

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Modifikasi



Gambar 4. 1 Alat impact sebelum di modifikasi

Alat uji impact Charpy V-notch pada kondisi awal memiliki beberapa keterbatasan dalam aspek keamanan, efisiensi, dan keandalan sistem pembacaan energi. Kondisi sebelum modifikasi adalah sebagai berikut:

1. Tidak terdapat rangka pengaman, sehingga potensi risiko bagi operator cukup tinggi saat pendulum berayun.
2. Belum dilengkapi sistem pengereman manual, sehingga penghentian pendulum hanya mengandalkan hilangnya energi kinetik secara alami.
3. Pengangkatan pendulum dilakukan secara manual tanpa bantuan motor.
4. Sistem pembacaan energi menggunakan *digital analog converter* (DAC) yang sebenarnya sudah melalui proses kalibrasi, namun kemudian mengalami kerusakan sehingga pembacaan menjadi tidak berfungsi optimal.



Gambar 4. 2 Alat impact setelah di modifikasi

Setelah dilakukan proses modifikasi, alat mengalami beberapa peningkatan signifikan:

1. Penambahan rangka pengaman untuk melindungi operator selama pengujian berlangsung.
2. Pemasangan sistem pengereman manual dengan menggunakan belt, sehingga pendulum dapat dihentikan secara terkontrol.
3. Penerapan motor pengangkat pendulum untuk mempermudah proses pengangkatan sebelum pengujian.
4. Penggantian sistem pembacaan energi dari DAC menjadi dial indicator mekanis yang telah melalui proses kalibrasi sehingga memberikan hasil pembacaan yang akurat.
5. Penambahan pondasi beton pada bagian bawah alat untuk meningkatkan ketinggian sehingga pembacaan dial indicator dapat dilakukan tanpa membungkuk.

4.2 Pembahasan Material Baja ST-37

Baja ST-37 dipilih sebagai spesimen pengujian karena memiliki sifat mekanis yang umum digunakan dalam konstruksi dan industri manufaktur. Baja ini termasuk baja karbon rendah dengan kekuatan tarik yang memadai serta kemampuan las yang baik. Pemilihan ST-37 bertujuan untuk mendapatkan data uji yang relevan, terutama dalam analisis ketangguhan material terhadap beban kejut pada pengujian impact Charpy V-notch. Pada penelitian ini digunakan dua belas spesimen baja ST-37. Hasil dari pengujian pada alat pembanding terdapat pada tabel 3.10 dan untuk hasil dari pengujian pada alat pembanding terdapat pada tabel 3.11 memperoleh data ketangguhan material terhadap beban kejut melalui pengujian impact Charpy V-notch, maka :

Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Energi Serap dan Ketangguhan Material

Workshop	Alat Pembanding (Lab Teknik Mesin)
<u>Pengujian Spesimen 1-4</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 115 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,483)$ $J = 57,332 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{57,332J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,57 \text{ J/mm}^2$	<u>Pengujian Spesimen 1-8</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 111 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,409)$ $J = 78,54 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{78,54 \text{ J}}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,785 \text{ J/mm}^2$

<u>Pengujian Spesimen 5-12</u>	<u>Pengujian Spesimen 9-12</u>
$J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$	$J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$
$J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 114 - \cos 155)$	$J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 112 - \cos 140,18)$
$J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,499)$	$J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,393)$
$J = 59,231 \text{ Joule}$	$J = 75,46$
$K = \frac{J}{A}$	$K = \frac{J}{A}$
$K = \frac{59,231 J}{100 \text{ mm}^2}$	$K = \frac{75,46 J}{100 \text{ mm}^2}$
$K = 0,59 J/\text{mm}^2$	$K = 0,754 J/\text{mm}^2$

Berdasarkan nilai energi yang telah diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung standar deviasi untuk mengetahui tingkat variasi hasil pengujian.

Tabel 4. 2 Mean energi impact pada spesimen baja ST-37

No.	Workshop		Lab Teknik Mesin	
	Energi Impact	Rata-Rata	Energi Impact	Rata-Rata
1.	57,332 Joule	58,598 Joule	78,54 Joule	77,51 Joule
2.	57,332 Joule		78,54 Joule	
3.	57,332 Joule		78,54 Joule	
4.	57,332 Joule		78,54 Joule	
5.	59,231 Joule		78,54 Joule	
6.	59,231 Joule		78,54 Joule	
7.	59,231 Joule		78,54 Joule	
8.	59,231 Joule		78,54 Joule	

9.	59,231 Joule		75,46 Joule	
10.	59,231 Joule		75,46 Joule	
11.	59,231 Joule		75,46 Joule	
12.	59,231 Joule		75,46 Joule	

Berdasarkan data energi impak yang tersaji pada tabel di atas, analisis kemudian dilanjutkan dengan perhitungan standar deviasi guna mengukur tingkat variasi hasil pengujian. Rumus standar deviasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(J - J_m)^2}{n - 1}}$$

Keterangan : SD : Standar Deviasi

J : Energi Impak

J_m : Energi Impak Rata-Rata

n : Jumlah Data

Tabel 4. 3 Perhitungan $(J - J_m)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin

No.	$(J - J_m)^2$ Workshop	$(J - J_m)^2$ Lab-TM
1.	$(57,33 - 58,59)^2 : (-1,266)^2 : 1,602$ Joule	$(78,54 - 77,51 : (1,03)^2 : 1,06$ Joule
2.	1,602 Joule	1,06 Joule
3.	1,602 Joule	1,06 Joule
4.	1,602 Joule	1,06 Joule
5.	0.4 Joule	1,06 Joule
6.	0.4 Joule	1,06 Joule
7.	0.4 Joule	1,06 Joule
8.	0.4 Joule	1,06 Joule
9.	0.4 Joule	4,2 Joule
10.	0.4 Joule	4,2 Joule
11.	0.4 Joule	4,2 Joule
12.	0.4 Joule	4,2 Joule

Maka, standar deviasi dapat dihitung sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Perhitungan standar deviasi

Workshop	Lab-TM
$SD = \sqrt{\frac{(1,602 \times 4) + (0,4 \times 8)}{12 - 1}}$ $= \sqrt{9,608}$ $= \sqrt{0,873}$ $= 0,935 \text{ Joule}$	$SD = \sqrt{\frac{(1,06 \times 8) + (4,2 \times 4)}{12 - 1}}$ $= \sqrt{\frac{25,28}{11}}$ $= \sqrt{2,29}$ $= 1,51 \text{ Joule}$

Pada tahap kalibrasi, diperlukan pengolahan data untuk memastikan

ketelitian dan keandalan hasil pengukuran energi impak. Salah satu parameter yang digunakan adalah Standar Error (SE). Standar error menggambarkan seberapa besar penyimpangan nilai rata-rata hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Dengan kata lain, SE digunakan untuk mengetahui tingkat ketelitian rata-rata data hasil kalibrasi serta mengevaluasi konsistensi alat uji setelah dilakukan modifikasi.

Maka, untuk menghitung Standar Error (SE) dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

Keterangan : SD : Standar Deviasi

n : Jumlah Data

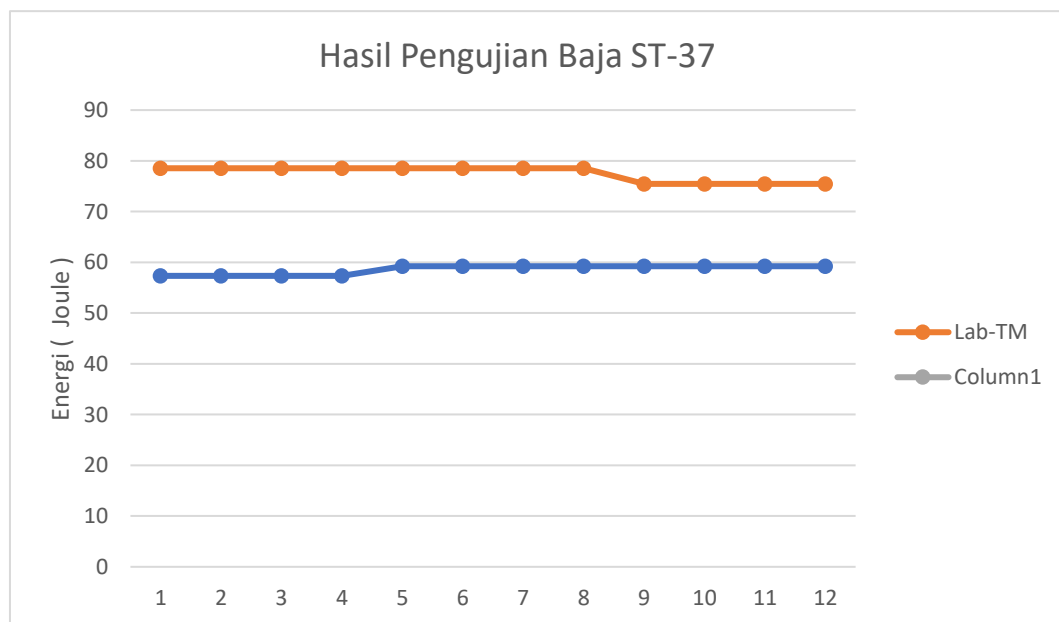
Perhitungan untuk bahan baja ST 37 Standar Deviasi dan Standar errornya sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Energi terserap pada spesimen baja ST-37

LAB-TM			Workshop		
ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)	ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)
ST 37-1	57,332	58,59	ST 37-13	78,54	77,42
ST 37-2	57,332		ST 37-14	78,54	
ST 37-3	57,332		ST 37-15	78,54	
ST 37-4	57,332		ST 37-16	78,54	
ST 37-5	59,231		ST 37-17	78,54	
ST 37-6	59,231		ST 37-18	78,54	
ST 37-7	59,231		ST 37-19	78,54	

ST 37-8	59,231		ST 37-20	78,54	
ST 37-9	59,231		ST 37-21	75,46	
ST 37-10	59,231		ST 37-22	75,46	
ST 37-11	59,231		ST 37-23	75,46	
ST 37-12	59,231		ST 37-24	75,46	
$\sum J$	68,06				

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel di atas, terlihat bahwa energi terserap spesimen baja ST 37 yang diuji dengan alat standar di LAB-TM berada pada rentang 75,46–78,54 Joule. Sementara itu, hasil pengujian menggunakan alat hasil modifikasi di workshop menghasilkan energi terserap yang lebih rendah, yaitu pada rentang 57,332–59,231 Joule. Dengan rata-rata keseluruhan 68,05 Joule.



Gambar 4. 3 Grafik hasil pengujian baja ST-37

Perbedaan nilai energi terserap ini merupakan hal yang wajar karena energi yang dihasilkan pada uji impact sangat dipengaruhi oleh massa pendulum, panjang lengan ayun, serta sudut awal pendulum. Alat standar di Lab Teknik Mesin

memiliki massa pendulum dan spesifikasi konstruksi yang berbeda dibandingkan alat hasil modifikasi, sehingga energi potensial awal yang dimiliki pendulum juga berbeda. Akibatnya, energi terserap yang ditunjukkan oleh kedua alat tidak sama secara absolut.

Selain faktor tersebut, dimungkinkan pula adanya perbedaan akibat energi gesek pada sistem mekanisme alat uji. Pada alat standar LAB-TM, energi gesek relatif besar, yaitu sekitar 8,25 Joule, sedangkan pada alat hasil modifikasi energi gesek yang terjadi hanya sekitar 0,8 Joule. Perbedaan besarnya energi gesek ini berkontribusi terhadap variasi nilai energi terserap yang diperoleh dari kedua alat uji.

$$Jm = \frac{\sum J}{n}$$

$$= \frac{78,54+78,54+78,54+78,54+78,54+78,54+78,54+78,54+75,46++75,46++75,46++75,46+}{24} \\ = \frac{57,332+57,332+57,332+57,332+59,231+59,231+59,231+59,231+59,231+59,231+59,231+59,231}{24}$$

$$= 68,06$$

$$ST\ 37\ 1-8 = (J - Jm)^2 = (78,54 - 68,06)^2 = 109,83 \times 8 = 878,64$$

$$ST\ 37\ 9-12 = (J - Jm)^2 = (75,46 - 68,06)^2 = 54,76 \times 4 = 219,04$$

$$ST\ 37\ 13-16 = (J - Jm)^2 = (57,332 - 68,06)^2 = 115,07 \times 4 = 460,28$$

$$ST\ 37\ 17-24 = (J - Jm)^2 = (59,231 - 68,06)^2 = 77,91 \times 8 = 623,28$$

$$\text{Sehingga } \sum (J - Jm)^2 = 2181,24$$

Untuk membuktikan bahwa perbedaan energi terserap antara alat standar Lab Teknik Mesin dan alat hasil modifikasi di workshop merupakan hal yang wajar, kami melakukan pendekatan dengan menghitung :

$$SD = \sqrt{\frac{2181,24}{24 - 1}} = \sqrt{94,83} = 9,73 \text{ Joule}$$

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$SE = \frac{9,73}{\sqrt{24}} = \frac{9,73}{4,899} = 1,99 \text{ Joule}$$

$$SE\% = \frac{SE}{Jm} \times 100\%$$

$$= \frac{1,99}{68,06} \times 100\% = 2,9\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh standar deviasi sebesar 1,99 Joule dan standar error sebesar 2,9%. Nilai standar deviasi tersebut menunjukkan bahwa variasi data masih berada dalam batas wajar, sedangkan nilai standar error yang kecil menandakan bahwa rata-rata hasil pengujian cukup representatif. Dengan demikian, meskipun terdapat selisih absolut terhadap alat standar, alat hasil modifikasi menunjukkan indikasi konsistensi yang dapat diterima.

Setelah diperoleh nilai energi impak dari spesimen Baja ST-37, analisis dilanjutkan dengan pemeriksaan karakteristik patahan baja ST-37. Pengamatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tipe patahan yang terjadi baik patahan getas

maupun patahan ulet sebagai verifikasi terhadap perilaku material yang ditunjukkan oleh hasil pengujian. Gambar berikut menunjukkan hasil pengamatan visual terhadap permukaan patahan spesimen baja ST-37:



Gambar 4. 4 Patahan baja ST-37 tampak atas



Gambar 4. 5 Patahan baja ST-37 tampak depan

Patahan pada baja ST 37 memperlihatkan permukaan yang relatif halus dan bidang patah hampir tegak lurus terhadap arah beban.

Karakteristik ini menunjukkan bahwa baja ST 37 dalam kondisi pengujian kali ini memiliki ketahanan terhadap deformasi plastis yang rendah sehingga energi yang diserap sebelum patah relatif kecil dan dapat dikatakan material baja ST 37 pada saat diuji memiliki karakter material yang cenderung getas.

Secara keseluruhan, hasil pengujian energi impak, perhitungan statistik berupa standar deviasi dan standar error, serta pengamatan visual terhadap morfologi patahan menunjukkan konsistensi perilaku material baja ST-37 terhadap beban kejut. Nilai energi yang relatif stabil dan karakteristik patahan yang cenderung getas mengonfirmasi bahwa material ini menyerap deformasi plastis dalam jumlah terbatas pada kondisi pengujian.

4.3 Pembahasan Material Stainless Steel

Stainless steel dipilih sebagai spesimen pengujian karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi, kekuatan mekanis yang baik, serta banyak digunakan dalam aplikasi industri maupun konstruksi. Material ini termasuk dalam kategori baja tahan karat dengan komposisi utama kromium yang memberikan sifat tahan karatnya. Pada penelitian ini digunakan dua belas spesimen stainless steel, untuk mengetahui karakteristik ketangguhan material terhadap beban kejut melalui pengujian impact Charpy V-notch, maka :

Tabel 4. 6 Hasil perhitungan energi serap dan ketangguhan material

Workshop	Alat Pembanding (Lab Teknik Mesin)
<u>Pengujian Spesimen 1-4</u>	<u>Pengujian Spesimen 1-4</u>

$J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 87 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,95)$ $J = 112,76 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{112,76 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 1,127 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 5-8</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 86 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,97)$ $J = 115,39 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{115,39 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 1,153 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 9-12</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 87 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,95)$ $J = 112,76 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{112,76 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 1,12 J/\text{mm}^2$	$J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 96 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,66)$ $J = 126,74$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{126,74 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 1,264 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 5-8</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 97 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,64)$ $J = 122,89$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{122,89 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 1,228 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 9-12</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 96 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,64)$ $J = 126,74$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{126,74 J}{100 \text{ mm}^2}$
---	---

	$K = 1,267 \text{ J/mm}^2$
--	----------------------------

Berdasarkan nilai energi yang telah diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung standar deviasi untuk mengetahui tingkat variasi hasil pengujian.

Tabel 4. 7 Mean energi impact spesimen stainless steel

No.	Workshop		Lab Teknik Mesin	
	Energi Impact	Rata-Rata	Energi Impact	Rata-Rata
1.	112,76 Joule	113,553 Joule	126,774 Joule	125,479 Joule
2.	112,76 Joule		126,774 Joule	
3.	112,76 Joule		126,774 Joule	
4.	112,76 Joule		126,774 Joule	
5.	115,139 Joule		122,89 Joule	
6.	115,139 Joule		122,89 Joule	
7.	115,139 Joule		122,89 Joule	
8.	115,139 Joule		122,89 Joule	
9.	112,76 Joule		126,774 Joule	
10.	112,76 Joule		126,774 Joule	
11.	112,76 Joule		126,774 Joule	
12.	112,76 Joule		126,774 Joule	

Berdasarkan data energi impak yang tersaji pada tabel di atas, analisis kemudian dilanjutkan dengan perhitungan standar deviasi guna mengukur tingkat variasi hasil pengujian. Rumus standar deviasi yang

digunakan adalah sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (J - J_m)^2}{n - 1}}$$

Keterangan :

SD : Standar Deviasi

J : Energi Impak

J_m : Energi Impak Rata-Rata

n : Jumlah Data

Tabel 4. 8 Perhitungan $(J - J_m)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin

No.	$(J - J_m)^2$ Workshop	$(J - J_m)^2$ Lab-TM
1.	$(112,76 - 113,553)^2$: $(-0,793)^2$: 0,628 Joule	$(126,774 - 125,456)^2$: $(1,318)^2$: 1,73 Joule
2.	0,628 Joule	1,73 Joule
3.	0,628 Joule	1,73 Joule
4.	0,628 Joule	1,73 Joule
5.	2,515 Joule	6,55 Joule
6.	2,515 Joule	6,55 Joule
7.	2,515 Joule	6,55 Joule
8.	2,515 Joule	6,55 Joule
9.	0,628 Joule	1,73 Joule
10.	0,628 Joule	1,73 Joule
11.	0,628 Joule	1,73 Joule
12.	0,628 Joule	1,73 Joule

Maka, standar deviasi dapat dihitung sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Perhitungan standar deviasi spesimen stainless steel

Workshop	Lab-TM
$SD = \sqrt{\frac{(0,628 \times 8) + (2,515 \times 4)}{12 - 1}}$ $= \sqrt{\frac{15,084}{11}}$ $= \sqrt{1,37}$ $= 1,17$	$SD = \sqrt{\frac{(1,73 \times 8) + (6,55 \times 4)}{12 - 1}}$ $= \sqrt{\frac{40,04}{11}}$ $= \sqrt{3,64}$ $= 1,91 \text{ Joule}$

Pada tahap kalibrasi, diperlukan pengolahan data untuk memastikan ketelitian dan keandalan hasil pengukuran energi impak. Salah satu parameter yang digunakan adalah Standar Error (SE). Standar error menggambarkan seberapa besar penyimpangan nilai rata-rata hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Dengan kata lain, SE digunakan untuk mengetahui tingkat ketelitian rata-rata data hasil kalibrasi serta mengevaluasi konsistensi alat uji setelah dilakukan modifikasi.

Maka, untuk menghitung Standar Error (SE) dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

Keterangan : SD : Standar Deviasi

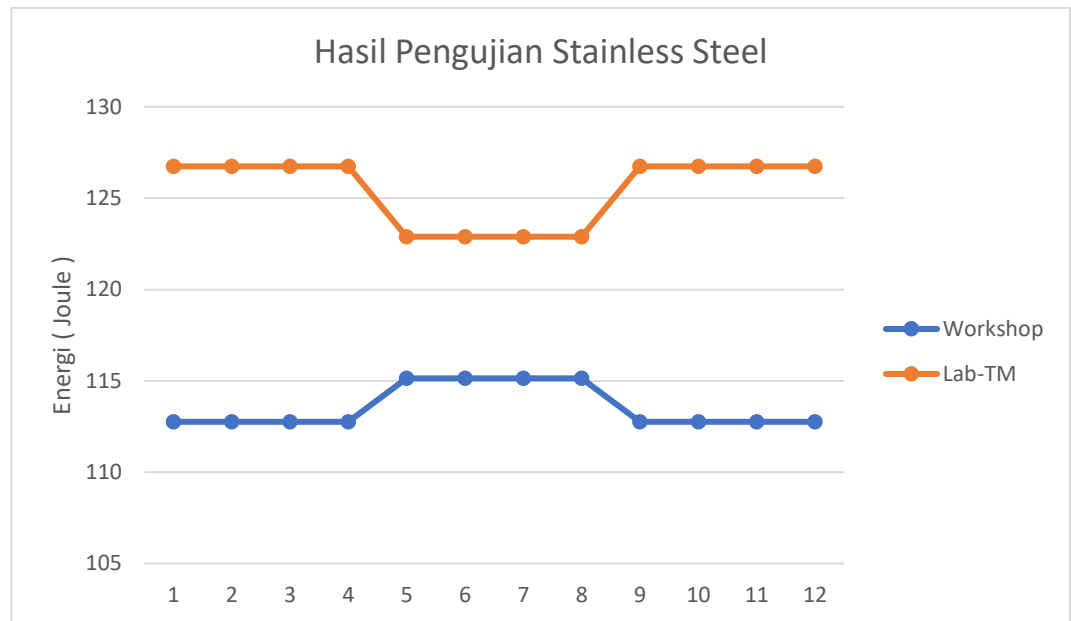
n : Jumlah Data

Perhitungan untuk bahan baja ST 37 Standar Deviasi dan Standar errornya sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Energi terserap pada spesimen stainless steel

Workshop			Lab-TM		
ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)	ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)
SS 1	112,76	113,553	SS 13	126,74	125,46
SS 2	112,76		SS 14	126,74	
SS 3	112,76		SS 15	126,74	
SS 4	112,76		SS 16	126,74	
SS 5	115,139		SS 17	122,89	
SS 6	115,139		SS 18	122,89	
SS 7	115,139		SS 19	122,89	
SS 8	115,139		SS 20	122,89	
SS 9	112,76		SS 21	126,74	
SS 10	112,76		SS 22	126,74	
SS 11	112,76		SS 23	126,74	
SS 12	112,76		SS 24	126,74	
$\sum J$	119,504				

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen Stainless Steel, diperoleh energi terserap dari alat standar LAB-TM sebesar 122,89–126,74 Joule. Sementara itu, hasil pengujian dengan alat hasil modifikasi di workshop menghasilkan energi terserap pada rentang 112,76–115,139 Joule. Dengan nilai rata-rata keseluruhan yaitu 119,504 Joule.



Gambar 4. 6 Grafik hasil pengujian stainless steel

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen Stainless Steel, diperoleh energi terserap dari alat standar LAB-TM sebesar 122,89–126,74 Joule. Sementara itu, hasil pengujian dengan alat hasil modifikasi di workshop menghasilkan energi terserap pada rentang 112,76–115,139 Joule. Dengan nilai rata-rata keseluruhan yaitu 119,504 Joule.

Perbedaan nilai energi terserap antara kedua alat tersebut merupakan hal yang wajar, karena energi yang dihasilkan dalam uji impact sangat dipengaruhi oleh massa pendulum, panjang lengan ayun, serta sudut awal pendulum. Spesifikasi alat standar LAB-TM memiliki massa pendulum dan konstruksi yang berbeda dengan alat hasil modifikasi, sehingga energi potensial awal yang dihasilkan pendulum juga berbeda. Akibatnya, energi terserap yang ditunjukkan tidak sama secara absolut.

Selain faktor tersebut, dimungkinkan pula adanya perbedaan akibat energi gesek pada sistem mekanisme alat uji. Pada alat standar LAB-TM, energi gesek relatif besar, yaitu sekitar 8,25 Joule, sedangkan pada alat hasil modifikasi energi

gesek yang terjadi hanya sekitar 0,8 Joule. Perbedaan besarnya energi gesek ini berkontribusi terhadap variasi nilai energi terserap yang diperoleh dari kedua alat uji.

$$Jm = \frac{\sum J}{n}$$

$$= \frac{((126,74 \times 8) + (122,89 \times 4) + (112,76 \times 8) + (115,139 \times 4))}{24}$$

$$= 119,504$$

$$SS \text{ 1-4, 9-12} = (J - Jm)^2 = (126,74 - 119,504)^2 = 52,34 \times 8 = 418,78$$

$$SS \text{ 5-8} = (J - Jm)^2 = (122,89 - 119,504)^2 = 11,45 \times 4 = 45,83$$

$$SS \text{ 13-16, 21-24} = (J - Jm)^2 = (112,76 - 119,504)^2 = 45,49 \times 8 = 363,94$$

$$SS \text{ 17-20} = (J - Jm)^2 = (115,139 - 119,504)^2 = 19,06 \times 4 = 76,24$$

$$\text{Sehingga } \sum (J - Jm)^2 = 904,8 \text{ joule}$$

Untuk membuktikan bahwa perbedaan energi terserap antara alat standar Lab Teknik Mesin dan alat hasil modifikasi di workshop merupakan hal yang wajar, kami melakukan pendekatan dengan menghitung :

$$SD = \sqrt{\frac{904,8}{24 - 1}} = \sqrt{39,33} = 6,27$$

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$SE = \frac{6,27}{\sqrt{24}} = \frac{6,27}{4,899} = 1,28 \text{ Joule}$$

$$SE\% = \frac{SE}{Jm} \times 100\%$$

$$= \frac{1,28}{119,504} \times 100\% = 1,07\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh standar deviasi sebesar 6,27 Joule dan standar error sebesar 1,07%. Nilai standar deviasi tersebut menunjukkan bahwa variasi data masih berada dalam batas wajar, sedangkan nilai standar error yang kecil menandakan bahwa rata-rata hasil pengujian cukup representatif. Dengan demikian, meskipun terdapat selisih absolut terhadap alat standar, alat hasil modifikasi menunjukkan indikasi konsistensi yang dapat diterima.

Setelah diperoleh nilai energi impact dari spesimen Stainless Steel. analisis dilanjutkan dengan pemeriksaan karakteristik patahan spesimen Stainless Steel. Pengamatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tipe patahan yang terjadi baik patahan getas maupun patahan ulet sebagai verifikasi terhadap perilaku material yang ditunjukkan oleh hasil pengujian. Gambar berikut menunjukkan hasil pengamatan visual terhadap permukaan patahan spesimen Stainless Steel:



Gambar 4. 7 Patahan stainless steel tampak atas



Gambar 4. 8 Patahan stainless steel tampak depan

Permukaan patahan stainless steel tampak tajam, relatif rata, dan mengalami deformasi plastis yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa stainless steel dalam pengujian ini mengalami deformasi plastis yang besar sebelum patah akibat konsentrasi tegangan pada takikan V dan kecepatan tumbukan yang tinggi. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis material stainless steel menunjukkan bahwa material ini memiliki karakter yang ulet.

Secara keseluruhan, hasil pengujian energi impak, perhitungan statistik berupa standar deviasi dan standar error, serta pengamatan visual terhadap morfologi patahan menunjukkan konsistensi perilaku material baja Stainless Steel terhadap beban kejut. Nilai energi yang relatif stabil dan karakteristik patahan yang cenderung getas mengonfirmasi bahwa material ini menyerap deformasi plastis dalam jumlah terbatas pada kondisi pengujian.

Penyajian hasil dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat serta menganalisis kemampuan material dalam menyerap energi tumbukan. Data yang diperoleh meliputi energi impak. Dengan memaparkan hasil pengujian secara sistematis, dapat ditentukan apakah alat uji yang dirancang sesuai dengan standar alat uji impak yang baku.

4.4 Pembahasan Material Alumunium

Aluminium dipilih sebagai spesimen pengujian karena memiliki massa jenis yang rendah, ketahanan korosi yang baik, serta kemudahan dalam proses pembentukan dan fabrikasi. Material ini banyak digunakan pada industri transportasi, konstruksi, dan kemasan karena sifatnya yang ringan namun cukup kuat. Pada penelitian ini digunakan dua belas spesimen aluminium, untuk mengetahui ketangguhan material terhadap beban kejut melalui pengujian impact Charpy V-notch, maka :

Tabel 4. 11 Hasil perhitungan energi serap dan ketangguhan material

Workshop	Alat Pemandang (Lab Teknik Mesin)
<u>Pengujian Spesimen 1-4</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 126 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,318)$ $J = 37,746 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{37,746 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,377 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 5-8</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 127 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,304)$	<u>Pengujian Spesimen 1-4</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 122 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,23)$ $J = 43,99$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{43,99 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,4399 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 5-12</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 123 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,22)$ $J = 42,08$

$J = 36,085 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{36,085 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,36 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 9-12</u> $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 126$ $\quad \quad \quad - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,318)$ $J = 37,746 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{37,746 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,377 J/\text{mm}^2$	$K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{42,08 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,4208 J/\text{mm}^2$
---	---

Berdasarkan nilai energi yang telah diperoleh, langkah berikutnya adalah menghitung standar deviasi untuk mengetahui tingkat variasi hasil pengujian.

Tabel 4. 12 Mean energi impact pada workshop dan lab teknik mesin

No.	Workshop		Lab Teknik Mesin	
	Energi Impact	Rata-Rata	Energi Impact	Rata-Rata
1.	37,746 Joule		43,99 Joule	42,71 Joule
2.	37,746 Joule		43,99 Joule	
3.	37,746 Joule		43,99 Joule	
4.	37,746 Joule		43,99 Joule	
5.	36,085 Joule		42,08 Joule	

6.	36,085 Joule	37,192 Joule	42,08 Joule	
7.	36,085 Joule		42,08 Joule	
8.	36,085 Joule		42,08 Joule	
9.	37,746 Joule		42,08 Joule	
10.	37,746 Joule		42,08 Joule	
11.	37,746 Joule		42,08 Joule	
12.	37,746 Joule		42,08 Joule	

Berdasarkan data energi impak yang tersaji pada tabel di atas, analisis kemudian dilanjutkan dengan perhitungan standar deviasi guna mengukur tingkat variasi hasil pengujian. Rumus standar deviasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(J - J_m)^2}{n - 1}}$$

Keterangan :

SD : Standar Deviasi

J : Energi Impak

J_m : Energi Impak Rata-Rata

n : Jumlah Data

Tabel 4. 13 Perhitungan $(J - Jm)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin

No.	$(J - Jm)^2$ Workshop	$(J - Jm)^2$ Lab-TM
1.	$(37,746 - 37,192)^2 : (0,554)^2 : 0,306$ Joule	$(43,99 - 42,71)^2 : (1,28)^2 : 1,638$ Joule
2.	0,306 Joule	1,638 Joule
3.	0,306 Joule	1,638 Joule
4.	0,306 Joule	1,638 Joule
5.	1,225 Joule	0,396 Joule
6.	1,225 Joule	0,396 Joule
7.	1,225 Joule	0,396 Joule
8.	1,225 Joule	0,396 Joule
9.	0,306 Joule	0,396 Joule
10.	0,306 Joule	0,396 Joule
11.	0,306 Joule	0,396 Joule
12.	0,306 Joule	0,396 Joule

Maka, standar deviasi dapat dihitung sebagai berikut :

Tabel 4. 14 Perhitungan standar deviasi

Workshop	Lab-TM
$SD = \sqrt{\frac{(0,306 \times 8) + (1,225 \times 4)}{12 - 1}}$ $= \sqrt{\frac{7,348}{12 - 1}}$ $= \sqrt{0,668}$ $= 0,817$	$SD = \sqrt{\frac{(1,638 \times 4) + (0,396 \times 8)}{12 - 1}}$ $= \sqrt{\frac{9,72}{11}}$ $= \sqrt{0,884}$ $= 0,94$ $= 1,91 \text{ Joule}$

Pada tahap kalibrasi, diperlukan pengolahan data untuk memastikan ketelitian dan keandalan hasil pengukuran energi impak. Salah satu parameter yang digunakan adalah Standar Error (SE). Standar error menggambarkan seberapa besar penyimpangan nilai rata-rata hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Dengan kata lain, SE digunakan untuk mengetahui tingkat ketelitian rata-rata data hasil kalibrasi serta mengevaluasi konsistensi alat uji setelah dilakukan modifikasi.

Maka, untuk menghitung Standar Error (SE) dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

Keterangan : SD : Standar Deviasi

n : Jumlah Data

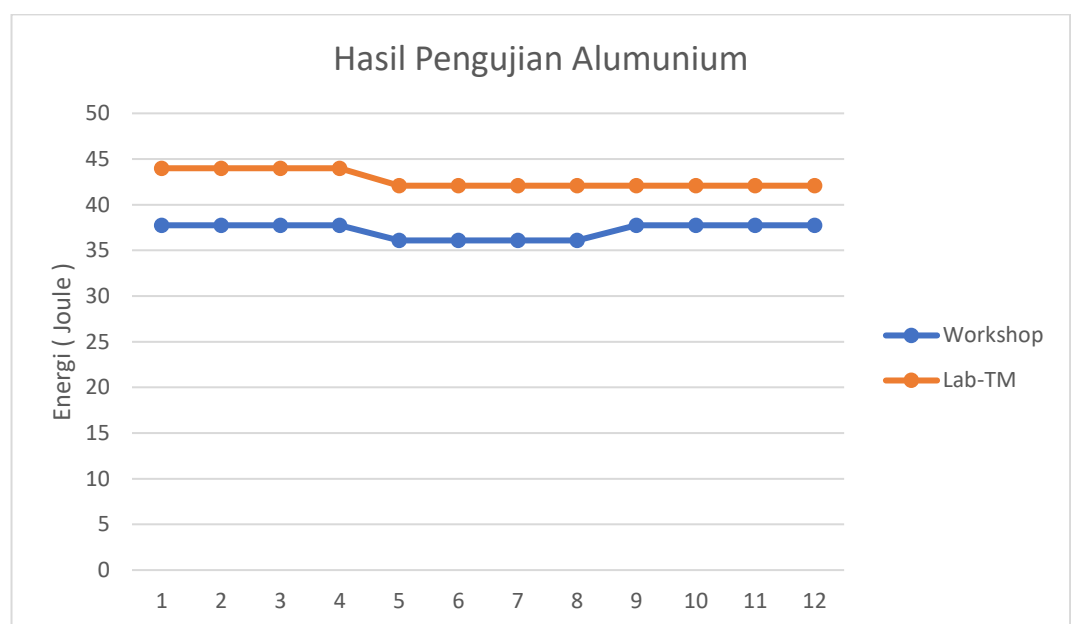
Perhitungan untuk bahan aluminium Standar Deviasi dan Standar errornya sebagai berikut :

Tabel 4. 15 Energi terserap pada spesimen aluminium

Workshop			Lab-TM		
ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)	ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)
AL 1	37,746	37,19	AL 13	43,99	42,72
AL 2	37,746		AL 14	43,99	
AL 3	37,746		AL 15	43,99	
AL 4	37,746		AL 16	43,99	
AL 5	36,085		AL 17	42,08	
AL 6	36,085		AL 18	42,08	

AL 7	36,085		AL 19	42,08	
AL 8	36,085		AL 20	42,08	
AL 9	37,746		AL 21	42,08	
AL 10	37,746		AL 22	42,08	
AL 11	37,746		AL 23	42,08	
AL 12	37,746		AL 24	42,08	
$\sum J$	39,95				

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen Aluminium, diperoleh energi terserap dari alat standar LAB-TM sebesar 42,08–43,99 Joule. Sementara itu, hasil pengujian menggunakan alat hasil modifikasi di workshop menghasilkan energi terserap pada rentang 36,085–37,746 Joule.



Gambar 4. 9 Grafik hasil pengujian spesimen alumunium

Perbedaan nilai energi terserap ini merupakan hal yang wajar, karena energi yang dihasilkan dalam uji impact sangat dipengaruhi oleh massa pendulum, panjang lengan ayun, serta sudut awal pendulum. Spesifikasi alat standar LAB-TM

memiliki perbedaan pada massa pendulum dan konstruksi dibandingkan dengan alat hasil modifikasi, sehingga energi potensial awal yang dihasilkan pendulum juga berbeda. Hal ini menyebabkan nilai energi terserap yang diperoleh tidak identik.

Selain faktor tersebut, dimungkinkan pula adanya perbedaan akibat energi gesek pada sistem mekanisme alat uji. Pada alat standar LAB-TM, energi gesek relatif besar, yaitu sekitar 8,25 Joule, sedangkan pada alat hasil modifikasi energi gesek yang terjadi hanya sekitar 0,8 Joule. Perbedaan besarnya energi gesek ini berkontribusi terhadap variasi nilai energi terserap yang diperoleh dari kedua alat uji.

$$Jm = \frac{\sum J}{n}$$

$$= \frac{((43,99 \times 4) + (42,08 \times 8) + (37,746 \times 8) + (36,085 \times 4))}{24}$$

$$= 39,95$$

$$AL\ 1-4 = (J - Jm) = (43,99 - 39,95)^2 = 16,28 \times 4 = 65,14$$

$$AL\ 5-12 = (J - Jm) = (42,08 - 39,95)^2 = 4,51 \times 8 = 36,14$$

$$AL\ 13-16, 21-24 = (J - Jm) = (37,746 - 39,95)^2 = 4,87 \times 8 = 39,01$$

$$AL\ 17-20 = (J - Jm) = (36,085 - 39,95)^2 = 14,97 \times 4 = 59,89$$

$$\text{Sehingga } \sum (J - Jm)^2 = 200,19$$

Untuk membuktikan bahwa perbedaan energi terserap antara alat standar Lab Teknik Mesin dan alat hasil modifikasi di workshop merupakan hal yang wajar, kami melakukan pendekatan dengan menghitung :

$$SD = \sqrt{\frac{200,19}{24 - 1}} = \sqrt{8,704} = 2,95$$

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

$$SE = \frac{2,95}{\sqrt{24}} = \frac{2,95}{4,899} = 0,602 \text{ Joule}$$

$$SE\% = \frac{SE}{Jm} \times 100\%$$

$$= \frac{0,602}{39,95} \times 100\% = 1,51\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh standar deviasi sebesar 2,95 Joule dan standar error sebesar 1,51% nilai standar deviasi tersebut menunjukkan bahwa variasi data masih berada dalam batas wajar, sedangkan nilai standar error yang kecil menandakan bahwa rata-rata hasil pengujian cukup representatif. Dengan demikian, meskipun terdapat selisih absolut terhadap alat standar, alat hasil modifikasi menunjukkan indikasi konsistensi yang dapat diterima.

Setelah diperoleh nilai energi impak dari spesimen Alumunium. analisis dilanjutkan dengan pemeriksaan karakteristik patahan spesimen Alumunium. Pengamatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tipe patahan yang terjadi baik

patahan getas maupun patahan ulet sebagai verifikasi terhadap perilaku material yang ditunjukkan oleh hasil pengujian. Gambar berikut menunjukkan hasil pengamatan visual terhadap permukaan patahan spesimen Alumunium:



Gambar 4. 10 Patahan alumunium tampak atas



Gambar 4. 11 Patahan alumunium tampak depan

Aluminium yang umumnya bersifat ulet menunjukkan kecenderungan patahan getas pada pengujian ini. Permukaan patahan tampak lebih kasar dengan area takikan yang jelas namun tetap minim regangan plastis. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh kecepatan tumbukan yang tinggi yang membatasi terjadinya deformasi plastis.

Secara keseluruhan, hasil pengujian energi impak, perhitungan statistik berupa standar deviasi dan standar error, serta pengamatan visual terhadap morfologi patahan menunjukkan konsistensi perilaku material baja

Stainless Steel terhadap beban kejut. Nilai energi yang relatif stabil dan karakteristik patahan yang cenderung getas mengonfirmasi bahwa material ini menyerap deformasi plastis dalam jumlah terbatas pada kondisi pengujian.

Penyajian hasil dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat serta menganalisis kemampuan material dalam menyerap energi tumbukan. Data yang diperoleh meliputi energi impact. Dengan memaparkan hasil pengujian secara sistematis, dapat ditentukan apakah alat uji yang dirancang sesuai dengan standar alat uji impact yang baku.

4.5 Pembahasan Material Kuningan

Kuningan dipilih sebagai spesimen pengujian karena memiliki sifat mekanis yang baik, ketahanan terhadap korosi, serta konduktivitas panas dan listrik yang cukup tinggi. Material paduan tembaga dan seng ini banyak digunakan dalam komponen mesin, peralatan kelistrikan, serta perlengkapan rumah tangga karena kemudahan proses pembentukan dan ketahanannya. Pada penelitian ini digunakan dua belas spesimen kuningan, untuk mengevaluasi ketangguhan material terhadap beban kejut melalui pengujian impact Charpy V-notch, maka:

Tabel 4. 16 Hasil perhitungan energi serap dan ketangguhan material

Workshop	Alat Pembanding (Lab Teknik Mesin)
<u>Pengujian Spesimen 1-4</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 132 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,237)$	<u>Pengujian Spesimen 1-4</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 128 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,15)$

$J = 28,132 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{28,132 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,281 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 5-12</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 131 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,25)$ $J = 29,675 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{29,675 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,296 J/\text{mm}^2$	$J = 28,694$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{28,694 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,286 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 5-8</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 129 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,13)$ $J = 24,86$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{24,86 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,248 J/\text{mm}^2$ <u>Pengujian Spesimen 9-12</u> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 128 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,15)$ $J = 28,694$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{28,694 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,286 J/\text{mm}^2$
--	--

Berdasarkan nilai energi yang telah diperoleh, langkah berikutnya

adalah menghitung standar deviasi untuk mengetahui tingkat variasi hasil pengujian.

Tabel 4. 17 Mean energi impact pada workshop dan lab teknik mesin

No.	Workshop		Lab Teknik Mesin	
	Energi Impact	Rata-Rata	Energi Impact	Rata-Rata
1.	28,132 Joule	28,646 Joule	28,694 Joule	27,41 Joule
2.	28,132 Joule		28,694 Joule	
3.	28,132 Joule		28,694 Joule	
4.	28,132 Joule		28,694 Joule	
5.	29,675 Joule		24,86 Joule	
6.	29,675 Joule		24,86 Joule	
7.	29,675 Joule		24,86 Joule	
8.	29,675 Joule		24,86 Joule	
9.	28,132 Joule		28,694 Joule	
10.	28,132 Joule		28,694 Joule	
11.	28,132 Joule		28,694 Joule	
12.	28,132 Joule		28,694 Joule	

Berdasarkan data energi impak yang tersaji pada tabel di atas, analisis kemudian dilanjutkan dengan perhitungan standar deviasi guna mengukur tingkat variasi hasil pengujian. Rumus standar deviasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (J - J_m)^2}{n - 1}}$$

Keterangan :

SD : Standar Deviasi

J : Energi Impak

Jm : Energi Impak Rata-Rata

n : Jumlah Data

Tabel 4. 18 Perhitungan $(J - Jm)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin

No.	$(J - Jm)^2$ Workshop	$(J - Jm)^2$ Lab-TM
1.	$(28,132 - 28,646)^2 : (-0,514)^2 : 0,264 \text{ Joule}$	$(43,99 - 42,71)^2 : (1,28)^2 : 1,638 \text{ Joule}$
2.	0,264 Joule	1,638 Joule
3.	0,264 Joule	1,638 Joule
4.	0,264 Joule	1,638 Joule
5.	1,058 Joule	0,396 Joule
6.	1,058 Joule	0,396 Joule
7.	1,058 Joule	0,396 Joule
8.	1,058 Joule	0,396 Joule
9.	0,264 Joule	0,396 Joule
10.	0,264 Joule	0,396 Joule
11.	0,264 Joule	0,396 Joule
12.	0,264 Joule	0,396 Joule

Maka, standar deviasi dapat dihitung sebagai berikut :

Tabel 4. 19 Perhitungan standar deviasi

Workshop	Lab-TM
$SD = \sqrt{\frac{(0,264 \times 8) + (1,058 \times 4)}{12 - 1}}$	$SD = \sqrt{\frac{(1,638 \times 4) + (0,396 \times 8)}{12 - 1}}$

$= \sqrt{\frac{6,344}{12 - 1}}$ $= \sqrt{0,576}$ $= 0,759 \text{ Joule}$	$= \sqrt{\frac{9,72}{11}}$ $= \sqrt{0,884}$ $= 0,94 \text{ Joule}$
--	--

Pada tahap kalibrasi, diperlukan pengolahan data untuk memastikan ketelitian dan keandalan hasil pengukuran energi impak. Salah satu parameter yang digunakan adalah Standar Error (SE). Standar error menggambarkan seberapa besar penyimpangan nilai rata-rata hasil pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Dengan kata lain, SE digunakan untuk mengetahui tingkat ketelitian rata-rata data hasil kalibrasi serta mengevaluasi konsistensi alat uji setelah dilakukan modifikasi.

Maka, untuk menghitung Standar Error (SE) dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}}$$

Keterangan : SD : Standar Deviasi

n : Jumlah Data

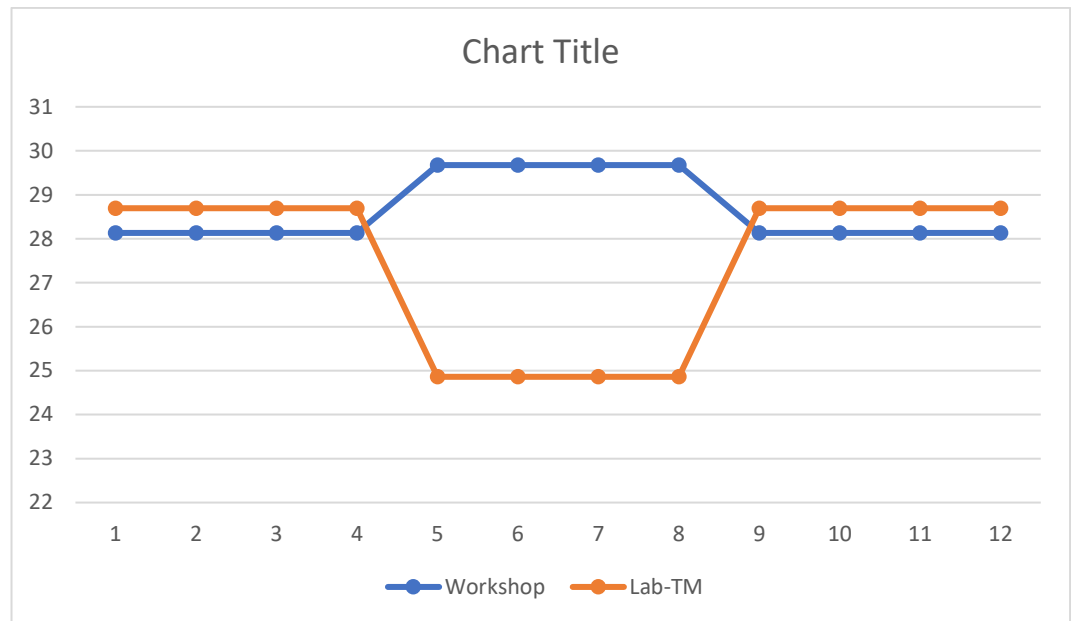
Perhitungan untuk bahan baja ST 37 Standar Deviasi dan Standar errornya sebagai berikut :

Tabel 4. 20 Energi terserap pada spesimen kuningan

Workshop			Lab-TM		
ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)	ID	Energi (Joule)	Jm (Joule)
KN 1	28,132	28,646	KN 13	28,694	27,416

KN 2	28,132		KN 14	28,694	
KN 3	28,132		KN 15	28,694	
KN 4	28,132		KN 16	28,694	
KN 5	29,675		KN 17	24,86	
KN 6	29,675		KN 18	24,86	
KN 7	29,675		KN 19	24,86	
KN 8	29,675		KN 20	24,86	
KN 9	28,132		KN 21	28,694	
KN 10	28,132		KN 22	28,694	
KN 11	28,132		KN 23	28,694	
KN 12	28,132		KN 24	28,694	
$\sum J$	28,031				

Berdasarkan hasil pengujian pada spesimen Kuningan, diperoleh energi terserap dari alat standar LAB-TM sebesar 24,86–28,694 Joule. Sementara itu, hasil pengujian menggunakan alat hasil modifikasi di workshop menghasilkan energi terserap pada rentang 28,132–29,675 Joule.



Gambar 4. 12 Grafik hasil pengujian kuningan

Perbedaan nilai energi terserap ini dapat dijelaskan oleh faktor massa pendulum, panjang lengan ayun, serta sudut awal pendulum, yang secara langsung memengaruhi energi potensial awal bandul sebelum mengenai spesimen. Karena terdapat perbedaan spesifikasi konstruksi antara alat standar Lab Teknik Mesin dan alat hasil modifikasi, maka wajar apabila diperoleh nilai energi yang tidak sepenuhnya identik.

Selain faktor tersebut, dimungkinkan pula adanya perbedaan akibat energi gesek pada sistem mekanisme alat uji. Pada alat standar LAB-TM, energi gesek relatif besar, yaitu sekitar 8,25 Joule, sedangkan pada alat hasil modifikasi energi gesek yang terjadi hanya sekitar 0,8 Joule. Perbedaan besarnya energi gesek ini berkontribusi terhadap variasi nilai energi terserap yang diperoleh dari kedua alat uji.

$$Jm = \frac{\sum J}{n}$$

$$= \frac{((28,694 \times 4) + (24,86 \times 8) + (28,132 \times 4) + (29,675 \times 4))}{24}$$

$$= 28,031$$

$$\text{KN 1-4, 9-12} = (J - J_m) = (28,694 - 28,031)^2 = 0,439 \times 8 = 3,51$$

$$\text{KN 5-8} = (J - J_m) = (24,86 - 28,031)^2 = 10,066 \times 4 = 40,26$$

$$\text{KN 13-16, 21-24} = (J - J_m) = (28,132 - 28,031)^2 = 0,01 \times 8 = 0,08$$

$$\text{KN 17-20} = (J - J_m) = (28,132 - 28,031)^2 = 2,700 \times 4 = 10,8$$

$$\text{Sehingga } \sum (J - J_m)^2 = 54,656$$

Untuk membuktikan bahwa perbedaan energi terserap antara alat standar Lab Teknik Mesin dan alat hasil modifikasi di workshop merupakan hal yang wajar, kami melakukan pendekatan dengan menghitung :

$$SD = \sqrt{\frac{54,656}{24 - 1}} = 1,54$$

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} = \frac{1,54}{\sqrt{24}} = \frac{1,54}{4,899} = 0,314$$

$$SE\% = \frac{SE}{J_m} \times 100\%$$

$$= \frac{0,314}{28,031} \times 100\% = 1,12\%$$

Dari hasil perhitungan diperoleh standar deviasi sebesar 1,54 Joule dan standar error sebesar 1,12%. Nilai standar deviasi tersebut menunjukkan bahwa variasi data masih berada dalam batas wajar, sedangkan nilai standar error yang kecil menandakan bahwa rata-rata hasil pengujian cukup representatif. Dengan demikian, meskipun terdapat selisih absolut terhadap alat standar, alat hasil modifikasi menunjukkan indikasi konsistensi yang dapat diterima.

Setelah diperoleh nilai energi impak dari spesimen Kuningan. analisis dilanjutkan dengan pemeriksaan karakteristik patahan spesimen Alumunium. Pengamatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tipe patahan yang terjadi baik patahan getas maupun patahan ulet sebagai verifikasi terhadap perilaku material yang ditunjukkan oleh hasil pengujian. Gambar berikut menunjukkan hasil pengamatan visual terhadap permukaan patahan spesimen Kuningan:



Gambar 4. 13 Patahan kuningan tampak atas



Gambar 4. 14 Patahan kuningan tampak depan

Patahan pada kuningan menunjukkan permukaan granular yang relatif kasar dan tidak memiliki serat yang jelas. Karakteristik ini mencerminkan sifat kuningan yang cenderung rapuh akibat struktur mikro paduan tembaga-seng yang kurang mampu menyerap energi kejut. Dalam pengujian ini material kuningan dikatakan sebagai material dengan karakter yang cenderung getas.

Secara keseluruhan, hasil pengujian energi impak, perhitungan statistik berupa standar deviasi dan standar error, serta pengamatan visual terhadap morfologi patahan menunjukkan konsistensi perilaku material baja Stainless Steel terhadap beban kejut. Nilai energi yang relatif stabil dan karakteristik patahan yang cenderung getas mengonfirmasi bahwa material ini menyerap deformasi plastis dalam jumlah terbatas pada kondisi

pengujian.

Penyajian hasil dilakukan untuk mengevaluasi kinerja alat serta menganalisis kemampuan material dalam menyerap energi tumbukan. Data yang diperoleh meliputi energi impact. Dengan memaparkan hasil pengujian secara sistematis, dapat ditentukan apakah alat uji yang dirancang sesuai dengan standar alat uji impact yang baku.

4.6 Perbandingan Hasil Pengujian Semua Material

Untuk standar deviasi dan standar error yang diperoleh, hasil perhitungan dapat disajikan dalam tabel berikut:

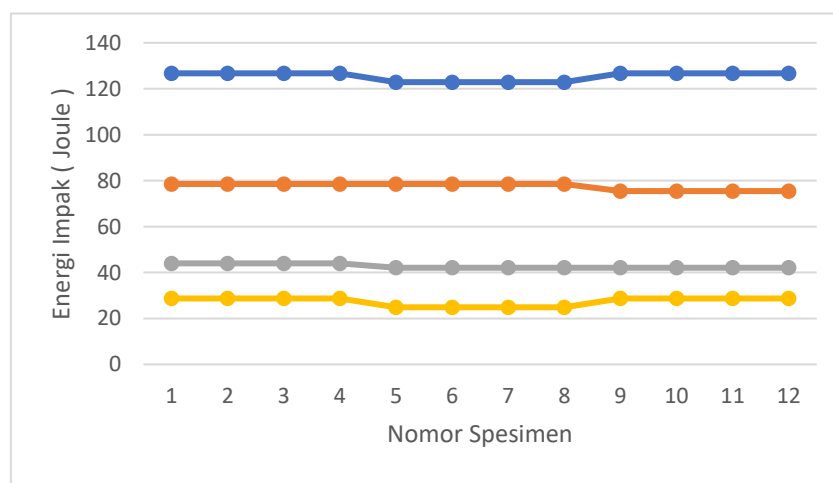
Tabel 4. 21 Standar deviasi dan Standar error pada setiap spesimen

No.	Alat yang sudah di Modifikasi		$J_m \pm SD(J)$	SE (%)	SD (%)
	ID	J			
1.	ST 37-1	57,332	68,06 $\pm$ 9,73	2,9%	14,29%
2.	ST 37-2	57,332			
3.	ST 37-3	57,332			
4.	ST 37-4	57,332			
5.	ST 37-5	59,231			
6.	ST 37-6	59,231			
7.	ST 37-7	59,231			
8.	ST 37-8	59,231			
9.	ST 37-9	59,231			
10.	ST 37-10	59,231			
11.	ST 37-11	59,231			

12.	ST 37-12	59,231			
13.	SS 1	112,76	119,504 ± 6,27	1,07%	5,25%
14.	SS 2	112,76			
15.	SS 3	112,76			
16.	SS 4	112,76			
17.	SS 5	115,139			
18.	SS 6	115,139			
19.	SS 7	115,139			
20.	SS 8	115,139			
21.	SS 9	112,76			
22.	SS 10	112,76			
23.	SS 11	112,76			
24.	SS 12	112,76			
25.	AL 1	37,746	39,95 ± 2,95	1,51%	7,39%
26.	AL 2	37,746			
27.	AL 3	37,746			
28.	AL 4	37,746			
29.	AL 5	36,085			
30.	AL 6	36,085			
31.	AL 7	36,085			
32.	AL 8	36,085			
33.	AL 9	37,746			
34.	AL 10	37,746			
35.	AL 11	37,746			
36.	AL 12	37,746			

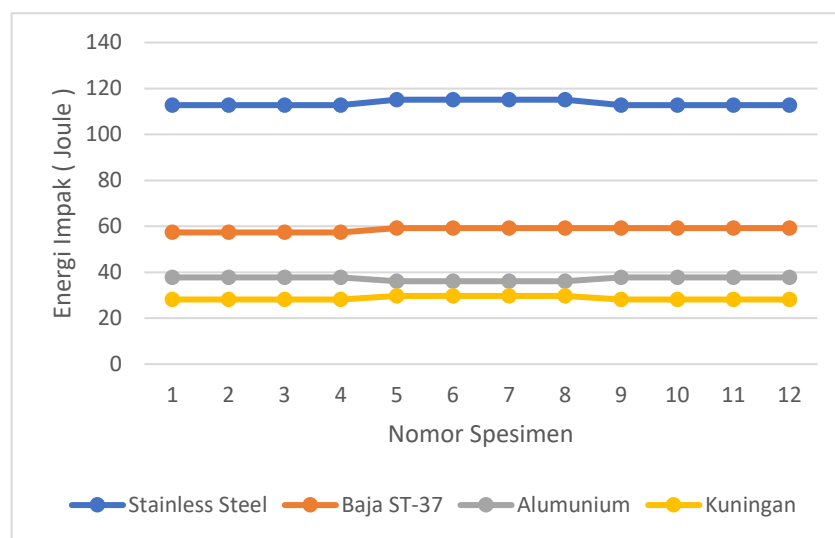
37.	KN 1	28,132	28,031 $\pm$ 1,54	1,12%	5,5%
38.	KN 2	28,132			
39.	KN 3	28,132			
40.	KN 4	28,132			
41.	KN 5	29,675			
42.	KN 6	29,675			
43.	KN 7	29,675			
44.	KN 8	29,675			
45.	KN 9	28,132			
46.	KN 10	28,132			
47.	KN 11	28,132			
48.	KN 12	28,132			

Jadi standar deviasi tertinggi pada alat uji *impact charpy v-notch* yang dimodifikasi terletak pada bahan pada bahan Baja ST-37 sebesar 14,29% dan standar error tertinggi pada bahan Baja ST-37 sebesar 2,9%.



Gambar 4. 15 Grafik energi terserap pada alat uji Lab TM Undip

Grafik diatas menunjukkan energi yang terserap oleh bahan Baja ST 37, Stainless Steel, Alumunium dan Kuningan dengan nomor specimen 1, 2, dan 3. Pada alat uji pembeding di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, bahan baja ST 37 mempunyai energi impak 75,46 – 78,54 Joule; bahan Stainless Steel mempunyai energi impak 122,89 – 126,74 Joule; bahan Alumunium mempunyai energi impak 43,99 – 42,08 Joule; bahan Kuningan mempunyai energi impak 24,86 – 28,694 Joule.



Gambar 4. 16 Grafik energi terserap pada alat uji workshop RPM

Pada alat uji di Workshop, bahan baja ST 37 mempunyai energi impak 57,332 – 59,231 Joule; bahan Stainless Steel mempunyai energi impak 112,76 – 115,139 Joule; bahan Alumunium mempunyai energi impak 36,085-37,746 Joule; bahan Kuningan mempunyai energi impak 28,132 – 29,675 Joule.

Gambar-gambar patahan spesimen berikut disajikan sebagai referensi visual dalam menganalisis perilaku fraktur material pada pengujian impact.

Tabel 4. 22 Hasil patahan pada setiap spesimen

No.	ID	Gambar
1.	Baja ST-37	
2.	Stainless Steel	
3.	Alumunium	
4.	Kuningan	

Gambar memperlihatkan morfologi patahan untuk Baja ST-37, Stainless Steel, Aluminium, dan Kuningan setelah pengujian impact. Variasi pola patahan yang muncul mencerminkan perbedaan sifat mekanik masing-masing material, seperti tingkat keuletan, ketangguhan, dan kecenderungan terhadap patahan getas maupun ulet.