

**PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK CHARPY  
UNTUK MATERIAL KOMPOSIT BERPENGUAT  
SERAT ALAM (*NATURAL FIBER*)**

Skripsi



**BENY PUTRANTO  
I 1307004**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**  
*complete user*  
**2011**

**PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK CHARPY  
UNTUK MATERIAL KOMPOSIT BERPENGUAT  
SERAT ALAM (*NATURAL FIBER*)**

**Skripsi**

Sebagai Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**BENY PUTRANTO**

**I 1307004**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

*com/2011/user*

## ABSTRAK

**Beny Putranto, NIM: I1307004. PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK CHARPY UNTUK MATERIAL KOMPOSIT BERPENGUAT SERAT ALAM (NATURAL FIBER). Skripsi. Surakarta: Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Oktober 2011.**

Pengujian impak merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah merancang alat uji impak Charpy untuk pengujian material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fiber*). Alat uji Impak yang dirancang menggunakan standar ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.

Perancangan alat uji impak Charpy menggunakan metodologi umum perancangan produk. Metodologi perancangan didapatkan dengan melihat pada alat uji yang dijual di pasaran. Pengkombinasian standar ASTM dengan kebutuhan pengguna dan dibandingkan dengan alat uji yang sudah ada menghasilkan spesifikasi perancangan alat uji. Pemilihan bahan dilakukan dengan perhitungan kekuatan bahan dengan memperhatikan ketersediaan bahan di pasaran. Untuk pengujian alat menggunakan spesimen papan partikel yang mewakili komposit *natural fiber*.

Penelitian ini menghasilkan alat uji impak Charpy yang dapat mendukung penelitian maupun praktikum di area material teknik khususnya material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fiber*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa rancangan alat uji impak Charpy telah memenuhi aspek keterulangan data kuantitatif dalam pengujian. Alat uji impak selalu konsisten dalam menguji meskipun dengan ketebalan spesimen yang berbeda-beda dengan jenis bahan yang sama.

**Kata kunci:** Komposit, *natural fiber*, ASTM, impak Charpy.

xvi + 92 halaman, 10 tabel, 48 gambar, 3 lampiran  
Daftar pustaka: 31 (1982-2010)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	ii
<b>LEMBAR VALIDASI</b>	iii
<b>SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA ILMIAH</b>	iv
<b>SURAT PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b>	v
<b>KATA PENGANTAR</b>	vi
<b>ABSTRAK</b>	viii
<b>ABSTRACT</b>	ix
<b>DAFTAR ISI</b>	x
<b>DAFTAR TABEL</b>	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-3
1.3 Tujuan Penelitian	I-3
1.4 Manfaat Penelitian	I-3
1.5 Batasan Masalah	I-4
1.6 Asumsi Penelitian	I-4
1.7 Sistematika Penulisan	I-4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Pengujian Impak	II-1
2.1.1 Sejarah Pengujian Impak	II-1
2.1.2 Prinsip Pengujian	II-4
2.1.3 Metode Pengujian Impak	II-5
2.2 Alat Uji Impak	II-8
2.2.1 Pendulum	II-8
2.2.2 Bantalan ( <i>Bearing</i> )	II-15
2.2.3 Poros	II-16
2.3 Rancangan Alat Uji Impak yang Sudah Ada	II-18

2.4	Komposit	II-12
2.4.1	Jenis-Jenis Komposit	II-20
2.4.2	Bahan Penyusun Komposit	II-22
2.4.3	<i>Natural Fibre</i>	II-24
2.5	Perancangan Eksperimen Pada Alat Uji Impak	II-25
2.5.1	Uji Normalitas	II-27
2.5.2	Uji Homogenitas	II-29
2.5.3	ANOVA	II-31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>		
3.1	Identifikasi Masalah	III-3
3.2	Perumusan Masalah	III-3
3.3	Tujuan Penelitian	III-3
3.4	Pengumpulan Data	III-4
3.5	Identifikasi Kebutuhan Alat Uji Impak	III-5
3.6	Penyusunan Konsep Perancangan Alat Uji Impak	III-5
3.7	Perancangan Spesifikasi Alat Uji Impak	III-6
3.8	Pembuatan Alat Uji Impak	III-6
3.9	Pengujian Alat Uji Impak	III-6
3.10	Analisis Perancangan Alat Uji Impak	III-7
3.11	Kesimpulan dan Saran	III-7
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA</b>		
4.1	Deskripsi masalah	IV-1
4.1.1	Identifikasi Alat Uji Impak ASTM D 5942-96	IV -2
4.1.2	Identifikasi Alat Uji Impak ASTM D 6110-97	IV -4
4.1.3	Identifikasi Kebutuhan Alat Uji Impak Oleh Pengguna	IV -5
4.2	Konsep Perancangan Alat Uji Impak	IV -6
4.3	Perancangan Spesifikasi Alat Uji Impak	IV-11
4.3.1	Perancangan Pendulum	IV-11
4.3.2	Pemilihan Bantalan	IV-27
4.3.3	Perancangan Poros	IV-29
4.3.4	Perancangan Rangka dan Spesimen Uji	IV-34

4.3.5 Perancangan Desain Indikator	IV-39
4.4 Pengujian Data Hasil Uji Impak	IV-38
4.3.1 Perhitungan Nilai Impak Komposit	IV-41
4.4.2 Uji Normalitas Data	IV-42
4.4.3 Uji Homogenitas	IV-45
4.4.4 Uji Anova	IV-48
<b>BAB V ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL</b>	
5.1 Analisis Rancangan	V-1
5.2 Analisis data Hasil Pengujian Impak	V-6
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
6.1 Kesimpulan.	VI-1
6.2 Saran.	VI-1
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	



# BAB I

## PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan beberapa hal pokok mengenai penelitian ini, yaitu latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

### 1.1 LATAR BELAKANG

Penggunaan bahan komposit sebagai alternatif pengganti bahan logam dalam bidang rekayasa sudah semakin meluas. Hal ini dikarenakan oleh adanya keuntungan penggunaan bahan komposit seperti konstruksi menjadi lebih ringan, tahan korosi dan kekuatannya dapat didesain sesuai dengan arah pembebanan. Munculnya isu permasalahan limbah *non-organik* serat sintesis yang semakin bertambah mampu mendorong perubahan teknologi komposit menuju komposit alam (*natural composite*) yang ramah lingkungan. Komposit serat alam (*natural fiber*) adalah material *natural composite* yang terdiri dari dua atau lebih bahan organik yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis melalui proses kimiawi dengan zat pencampur (Hariyanto, 2007).

Penggunaan bahan-bahan komposit secara tepat dan efisien membutuhkan pengetahuan yang luas akan sifat-sifat mekaniknya. Pengujian bahan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik bahan atau cacat pada bahan/produk, sehingga pemilihan bahan dapat dilakukan dengan tepat untuk suatu keperluan. *American Society for Testing and Materials* (ASTM) telah menerbitkan standar mengenai cara melakukan pengujian secara lengkap serta batasannya yang telah disetujui oleh para insinyur dan ilmuwan, sehingga hasil-hasil pengujian harus sesuai dengan setiap klasifikasi suatu bahan tertentu. ASTM didirikan pada tahun 1898, yang merupakan badan standarisasi internasional yang mengangkat prosedur standar untuk pengembangan teknologi.

Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret, berupaya melakukan beberapa penelitian tentang material komposit. Untuk mendukung penelitian tersebut, pihak Jurusan Teknik Industri baik dosen maupun mahasiswa memerlukan suatu alat uji sebagai suatu alat ukur untuk membantu mengetahui

karakteristik mekanik material yang sedang diteliti. Salah satu alat uji yang diperlukan adalah alat uji impak.

Pengujian impak merupakan suatu pengujian untuk mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Pengujian impak mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba (Yuwono, 2009). Pengujian impak ada dua jenis, yaitu pengujian impak Charpy dan pengujian impak Izod. Perbedaan pengujian impak Charpy dengan Izod adalah pada peletakan spesimennya. Pengujian impak Charpy menggunakan ukuran spesimen tertentu yang sudah diatur dalam standar ASTM, sedangkan pada impak Izod lebih ditekankan pada pengujian produk jadi atau pengujian spesimen dengan karakteristik tertentu, seperti *polymers*, dimana material ini memiliki nilai *elongation* yang cukup tinggi. Pengujian dengan menggunakan impak Charpy lebih akurat daripada dengan menggunakan impak Izod, karena pada impak Izod, pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu diserap material seutuhnya.

Pada saat ini, instansi yang telah memiliki alat uji impak untuk komposit *natural fiber* ini adalah Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Alat uji impak yang dimiliki universitas ini adalah alat uji impak Charpy yang memiliki kekuatan maksimal 8,1 Joule. Dalam melakukan penelitian tentang bahan komposit, Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret belum mempunyai alat uji impak untuk bahan komposit. Penelitian sebelumnya juga dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Dengan mempertimbangkan perihal prosedural dan biaya penelitian, maka pihak Jurusan Teknik Industri berinisiatif untuk memiliki alat uji sendiri. Namun dikarenakan harga alat uji Impak Charpy ini yang sangat tinggi serta tuntutan kebutuhan Laboratorium Statistik dan Kualitas untuk menunjang praktikum material teknik, maka pihak jurusan ingin merancang alat uji sendiri.

Alat uji yang dirancang dalam penelitian ini adalah alat uji impak Charpy karena seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pengujian dengan menggunakan impak Charpy lebih akurat daripada dengan menggunakan impak Izod. Selain itu, pemilihan impak Charpy juga didasarkan pada kebutuhan Jurusan Teknik Industri,

Universitas Sebelas Maret, yang tidak mendasarkan kebutuhan pada pengujian produk jadi atau material dengan karakteristik tertentu, tetapi didasarkan pada kebutuhan alat uji impak untuk penelitian material komposit *natural fiber*. Dalam proses perancangan alat uji impak Charpy ini menggunakan standart *American Society for Testing and Materials* (ASTM), yaitu ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97. Standart tersebut menjelaskan mengenai prosedur pangujian dan ukuran spesimen yang diperlukan dalam uji impak Charpy pada bahan plastik, tetapi dapat dipergunakan juga dalam pengujian komposit, terutama untuk jenis komposit *natural fiber*. Hal ini juga didasarkan pada kekuatan impak maksimal yang berkisar 2,7 Joule yang dijelaskan dalam ASTM D 6110-97, sehingga akan didapatkan nilai ketelitian (*accuracy*) yang lebih baik, jika dibandingkan standart ASTM untuk dalam pengujian impak untuk material logam (ASTM E-23). Dalam merancang alat uji impak Charpy ini, yang diperhatikan adalah ketelitian (*accuracy*) dan keterulangan (*precision*). Selain merancang dan menghitung kekuatan konstruksi untuk mendapatkan nilai ketelitian, penelitian ini juga menguji, apakah rancangan alat uji impak ini juga mampu memenuhi aspek keterulangannya.

## 1.2 PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, perumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimanakah merancang alat uji impak Charpy yang digunakan pada pengujian material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fibre*) dengan memperhatikan ketelitian (*accuracy*) dan keterulangan (*precision*) dan menggunakan acuan standart ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah merancang alat uji impak Charpy untuk pengujian material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fiber*).

#### 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Alat uji impak Charpy yang dihasilkan dapat mendukung penelitian maupun praktikum di area material teknik khususnya material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fiber*).
2. Menambah peralatan laboratorium teknik industri UNS, khususnya untuk praktikum material teknik.

#### 1.5 BATASAN PENELITIAN

Batasan penelitian ini adalah:

1. Alat uji impak Charpy yang dirancang ini dibuat dengan menggunakan standart ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.
2. Komposit yang menjadi acuan dalam penelitian ini adalah material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fiber*), tetapi dapat juga digunakan material *fiberglass*. Kekuatan impak untuk *natural fiber* yang tertinggi adalah setara dengan kekuatan impak material *fiberglass*.

#### 1.6 ASUMSI

Asumsi penelitian ini adalah kekuatan maksimal impak Charpy yang dihasilkan adalah dengan melihat pada kekuatan impak untuk material *fiberglass*.

#### 1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan pada penyusunan laporan tugas akhir, seperti diuraikan di bawah ini.

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang dan identifikasi masalah yang diangkat dalam perancangan alat uji impak Charpy, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah, penetapan asumsi-asumsi serta sistematika penulisan yang digunakan dalam perancangan alat uji impak pada material komposit.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memberi penjelasan secara terperinci mengenai teori-teori yang digunakan sebagai landasan pemecahan masalah dalam perancangan alat uji impak.

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisikan gambaran terstruktur tahap-tahap proses pelaksanaan penelitian dan tahapan pengerjaan pengolahan data yang digambarkan dalam diagram alir (*flow chart*)

**BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini berisi uraian mengenai data-data penelitian yang digunakan dalam proses pengolahan data sesuai dengan langkah-langkah pemecahan masalah yang dikembangkan pada bab sebelumnya.

**BAB V ANALISIS & INTERPRETASI HASIL**

Bab ini berisi tentang analisis dan interpretasi hasil terhadap pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan.

**BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan kesimpulan yang diperoleh dari analisis pemecahan masalah maupun hasil pengumpulan data serta saran-saran perbaikan atas permasalahan yang dibahas.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan tentang landasan teori dan kajian pustaka yang digunakan untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan.

#### **2.1 PENGUJIAN IMPAK**

Pengujian impak merupakan suatu pengujian yang mengukur ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impak dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impak merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba (Yuwono, 2009).

##### **2.1.1 Sejarah Pengujian Impak**

Pengujian impak Charpy memerlukan biaya yang rendah yang digunakan untuk mengetahui keuletan material tertentu. Sekitar tahun 1900-1960 teknologi pengujian impak mencapai tingkat akurasi dan reproduktifitas yang digunakan sebagai metode uji standar (Siewert, 2000).

Selama bertahun-tahun, para peneliti telah mempelajari bahwa hasil yang diperoleh dari uji impak bergantung pada ukuran geometri takik spesimen, dan juga geometri dari landasan dan *striker*. Selain faktor tersebut, hasil pengujian impak juga tergantung pada variabel lainnya seperti kecepatan impak, energi yang hilang untuk saat pengujian, dan gesekan bearing.

Publikasi awal pada pembebanan pada bahan adalah sebuah pendapat teoritis oleh Tredgold pada tahun 1824 pada kemampuan besi cor untuk menahan tekanan. Kendala yang dihadapi di lapangan mengakibatkan beberapa peneliti berspekulasi bahwa beban yang terkena dampak impak berbeda dari beban statis. Banyak percobaan dengan uji impak dilakukan pada produk-produk tertentu, seperti pipa atau as roda. Percobaan tersebut menjadi acuan dasar untuk pengujian impak yang berbeda untuk jenis bahan konstruksi, seperti perbandingan besi tempa untuk besi ulet.

*commit to user*

Pada 1849, Inggris membentuk komisi untuk mempelajari penggunaan besi di industri rel kereta api, yang dimulai dengan mempertimbangkan pendekatan praktis untuk pengujian impact. Pada tahun 1857, Kapten Rodman merancang mesin untuk mengetahui karakterisasi baja, dan selama periode tiga puluh tahun berikutnya, mesin ini telah banyak digunakan dalam pengujian baja kereta api dan kualifikasi produk baja. Pengujian awal pada mesin ini dilakukan dengan tidak menggunakan takik atau retakan pada bahan spesimen yang diuji. Pada saat itu pengujian berhasil dengan baik untuk bahan rapuh di mana inisiasi retak diketahui, sementara ketika dilakukan pada bahan ulet hanya terjadi kebengkokan. Le Chatalier memperkenalkan penggunaan spesimen bertakik ketika melakukan pengujian pada tahun 1892. Dari pengujian tersebut ditemukan bahwa beberapa baja yang menunjukkan perilaku ulet atau bengkok tanpa retak di sebuah spesimen tertentu yang menggunakan takik. Dari pengujian tersebut diketahui bahwa penambahan takik adalah penting untuk perbaikan dalam metode pengujian.

Pada periode tahun 1895-1922 ini sejumlah badan standarisasi nasional dan internasional dibentuk, yang mengangkat prosedur standar untuk pengembangan teknologi, termasuk pengujian impact. Salah satu badan standar tersebut adalah *American Society for Testing and Materials* yang didirikan pada tahun 1898. Selain ASTM, *International Association for Testing Materials*, resmi didirikan pada tahun 1901, tapi badan standarisasi ini (IATM) tidak berkembang. Kedua badan standar tersebut memiliki hubungan kerja yang baik dan Presiden ASTM, Prof. H. M. Howe, juga bertugas di dewan IATM saat itu.

Pada tahun 1902, hanya empat tahun setelah berdirinya ASTM, dibentuk sebuah komite untuk pengembangan pengujian impact. Pada saat itu diterbitkan bibliografi pengujian impact pada mesin, volume kedua ASTM. Pada bibliografi ini terdaftar lebih dari 100 makalah baru pada pengujian impact yang diterbitkan di Amerika Serikat, Perancis, dan Jerman.

Komisi IATM terus melakukan penelitian yang membahas dampak kekurangan dalam teknik pengujian impact, hingga melakukan pengembangan dalam prosedur pengujian. Perancis melihat peluang untuk standar uji impact untuk pembangunan infrastruktur, dan peneliti Perancis memberikan banyak data

tentang efek dari variabel prosedur dan kontributor paling produktif ke IATM antara tahun 1901 dan 1912. Pada waktu itu perwakilan dari Perancis, G. Charpy, yang menjadi ketua kegiatan pengujian impak setelah kongres IATM di Brussels pada tahun 1906, dan memimpin beberapa penelitian tentang prosedur pengujian impak untuk menetapkan metode standar uji impak Charpy.

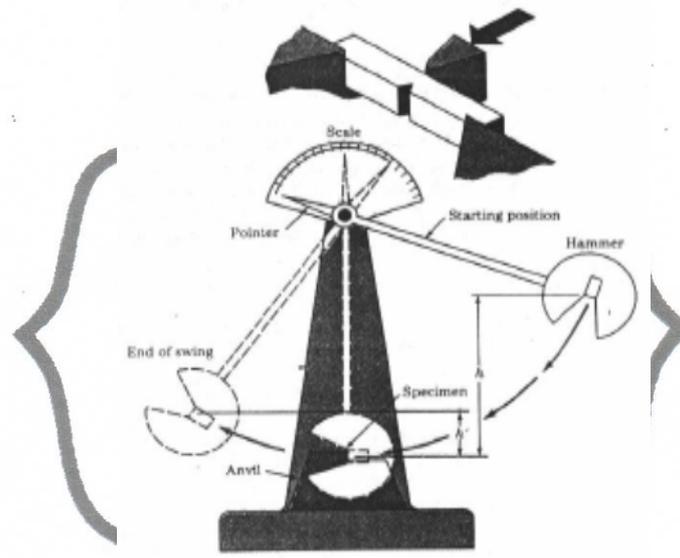
Dalam makalah Russell yang diterbitkan pada tahun 1897 di *American Society of Civil Engineers* dipaparkan beberapa percobaan dengan mesin baru untuk pengujian bahan dengan impak. Mesin ini digunakan untuk mengetahui penyerapan energi saat dilakukan uji impak, untuk itu, diperlukan alat uji dalam bentuk pendulum yang diatur sedemikian rupa yang dilepaskan dari posisi kesetimbangan. Saat dilepaskan dari posisi vertikal, pendulum tersebut memotong batang uji dan kemudian naik bebas karena pengaruh kecepatan. Perbedaan antara tinggi awal dan ketinggian akhir dari pendulum memungkinkan evaluasi kerja yang diserap oleh putusannya spesimen uji.

Pada tahun 1905, Charpy telah mengusulkan desain mesin dan literatur berisi referensi pertama untuk uji dan metode Charpy. Dia terus mengembangkan penelitian ini sampai dengan tahun 1914. Sejumlah prosedur juga sedang diteliti pada saat itu. Pada tahun 1907, *German Association for Testing Material* diadopsi dan dikembangkan oleh Ehrensberger. Selanjutnya dilakukan pengembangan oleh produsen dengan menawarkan tiga jenis utama; *Drop Weight* (Fremont, Hatt-Turner, dan Olsen), Pendulum Impak (Amsler, Charpy, Dow, Izod, Olsen, dan Russell), dan *Flywheel* (Guillery).

Pada saat itu adalah masa di mana konfigurasi ukuran mendekati saat ini. Awalnya, dua ukuran spesimen standar yang paling populer. Untuk yang lebih kecil memiliki penampang sebesar 10 mm, panjang sekitar 53 mm, dengan takik 2 sampai dengan 5 mm. Semakin besar takik, awalnya lebih populer untuk ukuran spesimen. Hal ini untuk mengurangi tersebarnya data dan kesulitan memproduksi radius takik kecil pada spesimen yang lebih kecil. Selanjutnya, akhirnya dipilih spesimen yang lebih kecil karena biaya yang lebih rendah dan tidak semua struktur cukup tebal untuk menghasilkan spesimen yang lebih besar.

### 2.1.2 Prinsip Pengujian

Dasar pengujian impact ini adalah penyerapan energi potensial dari pendulum beban yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi (Yuwono, 2009). Standar pengujian impact Charpy berdasarkan ASTM D-5942. Ilustrasi pengujian impact Charpy digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 2.1.** Ilustrasi Skematis Pengujian Impact Charpy  
Sumber : Yuwono, 2009

Pada pengujian impact ini banyaknya energi yang diserap oleh bahan untuk terjadinya perpatahan merupakan ukuran ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Pada Gambar 2.1 diatas dapat dilihat bahwa setelah benda uji patah akibat deformasi, bandul pendulum melanjutkan ayunannya hingga posisi 'h'. Bila bahan tersebut tangguh yaitu makin mampu menyerap energi lebih besar maka makin rendah posisi 'h'. Suatu material dikatakan tangguh bila memiliki kemampuan menyerap beban kejut yang besar tanpa terjadinya retak atau terdeformasi dengan mudah. 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 (Yuwono, 2009).

Besarnya energi yang diperlukan pendulum untuk mematahkan spesimen material komposit adalah (Shackelford, 1992):

$$E \text{ serap} = W \times R (\cos \beta - \cos \beta') \dots \dots \dots (2.1)$$

keterangan:

- $W$  : Berat beban/pembentur (N)  
 $R$  : Jarak antara pusat gravitasi dan sumbu pendulum (m)  
 $E$  : Energi yang terserap (Joule)  
 $\alpha$  : Sudut pendulum sebelum diayunkan  
 $\beta$  : Sudut ayunan pendulum setelah mematahkan spesimen  
 $\beta'$  : Sudut ayunan pendulum tanpa spesimen

Setelah diketahui besarnya energi yang diperlukan pendulum untuk mematahkan spesimen, maka besarnya kekuatan/energi impact dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Shackelford, 1992):

Harga impact ( $HI$ ) suatu bahan yang diuji dengan metode Charpy dirumuskan:

$$HI = \frac{E}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

keterangan:

- $E$  : Energi yang diserap (Joule)  
 $A$  : Luas penampang di bawah takik ( $\text{mm}^2$ )

### 2.1.3 Metode Pengujian Impact

Metode pengujian impact untuk material komposit dilakukan dengan Charpy dan Izod.

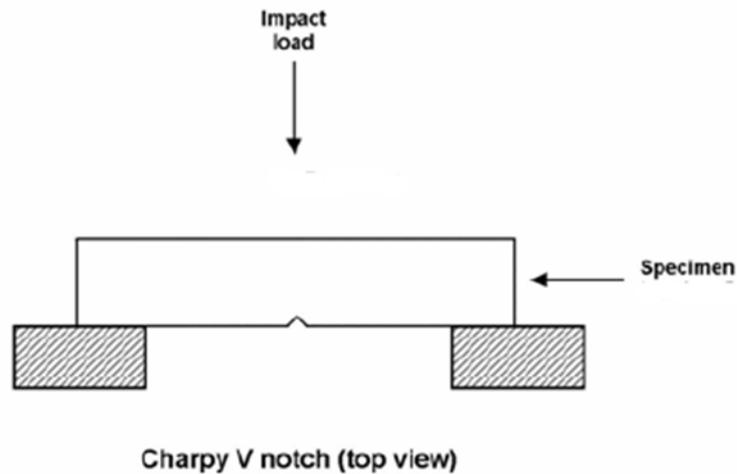
#### A. Charpy

Metode pengujian impact Charpy menggunakan standar ASTM D 5942-96. Standar pengujian ASTM D 5942-96 menjelaskan prosedur untuk menentukan kekuatan impact Charpy pada material uji berbahan komposit. Pengujian ini digunakan untuk meneliti perlakuan pada spesimen uji komposit saat dilakukan pengujian impact untuk mengetahui kegetasan dan keuletan spesimen dalam batas tertentu.

Spesifikasi dalam pengujian menggunakan ukuran dari spesimen yang diuji. Faktor-faktor seperti, besar energi dari pendulum, kecepatan impact, dan kondisi dari spesimen akan mempengaruhi hasil pengujian. Faktor-faktor tersebut harus dikontrol dengan baik.

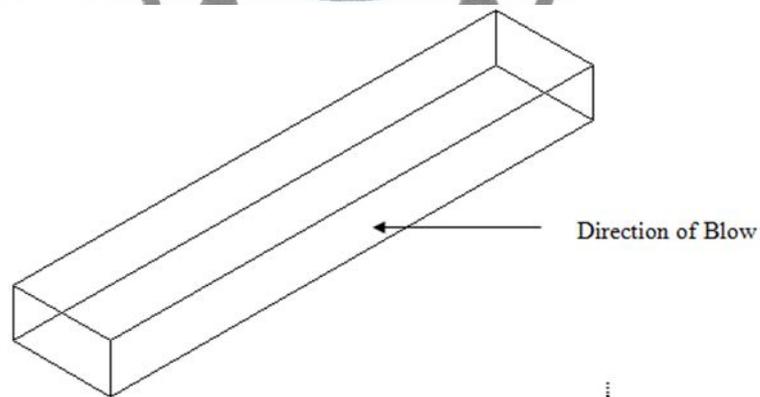
Pada pengujian impact Charpy, spesimen uji pada kedua ujungnya ditahan oleh *anvil* kemudian dipukul dari arah belakang takikan. Takik berfungsi untuk

mengkonsentrasikan tegangan saat terjadi perpatahan, meminimalkan deformasi plastis, dan meneruskan perpatahan pada bagian belakang takik spesimen uji.



**Gambar 2.2.** Pengujian Impak Charpy  
Sumber : Yuwono, 2009

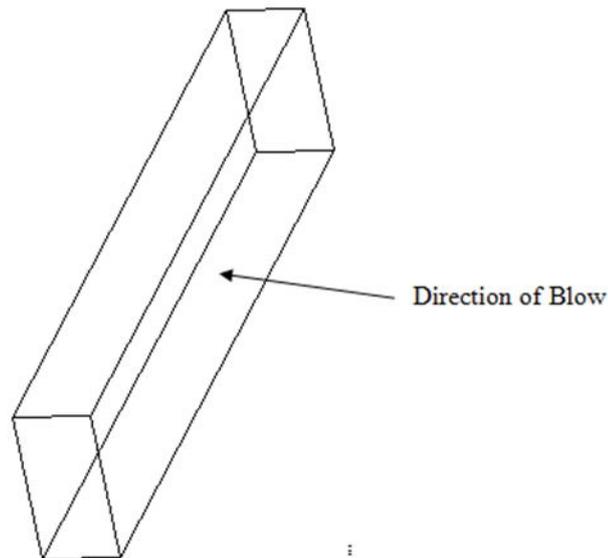
Dalam ASTM D 5942-96, penggunaan takik untuk spesimen uji tidak diharuskan. Untuk spesimen yang tidak menggunakan takik arah pemukulan dari pendulum dari arah *flatwise* atau *edgewise*. Gambar 2.3 dibawah menjelaskan arah pemukulan *edgewise*.



**Gambar 2.3.** *Edgewise Direction of Blow*  
Sumber : ASTM D 5942-96

Untuk arah pemukulan *flatwise* digunakan untuk spesimen dengan menggunakan dua takik dan yang tidak menggunakan takik. Untuk penggunaan takik tunggal dalam spesimen adalah tidak direkomendasikan dalam ASTM D 5942-96. Gambar 2.4 dibawah menjelaskan arah pemukulan *flatwise*.

*commit to user*

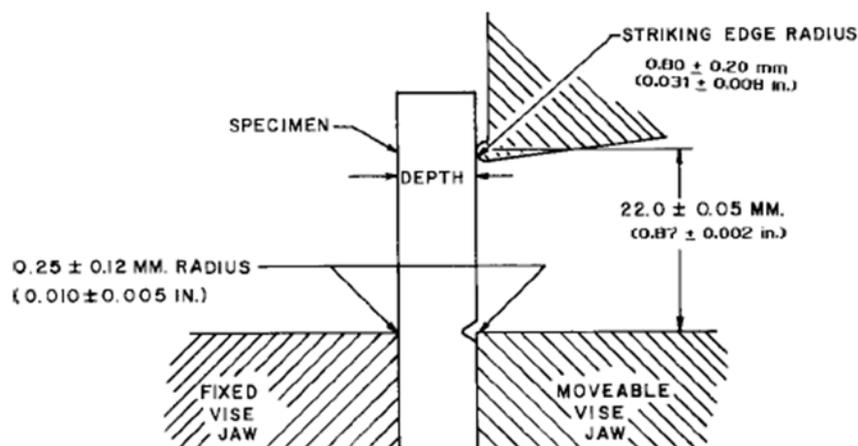


**Gambar 2.4.** Flatwise Direction of Blow  
Sumber : ASTM D 5942-96

Pengujian impact Charpy memerlukan kondisi lingkungan yang sesuai. Dalam ASTM D 618 dijelaskan bahwa pada waktu pangujian suhu ruangan berkisar  $23 \pm 2^{\circ} \text{C}$  dengan kelembaban (*humidity*)  $50 \pm 5 \%$ .

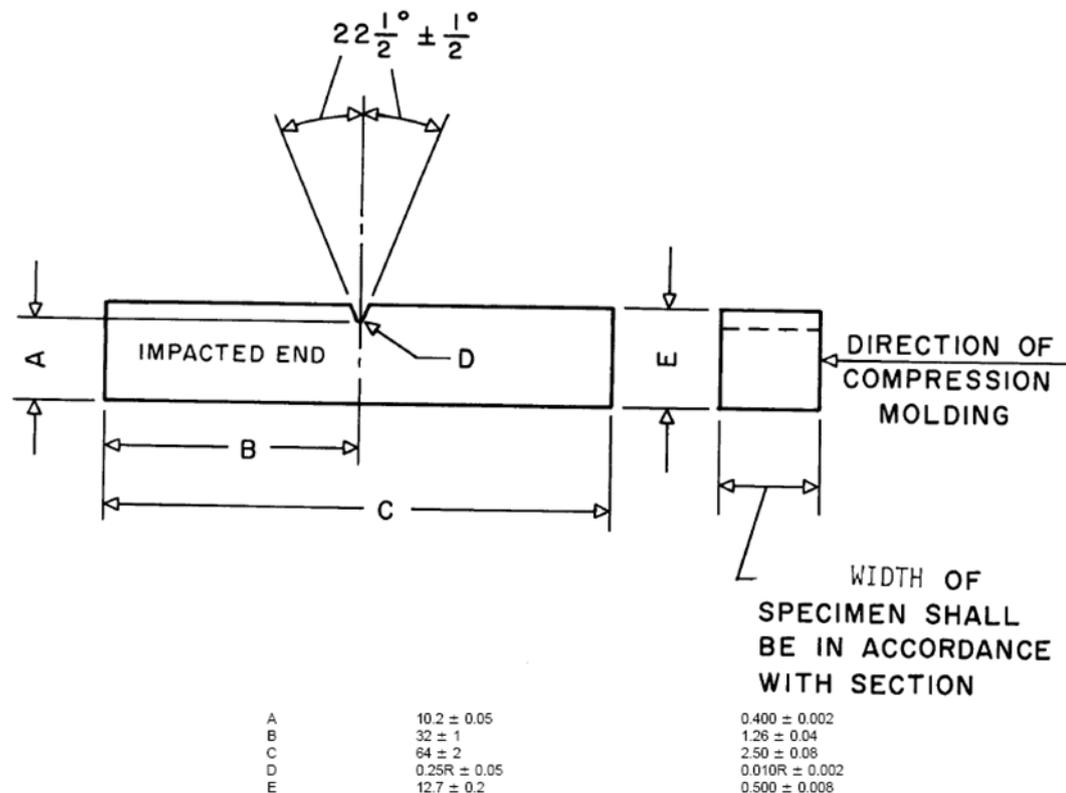
### B. Izod

Pada pengujian dengan Izod, spesimen uji dipasang vertikal dan dijepit salah satu ujungnya. Pemukulan oleh pendulum dilakukan dari arah depan. Pengujian Izod menggunakan standar ASTM D 256-97. Dalam pengujian ini, spesimen uji yang digunakan menggunakan *notch*. *Notch* berfungsi untuk mengkonsentrasikan tegangan yang terjadi pada spesimen sehingga patahnya merata dan tidak rusak saat dilakukan pengujian impact.



**Gambar 2.5.** Pengujian Impact Izod  
Sumber : ASTM D 256-97

ASTM D 256-97 memberikan standar untuk dimensi spesimen uji yang digunakan, yang ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah.



Gambar 2.6. Spesimen Izod

Sumber : ASTM D 256-97

## 2.2 ALAT UJI MPAK

### 2.2.1 Pendulum

Dari pengujian uji impak diatas, pendulum merupakan komponen utama. Oleh karena itu perancangan pendulum dalam perancangan alat uji impak Charpy merupakan salah satu bagian yang penting. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan pendulum adalah sebagai berikut:

#### A. Prinsip ayunan matematis dan ayunan fisis

Ayunan matematis disebut juga ayunan sederhana didefinisikan sebagai sebuah benda yang tergantung pada suatu titik tetap dari seutas tali yang tidak mempunyai berat dan tidak dapat bertambah panjang. Ayunan fisis berbeda dari dengan ayunan matematis. Ayunan fisis adalah benda yang berputar terhadap

poros, tergantung pada sebuah tali yang berbobot (Zemansky, 1962). Prinsip yang dipakai dalam alat uji impak Charpy adalah prinsip ayunan fisis dimana lengan dianggap sebagai tali yang berbobot untuk menahan berat dari pendulum.

### B. Rumusan benda jatuh bebas

Pendulum pada alat uji impak Charpy dijatuhkan dari keadaan diam. Percepatannya akan konstan selama jatuh. Efek gesekan udara dan berkurangnya percepatan akibat tinggi letak diabaikan, gerak semacam ini dinamakan gerak jatuh bebas. Percepatan benda jatuh bebas diakibatkan gaya berat benda (pendulum), dalam ilmu diberi simbol 'g' seharga kira-kira  $32 \text{ fts}^{-2}$  atau  $9,81 \text{ ms}^{-2}$ , sehingga berat pendulum (Zemansky, 1962):

$$W = m \times g \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- $W$  : Berat pendulum ( $\text{kg m/s}^{-2}$ )
- $m$  : massa pendulum (kg)
- $g$  : percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^{-2}$ )

### C. Massa jenis

Dalam perancangan pendulum massa jenis diperlukan untuk menghitung volume pendulum. Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis lebih tinggi, misalnya besi, akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah, misalnya air.

Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat. Setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Dan satu zat berapapun massa dan volumenya akan memiliki massa jenis yang sama. Rumus untuk menentukan massa jenis adalah:

$$\rho = m / V \dots\dots\dots(2.4)$$

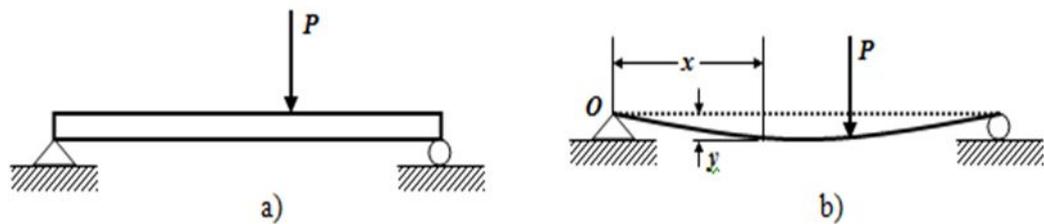
Keterangan:

- $\rho$  : Massa jenis,  $\text{kg/ m}$
- $m$  : Massa pendulum, kg
- $V$  : Volume,  $\text{mm}$

*commit to user*

**D. Defleksi**

Deformasi pada balok dapat dijelaskan berdasarkan defleksi balok dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok. Gambar 2.7 dibawah memperlihatkan balok pada posisi awal sebelum terjadi deformasi dan balok dalam konfigurasi terdeformasi yang diasumsikan akibat aksi pembebanan.



**Gambar 2.7.** Gaya pada Balok, a)Posisi Awal, b)Terdeformasi  
Sumber : Pupov,1996

Jarak perpindahan ‘y’ didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam penerapan, kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai ‘x’ di sepanjang balok. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva atau kurva elastis dari balok. Persamaan defleksi pada balok dengan tumpuan dikenai gaya ‘P’ seperti ditunjukkan pada gambar 2.7.b diatas adalah:

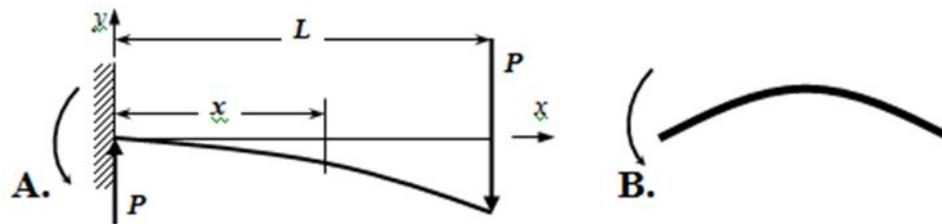
$$V_{max} = \frac{L}{\dots} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

- V<sub>max</sub> : Besarnya defleksi (μm)
- F : Beban poros (N)
- L : Jarak F<sub>1</sub> dengan F<sub>2</sub> (mm)
- E : Modulus elastisitas (Gpa)
- I : Momen inersia (mm<sup>4</sup>)

Persamaan untuk defleksi pada balok gantung yang dikenai gaya tunggal terkonsentrasi ‘P’ dengan dengan pembebanan seperti ditunjukkan pada gambar 2.8 dibawah, adalah:

$$V_{max} = \frac{L}{\dots} \dots\dots\dots(2.6)$$



**Gambar 2.8.** Defleksi Balok Gantung  
Sumber : Pupov,1996

Keterangan:

$V_{max}$  : Besarnya defleksi ( $\mu\text{m}$ )

$F$  : Beban pendulum (N)

$L$  : Jarak  $F_1$  dengan  $F_2$  (mm)

$E$  : Modulus elastisitas (Gpa)

$I$  : Momen inersia ( $\text{mm}^4$ )

### E. Momen Inersia

Dalam mekanika klasik, momentum yang dilambangkan dengan 'P' didefinisikan sebagai hasil perkalian dari massa dan kecepatan, sehingga menghasilkan vektor. Massa merupakan besaran skalar, sedangkan kecepatan merupakan besaran vektor. Perkalian antara besaran skalar dengan besaran vektor akan menghasilkan besaran vektor. Jadi, momentum merupakan besaran vektor. Momentum sebuah partikel dapat dipandang sebagai ukuran kesulitan untuk mendiamkan benda. Sebagai contoh, sebuah truk berat mempunyai momentum yang lebih besar dibandingkan mobil yang ringan yang bergerak dengan kelajuan yang sama. Gaya yang lebih besar dibutuhkan untuk menghentikan truk tersebut dibandingkan dengan mobil yang ringan dalam waktu tertentu.

Momen inersia adalah ukuran kelembaman suatu benda untuk berotasi terhadap porosnya. Besaran ini adalah analog rotasi daripada massa. Momen inersia berperan dalam dinamika rotasi seperti massa dalam dinamika dasar, dan menentukan hubungan antara momentum sudut dan kecepatan sudut, momen gaya dan percepatan sudut, dan beberapa besaran lain. Meskipun pembahasan skalar terhadap momen inersia, Lambang 'I' dan kadang-kadang juga 'J' biasanya digunakan untuk merujuk kepada momen inersia. Momen inersia merupakan momen tahanan yang dimiliki oleh sebuah batang balok maupun batang silindris yang menggunakan dimensinya sebagai dasar perhitungannya. Perhitungan momen inersia diperoleh dengan persamaan (Pupov, 1996):

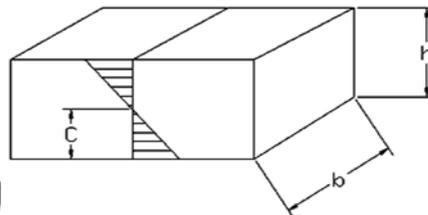
$$I = \frac{bh^3}{12} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

$b$  : Tebal material

$h$  : Tinggi Material

$c$  : Titik berat bidang kontak =  $\frac{1}{2} h$



**Gambar 2.9.** Dimensi Perhitungan Momen Inersia

Sumber : Pupov, 1996

#### F. Kekuatan bahan (*strength of material*)

Dalam perencanaan struktur, semua elemen harus diberikan ukuran tertentu. Ukuran harus diproporsikan cukup kuat untuk memikul gaya yang mungkin terjadi. Setiap elemen struktur juga harus cukup kaku sehingga tidak melengkung atau berubah bentuk (*deformation*) berlebihan pada saat struktur dipakai. Setiap elemen struktur juga tidak boleh terlalu langsing, sehingga tidak kehilangan kestabilan. Jadi perencanaan struktur meliputi penentuan proporsi elemen struktur yang memenuhi kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*) dan stabilitas (*stability*) setiap elemen struktur.

Kekuatan suatu material dapat dilihat menurut :

##### 1. Tegangan.

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Ini diukur dalam bentuk gaya per satuan luas (Alfred, 1983). Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam pound atau newton, dan luas yang menahan dalam inchi persegi atau millimeter persegi. Akibatnya tegangan dinyatakan dalam pound per inchi persegi, yang sering disingkat menjadi psi, atau newton per-milimeter persegi (Mpa). Besarnya gaya persatuan luas pada bahan tersebut disebut sebagai tegangan dan lazimnya ditunjukkan dengan huruf Yunani  $\sigma$  (*sigma*), (Kurniawan, 2000).

*commit to user*

Tegangan didefinisikan dengan rumus.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Tegangan (N/ m<sup>2</sup>)

$F$  : Gaya (N)

$A$  : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

## 2. Regangan

Regangan perpanjangan per satuan panjang (Pupov, 1996). Regangan adalah besaran yang tidak berdimensi atau berdimensi m/m. Semua bagian bahan yang mengalami gaya-gaya luar, dan selanjutnya tegangan dalam akan menjalani perubahan bentuk. Perubahan bentuk total (*total deformation*) yang dihasilkan oleh suatu bahan atau benda dinyatakan dengan huruf Yunani  $\delta$  (*delta*). Jika panjang adalah  $L$ , perubahan bentuk per satuan panjang dinyatakan dengan huruf Yunani  $\varepsilon$  (*epsilon*).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

$\varepsilon$  : Regangan (m/m)

$\Delta L$  : Pertambahan panjang (m)

$L$  : Panjang awal (m)

## G. Modulus elastisitas

Modulus Elastisitas adalah hubungan besaran tegangan tarik dan regangan tarik atau dapat diartikan perbandingan antara tegangan tarik dan regangan tarik. Modulus Elastisitas sangat penting dalam ilmu fisika karena setelah mempelajarinya, dapat digunakan untuk menentukan nilai keelastisan dari sebuah benda. Menurut hukum Hooke, hubungan antara tegangan dan regangan boleh dikatakan linier untuk semua bahan (Pupov, 1996).

Benda-benda elastis akan bersifat elastis sampai ke suatu gaya yang tertentu besarnya, dinamakan batas elastis. Bila gaya yang dikerjakan pada benda melampaui batas elastis benda tersebut maka benda tersebut bisa rusak atau tidak dapat kembali ke bentuk semula atau secara permanen merubah bentuk benda. Akan tetapi, bila gaya yang dikerjakan pada benda tidak melampaui batas elastis

benda tersebut maka benda dapat kembali ke bentuk awalnya atau tidak rusak. Semakin besar nilai modulus elastis suatu bahan, maka semakin besar pula tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan regangan tertentu pada bahan tersebut. Modulus elastis disajikan dengan rumus (Pupov, 1996):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan:

$E$  : Modulus elastis (N/ m<sup>2</sup>)

$\sigma$  : Tegangan (N/ m<sup>2</sup>)

$\epsilon$  : Regangan (m/m)

**H. Gaya sentrifugal**

Pada saat pendulum turun karena gaya gravitasi untuk memukul spesimen terjadi gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal adalah lawan dari gaya sentripetal yang merupakan efek semu yang ditimbulkan ketika sebuah benda melakukan gerak melingkar ,sentrifugal berarti menjahui pusat putaran.

Mengenai gaya sentripetal atau sentrifugal itu sendiri sebenarnya adalah suatu gaya yang dialami oleh benda-benda yang bergerak melingkar mengelilingi sebuah pusat tertentu. Gaya sentripetal adalah gaya yang sebenarnya ada sedangkan sentrifugal hanyalah apa yang kita rasakan sehingga seakan-akan kita mengalami gaya kearah luar.

Jika ada gaya sentrifugal yang bekerja pada benda yang melakukan gerak melingkar, maka hukum I Newton dilanggar. Menurut Hukum I Newton, jika terdapat gaya total pada suatu benda maka benda tersebut berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan laju tetap sepanjang garis lurus. Ketika sebuah benda melakukan gerak melingkar, pada benda tersebut bekerja gaya sentripetal yang arahnya menuju pusat lingkaran. Apabila terdapat gaya sentrifugal yang arahnya menjahui pusat, maka akan terdapat gaya total yang menyebabkan benda bergerak sepanjang garis lurus. Kenyataan yang terjadi, benda tetap melakukan gerak melingkar . Gaya sentrifugal didapatkan dari persamaan (Zemansky, 1962):

$$F_s = m \times v^2/r \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan:

$F_s$  : Gaya Sentrifugal (N)

*commit to user*

$m$  : Massa (kg)  
 $r$  : Jari-jari (m)  
 $v$  : Kecepatan (m/s)

### 2.2.2 Bantalan (*Bearing*)

Bantalan merupakan salah satu bagian dari elemen mesin yang memegang peranan cukup penting karena fungsi dari bantalan yaitu untuk menumpu sebuah poros agar poros dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bantalan harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik (Awan, 2009).

Reabilitas dari mesin memegang peranan yang penting dalam dunia industri. Bantalan memerankan peranan dalam mendukung keandalan dan performa mesin. Terdapat hubungan yang sangat dekat antara pengembangan mesin dan performa bantalan. Selain itu kerusakan mesin sering dihubungkan dengan kerusakan bantalan. Laporan penelitian yang telah dilakukan oleh Schoen (1995) menunjukkan hasil, berbagai penelitian menunjukkan bahwa permasalahan bantalan menyumbang 40 % terhadap kerusakan mesin.

Faktor utama dari kerusakan bantalan adalah kotoran dan korosi. Kotoran dan material asing sering mengkontaminasi bantalan bersamaan dengan pelumasan bantalan. Sedangkan korosi dari bantalan dihasilkan dari keberadaan air, *acid*, kurangnya pelumasan, dan kekurang hati-hatian saat menyimpan serta memasang bantalan. Selain itu permasalahan bearing juga dapat disebabkan oleh pemukulan bantalan pada saat pemasangan bantalan di shaft. Pemukulan ini akan menghasilkan kerusakan fisik pada alur bantalan yang mendorong kerusakan awal bantalan (Sciefer, 2004).

Bantalan digolongkan menjadi bantalan luncur (*sliding contact bearing*) dan bantalan antifriksi (*antifriction contact bearing*). *Sliding contact bearing* juga dikenal sebagai *plain bearing*. Bantalan luncur adalah bantalan dimana bagian yang bergerak dan bagian yang diam mengadakan persinggungan langsung. Bantalan antifriksi adalah bantalan dimana bagian yang bergerak dan yang diam tidak bersinggungan langsung, tapi dengan suatu perantara. Bila perantara tersebut adalah peluru maka disebut bantalan peluru dan bila dengan perantara rol, disebut bantalan rol.

*commit to user*

### A. Bantalan luncur

Bantalan luncur digunakan untuk mendukung poros-poros yang berputar dengan kecepatan tinggi atau pada daerah yang panas, misalnya pada poros engsel pada motor bakar. Bantalan luncur ada beberapa macam, antara lain:

1. *Journal bearing*

*Journal bearing* digunakan pada poros yang mendatar dengan gerakan berputar. Pada *journal bearing* ini poros terletak pada bantalan yang diam atau pada beberapa penggunaan, kadang-kadang bantalanya berputar dan porosnya diam.

2. *Clearance bearing*

*Clearance bearing* mempunyai jari-jari tap lebih kecil daripada jari-jari bantalanya. Dengan demikian terdapat ruangan yang akan dipakai oleh pelumas untuk bergerak.

3. *Pitted bearing*

*Pitted bearing* mempunyai jari-jari tap dan bantalan yang sama. Saat bergerak, pusat tap dan bantalan berbeda sehingga memberi tempat pelumas.

4. *Thrust bearing*

Bantalan jenis ini digunakan untuk mendukung poros yang mengalami beban aksial. Bearing jenis ini biasa dipakai untuk as roda truk-truk besar.

### B. Bantalan antirifriksi

Bantalan antirifriksi memiliki gesekan yang sangat kecil. Gesekan yang terjadi adalah diakibatkan oleh kontak langsung antara peluru atau rol dengan tempatnya. Bantalan antirifriksi dibagi menjadi bantalan bola dan bantalan peluru

Keuntungan bantalan antirifriksi:

1. Untuk kecepatan rendah, angka geseknya kecil.
2. Dapat menjamin ketepatan letak poros
3. Dapat menahan beban aksial maupun radial

### 2.2.3 POROS

Poros berfungsi sebagai tumpuan pendulum dan dihubungkan dengan bantalan. Poros yang digunakan harus mampu menahan beban yang terjadi pada pendulum. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam merancang poros adalah:

*commit to user*

**A. Kekuatan poros**

Suatu poros akan mengalami pembebanan, berupa beban puntir, lentur, atau gabungan puntir dan lentur. Bahkan ada pula poros yang mengalami beban tarik atau tekan. Beban yang dialami poros (Khurmi, 1980):

1. Beban torsi

$$T = f_t \cdot x \dots \dots \dots (2.12)$$

*Keterangan:*

$T$  : Torsi (kg.mm)

$f_t$  : Massa (kg)

$x$  : Jari-jari (m)

2. Beban momen

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot Y \dots \dots \dots (2.13)$$

*Keterangan:*

$M$  : Torsi (kg.mm)

$\sigma$  : tegangan lentur (kg. mm)

$I$  : Momen inersia (mm<sup>4</sup>)

$Y$  : Setengah diameter (mm)

3. Beban maksimum yang terjadi pada poros

Untuk menghitung tegangan pada poros, menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{2M}{\pi d^3} \dots \dots \dots (2.14)$$

*Keterangan:*

$\sigma$  : Tegangan tarik (Kgf/ mm<sup>2</sup>)

$M$  : Momen (Kgf.mm)

: 3,1416

$d$  : Diameter poros (mm)

**B. Kekakuan poros**

Apabila poros mendapatkan beban melintang, maka akan melengkung karena adanya momen lengkung. Lenturan pada poros dapat dipakai sebagai dasar dalam menentukan ukuran poros tersebut. Selain itu bila poros mengalami puntiran, akan timbul sudut puntir pada poros tersebut, yang mana besarnya sudut puntir itu sebagai pedoman dalam menentukan ukuran poros. Apabila poros

*commit to user*

dikenakan torsi ( $T$ ) yang panjangnya ( $L$ ) maka sudut puntirnya dapat dihitung sebagai berikut (Karno, 1998):

$$\Phi = \frac{T L}{E_s J} \dots \dots \dots (2.15)$$

Keterangan:

- $\Phi$  : Sudut puntir (derajat)  
 $L$  : Panjang poros (in)  
 $T$  : Momen torsi (Lb in)  
 $E_s$  : Modulus geser (psi)  
 $d$  : Diameter poros utuh (in)

### 2.3 KOMPOSIT

Kata komposit (*composite*) berasal dari kata "*to compose*" yang berarti menyusun atau menggabung. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda (Jones, 1975), karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984).

Pada umumnya material komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matriks. Komposit juga dapat dibentuk dari kombinasi dua atau lebih material, baik logam, organik ataupun anorganik. Kombinasi material yang mungkin di dalam komposit tidak terbatas, namun unsur pokok dari bentuknya terbatas. Unsur pokok dalam komposit adalah serat, partikel, lamina atau lapisan, *flake*, *filler*, dan matrik. Matrik adalah unsur pokok tubuh komposit yang menjadi bagian penutup dan pengikat struktur komposit. Serat, partikel, lamina (lapisan), *flake*, *filler* dan matrik merupakan unsur pokok struktur karena unsur tersebut menentukan struktur internal komposit (Schwartz, 1984).

Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat sintetis dan serat alam (*natural fiber*). Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, kevlar, nylon, dan lain-lain. Serat alam adalah

serat yang dapat langsung diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat yang dapat langsung diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas dan knaf atau goni.

*Natural Fiber* atau serat alami memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan serat sintetis, seperti berat lebih ringan, diolah secara alami dan ramah lingkungan. *Natural Fiber* merupakan bahan terbaru dan mempunyai kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi dan tidak menyebabkan iritasi kulit. Keuntungan-keuntungan yang lainnya adalah kualitas dapat divariasikan dan stabilitas panas yang rendah. Adapun kekurangan dari *natural fiber* adalah variabilitas yang tinggi, ketahanan kelembaban rendah, ketahanan api rendah, dan adhesi serat dan matrik yang kurang baik (Lokantara, 2007).

Kelebihan komposit dibandingkan dengan material lainnya adalah dapat meningkatkan kualitas material sesuai yang diharapkan. Jones (1975) menjelaskan bahwa beberapa sifat material dapat diperbaiki melalui pembentukan material menjadi material komposit. Sifat-sifat tersebut antara lain:

- a. kekuatan (*strength*)
- b. kekerasan (*stiffness*)
- c. ketahanan terhadap korosi (*corrosion resistance*)
- d. tidak mudah rusak (*wear resistance*)
- e. daya tarik (*attractiveness*)
- f. berat (*weight*)
- g. usia *fatigue* (*fatigue life*)
- h. *temperature-dependent behavior*
- i. hambat panas (*thermal insulation*)
- j. konduktivitas thermal (*thermal conductivity*)
- k. serap bising (*acoustical insulation*)

### 2.3.1 Jenis-Jenis Komposit

Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk material yang dipilih atau berdasarkan sifat alami material yang dipilih (Berthelot, 1999):

### A. Berdasarkan bentuk material yang dipilih

Berdasarkan bentuk material yang dipilih, komposit dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

#### 1. *Fibrous Composites*

*Fibrous Composites* merupakan material komposit yang terdiri atas serat (*fibers*) di dalam suatu matriks. Serat penguat dapat berbentuk kontinu ataupun kontinu. Susunan dan arah serat dapat digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat mekanik material komposit.

#### 2. *Particle Composites*

*Particle Composites* merupakan komposit yang terbuat dari serbuk atau partikel. Partikel biasanya digunakan untuk memperbaiki *property* material secara *particular* seperti, kekakuan, sifat *thermal*, ketahanan terhadap abrasi, mengurangi pengerutan dan sebagainya. Pemilihan matriks yang digunakan tergantung pada *property* yang diinginkan.

### B. Berdasarkan sifat alam material yang dipilih

Berdasarkan sifat alami material yang dipilih, komposit dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

#### 1. *Organic matrix Composites (resin, fillers)*

- a. *Mineral fiber* : glass, karbon
- b. *Organic fiber* : kevlar, poliamid
- c. *Metallic fiber* : boron, aluminium

#### 2. *Metallic matrix Composites*

- d. *Mineral fiber* : karbon, silikon karbida
- e. *Metallic fiber* : boron
- f. *Metallo mineral fibre* : boron yang diperkuat dengan silikon karbida

#### 3. *Mineral matrix Composites*

- g. *Metallic fibres* : boron
- h. *Matallic particles* : semen
- i. *Mineralc particles* : karbida, nitrida

Menurut Kaw (2007), secara garis besar ada 3 macam jenis komposit berdasarkan penguat yang digunakannya, yaitu:

*commit to user*

1. *Fibrous Composites* (Komposit Serat),

Merupakan jenis komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapisan yang menggunakan penguat berupa serat/*fiber*. *Fiber* yang digunakan bisa berupa *glass fibers*, *carbon fibers*, *aramid fibers* (*poly aramide*), dan sebagainya. *Fiber* ini bisa disusun secara acak maupun dengan orientasi tertentu bahkan bisa juga dalam bentuk yang lebih kompleks seperti anyaman.

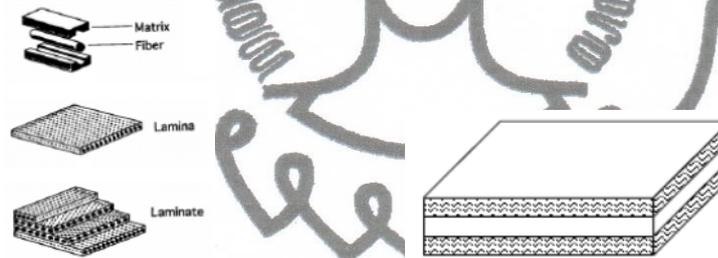


**Gambar 2.10.** Komposit Serat

Sumber : Kaw, K., 2007

2. *Laminated Composites* (Komposit Laminat),

Merupakan jenis komposit yang terdiri dari dua lapis atau lebih yang digabung menjadi satu dan setiap lapisnya memiliki karakteristik sifat sendiri.

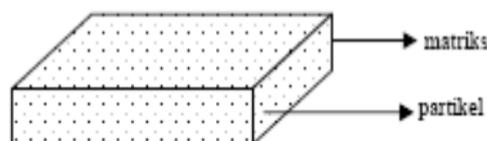


**Gambar 2.11.** Komposit Laminat

Sumber : Kaw, K., 2007

3. *Particulate Composites* (Komposit Partikel)

Merupakan komposit yang menggunakan partikel/serbuk sebagai penguatnya dan terdistribusi secara merata dalam matriksnya.



**Gambar 2.12.** Komposit partikel

Sumber : Kaw, K., 2007

Sedangkan berdasarkan bentuk material pembentuknya, Schwartz (1984) mengklasifikasikan komposit menjadi lima kelas, yaitu :

- a. Komposit serat (*Fiber composite*)

- b. Komposit serpihan (*flake composite*)
- c. Komposit butir (*particulate composite*)
- d. Komposit isian (*filled composite*)
- e. Komposit lapisan (*laminar composite*)

### 2.3.2 Bahan Penyusun Komposit

Pada umumnya material komposit terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) dan bahan pengikat serat-serat tersebut yang disebut matrik.

#### A. Serat

Serat berperan sebagai penyangga kekuatan dari struktur komposit, beban yang awalnya diterima oleh matrik kemudian diteruskan ke serat oleh karena itu serat harus mempunyai kekuatan tarik dan elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik. Serat secara umum terdiri dari dua jenis yaitu serat alam dan serat sintetis. Serat alam adalah serat yang dapat langsung diperoleh dari alam. Biasanya berupa serat yang dapat langsung diperoleh dari tumbuh-tumbuhan dan binatang. Serat ini telah banyak digunakan oleh manusia diantaranya adalah kapas, wol, sutera, pelepah pisang, sabut kelapa, ijuk, bambu, nanas dan kenaf atau goni. Keunggulan serat alam sebagai *filler* komposit dibandingkan dengan serat sintetis sudah dapat diterima dan mendapat perhatian khusus dari para ahli material di dunia. Keunggulan tersebut antara lain densitas rendah, harga lebih murah, ramah lingkungan, dan tidak beracun. Serat alam memiliki kelemahan yaitu ukuran serat yang tidak seragam, kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia. Serat sintetis adalah serat yang dibuat dari bahan-bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintetis mempunyai beberapa kelebihan yaitu sifat dan ukurannya yang relatif seragam, kekuatan serat dapat diupayakan sama sepanjang serat. Serat sintetis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, serat karbon, kevlar, nylon, dan lain-lain (Schwartz, 1984).

#### B. Matrik

Matrik, sebagai pengisi ruang komposit, memegang peranan penting dalam mentransfer tegangan, melindungi serat dari lingkungan dan menjaga permukaan serat dari pengikisan. Matrik harus memiliki kompatibilitas yang baik dengan serat (Moncrieff, 1975). Gibson (1994) menyatakan bahwa matrik dalam struktur

komposit bisa berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Matrik secara umum berfungsi untuk mengikat serat menjadi satu struktur komposit. Matrik memiliki fungsi:

1. Mengikat serat menjadi satu kesatuan struktur
2. Melindungi serat dari kerusakan akibat kondisi lingkungan
3. Mentransfer dan mendistribusikan beban ke *filler*
4. Menyumbangkan beberapa sifat seperti: kekakuan, ketangguhan, dan tahanan listrik

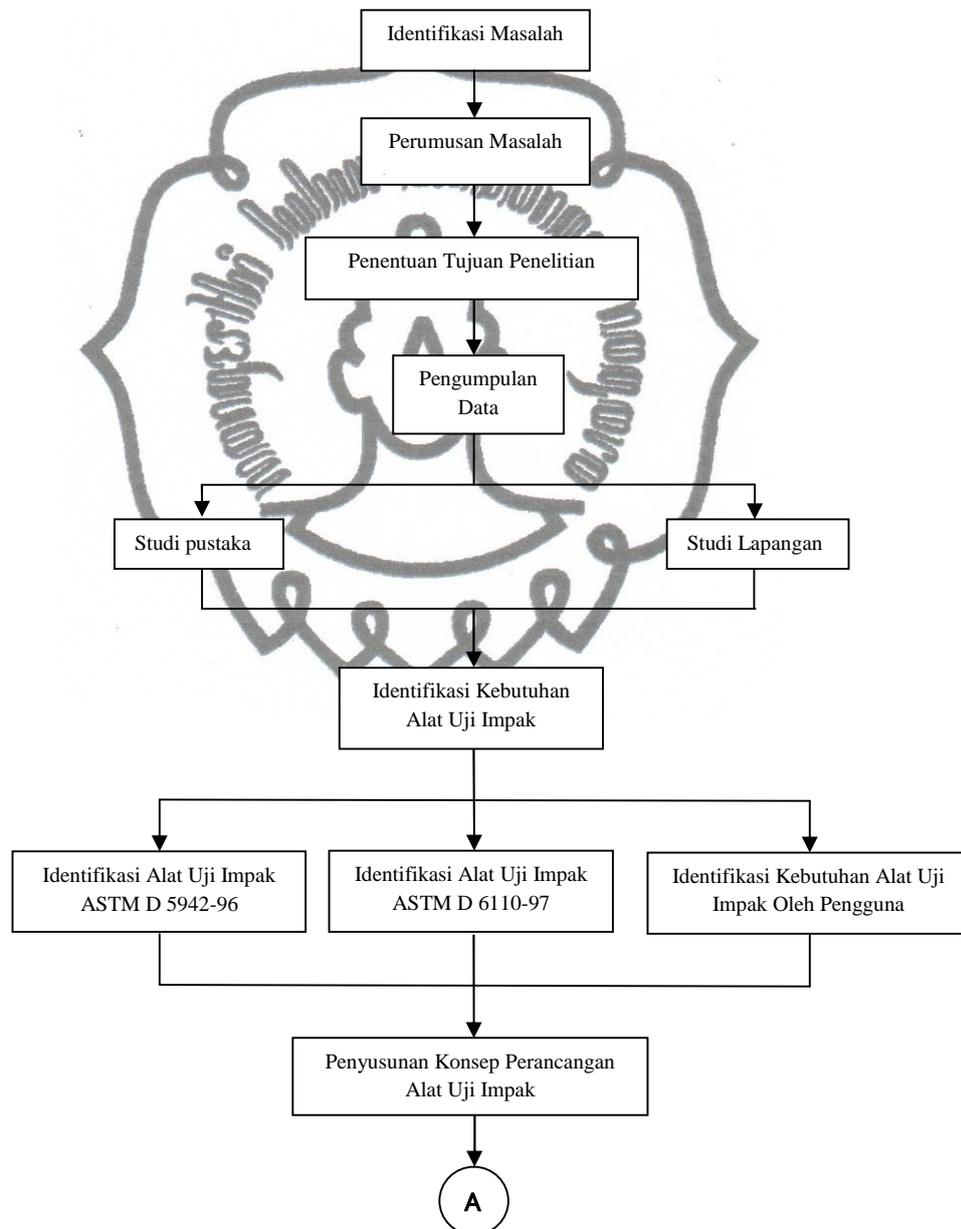
Hal 6 ,16,17



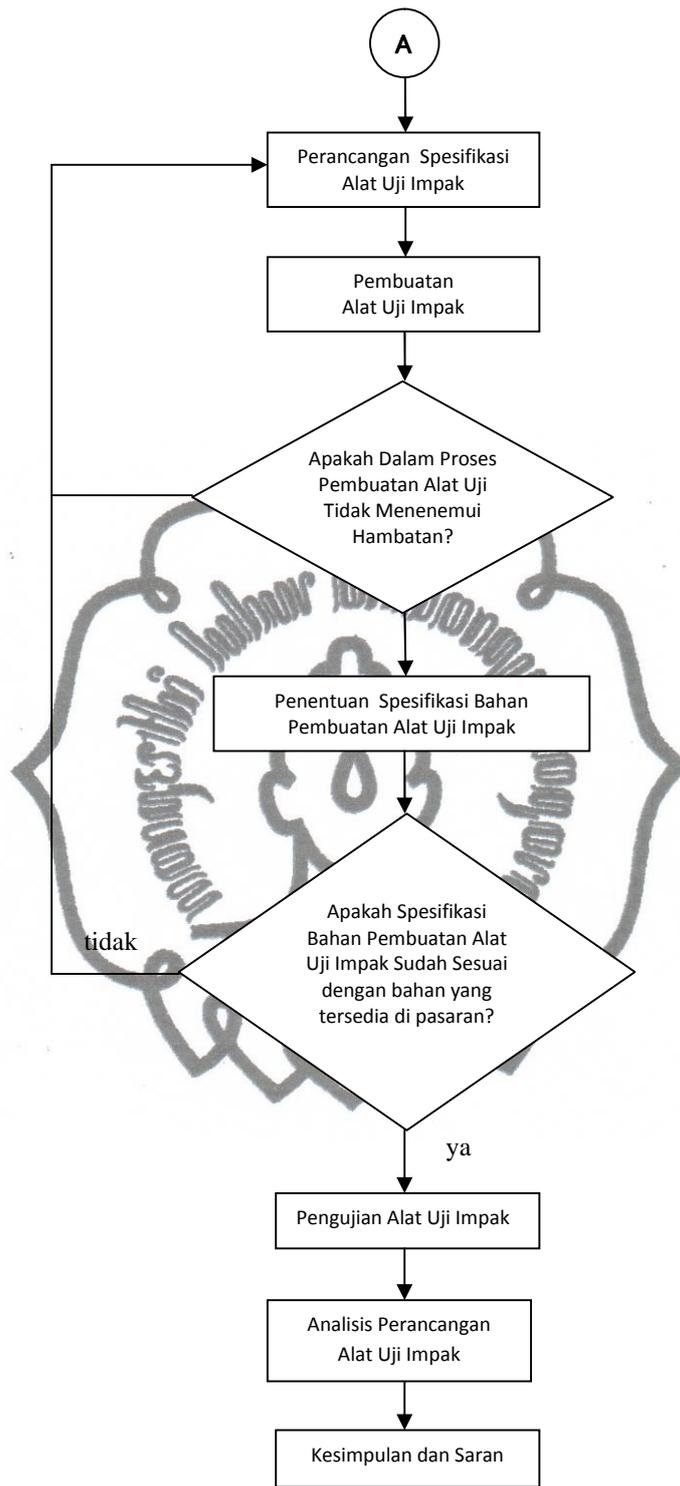
## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan secara sistematis mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam perancangan alat uji impact Charpy. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ditunjukkan pada *flow chart* dibawah ini.



*commit to user*



**Gambar 3.1.** Metode Penelitian

Metode penelitian di atas diuraikan dalam beberapa tahap dan tiap tahapnya akan dijelaskan melalui langkah-langkah yang dilakukan. Uraian lebih lengkap tiap tahapnya akan dijelaskan dalam subbab berikut ini.

*commit to user*

### 3.1 IDENTIFIKASI MASALAH

Identifikasi masalah dilakukan sebagai langkah awal penelitian dimana bertujuan untuk mengetahui latar belakang penelitian. Latar belakang penelitian ditentukan dengan mengangkat suatu permasalahan tentang bahan komposit yang berpenguat serat alam (*natural fibre*). Penggunaan bahan-bahan komposit secara tepat dan efisien membutuhkan pengetahuan yang luas akan sifat-sifat mekaniknya. Pengujian bahan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik bahan atau cacat pada bahan/produk, sehingga pemilihan bahan dapat dilakukan dengan tepat untuk suatu keperluan. Pada saat ini, instansi yang telah memiliki alat uji dampak untuk komposit *natural fibre* ini adalah Universitas Sanata Dharma Yogyakarta. Dalam melakukan penelitian tentang bahan komposit *natural fibre*, Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret belum mempunyai alat uji dampak untuk bahan komposit. Dalam pengujian dampak, Jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret melakukan pengujian di Laboratorium Ilmu Logam Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Dengan mempertimbangkan perihal prosedural dan biaya penelitian, maka pihak Jurusan Teknik Industri berinisiatif untuk memiliki alat uji sendiri. Namun dikarenakan harga alat uji dampak ini yang sangat tinggi serta tuntutan kebutuhan Laboratorium Statistik dan Kualitas untuk menunjang praktikum material teknik, maka pihak jurusan ingin merancang alat uji sendiri.

### 3.2 PERUMUSAN MASALAH

Perumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimanakah merancang alat uji dampak Charpy yang digunakan pada pengujian material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fibre*) dengan memperhatikan ketelitian (*accuracy*) dan keterulangan (*precision*) dengan menggunakan acuan standart ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.

### 3.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah merancang alat uji dampak Charpy untuk pengujian material komposit yang berpenguat serat alam (*natural fibre*).

*commit to user*

### 3.4 PENGUMPULAN DATA

Pengumpulan data dapat diperoleh dari sumber studi pustaka dan studi lapangan. Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh informasi pendukung yang diperlukan dalam penyusunan laporan penelitian, yakni mempelajari literatur standarisasi pengujian alat uji impact dengan menggunakan standart *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, yaitu ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.

Studi lapangan diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai kebutuhan yang diperlukan dalam perancangan alat uji impact secara langsung, yaitu mengenai komponen-komponen yang diperlukan dalam perancangan alat uji impact, sehingga dapat diketahui anggaran biaya yang diperlukan dalam perancangan alat uji impact. Studi lapangan juga dilakukan dengan pengamatan terhadap alat uji impact yang sudah ada. Pengamatan dilakukan di Laboratorium Ilmu Logam Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. Pengamatan ini bertujuan untuk memperoleh spesifikasi produk dari alat uji impact yang sudah ada. Dari hasil pengamatan didapatkan spesifikasi alat uji impact. Alat uji impact yang dimiliki universitas ini adalah alat uji impact Charpy produksi Cina dengan label merk *Gotech Testing Machine Inc.*



**Gambar 3.2.** Alat Uji Impact Charpy Sanata Dharma  
Sumber : Pengamatan, 2011

Alat uji impact Charpy ini memiliki kekuatan maksimal 8,1 Joule, dengan berat pendulum 13,299 Newton dan panjang lengan pendulum 0,395 meter. Harga

alat uji impact inipun juga tergolong cukup tinggi, dengan konstruksi alat uji yang memiliki massa 220 kg, sehingga terlalu berat bila harus dipindahkan.

### 3.5 IDENTIFIKASI KEBUTUHAN ALAT UJI IMPAK

Identifikasi kebutuhan alat uji impact dalam perancangan ini dilakukan dengan identifikasi alat uji terhadap ASTM D 5942-96, identifikasi alat uji terhadap ASTM D 6110-97, dan identifikasi kebutuhan alat uji terhadap pengguna. Standar pengujian ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97 menjelaskan mengenai prosedur pengujian dan ukuran spesimen yang diperlukan dalam uji impact Charpy pada bahan plastik, tapi dalam *scope*-nya dapat dipergunakan dalam pengujian komposit juga, terutama untuk jenis komposit *natural fibre*. Hal ini juga didasarkan pada kekuatan impact maksimal yang berkisar 2,7 Joule yang dijelaskan dalam *apparatus* ASTM D 6110-97, sehingga akan didapatkan nilai *accuracy* (ketelitian) yang lebih baik, jika dibandingkan standart ASTM untuk pengujian untuk material logam. Pengujian ini digunakan untuk meneliti perlakuan pada spesimen uji komposit saat dilakukan pengujian impact untuk mengetahui kegetasan dan keuletan spesimen dalam batas tertentu. Identifikasi kebutuhan alat uji impact terhadap pengguna didapatkan dari hasil wawancara dengan pengguna hasil rancangan alat uji impact.

### 3.6 PENYUSUNAN KONSEP PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK

Penyusunan konsep perancangan alat uji impact Charpy ini dengan melihat pada katalog produk alat uji impact yang dijual di pasaran. Dalam hal ini mengacu alat uji impact yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impact Charpy Sanata Dharma, Yogyakarta. Penyusunan konsep perancangan alat uji impact Charpy ini berdasarkan harapan yang didapatkan dari kebutuhan pengguna dan identifikasi alat uji impact menurut ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97. Dari konsep perancangan ini dapat dilihat bahwa faktor-faktor yang menyusun dalam perancangan alat uji impact. Dari faktor-faktor yang menyusun dalam perancangan alat uji impact ini, diperoleh acuan dasar dari kebutuhan rancangan alat uji impact.

*commit to user*

### 3.7 PERANCANGAN SPESIFIKASI ALAT UJI IMPAK

Perancangan spesifikasi alat uji impact berdasarkan pada acuan dasar dari kebutuhan rancangan alat uji impact yang diwujudkan dalam bagian-bagian alat uji impact. Dari bagian-bagian alat uji impact ini ditentukan dimensi dan material yang sesuai sehingga alat uji impact hasil perancangan memenuhi standar ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.

### 3.8 PEMBUATAN ALAT UJI IMPAK

Pembuatan alat uji impact dilakukan setelah perancangan spesifikasi alat uji memenuhi syarat untuk dimensi dan material yang sesuai dengan kebutuhan pengguna dan memenuhi standar ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97. Dalam pembuatan alat uji dibuat desain perancangan yang diwujudkan dalam gambar *autocad*. Desain perancangan alat uji dalam gambar *autocad* selanjutnya diwujudkan dalam bentuk nyata. Perancangan spesifikasi alat uji kembali dilakukan ketika dalam proses pembuatan menemui hambatan peralatan. Dalam pembuatan alat uji impact ini ditentukan kembali dimensi dan material yang sesuai yang tersedia dipasaran. Perancangan spesifikasi alat uji ini-pun kembali dilakukan ketika dalam proses pembuatan menemui hambatan mengenai material yang tersedia di pasaran. Untuk dimensi dan material yang tidak tersedia di pasaran, maka dilakukan penggantian material dengan yang tersedia di pasaran dan tentu saja harus merubah desain perancangan.

### 3.9 PENGUJIAN ALAT UJI IMPAK

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap alat uji impact terhadap spesimen uji. Pada tahap ini dilakukan pengujian data yang didapatkan dari pengujian spesimen yang terbagi dalam 3 level ketebalan (8 mm, 10 mm, dan 12 mm), masing-masing diulang 30 pengujian (30 replikasi). Data kemudian diuji karakteristiknya dengan melakukan uji normalitas dan uji homogenitas,. Setelah data memenuhi ketiga uji karakteristik tersebut, maka dilakukan pengujian ANOVA untuk menguji kekuatan impact terhadap spesimen yang berbeda. Dengan pengujian ini didapatkan kesimpulan apakah hasil rancangan alat uji impact telah memenuhi aspek keterulangan atau tidak.

*commit to user*

### **3.10 ANALISIS PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK**

Tahap ini membahas mengenai hasil dari tahap-tahap sebelumnya yang dibagi menjadi analisis rancangan serta analisis data hasil pengujian alat uji impact terhadap spesimen uji. Analisis rancangan menjabarkan pencapaian apa saja yang telah diperoleh dari hasil rancangan alat uji impact dengan membandingkan dengan alat uji yang sudah ada serta mengevaluasi segala sesuatu yang dapat dijadikan sebagai bahan untuk penelitian selanjutnya. Analisis data pengujian menjelaskan hasil data pengujian yang diperoleh.

### **3.11 KESIMPULAN DAN SARAN**

Penarikan kesimpulan terhadap permasalahan dilakukan pada tahap akhir dalam penelitian ini setelah dilakukan analisis perancangan. Penarikan kesimpulan bertujuan untuk menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya.

Saran juga dikemukakan untuk memberikan masukan terhadap permasalahan yang diteliti. Selain itu juga diberikan saran-saran perbaikan untuk penelitian-penelitian berikutnya.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini dibagi menjadi empat sub bab utama, yaitu pertama membahas proses deskripsi masalah, kedua membahas proses konsep perancangan, ketiga membahas perancangan spesifikasi dan yang keempat membahas tentang pengujian alat uji.

#### 4.1 DESKRIPSI MASALAH

Perancangan alat uji impact ini berdasarkan kebutuhan Laboratorium Statistik dan Kualitas, jurusan Teknik Industri, Universitas Sebelas Maret dalam upaya untuk mendukung penelitian tentang bahan komposit, dan untuk menunjang kebutuhan praktikum material teknik. Perancangan alat uji impact ini menggunakan standart *American Society for Testing and Materials* (ASTM), yaitu ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.

ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97 menjelaskan mengenai prosedur pangujian dan ukuran spesimen yang diperlukan dalam uji impact Charpy pada bahan plastik, tapi dalam *scope*-nya dapat dipergunakan dalam pengujian komposit juga, terutama untuk jenis komposit *natural fibre*. Hal ini juga didasarkan pada kekuatan impact maksimal yang berkisar 2,7 Joule yang dijelaskan dalam *apparatus* ASTM D 6110-97, sehingga akan didapatkan nilai *accuracy* yang lebih baik , jika dibandingkan standart ASTM untuk pengujian dengan material logam (ASTM E-23). Dalam standart ASTM tersebut tidak dijelaskan lebih lanjut mengenai konstruksi alat uji impact yang dipergunakan, oleh karena itu dalam perancangan ini diperlukan data-data lain untuk melengkapi perancangan alat uji.

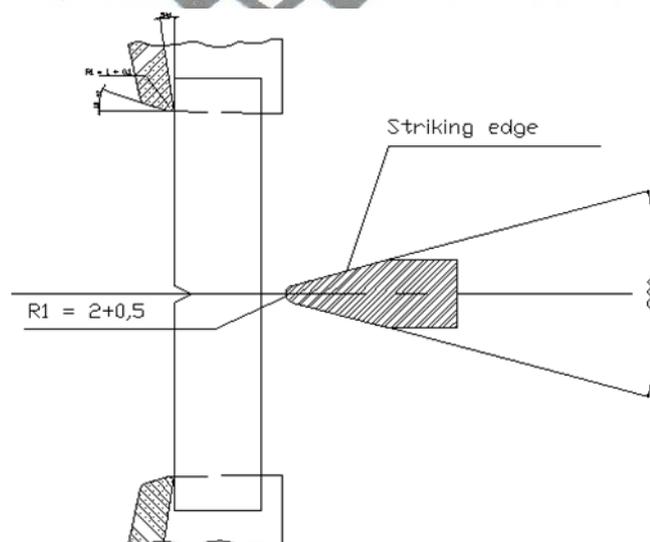
Untuk melengkapi kekurangan data dari ASTM, didapatkan dari katalog produk alat uji impact. Katalog produk tersebut memberikan gambaran awal desain alat uji impact yang akan dirancang. Dalam perancangan alat uji impact Charpy ini, katalog yang menjadi acuan adalah alat uji impact Charpy yang dimiliki oleh instansi pendidikan Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta. impact yang dimiliki universitas ini adalah alat uji impact Charpy produksi Cina dengan

label merk *Gotech Testing Machine Inc* Alat uji impak Charpy ini memiliki kekuatan maksimal 8,1 Joule, dengan berat pendulum 13,299 Newton dan panjang lengan pendulum 0,395 meter. Selanjutnya dari desain yang telah dijelaskan, kemudian disinkronkan dengan ketersediaan bahan baku yang ada di lapangan. Studi lapangan diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai kebutuhan yang diperlukan dalam perancangan alat uji impak secara langsung, yaitu mengenai komponen-komponen yang diperlukan dalam perancangan alat uji impak, sehingga dapat diketahui anggaran biaya yang diperlukan dalam perancangan alat uji impak.

#### 4.1.1 Identifikasi Alat Uji Impak ASTM D 5942-96

Standar pengujian ASTM D 5942-96 menjelaskan prosedur untuk menentukan kekuatan impak Charpy pada material uji berbahan komposit. Pengujian ini digunakan untuk meneliti perlakuan pada spesimen uji komposit saat dilakukan pengujian impak untuk mengetahui kegetasan dan keuletan spesimen dalam batas tertentu.

Spesifikasi dalam pengujian menggunakan ukuran dari spesimen yang diuji. Faktor-faktor seperti, besar energi dari pendulum, kecepatan impak, dan kondisi dari spesimen akan mempengaruhi hasil pengujian. Faktor-faktor tersebut harus dikontrol dengan baik.

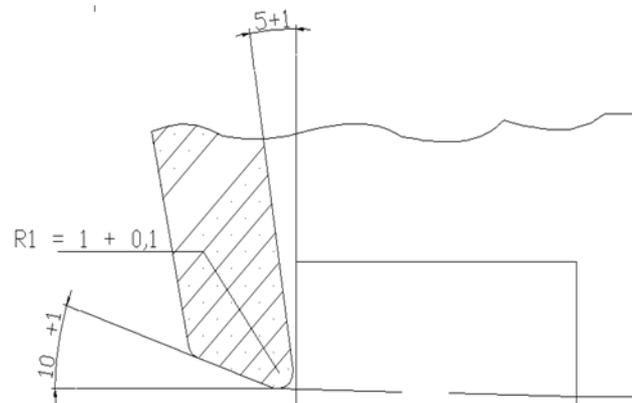


**Gambar 4.1.** Striking Edge ASTM D5942-96

Sumber: ASTM international, 1996

*commit to user*

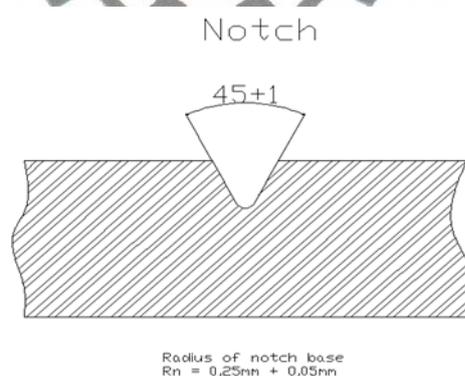
Pisau pemukul dari pendulum dibuat dari bahan logam yang keras dan memiliki ujung yang meruncing. Pisau pemukul tersebut memiliki sudut  $30 \pm 1^\circ$  dan pada ujungnya memiliki radius  $R_1 = 2 \pm 0,5$  mm, seperti ditunjukkan pada gambar 4.1 diatas.



**Gambar 4.2.** Anvil ASTM D5942-96

Sumber: ASTM international, 1996

Gambar 4.2 menunjukkan bagian *anvil* alat uji impak. Bagian *anvil* yang bersentuhan dengan spesimen uji memiliki radius  $1 \pm 0,1$  mm, dengan sudut  $5 \pm 1^\circ$  dan  $10 \pm 1^\circ$ . Bagian ini terdiri dari dua buah bantalan balok yang keras. Bagian *anvil* ini tidak menghambat pergerakan dari spesimen uji.



**Gambar 4.3.** Notch ASTM D5942-96

Sumber: ASTM international, 1996

Sudut yang dipakai untuk takikan (*notch*) pada spesimen uji adalah  $45 \pm 1^\circ$ , seperti ditunjukkan pada gambar 4.3 diatas. Radius yang dipakai pada takikan adalah  $0,25 \pm 0,05$  mm, namun radius tersebut dapat berubah tergantung dari tipe spesimen uji dengan memperhitungkan panjang, lebar, dan ketebalannya.

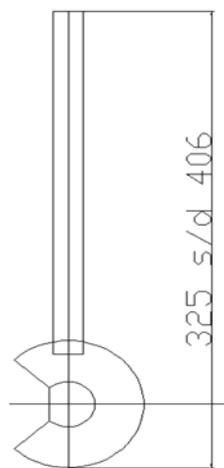
#### 4.1.2 Identifikasi Alat Uji Impak ASTM D 6110-97

Standart pengujian ASTM D 6110-97 menunjukkan daya tahan bahan komposit dari kerusakan karena pemberian beban secara tiba-tiba oleh pendulum. Pada pengujian ini memerlukan spesimen uji yang diberi takik, seperti ditunjukkan pada standart ASTM D 5942-96. Takik berfungsi untuk mengkonsentrasikan tegangan saat terjadi perpatahan, meminimalkan deformasi plastis, dan meneruskan perpatahan pada bagian belakang takik spesimen uji.

Alat uji impak ini terdiri dari sebuah landasan yang disangga oleh sepasang bantalan (*anvil*) untuk memegang spesimen uji, yang terletak diantara kerangka alat uji dan *bearings*.

Bagian pendulum terdiri dari sebuah lengan tunggal ataupun ganda dengan sebuah *bearings* pada bagian ujungnya. Sebagian besar dari massa pendulum terdapat pada bagian ujungnya (*head*). Bagian lengan pendulum harus cukup kaku (*rigid*) untuk menjaga *clearances* secara tepat, harus berukuran proporsional dengan bagian alat uji yang lain, dan juga untuk meminimalkan energi yang terbuang karena getaran.

Alat uji impak ini menggunakan pendulum yang mampu menghantarkan energi sebesar  $2,7 \pm 0,14$  J. Pendulum ini dapat digunakan untuk spesimen uji dengan pemaksaan kurang dari 85 % dari energi yang digunakan saat mematahkan spesimen. Panjang pendulum yang disarankan adalah diantara 0,325 dan 0,406 m. Sedangkan gerakan pendulum yang disarankan adalah diantara  $30^{\circ}$  dan  $60^{\circ}$  dari arah horizontal. Panjang pendulum ditunjukkan pada gambar 4.4 dibawah.



**Gambar 4.4.** Pendulum ASTM 6110-97

Sumber: ASTM international, 1997

Energi yang diserap oleh pendulum setelah mematahkan spesimen uji ditunjukkan oleh *indicator*. Alat ini terdiri atas jarum penunjuk dan mekanismenya yang menunjukkan besarnya energi. *Indicator* ini juga dapat berupa *electronic digital display* atau komputer sebagai alat ukur untuk mengindikasikan energi untuk memutuskan spesimen uji.

ASTM D 6110-97 memberikan standart untuk pisau pemukul pada pendulum yang digunakan memiliki sudut  $45^0$ . Hal ini berseberangan dengan standart ASTM D 5942-96. Untuk setiap spesimen yang diuji harus bebas dari puntiran (*twist*), goresan (*scratches*), dan lubang (*pits*).

#### 4.1.3 Identifikasi Kebutuhan Alat Uji Impak Oleh Pengguna

Proses pengumpulan data perancangan alat uji impak ini didapatkan dari hasil wawancara dengan pengguna hasil rancangan alat uji impak. Wawancara ini ditujukan kepada dosen penanggung jawab praktikum material teknik di jurusan Teknik Industri UNS, yaitu Ibu Retno Wulan Damayanti, ST,MT. Hasil wawancara ini dianggap dapat mewakili keinginan seluruh pengguna. Dari wawancara ini diperoleh harapan pengguna atas hasil rancangan alat uji impak yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Harapan Pengguna Alat Uji Impak

No	Faktor kebutuhan	Harapan pengguna alat uji impak
1	Fungsionalitas	Alat uji impak digunakan khusus untuk pengujian material komposit.
		Alat uji juga dapat digunakan untuk material <i>fiberglass</i> .
2	Konstruksi	Bentuk sederhana dengan bahan baku yang mudah didapat di pasaran.
		Dengan bahan baku yang ringan, sehingga mudah dalam memindahkan alat.
		Konstruksi kuat dengan pemilihan bahan yang tepat.
3	Sistem pembacaan	Keakurasian dan kepresisian yang tinggi
		Tingkat sensitivitas rendah, sehingga sistem pembacaan tidak mudah berubah-ubah oleh <i>commit to user</i>

**Lanjutan Tabel 4.1. Harapan Pengguna Alat Uji Impak**

		beberapa perlakuan selama praktikum material teknik oleh praktikan (operator).
4	Perawatan	Mudah, bahan yang dipilih kuat, tahan lama, tidak berkarat, dan korosi.
5	Geometri	Hemat ruangan dan tidak mengganggu aktivitas lain di laboratorium.
6	<i>Safety</i>	Menjamin keselamatan praktikan (operator) karena mudah digunakan, ada sistem pengereman setelah pergerakan selesai.
7	Material uji ( <i>Specimen</i> )	Material uji sesuai dengan standar, yaitu mengenai ukuran dan jenis material sehingga memudahkan praktikan (operator) dalam penempatan material uji.

Sumber: Wawancara, 2011

#### 4.2 KONSEP PERANCANGAN ALAT UJI IMPAK

Penyusunan konsep perancangan alat uji impak Charpy ini melihat pada katalog produk alat uji impak yang dijual di pasaran. Dalam hal ini mengacu alat uji impak yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impak Charpy Sanata Dharma, Yogyakarta. Alat uji impak yang dimiliki universitas ini adalah alat uji impak Charpy produksi Cina dengan label merk *Gotech Testing Machine Inc.* Alat uji impak Charpy ini memiliki kekuatan maksimal 8,1 Joule, dengan berat pendulum 13,299 Newton dan panjang lengan pendulum 0,395 m. Harga alat uji impak inipun juga tergolong cukup tinggi, dengan konstruksi alat uji yang memiliki massa 220 kg, sehingga terlalu berat bila harus dipindahkan. Melihat spesifikasi tersebut, disusunlah perancangan alat uji impak dengan melihat ke *value* dibanding dengan alat uji impak yang sudah ada.

Penyusunan konsep perancangan alat uji impak Charpy ini menggunakan standart ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97. Dari standart ASTM D 5942-96, faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengujian seperti, besar energi dari pendulum, kecepatan impak, digunakan untuk merancang konstruksi dari pendulum. Dari standar ASTM D 6110-97 memberikan acuan panjang konstruksi pendulum dan besar energi yang dihasilkan oleh pendulum.

Berdasar harapan yang didapatkan dari kebutuhan pengguna dan identifikasi alat uji impak menurut ASTM , serta dengan membandingkan ke alat uji impak yang sudah ada, maka dapat dilihat bahwa faktor-faktor yang menyusun dalam perancangan alat uji impak yang diuraikan, sebagai berikut:

### 1. Fungsionalitas

Alat uji impak yang hasil perancangan digunakan untuk spesimen komposit dimana dijelaskan dalam ASTM D 6110-97 memiliki besar energi yang dihasilkan sebesar  $2,7 \pm 0,14$  J. Energi yang dihasilkan ini lebih kecil dari alat uji impak yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impak Charpy Sanata Dharma Yogyakarta yang berkisar 8,1 Joule. Besar energi maksimal yang dihasilkan dalam perancangan ini akan memberikan nilai *accuracy* (ketelitian) yang lebih baik dibanding alat uji yang sudah ada. Untuk memaksimalkan nilai fungsionalitas dari alat uji, maka diperlukan pembanding *specimen* lain dalam pengujian. *Fiberglass* memiliki kekuatan impak rata-rata sebesar 3,1 J (Rahardjo, 2001), sehingga material ini dipilih untuk meningkatkan nilai fungsionalitas alat uji impak yang dirancang.

### 2. Konstruksi

Dengan membandingkan dengan alat uji impak yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impak Charpy Sanata Dharma Yogyakarta yang memiliki berat 220 kg, sehingga konstruksi ini sulit dipindahkan, maka alat uji impak yang hasil perancangan diharapkan memiliki bentuk yang sederhana dengan bahan baku yang ringan, konstruksi kuat dan mudah didapat di pasaran. Dalam hal ini pemilihan bahan baku menjadi prioritas utama karena mempengaruhi konstruksi hasil perancangan.

### 3. Sistem pembacaan

Pembacaan alat uji impak harus akurat dan presisi, serta memiliki tingkat sensitivitas rendah, sehingga sistem pembacaan oleh indikator tidak mudah berubah-ubah oleh beberapa perlakuan selama praktikum material teknik oleh praktikan/operator. Dari harapan pengguna mengenai sistem pembacaan ini, diperlukan indikator yang sesuai untuk digunakan dalam perancangan alat uji impak ini. Perancangan sistem pembacaan ini juga mengacu pada alat uji impak yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impak Charpy Sanata

Dharma, Yogyakarta, dimana sistem pembacaanya menggunakan jarum penunjuk.

#### 4. Perawatan

Perawatan alat uji impak mudah dilakukan dalam jangka waktu lama, bahan yang dipilih kuat, tahan lama, tidak berkarat, dan korosi. Perawatan yang mudah, ditentukan oleh pemilihan material yang sesuai.

#### 5. Geometri

Dari uji impak yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impak Charpy Sanata Dharma, Yogyakarta, memiliki geometri yang luas dengan menggunakan cover penutup. Geometri ini kurang efisien dalam penempatannya di ruangan atau laboratorium. Melalui perancangan ini, alat uji impak hasil perancangan diharapkan hemat ruangan sehingga tidak mengganggu aktivitas lain di laboratorium. Faktor geometri ini ditentukan oleh desain konstruksi alat uji impak seminimal mungkin dengan berdasarkan standar ASTM D 6110-97 .

#### 6. Keselamatan (*Safety*)

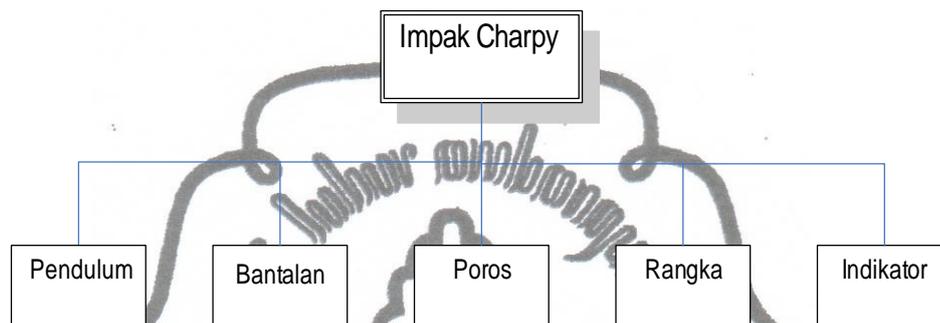
Alat uji impak ini harus dapat menjamin keselamatan praktikan /operator saat melakukan pengujian. Hal ini dikarenakan praktikan adalah mahasiswa semester awal jurusan Teknik Industri UNS, yang belum *familiar* dalam mengoperasikan alat uji impak sehingga rawan terjadi kecelakaan kerja. Untuk memenuhi faktor ini desain konstruksi alat uji impak dirancang se- *safety* mungkin sesuai standar ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97. Faktor keselamatan dalam perancangan ini juga melihat pada uji impak yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impak Charpy Sanata Dharma Yogyakarta., dimana pada alat uji itu dipasang *lock* pendulum. Untuk meningkatkan faktor keselamatan, dalam perancangan ini juga dibuat *Standart Operation and Prosedure* (SOP) penggunaan alat uji impak ini. SOP ini memberikan petunjuk penggunaan alat uji, sehingga diharapkan dapat menjamin keselamatan praktikan saat melakukan pengujian.

#### 7. Material uji (*Specimen*)

Material uji yang digunakan pada alat uji impak harus sesuai dengan standart, yaitu mengenai ukuran dan jenis material sehingga memudahkan praktikan dalam menempatkan material uji pada alat uji impak. Geometri

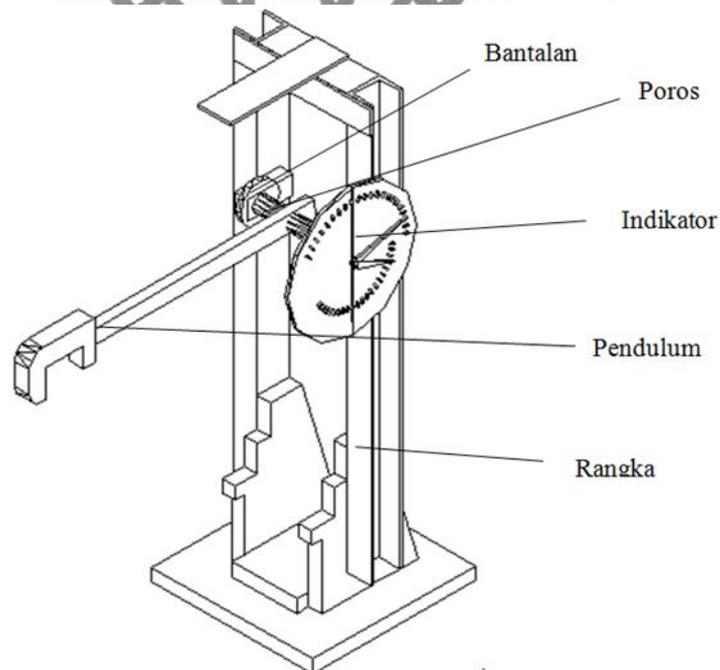
material uji ini melihat pada standart yang sudah ada, menggunakan *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, yaitu ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.

Dari faktor-faktor yang menyusun dalam perancangan alat uji impact yang diuraikan sebelumnya, diperoleh acuan dasar dari kebutuhan rancangan alat uji impact yang kemudian digambarkan dalam sebuah bagan bagian-bagian alat uji impact.



**Gambar 4.5.** Bagian-bagian Alat Uji Impak Charpy  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

Bagian-bagian alat uji impact Charpy diatas memberikan gambaran mengenai keseluruhan susunan rancangan alat uji impact Charpy. Dari bagian-bagian tersebut disusun rancangan desain alat uji impact Charpy.



**Gambar 4.6.** Rancangan Alat Uji Impak Charpy  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

Bagian-bagian alat uji impak Charpy terdiri dari pendulum, bantalan, poros, rangka, dan indikator dengan penjelasan sebagai berikut :

#### 1. Pendulum

Pendulum merupakan komponen utama dalam rancangan alat uji impak Charpy ini. Perancangan menggunakan standart ASTM D-6110-97, dimana dijelaskan besar energi yang dihasilkan oleh pendulum ini. Dari standar tersebut kemudian dapat ditentukan massa pendulum dan ukuran sisi pendulum.

#### 2. Bantalan

Bantalan pada perancangan alat uji impak Charpy berguna untuk menumpu poros agar poros dapat bergerak tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Pemilihan bantalan didasarkan pada spesifikasi bantalan yang dijual di pasaran. Bantalan yang digunakan harus dapat menahan beban maksimal yang dialami oleh poros. Selain itu, bantalan juga harus memiliki kecepatan ( $S$ ) yang lebih tinggi kecepatan yang dialami poros saat pendulum bergerak.

#### 3. Poros

Poros berfungsi sebagai tumpuan pendulum dan dihubungkan dengan bantalan. Poros yang digunakan harus mampu menahan beban yang terjadi pada pendulum. Pemilihan poros juga memperhitungkan kekuatan material ( $\sigma$ ) dan nilai defleksi ( $V_{max}$ ).

#### 4. Rangka

Pada alat uji impak Charpy ini rangka berfungsi sebagai bagian penahan atau penopang terhadap beban yang terjadi. Rangka terdiri dari dua bagian pokok, yaitu: batang tiang penahan dan alas tiang penahan. Pada batang rangka harus mampu menahan beban dari poros dan pendulum. Konstruksi alas tiang penahan memiliki *anvil* sebagai dudukan spesimen uji.

#### 5. Indikator

Indikator pada alat uji impak Charpy ini terdiri dari dua jarum penunjuk. Jarum penunjuk yang pertama dihubungkan dengan putaran poros berfungsi untuk membaca besar sudut pendulum sebelum diayunkan ( $\alpha$ ), dan yang kedua untuk membaca besar sudut pendulum setelah mematahkan spesimen ( $\beta$ ).

*commit to user*

### 4.3 PERANCANGAN SPESIFIKASI ALAT UJI IMPAK

#### 4.3.1 Perancangan Pendulum

Dasar pengujian impak ini adalah penyerapan energi potensial dari beban pendulum yang berayun dari suatu ketinggian tertentu dan menumbuk benda uji sehingga benda uji mengalami deformasi, oleh karenanya pendulum adalah bagian yang paling utama dari alat uji impak. Perancangan pendulum alat uji impak Charpy ini menggunakan standart ASTM D 6110-97. Pada standart tersebut dijelaskan bahwa besar energi yang yang dihantarkan oleh pendulum adalah  $2,7 \pm 0,14$  J, dimana setiap berat penambahan berat pendulum 4,5 N, meningkatkan kapasitas energi sebesar 2,7 J . Untuk menghasilkan energi yang sesuai dengan standart tersebut, maka diperlukan penentuan massa pendulum.

##### A. Massa pendulum

Penentuan massa pendulum didapatkan dari persamaan sebagai berikut:

$$W = E / h \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan:

$W$  : Berat pendulum (N)

$E$  : Energi potensial dari alat uji (J)

$h$  : Jarak jatuhnya pisau pemukul pendulum (mm)

Jarak jatuhnya pisau pemukul pendulum ( $h$ ) pada standart ASTM D 6110-97 ditunjukkan sebesar  $610 \pm 2$  mm, dan diketahui kekuatan impak dari *fiberglass* rata- rata sebesar 3,1 J (Rahardjo, 2001), sehingga kapasitas energi yang diperlukan adalah 5,4 J, maka dari persamaan diatas diperoleh:

$$\begin{aligned} W &= E / h \\ &= 5,4 \text{ J} / 610 \text{ mm} \\ &= 3,983 \text{ ft.lbf} / 2,001 \text{ ft} \\ &= 1,991 \text{ lbf} \\ &= 8,852 \text{ N} \end{aligned}$$

Berat pendulum dipengaruhi oleh gravitasi, massa pendulum diperoleh dari persamaan:

$$W = m \times g \dots\dots\dots(4.2)$$

Keterangan:

$W$  : Berat pendulum (N)

*commit to user*

$m$  : Massa pendulum (kg)  
 $g$  : Gravitasi ( $m/s^2$ )

Dengan menggunakan gravitasi ( $g$ ) sebesar  $9,81 m/s^2$ , maka diperoleh massa sebesar:

$$\begin{aligned} m &= W/g \\ &= 8,852 / 9,81 \\ &= 0,902 \text{ kg} \end{aligned}$$

### B. Luas penampang pendulum (A)

Dalam penentuan luas penampang pendulum, diasumsikan bahwa massa ujung pendulum (*head*) diabaikan. Untuk mengetahui volume pendulum, didapatkan dari persamaan:

$$\rho = m / V \dots \dots \dots (4.3)$$

Keterangan:

$\rho$  : Massa jenis ( $kg/m^3$ )  
 $m$  : Massa pendulum (kg)  
 $V$  : Volume ( $mm^3$ )

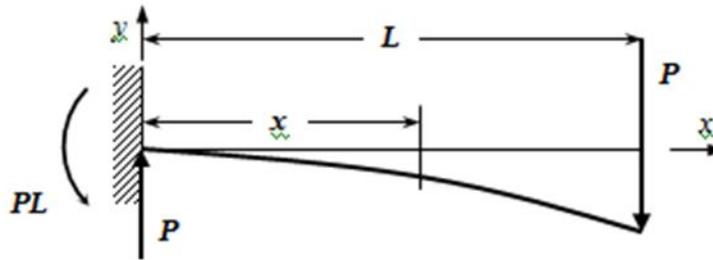
Material yang digunakan dalam perancangan pendulum ini adalah baja ST-37, yang mempunyai massa jenis  $7830 kg/m^2$ , sehingga didapatkan volume pendulum :

$$\begin{aligned} V &= m / \rho \\ &= 0,902 / 7830 \\ &= 1,151979566 \times 10^{-4} m^3 \\ &= 115.197,9566 mm^3 \end{aligned}$$

Panjang pendulum ( $L$ ) yang disarankan pada standart ASTM D-6110-97 adalah diantara 0.325 dan 0.406 m, dengan menggunakan panjang pendulum 0.350 m, maka didapatkan luas penampang pendulum (A) sebesar  $329,137 mm^2$ .

Dengan diketahui luas penampang pendulum (A) sebesar  $329,137 mm^2$ , maka dapat ditentukan ukuran sisi penampang pendulum. Ukuran sisi penampang pendulum tidak ditentukan oleh ASTM, dalam perancangan ini didapatkan dari perhitungan defleksi.

**C. Defleksi ( $V_{max}$ )**



**Gambar 4.7.** Pembebanan pada Batang Pendulum  
 Sumber: Popov, 1996

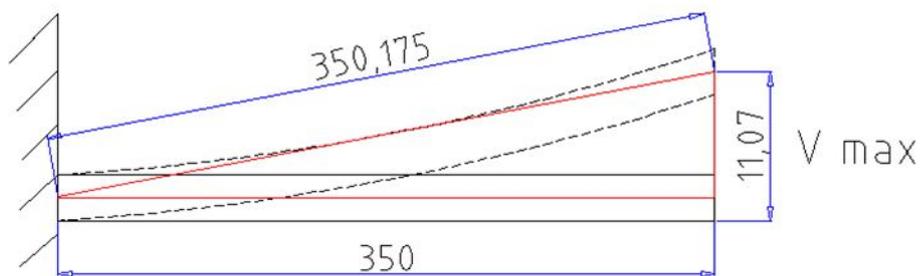
Beban yang terjadi saat pendulum membentur spesimen menyebabkan batang pendulum mengalami defleksi pada arah tegak lurus sumbu longitudinalnya. Spesimen dianggap kuat sebagai asumsi dasar perhitungan sehingga batang pendulum mengalami defleksi. Persamaan untuk defleksi, yaitu:

$$V_{max} = \frac{F L}{3} \dots\dots\dots(4.4)$$

Keterangan:

- $V_{max}$  : Besarnya defleksi ( $\mu\text{m}$ )
- $F$  : Beban pendulum (N)
- $L$  : Jarak  $F_1$  dengan  $F_2$  (mm)
- $E$  : Modulus elastisitas (Gpa)
- $I$  : Momen inersia ( $\text{mm}^4$ )

Besarnya defleksi yang diijinkan pada batang pendulum yang mengalami beban statis adalah  $\leq 0,2 \%$ . Dengan memperhitungkan faktor keamanan = 4, maka defleksi ( $V_{max}$ ) yang diijinkan menjadi 0,05 % panjang awal batang pendulum sebelum mengalami pembebanan, sehingga didapatkan defleksi ( $V_{max}$ ) dari batang pendulum sebesar 11,07 mm.



**Gambar 4.8.** Defleksi pada Batang Pendulum  
 Sumber: Pengolahan Data, 2011

Dengan modulus elastisitas baja *ST-37* sebesar 200 Gpa, maka didapatkan:

$$V_{max} = \frac{F L}{3 \dots}$$

$$11,07 \text{ mm} = \frac{8,852 \quad 350}{3 \dots}$$

$$\dots^3 = 685,69 \text{ mm}^4$$

Dari perhitungan sebelumnya, diketahui luas penampang batang pendulum adalah  $329,137 \text{ mm}^2$ , maka dapat disubstitusikan:

$$\dots = 329,137$$

$$= 329,137 /$$

$$\dots^3 = 685,69$$

$$(329,137 / )^3 = 685,69$$

$$^2 = 2,083$$

$$= 1,443 \text{ mm}$$

$$= 228,092 \text{ mm}$$

Ukuran sisi penampang 28,092 mm dan 1,443 mm tidak dapat digunakan dalam konstruksi pendulum alat uji impak karena sisi-sisinya terlalu lebar dan terlalu sempit. Untuk penyusunan desain awal pendulum, dengan melihat material yang dijual di pasaran, dipilih material dengan lebar sisi 22 mm dan 15 mm. Pemilihan ukuran sisi penampang inipun didasarkan pada luas penampang pendulum yang telah diketahui sebelumnya yaitu sebesar  $329,137 \text{ mm}^2$ . Pemilihan ukuran material ini juga harus diuji besar defleksinya.

Setelah diketahui ukuran kedua sisi dari penampang batang pendulum, yaitu 22 mm dan 15 mm, maka dapat dihitung defleksi ( $V_{max}$ ) dari batang pendulum sebenarnya:

$$V_{max} = \frac{F L}{3 \dots}$$

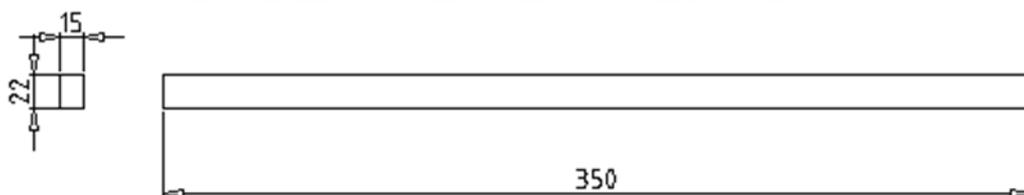
$$= \frac{8,852 \quad 350}{3 \dots}$$

*commit to user*

$$= \frac{8,852}{3} \cdot \frac{350}{1000}$$

$$= 0,102 \text{ mm}$$

Struktur melentur yang kaku dibutuhkan dalam perancangan batang pendulum ini, syarat konstruksi aman yaitu defleksi material ( $V_{max}$ )  $\leq 0,2\%$ . Dengan perhitungan defleksi material ( $V_{max}$ ) = 0,2%, dengan faktor keamanan = 4, didapatkan hasil defleksi material ( $V_{max}$ ) = 11,07 mm, maka perbandingannya adalah  $0,102 \text{ mm} \leq 11,07 \text{ mm}$ , sehingga material dengan kekuatan dan dimensi yang dipilih sudah memenuhi konstruksi perhitungan kekuatan dan defleksi material. Gambar 4.9 dibawah menunjukkan desain pendulum alat uji impak hasil perancangan.



**Gambar 4.9.** Desain Awal Pendulum Alat Uji Impak  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

#### D. Desain alat uji impak

Penyusunan desain alat uji impak Charpy ini tidak ditentukan dalam standart *American Society for Testing and Materials* (ASTM) yang mengatur tentang alat uji ini, yaitu ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97. Dari desain awal alat uji impak yang diperlihatkan pada gambar 4.9, dapat diketahui bahwa batang pendulum dengan kepala pendulum menyatu dengan ukuran yang sama. Dalam penentuan desain pendulum ini diperlukan modifikasi untuk meningkatkan *performance* fungsi dari pendulum itu sendiri dengan menentukan desain batang dan kepala pendulum.

##### 1. Desain batang pendulum

Dari perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya didapatkan massa pendulum adalah 0,902 kg sedangkan volume pendulum adalah  $115.197,9566 \text{ mm}^3$ . Pada perancangan ini massa batang pendulum adalah 200 gram yang diambil dari massa total pendulum (0,902 kg).

Selanjutnya dicari volume batang pendulum. Untuk mendapatkan volume pendulum ( $V$ ) pada massa 200 gr, dicari dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} V &= \frac{\text{Volume total}}{\text{massa total}} \times 200 \\ &= \frac{115,19}{902} \times 200 \\ &= 127,714 \text{ mm}^3/\text{gr} \times 200 \\ &= 25542,784 \text{ mm}^3 \text{ pada massa 200 gr} \end{aligned}$$

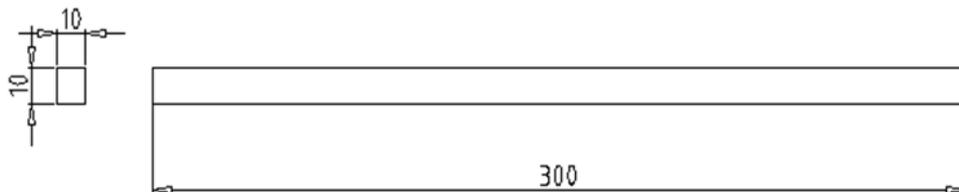
Dengan panjang batang pendulum 300 mm, maka luas penampang batang pendulum ( $L$ ):

$$\begin{aligned} L &= \frac{25542,84}{300} \\ &= 85,14 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya untuk menentukan ukuran sisi pendulum ( $s$ ):

$$\begin{aligned} S &= \frac{85,14}{8} \\ &= 10,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan ukuran sisi untuk batang pendulum adalah 8 mm dan 10,64 mm. Dengan melihat material yang dijual di pasaran maka ditentukan ukuran sisi batang pendulum adalah 10 mm x 10 mm.

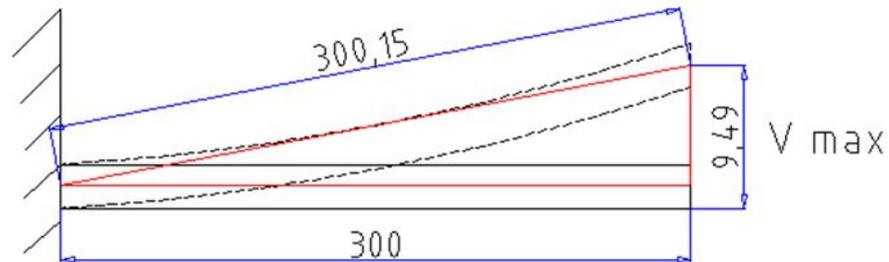


**Gambar 4.10.** Desain Batang Pendulum Alat Uji Impak  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

- Pengujian defleksi

Setelah diketahui ukuran kedua sisi dari penampang batang pendulum, yaitu 10 mm x 10 mm, maka dapat dihitung defleksi ( $V_{max}$ ) dari batang pendulum sebenarnya. Besarnya defleksi yang diijinkan pada batang pendulum yang mengalami beban statis adalah  $\leq 0,2$  %. Dengan memperhitungkan faktor keamanan = 4, maka defleksi ( $V_{max}$ ) yang

dijinkan menjadi 0,05 % panjang awal batang pendulum sebelum mengalami pembebanan, sehingga didapatkan defleksi ( $V_{max}$ ) dari batang pendulum sebesar 9,49 mm.



**Gambar 4.11.** Defleksi pada Batang Pendulum

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Dengan modulus elastisitas baja ST-37 sebesar 200 Gpa, maka didapatkan:

$$\begin{aligned}
 V_{max} &= \frac{F L}{3} \\
 &= \frac{8,852 \quad 300}{3} \\
 &= \frac{8,852 \quad 300}{3} \\
 &= 0,478 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Struktur melentur yang kaku dibutuhkan dalam perancangan batang pendulum ini, syarat konstruksi aman yaitu defleksi material ( $V_{max}$ )  $\leq$  0,2%. Dengan perhitungan defleksi material ( $V_{max}$ ) = 0,2%, dengan faktor keamanan = 4, didapatkan hasil defleksi material ( $V_{max}$ ) = 9,49 mm, maka perbandingannya adalah  $0,478 \text{ mm} \leq 9,49 \text{ mm}$ , sehingga material dengan kekuatan dan dimensi yang dipilih sudah memenuhi konstruksi perhitungan kekuatan dan defleksi material.

## 2. Desain Kepala pendulum (*Head*)

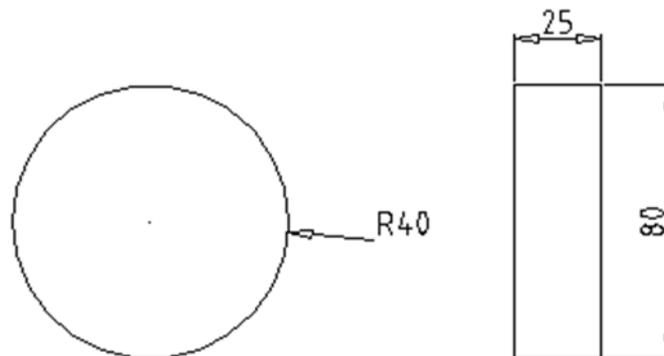
Dari perhitungan yang telah dijelaskan sebelumnya didapatkan bahwa massa total pendulum adalah 0,902 kg, sedangkan massa batang pendulum adalah 0,2 kg sehingga didapatkan massa ( $m$ ) dari kepala pendulum:

$$\begin{aligned} m &= \text{massa total} - \text{massa batang} \\ &= 0,902 \text{ kg} - 0,2 \text{ kg} \\ &= 0,702 \text{ kg} \\ &= 702 \text{ gr} \end{aligned}$$

Selanjutnya dicari volume kepala pendulum. Untuk mendapatkan volume kepala pendulum ( $V$ ) pada massa 702 gr, dicari dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} V &= \frac{\text{Volume total}}{\text{massa total}} \times 702 \\ &= \frac{115.199,9566}{902} \times 702 \\ &= 127,714 \text{ mm}^3/\text{gr} \times 702 \\ &= 89.655,228 \text{ mm}^3 \text{ pada massa } 702 \text{ gr} \end{aligned}$$

Pada perancangan kepala pendulum ini menggunakan bahan utama baja pelat ST-37 dengan tebal 25 mm berbentuk lingkaran dengan dimensi jari-jari ( $r$ ) = 40 mm, seperti diperlihatkan pada gambar 4.12.



**Gambar 4.12.** Dimensi Bahan Kepala Pendulum

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Dari dimensi yang telah dijelaskan diatas, maka volume ( $V$ ) untuk bahan kepala pendulum adalah:

$$\begin{aligned} V &= L \times t \\ &= \pi^2 \times t \end{aligned}$$

*commit to user*

$$= \pi \times 40^2 \times 25$$

$$= 125.714,25 \text{ mm}^3$$

Sehingga ada kelebihan volume ( $V$ ) yang harus dibuang sebesar:

$$V \text{ harus buang} = 125.714,25 \text{ mm}^3 - 89.655,228 \text{ mm}^3$$

$$= 36.049,022 \text{ mm}^3$$

Besar volume yang dibuang pada bahan utama baja pelat *ST-37* ini dicari dengan pemotongan baja pelat dengan terlebih dahulu menentukan volume pemotongan yang didapatkan dari pemotongan sisi balok dan tembereng yang dijelaskan setelah ini.

- Menentukan volume balok yang dibuang

Dalam menentukan volume balok yang akan dibuang, maka terlebih dahulu menentukan lebar balok sebesar 30 mm. Selanjutnya ditentukan panjang balok yang akan dipotong dengan perhitungan:

$$\text{Sisi panjang } \Delta = \frac{\text{sisi mi} \text{ in}^2}{\text{sisi l}^2}$$

$$= \frac{\sqrt{40^2 - 1^2}}{1}$$

$$= 37,1 \text{ mm}$$

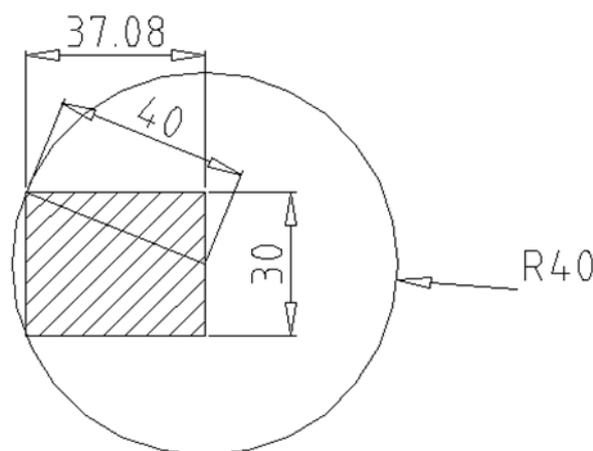
Sehingga didapatkan volume ( $V$ ) balok yang dipotong:

$$V = p \times l \times t$$

$$= 37,1 \times 30 \times 25$$

$$= 27.825 \text{ mm}^3$$

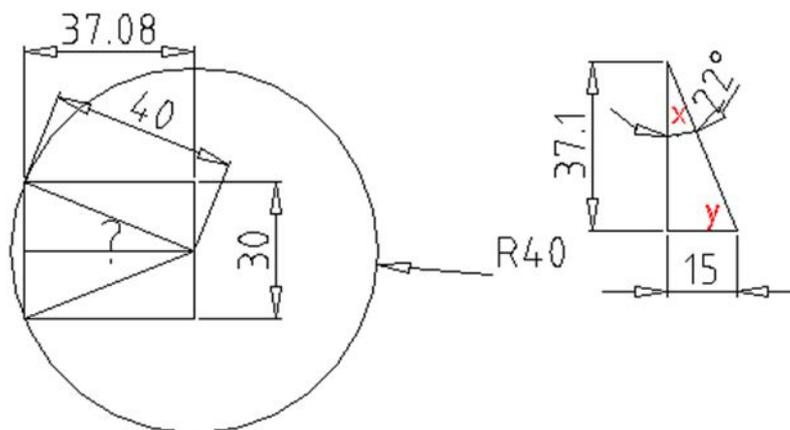
Besar balok yang dipotong diperlihatkan pada gambar 4.13.



**Gambar 4.13.** Dimensi Bahan Balok yang Dipotong  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

- Menentukan volume tembereng yang dipotong

Tembereng yang dipotong didapatkan dari luas juring dikurangi dengan luas sisi segitiga sama kaki. Langkah yang dilakukan pertama kali adalah mencari sudut juring, seperti diperlihatkan pada gambar 4.14.



**Gambar 4.14.** Sudut Juring

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Dari gambar 4.13, diketahui bahwa segitiga siku-siku dengan sisi panjang 37,1 mm, sisi lebar 15 mm, dan sisi miring 40 mm. Untuk mencari sudut  $Y$  dengan:

$$\sin Y = \frac{3}{40}$$

$$= 0,927$$

$$Y = \sin^{-1} 0,927$$

$$= 67,97^{\circ}$$

$$X = 22,03^{\circ}$$

Jadi sudut juringnya adalah  $44,06^{\circ}$

$$\text{Luas juring} = \frac{44,06}{360} \times \pi \times 40^2$$

$$= 615,44 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luas segitiga} = \frac{a \cdot t}{2}$$

$$= \frac{30 \cdot 3,1}{2}$$

$$= 556,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\text{Luas tembereng} &= \text{luas juring} - \text{luas segitiga} \\ &= 615,44 \text{ mm}^2 - 556,5 \text{ mm}^2 \\ &= 58,94 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume tembereng} &= 58,94 \text{ mm}^2 \times 25 \text{ mm} \\ &= 1473,5 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

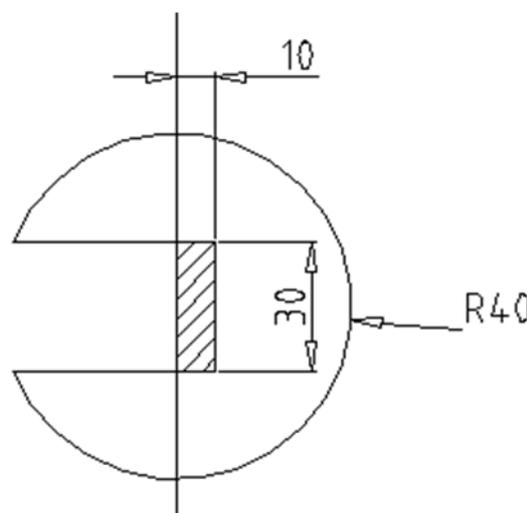
Jadi volume total yang dibuang adalah ( $V_t$ ):

$$\begin{aligned}V_t &= \text{volume balok} + \text{volume tembereng} \\ &= 27.825 \text{ mm}^3 + 1473,5 \text{ mm}^3 \\ &= 29.298,5 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

Dari perhitungan sebelumnya diketahui besar volume yang harus dibuang adalah  $36.049,022 \text{ mm}^3$ , sedang volume total yang sudah dibuang adalah  $29.298,5 \text{ mm}^3$ , Jadi masih ada sisa volume sebesar  $6750,522 \text{ mm}^3$  yang harus dibuang. Sisa volume tersebut digunakan untuk perancangan desain *striking edge*.

- Desain *striking edge*

Dalam perancangan *striking edge*, terlebih dahulu dilakukan pemotongan kembali volume balok pada kepala pendulum, berfungsi sebagai dudukan dan juga agar *striking edge* ketika dipasang dapat *centering* dengan batang pendulum. Volume balok dipotong kembali dengan lebar 10 mm, seperti diperlihatkan pada gambar 4.15



**Gambar 4.15.** Volume Balok yang Dipotong  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

Volume balok yang dipotong ( $V$ ) adalah:

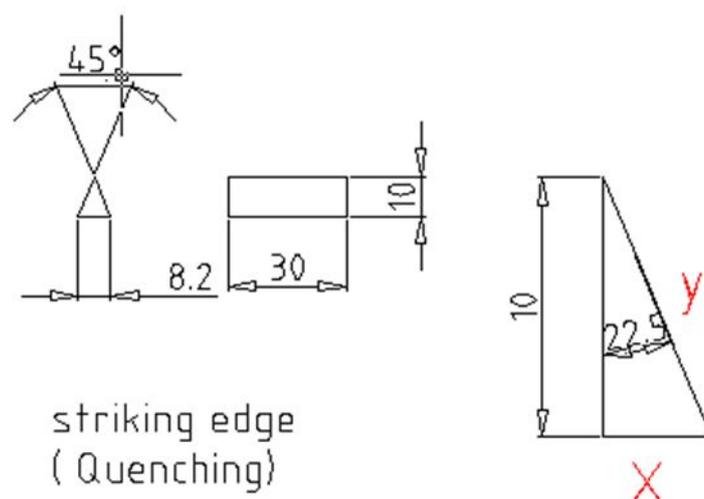
$$\begin{aligned} V &= p \times l \times t \\ &= 30 \times 10 \times 25 \\ &= 7500 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan sebelumnya diketahui masih ada sisa volume sebesar  $6750,522 \text{ mm}^3$  yang harus dibuang, sehingga dengan adanya pemotongan kembali volume balok dengan lebar 10 mm, didapatkan:

$$\begin{aligned} V \text{ sisa buang} &= 6750,522 \text{ mm}^3 - 7500 \text{ mm}^3 \\ &= -750,522 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut dapat dikatakan bahwa volume bagian kepala pendulum sudah tidak perlu dikurangi lagi, tetapi memerlukan penambahan volume sebesar  $750,522 \text{ mm}^3$ . Kekurangan ini dapat diimbangkan dengan menambah *striking edge*.

Dalam standart *American Society for Testing and Materials* (ASTM), yaitu ASTM D 6110-97, dijelaskan bahwa desain *striking edge* memiliki sudut  $45^\circ$ , dengan bahan *hardened steel*, sedang untuk geometri panjang dan lebarnya tidak ditentukan dalam standart tersebut. Dalam perancangan ini, dengan memperhatikan unsur *centering* antara *striking edge* dan batang pendulum, maka *striking edge* dirancang dengan ukuran 10 mm x 8,26 mm x 30 mm, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.16.



**Gambar 4.16.** Desain *Striking Edge*

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Perhitungan untuk menentukan ukuran *striking edge* menggunakan persamaan segitiga siku-siku yang ditunjukkan pada gambar 4.15, sisi miring ( $Y$ ) didapatkan dari:

$$\sin 67,5^\circ = \frac{10}{Y}$$

$$0,924 = \frac{10}{Y}$$

$$Y = 10,82 \text{ mm}$$

$$X = 4,13 \text{ mm}$$

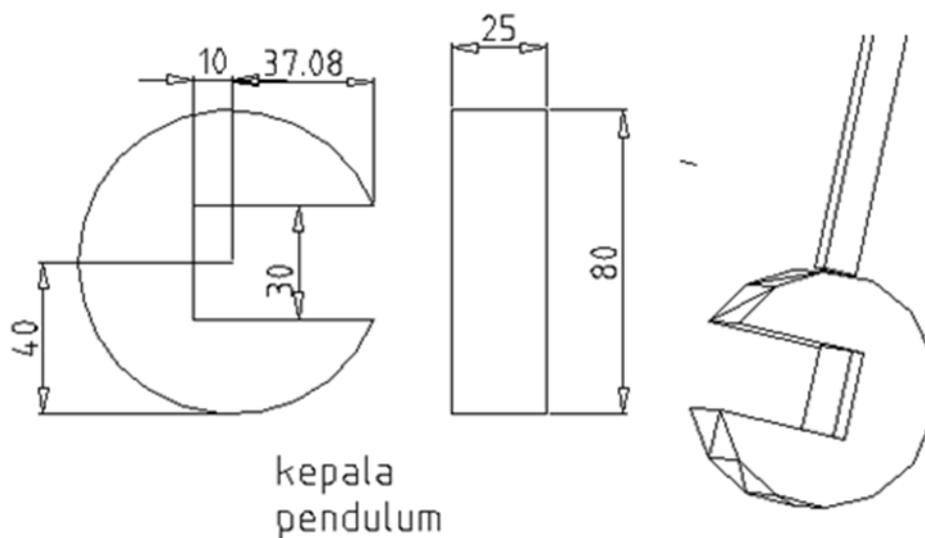
$$\text{Alas striking edge} = 2X$$

$$= 8,26 \text{ mm}$$

$$V \text{ striking edge} = \frac{10 \cdot 8,26}{2} \times 30$$

$$= 1.239 \text{ mm}^3$$

Dari perhitungan sebelumnya diketahui desain kepala pendulum masih memerlukan penambahan volume sebesar  $750,522 \text{ mm}^3$ , dengan penambahan volume *striking edge* sebesar  $1.239 \text{ mm}^3$ , maka masih ada sisa volume sebesar  $488,478 \text{ mm}^3$  atau bila dihitung massanya adalah 3,82 gr. Kelebihan massa 3,82 gr ini masih diperbolehkan yang diatur dalam *Society for Testing and Materials* (ASTM), yaitu ASTM D 6110-97. Gambar 4.17 menunjukkan desain kepala pendulum.



**Gambar 4.17.** Desain Kepala Pendulum  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

**E. Beban pendulum**

Beban yang terjadi pada pendulum terdiri dari:

1. Beban yang diakibatkan oleh beban pendulum (0,902N)
2. Beban karena gerakan pendulum (Gaya sentrifugal).

Gaya sentrifugal yang terjadi pada pendulum didapatkan dari persamaan:

$$F_s = m \times v^2/r \dots\dots\dots(4.5)$$

Dimana,

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(4.6)$$

Keterangan:

- $F_s$  : Gaya Sentrifugal (N)
- $m$  : Massa (kg)
- $r$  : Jari-jari (m)
- $v$  : Kecepatan gerak pendulum (m/s)
- $g$  : Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )
- $h$  : Jarak jatuhnya pisau pemukul pendulum (mm)

Jarak jatuhnya pisau pemukul pendulum ( $h$ ) pada standart ASTM D-6110-97 ditunjukkan sebesar  $610 \pm 2$  mm dan panjang pendulum sebesar 380 mm, maka didapatkan:

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{9,81 \times 0,61}$$

$$= \sqrt{11,97}$$

$$= 3,46 \text{ m/s}$$

$$F_s = m \times v^2/r$$

$$= 0,902 \times 3,46^2 / 0,38$$

$$= 28,417 \text{ N}$$

Sehingga gaya total yang terjadi pada pendulum adalah:

$$F_t = W + F_s$$

$$= 8,852 \text{ N} + 28,417 \text{ N}$$

$$= 37,268 \text{ N}$$

*commit to user*

**F. Menghitung kekuatan material ( $\sigma$ )**

Pemilihan material pendulum berdasarkan pada kekuatan material yang dipengaruhi oleh perhitungan defleksi. Persamaan untuk menentukan kekuatan material yaitu:

$$\sigma = \frac{M}{I} \dots\dots\dots(4.7)$$

Keterangan:

$\sigma$  : Kekuatan material (N/mm<sup>2</sup>)

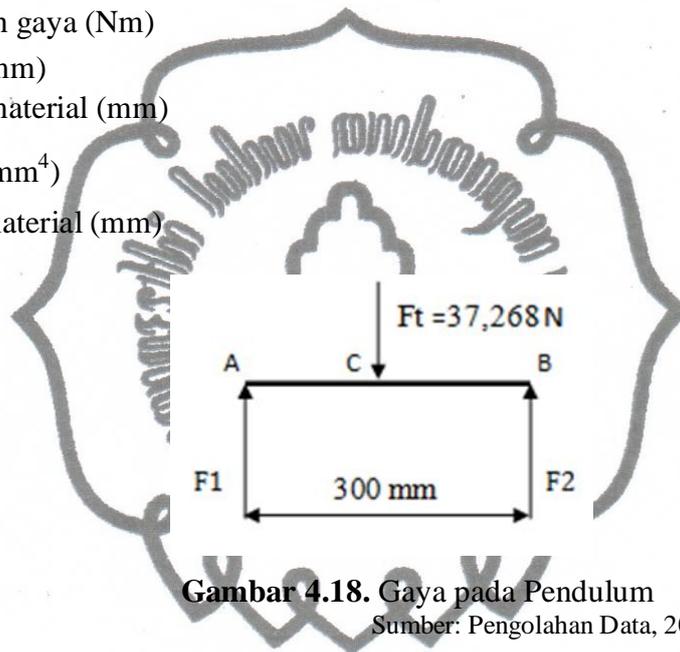
$M$  : Momen gaya (Nm)

$C$  :  $\frac{1}{2} h$  (mm)

$h$  : tebal material (mm)

$I$  :  $\frac{bh^3}{12}$  (mm<sup>4</sup>)

$b$  : lebar material (mm)



**Gambar 4.18.** Gaya pada Pendulum  
 Sumber: Pengolahan Data, 2011

Gambar 4.18 menunjukkan gaya yang terjadi pada pendulum. Jarak  $F_1$  dengan  $F_2$  sebesar  $L = 350$  mm, nilai  $F_1$  sama dengan  $F_2$  diperoleh melalui perhitungan beban maksimum dibagi dua.

$$\begin{aligned} F_1 = F_2 &= \frac{F}{2} \\ &= \frac{37,268}{2} \\ &= 18,634 \text{ N} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen gaya ( $M$ )

Momen gaya diperoleh dengan mengkalikan salah satu gaya ( $F_1$  atau  $F_2$ ) dengan setengah total panjang jarak antara  $F_1$  dengan  $F_2$ .

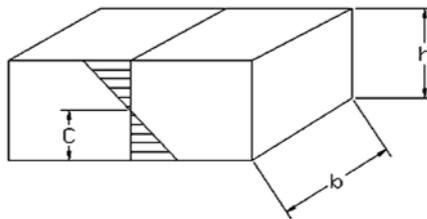
$$M = F_1 \times L / 2$$

*commit to user*

$$\begin{aligned}
 &= 18,634 \text{ N} \times 380 \text{ mm}/2 \\
 &= 18,634 \text{ N} \times 190 \text{ mm} \\
 &= 3540,46 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Perhitungan momen inersia ( $I$ )

Momen inersia merupakan momen tahanan yang dimiliki oleh sebuah batang balok maupun batang silindris yang menggunakan dimensinya sebagai dasar perhitungannya.



**Gambar 4.19.** Dimensi Perhitungan Momen Inersia  
 Sumber: Pengolahan Data, 2011

Perhitungan momen inersia diperoleh dengan mengkalikan lebar material dengan pangkat tiga dari tinggi material kemudian dibagi dengan 12, seperti yang sudah diperlihatkan pada perhitungan defleksi material diatas.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \dots\dots\dots(4.8)$$

Keterangan:

$b$  : Tebal material

$h$  : Tinggi Material

$c$  : Titik berat bidang kontak =  $\frac{1}{2} h$

Dengan tebal material pendulum 10 mm, dan tinggi material pendulum 10 mm, maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{b \cdot h^3}{12} \\
 &= \frac{10 \cdot 10^3}{12} \\
 &= 8.333,33 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Perhitungan menentukan kekuatan material ( $\sigma$ )

$$\sigma = \frac{M}{I} \dots\dots\dots \text{commit to user}$$

$$= \frac{3540,46}{8.333,33}$$

$$= 2,124 \text{ N/mm}^2$$

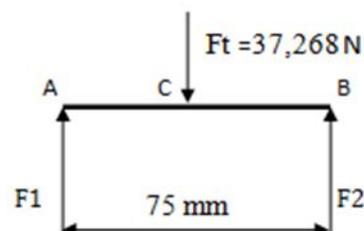
Hasil perhitungan kekuatan 2,124 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pemilihan material menggunakan ST-37 memiliki tegangan luluh 130 N/mm<sup>2</sup>. Perbandingan kekuatan material yang terjadi adalah 2,124 N/mm<sup>2</sup> ≤ 130 N/mm<sup>2</sup>. Jadi material yang dipilih sudah memenuhi syarat untuk konstruksi kekuatan. Apabila pendulum membentur spesimen uji dan spesimen uji tidak patah, maka pendulum akan kembali, sedangkan apabila spesimen uji patah lengan pendulum tidak akan mengalami kerusakan.

#### 4.3.2 Pemilihan Bantalan

Bantalan pada perancangan alat uji impak Charpy berguna untuk menumpu poros agar poros dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bantalan yang digunakan adalah bantalan bola (*ball bearing*). Bantalan ini dipilih karena:

- Kecepatan gerak pendulum rendah, 3,46 m/s. Jika dibandingkan dengan *plain bearing*, maka *ball bearing* menghasilkan gesekan yang lebih sedikit.
- Ball bearing* membutuhkan pelumasan yang sedikit. Pelumasan jenis *ball bearing* ini menggunakan *grease*, sehingga mudah dalam perawatan.
- Nilai keausan pada *ball bearing* rendah dan hanya membutuhkan sedikit perawatan.

Pembebanan yang terjadi pada poros adalah beban yang diakibatkan oleh posisi pendulum. Pada perancangan ini menggunakan dua buah bantalan yang ditempatkan pada tiap ujung poros yang mempunyai panjang 75 mm.



**Gambar 4.20.** Beban pada Bantalan

Sumber: Pengolahan Data, 2011

*commit to user*

Gambar 4.20 menunjukkan gaya yang terjadi pada pendulum. Jarak  $F_1$  dengan  $F_2$  sebesar  $L=75$  mm, nilai  $F_1$  sama dengan  $F_2$  diperoleh melalui perhitungan beban maksimum dibagi dua.

$$\begin{aligned} F_1 = F_2 &= \frac{F}{2} \\ &= \frac{3,268}{2} \\ &= 18,634 \text{ N} \end{aligned}$$

Atas dasar arah beban terhadap poros, maka setiap bantalan ini membawa beban radial ( $Fr$ ) sebesar 18,634 N, dengan memperhitungkan faktor keamanan ( $k$ ) sebesar 2, maka didapatkan:

$$\begin{aligned} F &= k \times Fr \\ &= 2 \times 18,634 \\ &= 37,268 \text{ N} \end{aligned}$$

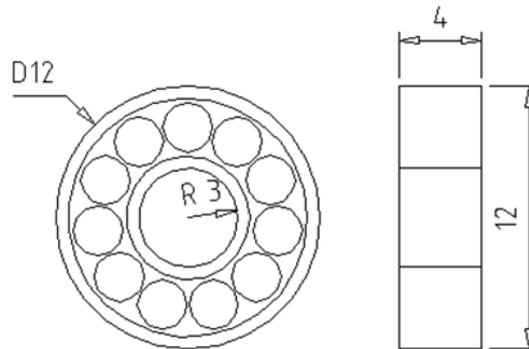
Berdasarkan perhitungan diatas maka bantalan yang dipakai pada perancangan alat uji impact ini adalah *ball bearing* tipe ZZ1NR, tipe NTN, yang memiliki diameter dalam 6 mm, diameter luar 17 mm, dan dengan lebar 6 mm. Bantalan tersebut mampu menahan beban hingga 640 N, sehingga aman untuk digunakan.

Kecepatan gerak pendulum adalah rendah, yaitu 3,46 m/s. Dengan jarak pergerakan pendulum ( $h$ ) adalah 610 mm, dan faktor koreksi kecepatan untuk *ball bearing* dengan penggunaan untuk menopang poros yang bergerak sebesar 1,5 (Neale, 1999), maka kecepatan maksimal ( $S$ ) yang dicapai adalah:

$$\begin{aligned} S &= \frac{V}{h} \times 1,5 \\ &= \frac{20,600}{610} \times 1,5 \\ &= 510,491/\text{min} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, kecepatan maksimal ( $S$ ) yang dialami oleh *bearing* pada perancangan alat uji impact ini adalah 510,491/min. Pada perancangan alat uji impact ini, peneliti menggunakan *ball bearing* tipe ZZ1NR,

tipe NTN yang memiliki kecepatan maksimal ( $S$ ) sebesar 40.000/min, sehingga *bearing* yang dipilih sudah sesuai dan aman untuk digunakan.



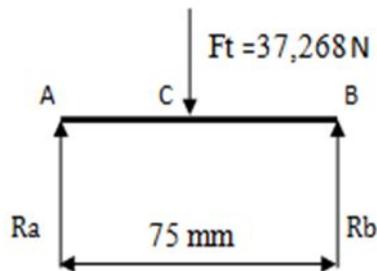
**Gambar 4.21.** Bearing ZZ1NR, NTN  
 Sumber: NTN Corporation, 2011

**4.3.3 Perancangan Poros**

Poros pada perancangan alat uji impak Charpy dibuat dari baja poros ST 70 dengan tegangan tarik ( $\sigma$ ) sebesar  $70 \text{ kg/mm}^2$ . Poros ini memiliki panjang 75 mm, dengan diameter 6 mm. Pada ujung poros ditempatkan pada dua buah *bearing* yang mempunyai lebar 6 mm.

Beban yang dialami oleh poros pada alat uji impak Charpy berupa:

- a. Beban dari pendulum, yaitu:
  - Berat pendulum, sebesar 8,852 N
  - Gaya Sentrifugal, sebesar 28,417 N
- b. Beban Momen



**Gambar 4.22.** Reaksi Gaya pada Poros  
 Sumber: Pengolahan Data, 2011

$$\square M_A = 0$$

$$37,268 \text{ N} \times 37,5 \text{ mm} - R_b \times 75 \text{ mm} = 0$$

$$1397,55 \text{ Nmm} = R \times 75 \text{ mm}$$

$$R = 18,634 \text{ N}$$

$$F_t = R_A - R$$

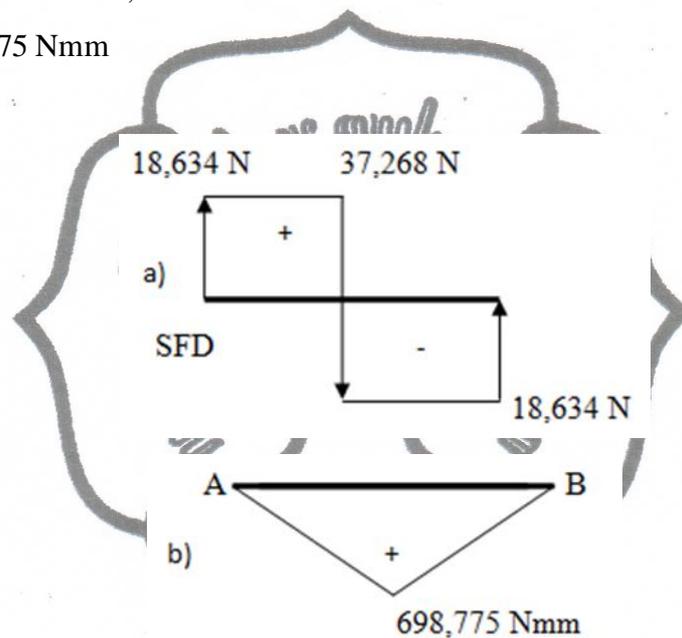
$$R_A = 37,268 \text{ N} - 18,634 \text{ N}$$

$$= 18,634 \text{ N}$$

$$M_A = M = 0$$

$$M = 18,634 \text{ N} \times 37,5 \text{ mm}$$

$$= 698,775 \text{ Nmm}$$



**Gambar 4.23.** Diagram momen a) SFD, b) BMD  
 Sumber: Pengolahan Data, 2011

Untuk perancangan poros diperlukan faktor keamanan, sehingga perlu memasukkan angka keamanan. Besar angka keamanan tergantung dari jenis beban yang mengenai poros (Shigley, 1986). Untuk menghitung diameter poros, menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{32}{d^3} \dots \dots \dots (4.9)$$

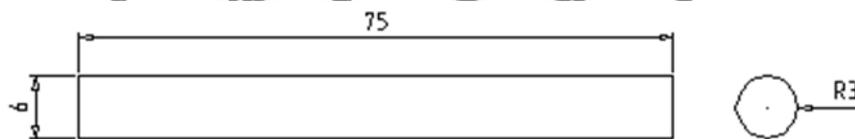
- Keterangan:
- $\sigma$  : Tegangan tarik (Kgf/ mm<sup>2</sup>)
  - $M$  : Momen (Kgf.mm)
  - : 3,1416
  - $d$  : Diameter poros (mm)

*commit to user*

Dengan memasukkan faktor keamanan ( $C_m=2$ ), maka diameter poros:

$$\begin{aligned}
 d &= \frac{32}{\sigma} \\
 &= \frac{32 \cdot 2 \cdot 1256}{3,1416 \cdot 0} \\
 &= \sqrt{\frac{32 \cdot 2 \cdot 1256}{3,1416 \cdot 0}} \\
 &= 2,75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pada hasil perhitungan didapatkan diameter poros sebesar 2,75 mm. Pada perancangan ini, diameter poros yang digunakan, yaitu 6 mm. Dengan acuan diameter poros yang digunakan lebih besar daripada hasil perhitungan, yaitu sebesar 6 mm, maka poros akan aman menahan beban yang terjadi. Gambar 4.24 dibawah menunjukkan dimensi poros yang digunakan dalam perancangan alat uji impak ini.

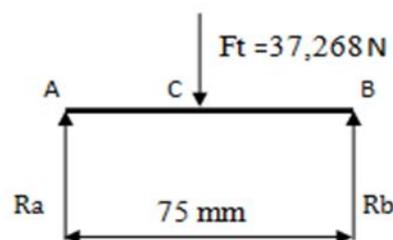


**Gambar 4.24.** Dimensi Poros Alat Uji Impak

Sumber: Pengolahan Data, 2011

#### A. Menghitung kekuatan material ( )

Menghitung kekuatan material diperlukan untuk menentukan material yang akan digunakan dalam perancangan. Pemilihan material poros berdasarkan pada kekuatan material kemudian dilanjutkan perhitungan defleksi.



**Gambar 4.25.** Gaya pada Poros

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Gambar 4.25 menunjukkan gaya yang terjadi pada poros. Jarak  $F_1$  dengan  $F_2$  sebesar  $l = 75$  mm, nilai  $F_1$  sama dengan  $F_2$  diperoleh melalui perhitungan beban maksimum dibagi dua.

$$\begin{aligned} F_1 = F_2 &= \frac{F}{2} \\ &= \frac{3,268}{2} \\ &= 18,634 \text{ N} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen gaya ( $M$ )

Momen gaya diperoleh dengan mengkalikan salah satu gaya ( $F_1$  atau  $F_2$ ) dengan setengah total panjang jarak antara  $F_1$  dengan  $F_2$ .

$$\begin{aligned} M &= F_1 \times l / 2 \\ &= 18,634 \text{ N} \times 37,5 \text{ mm} \\ &= 698,775 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen inersia ( $I$ )

Perhitungan momen inersia diperoleh dengan:

$$I = \frac{\pi R^4}{4}$$

Keterangan:

$I$  : Momen inersia ( $\text{mm}^4$ )

: 3,1416

$R$  : Jari- jari lingkaran (mm)

Dengan jari- jari lingkaran pada penampang poros 6 mm, momen inersianya adalah:

$$\begin{aligned} I &= \frac{\pi R^4}{4} \\ &= \frac{3,1416 \cdot 3}{4} \\ &= 63,64 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

*commit to user*

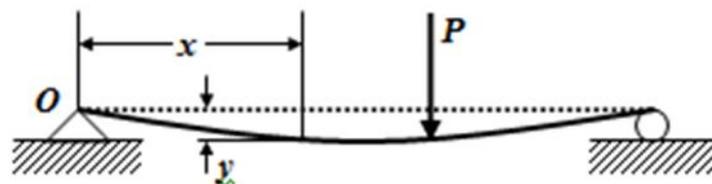
- Perhitungan menentukan kekuatan material ( $\sigma$ ).

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{698,53}{63,64} \\ &= 32,94 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Hasil perhitungan kekuatan material  $32,94 \text{ N/mm}^2$ , sedangkan pemilihan material menggunakan *ST-70* memiliki kekuatan material  $690\text{-}830 \text{ N/mm}^2$ . Perbandingan kekuatan material yang terjadi adalah  $32,94 \text{ N/mm}^2 \leq 700 \text{ N/mm}^2$ . Jadi material yang dipilih sudah memenuhi syarat untuk konstruksi kekuatan.

### B. Defleksi ( $V_{max}$ )

Beban yang terjadi saat pendulum membentur spesimen menyebabkan poros mengalami defleksi pada arah tegak lurus sumbu longitudinalnya. Spesimen dianggap kuat sebagai asumsi dasar perhitungan sehingga batang poros mengalami defleksi.



**Gambar 4.26.** Pembebanan pada Poros

Sumber: Popov, 1996

Persamaan untuk defleksi, yaitu:

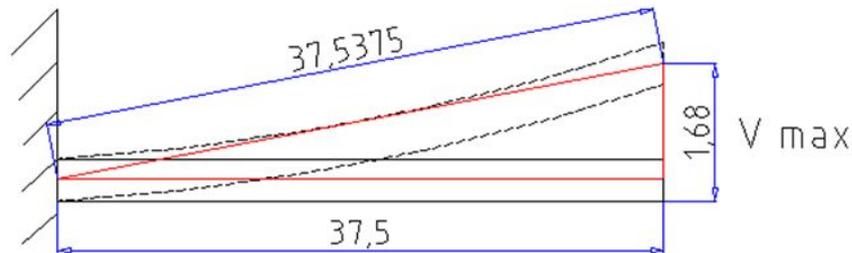
$$V_{max} = \frac{F L}{48 \dots}$$

Keterangan:

- $V_{max}$  : Besarnya defleksi ( $\mu\text{m}$ )
- $F$  : Beban poros (N)
- $L$  : Jarak  $F_1$  dengan  $F_2$  (mm)
- $E$  : Modulus elastisitas (Gpa)
- $I$  : Momen inersia ( $\text{mm}^4$ )

Besarnya defleksi ( $V_{max}$ ) yang diijinkan untuk batang poros yang mengalami beban statis adalah  $\leq 0,2 \%$ . Dengan memperhitungkan faktor keamanan = 2, maka defleksi ( $V_{max}$ ) yang diijinkan menjadi  $0,1 \%$  dari panjang

awal batang poros sebelum mengalami pembebanan, sehingga didapatkan defleksi ( $V_{max}$ ) dari batang pendulum sebesar 1,68 mm.



**Gambar 4.27.** Defleksi Pada Poros

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Dengan modulus elastisitas baja ST-70 sebesar 200 Gpa, maka defleksi yang terjadi pada batang poros adalah:

$$\begin{aligned}
 V_{max} &= \frac{F L}{48} \\
 &= \frac{8,852 \cdot 3,5}{48 \cdot 63,64} \\
 &= 0,764 \mu\text{m}
 \end{aligned}$$

Struktur melentur yang kaku dibutuhkan dalam perancangan batang poros ini, syarat konstruksi aman yaitu defleksi material ( $V_{max}$ )  $\leq 0,2\%$ . Dengan perhitungan defleksi material ( $V_{max}$ ) = 0,2% didapatkan hasil defleksi material ( $V_{max}$ ) = 1,68 mm, Jika dibandingkan dengan defleksi material ( $V_{max}$ ) yang sebenarnya terjadi pada batang poros, maka perbandingannya adalah  $0,764 \mu\text{m} \leq 1,68 \text{ mm}$ . Jadi, material dengan kekuatan dan dimensi yang dipilih sudah memenuhi konstruksi perhitungan kekuatan dan defleksi material.

#### 4.3.4 Perancangan Rangka dan Spesimen Uji

Rangka merupakan bagian dari suatu konstruksi yang mempunyai fungsi sebagai bagian penahan atau penopang terhadap beban yang terjadi pada alat uji dampak Charpy ini. Rangka terdiri dari dua bagian pokok, yaitu: batang tiang penahan dan alas tiang penahan. Batang tiang penahan berfungsi menopang bearing, poros dan pendulum, sedangkan pada alas tiang penahan terdapat *anvil* atau *support* sebagai landasan dari spesimen uji.

*commit to user*

### A. Batang tiang penahan

Pembebanan yang terjadi pada rangka dipengaruhi oleh berat pendulum sendiri. Persamaan untuk menghitung kekuatan material dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot C$$

Keterangan:

$\sigma$  : Kekuatan material (N/mm<sup>2</sup>)

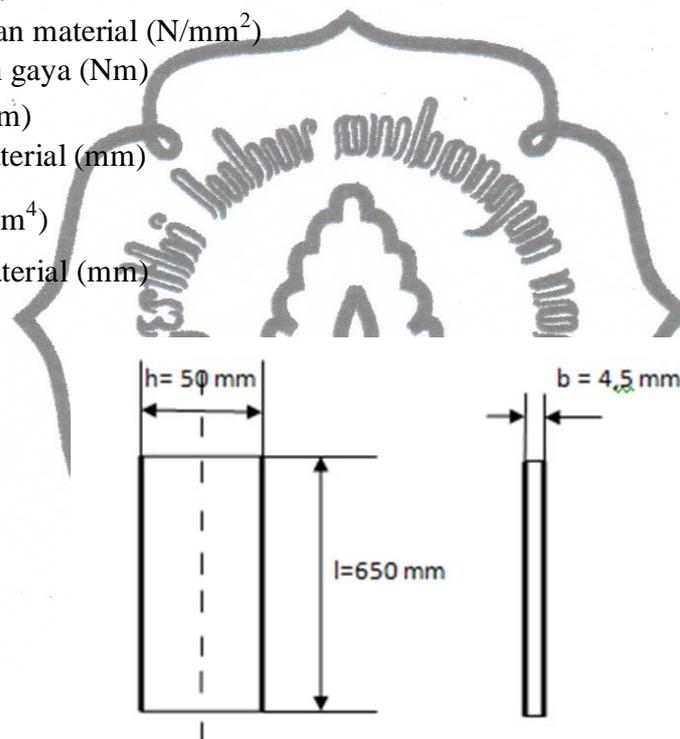
$M$  : Momen gaya (Nm)

$C$  :  $\frac{1}{2} h$  (mm)

$h$  : tebal material (mm)

$I$  :  $\frac{b \cdot h^3}{12}$  (mm<sup>4</sup>)

$b$  : lebar material (mm)



**Gambar 4.28.** Dimensi Rangka

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Gambar diatas menunjukkan dimensi rangka pada alat uji impak, penentuan tebal ( $b$ ) dan lebar ( $h$ ) dari material didapatkan melalui survei besi baja di lapangan. Jarak  $F_1$  dengan  $F_2$  sebesar  $l = 650$  mm, nilai  $F_1$  sama dengan  $F_2$  diperoleh melalui perhitungan beban maksimum dibagi dua.

$$F_1 = F_2 = \frac{F}{2}$$

$$= \frac{8,852}{2}$$

*commit to user*

$$= 4,426 \text{ N}$$

- Perhitungan momen gaya ( $M$ ),

Momen gaya diperoleh dengan mengkalikan salah satu gaya ( $F_1$  atau  $F_2$ ) dengan setengah total panjang jarak antara  $F_1$  dengan  $F_2$ .

$$\begin{aligned} M &= F_1 \times l / 2 \\ &= 4,426 \text{ N} \times 650 \text{ mm} / 2 \\ &= 4,426 \text{ N} \times 325 \text{ mm} \\ &= 1438,45 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

- Perhitungan momen inersia ( $I$ )

Perhitungan momen inersia diperoleh dengan mengkalikan lebar material dengan pangkat tiga dari tinggi material kemudian dibagi dengan 12.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Keterangan:

$b$  : Tebal material

$h$  : Tinggi Material

$c$  : Titik berat bidang kontak =  $\frac{1}{2} h$

Dengan tebal material rangka 4,5 mm, dan tinggi material rangka 50 mm, maka dapat dihitung:

$$\begin{aligned} I &= \frac{b \cdot h^3}{12} \\ &= \frac{4,5 \cdot 50^3}{12} \\ &= 46.875 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Perhitungan menentukan kekuatan material ( $\sigma$ ).

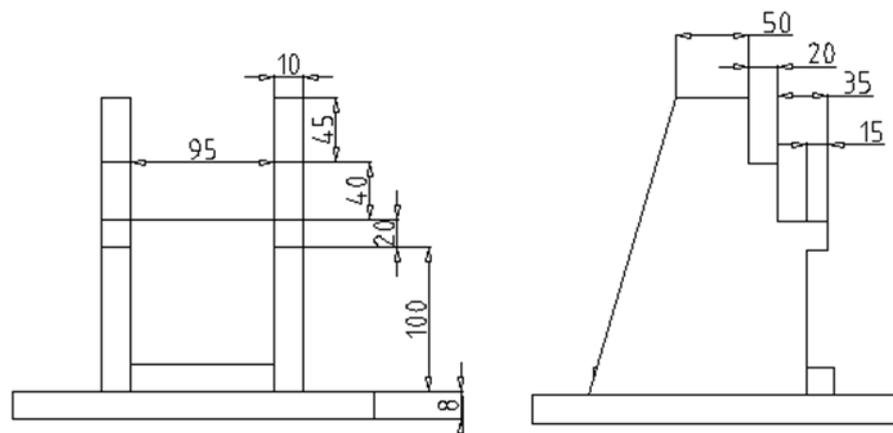
$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M}{I} \\ &= \frac{1438,45}{46.875} \\ &= 0,767 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kekuatan 0,767 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan pemilihan material menggunakan baja *U-Channels*, ST-37 yang memiliki kekuatan material 340 s/d

440 N/mm<sup>2</sup>. Perbandingan kekuatan material yang terjadi adalah  $0,767 \text{ N/mm}^2 \leq 340 \text{ N/mm}^2$ . Jadi material yang dipilih sudah memenuhi syarat untuk konstruksi kekuatan.

### B. Alas tiang penahan

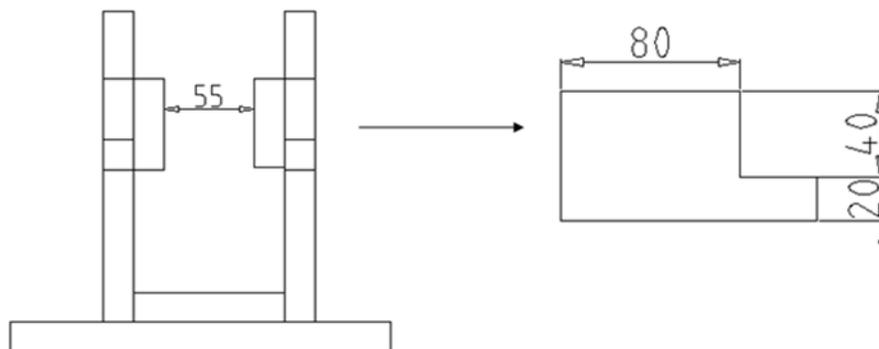
Alas tiang penahan pada alat uji impact Charpy ini berfungsi untuk menopang batang tiang penahan, yang keduanya dihubungkan dengan *bolt*. Alas tiang penahan ini terbuat dari baja pelat dengan tebal 8 mm.



**Gambar 4.29.** Dimensi Rangka Bawah

Sumber: Pengolahan Data, 2011

Pada alas tiang penahan terdapat *anvil* sebagai landasan dari spesimen. Jarak antara kedua *anvil* adalah 95 mm, jarak ini menurut standar ASTM D 6110-97. Dengan jarak *anvil* sebesar 95 mm, Alat uji impact ini mengalami kesulitan ketika melakukan pengujian dengan *specimen* dengan panjang kurang dari 95 mm. Untuk mengatasi hal tersebut dalam perancangan ini, ditambahkan *anvil* pendukung (*support*) dengan tebal 20 mm, yang dapat dipasangkan dengan *anvil* utama menggunakan *bolt*.



**Gambar 4.30.** Dimensi *Support*

Sumber: Pengolahan Data, 2011

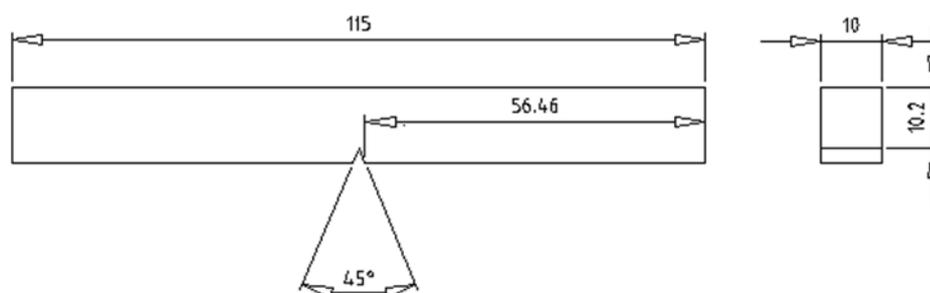
### C. Material uji (*specimen*)

Spesimen pada perancangan alat uji impak Charpy ini terbuat dari material komposit *natural fibre*, tetapi dapat juga dipakai untuk pengujian material *fiberglass*. Material *fiberglass* menjadi acuan dalam penentuan kekuatan maksimal komposit *natural fibre*, karena memiliki nilai impak yang hampir sama. *American Society for Testing and Materials* (ASTM), yaitu ASTM D 6110-97 memberikan standar untuk spesimen uji dengan material tertentu yang digunakan mempunyai lebar ( $b$ ) antara 3,00 dan 12,70 mm, tetapi yang direkomendasikan adalah spesimen dengan lebar diatas 6,36 mm. Setiap spesimen yang diuji harus bebas dari puntiran (*twist*), goresan (*scratches*), dan lubang (*pits*).

Dalam ASTM D 5942-96 memberikan standar untuk sudut yang dipakai untuk takikan (*notch*) pada spesimen uji adalah  $45 \pm 1^{\circ}$ . Radius yang dipakai pada takikan spesimen uji adalah  $0,25 \pm 0,05$  mm, namun radius tersebut dapat berubah tergantung dari tipe spesimen dengan memperhitungkan panjang, lebar, dan ketebalan spesimen. ASTM D 6110-97 juga memberikan standart untuk panjang sisi di bawah *notch* ( $b_N$ ) adalah  $10,2 \pm 0,05$  mm, tetapi tidak disebutkan berapa lebar spesimen ( $b$ ) saat menggunakan standart tersebut. Tidak ada standar pasti mengenai panjang spesimen ( $L$ ), tinggi spesimen ( $h$ ), dan keharusan menggunakan *notch*.

Dalam praktikum material teknik mengenai uji impak di jurusan Teknik Industri UNS, perlu dibuat standart material uji untuk praktikum. Hal ini untuk memudahkan paktikan dalam melakukan praktikum, sehingga waktu yang digunakan lebih efisien. Untuk ini peneliti merancang desain spesimen yang khusus digunakan saat praktikum.

- Desain spesimen uji I

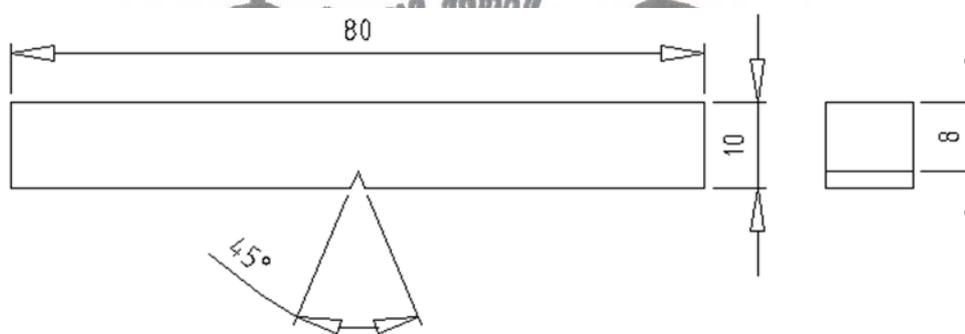


**Gambar 4.31.** Dimensi Spesimen Uji I

Sumber: Pengolahan Data, 2011β $\alpha$

Spesimen yang digunakan dalam praktikum material teknik ini memiliki panjang ( $l$ ) 115 mm. Pemilihan panjang ini tidak diatur dalam ASTM D 6110-97, tetapi untuk menyesuaikan dengan ukuran *anvil* alat uji impact, sehingga pemasangan pada *anvil* lebih mudah. Spesimen ini memiliki ukuran sisi lebar ( $b$ ) 12,7 mm mengikuti standar ASTM D 6110-97, dengan panjang sisi di bawah *notch* ( $b_N$ ) adalah 10,2 dan tinggi ( $h$ ) 10 mm. Untuk takik (*notch*) pada spesimen ini menggunakan standar ASTM D 5942-96 . Sudut yang dipakai untuk takikan (*notch*) pada spesimen uji adalah  $45 \pm 1^\circ$ .

- Desain spesimen uji II



**Gambar 4.32.** Dimensi Spesimen Uji II

Sumber: Pengolahan Data, 2011

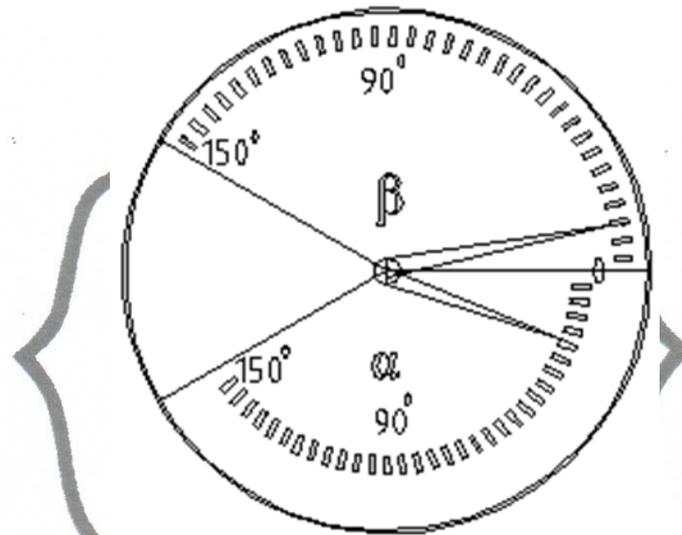
Desain spesimen uji yang kedua ini menggunakan standar ASTM D 5942-96. Spesimen ini mempunyai panjang ( $l$ ) 80 mm, lebar ( $b$ ) 10 mm, dan tinggi ( $h$ ) 10 mm. Pemilihan panjang ( $l$ ) dan lebar ( $b$ ) ini mengikuti standar ASTM yang ditetapkan, yaitu  $\leq 10,2$  mm. Saat menggunakan spesimen ini dalam pengujian impact, maka alat uji menggunakan tambahan *support* yang dipasang menggunakan baut.

#### 4.3.5 Perancangan Desain Indikator

Perancangan desain indikator tidak diatur dalam ASTM D 5942-96 maupun ASTM D 6110-97. Pada perancangan ini indikator terdiri dari dua jarum penunjuk. Jarum penunjuk yang pertama dihubungkan dengan putaran poros berfungsi untuk membaca besar sudut pendulum sebelum diayunkan ( $\alpha$ ), sedangkan jarum yang kedua tidak berhubungan dengan poros berfungsi untuk membaca sudut pendulum setelah mematahkan spesimen ( $\beta$ ).

*commit to user*

Pada indikator ini jarum yang kedua terdapat penahan sehingga ketika ketika pendulum bergerak turun oleh gaya gravitasi, jarum pertama akan naik mendorong penahan jarum yang kedua, sehingga ikut bergerak menunjukkan besar sudut yang dibentuk setelah mematahkan spesimen. Pada ujung jarum ditempatkan pengunci (*lock*) berbentuk *snap ring*, yang mudah dilepas bila terjadi kerusakan. Desain indikator ini lebih murah, lebih ringan, dan memiliki tingkat akurasi lebih baik dibandingkan dengan indikator dengan pembacaan digital.



**Gambar 4.33.** Rancangan Indikator  
Sumber: Pengolahan Data, 2011

Badan indikator terbuat dari baja pelat 1mm yang mudah dijumpai di pasaran, berdimensi lingkaran dengan diameter 200 mm.

#### 4.4 Pengujian Data Hasil Uji Impak

Pengujian data hasil uji impak menggunakan spesimen uji komposit partikel dengan 3 level ketebalan (8 mm, 10 mm dan 12 mm). Data-data hasil pengujian yang telah terkumpul, selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai kekuatan impak komposit.

##### 4.4.1 Perhitungan Nilai Impak Komposit

Mesin uji impak mempunyai berat pedulum 8,852 N, dengan jari-jari pusat putar ke titik berat pembentur 380 mm dan sudut ayunan tanpa spesimen sebesar  $134^{\circ}$ . Berdasarkan data yang telah diperoleh dari uji impak maka dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai kekuatan impak dari masing-masing spesimen. Nilai kekuatan impak dihitung dengan rumus:

$$E \text{ serap} = W \times R (\cos \beta - \cos \beta') \dots \dots \dots (4.10)$$

Harga impak (HI) suatu bahan yang diuji dengan metode Charpy diberikan oleh:

$$HI = \frac{E}{A} \dots \dots \dots (4.11)$$

Keterangan:

$E$  : Energi yang terserap (J)

$A$  : Luas penampang spesimen ( $\text{mm}^2$ )

Untuk spesimen dengan material komposit partikel, nilai impaknya adalah:

$$\begin{aligned} E \text{ serap} &= W \times R (\cos \beta - \cos \beta') \\ &= 8,852 \text{ N} \times 0,38 \text{ m} (\cos 127^{\circ} - \cos 134^{\circ}) \end{aligned}$$

$$= 0,312 \text{ J}$$

$$A = b \times h$$

$$= 10 \text{ mm} \times 9,5 \text{ mm}$$

$$= 95 \text{ mm}^2$$

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

$$= \frac{0,312}{95}$$

$$= 0,00329 \text{ J/mm}^2$$

*commit to user*

Nilai impact untuk setiap spesimen ditunjukkan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

**Tabel 4.2.** Nilai Impact Komposit Partikel Ketebalan 10 mm (J/mm<sup>2</sup>)

Replikasi	W (N)	R (m)	$\alpha$	$\beta$	$\beta'$	E (Joule)	A (mm <sup>2</sup> )	HI (J/mm <sup>2</sup> )
1	8,852	0,380	150	127	134	0,312	95	0,003287
2	8,852	0,380	150	127,5	134	0,289	101	0,002861
3	8,852	0,380	150	127,5	134	0,289	102	0,002833
4	8,852	0,380	150	128	134	0,266	90	0,003000
5	8,852	0,380	150	127,5	134	0,289	85	0,003399
6	8,852	0,380	150	127,6	134	0,284	98	0,002901
7	8,852	0,380	150	126	134	0,359	97	0,003706
8	8,852	0,380	150	126,5	134	0,336	105	0,003198
9	8,852	0,380	150	129	134	0,220	101	0,002176
10	8,852	0,380	150	127	134	0,312	100	0,003123
11	8,852	0,380	150	129,5	134	0,197	93	0,002119
12	8,852	0,380	150	128	134	0,266	95	0,002797
13	8,852	0,380	150	126,5	134	0,336	96	0,003498
14	8,852	0,380	150	128,8	134	0,229	98	0,002336
15	8,852	0,380	150	129,5	134	0,197	101	0,001951
16	8,852	0,380	150	127,5	134	0,289	102	0,002787
17	8,852	0,380	150	127,7	134	0,280	102	0,002742
18	8,852	0,380	150	125	134	0,407	103	0,003954
19	8,852	0,380	150	128	134	0,266	104	0,002555
20	8,852	0,380	150	125,5	134	0,383	106	0,003616
21	8,852	0,380	150	129	134	0,220	108	0,002035
22	8,852	0,380	150	126	134	0,359	107	0,003360
23	8,852	0,380	150	125,5	134	0,383	106	0,003616
24	8,852	0,380	150	129	134	0,220	105	0,002093
25	8,852	0,380	150	128,5	134	0,243	103	0,002356
26	8,852	0,380	150	129	134	0,220	101	0,002799
27	8,852	0,380	150	127	134	0,312	104	0,003003
28	8,852	0,380	150	126,5	134	0,336	105	0,003198
29	8,852	0,380	150	127,5	134	0,289	105	0,002176
30	8,852	0,380	150	128	134	0,266	104	0,002555
HI rata <sup>2</sup>								0,00287
stdev								0,00055

Sumber: Pengolahan Data, 2011

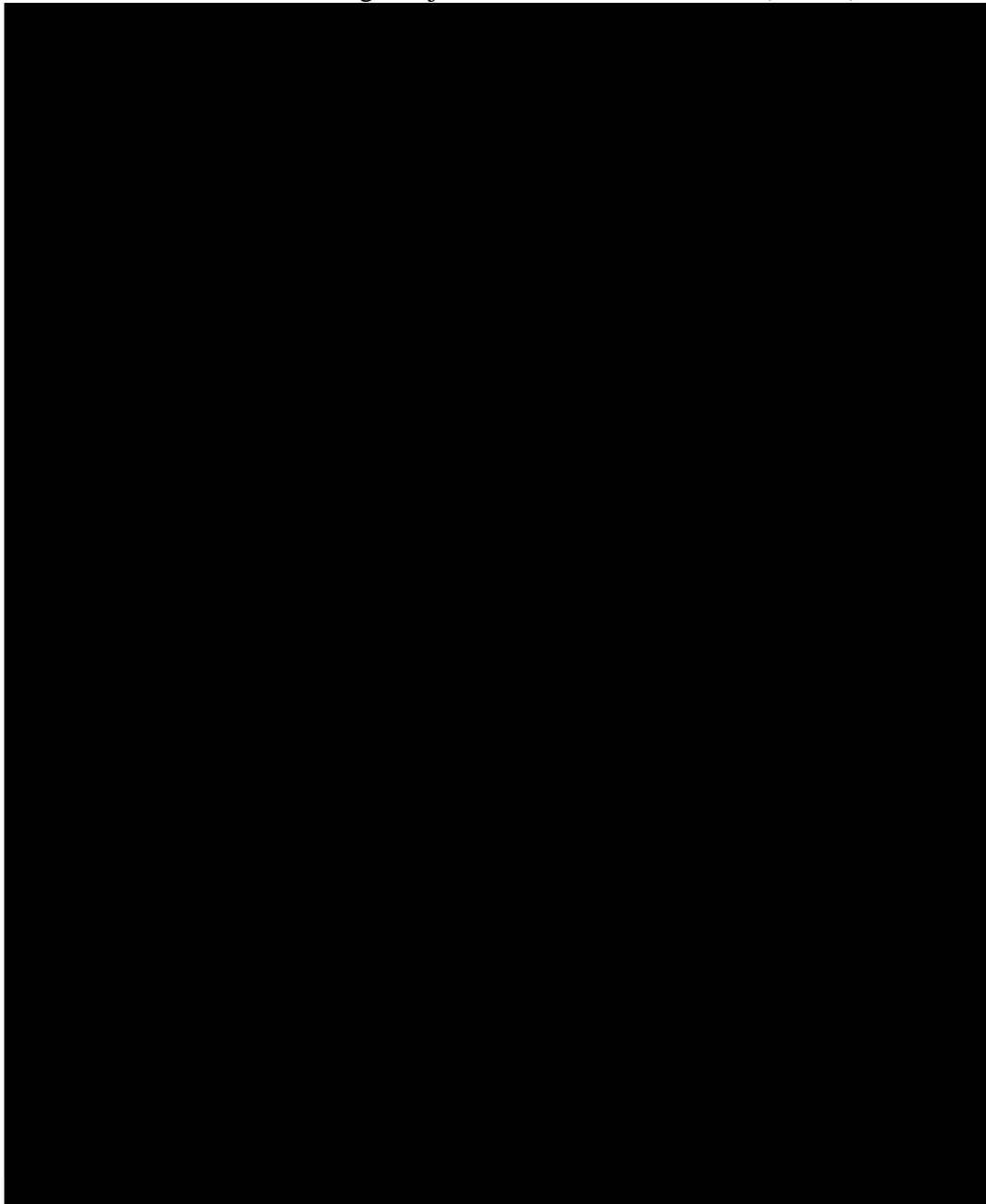
#### 4.4.2 Uji Normalitas Data

Uji normalitas dilakukan terhadap data observasi dengan tujuan untuk mengetahui apakah data observasi berdistribusi secara normal atau tidak. Terdapat 3 level pada pengujian ini (8 mm, 10 mm, dan 12 mm), dengan replikasi 30 kali. Pengujian normalitas pada pembahasan ini dilakukan dengan menggunakan uji *Kolmogorov Smirnov*.

*commit to user*

Berikut merupakan uji normalitas dapat dilihat pada tabel 4.3

**Tabel 4.3.** Perhitungan Uji Normalitas Level 10 mm ( $J/mm^2$ )



Sumber: Pengolahan Data, 2011

Contoh perhitungan uji normalitas Harga Impak komposit adalah sebagai berikut :

- a. Mengurutkan data observasi dari yang terkecil sampai terbesar :  
0,00195; 0,00204; 0,00209;....;0,00395 sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.3. *commit to user*

- b. Menghitung rata-rata ( $\bar{x}$ ) dan standar deviasi (s) data tersebut,

$$\bar{x} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)}{n}$$

$$\bar{x} = \frac{0,00195 + 0,00204 + \dots + 0,00395}{30} = 0,00287$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(0,00195^2 + 0,00204^2 + \dots + 0,00395^2) - \frac{(0,00195 + \dots + 0,00395)^2}{30}}{30-1}} = 0,00055$$

- c. Mentransformasikan data (x) tersebut menjadi nilai baku (z),

$$z_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{s}$$

$$z_1 = \frac{(0,00195 - 0,00287)}{0,00055} = -1,662$$

Keterangan:

$x_i$  = nilai pengamatan ke-i

$\bar{x}$  = rata-rata

s = standar deviasi

Dengan cara yang sama diperoleh seluruh nilai baku, sebagaimana ditunjukkan pada kolom z tabel 4.3.

- d. Menentukan nilai probabilitasnya P(z) berdasarkan sebaran normal baku, sebagai probabilitas pengamatan. Nilai P(z) didapat dari tabel standar luas wilayah di bawah kurva normal, sebagaimana dapat dilihat pada kolom P(z) tabel 4.3.
- e. Menentukan nilai probabilitas harapan kumulatif P(x) dengan cara, sebagai berikut:

$$P(x_i) = \frac{i}{n}$$

*commit to user*

$$P(x_1) = \frac{1}{30} = 0,33$$

Dengan cara yang sama akan diperoleh seluruh nilai  $P(x)$  sebagaimana pada kolom  $P(x)$  tabel 4.3.

- f. Menentukan nilai maksimum dari selisih absolut  $P(z)$  dan  $P(x)$ , yaitu :  
maks  $|P(z) - P(x)|$  , sebagai nilai  $L$  hitung.  
maks  $|P(z) - P(x)| = 0,09518$
- g. Menganalisis apakah semua data observasi berdistribusi normal. Hipotesis yang diajukan adalah :  
 $H_0$ : Sampel data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi normal.  
 $H_1$ : Sampel data observasi berasal dari populasi yang berdistribusi tidak normal.
- h. Memilih taraf nyata  $\alpha = 0.05$ , dengan wilayah kritik  $L_{hitung} > L_{tabel}$ .  
 $L_{hitung} = 0,09518$   
 $L_{0,05(3)} = 0,16176$   
Hasil =  $L_{hitung} < L_{tabel}$ , maka terima  $H_0$  dan disimpulkan bahwa data observasi berdistribusi normal.
- Hasil perhitungan uji Kolmogorov-Smirnov level 8 mm, 10 mm dan 12 mm secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini:

**Tabel 4.4.** Perhitungan Uji Normalitas

No	Ketebalan	$L_{hitung}$	$L_{tabel}$	$H_0$
1	12 mm	0,1072	0,1618	diterima
2	10 mm	0,0952	0,1618	diterima
2	8 mm	0,0794	0,1618	diterima

Sumber: Pengolahan Data, 2011

#### 4.4.3 Uji Homogenitas

Uji homogenitas menggunakan metode *lavene test* melalui cara menguji kesamaan ragam data pengujian antar level. Untuk uji homogenitas antar level, hipotesis yang diajukan, adalah:

$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (Data antar level faktor ketebalan memiliki ragam yang sama)

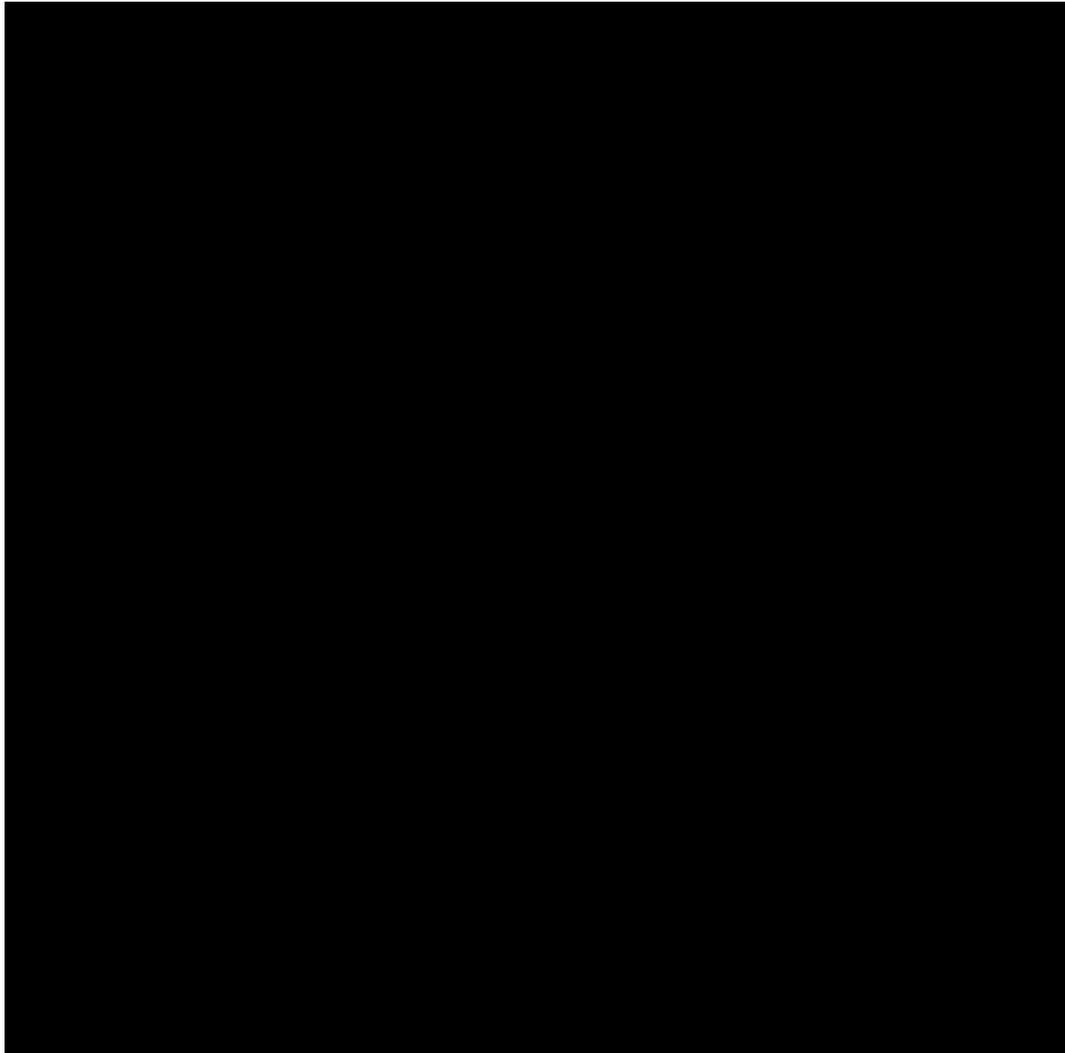
$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (Data antar level faktor ketebalan memiliki ragam yang tidak sama)

Taraf nyata  $\alpha = 0.05$ , wilayah kritik  $F > F_{0,05} (3 ; 90)$

*commit to user*

Langkah pengujian dengan cara mengelompokkan data berdasarkan level ketebalan, kemudian dicari rata-rata tiap level ketebalan dan dihitung selisih absolut nilai pengamatan terhadap rata-ratanya. Nilai residual faktor ketebalan uji impak ditunjukkan pada tabel 4.5.

**Tabel 4.5.** Residual Data Antar Level Ketebalan



Sumber: Pengolahan Data, 2011

Selanjutnya menghitung nilai-nilai berikut :

a Faktor koreksi (FK),

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sum x^2}{n} \\
 &= \frac{0,013^2 + 0,0134^2 + 0,0137^2}{90} = 0,000018
 \end{aligned}$$

*commit to user*

b *Sum Square* (SS) faktor, total, dan error

$$\begin{aligned} \text{ketebalan} &= \frac{\sum i^2}{90} \\ &= \frac{0,013 \quad 0,0134 \quad 137^2}{90} \quad 0,000018 \\ &= 0,00000000016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{total} &= \sum i^2 \\ &= 0,00^2 \quad 0,003^2 \quad \dots \quad 0,000018 \\ &= 0,000008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SS_{\text{Error}} &= SS_{\text{total}} - SS_{\text{ketebalan}} \\ &= 0,00000852 - 0,00000000016 \\ &= 0,00000852 \end{aligned}$$

c *Mean Square* (MS) faktor dan error

$$\begin{aligned} \text{ketebalan} &= \frac{\text{ketebalan}}{\text{ketebalan}} \\ &= \frac{0,00000000016}{90} \\ &= 0,00000000008 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_o &= \frac{e_o}{e_o} \\ &= \frac{0,000008}{87} \end{aligned}$$

$$= 0,000000098$$

d Nilai F (F hitung)

$$\begin{aligned} \text{tun} &= \frac{\text{ketebalan}}{e_o} \\ &= \frac{0,0000000008}{0,000000098} \\ &= 0,008 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan uji homogenitas terhadap faktor ketebalan dapat dilihat pada tabel 4.6.

*commit to user*

**Tabel 4.6.** Hasil Perhitungan Uji Homogenitas Faktor Ketebalan

Sumber Keragaman	df	SS	MS	$F_{hitung}$	$F_{tabel}$
Ketebalan	2	0,00000000161	0,00000000080	0,00821	3,10
Error	87	0,00000851857	0,00000009791		
Total	89	0,00000852018			

Taraf nyata yang dipilih  $\alpha = 0,05$ , dengan wilayah kritik penolakan terhadap  $F_{hitung} > F_{tabel}$ . Berdasarkan tabel 4.6, nilai  $F_{hitung}$  sebesar 0,008  $\leq F_{tabel}$  (3,10), sehingga  $H_0$  diterima dan disimpulkan bahwa data antar level faktor ketebalan memiliki ragam yang sama (homogen). Selanjutnya dilakukan pengujian per-level ketebalan dengan menggunakan uji variansi (uji F) untuk variansi tunggal dengan menggunakan SPSS, didapatkan hasil seperti yang disajikan pada tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil Perhitungan Uji F Per-level Faktor Ketebalan

Level	Signifikasi	Hasil	Kesimpulan
12 mm	0,948	Homogen	tidak ada pengaruh
10 mm	0,993	Homogen	tidak ada pengaruh
8 mm	1	Homogen	tidak ada pengaruh

Keputusan yang diambil terhadap hasil perhitungan adalah bahwa ketebalan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan impact sehingga dalam pengujian, alat uji impact selalu konsisten dalam menguji meskipun dengan ketebalan yang berbeda-beda.

#### 4.4.4 Uji ANOVA

Pengujian ANOVA dilakukan untuk mengetahui apakah alat uji impact tetap konsisten menunjukkan nilai kekuatan impact yang sama meskipun digunakan untuk menguji antar level ketebalan. Selanjutnya dilakukan perhitungan yang dibutuhkan untuk perhitungan ANOVA. Data mengenai kekuatan impact dan pengolahannya ditunjukkan pada tabel 4.7.

**Tabel 4.8.** ANOVA Untuk Kekuatan Impact

No	Ketebalan			Kuadrat		
	12	10	8	12	10	8
1	0,0033941	0,0032874	0,00332	0,0000115	0,0000108	0,00001103
2	0,0032860	0,0028608	0,00352	0,0000108	0,0000082	0,00001242
3	0,0027985	0,0028327	0,00265	0,0000078	0,0000080	0,00000701

Lanjutan Tabel 4.8. ANOVA Untuk Kekuatan Impak

4	0,0039971	0,0029525	0,003674	0,0000160	0,0000087	0,00001350
5	0,0033941	0,0033993	0,002463	0,0000115	0,0000116	0,00000607
6	0,0030515	0,0029008	0,003163	0,0000093	0,0000084	0,00001001
7	0,0032860	0,0037061	0,003554	0,0000108	0,0000137	0,00001263
8	0,0034521	0,0031983	0,002959	0,0000119	0,0000102	0,00000876
9	0,0030422	0,0021761	0,002818	0,0000093	0,0000047	0,00000794
10	0,0033916	0,0031230	0,003632	0,0000115	0,0000098	0,00001319
11	0,0027552	0,0021188	0,003704	0,0000076	0,0000045	0,00001372
12	0,0021925	0,0027971	0,004164	0,0000048	0,0000078	0,00001734
13	0,0017956	0,0034982	0,002889	0,0000032	0,0000122	0,00000835
14	0,0025787	0,0023359	0,003785	0,0000066	0,0000055	0,00001432
15	0,0023377	0,0019510	0,003111	0,0000055	0,0000038	0,00000968
16	0,0033599	0,0028327	0,002494	0,0000113	0,0000080	0,00000622
17	0,0030135	0,0027415	0,003198	0,0000091	0,0000075	0,00001022
18	0,0028041	0,0039543	0,003281	0,0000079	0,0000156	0,00001076
19	0,0029151	0,0025551	0,003399	0,0000085	0,0000065	0,00001155
20	0,0022829	0,0036162	0,002959	0,0000052	0,0000131	0,00000876
21	0,0019826	0,0020350	0,002586	0,0000039	0,0000041	0,00000669
22	0,0029085	0,0033598	0,003399	0,0000085	0,0000113	0,00001155
23	0,0023754	0,0036162	0,003152	0,0000056	0,0000131	0,00000993
24	0,0019634	0,0020932	0,002648	0,0000039	0,0000044	0,00000701
25	0,0035246	0,0023561	0,003704	0,0000124	0,0000056	0,00001372
26	0,0027484	0,0021761	0,002463	0,0000076	0,0000047	0,00000607
27	0,0031013	0,0030029	0,002713	0,0000096	0,0000090	0,00000736
28	0,0038748	0,0031983	0,002374	0,0000150	0,0000102	0,00000564
29	0,0030884	0,0027518	0,002053	0,0000095	0,0000076	0,00000421
30	0,0035355	0,0025551	0,001901	0,0000125	0,0000065	0,00000361
Total	0,088231	0,085982	0,091733			
	30	30	30			
				0,0002686	0,000255	0,0002893

Kemudian dilakukan perhitungan jumlah kuadrat/ *sum of square* (SS) dari faktor ketebalannya. Proses perhitungan SS dan hasilnya, adalah:

a Jumlah kuadrat total ( $SS_{total}$ ):

$$total = \frac{\sum_{k=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ki}^2}{90}$$

$$total = 0,000813 \frac{0,6947}{90} \text{ commit to user}$$

$$total = 0,0000 \quad 733$$

b. Jumlah kuadrat faktor ketebalan ( $SS_{ketebalan}$ ) :

$$ketebalan = \frac{k}{n} = \frac{0,088231 \quad 0,085982 \quad 0,091 \quad 3}{30} = \frac{0,26514}{60}$$

$$ketebalan = 0,000000 \quad 6$$

c. Jumlah kuadrat random error ( $SS_{error}$ ) :

$$e_o = total - ketebalan$$

$$e_o = 0,0000 \quad 733 - 0,000000 \quad 6 = 0,00002677$$

Mean of square (MS) atau disebut juga kuadrat tengah (KT), dihitung dengan membagi antara jumlah kuadrat (SS) yang diperoleh dengan derajat bebasnya (df). Untuk perhitungan MS, sebagai berikut:

$$ketebalan = \frac{0,000000 \quad 6}{8} = 0,000000 \quad 8$$

Besarnya  $F_{hitung}$  didapat dari pembagian antara MS faktor yang ada dengan  $MS_{error}$  dari eksperimen. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$F_{hitung} = \frac{e_o}{e} = \frac{0,00000056}{0,000026 / 8} = 0,910$$

Keputusan terhadap hipotesis nol didasarkan pada nilai  $F_{hitung}$ , yakni hipotesis nol ( $H_0$ ) ditolak jika  $F_{hitung} > F_{tabel}$  dan diterima jika  $F_{hitung} < F_{tabel}$ .  $F_{tabel}$  diperoleh dari tabel distribusi  $F$  kumulatif, dengan  $df_1 = df$  yang bersangkutan dan  $df_2 = df_{error}$ . Perhitungan  $F_{tabel}$  dengan menggunakan Microsoft excel dengan rumus: FINV (probability, df1, df2).

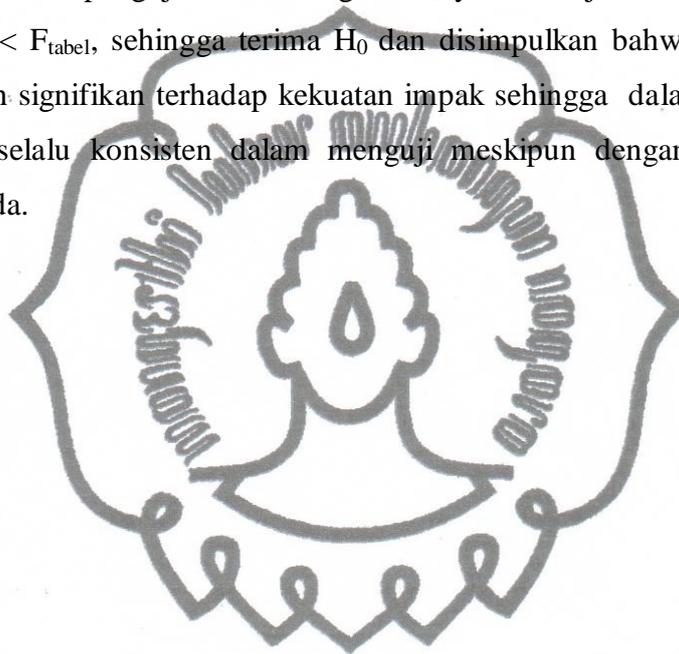
Perhitungan  $F_{tabel}$  adalah  $F_{tabel}$  untuk faktor ketebalan,  $df_1 = 2$  dan  $df_2 = 87$ . Berdasarkan hasil perhitungan Microsoft excel diperoleh  $F_{tabel} = FINV (0,05, 2, 87) = 3,10$ .

*commit to user*

**Tabel 4.9.** Hasil Perhitungan ANOVA Data Eksperimen

Sumber Keragaman	df	SS	MS	$f_{hitung}$	$f_{tabel}$
Ketebalan	2	0,00000056	0,00000028	0,910	3,10
error	87	0,00002677	0,00000031		
total	89	0,00002733			

Penggunaan  $F_{hitung}$  memberikan kesimpulan tentang hasil uji hipotesis analisis variansi. Keputusan yang diambil terhadap hasil analisis variansi data eksperimen untuk pengujian keterulangan alat, yaitu ditinjau dari faktor ketebalan, nilai  $F_{hitung} < F_{tabel}$ , sehingga terima  $H_0$  dan disimpulkan bahwa ketebalan tidak berpengaruh signifikan terhadap kekuatan impact sehingga dalam pengujian, alat uji impact selalu konsisten dalam menguji meskipun dengan ketebalan yang berbeda-beda.



## BAB V

### ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Bab ini membahas tentang analisis dan interpretasi hasil penelitian yang telah dikumpulkan dan diolah sebelumnya. Analisis dan interpretasi hasil dalam penelitian ini diuraikan pada sub bab berikut.

#### 5.1 ANALISIS RANCANGAN

Dalam perancangan alat uji impact Charpy ini, analisis rancangan mengacu pada analisis standart yang digunakan pada alat uji, analisis konsep rancangan, dan analisis perancangan spesifikasi alat uji.

##### 5.1.1 Analisis standart alat uji impact Charpy

Dalam proses perancangan alat uji impact Charpy ini menggunakan standart *American Society for Testing and Materials* (ASTM), yakni ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97. Standart ini menjelaskan mengenai prosedur pengujian dan ukuran spesimen yang diperlukan dalam uji impact Charpy pada bahan plastik, tapi dapat dipergunakan juga dalam pengujian komposit, terutama untuk jenis komposit *natural fiber*. Hal ini juga didasarkan pada kekuatan impact maksimal yang berkisar 2,7 Joule yang dijelaskan dalam ASTM D 6110-97, sehingga akan didapatkan nilai *accuracy* yang lebih baik, jika dibandingkan standart ASTM untuk pengujian untuk material logam.

##### a. Standart ASTM D 5942-96

Standar pengujian ASTM D 5942-96 menjelaskan prosedur untuk menentukan kekuatan impact Charpy. Dalam standart ini dijelaskan bahwa terdapat pisau pemukul (*striking edge*) yang memiliki sudut  $30 \pm 1^{\circ}$ . Standart ini bertentangan dengan ASTM D 6110-97 yang menjelaskan bahwa sudut yang dipakai untuk pisau pemukul (*striking edge*) adalah  $43^{\circ}$ - $47^{\circ}$ .

ASTM D 5942-96 tidak menjelaskan konstruksi alat uji impact secara lengkap. Dalam standart ini tidak diatur jarak antara kedua *support*, konstruksi *support* serta konstruksi rangka. Untuk konstruksi pendulum juga tidak dijelaskan dalam standart ini.

*commit to user*

Spesimen uji yang digunakan dalam pengujian dijelaskan lebih lengkap dalam standart ini, yakni mengenai ukuran spesimen uji, tipe *notch*, dan arah pemukulan spesimen uji. Namun tidak dijelaskan panjang spesimen uji untuk digunakan pada ukuran *support* tertentu, karena tentunya akan mempengaruhi hasil pengujian.

b. Standart ASTM D 6110-97

Standart pengujian ASTM D 6110-97 menjelaskan seara lebih rinci mengenai konstruksi alat uji impak Charpy. Dalam standart ini dijelaskan mengenai panjang pendulum yaitu antara 325 dan 406 mm, namun tidak dijelaskan mengenai konstruksi batang pendulum dan kepala pendulum. Konstruksi untuk pisau pemukul (*striking edge*) adalah  $43^{\circ}$  -  $47^{\circ}$  sehingga akan menjadi rancu jika dibandingkan dengan standar pengujian ASTM D 5942-96 yang mana pisau pemukul (*striking edge*) memiliki sudut  $30 \pm 1^{\circ}$ .

Standart ASTM D 6110-97 ini menggunakan pendulum yang mampu menghantarkan energi sebesar  $2,7 \pm 0,14$  J, namun tidak dijelaskan tentang material dan konstruksi pendulum. Konstruksi *support* sudah dijelaskan yang memiliki jarak antar *anvil* 95 mm, namun tidak dijelaskan dimensi spesimen yang digunakan.

### 5.1.2 Analisis kebutuhan dan konsep perancangan

Penyusunan kebutuhan perancangan didapatkan dari wawancara dengan pengguna (*user*), didapatkan faktor kebutuhan penyusun konsep perancangan, yaitu: fungsionalitas, konstruksi, sistem pembacaan, perawatan, geometri, *safety*, dan material uji. Untuk faktor *safety*, dijelaskan adanya kebutuhan sistem pengereman setelah pergerakan alat uji selesai. Dalam perancangan, untuk saat ini belum diperlukan kebutuhan sistem pengereman, karena alat uji memiliki konstruksi yang kecil dan ringan sehingga masih aman dilakukan pengereman dengan tangan tanpa mekanisme khusus. Pengereman dengan mekanisme khusus diperlukan untuk alat uji dengan spesifikasi konstruksi yang besar. Langkah penggunaan alat uji juga sudah dijelaskan dalam *Standart Operation and Prosedure* (SOP). Untuk faktor kebutuhan yang lain digunakan dalam penyusunan konsep perancangan.

*commit to user*

Dari standart ASTM dan kebutuhan perancangan disusun konsep perancangan alat uji impact Charpy ini melihat pada katalog produk alat uji impact yang dijual di pasaran. Dalam hal ini mengacu alat uji impact yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impact Charpy Sanata Dharma, Yogyakarta. Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan alat uji yang sudah ada. Perbandingan ini dengan melihat pada sisi fungsionalitas, konstruksi, dan sistem pembacaan.

Alat uji impact hasil perancangan mampu menghasilkan energi maksimal 5,4 Joule, sedangkan alat uji impact yang Sanata Dharma memiliki energi maksimal 8,1 Joule. Besar energi maksimal yang dihasilkan dalam perancangan ini akan memberikan nilai sensitifitas dan ketelitian yang lebih baik dibanding alat uji yang sudah ada. Ketelitian ini diperlukan sesuai dengan kebutuhan, dimana alat uji ini digunakan untuk spesimen uji dengan material komposit *natural fiber*. Komposit *natural fiber* memiliki kekuatan impact maksimal yang setara dengan *fiberglass*, yaitu 3,1 Joule. Mekanisme pergerakan alat uji Sanata Dharma menggunakan pendulum, dengan berat pendulum 13,299 Newton dan panjang lengan pendulum 0,395 Meter, sedangkan alat uji impact hasil perancangan menggunakan mekanisme pergerakan dengan berat pendulum 8,852 Newton dan panjang lengan pendulum 0,380 Meter.. Berat pendulum inilah yang menentukan besar energi yang dihasilkan.

Alat uji impact Charpy Sanata Dharma adalah buatan pabrik, dimana proses pembuatannya detail dan harganya tinggi. konstruksi alat uji yang cukup kokoh dan besar, dan memiliki massa 220 kg, sehingga terlalu berat bila harus dipindahkan. Sedangkan alat uji impact hasil perancangan memiliki konstruksi yang ringan sehingga lebih mudah untuk dipindahkan. Konstruksi ini didapatkan dengan pemilihan bahan yang sesuai sehingga biaya pembuatannya pun jauh lebih murah dibanding dengan alat uji yang sudah ada.

Untuk fitur pembacaan pada alat uji impact Charpy Sanata Dharma menggunakan analog, dengan indikator dan jarum penunjuk. Mekanisme pergerakan pada jarum penunjuk menggunakan *gear*. Dalam menentukan sudut  $\beta'$  dalam beberapa kali pengujian, ditemukan hasil yang berbeda, menandakan nilai ketelitian yang tidak baik. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan mekanisme *gear* ada energi yang hilang saat *gear* bergesekan, selain itu disebabkan gesekan

antara badan indikator dengan jarum penunjuk. Alat uji hasil perancangan menggunakan mekanisme *shaft* langsung untuk menggerakkan jarum penunjuk sehingga nilai gesekan antara jarum penunjuk dengan badan indikator lebih kecil.

### 5.1.3 Analisis perancangan spesifikasi alat uji

Analisis perancangan spesifikasi alat uji ini adalah membandingkan antara desain perancangan awal dengan desain akhir setelah alat uji sudah jadi dengan melihat pada ketersediaan material yang ada di pasar dan langkah pengerjaan alat uji. Dalam perancangan spesifikasi alat uji diperlukan analisa terhadap pendulum, poros, bantalan, dan rangka.

#### a. Pendulum

Dalam perancangan pendulum ini dilakukan modifikasi untuk meningkatkan *performance* fungsi dari pendulum itu sendiri dengan menentukan desain batang dan kepala pendulum. Modifikasi ini dengan merubah komposisi massa dari batang dan kepala pendulum dari rancangan awal. Dari massa pendulum sebesar 902 gr, untuk komposisi massa batang pendulum adalah 200 gr sedangkan untuk kepala pendulum sebesar 702 gr. Batang pendulum memiliki dimensi 10 x 10 x 300 mm, sedangkan untuk kepala pendulum menggunakan baja 25 mm, dengan dimensi lingkaran berdiameter 40 mm yang dikenai pemotongan volume untuk mencari massa ideal 702 gr. Untuk pembuatan pisau pemukul adalah dengan memotong mata *gear* dari komponen yang sudah tidak digunakan. Komponen ini sudah mengalami proses *quenching* dari pabrik. Mata gear ini kemudian dibentuk dengan ukuran alas 30 x 8,2 mm, dan memiliki tinggi segitiga 10 mm. Konstruksi pendulum dihubungkan dengan poros dengan menggunakan *lock-nut* sehingga konstruksi pendulum dapat dilepas atau dipasang kembali. Konstruksi ini mendukung pengembangan alat uji, dimana untuk penggantian berat pendulum tidak diperlukan penggantian poros, bantalan, dan rangka. Desain ini digunakan sebagai desain akhir dari perancangan pendulum.

#### b. Poros

Dari rancangan desain awal poros 12 mm dilakukan perubahan menjadi 6 mm. Perubahan konstruksi poros ini dengan melihat perubahan desain batang

pendulum yang mengalami perubahan dengan ukuran sisi menjadi 10 x 10 mm. Batas minimal untuk penggunaan poros adalah 2,75 mm untuk berat pendulum sebesar 8,852 N, sehingga poros masih aman menahan beban yang terjadi pada alat uji. Untuk pengembangan selanjutnya dengan menggunakan berat pendulum yang lebih besar perlu dirancang kembali konstruksi poros dengan menghitung batas minimal penggunaan poros. Hal ini diperlukan untuk menentukan konstruksi yang aman untuk poros.

Konstruksi poros ini menyatu dengan jarum penunjuk pada indikator. Hal ini berbeda dengan alat uji yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impak Charpy Sanata Dharma, Yogyakarta yang menggunakan konversi *gear* dalam rancangannya. Namun, perbedaan konstruksi ini tidak mempengaruhi ketelitian (*accuracy*) pembacaan, sehingga tidak menurunkan sisi fungsionalitas dan kualitas alat uji.

c. Bantalan (*bearing*)

Bantalan yang digunakan dalam perancangan berjumlah 2 buah, dimana setiap bantalan ini membawa beban radial ( $F_r$ ) sebesar 18,634 N. pada perancangan alat uji impak ini adalah *ball bearing* tipe ZZ1NR, tipe NTN, yang memiliki diameter dalam 6 mm, diameter luar 17 mm, dan dengan lebar 6 mm. Bantalan tersebut mampu menahan beban hingga 640 N, sehingga aman untuk digunakan.

Pemilihan bantalan ini menyesuaikan dengan konstruksi poros yang berdiameter 6 mm. Bantalan yang digunakan adalah bantalan bola (*ball bearing*). Dalam pemasangan konstruksi bantalan ini dibuat suaian fit dengan rangka penopang sehingga badan bantalan tidak bergerak saat alat poros digerakkan.

d. Rangka

Rangka dalam alat uji impak Charpy ini terdiri dari dua bagian pokok, yaitu: batang tiang penahan dan alas tiang penahan. Batang tiang penahan menggunakan baja *U-Channels* dengan lebar 50 mm dan memiliki ketebalan 4,5 mm. Konstruksi untuk alas tiang penahan menggunakan besi pelat 10 mm, dengan alas 8 mm. Proses pembuatan rangka ini adalah dengan memotong material baja pelat sesuai dengan ukuran yang telah dihitung

dalam perancangan. Konstruksi rangka dalam perancangan ini memiliki massa yang jauh lebih ringan jika dibandingkan dengan alat uji impact yang sudah ada sebelumnya, yaitu alat uji impact Charpy Sanata Dharma, Yogyakarta yang memiliki massa 220 kg.

e. Indikator

Perancangan indikator terdiri dari dua jarum penunjuk. Jarum penunjuk yang pertama dihubungkan dengan putaran poros berfungsi untuk membaca besar sudut pendulum sebelum diayunkan ( $\alpha$ ), sedangkan jarum yang kedua tidak berhubungan dengan poros berfungsi untuk membaca sudut pendulum setelah mematahkan spesimen ( $\beta$ ). Konstruksi indikator ini terbuat dari besi pelat 1 mm, berdiameter 200 mm. Untuk pembacaan indikator menggunakan skala derajat ( $^{\circ}$ ) yang dibuat dengan *scotlite sticker*, yang dirancang menggunakan program *autocad*. Proses pembuatan jarum indikator adalah dengan menggunakan baja pelat 1mm yang dipotong membentuk penunjuk. Pada awal proses pembuatan, jarum penunjuk menggunakan *lock ring* sebagai penguncinya. Setelah dilakukan pengujian ditemukan permasalahan perbedaan hasil uji tentang pembacaan sudut  $\beta$ . Hal ini dikarenakan adanya *lock ring* tidak mampu menahan gesekan antara jarum penunjuk dengan badan indikator. Selanjutnya dilakukan penggantian *lock ring* dengan *lock spring*. Penggantian *lock spring* ni mampu menahan gesekan yang terjadi sehingga pembacaan lebih akurat.

## 5.2 ANALISIS DATA HASIL PENGUJIAN STATISTIK

Setelah melewati tahap pengerjaan rancangan alat uji impact, maka sebelum dilakukan pengujian, masih dilakukan beberapa *trial* pengujian. Ketika dilakukan *trial* pengujian ini didapatkan kesalahan *setting* dari penempatan *striking edge*, dimana *centering of striking edge* tidak sesuai dengan *centering* spesimen uji, sehingga kemudian dilakukan pelepasan rangka dan *setting* ulang.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan material komposit partikel sebagai spesimen yang dapat digunakan sebagai standar untuk mengetahui tingkat kepresisian alat uji impact. Dalam pengujian ini faktor ketebalan dibagi menjadi 3 level (8mm, 10 mm, dan 12 mm). Untuk menganalisis data pengujian harga impact

digunakan uji homogenitas dan ANOVA. Harga impact diperoleh dari perhitungan energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen ( $E$ ) dibagi dengan luas permukaan spesimen uji ( $A$ ). Hasil uji homogenitas dan ANOVA dari kekuatan impact menunjukkan bahwa  $H_0$  diterima, ini berarti alat uji impact tetap menunjukkan hasil yang tetap konsisten meskipun melakukan pengujian pada level tebal spesimen yang berbeda.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan kesimpulan mengenai hasil rancangan alat uji impact serta hasil eksperimen untuk mengetahui keterulangan pengujian dengan menggunakan ANOVA. Sedangkan saran berisi tentang hal-hal yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian selanjutnya agar rancangan alat uji impact memenuhi standar yang belum tercapai.

#### 6.1 KESIMPULAN

Dengan mengacu pada analisis penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini menghasilkan alat uji impact Charpy pada bahan komposit berpenguat serat alam (*natural fibre*) dengan kekuatan impact maksimal 5,4 Joule dan menggunakan standart *American Society for Testing and Materials* (ASTM), yaitu ASTM D 5942-96 dan ASTM D 6110-97.
2. Hasil pengujian terhadap rancangan alat uji impact menunjukkan bahwa alat uji telah memenuhi aspek keterulangan dalam pengujian. Alat uji impact selalu konsisten dalam menguji meskipun dengan ketebalan spesimen yang berbeda-beda dengan jenis bahan yang sama.

#### 6.2 SARAN

Saran yang disampaikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah:

1. Dalam penelitian selanjutnya diharapkan modifikasi lebih lanjut mengenai konstruksi pendulum dengan penambahan beban massa untuk meningkatkan energi yang dihasilkan pada alat uji impact Charpy.
2. Dalam penelitian selanjutnya diharapkan modifikasi lebih lanjut mengenai konstruksi pengereman pergerakan pendulum untuk meningkatkan faktor *safety*.

*commit to user*