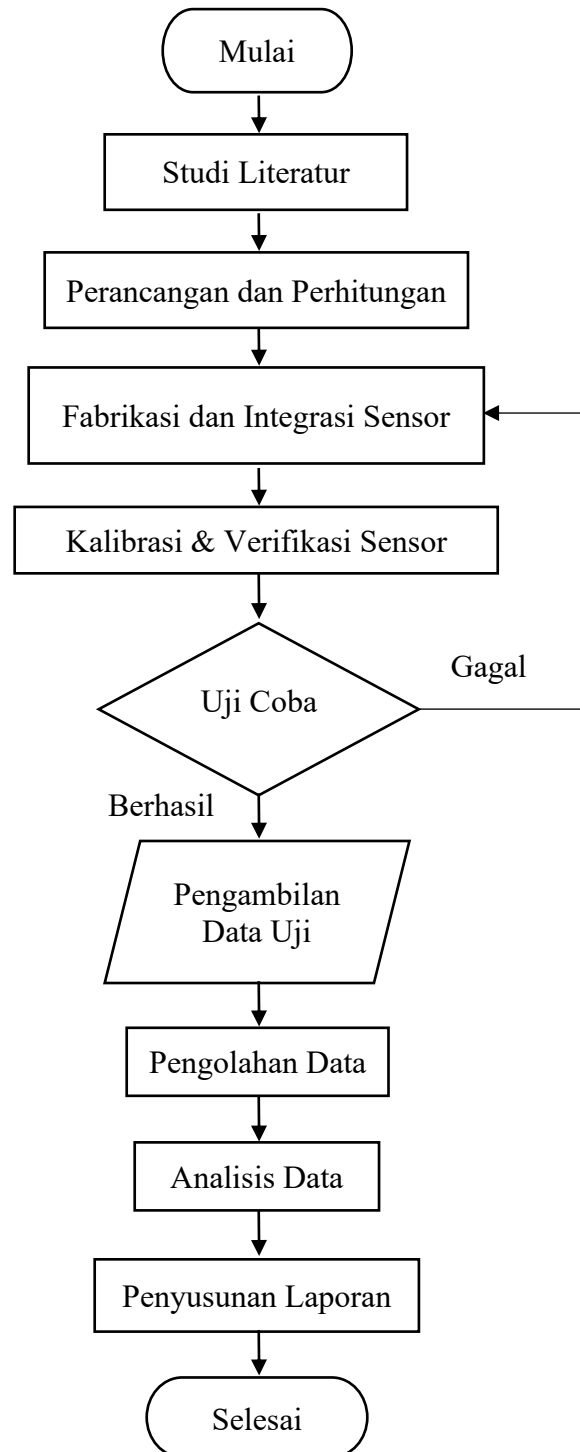


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan metodologi penelitian yang digunakan dalam proyek akhir Rancang Bangun *Drop Test Machine* untuk Material Polimer dengan Energi Maksimum 500 Joule. Tahapan penelitian disusun secara sistematis mulai dari studi literatur, perancangan dan perhitungan teknis, hingga proses fabrikasi dan integrasi sensor. Seluruh langkah tersebut dirancang untuk memastikan bahwa alat uji yang dihasilkan mampu bekerja sesuai spesifikasi, baik dari segi akurasi pengukuran maupun ketahanan struktur. Penjelasan dimulai dengan kajian teori sebagai dasar perancangan, dilanjutkan dengan analisis perhitungan gaya, energi impak, serta dimensi komponen yang relevan dengan spesimen *polypropylene*. Selanjutnya, proses desain menggunakan perangkat lunak rekayasa, fabrikasi komponen dengan mesin perkakas, serta integrasi sensor *load cell* untuk memperoleh data gaya tumbukan secara presisi. Tahap kalibrasi dan verifikasi sensor dijelaskan sebagai upaya menjamin keandalan data, sebelum akhirnya dilakukan uji coba alat untuk menilai performa prototipe. Keseluruhan metodologi ini tidak hanya menekankan aspek teknis, tetapi juga menegaskan keterkaitan antara rancangan, pengujian, dan analisis data, sehingga hasil penelitian dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah dan mendukung tujuan utama dalam mengevaluasi ketahanan material polimer terhadap beban impak.

3.1 Diagram Alir Pelaksanaan Proyek Akhir



Gambar 3.1 Diagram alir perancangan alat

3.2 Perancangan dan Perhitungan

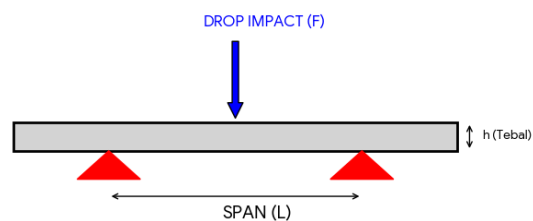
Proses perancangan dan perhitungan alat uji ini dilakukan dengan tujuan

memastikan kemampuan alat uji dalam menghasilkan energi tumbukan yang sesuai dengan kebutuhan pengujian, yaitu hingga 500 Joule. Besarnya energi tersebut ditentukan melalui perhitungan energi tumbukan ($E = m \cdot g \cdot h$), yang bergantung pada massa beban jatuh dan ketinggian jatuh yang direncanakan. Proses ini mencakup penentuan spesifikasi teknis, pemilihan material, serta analisis struktur agar mampu menahan beban dinamis. Dalam perhitungan tersebut, parameter yang digunakan meliputi gerak jatuh bebas, impuls, dan momentum.

1. Menentukan Gaya Spesimen

Penentuan gaya spesimen mengacu pada ASTM D7136/D7136M – 12, di mana besar gaya tumbukan dihitung berdasarkan data pembacaan *load cell* selama proses pengujian. Nilai gaya tersebut kemudian dibandingkan dengan luas penampang spesimen yang diukur secara teliti sesuai prosedur standar untuk memperoleh besaran tegangan impact.

- Luas Penampang Spesimen (Larson, R., & Falvo, D. C., 2012):



Gambar 3.2 Penampang spesimen

Material Uji = *Polypropylene* (PP)

$l = 100 \text{ mm}$

$b = 150 \text{ mm}$

$h = 6 \text{ mm}$

Yield Strength = 31.0 – 37.2 Mpa

$$A = b \times h$$

Di mana:

A = Luas penampang spesimen (m^2)

b = Lebar (mm)

h = Tinggi atau tebal (mm)

Maka,

$$A = 150 \times 6$$

$$A = 900 \text{ mm}^2$$

$$A = 9 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

- Perencanaan Energi Tumbukan Maksimum (E_{max}) (ASTM International, 2020):

$$E_{max} = m \times g \times h$$

Di mana:

E_{max} = Energi tumbukan maksimum (J)

m = Massa (Kg)

g = Gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian (m)

Maka,

$$E_{max} = 50,97 \times 9,81 \times 1$$

$$E_{max} = 500 \text{ J}$$

- Gaya Impak (Hibbeler, R. C., 2016):

$$F_{impact} = \frac{E}{d}$$

Dimana:

F_{impact} = Gaya impact (N)

E = Energi tumbukan (J)

d = Deformasi (m)

Maka,

$$F_{impact} = \frac{500 \text{ J}}{0.006 \text{ m}}$$

$$F_{impact} = 83.333 \text{ N}$$

- Tegangan Impact (Beer, F. P., Johnston E.R. et al, 2020):

$$\sigma_{impact} = \frac{F}{A}$$

Dimana:

σ_{impact} = Tegangan impact (N/m²)

F = Gaya impact (N)

A = Luas penampang spesimen (m²)

Maka,

$$\sigma_{impact} = \frac{83.333}{9 \times 10^{-4}}$$

$$\sigma_{impact} = \frac{8333300}{9}$$

$$\sigma_{impact} = 925922,2 \text{ N/m}^2$$

- Regangan Impact (Beer, F. P., Johnston E.R. et al, 2020):

$$\epsilon = \frac{\sqrt{r^2 + d^2} - r}{r}$$

Dimana:

ϵ = Nilai regangan impak (dikali 100 menjadi persen)

d = Kedalaman cekungan residu (10,45 mm)

r = Jari-jari ujung penetrator (16 mm/2 = 8 mm)

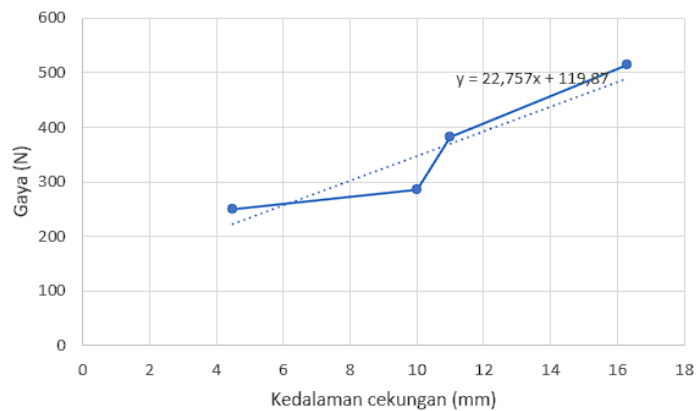
Maka,

$$\epsilon = \frac{\sqrt{8^2 + 10,45^2} - 8}{8}$$

$$\epsilon = \frac{13,16 - 8}{8}$$

$$\epsilon = 0,645 \times 100\% = 64,5\%$$

- Modulus Elastisitas (Gere, J. M., & Goodno, B. J., 2017):



Gambar 3.3 Kurva gaya vs kedalaman cekungan

$$E = \frac{L^3 \cdot k}{4 \cdot b \cdot h^3}$$

Dimana:

E = Modulus elastisitas (MPa)

k = Kekakuan ((dari *slope* Gambar 3. 3 22,757 N/mm \times 1000 = 22.757.000 N/m))

L = Jarak tumpuan (40/1000 mm = 0,04 m)

b = Lebar spesimen (m)

h = Tebal spesimen (m)

Maka,

$$E = \frac{0,04^3 \times 22.757.000}{4 \cdot 0,15 \times 0,006^3}$$

$$E = \frac{3641120 \times 500^2}{81}$$

$$E = 1.123.802.469 \text{ Pa} \approx 1,12 \text{ GPa}$$

- *Yield Strength* (Hibbeler, R. C., 2016):

$$\sigma_y = \frac{3 \cdot F_y \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Dimana:

F_y = Gaya saat mulai melengkung (N)

L = Jarak tumpuan (m)

b = Lebar spesimen (m)

h = Tebal spesimen (m)

Maka,

$$\sigma_y = \frac{3 \times 2.846,8 \times 0,04}{2 \times 0,15 \times 0,006^2}$$

$$\sigma_y = \frac{284680000}{9}$$

$$\sigma_y = 31631111,1 \text{ Pa} \approx 31,63 \text{ MPa}$$

Tabel 3.1 Ringkasan Perhitungan Gaya Spesimen *Polypropylene*

No.	Keterangan	Hasil Eksperimen	Rerensi (William D. Callister, 2013)	Satuan
1.	Luas Penampang Spesimen	9×10^{-4}	-	m ²
2.	Energi Impak Maksimum	500	-	J
3.	Gaya Impak	83,33	-	N
4.	Tegangan Impak	925922,2	-	N/m ²
5.	Regangan Impak	64,5	-	%
5.	Modulus Elastisitas	1123	1100–1550	GPa
6.	<i>Yield Strength</i>	31,63	31,0–37,2	MPa

2. Menentukan Dimensi Struktur

Menentukan dimensi *base plate*

- Tegangan Izin Material (σ_{izin}) (RG, B., & JK, N., 2014):

$$\sigma_{izin} = \frac{\sigma_y}{SF}$$

Maka,

$$\sigma_{izin} = \frac{350}{2}$$

$$\sigma_{izin} = 175 \text{ Mpa}$$

- Momen Lentur Maksimum (M_{max}) (Young, W. C., & Budynas, R. G., 2002):

$$M_{max} = \frac{P \times L}{4}$$

Maka,

$$M_{max} = \frac{83.333 \times 0,3}{4}$$

$$M_{max} = 6.249.975 \text{ Nm}$$

$$M_{max} = 6.250 \text{ Nm}$$

- Tegangan lentur maksimum (σ_{\max}) (Hibbeler, R. C., 2016):

$$\sigma_{\max} = \frac{3PL}{2bt^2}$$

Maka,

$$\sigma_{\max} = \frac{3 \times 83.333 \times 0,30}{2 \times 0,30 \times 0,30^2}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{74.999,7}{0,00054}$$

$$\sigma_{\max} = 138.888 \text{ MPa}$$

- Ketebalan minimum (t_{\min}) (Hibbeler, R. C., 2016):

$$t_{\min} = \sqrt{\frac{3PL}{2b\sigma_{\text{allow}}}}$$

Maka,

$$t_{\min} = \sqrt{\frac{3 \times 83.333 \times 0,30}{2 \times 0,30 \times (0,30)^2}}$$

$$t_{\min} = \sqrt{0,00052083125}$$

$$t_{\min} = 0,022827 \text{ m}$$

$$t_{\min} = 22,83 \text{ mm}$$

- Momen inersia *base plate* (I) (Meriam, J. L., & Kraige, L. G.. 2012):

$$I = \frac{bt^3}{12}$$

Maka,

$$I = \frac{b(0,30)^3}{12}$$

$$I = \frac{0,30 \times 2,7 \times 10^{-5}}{12}$$

$$I = 6,75 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

- Defleksi maksimum pusat plat (δ_{\max}) (Timoshenko, S., & Woinowsky-Krieger, S.. 1959):

$$\delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EmI}$$

Maka,

$$\delta_{\max} = \frac{83.333 \times (0,3)^3}{48 \times 210 \times 10^9 \times 6,75 \times 10^{-7}}$$

$$\delta_{\max} = \frac{2.249,991}{6.804.000}$$

$$\delta_{\max} = \frac{2.249,991}{6.804.000}$$

$$\delta_{\max} = 0,000330555 \text{ m}$$

$$\delta_{\max} = 0,3306 \text{ mm}$$

- Faktor Keamanan (berdasarkan tegangan) ((Budynas, R. G., & Nisbett, J. K., 2014):

$$FS = \frac{\sigma_{allow}}{\sigma_{max}}$$

Maka,

$$FS = \frac{175}{138,88}$$

$$FS = 1,73$$

Tabel 3.2 Ringkasan Perhitungan Dimensi Struktur Alat Uji

No.	Keterangan	Ukuran	Satuan
1.	Tegangan Izin Material	175	MPa
2.	Momen Lentur Maksimum	6.250	Nm
3.	Tegangan Lentur Maksimum	138,89	MPa
4.	Ketebalan Minimum	22,83	mm
5.	Momen Inersia Base Plate	$6,75 \times 10^{-7}$	m^4
6.	Defleksi Maksimum Pusat Plat	0,3306	mm
7.	Faktor Keamanan	1,73	

3. Perhitungan Berat Beban Plat Besi

Perhitungan berat plat besi dapat dihitung menggunakan rumus fisika dasar berikut

(Mikrajuddin, A., 2016):

$$m = \rho \cdot V$$

Di mana:

m = Massa benda (kg)

ρ = Berat jenis besi (kg/m^3) = 7850 kg/m^3

V = Volume benda (m^3)

Kemudian, untuk mencari volume benda bisa menggunakan persamaan berikut

(Mikrajuddin, A., 2016):

$$V = P \cdot L \cdot T$$

V = Volume benda (m^3)

P = Panjang plat (m)

L = Lebar plat (m)

T = Tebal plat (m)

Diketahui bahwa, berat beban dari plat besi

$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

$$P = 0,3 \text{ m}$$

$$L = 0,17 \text{ m}$$

$$T = 0,025 \text{ m}$$

Sehingga,

a. Volume Plat:

$$V = P \cdot L \cdot T$$

$$V = 0,3 \cdot 0,17 \cdot 0,025$$

$$V = 0,001275 \text{ m}^3$$

b. Berat Plat :

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 7850 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,001275 \text{ m}^3$$

$$m = 9,99375 \text{ kg}$$

Tabel 3.3 Ringkasan Perhitungan Berat Plat Besi

No.	Keterangan	Ukuran	Satuan
1.	Panjang Plat	0,3	m
2.	Lebar Plat	0,17	m
3.	Tebal Plat	0,025	m
4.	Massa Jenis Besi	7850	kg/m ³
5.	Berat (Massa)	9,993	kg

4. Perhitungan Berat Penampang

$$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$$

$$P = 0,5 \text{ m}$$

$$L = 0,1 \text{ m}$$

$$T = 0,03 \text{ m}$$

Diameter lubang:

$$d_1 \text{ dan } d_2 = 0,045 \text{ m}$$

$$d_3 = 0,012 \text{ m}$$

Sehingga,

a. Hitung Volume Plat Utuh:

$$V_{\text{plat}} = P \cdot L \cdot T$$

$$V_{\text{plat}} = 0,5 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 0,03 \text{ m}$$

$$V_{\text{plat}} = 0,0015 \text{ m}^3$$

b. Hitung Volume Total Lubang Silinder:

Rumus volume silinder menggunakan perhitungan berikut (Mikrajuddin, A., 2016):

$$V = \pi r^2 T$$

Di mana :

$$r = \text{Jari - jari} = d/2$$

$$\text{Jari - jari } r_1 \text{ dan } r_2 = 0,045 \text{ m}/2 = 0,0225 \text{ m}$$

$$V_{1\&2} = 2 \cdot (\pi \cdot r_1^2 \cdot T_{\text{lubang}})$$

$$V_{1\&2} = 2 \cdot (\pi \cdot (0,0225 \text{ m})^2 \cdot 0,03 \text{ m})$$

$$V_{1\&2} \approx 2 \cdot (3,14159 \cdot 0,00050625 \text{ m}^2 \cdot 0,03 \text{ m})$$

$$V_{1\&2} \approx 0,00009543 \text{ m}^3$$

Jari - jari $r_3 = 0,012 \text{ m}/2 = 0,006 \text{ m}$

$$V_3 = 2 \cdot (\pi \cdot r_1^2 \cdot T_{\text{lubang}})$$

$$V_3 = 2 \cdot (\pi \cdot (0,006 \text{ m})^2 \cdot 0,03 \text{ m})$$

$$V_3 \approx 2 \cdot (3,14159 \cdot 0,000036 \text{ m}^2 \cdot 0,03 \text{ m})$$

$$V_3 \approx 0,00000339 \text{ m}^3$$

Volume total lubang semuanya adalah,

$$V_{\text{lubang_total}} = V_{1\&2} + V_3$$

$$V_{\text{lubang_total}} \approx 0,00000543 \text{ m}^3 + 0,00000339 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{lubang_total}} \approx 0,00009882 \text{ m}^3$$

c. Hitung Volume Bersih Plat Besi:

Volume bersih plat besi setelah dilubangi:

$$V_{\text{bersih}} = V_{\text{plat}} - V_{\text{lubang_total}}$$

$$V_{\text{bersih}} \approx 0,0015 \text{ m}^3 - 0,00009882 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{bersih}} \approx 0,00140118 \text{ m}^3$$

d. Hitung Berat Plat Besi:

$$m = \rho \cdot V_{\text{bersih}}$$

$$m \approx 7850 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,00140118 \text{ m}^3$$

$$m \approx 11,009 \text{ kg}$$

Tabel 3.4 Ringkasan Perhitungan Berat Penampang

No.	Keterangan	Ukuran	Satuan
1.	Panjang Plat	0,5	m
2.	Lebar Plat	0,1	m
3.	Tebal Plat	0,03	m
4.	Diameter Lubang 1&2	0,045	m
5.	Diameter Lubang 3	0,012	m
6.	Massa Jenis Besi	7850	kg/m ³
7.	Volume Bersih	0,00140118	m ³
8.	Berat (Massa)	11,009	kg

5. Perhitungan Gerak Jatuh

Pergerakan jatuh ini melibatkan hukum newton yaitu kecepatan, gaya, serta impuls dan momentum, maka berikut perhitungan data analisis ringkas yang diambil dari empat percobaan pengujian.

Diketahui bahwa,

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 0,9 \text{ m}$$

$$t = 0,58 \text{ s}$$

$$m = 32,5 \text{ kg}$$

Hitung kecepatan terlebih dahulu dengan perumusan berikut (Young & Freedman, 2012):

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

Sehingga,

$$v = \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.9}$$

$$v = 4.20 \text{ m/s}$$

Kemudian menghitung persamaan gaya dengan cara ini (Mikrajuddin, A., 2016):

$$F = \frac{m \cdot v}{t}$$

Sehingga,

$$F = \frac{32.5 \times 4.20}{0.58}$$

$$F = \frac{6825}{29}$$

$$F = 235.34 \text{ N}$$

Kemudian, menghitung gaya gesek yang disebabkan *bearing* dengan rumus berikut

(Belingardi, G., & Vadori, R., 2002):

$$F_f = m \left(g - \frac{v^2}{2h} \right)$$

Sehingga,

$$F_f = 32,5 \left(9,81 - \frac{4,20^2}{2(0,9)} \right)$$

$$F_f = \frac{65}{2} \left(\frac{981}{100} - \frac{21^2}{45} \right)$$

$$F_f = \frac{12753}{40} - \frac{637}{2}$$

$$F_f = \frac{13}{40}$$

$$F_f = 0,325 \text{ N}$$

Setelah menentukan gesekan, energi yang hilang dapat dihitung dengan persamaan ini

(Zukas, J. A., 1982):

$$\%L = \frac{F_f}{m \cdot g} \times 100\%$$

Sehingga,

$$\%L = \frac{0,325}{32,5 \cdot 9,81} \times 100\%$$

$$\%L = \frac{0,325}{32,5 \cdot 9,81} \times 1$$

$$\%L = \frac{0,01}{9,81}$$

$$\%L = \frac{1}{981}$$

$$\%L = 0,00101937\%$$

Step terakhir menghitung *impuls* dan *momentum* menggunakan persamaan berikut ini

(Susanto, 2016):

$$I = F \cdot t$$

Sehingga,

$$I = 235.34 \times 0.58$$

$$I = 136.49 \text{ Ns}$$

$$M = m \cdot v$$

Sehingga,

$$M = 32.5 \times 4.20$$

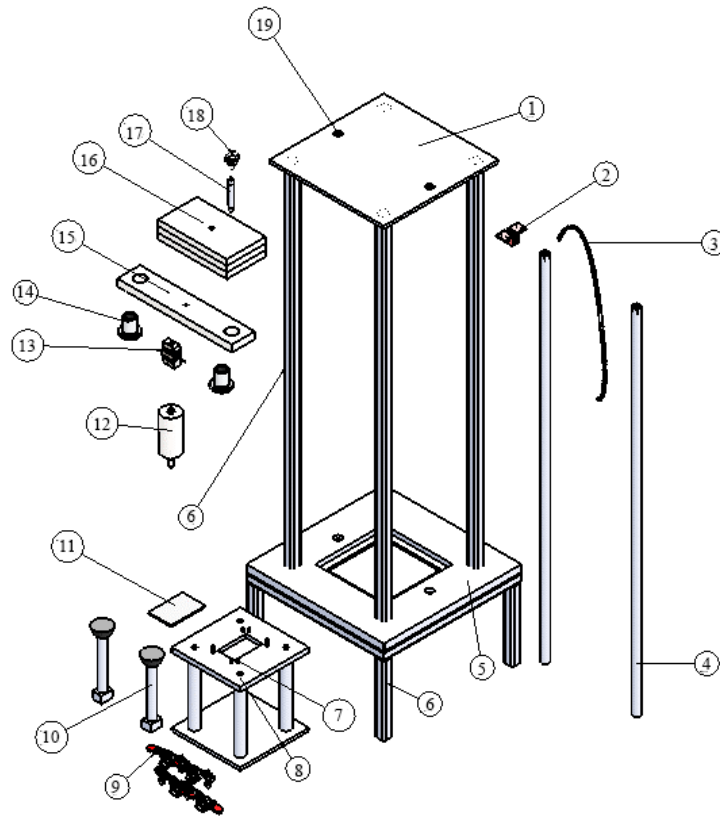
$$M = 136.5 \text{ kg.m/s}$$

Tabel 3.5 Ringkasan Perhitungan Gerak Jatuh

No.	Keterangan	Ukuran	Satuan
1.	Kecepatan	4,20	m/s
2.	Resultan gaya	235,34	N
3.	Gaya gesek	0,325	N
4.	Hilang energi	0,00101937	%
5.	<i>Impuls</i>	136,49	Ns
6.	<i>Momentum</i>	136,5	kg.m/s

3.3 Desain Alat Uji

Desain pada rancang bangun *drop test* dilakukan melalui pemodelan tiga dimensi (3D) menggunakan perangkat lunak SolidWorks sebagai tahap awal sebelum proses fabrikasi dilaksanakan. Pemodelan ini bertujuan untuk memvisualisasikan konfigurasi alat secara menyeluruh, sehingga hubungan antar komponen, dimensi struktural, serta sistem kerja dapat dianalisis secara sistematis. Melalui desain 3D, dilakukan penyesuaian dimensi, pemeriksaan kesesuaian (*fit and alignment*), serta evaluasi potensi interferensi antar komponen guna memastikan alat dapat berfungsi sesuai dengan prinsip kerja yang direncanakan. Model yang dihasilkan selanjutnya dijadikan acuan dalam penyusunan gambar kerja, penentuan spesifikasi material, serta proses manufaktur. Adapun komponen yang dirancang pada tahap ini meliputi:

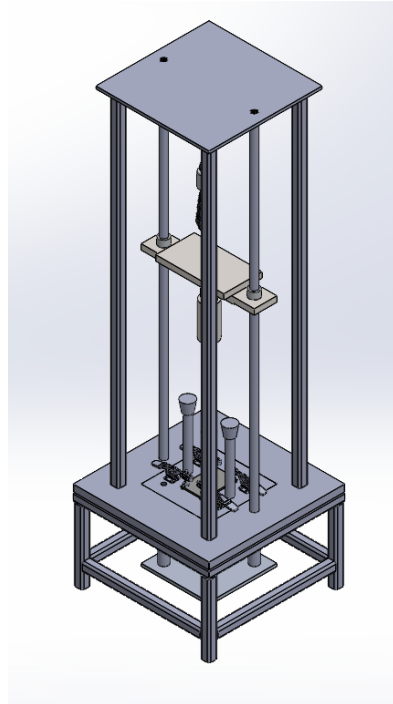


Gambar 3.4 Komponen penyusunan alat uji

Pada Gambar 3.4 menunjukkan konfigurasi komponen utama pada *drop test machine*. Penjelasan mengenai nama dan fungsi masing-masing komponen disajikan secara sistematis pada tabel 3. 6.

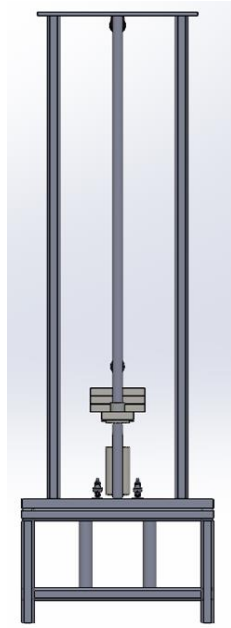
Tabel 3.6 Fungsi Setiap Komponen Alat *Drop Test*

No	Nama Komponen	Kegunaan
1	<i>Upper base</i>	Dasar plat atas yang menjadi penyangga atau pengikat komponen bagian atas alat uji.
2	Katrol <i>pulley</i>	Mengarahkan atau mengubah arah gaya tarik taling seling (dari vertikal ke horizontal untuk mekanisme pelepasan).
3	Tali <i>seling</i>	Media untuk mengangkat dan menahan beban pada ketinggian tertentu sebelum dilepaskan.
4	As <i>hard chrome</i> Ø 30mm	Batang pemandu vertikal yang sangat keras dan licin untuk gerakan beban/penetrator.
5	<i>Lower base</i>	Dasar bawah atau alas yang menjadi pondasi utama dan penopang alat uji.
6	<i>Frame hollow</i> 40x40	Struktur utama atau rangka penopang seluruh komponen alat.
7	<i>Dowel pin</i>	Elemen pengunci silindris presisi tinggi untuk memastikan posisi dan alignment spesimen tetap di tengah agar tumbukan penetrator tepat dan konsisten.
8	Meja spesimen (<i>anvil</i>)	Landasan keras tempat spesimen diletakkan dan menahan gaya impak.
9	<i>Toggle clamp</i>	Mekanisme penjepit berbasis tuas untuk menahan spesimen agar stabil.
10	<i>Stopper</i>	Batas atau penghenti yang mengatur ketinggian jatuh atau mencegah gerakan berlebih
11	Spesimen <i>polymer</i>	Material uji (sampel) yang akan dilakukan uji impak untuk dianalisis ketahanannya.
12	<i>Penetrator</i>	Bagian yang digunakan untuk menghantam spesimen, yang ujungnya memiliki bentuk <i>hemispherical</i> dengan standar uji impak ASTM D7136.
13	<i>Load cell type s</i>	Sensor gaya berbentuk 'S' yang berfungsi mengukur gaya impak saat <i>penetrator</i> menghantam spesimen.
14	<i>Motion linier bearing</i> Ø 30mm	Bantalan yang memastikan pergerakan holder beban pada <i>as hard chrome</i> berlangsung lurus dan transisi linier.
15	<i>Holder penetrator, beban, dan load cell</i>	Dudukan ini berfungsi sebagai struktur penahan untuk pemasangan beban, penetrator, dan load cell.
16	Beban 9.9 kg	Massa yang dijatuhkan (bersama <i>penetrator</i> serta <i>load cell</i>) untuk menghasilkan energi impak.
17	<i>Locator</i> beban	Titik atau mekanisme untuk membantu menjaga beban terpasang pada posisi yang tepat dan aman di <i>holder</i> beban.
18	<i>Eyebolt</i>	Baut dengan mata cincin, umumnya digunakan sebagai titik kait untuk tali seling atau mengangkat beban.
19	Mur dan baut	Elemen mesin yang digunakan untuk menyatukan dan menggabungkan dua komponen atau lebih agar kuat.



Gambar 3.5 Desain alat tampak isometrik

Gambar 3.5 menunjukkan desain alat uji yang dibuat dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks dalam tampilan isometrik. Pada tampilan ini, struktur rangka utama, pelat atas dan bawah, kolom penyangga dapat diamati secara menyeluruh. Penyajian isometrik memungkinkan ketiga sumbu utama, yaitu sumbu X, Y, dan Z, ditampilkan secara proporsional dengan sudut antarsumbu sebesar 120° , sehingga dimensi dan posisi setiap komponen terlihat secara seragam. Pendekatan ini memudahkan analisis geometris dan teknis karena skala tetap konsisten di seluruh arah. Desain isometrik seperti ini sangat berguna dalam rekayasa karena memberikan gambaran menyeluruh tanpa memerlukan proyeksi perspektif yang kompleks.



Gambar 3.6 Desain alat tampak samping

Desain pada Gambar 3.6 ini menampilkan desain dari alat uji yang dilihat dari sudut samping dalam perspektif tiga dimensi. Perspektif isometrik memungkinkan visualisasi komponen secara menyeluruh tanpa distorsi perspektif, sehingga sumbu X, Y, dan Z tetap proporsional. Tampilan samping dalam isometri memberikan gambaran jelas tentang tinggi alat, posisi vertikal komponen utama seperti batang penuntun dan aktuator, serta hubungan spasial antar elemen. Desain ini memudahkan analisis teknis seperti jalur gerak vertikal dan distribusi gaya, sekaligus mempertahankan akurasi dimensi. Pendekatan ini sangat berguna dalam proses perancangan dan dokumentasi teknik karena menyatukan detail geometris dan struktur dalam satu pandangan yang informatif.

Data spesifikasi akhir menjadi acuan dalam analisis performa serta perhitungan energi tumbukan pada tahap pengujian. Ringkasan spesifikasi teknis hasil rancang bangun dapat dilihat berikut ini.

Tabel 3.7 Spesifikasi *Drop Test Machine*

No.	Keterangan	Ukuran	Satuan
1.	Dimensi (P x L x T)	600 x 600 x 1900	mm
2.	Dimensi Katrol <i>pulley</i>	41 x 31 x 55	mm
3.	Panjang Tali Seling Ø 6mm	6000	mm
4.	Berat <i>Holder</i> Penampang + <i>Penetrator</i> + <i>Load Cell</i>	17,7	kg
5.	Berat Beban 1 <i>Stack</i>	9.9	kg
6.	<i>Guide Rail</i>	Ø30 x 1600	mm
7.	Dimensi <i>Penetrator</i>	Ø75 x 225 (<i>with hemispherical striker tip</i> Ø16)	mm
8.	Dimensi <i>Linear Bearing</i>	Ø30 x Ø45 x 64	mm
9.	Dimensi Spesimen (P x L x T)	150 x 100 x 6	mm
10.	Dimensi <i>Dowell Pin</i>	Ø6 x 20	mm
11.	Dimensi <i>Load Cell</i>	50.8 x 25.5 x 76.2	mm
12.	Dimensi 1 <i>Stack</i> Beban	300 x 170 x 25	mm
13.	Dimensi Meja Spesimen (Anvil)	300 x 300 x 320	mm

3.4 Fabrikasi Alat Uji

Fabrikasi alat uji dilaksanakan berdasarkan hasil perancangan dan perhitungan yang telah ditetapkan sebelumnya. Tahapan fabrikasi mencakup pemilihan material, pembuatan masing-masing komponen, serta perakitan konstruksi menjadi satu kesatuan sistem. Seluruh proses dilakukan dengan memperhatikan ketelitian dimensi, kekuatan, dan stabilitas struktur agar prototipe yang dihasilkan sesuai dengan

spesifikasi teknis serta memenuhi aspek keamanan dan fungsionalitas.

Adapun alat, komponen, dan metode fabrikasi yang digunakan dalam proses pembuatan alat uji ini diuraikan sebagai berikut :

a. Alat

1. Mesin CNC *milling*



Gambar 3.7 Mesin *computer numeric control milling*

Mesin CNC *milling* seperti Gambar 3. 7 digunakan pada tahap fabrikasi untuk menghasilkan komponen-komponen alat uji yang memerlukan tingkat ketelitian dan akurasi dimensi tinggi, seperti dudukan spesimen (anvil), jalur pengarah beban, dan elemen mekanis lainnya. Penggunaan mesin CNC *milling* dipilih karena mampu memberikan kualitas pemesinan yang konsisten, sehingga mendukung keandalan dan fungsionalitas prototipe alat uji yang dihasilkan.

2. Mesin Bubut



Gambar 3.8 Mesin bubut

Mesin bubut seperti Gambar 3. 8 merupakan mesin perkakas yang digunakan untuk membentuk material berbentuk silindris melalui proses pemotongan dengan

benda kerja yang berputar. Dalam pembuatan alat ini, mesin bubut digunakan untuk membuat komponen seperti poros, dudukan bantalan, dan bagian berputar lainnya yang membutuhkan presisi dimensi dan kualitas permukaan, sehingga mendukung kinerja alat uji.

3. Mesin Las



Gambar 3.9 Mesin las

(<https://www.niagamas.com/produk/daiden-welding-inverter-machine-mesin-las-tig-200/>)

Mesin las seperti Gambar 3. 9 adalah peralatan yang digunakan untuk menyambungkan komponen logam melalui proses pencairan material dan penggunaan elektroda. Pada pembuatan alat uji ini, mesin las digunakan untuk menyatukan bagian rangka utama dan komponen pendukung pada *drop test machine* agar memiliki kekuatan dan stabilitas konstruksi sesuai spesifikasi perancangan.

4. Mesin Bor



Gambar 3.10 Mesin bor *milling*

Mesin bor seperti Gambar 3. 10 digunakan untuk membuat lubang pada material secara manual dengan tingkat presisi tertentu. Pada penggunaannya, mesin bor digunakan untuk pengerjaan lubang baut, pasak, dan sambungan mekanis pada komponen *drop test* guna memastikan kesesuaian dengan rancangan dan mendukung kekuatan konstruksi.

5. Gerinda



Gambar 3.11 Gerinda tangan

(<https://megaperkakas.com/mengenal-mesin-gerinda/>)

Gerinda pada Gambar 3. 11 digunakan sebagai alat kerja mekanik yang berfungsi untuk memotong, mengikis, dan menghaluskan material seperti baja, aluminium, dan profil rangka. Alat ini bekerja dengan memutar mata gerinda dengan kecepatan tinggi sehingga mampu mengikis atau memotong material dengan cepat dan presisi.

6. *Measuring gauge*



Gambar 3.12 Jangka sorong

Measuring gauge pada Gambar 3. 12 berperan sebagai alat validasi yang digunakan untuk memeriksa ketelitian dimensi dan kesesuaian dari suatu komponen dengan toleransi yang ditentukan dan dengan sesuai dengan perencnaan ataupun perancangan.

b. *Komponen drop test machine*

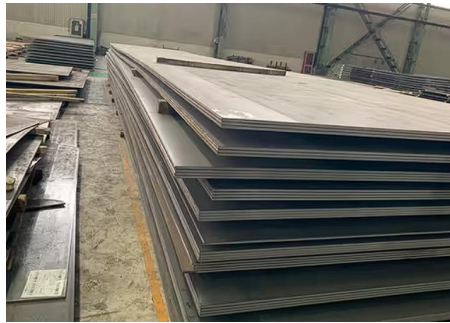
1. *Besi Hollow*



Gambar 3.13 Besi *hollow*

Besi *hollow* pada Gambar 3. 13 biasa digunakan sebagai rangka utama pada pembuatan *drop test machine*. Material konstruksi ini berbentuk pipa kotak berongga yang memiliki kekuatan struktural tinggi namun tetap ringan, sehingga mampu memberikan kestabilan dan ketahanan rangka terhadap beban tumbukan. Pada rancangan ini, besi hollow yang digunakan memiliki dimensi $40 \times 40 \times 4$ mm.

2. Plat Baja



Gambar 3.14 Plat baja

(<http://id.worldironsteel.com/mechanical-and-structural-steel/astm-a36-carbon-steel-plate.html>)

Gambar 3. 14 adalah plat baja yang merupakan material berbentuk lembaran dengan ketebalan tertentu yang digunakan sebagai elemen struktural pada alat uji. Material ini dipilih karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, stabilitas baik, dan mampu menahan beban serta gaya yang nanti terjadi selama proses pengujian.

3. Poros (*As Hard Chrome*)



Gambar 3.15 *As hard chrome*

Gambar 3. 15 merupakan poros atau *As Hard Chrome* batang baja berbentuk silinder yang dilapisi krom keras melalui proses pelapisan elektroplating guna meningkatkan kekuatan permukaan, ketahanan aus, serta kemampuan menahan gesekan. Material ini memiliki tingkat kekasaran rendah dan sifat mekanis yang stabil, sehingga ideal digunakan sebagai komponen presisi.

c. Proses Fabrikasi *Drop Test Machine*

1. Fabrikasi Rangka Utama

Rangka utama merupakan struktur dasar yang berfungsi sebagai penopang seluruh komponen *drop test machine* serta menahan beban statis dan dinamis yang terjadi selama proses pengujian. Rangka *drop test machine* difabrikasi menggunakan material baja *hollow* berpenampang persegi dengan dimensi $40 \times 40 \times 3$ mm. Perancangan rangka dilakukan dengan mempertimbangkan aspek kekuatan struktural, kekakuan, dan kestabilan alat guna meminimalisir terjadinya deformasi akibat beban impact selama proses pengujian.



(a)



(b)

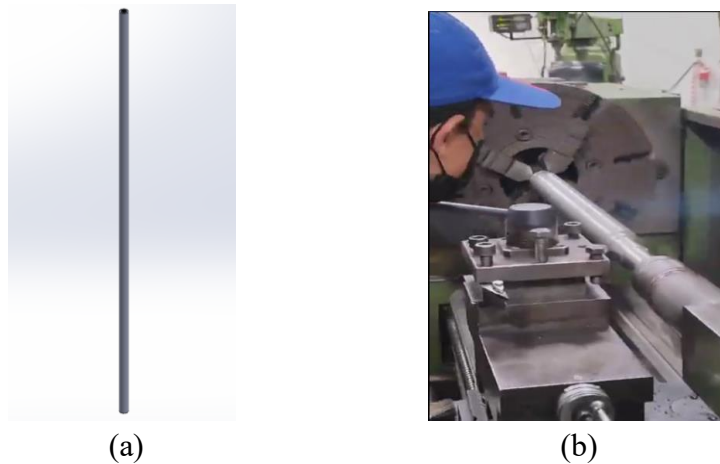
Gambar 3.16 (a) Model 3D *guide rail* (b) Proses fabrikasi rangka utama

Gambar 3.16 (a) menunjukkan model 3D rangka utama yang dirancang sebagai struktur penopang dalam sistem *drop test machine*. Rancangan ini menjadi dasar dalam penentuan dimensi dan susunan rangka agar mampu menopang beban selama proses pengujian. Proses fabrikasi rangka utama ditunjukkan pada Gambar 3.16 (b), yang diawali dengan pemotongan material sesuai ukuran yang telah ditetapkan, kemudian dilanjutkan dengan proses perakitan menggunakan metode pengelasan. Setelah seluruh bagian terpasang, dilakukan pemeriksaan terhadap keselarasan dan kestabilan rangka untuk memastikan struktur yang terbentuk mampu mendukung kinerja sistem

secara optimal selama pengujian berlangsung.

2. Fabrikasi Sistem Penuntun (*Guide Rail*)

Sistem penuntun (*guide rail*) berfungsi untuk menjaga pergerakan impaktor agar tetap vertikal dan terarah selama proses jatuh bebas. Perancangan sistem penuntun dilakukan untuk meminimalisir gesekan serta penyimpangan lintasan yang dapat memengaruhi hasil pengujian impact.



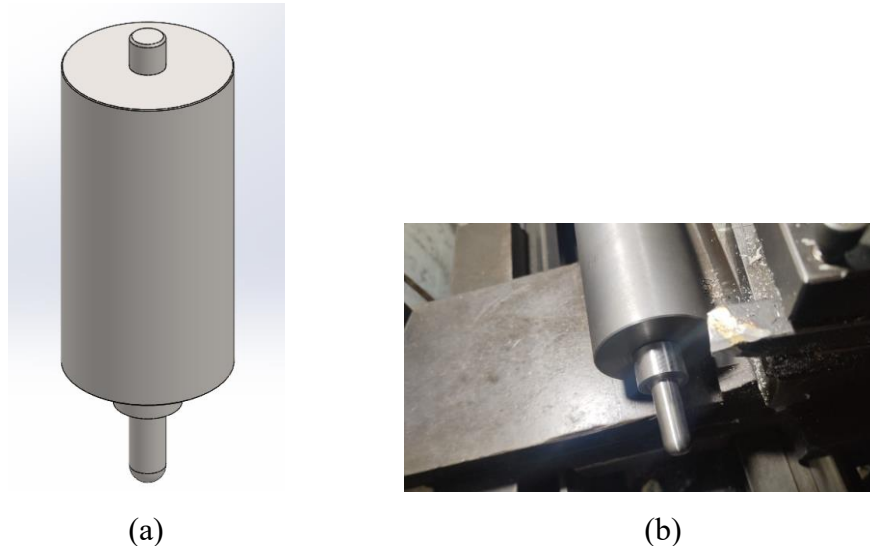
Gambar 3.17 (a) Model 3D *guide rail* (b) Fabrikasi *guide rail*

Gambar 3.17 (a) menunjukkan model 3D *guide rail* yang digunakan sebagai acuan dalam tahap perancangan guna memastikan kesesuaian dimensi dan bentuk dengan kebutuhan sistem. Selanjutnya, Gambar 3.17 (b) menunjukkan proses fabrikasi *guide rail* yang dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional dengan memperhatikan ketelitian dimensi serta keselarasan posisi. Ketelitian pada tahap fabrikasi tersebut memiliki peranan penting dalam meminimalkan gesekan dan mencegah terjadinya penyimpangan lintasan, sehingga pergerakan impaktor dapat berlangsung secara stabil, vertikal, dan konsisten selama proses pengujian.

3. Fabrikasi Impaktor

Impaktor merupakan komponen utama yang berfungsi menghasilkan energi tumbukan terhadap spesimen uji. Fabrikasi impaktor mempertimbangkan massa,

bentuk ujung hemispherical, serta kekakuan material untuk memastikan energi impak yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan pengujian dan memenuhi ketentuan standarisasi ASTM D7136.



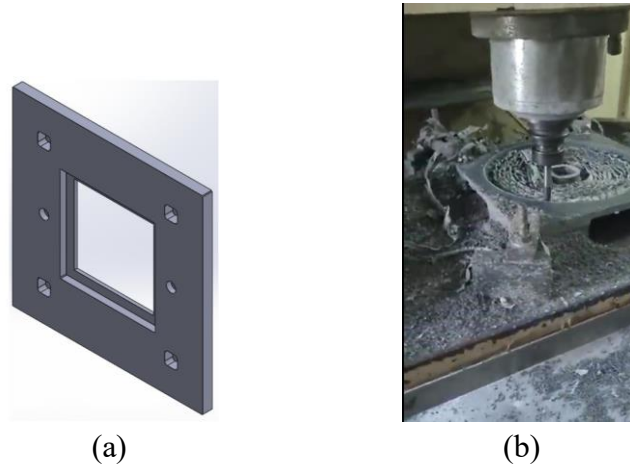
Gambar 3.18 (a) Model 3D impactor (b) Fabrikasi impactor

Gambar 3.18 (a) menunjukkan model 3D impactor yang digunakan sebagai acuan dalam menentukan dimensi dan bentuk sesuai dengan kebutuhan sistem. Selanjutnya, Gambar 3.18 (b) memperlihatkan proses fabrikasi impactor yang dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional dengan memperhatikan ketelitian ukuran dan kualitas permukaan hasil pengerjaan. Setelah proses fabrikasi selesai, dilakukan pembuatan dan pemasanganudukan impactor untuk memastikan posisi impactor tetap stabil serta sejajar dengan sistem penuntun. Pada tahap perakitan, keseimbangan massa dan kekuatan sambungan juga diperhatikan agar energi tumbukan yang dihasilkan tetap konsisten selama proses pengujian.

4. Fabrikasi *Base Plate* dan *Upper Plate*

Base plate dan *upper plate* merupakan komponen struktural yang mendukung kestabilan dan fungsi operasional drop test machine. *Base plate* berfungsi sebagai

landasan utama atau meja penopang sistem penahan spesimen serta mendistribusikan beban impak ke rangka. *Upper plate* berfungsi sebagai dudukan sistem penarik dan mekanisme pelepas impaktor pada ketinggian tertentu sebelum pengujian dilakukan.



Gambar 3.19 (a) 3D model *base plate* dan *upper plate* (b) Fabrikasi *base plate* dan *upper plate*

Gambar 3.19 (a) merupakan rancangan 3D model dari *base plate* dan *upper plate* yang digunakan sebagai acuan dalam proses perancangan, meliputi dimensi, posisi lubang, serta detail penampang komponen. Selanjutnya, Gambar 3.19 (b) menunjukkan proses fabrikasi komponen menggunakan mesin CNC dengan mengacu pada spesifikasi yang telah ditentukan. Proses pengerjaan dilakukan dengan memperhatikan ketelitian dimensi dan kesesuaian posisi lubang agar komponen dapat terpasang dengan baik pada sistem. Selain itu, kualitas hasil pemesinan turut diperhatikan untuk memastikan kekuatan dan kestabilan struktur selama pengujian berlangsung.

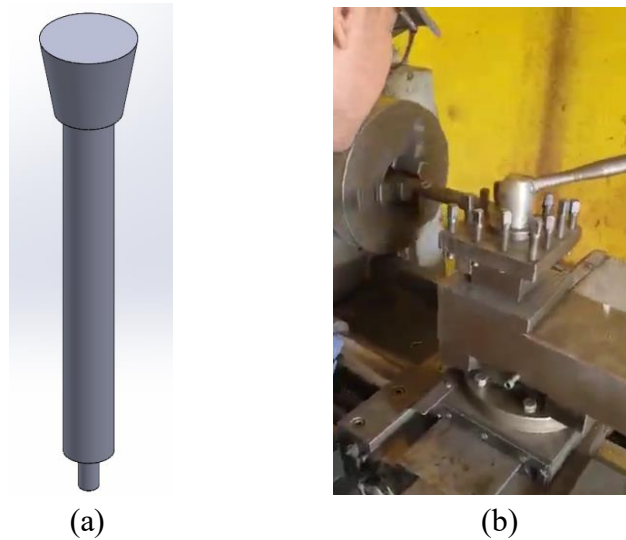


Gambar 3.20 Perakitan *base plate* pada rangka utama

Gambar 3. 20 menunjukkan *base plate* dirakit pada rangka utama menggunakan sambungan baut atau las sesuai kebutuhan konstruksi. Pemeriksaan akhir dilakukan untuk memastikan kekakuan dan kestabilan struktur sehingga mampu mendukung proses pengujian impak secara aman dan konsisten.

5. Fabrikasi Sistem Penahan (*Stopper*) dan Dudukan Spesimen

Sistem penahan (*stopper*) berfungsi sebagai pembatas gerak impaktor yang bergerak sepanjang *guide rail* dan dilepaskan dari ketinggian tertentu. Komponen ini dirancang untuk menghentikan pergerakan impaktor pada batas yang telah ditentukan sehingga mencegah terjadinya gerakan berlebih setelah tumbukan.



Gambar 3.21 (a) Model 3D sistem penahan (*stopper*) (b) Fabrikasi sistem penahan (*stopper*)

Pada gambar 3.21 (a) menunjukkan model 3D dari sistem penahan (*stopper*) yang digunakan sebagai acuan dalam penentuan dimensi dan bentuk sesuai dengan kebutuhan sistem. Selanjutnya, Gambar 3.21 (b) memperlihatkan proses fabrikasi *stopper* yang dilakukan menggunakan mesin bubut konvensional dengan mengacu pada spesifikasi hasil perancangan. Proses pengerjaan dilakukan dengan memperhatikan ketelitian ukuran serta kualitas permukaan agar komponen dapat terpasang dengan baik dan bekerja sesuai dengan perencanaan. Selain itu, kesesuaian dimensi dan kekuatan material juga diperhatikan untuk mendukung kinerja sistem secara keseluruhan selama proses pengujian berlangsung.



Gambar 3.22 *Stopper*

Gambar 3. 22 menunjukkan hasil proses fabrikasi dan perakitan sistem penahan yang diintegrasikan dengan bantalan. Penambahan elemen peredam ini bertujuan untuk menyerap sebagian energi sisa tumbukan serta mengurangi efek kejutan (*shock*) yang terjadi setelah impaktor mencapai batas geraknya.



Gambar 3.23 Integrasi elemen tambahan pada meja spesimen

Gambar 3. 23 menunjukkan integrasi antara *stopper*, elemen peredam, meja spesimen (*anvil*), dan mekanisme penjepit (*clamp*) dalam satu sistem kerja yang terkoordinasi. Proses perakitan dilakukan dengan memperhatikan kesesuaian dimensi, ketelitian alignment, serta kekencangan sambungan agar distribusi beban berlangsung merata dan tidak menimbulkan konsentrasi tegangan. Dengan konfigurasi tersebut, sistem mampu meningkatkan stabilitas mekanisme, mengurangi potensi kerusakan

komponen, serta menjaga konsistensi dan keandalan hasil pengujian.

3.5 Integrasi Loadcell

Integrasi *load cell* pada alat uji ini berfungsi untuk mengukur gaya tumbukan yang terjadi saat spesimen polimer menerima energi jatuh. Sensor bekerja berdasarkan prinsip *strain gauge*, yaitu mengonversi deformasi mekanis akibat pembebanan menjadi sinyal listrik dengan amplitudo yang sebanding dengan gaya yang diterima. Pada alat uji ini menggunakan *load cell type s* karena kemampuannya dalam mengukur beban tarik dan tekan secara akurat serta respons yang baik terhadap pembebanan dinamis. Sinyal keluaran dari *load cell* selanjutnya diproses menggunakan modul penguat dan diteruskan ke Arduino Uno sebagai unit akuisisi data, yang berfungsi mengubah sinyal analog menjadi data digital untuk dianalisis. Konfigurasi ini memungkinkan perekaman respons gaya tumbukan secara stabil dan presisi selama proses pengujian berlangsung.

Tabel 3.8 Spesifikasi Arduino Uno R3 Atmega328P

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Nama Model	Arduino Uno R3 Atmega328P
2.	<i>Microcontroller</i>	Atmega328 SMD
3.	<i>Operating Value</i>	5V
4.	<i>Input Voltage (recommended)</i>	7-12V
5.	<i>Digital I/O Pins</i>	14 (6 pin sebagai output PWM)
6.	<i>Analog Input Pins</i>	6
7.	<i>Flash Memory</i>	32 KB dengan 0.5 digunakan untuk <i>bootloader</i>
8.	<i>SRAM</i>	2 KB
9.	<i>EEPROM</i>	1 KB
10.	<i>Clock Speed</i>	16 MHz

(<https://bit.ly/3Mg0UcM>)

Tabel 3.9 Spesifikasi *Load Cell Type S*

No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Nama Model	YZC-516C
2.	Kapasitas	1 Ton
3.	<i>Accuracy Class</i>	C2
4.	Dimensi	50.8 x 25.4 x 76.2 mm
5.	<i>Rated Output</i>	2.00 ± 0.05 mV/V
6.	<i>Input Impedance</i>	365 ± 5Ω
7.	<i>Output Impedance</i>	350 ± 3Ω
8.	<i>Safe Overload</i>	150 % F.S
9.	<i>Destructive Load</i>	200 % F.S

(<https://bit.ly/3MhMuZF>)



Gambar 3.24 Integrasi *load cell type S* pada alat uji

Gambar 3. 24 merupakan *load cell* yang dipasang pada bagian atas penetrator sebagai titik penerimaan beban tumbukan utama agar gaya impact dapat diukur secara presisi tanpa mengalami penyusutan energi. Sensor ini dihubungkan secara kaku dengan penetrator dan diintegrasikan dengan sistem akuisisi data untuk merekam perubahan gaya secara *real-time* yang kemudian dikonversi menjadi besaran energi tumbukan.

3.6 Kalibrasi & Verifikasi Sensor

Kalibrasi dan verifikasi sensor dilakukan untuk memastikan akurasi, konsistensi,

dan keandalan data yang diperoleh selama proses pengujian. Tahap kalibrasi bertujuan menyesuaikan sensitivitas dan titik acuan pengukuran agar hasil pembacaan sensor sesuai dengan standar yang ditetapkan, sedangkan verifikasi dilakukan untuk membandingkan hasil pengukuran sensor dengan instrumen acuan guna menilai stabilitas serta ketepatan kinerja sensor pada *drop test machine*.



Gambar 3.25 Berat *impactor*

Gambar 3. 25 menunjukkan hasil pengukuran berat aktual *impactor* menggunakan timbangan digital. Tampilan layar memperlihatkan angka 17,7 kg, yang merupakan berat benda yang diletakkan di atas permukaan kaca timbangan. Angka tersebut muncul sebagai hasil pembacaan langsung dari sensor timbangan, menunjukkan bahwa *impactor* memiliki massa sebesar 17,7 kilogram. Penggunaan timbangan badan dalam konteks ini menjadi metode praktis untuk memperoleh data berat *impactor* secara cepat dan akurat.



Gambar 3.26 Berat beban

Pada Gambar 3. 26 merupakan hasil pengukuran berat aktual beban menggunakan timbangan digital. Tampilan layar memperlihatkan angka 9,9 kg, yang merupakan berat beban yang diletakkan di atas permukaan kaca timbangan. Angka tersebut muncul sebagai hasil pembacaan langsung dari sensor timbangan, menunjukkan bahwa beban memiliki massa sebesar 9,9 kilogram. Penggunaan timbangan badan dalam konteks ini menjadi metode praktis untuk memperoleh data berat beban secara cepat dan akurat.

3.7 Uji Coba Alat

Pada tahap ini, dilakukan pengujian *drop test machine* dengan mengujinya beberapa percobaan terhadap spesimen uji yang berbeda. Pengujian mencakup evaluasi kinerja penetrator terhadap spesimen, pengukuran energi tumbukan yang dihasilkan dalam satuan Joule, serta verifikasi keakuratan pembacaan sensor *load cell* sebagai indikator besaran gaya dan energi yang dihasilkan. Prosedur ini bertujuan memastikan bahwa prototipe alat uji ini mampu menghasilkan data pengujian yang tepat, konsisten, dan sesuai dengan spesifikasi rancangan. Jika dalam proses pengujian ditemukan ketidaksesuaian atau hasil yang kurang optimal, maka perlu dilakukan

evaluasi dan perbaikan perancangan, baik dari segi mekanisme, material, maupun parameter pengujian.

3.8 Tolok Ukur Keberhasilan Pengujian

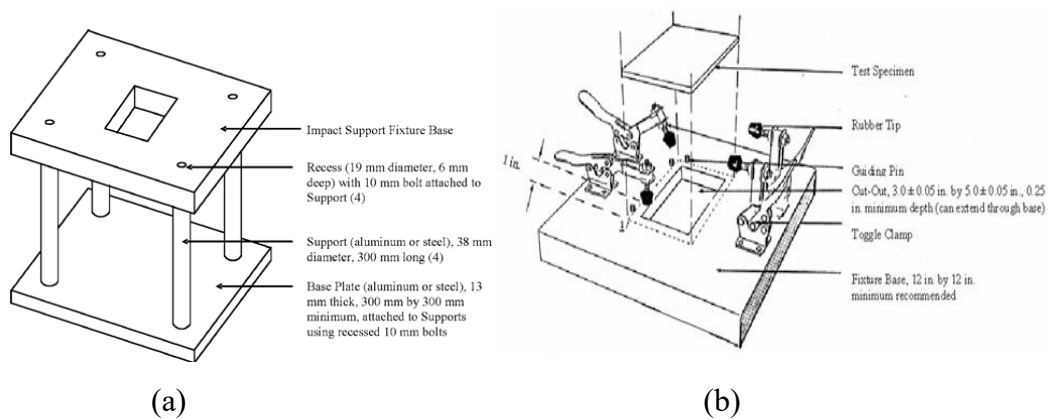
Agar dapat dinyatakan berhasil, alat uji impak tipe *drop test* yang dirancang dan dibuat harus memenuhi sejumlah kriteria teknis dan fungsional yang telah ditetapkan sebelumnya. Tolak ukur keberhasilan ini diperlukan untuk memastikan bahwa alat tidak hanya berfungsi sesuai desain, tetapi juga memberikan hasil pengujian yang dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penetapan ini juga menjadi dasar analisis dan evaluasi dalam pembahasan hasil uji di BAB IV.

Tabel 3.10 Tolok Ukur Keberhasilan Alat

No.	Parameter Uji	Indikator Keberhasilan
1.	<i>Percentage Error</i>	Perbandingan dengan jurnal internasional dengan menggunakan sebagai validasi kekuatan material
2.	Ketahanan struktur alat uji	Tidak mengalami deformasi setelah ≥ 3 siklus uji
3.	<i>Respons</i> material polimer	Analisis ketahanan kerusakan dari material polimer termoplastik khususnya <i>polypropylene</i>
4.	Keamanan alat uji	Penggunaan alat tidak menyebabkan risiko langsung terhadap pengguna

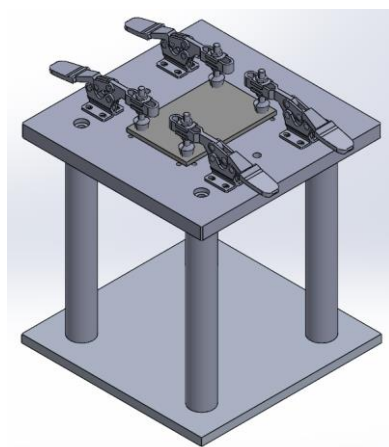
3.9 Verifikasi Standar ASTM D7136

Pada bagian ini menyajikan verifikasi kesesuaian desain alat dan konfigurasi pengujian yang digunakan terhadap ketentuan standar ASTM D7136. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan spesifikasi desain pengujian yang tercantum dalam standar dengan realisasi alat uji yang dibuat pada penelitian ini.



Gambar 3.27 (a) *Representative rigid base* (b) *Impact support fixture*
(ASTM, 2012)

Gambar 3.27(a) menunjukkan *representative rigid base* yang digunakan sebagai landasan dalam pengujian impak untuk menjaga kestabilan spesimen selama proses pengujian berlangsung. Selanjutnya, Gambar 3.27(b) menunjukkan *impact support fixture* yang berfungsi sebagai penopang sekaligus penjepit spesimen agar tetap berada pada posisi yang telah ditentukan saat menerima beban tumbukan. Kedua komponen tersebut disusun mengacu pada standar ASTM D7136 sehingga kondisi pengujian dapat dilakukan secara konsisten dan hasil yang diperoleh lebih dapat diandalkan.



Gambar 3.28 *Assembly anvil tempat pengujian spesimen*

Pada gambar 3.28 merupakan tempat pengujian spesimen yang dirancang sesuai dengan ketentuan standari ASTM D7136. Struktur desain ini merupakan hasil penggabungan dua komponen utama, yaitu *impact support fixture* dan *representative rigid base*. Pada konfigurasi tersebut, spesimen dijepit menggunakan empat buah clamp untuk memastikan kestabilan posisi spesimen selama proses pengujian impak berlangsung.