan material ini dilakukan untuk mengurangi kadar air yang terkandung pada bijih plastik dan mengeringkan material dari uap air yang diserap.

Oktem (2007) menyatakan bahwa *Plastic Injection Molding* merupakan salah satu mesin berat yang digunakan sebagai pembentukan produk dengan material plastik dalam dunia industri. Mesin injeksi molding ini memiliki kelebihan yaitu bagian permukaan berkualitas tinggi, siklus produk pendek, bobot yang ringan, sifat mekanik yang baik, dan biaya yang relatif terjangkau sehingga sangat berperan penting dalam perusahaan industri plastik sekarang ini. Mesin plastik injeksi molding juga harus selalu *update* baik dalam proses maupun *design* mengikuti kemajuan teknologi agar membantu mencukupi kebutuhan pelanggan sesuai dengan fungsi dan kualitas.

Maulana (2017) menyatakan bahwa *Injection Molding* adalah salah satu mesin yang digunakan sebagai metode untuk membentuk produk sesuai cetakan (*mold*) tertentu dengan menggunakan material plastik. Mesin ini bekerja mulai dari suntikan (*injection*), tekanan tahan (*holding pressure*), pelelehan (*melting*), tekanan kembali (*back pressure*), dan profil suhu (*temperature profile*). *Injection Molding* merupakan salah satu mesin yang mengurangi tenaga manusia secara manual dimana proses operasinya sudah dikontrol dan diatur oleh komputer, sehingga membantu biaya yang diperlukan dan dapat memproduksi produk dengan tingkat kerusakan yang kecil.

### 2.2.7 Bagian- bagian mesin *injection molding*

Pada mesin *injection molding* terdapat 2 bagian utama dalam proses pencetakan plastik yaitu *clamping* dan bagian *inject*. pada bagian *clamping* terdiri dari *mold* (cetakan), *operation door*, dan *clam*, dan pada bagian *inject* terdiri dari *barrel*, *hopper*, *nozzle*, dan *screw*. Seperti pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3.** Bagian-bagian *Injection Molding Machine*

(sumber: sciencedirect.com)

Bagian – bagian mesin *injection molding* antara lain sebagai berikut:

#### 1. *Clamping Unit*

*Clamping unit* adalah salah satu bagian untuk menyatukan molding yang di dalamnya terdapat cetakan, berfungsi untuk membuka dan menutup cetakan pada waktu proses injeksi material dengan siklus pencetakan tepat waktu.

Ada 7 komponen – komponen pada *clamping unit*:

- a. *Mold*, yaitu bagian terpenting yang berfungsi sebagai tempat terbentuk sebuah produk pada mesin injeksi.
- b. *Stationery Plate*, yaitu Sebuah plat tempat *cavity* yang diam dan terdapat lubang sebagai dudukan (*location ring*) untuk masuknya material panas.
- c. *Moving plate*, yaitu sebuah plat tempat *core* terpasang yang bergerak dan sebagai pendorong produk (*ejector rod*).



- d. *Cylinder Hydraulic Clamping*, yaitu bagian yang bekerja sebagai penggerak batang *toggle* dimana bertugas untuk membuka dan menutup  *mold* atau penggerak *moving plate* (jika tidak ada batang *toggle*).
- e. *Cylinder Hydraulic Ejection*, yaitu bagian pendorong produk untuk keluar dari cetakan ( *mold*).
- f. Batang *Toggle*, yaitu bagian yang ada pada mesin injeksi untuk membantu membuka dan menutup.
- g. *Tie Bar*, yaitu landasan yang menyatu pada *moving plat* agar  *mold* tetap simetris.

## 2. Injection Unit

*Injection Unit* merupakan salah satu bagian dari mesin injeksi yang berfungsi sebagai proses pemasukan bahan material plastik, proses pelelehan (*melting*), dan proses injeksi ke rongga cetakan.

Ada beberapa komponen pada *injection unit*:

- a. *Hopper*, yaitu bagian yang berfungsi sebagai tempat penampung material plastik dalam bentuk butiran.
- b. *Barrel*, yaitu bagian yang berfungsi untuk melelehkan (*melting*) material plastik hingga mencair sesuai suhu yang di atur dari material plastik tersebut.
- c. *Screw*, berada di dalam barrel yang berfungsi sebagai pengaduk dan pendorong (*pressure*) material plastik yang sudah cair ke dalam  *mold*.
- d. *Valve unit*, yaitu bagian yang berfungsi sebagai penutup pada ujung *screw* sehingga material plastik yang sudah cair dapat ditekan keluar untuk proses pengisian dan menghambat agar tidak kembali ke  *barrel*.
- e. *Nozzle*, yaitu bagian yang berfungsi sebagai jalan keluar material plastik yang sudah mencair menuju rongga cetakan.
- f. Motor dan *Transmission Gear Unit*

Bagian ini berfungsi sebagai penghasil daya untuk memutar *screw*, sedangkan transmisi unit berfungsi sebagai pemindah daya dari putaran motor ke putaran *screw*, dan sebagai pengatur tenaga yang disalurkan supaya tidak terjadi pembebanan terlalu besar.

### 2.2.7 Sifat Mekanis Material

Sifat mekanis material merupakan kemampuan suatu bahan untuk menerima beban atau energi atau gaya tanpa menimbulkan kerusakan, ketelitian dan memperoleh hasil yang sesuai dengan standar tertentu. Hasil yang dicapai yaitu mendapatkan ketepatan dan ketelitian dalam pengujian spesimen sebagai acuan baik dari segi kuantitas maupun kualitas dalam proses produksi masal. Berikut yang termasuk dalam pengujian mekanis terhadap material adalah sebagai berikut:

#### a. Uji Tarik (*Tensile Test*)

Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu material untuk mengetahui sifat – sifat mekanis suatu material. Mengetahui seberapa besar spesimen bekerja terhadap kekuatan tarik dan seberapa besar spesimen menjadi panjang setelah menerima pembebanan sama besar pada sumbu kedua spesimen tersebut.

Berdasarkan Hukum Hooke (Hooke's laws) bahwa pada uji tarik dikatakan daerah linier yaitu hubungan perbandingan lurus antara besarnya gaya yang diperoleh dengan perbedaan panjang spesimen setelah ditarik. Perbandingan nilai tegangan dengan nilai regangan menghasilkan nilai yang tetap. Dalam pengujian ini penulis menggunakan standar ISO 572-1, rumus – rumus dari pengujian tarik adalah sebagai berikut:

#### 1. Tegangan tarik ( $\sigma$ )

Besarnya tegangan tarik dari material *polypropylene* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

$\sigma$  = Tegangan tarik (MPa)

F = Beban tarik maksimum (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

## 2. Regangan

Besarnya regangan tarik diperoleh dari pembagian perpanjangan (*gauge length*) dengan panjang awal. Besar regangan dapat dirumuskan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_o}{L_o} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = Regangan (mm)

$\Delta L_o$  = Perubahan panjang keseluruhan (mm)

$L_o$  = Panjang awal (mm)

## 3. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \times 100 \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

$E$  = Modulus elastisitas (MPa)

$\sigma_1$  = Tegangan bawah

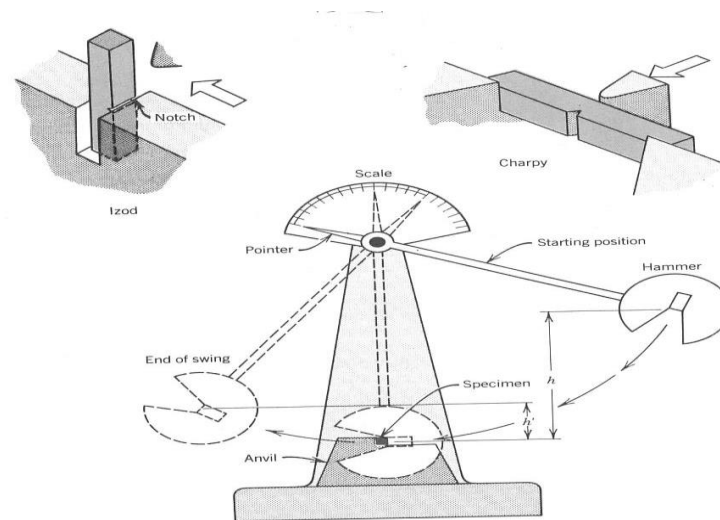
$\sigma_2$  = Tegangan atas

$\varepsilon_1$  = Regangan bawah

$\varepsilon_2$  = Regangan atas

### b. Uji Impak (*Impact Test*)

Uji impak merupakan pengujian material untuk mendapatkan kualitas ketahanan terhadap beban kejutan, mengetahui sifat liat, dan mengetahui energi yang dibutuhkan pada saat mematahkan batang spesimen dalam sekali pukul. Metode pengujian impak ada dua model yaitu metode *charpy* dan metode *Izod* dengan takikan V (*V-notch*) maupun tanpa takikan pada spesimen yang disesuaikan dengan standar pengujian bahan tersebut.



**Gambar 2.4.** Skema alat uji impact, prinsip kerja metode *izod* dan metode *charpy*.  
(Tim Laboratorium Material Teknik, 2015)



**Gambar 2.5.** Bentuk spesimen uji impact dengan takikan  
Sesuai standar ISO 179-1. (Standar ISO 179-1, 2000)

Dimensi spesimen :

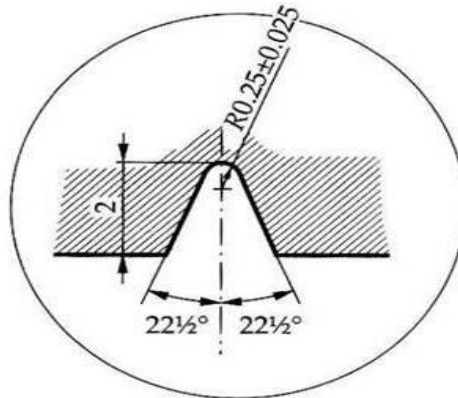
Panjang = 80 mm

Lebar = 10 mm

Tebal = 4 mm

Kedalaman takikan = 2 mm

Takikan = 45°



**Gambar 2.6.** Bentuk dan ukuran takikan impact  
(Standar ISO 2818 type A)

Takikan digunakan untuk memberikan titik fokus patah dan menjadikan spesimen lebih sensitif untuk patah.

#### 1. Luas Penampang

Luas Penampang adalah bagian spesimen yang diukur setelah pengujian. Persamaannya sebagai berikut :

$$A = L \times T \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

A = Luas patahan (mm<sup>2</sup>)

L = Lebar spesimen (mm)

T = Tebal spesimen (mm)

#### 2. Energi yang di serap

Selain itu juga pengujian impact ini juga dapat mengetahui berapa energi yang diserap oleh spesimen. Persamaannya sebagai berikut :

$$E = M \cdot g \cdot (h-h') \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

E = Energi (joule)

M = Massa pendulum (kg)

h = Tinggi jatuh (m)

h' = Tinggi ayun (m)

## 2.2.8 Fraktografi

### Pengujian Optik Digital

Gambar 2.7 merupakan mikroskop optik OLYMPUS-SZ61TR yang berada di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.



**Gambar 2.7.** Mikroskop optik OLYMPUS-SZ61TR

Mikroskop merupakan salah satu alat yang biasa digunakan untuk mengamati objek berukuran kecil dengan cara memperbesar bayangan objek hingga berkali-kali lipat, bayangan objek yang diamati dapat diperbesar 40 kali, 100 kali, 400 kali, bahkan 1000 kali. Perbesaran yang mampu dijangkau semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi. Bagian-bagian dari mikroskop optik secara lebih lengkap terdapat pada Gambar 2.8. Berikut bagian-bagian utama mikroskop optik:



**Gambar 2.8.** Bagian-bagian mikroskop optik.

([http://www.microscope.com//stereo\\_components.jpg](http://www.microscope.com//stereo_components.jpg))