



UNIVERSITAS DIPONEGORO

MODIFIKASI ALAT UJI IMPACT CHARPY V-NOTCH

PROYEK AKHIR

DISUSUN OLEH :

FARADINDA ASSYFA LARASATI

40040221650024

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
OKTOBER 2025**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

MODIFIKASI ALAT UJI IMPACT CHARPY V-NOTCH

PROYEK AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik**

FARADINDA ASSYFA LARASATI

40040221650024

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK
SEKOLAH VOKASI UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG
OKTOBER 2025**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Proyek Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang
dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Faradinda Assyfa Larasati

NIM : 40040221650024

Tanda Tangan :



Tanggal : 16 Oktober 2025



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI

Jalan Prof. Sudarto, S.H. Tembalang Semarang
Kode Pos 50275
Telp/Fax (024) 7471379
Laman www.vokasi.undip.ac.id
e-mail Vokasi@live.undip.ac.id

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No. : 468/PA/RPM/V/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut:

Nama : Faradinda Assyifa Larasati
NIM : 40040221650024
Judul Proyek Akhir : Modifikasi Alat Uji Impact Charpy V Notch
Dosen Pembimbing : Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T.
NIP : 196102281986031002

Isi Tugas:

1. Membuat desain 3D Alat Uji Impact Charpy V Notch dengan komponen-komponennya
2. Memodifikasi alat uji impact sehingga dapat menunjukkan ukuran secara tepat
3. Merancang dan mengembangkan sistem pengaman pada alat Uji Impact Charpy V Notch
4. Menambahkan sistem pengereman pada alat Uji Impact Charpy V Notch
5. Menguji dan mengevaluasi unjuk kerja alat Uji Impact Charpy V Notch

Demikian agar diselesaikan selama-lamanya 6 bulan terhitung sejak diberikan tugas ini dan diwajibkan konsultasi sedikitnya 12 kali demi kelancaran penyelesaian tugas.

Semarang, 27 Maret 2025
a.n. Ketua Program Studi
Sekretaris Program Studi

Alaya Fadlu Hadi Mukhammad S.T., M.Eng.
NIP 198509272012121002

Tembusan:

1. Ketua Prodi
2. Bagian pengajaran
3. Mahasiswa ybs

HALAMAN PERSETUJUAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Faradinda Assyifa Larasati
NIM : 40040221650024
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Proyek Akhir : Modifikasi Alat Uji Impact Charpy V-Notch

Telah disetujui untuk diseminarkan sebagai syarat menyelesaikan mata kuliah seminar hasil pada Program Studi Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T.

NIP. 196102281986031002

Semarang, 22 Agustus 2025

Pengusul



Faradinda Assyifa Larasati

NIM. 40040221650024

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diusulkan oleh :

Nama : Faradinda Assyifa Larasati
NIM : 40040221650024
Program Studi : Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Proyek Akhir : Modifikasi Alat Uji Impact Charpy V-Notch

Telah berhasil di pertahankan di hadapan tim penguji dan di terima sebagai bagian persyaratan yang di perlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Diploma IV Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Alaya Fadlu Hadi Mukhammad,S.T,M.Eng ()
Penguji I : Alaya Fadlu Hadi Mukhammad,S.T,M.Eng ()
Penguji II : Dr. Seno Darmanto,S.T.,M.T ()
Penguji III : Bambang Setyoko,S.T.,M.Eng ()

Semarang, 16 Oktober 2025

Ketua Program Studi Diploma-IV
Rekayasa perancangan Mekanik


Dr. Sri Utami Handayani,S.T.,M.T

NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Faradinda Assyifa Larasati
NIM : 40040221650024
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“ **Modifikasi Alat Uji Impact Charpy V Notch** ”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 16 Oktober 2025

Yang menyatakan



Faradinda Assyifa Larasati

MOTTO

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنْكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ

Yarfa‘illāhul-ladzīna āmanū minkum walladzīna ūtul-‘ilma darajāt.

“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat.”

(Q.S. Al-Mujadila;11)

“ Selalu ada harga dalam sebuah proses. Nikmati saja lelah-lelah itu. Lebarkan lagi rasa sabar itu. Semua yang kau investasikan untuk menjadi dirimu serupa yang kau impikan, mungkin tidak akan selalu berjalan lancar. Tapi gelombang-gelombang itu yang nanti bisa kau ceritakan.”

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Proyek Akhir dengan judul Modifikasi Alat Uji Impact V-Nortch dan seterusnya.

Penyusunan laporan poyek akhir ini tentunya tidak terlepas dari bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Sri Utami Handayani, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang
3. Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing selama penyusunan Tugas Akhir.
4. Seluruh dosen dan teknisi yang telah memberikan ilmu selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan keterbatasan ilmu dalam penyusunan laporan ini, maka segala bentuk kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Penulis berharap, semoga semua pihak yang telah memberikan bantuan, diberi balasan kebaikan. Amin. Semoga laporan ini bisa bermanfaat bagi penulis sendiri khususnya dan para pembaca secara umum, baik dari kalangan akademis maupun yang lain.

Semarang, 16 Oktober 2025



Faradinda Assyfa Larasati

ABSTRAK

MODIFIKASI ALAT UJI IMPACT CHARPY V-NOTCH

Alat uji impact V-Charpy digunakan untuk mengukur kekuatan bentur material terhadap beban kejut. Namun, alat standar sering kali memiliki keterbatasan dalam keakuratan pembacaan ukuran. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi alat uji impact dengan penggunaan skala analog yang lebih presisi untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Alat uji impact yang dimodifikasi ini terletak pada laboratorium pengujian material Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik. Modifikasi dilakukan dengan mengganti sistem pembacaan energi dari semula menggunakan skala digital diganti menggunakan skala analog. Masalah yang diidentifikasi sebelum alat dimodifikasi adalah tidak terdapat sistem pengereman, sistem pengaman, sistem pembaca energi impact, dan mekanisme angkat pendulum yang masih manual. Dilakukannya modifikasi alat uji impact charpy v-notch karena sistem digital atau analog yang kompleks bisa lebih rentan terhadap kerusakan, sistem pembacaan yang lebih canggih memerlukan kalibrasi yang lebih rumit untuk memastikan akurasi. Dengan adanya sistem pengereman, dapat mencegah terjadinya ayunan berulang (Overshooting), meningkatkan efisiensi pengujian karena waktu yang dibutuhkan untuk setiap siklus pengujian bisa dikurangi karena tidak perlu menunggu pendulum berhenti dengan sendirinya. Dengan adanya sistem pengaman, dapat menjaga keselamatan operator dari pendulum berkecepatan tinggi atau pecahan spesimen yang terpelempar, serta pada standar internasional seperti ASTM E23 dan JIS B7722 yang mengatur tentang bentuk pendulum, anvil dan tipe pisau pemukul. Mengharuskan adanya sistem pengaman untuk memastikan keselamatan dalam pengujian impact. Dengan ditambahnya motor gearbox pada mekanisme angkat pendulum memudahkan operator dalam mengangkat pendulum dengan aman dan efisien pada saat melakukan pengujian. Alat yang dimodifikasi memiliki kapasitas max energi impact sebesar 240 Joule. Hasil pengujian menunjukkan bahwa energi serap tertinggi pada alat yang dimodifikasi terdapat pada material stainless steel sebesar 115,139 Joule dan terendah pada kuningan sebesar 28,132 Joule. Standar Error pada alat uji impact yang dimodifikasi sebesar 2,9 %, dengan Standar Error terhadap alat uji impact laboratorium teknik mesin sebagai acuan sebesar 5,7% yang menunjukkan bahwa alat hasil modifikasi memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan layak digunakan dalam pengujian material.

Kata kunci: modifikasi, uji impact, Charpy V-notch, skala analog, akurasi pengukuran.

ABSTRACT

MODIFICATION OF CHARPY IMPACT

V-NOTCH TESTING MACHINE

The V-Charpy impact testing machine is used to measure the impact strength of materials against shock loads. However, standard machines often have limitations in the accuracy of their readings. This study aims to modify the impact testing machine by using a more precise analog scale to improve measurement accuracy. The modified impact testing machine is located in the materials testing laboratory of the Mechanical Design Engineering Study Program. The modification was carried out by replacing the energy reading system from a digital scale to an analog scale. The problems identified before the device was modified were the absence of a braking system, a safety system, an impact energy reading system, and a manual pendulum lifting mechanism. The Charpy V-notch impact testing device was modified because complex digital or analog systems are more prone to damage, and more sophisticated reading systems require more complicated calibration to ensure accuracy. The braking system prevents overshooting, increasing testing efficiency by reducing the time required for each test cycle, as there is no need to wait for the pendulum to stop on its own. The safety system protects operators from high-speed pendulums or flying specimen fragments, and complies with international standards such as ASTM E23 and JIS B7722, which regulate the shape of pendulums, anvils, and hammer types. A safety system is required to ensure safety during impact testing. The addition of a gearbox motor to the pendulum lifting mechanism makes it easier for operators to lift the pendulum safely and efficiently when conducting tests. The modified device has a maximum impact energy capacity of 240 Joules. The test results show that the highest energy absorption in the modified device was in stainless steel at 115.139 Joules and the lowest was in brass at 28.132 Joules. The Standard Error on the modified impact testing device was 2.9%, with a Standard Error on the mechanical engineering laboratory impact testing device as a reference of 5.7%, indicating that the modified device has a fairly good level of accuracy and is suitable for use in material testing.

Keywords: modification, impact test, Charpy V-notch, analog scale, measurement accuracy.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
SURAT TUGAS	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vii
MOTTO	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL	xx
DAFTAR SIMBOL	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Luaran	4
1.6 Sistematika Penulisan Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Pengujian Impak.....	6
2.1.1 Sejarah Pengujian Impak Metode Charpy.....	7

2.2	Pengujian Impak Metode Charpy.....	9
2.3	Mesin Uji Impak	10
2.3.1	Standar JIS-B7722	11
2.3.2	Spesifikasi JIS-B7722	12
2.3.3	Standar ASTM E-23.....	14
2.3.4	Spesifikasi ASTM E-23	14
2.4	Mekanisme Alat Uji Impak Charpy	15
2.4.1	Gaya Impak	15
2.4.2	Energi Potensial	15
2.4.3	Energi Kinetis.....	17
2.4.4	Energi Mekanis	18
2.4.5	Tegangan Impak.....	20
2.4.6	Energi Gesekan	21
2.5	Standar Uji Impak	24
2.5.1	Prinsip Dasar Alat Uji Impak Charpy	24
2.6	Patahan Material Ulet dan Getas.....	26
BAB III METODOLOGI PROYEK AKHIR.....		29
3.1	Diagram Alir	29
3.2	Langkah-langkah Pengujian alat Uji Impact V-Charpy	30
3.2.1	Observasi Lapangan	30
3.2.2	Studi Literatur	30
3.2.3.	Desain Alat.....	31
3.2.4	Beton Pondasi	48
3.3	Perancangan Alat	49

3.3.1	Perhitungan Lintasan Bandul Gaya dan Periode Bandul	49
3.4	Perhitungan Energi Koefisien Gesek	51
3.4.1	Perhitungan Energi Gesek Poros Pendulum dan Bantalan	51
3.4.2	Perhitungan Energi Gesek Pendulum dan Sabuk Kanvas Pengereman	54
3.4.3	Perhitungan Tegangan Poros Maksimum	56
3.5	Perhitungan Konstruksi	57
3.5.1	Perhitungan Poros	57
3.5.2	Perhitungan Nilai Tegangan Geser	57
3.5.3	Tegangan geser yang diijinkan.....	58
3.5.4	Besarnya tegangan geser yang terjadi	58
3.5.5	Perhitungan Nilai Tegangan Lentur	58
3.5.6	Perhitungan momen maksimal poros (M1)	59
3.6	Perhitungan Bantalan	59
3.7	Perhitungan Mekanisme Angkat Pendulum.....	62
3.7.1	Menentukan komponen gaya yang menghasilkan torsi	63
3.7.2	Menghitung torsi maksimum yang dibutuhkan	63
3.7.3	Menentukan perhitungan roda gigi untuk mengangkat pendulum.....	64
3.8	Pembuatan Sistem Pengaman	66
3.9	Pembuatan Sistem Pengereman	67
3.10	Sistem Pembacaan Dial.....	68
3.11	Persiapan Alat dan Bahan	69
3.11.1.	Alat dan Bahan Uji Impact Charpy V Notch	70
3.11.2.	Alat dan Bahan Beton Pondasi.....	75

3.12	Proses Pembuatan Alat Uji Impact	75
3.13	Proses Pembuatan Beton Pondasi	76
3.14	Pengujian Alat.....	77
3.15	Proses Pembuatan Spesimen Pengujian	78
3.15.1	Klasifikasi dan Kodefikasi Baja.....	78
3.15.2	Baja ASTM ST-37	79
3.15.3	Stainless Steel	80
3.15.4	Klasifikasi dan Kodefikasi Aluminium.....	82
3.15.5	Klasifikasi dan Kodefikasi Kuningan	84
3.15.6	Persiapan Bahan Pengujian.....	86
3.16	Pengujian Spesimen Uji Impak.....	86
3.17	Kalibrasi	87
3.18	Pengolahan Data.....	95
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	101
4.1	Hasil Modifikasi.....	101
4.2	Pembahasan Material Baja ST-37	103
4.3	Pembahasan Material Stainless Steel	112
4.4	Pembahasan Material Alumunium.....	122
4.5	Pembahasan Material Kuningan	131
4.6	Perbandingan Hasil Pengujian Semua Material	141
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	146
5.1	Kesimpulan	146
5.2	Saran.....	148
DAFTAR PUSTAKA.....		149

LAMPIRAN.....	151
DESAIN LAMPIRAN.....	151

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Pembebanan metode charpy dan izod.....	7
Gambar 2. 2	Penentuan energi potensial awal.....	11
Gambar 2. 3	Tipe pendulum.....	12
Gambar 2. 4	Anvil.....	13
Gambar 2. 5	Tipe pisau pemukul.....	13
Gambar 2. 6	Spesimen standar ASTM E-23.....	14
Gambar 2. 7	Gaya angkat (FA) dan perpindahan benda (h).....	16
Gambar 2. 8	Energi kinetis.....	17
Gambar 2. 9	Energi mekanis.....	19
Gambar 2. 10	Ilustrasi skematis pengujian impak.....	24
Gambar 2. 11	Patahan getas.....	26
Gambar 2. 12	Patahan ulet.....	27
Gambar 3. 1	Diagram alir pengujian impak v-charpy.....	29
Gambar 3. 2	Desain alat.....	32
Gambar 3. 3	Desain rangka.....	34
Gambar 3. 4	Desain pendulum.....	35
Gambar 3. 5	Desain anvil.....	36
Gambar 3. 6	Desain pengunci.....	38
Gambar 3. 7	Desain pengereman.....	39
Gambar 3. 8	Desain sistem pengaman.....	40
Gambar 3. 9	Desain dial indicator.....	40
Gambar 3. 10	Motor gearbox.....	42
Gambar 3. 11	Limit switch ME-8104.....	43
Gambar 3. 12	Box panel pyramid.....	45
Gambar 3. 13	Speed control motor gearbox.....	46
Gambar 3. 14	Switch on-off.....	46
Gambar 3. 15	Push button.....	47
Gambar 3. 16	Pilot lamp 220 V.....	48
Gambar 3. 17	Beton pondasi.....	48
Gambar 3. 18	Busur lintasan pendulum.....	50
Gambar 3. 19	Nilai X dan Y pada bantalan untuk beban dinamis.....	61
Gambar 3. 20	Ukuran hole diameter bearing.....	62
Gambar 3. 21	Roda gigi pinion 24 teeth.....	65
Gambar 3. 22	Gear 71 teeth.....	65
Gambar 3. 23	Bor listrik.....	72
Gambar 3. 24	Mesin gerinda duduk.....	72
Gambar 3. 25	Kompresor spray gun.....	73
Gambar 3. 26	Gergaji tangan.....	74
Gambar 3. 27	Ragum.....	74
Gambar 3. 28	Ukuran spesimen benda uji.....	86
Gambar 3. 29	Alat impact pembanding.....	89
Gambar 3. 30	Skema sistem kelistrikan motor gearbox.....	96
Gambar 4. 1	Alat impact sebelum di modifikasi.....	101
Gambar 4. 2	Alat impact setelah di modifikasi.....	102
Gambar 4. 3	Grafik hasil pengujian baja ST-37.....	108
Gambar 4. 4	Patahan baja ST-37 tampak atas.....	111

Gambar 4. 5	Patahan baja ST-37 tampak depan.....	111
Gambar 4. 6	Grafik hasil pengujian stainless steel.....	118
Gambar 4. 7	Patahan stainless steel tampak atas.....	120
Gambar 4. 8	Patahan stainless steel tampak depan	121
Gambar 4. 9	Grafik hasil pengujian spesimen alumunium	127
Gambar 4. 10	Patahan alumunium tampak atas	130
Gambar 4. 11	Patahan alumunium tampak depan	130
Gambar 4. 12	Grafik hasil pengujian kuningan.....	137
Gambar 4. 13	Patahan kuningan tampak atas.....	140
Gambar 4. 14	Patahan kuningan tampak depan	140
Gambar 4. 15	Grafik energi terserap pada alat uji Lab TM Undip	143
Gambar 4. 16	Grafik energi terserap pada alat uji workshop RPM	144

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Komponen Alat	33
Tabel 3. 2 Perhitungan lintasan bandul gaya dan Periode bandul	50
Tabel 3. 3 Ball Bearing.....	53
Tabel 3. 4 Koefisien Gesek	56
Tabel 3. 5 Alat dan Bahan Uji Impact Charpy V Notch	70
Tabel 3. 6 Alat dan bahan beton pondasi	75
Tabel 3. 7 Variabel penelitian	78
Tabel 3. 8 Komposisi baja ST 37	79
Tabel 3. 9 Spesifikasi alat pembanding	88
Tabel 3. 10 Hasil pengujian alat yang sudah di modifikasi.....	89
Tabel 3. 11 Hasil pengujian alat pembanding	92
Tabel 3. 12 Data yang diambil	99
Tabel 4. 1 Hasil Perhitungan Energi Serap dan Ketangguhan Material.....	103
Tabel 4. 2 Mean energi impact pada spesimen baja ST-37	104
Tabel 4. 3 Perhitungan $(J - J_m)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin	106
Tabel 4. 4 Perhitungan standar deviasi.....	106
Tabel 4. 5 Energi terserap pada spesimen baja ST-37.....	107
Tabel 4. 6 Hasil perhitungan energi serap dan ketangguhan material.....	112
Tabel 4. 7 Mean energi impact spesimen stainless steel	114
Tabel 4. 8 Perhitungan $(J - J_m)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin	115
Tabel 4. 9 Perhitungan standar deviasi spesimen stainless steel.....	116
Tabel 4. 10 Energi terserap pada spesimen stainless steel	117
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan energi serap dan ketangguhan material.....	122
Tabel 4. 12 Mean energi impact pada workshop dan lab teknik mesin	123
Tabel 4. 13 Perhitungan $(J - J_m)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin	125
Tabel 4. 14 Perhitungan standar deviasi.....	125
Tabel 4. 15 Energi terserap pada spesimen alumunium.....	126
Tabel 4. 16 Hasil perhitungan energi serap dan ketangguhan material.....	131
Tabel 4. 17 Mean energi impact pada workshop dan lab teknik mesin	133
Tabel 4. 18 Perhitungan $(J - J_m)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin	134
Tabel 4. 19 Perhitungan standar deviasi.....	134
Tabel 4. 20 Energi terserap pada spesimen kuningan	135
Tabel 4. 21 Standar deviasi dan Standar error pada setiap spesimen.....	141
Tabel 4. 22 Hasil patahan pada setiap spesimen	145

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Pertama kali muncul Halaman
W	Usaha (J)	24
F_a	Gaya angkat (N)	24
s	Perpindahan benda (m)	24
E_{pt}	Energi potensial total (J)	25
E_{P2}	Energi potensial pada posisi akhir (J)	25
E_{P1}	Energi potensial pada posisi awal (J)	25
m	Berat Pendulum (Kg)	25
g	Gravitasi ($9,81 \text{ m/s}^2$)	25
h_2	Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)	25
h_1	Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)	25
F	Gaya (N)	26
a	Percepatan (m/s^2)	26
v_t^2	Kecepatan akhir (m/s)	27
v_0^2	Kecepatan awal (m/s)	27
E_k	Energi kinetik (J)	27
v^2	Kecepatan benda (m/s)	27
E_M	Energi Potensial (J)	28
E_p	Energi Potensial (J)	28
$E_{Friction}$	Torsi gesek (Nm).	29
θ	Sudut rotasi total (dalam radian).	29
μ	Koefisien gesek kinetis antara poros dan bearing	29
r	Radius poros	29
$F_{centripetal}$	Gaya sentripetal akibat rotasi	30
$F_{Friction}$	Gaya gesek (N).	30
$T_{Friction}$	Torsi gesek (Nm).	31
λ	Jarak lengan pengayun (m)	33

$\cos \alpha$	Sudut posisi awal pendulum	33
$\cos \beta$	Sudut posisi akhir pendulum	33
E	Energi yang diserap (Joule)	34
HI	Nilai/harga Impak (Kg/mm ²)	34
A	Luas penampang dibawah takikan (mm ²)	34
$\emptyset$	Diameter	38
π	Konstanta(pi)	75
R	Jari-jari jarak poros – momen inersia pendulum	75
K	Keliling Lintasan	76
F	Gaya normal	76
τ_a	Tegangan geser ijin	82
σ_B	Kekuatan tarik	82
S_{f1}	Angka keamanan bahan	82
S_{f2}	Angka keamanan konsentrasi tegangan	82
σ_{max}	Tegangan lentur yang terjadi	82
Pr	Beban Ekuivalen Dinamis (Kg)	84
X	Faktor Beban Radial	84
V	Faktor Putaran	84
Fr	Beban Radial (Kg)	84
Y	Faktor Beban Aksial	84
Wa	Beban Aksial (Kg)	84
L	Panjang lengan pendulum	87
ω	Kecepatan sudut	89
t	Waktu	89
P	Daya	91
T	Torsi	91
k	Konstanta pegas (N/m)	93
Δ_x	Pertambahan panjang pegas (m)	93
SD	Standar Deviasi	109
Jm	Energi Impak Rata-Rata	109
n	Jumlah Data	109
SE	Standar error	123

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era yang semakin maju ini kebutuhan konstruksi semakin meningkat terutama pada konstruksi dalam penggunaan logam sebagai bahan utamanya. Dimana sebelum desain tersebut dibuat nyata, material harus diuji terlebih dahulu, hal ini agar konstruksi dinyatakan aman untuk dioperasikan manusia. Uji impak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, serta keuletan suatu material. Oleh karena itu uji impak banyak dipakai dalam bidang menguji sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material tersebut (Handoyo, 2013).

Beban kejut (*impact*) di implementasikan dalam kehidupan sehari-hari contohnya pada *airbag* dimobil yang menerima beban kejut dari tubuh pengemudi dan helm motor menerima beban kejut dari benturan saat terjadi kecelakaan yang berguna untuk melindungi kepala pengendara sehingga cedera bisa diminimalkan, paku menerima beban kejut saat dipukul, ban pada kendaraan bermotor menerima beban kejut dari permukaan jalan yang tidak rata, jalan berbatu, dan polisi tidur. Sementara baut roda atau *pitch circle diameter (PCD)* bisa menerima beban kejut pada sambungan antara velg dengan tromol rem yang terguncang atau terbentur saat mobil berjalan.

Pengujian impak (ketangguhan) adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan bahan terhadap adanya beban yang datang secara tiba-tiba (Huda, 2018). Urgensi kekuatan impak adalah untuk diterapkan pada komponen atau konstruksi yang bekerja menerima benturan seperti hammer mill, crusher, ball mill karena kepekaan terhadap patah getas adalah masalah besar pada konstruksi baja, bila patah getas ini terjadi pada baja dengan daya tahan rendah, patahan tersebut dapat merambat dengan kecepatan sampai 2000 mm /detik yang dapat menyebabkan kerusakan dalam waktu yang sangat singkat.

Alat uji impact merupakan alat/perangkat penting dalam dunia teknik material yang berfungsi untuk menguji ketangguhan (toughness) suatu material dengan memberikan pembebanan dinamis secara tiba-tiba. Pengujian ini terutama digunakan untuk mengukur kemampuan material dalam menyerap energi saat mengalami beban kejut, yang diukur dalam satuan Joule. Dalam industri manufaktur, alat uji impak berperan penting dalam *quality control* untuk memastikan material memenuhi spesifikasi ketangguhan yang dipersyaratkan, sekaligus membantu kegiatan *research and development* dalam menciptakan material baru dengan karakteristik impak yang lebih baik.

Untuk menilai ketahanan material terhadap patah getas perlu adanya pengujian yang juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis yang dapat mempengaruhi patah getas antara lain kecepatan regang, takik, tebal pelat,

tegangan sisa dan lain-lain (Y Andrianto, W Mangestiyono, B Setyoko, 2014). Ketangguhan (impak) merupakan ketahanan bahan terhadap beban kejut. Inilah yang membedakan pengujian impact dengan pengujian tarik dan kekerasan dimana pembebanan dilakukan secara perlahan-lahan. Pengujian impact merupakan suatu upaya untuk mensimulasikan kondisi operasi material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi dimana beban tidak selamanya terjadi secara perlahan-lahan melainkan datang secara tiba-tiba.

Kelemahan alat yang sudah ada mencakup tidak terdapat sistem pengereman, tidak terdapat sistem pengaman, sistem pembaca data hasil uji impact rusak sehingga tidak dapat di kalibrasi. Dengan adanya sistem pengereman, sistem pengaman, serta memperbaiki sistem pembaca data. maka, pengujian akan lebih aman, akurat, dan efisien serta memenuhi standar pengujian material yang berlaku.

Kalibrasi pada pengujian *impact charpy v-notch* sangat penting untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil pengujian. Dengan pemeriksaan keseimbangan pendulum, pemeriksaan nol energi (*zero check*), kalibrasi sistem pembacaan energi dengan menggunakan metode beban mati (*Dead Weight Test*), pengujian dengan menggunakan spesimen standar. Untuk menampung hal-hal dinamika ini perlu pengujian dalam skala besar, baik jumlah maupun dimensinya. Tetapi dipandang dari sudut ekonomi hal ini tidak mungkin dilakukan. Karena itu, dibuat pengujian dalam skala kecil yang distandarkan yang disebut pengujian takik. Pengujian yang dilakukan dalam skala kecil pada umumnya adalah uji *impact Charpy*. Hasil dari

pengujian impak sendiri nantinya akan dapat diketahui tingkat kegetasan dan harga impak material. Berdasarkan kenyataan diatas, maka penulis akan melaksanakan penelitian sebagai Tugas Akhir dengan judul “**MODIFIKASI ALAT UJI IMPAK CHARPY V NOTCH.**”

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas, dapat diketahui bahwa salah satu hal yang dapat mengakibatkan kegetasan suatu material adalah ketidakmampuan bahan material untuk menyerap energi. Untuk itu, pengujian impak digunakan untuk mengukur ketangguhan suatu material. Maka perlu dibuatnya suatu alat uji impak dengan metode charpy yang sederhana dan efisien untuk mengatasi permasalahan ini. Dalam proses pembuatan alat ini muncul beberapa permasalahan yaitu :

1. Bagaimana cara membuat penunjukaan ukuran yang benar pada mesin uji impak v-charpy?
2. Bagaimana proses pembuatan sistem pengaman?
3. Bagaimana proses pembuatan sistem pengereman?
4. Bagaimana unjuk kerja alat uji impak charpy ini?

1.3 Batasan Masalah

Modifikasi mesin uji impak *charpy v notch* dibatasi pada hal hal berikut :

- a. Alat yang dirancang hanya untuk pengujian impak dengan metode *charpy v notch* dengan standar pengujian ASTM E-23 yang mengatur bentuk dan ukuran pada spesimen.

- b. Alat yang dirancang hanya untuk pengujian impak dengan metode *charpy v notch* dengan standar pengujian JIS B7722 yang mengatur pada bentuk pendulum, anvil dan pisau pemukul.
- c. Kapasitas dari spesimen benda uji lebih rendah daripada kapasitas alat uji impak sebesar 240 joule.
- d. Material yang diuji dibatasi pada logam tertentu (Baja ST 37, Kuningan, *stainless steel* dan aluminium).

1.4 Tujuan

Tujuan teknis dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1. Memodifikasi alat sehingga dapat menunjukkan ukuran secara tepat.
- 2. Merancang dan mengembangkan sistem pengaman pada mesin uji *impact v-charpy*.
- 3. Menambahkan sistem pengereman pada alat uji *impact v-charpy*.
- 4. Menguji dan mengevaluasi unjuk kerja alat uji *impact v-charpy*.

1.5 Luaran

Luaran dari Proyek Akhir ini adalah :

- 1. Laporan Proyek Akhir yang berjudul “Modifikasi Alat Uji Impact Charpy V-Notch”
- 2. *Prototype* alat uji *impact charpy v-notch*
- 3. HKI (Paten / Hak Cipta / Publikasi Jurnal Ilmiah)

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Laporan tugas akhir terbagi dalam bab-bab yang diuraikan secara terperinci. Adapun sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah

sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang masalah, alasan pemilihan judul, pembatasan masalah, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, manfaat tugas akhir, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang dasar-dasar teori sistem perancangan.

BAB III DESAIN DAN METODOLOGI TUGAS AKHIR

Membahas tentang desain Alat Uji Impak Metode *Charpy*, perhitungan biaya, metode pengambilan data atau pengujian alat, serta pengoperasian dan perawatan alat.

BAB IV JADWAL KEGIATAN DAN RAB

Membahas tentang jadwal penyelesaian tugas akhir dan rancangan anggaran biaya untuk memodifikasi alat uji *impact charpy v notch*

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dan saran-saran dari hasil tugas akhir.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (rapid loading). Dalam pengujian mekanik terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji tarik, uji tekan dan uji puntir adalah pengujian yang menggunakan beban statik. Sedangkan uji impak menggunakan jenis pembebanan dinamik. Pada pembebanan impak, Terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban ke spesimen. Proses penyerapan energi ini akan diubah dalam berbagai respon material seperti deformasi plastis, Efek Histerisis, Gesekan, dan Efek inersia.

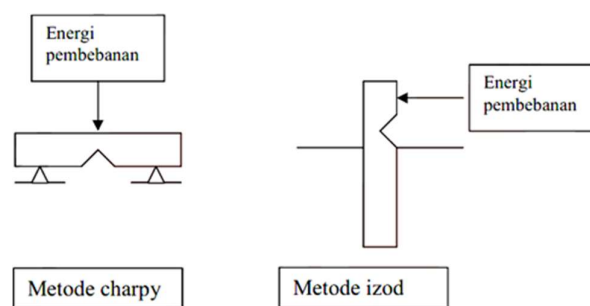
2.1 Pengujian Impak

Uji impak digunakan dalam menentukan kecenderungan material untuk rapuh atau ulet berdasarkan sifat ketangguhannya (Dieter, George E, 1988). Uji ini akan mendeteksi perbedaan yang tidak diperoleh dari pengujian tegangan regangan. Hasil uji impak juga tidak dapat membaca secara langsung kondisi perpatahan batang uji, sebab tidak dapat mengukur komponen gaya-gaya tegangan tiga dimensi yang terjadi pada batang uji. Hasil yang diperoleh dari pengujian impak ini, juga tidak ada persetujuan secara umum mengenai interpretasi atau pemanfaatannya.

Sejumlah uji impak batang uji bertakik dengan berbagai desain telah dilakukan dalam menentukan perpatahan rapuh pada logam. Metode yang telah menjadi standar untuk uji impak ini ada 2, yaitu uji impak metode

Charpy dan metode Izod. Metode charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, sedangkan metode izod lebih sering digunakan di sebagian besar dataran Eropa (Y Andrianto, W Mangestiyono, B Setyoko, 2014). Batang uji metode charpy memiliki spesifikasi, luas penampang 10 mm x 10 mm, takik berbentuk V. Proses pembebanan uji impak pada metode charpy dan metode izod dengan sudut 45° , kedalaman takik 2 mm dengan radius pusat 0.25 mm.

Batang uji charpy kemudian diletakkan horizontal pada batang penumpu dan diberi beban secara tiba-tiba di belakang sisi takik oleh pendulum berat berayun (kecepatan pembebanan ± 5 m/s). Batang uji diberi energi untuk melengkung sampai kemudian patah pada laju regangan yang tinggi hingga orde 10^3 s⁻¹. Batang uji izod, lebih banyak dipergunakan saat ini, memiliki luas penampang berbeda dan takik berbentuk v yang lebih dekat pada ujung batang. Dua metode ini juga memiliki perbedaan pada proses pembebanan. (Dieter, George E., 1988).



Gambar 2. 1 Pembebanan metode charpy dan izod
(Salurapa, Elvys, 2020)

2.1.1 Sejarah Pengujian Impak Metode Charpy

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 impact berbeda dari beban statis. Banyak percobaan dengan uji impact dilakukan pada produk-produk tertentu, seperti pipa atau as roda. Percobaan tersebut menjadi acuan dasar untuk pengujian impact yang berbeda untuk jenis bahan konstruksi [5].

Dalam makalah Russell yang diterbitkan pada tahun 1897 di *American Society of Civil Engineers* dipaparkan beberapa percobaan dengan mesin baru untuk pengujian bahan dengan impact. Mesin ini digunakan untuk mengetahui penyerapan energi saat dilakukan uji impact, 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.

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*, *Pendulum Impact* (*Amsler*, *Charpy*, *Dow*, *Izod*, dan *Olsen*), dan *Flywheel* (*Guillery*).

2.2 Pengujian Impak Metode Charpy

Pengujian impak Charpy (juga dikenal sebagai tes *Charpy V-Notch*) merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan (F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012). Energi yang diserap adalah ukuran ketangguhan bahan tertentu dan bertindak sebagai alat untuk belajar bergantung pada suhu transisi ulet getas. Metode ini banyak digunakan pada industri dengan keselamatan yang kritis, karena mudah untuk dipersiapkan dan dilakukan. Kemudian hasil pengujian dapat diperoleh dengan cepat dan murah.

Tes ini dikembangkan pada 1905 oleh ilmuwan Perancis Georges Charpy. Pengujian ini penting dilakukan dalam memahami masalah patahan kapal selama Perang Dunia II. Metode pengujian material ini sekarang digunakan di banyak industri untuk menguji material yang digunakan dalam pembangunan kapal, jembatan, dan untuk menentukan bagaimana keadaan alam (badai, gempa bumi, dan sebagainya) akan mempengaruhi bahan yang digunakan dalam berbagai macam aplikasi industri. Tujuan uji impact charpy adalah untuk mengetahui kegetasan atau keuletan suatu bahan (spesimen) yang akan diuji dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda yang akan diuji secara statik.

Dimana benda uji dibuat takikan terlebih dahulu sesuai dengan standar ASTM E23 dan hasil pengujian pada benda uji tersebut akan terjadi perubahan bentuk seperti bengkokan atau patahan sesuai dengan keuletan atau kegetasan terhadap benda uji tersebut. Percobaan uji impact charpy

dilakukan dengan cara pembebanan secara tiba-tiba terhadap benda uji yang akan diuji secara statik, dimana pada benda uji dibuat terlebih dahulu sesuai dengan ukuran standar ASTM E23. Adapun perlengkapan yang digunakan dalam pengujian impact yaitu alat uji impact tipe charpy dan benda uji.

2.3 Mesin Uji Impact

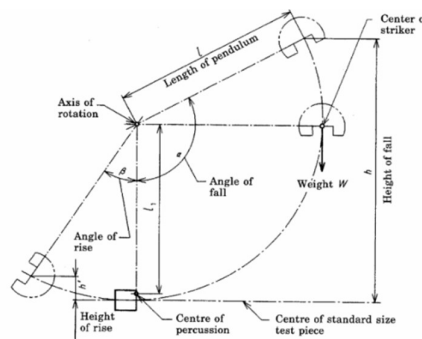
Mesin uji bentur (impact) yang digunakan untuk mengetahui harga impact suatu bahan yang diakibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut (F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012). Tipe dan bentuk konstruksi mesin uji bentur beranekaragam mulai dari jenis konvensional sampai dengan sistem digital yang lebih maju. Dalam pembebanan statis dapat juga terjadi laju deformasi yang tinggi kalau bahan diberi takikan, maka tajam takikan makin besar deformasi yang terkonsentrasikan pada takikan, yang memungkinkan meningkatkan laju regangan beberapa kali lipat. Patah getas menjadi permasalahan penting pada baja dan besi.

Pengujian impact charpy banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Benda uji takikan berbentuk V yang mempunyai keadaan takikan 2 mm banyak dipakai. Permukaan benda uji pada impact charpy dikerjakan halus pada semua permukaan. Takikan dibuat dengan mesin freis atau alat notch khusus takik. Semua dikerjakan menurut standar yang ditetapkan. Pada pengujian adalah suatu bahan uji yang ditakikan, dipukul oleh pendulum (godam) yang mengayun. Dengan pengujian ini dapat diketahui sifat kegetasan suatu bahan.

Cara ini dapat dilakukan dengan cara charpy. Pada pengujian kegetasan bahan dengan cara impact charpy, pendulum diarahkan pada bagian belakang takik dari batang uji. Sedangkan pada pengujian impact cara izod adalah pukulan pukulan pendulum diarahkan pada jarak 22 mm dari penjepit dan takikannya menghadap pendulum..

2.3.1 Standar JIS-B7722

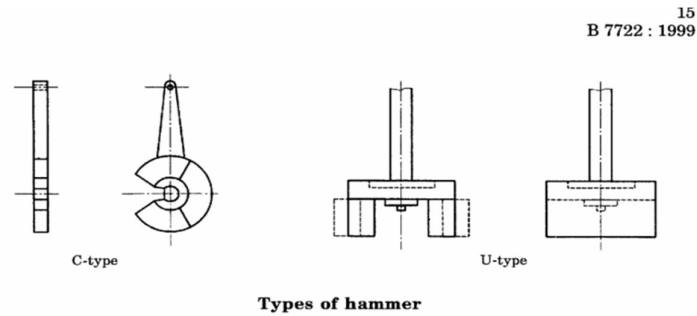
Standar yang digunakan pada pengujian impak adalah standar JIS-B7722 yaitu standar uji yang ditetapkan oleh standar Jepang. Standar JIS-B7722 mendeskripsikan penentuan energi potensial pada pengujian impak. Standar ini juga digunakan untuk memverifikasi dan kalibrasi mesin atau alat uji impak. Menurut standar JIS B 7722, batas maksimum standar error yang diizinkan adalah 4%.



Gambar 2. 2 Penentuan energi potensial awal
(Salurapa, Elvys, 2020)

2.3.2 Spesifikasi JIS-B7722

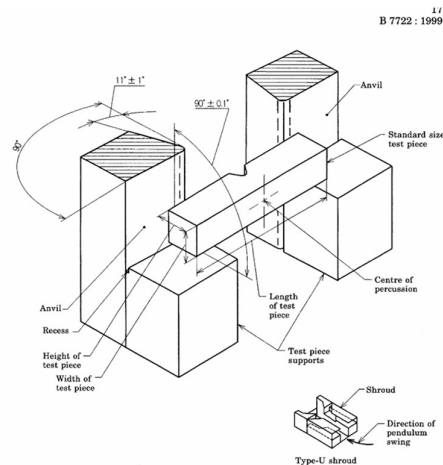
Spesifikasi JIS-B7722 untuk menentukan bentuk dan tipe pendulum, spesifikasi anvil, dan spesifikasi pisau pemukul.



Gambar 2. 3 Tipe pendulum

(Sumber : Japanese Standards Association. (1999). JIS B 7722: Charpy pendulum impact test- Verification of testing machines (p.15). Japanese Standards Association)

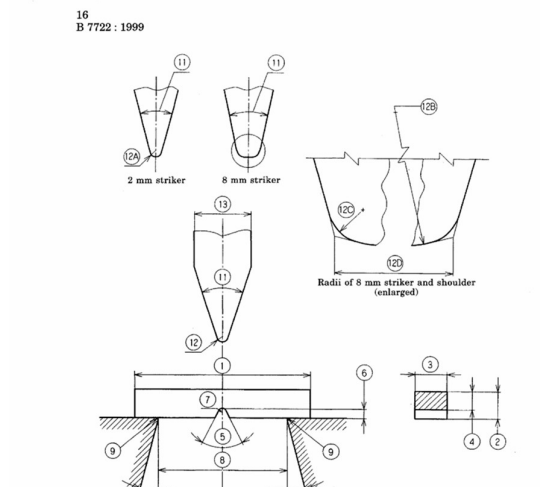
Tipe pendulum menurut standar JIS-B7722 mengacu pada dua tipe, yaitu tipe C dan tipe U. Pendulum tipe C dapat dilihat pada gambar di atas, dimana bentuk pendulum membentuk huruf C dengan letak pisau pemukul (*knife*) berada di dalam cekungan. Sedangkan pendulum tipe U dapat dilihat pada gambar di atas, dimana bentuk pendulum membentuk huruf U dengan letak pisau pemukul (*knife*) berada di dalam.



Gambar 2. 4 Anvil

(Sumber : Japanese Standards Association. (1999). JIS B 7722: Charpy pendulum impact test- Verification of testing machines (p.17). Japanese Standards Association)

Spesifikasi anvil menurut standar JIS-B7722 memiliki ketentuan jarak antar anvil adalah 4 mm, dengan sudut lancip 11 derajat.



Gambar 2. 5 Tipe pisau pemukul

(Sumber : Japanese Standards Association. (1999). JIS B 7722: Charpy pendulum impact test- Verification of testing machines (p.16). Japanese Standards Association)

Spesifikasi pisau pemukul menurut standar JIS-B7722 seperti gambar di atas, memiliki dua tipe, yaitu tipe mata pemukul 2 mm

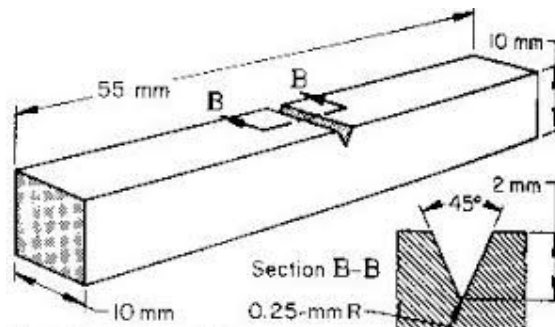
dan tipe mata pemukul 8 mm dengan persamaan ukuran sudut pemukulnya adalah 30 derajat.

2.3.3 Standar ASTM E-23

Standar yang digunakan pada pengujian impak adalah standar ASTM E-23 yaitu standar uji yang ditetapkan oleh standar Amerika. Standar ini digunakan untuk mengetahui nilai E (Energi yang diserap) dan HI (Harga Impak).

2.3.4 Spesifikasi ASTM E-23

Spesifikasi ASTM E-23 mempunyai panjang spesimen 55 mm, dan lebar spesimen 10 mm serta tebal spesimen 10 mm, dengan takik berbentuk V dengan sudut 45° dan kedalaman 2 mm.



Gambar 2. 6 Spesimen standar ASTM E-23
(Mufti, M. A. A., Budiarto, U., & Hadi, E. S. 2023)

2.4 Mekanisme Alat Uji Impak Charpy

2.4.1 Gaya Impak

Gaya impak didefinisikan sebagai gaya yang bekerja dalam waktu sangat singkat ketika terjadi tumbukan atau pembebanan secara tiba-tiba antara dua atau lebih benda (Beer, F. P., Johnston, E. R, 2015). Berbeda dengan gaya statis yang bekerja secara konstan dan perlahan, gaya impact muncul secara mendadak dengan intensitas tinggi dalam durasi yang sangat pendek, biasanya dalam hitungan milidetik hingga mikrodetik. Karakteristik utama gaya impak terletak pada kemampuannya untuk menyebabkan perubahan momentum yang signifikan dalam selang waktu yang singkat, yang menghasilkan nilai gaya yang jauh lebih besar dibandingkan dengan gaya statis untuk kondisi pembebanan yang setara. Formula untuk menentukan besarnya gaya impak yang terjadi sebagai berikut :

$$F_{impak} = m \cdot a \quad (2.1)$$

(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

Dimana,

F_{impak} = Gaya impak yang terjadi

m = Massa pendulum

a = Kecepatan ayun pendulum

2.4.2 Energi Potensial

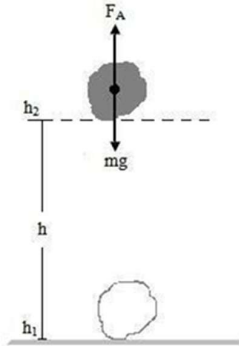
Energi potensial adalah energi yang dimiliki suatu benda akibat adanya pengaruh tempat atau kedudukan dari benda tersebut.

Energi potensial disebut juga dengan energi diam karena benda itu mengalami perubahan energi potensial menjadi energi gerak. Contoh yang paling umum dari energi potensial adalah energi potensial gravitasi. Energi potensial gravitasi dimiliki benda karena posisi relatifnya terhadap bumi. Setiap benda yang memiliki energi potensial gravitasi dapat melakukan kerja apabila benda tersebut bergerak menuju permukaan bumi.

Jika F_A adalah gaya angkat dan S adalah perpindahan benda, maka dapat ditarik persamaan sebagai berikut :

Benda yang dalam keadaan diam dapat memiliki energi. (Sears, Zemansky, 1997).

Jika benda tersebut bergerak, maka $W = F_A \cdot S$



Gambar 2. 7 Gaya angkat (F_A) dan perpindahan benda (h)
(Salurapa, Elvys, 2020)

F_A di atas adalah gaya angkat untuk mengangkat benda sampai pada ketinggian h_2 , kemudian mg adalah berat benda itu sendiri. (Sears, Zemansky, 1997). Dari sini dapat ditarik persamaan baru yaitu:

$$E_{pt} = E_{p2} - E_{p1} \quad (2.2)$$

$$E_{pt} = m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1$$

(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

Besarnya h_1 adalah 0 (nol), karena h_1 merupakan titik acuan yang umumnya merupakan acuan dari permukaan tanah yang arahnya vertikal terhadap tanah.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

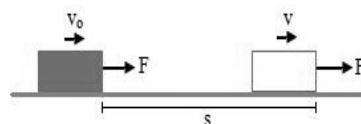
(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

2.4.3 Energi Kinetis

Energi kinetis atau energi gerak (juga disebut energi kinetik) adalah energi yang dimiliki oleh sebuah benda karena gerakannya. Energi kinetis sebuah benda didefinisikan sebagai usaha yang dibutuhkan untuk menggerakkan sebuah benda dengan massa tertentu dari keadaan diam hingga mencapai kecepatan tertentu. Energi kinetik berkaitan dengan gerak benda pada vektor horizontal (F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012).

Setiap benda yang bergerak translasi memiliki energi kinetik. Agar benda dipercepat beraturan sampai bergerak dengan laju v maka pada benda Tersebut harus diberikan gaya total yang onstan dan searah dengan arah gerak dan benda sejauh s . (Sears, Zemansky, 1997).

Kemudian besar gaya dinyatakan :



Gambar 2. 8 Energi kinetis

(Salurapa, Elvys, 2020)

$$F = m \cdot a \quad (2.3)$$

(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

Karena benda memiliki laju awal v_o , laju akhir v_t dan bergerak sejauh s , maka untuk menghitung nilai percepatan (Sears, Zemansky, F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012):

$$v_t^2 = v_o^2 + 2 \cdot a \cdot s \quad (2.4)$$

$$a = \frac{v_t^2 - v_o^2}{2 \cdot s}$$

Kemudian persamaan disubstitusikan untuk menentukan besarnya usaha yang dibutuhkan, (Sears, Zemansky, F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)) :

$$W = F \cdot s = m \cdot a \cdot s = m \left(\frac{v_t^2 - v_o^2}{2 \cdot s} \right) s \quad (2.5)$$

$$W = m \left(\frac{v_t^2 - v_o^2}{2 \cdot s} \right)$$

Dalam mekanika klasik, energi kinetik dari sebuah titik objek (objek yang sangat kecil sehingga massanya dapat diasumsikan di sebuah titik), atau juga benda diam , (Sears, Zemansky, 1997). Maka digunakan persamaan :

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2.6)$$

(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

2.4.4 Energi Mekanis

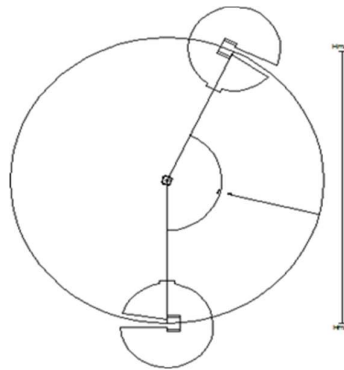
Bunyi dari hukum kekekalan energi yaitu Energi tidak dapat

diciptakan dan juga tidak dapat dimusnahkan. Jadi perubahan bentuk suatu energi dari bentuk yang satu ke bentuk yang lain tidak merubah jumlah atau besar energi secara keseluruhan. (Sears, Zemansky, 1997). Rumus atau persamaan mekanik berhubungan dengan hukum kekekalan energi :

$$E_M = E_P + E_K \quad (2.7)$$

(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

Mengikuti persamaan di atas, besarnya energi mekanik adalah konstan, karena massa bandul tidak berubah. Pada posisi tertinggi atau dengan kata lain saat sudut bandul terbesar, energi potensial mempunyai nilai terbesar. Namun energi kinetiknya sama dengan nol. Hal ini dianggap saat bandul mempunyai ketinggian maksimum, bandul mempunyai kecepatan sama dengan nol. Saat bandul tidak mempunyai ketinggian sama sekali, disitu energi kinetik bandul terbesar.



Gambar 2. 9 Energi mekanis
(Salurapa, Elvys, 2020)

$$H_{max}:$$

$$E_M$$

$$= E_P + E_K$$

$$E_M =$$

$$E_{p_{max}} + 0$$

$$H_{min}:$$

$$E_M = E_P + E_K \quad (2.8)$$

(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko,)

2.4.5 Tegangan Impak

Tegangan impak dapat didefinisikan sebagai tegangan yang timbul dalam material ketika menerima pembebanan secara tiba-tiba dalam waktu yang sangat singkat, biasanya dalam orde milidetik hingga mikrodetik (Dieter, George E., 1988).

Ketika suatu benda mengalami tumbukan, energi kinetik akan diubah menjadi energi deformasi yang menghasilkan gelombang *stress* yang merambat melalui material. Untuk menentukan besarnya nilai tegangan impak pada spesimen uji dapat diformulakan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{F_{impak}}{A} \quad (2.9)$$

(Sumber : Dieter, George E., 1988).

Dimana,

τ = Tegangan impak

F_{impak} = Gaya Impak yang terjadi

A = Luas penampang (spesimen)

2.4.6 Energi Gesekan

2.4.4.1 Energi Gesek Poros dengan Bearing ($E_{Friction}$)

1. Rumus Dasar Energi Gesek pada Bearing

$$E_{Friction} = \tau_{Friction} \times \theta \quad (2.10)$$

Keterangan :

$\tau_{Friction}$ = Torsi gesek (Nm).

θ = Sudut rotasi total (dalam radian).

2. Rumus torsi gesek :

$$E_{Friction} = \mu \times N \times r \quad (2.11)$$

Keterangan:

μ = Koefisien gesek kinetis antara poros dan bearing (bergantung material)

N = Gaya normal (N) yang bekerja pada poros (setara dengan berat pendulum + beban dinamis)

r = Radius poros

Penjelasan Parameter:

1. Koefisien Gesek (μ)

- Untuk poros baja dan bearing peluru (ball bearing): $\mu \approx 0.001 - 0.005$
- Untuk poros baja dan bearing peluru (ball bearing):
 $\mu \approx 0.001 - 0.005$
- Nilai pasti tergantung pelumasan dan kekasaran permukaan.

2. Gaya Normal (N)

$$N = m \times g \times \cos(\theta) + F_{centripetal} \quad (2.12)$$

Keterangan :

m = massa pendulum (kg)

g = Radius poros

θ = sudut ayunan pendulum ($^\circ$)

$F_{centripetal}$ = Gaya sentripetal akibat rotasi poros (jika ada).

2.4.4.2 Energi Gesek Pengereman (E brake)

1. Rumus Dasar Energi Gesek Pengereman

Energi gesek antara pendulum dan belt kanvas dihitung dengan:

$$E_{Friction} = F_{Friction} \times d \quad (2.13)$$

Atau dalam sistem rotasi:

$$E_{Friction} = \tau_{Friction} \times \theta \quad (2.14)$$

Keterangan:

$F_{Friction}$ = Gaya gesek (N).

d = Jarak gesek (m).

$\tau_{Friction}$ = Torsi gesek (Nm).

θ = Sudut rotasi selama pengereman (rad).

2. Menghitung Gaya Gesek

Gaya gesek antara belt kanvas dan pendulum tergantung pada:

μ = Koefisien gesek kinetis antara belt kanvas dan permukaan pendulum. Untuk kanvas vs logam: $\mu \approx 0.3-0.5$ $\mu \approx 0.3-0.5$ (tergantung kekasaran dan pelumasan).

N = Gaya Normal (N)

Pada sistem pendulum: $N = m \times g \times \cos(\theta)$, dengan θ sudut kemiringan pendulum.

Menghitung nilai gaya normal :

$$\begin{aligned} F &= m \times g \times \cos\theta \\ &= 22 \times 9,81 \times \cos(155^\circ) \\ &= 22 \times 9,81 \times 0,906 \\ &= 195,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka, nilai gaya geseknya adalah :

$$\begin{aligned} F_{Friction} &= \mu \times F \\ F_{Friction} &= 0,4 \times 195,5 \text{ N} \\ &= 78,2 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Menghitung Energi Gesek

a. Jika Pengereman Linier

Misal belt bergesekan sepanjang $d=0.2$ m:

$$F_{Friction} = 78.2 \times 0.2 = 15.64 \text{ J}$$

b. Jika Pengereman Rotasi

Torsi Gesek:

$$\tau_{Friction} = F_{Friction} \times r$$

Dimana : r = radius titik gesek (misal $r=0.1$):

$$\tau_{Friction} = 78.2 \times 0.1 = 7.82 \text{ Nm}$$

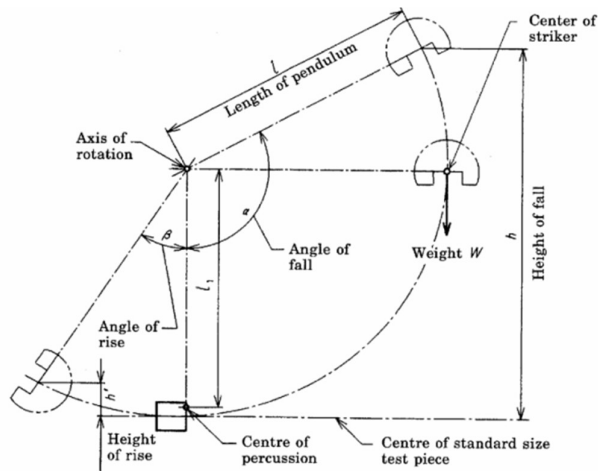
Sudut rotasi selama pengereman (θ): Misal Pendulum

berhenti dalam 30° ($\approx 0.524 \text{ rad} \approx 0.524 \text{ rad}$):

$$E_{Friction} = 7.82 \times 0.524 = 4.1 \text{ J}$$

2.5 Standar Uji Impak

2.5.1 Prinsip Dasar Alat Uji Impak Charpy



Gambar 2. 10 Ilustrasi skematis pengujian impak (Milzam, 2021)

Bila pendulum pada kedudukan h_1 dilepaskan, maka akan mengayun sampai kedudukan fungsi akhir pada ketinggian h_2 yang juga hampir sama dengan tinggi semula h_1 dimana pendulum mengayun bebas.

Usaha yang dilakukan pendulum waktu memukul benda uji atau energi yang diserap benda uji sampai patah didapat rumus yaitu :

$$\text{Energi yang Diserap (Joule)} = E_p - E_m$$

$$= m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2$$

$$= m \cdot g (h_1 - h_2)$$

$$= m \cdot g (\lambda (1 - \cos \alpha) - \lambda (\cos \beta - \cos \alpha))$$

$$= m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

$$\text{Energi yang diserap} = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \quad (2.15)$$

(Sumber : F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

Keterangan :

E_p = Energi Potensial

E_m = Energi Mekanik

m = Berat Pendulum (Kg)

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

h_1 = Jarak awal antara pendulum dengan benda uji (m)

h_2 = Jarak akhir antara pendulum dengan benda uji (m)

λ = Jarak lengan pengayun (m)

$\cos \alpha$ = Sudut posisi awal pendulum

$\cos \beta$ = Sudut posisi akhir pendulum

Dari persamaan rumus diatas didapat besarnya harga impak, yaitu :

$$I = \frac{\text{Energi yang diserap (E)}}{A} \quad (2.16)$$

(F Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko, 2012)

Dimana :

HI = Nilai/harga Impak (Kg/mm^2)

E = Energi yang diserap (Joule)

A = Luas penampang dibawah takikan (mm^2)

Takik (notch) dalam benda uji standar ditujukan sebagai suatu konsentrasi tegangan sehingga perpatahan diharapkan akan terjadi di bagian tersebut. Selain berbentuk V dengan sudut 45° , takik dapat pula dibuat dengan bentuk lubang kunci (key hole). Pengukuran lain yang biasa dilakukan dalam pengujian impak Charpy adalah penelaahan permukaan

perpatahan untuk menentukan jenis perpatahan yang terjadi. Secara umum sebagaimana analisis perpatahan pada benda hasil uji tarik maka perpatahan impak digolongkan menjadi 3 jenis, yaitu:

- a. Perpatahan berserat (*fibrous fracture*), yang melibatkan mekanisme pergeseran bidang- bidang kristal di dalam bahan (logam) yang ulet (*ductile*). Ditandai dengan permukaan patahan berserat yang berbentuk dimpel yang menyerap cahaya dan berpenampilan buram.
- b. Perpatahan granular/ kristalin, yang dihasilkan oleh mekanisme pembelahan pada butir- butir dari bahan (logam) yang rapuh (*brittle*). Ditandai dengan permukaan patahan yang datar yang mampu memberikan daya pantul cahaya yang tinggi (mengkilat).
- c. Perpatahan campuran (berserat dan *granular*). Merupakan kombinasi dua jenis perpatahan diatas.

2.6 Patahan Material Ulet dan Getas

Hasil spesimen dapat diamati secara visual dan dapat di klasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu :

- a. Patahan Getas (*Brittle Fracture*)



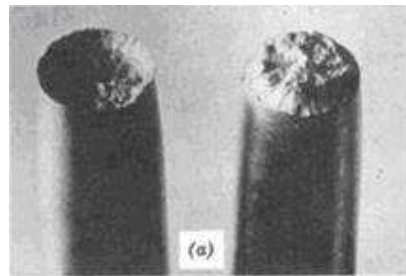
Gambar 2. 11 Patahan getas
(Amyrezaa, 2015)

Patah Getas (*Brittle fracture*), Merupakan fenomena patah pada material yang diawali terjadinya retakan secara cepat dibandingkan patah ulet tanpa deformasi plastis terlebih dahulu dan dalam waktu yang singkat.

Ciri-cirinya:

1. Permukaannya terlihat berbentuk granular, berkilat dan memantulkan cahaya.
2. Terjadi secara tiba-tiba tanpa ada deformasi plastis terlebih dahulu sehingga tidak tampak gejala-gejala material tersebut akan patah.
3. Tempo terjadinya patah lebih cepat.
4. Bidang patahan relatif tegak lurus terhadap tegangan tarik.
5. Tidak ada reduksi luas penampang patahan, akibat adanya tegangan multiaksial.

b. Patahan Ulet (*Ductile Fracture*)



Gambar 2. 12 Patahan ulet
(Amyrezaa, 2015)

Patah ulet merupakan patah yang diakibatkan oleh beban statis yang diberikan pada material, jika beban dihilangkan maka penjaralan retak akan berhenti. Patah ulet ditandai dengan penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besar disekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu. Selain itu

komposisi material juga mempengaruhi jenis patahan yang dihasilkan, jadi bukan karena pengaruh beban saja. Biasanya patah ulet terjadi pada material berstruktur bainit yang merupakan baja dengan kandungan karbon rendah.

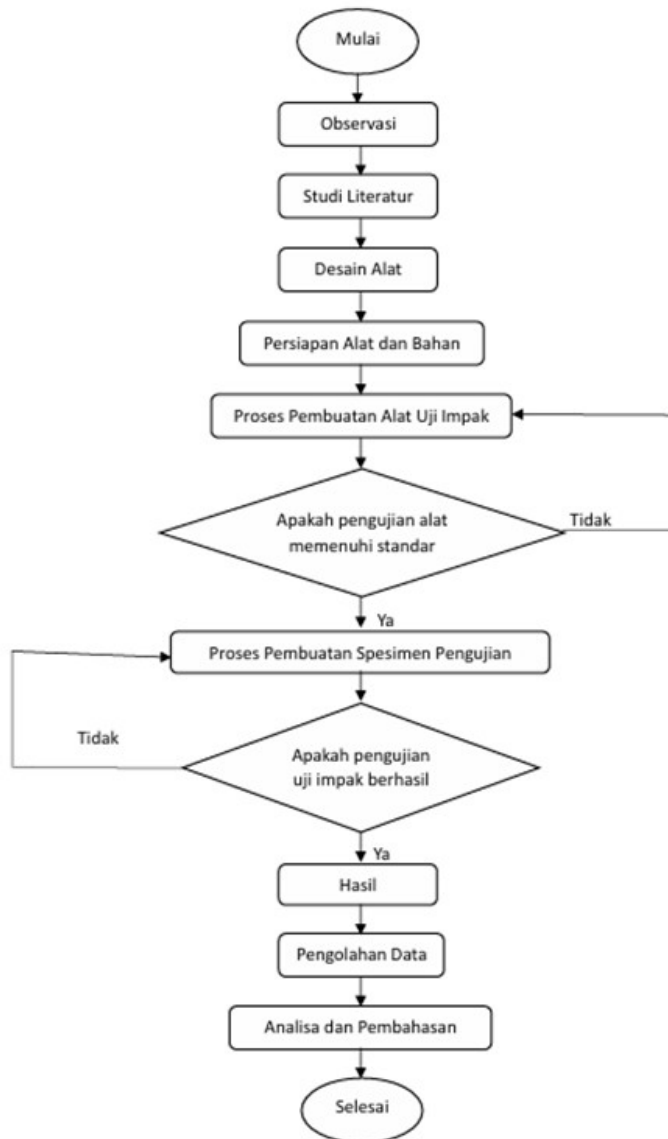
Ciri-ciri patah ulet:

1. Ada reduksi luas penampang patahan, akibat tegangan uniaksial.
2. Tempo terjadinya patah lebih lama
3. Pertumbuhan retak lambat, tergantung pada beban.
4. Permukaan patahannya terdapat garis-garis benang serabut (fibrosa), berserat, menyerap cahaya,ampilannya buram.

BAB III

METODOLOGI PROYEK AKHIR

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram alir pengujian impak v-charpy

3.2 Langkah-langkah Pengujian alat Uji Impact V-Charpy

3.2.1 Observasi Lapangan

Langkah pertama yang dilakukan pada proyek akhir ini menggunakan metode observasi pada alat pengujian impact yang sudah ada di kampus D4-Rekayasa Perancangan Mekanik. Observasi ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menemukan masalah kerusakan yang mungkin terjadi pada mesin tersebut, sehingga dapat dilakukan perbaikan atau pengembangan lebih lanjut.

3.2.2 Studi Literatur

Studi literatur merupakan suatu metode penelitian yang melibatkan pengumpulan, analisis, dan sintesis informasi dari berbagai sumber yang sudah ada, seperti buku, artikel ilmiah, laporan penelitian, dan sumber-sumber lainnya yang relevan dengan topik yang sedang diteliti. Studi literatur sendiri memiliki fungsi untuk mengetahui dan memperdalam informasi sebagai dasar modifikasi alat uji impak V-Charpy.

3.2.3. Desain Alat

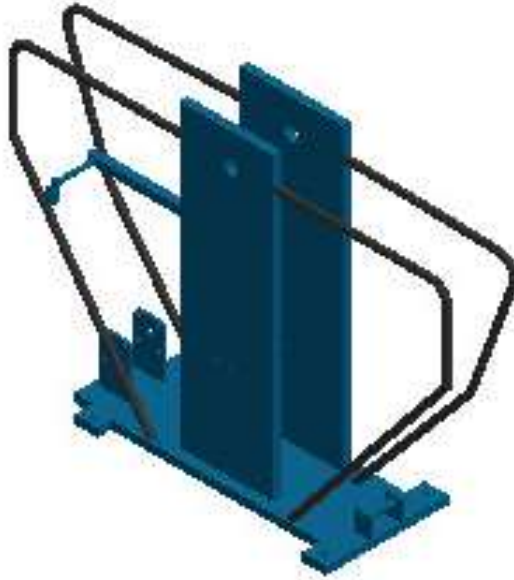
Dalam merancang alat uji impact ini, proses perancangan (*design*) alat uji *Impact Charpy V-notch* yang dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Perancangan ini bertujuan untuk menghasilkan model tiga dimensi yang akurat, presisi, serta sesuai dengan standar pengujian impact seperti ASTM E23. Melalui pemodelan CAD, setiap komponen utama seperti rangka, pendulum,udukan spesimen, dan mekanisme tumbukan dapat divisualisasikan secara detail sehingga mempermudah analisis kekuatan, kesesuaian dimensi, serta proses manufaktur.

Dalam proses pembuatan alat uji impact Charpy, perlu dibuat terlebih dahulu desain mekaniknya. Fungsinya adalah untuk memudahkan dalam pengambilan langkah-langkah dalam keseluruhan proses pengerjaan. Desain mekanik juga berpengaruh dalam menentukan perhitungan.

Tabel 3. 1 Komponen Alat

ITEM NO	PART	QUANTITY
1	Beton Pondasi	1
2	Shaft Belt Depan	1
3	Couple Shaft Pengereman	2
4	Rangka	1
5	Pendulum	1
6	Limit Switch	1
7	Pengunci	1
8	Dudukan Pengunci	1
9	Sabuk Kanvas	1
10	Shaft Pendulum	1
11	Bearing Shaft Pendulum	2
12	Bearing Pengereman	2
13	Tuas Pengereman	1
14	Mur Dudukan Anvil	8
15	Jarum Dial	1
16	Stopper Dial	1
17	Anvil	2
18	Panel Box	1
19	Motor Gearbox	1

3.2.3.2 Rangka



Gambar 3.3 Desain rangka

Dimensi Rangka Badan alat uji impact terbuat dari baja ukuran 850 mm x 300 mm x 18 mm.. Proses pengerjaan yang dilakukan dalam pembuatan badan alat uji impact ini adalah dengan proses penyambungan atau proses pengelasan. Badan alat uji impact berfungsi sebagai tempat dudukan bearing, tempat benda uji lengan dan pendulum.

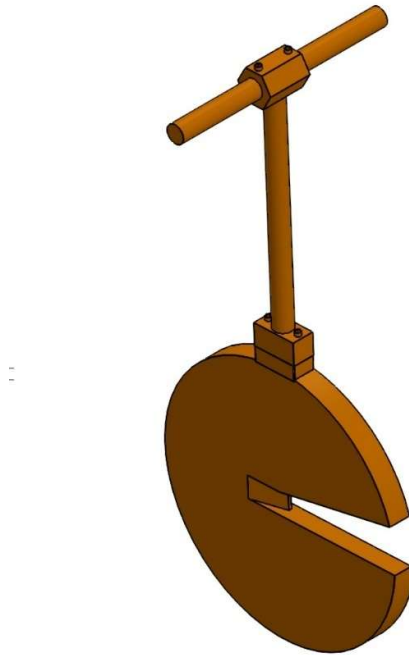
3.2.3.3 Pendulum

Pendulum berfungsi sebagai beban yang akan diayunkan ke benda uji terdapat pisau pemukul untuk mematahkan benda uji. Pendulum terbuat dari baja plat yang berukuran $\varnothing 355,1 \times 30$ mm dengan berat 22 kg. Pada bagian atas pendulum dihubungkan kebagian lengan pengayun dengan cara dibaut.

Desain awal pembuat alat uji impak charpy ini mempunyai kapasitas

240 joule. Kapasitas 240 joule ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan berbagai variasi spesifikasi dan dimensi alat uji impak charpy.

Pemilihan kecepatan ayunan bandul pada *Center of strike* berdasarkan standar ASTM E23 05 pada annexes A1.6 tidak kurang dari 3 ms^{-1} dan tidak lebih dari 6 ms^{-1} .



Gambar 3. 4 Desain pendulum

3.2.3.4 Lengan Pengayun

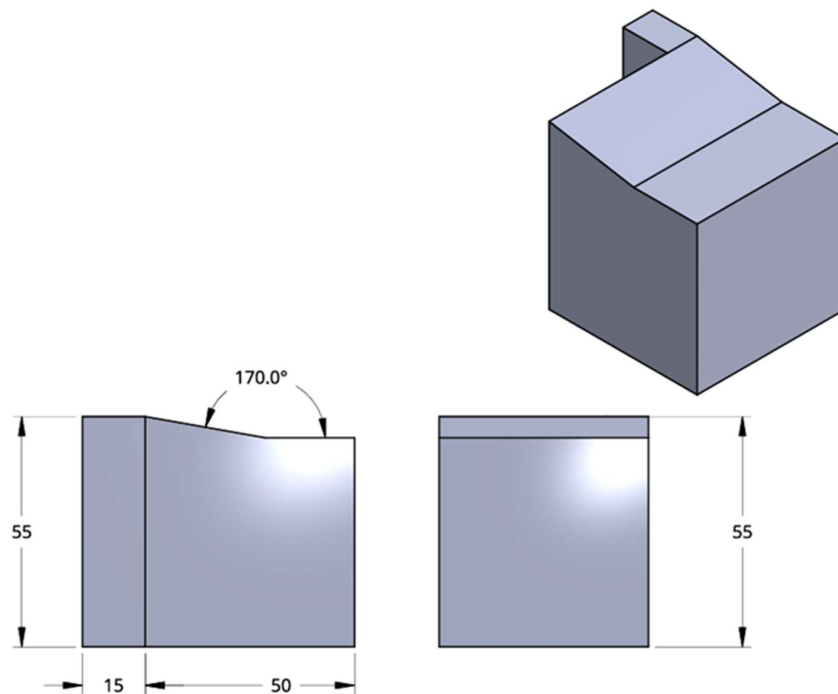
Lengan pengayun berfungsi untuk menentukan gerakan ayunan dari poros ke pendulum. Lengan pendulum ini terbuat dari baja yang berukuran $\varnothing 20 \times 600 \text{ mm}$.

3.2.3.5 Poros

Poros pengayun berfungsi sebagai penerus ayunan dari bearing ke lengan pengayun dan pendulum. Proses pengayun terbuat dari baut yang

berukuran 16 x 250 mm. Pada bagian ujung kanan dan kirinya dihubungkan ke bearing dan pada bagian tengahnya di hubungkan ke lengan pengayun dengan cara di drat kemudian dilas.

3.2.3.6 Anvil (Tempat benda Uji)



Gambar 3. 5 Desain anvil

Anvil (Tempat Benda Uji) berfungsi sebagai tempat diletakkannya benda uji yang akan dilakukan pengujian. Tempat benda uji terbuat dari baja 50 x 50 mm. Tempat benda uji dibuat menyatu dengan badan alat uji *impact*.

3.2.3.7 Knife (Pisau Pemukul)

Pisau pemukul berfungsi untuk memukul benda uji yang telah dibuat takikan. Posisi pada saat akan memukul adalah dibelakang takikan benda uji. Bahan pisau pemukul ini harus lebih keras dari benda yang akan diuji dan sudut pisau pemukul adalah 30°. Material dari pisau pemukul ini adalah

adalah baja karbon tinggi (baja HSS). HSS (High Speed Steel) merupakan baja paduan tinggi dengan unsur paduan utama karbon (C), tungsten (W), vanadium (V), molybdenum (Mo), kromium (Cr) ataupun kobalt (Co). Material HSS ini menggunakan grade M2 (ASTM A600) dengan persentase bahan penyusun terdiri dari 6% tungsten (W), 2% vanadium (V), 5% molybdenum (Mo), 4% kromium (Cr), 0,85% karbon (C), dan 59,9% (Fe). Angka kekerasan material HSS diukur dengan skala Rockwell adalah 63-65 HRC, dengan skala brinell adalah 600-900 HBW.

Proses pengerasan (*Hardening*) pada material HSS sebagai berikut:

1. *Preheating*

Preheating atau proses pemanasan sebelum proses austenizing dilakukan untuk menghindari *thermal shock* pada material. Proses ini menggunakan media furnace atau torch, dengan kisaran suhu antara 800-900°C.

2. *Austenizing*

Austenizing adalah proses pemanasan baja atau logam berbasis besi lainnya pada suhu di mana struktur kristalnya berubah dari ferit menjadi austenit. Proses ini penting dalam perlakuan panas karena mengubah sifat material, membuatnya lebih mudah dibentuk dan lebih kuat. Proses *Austenizing* pada material HSS dengan rentang suhu antara 1200-1300°C.

3. *Quenching*

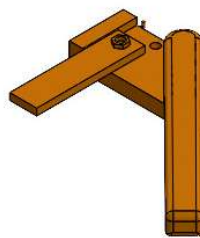
Quenching adalah proses pendinginan cepat setelah dipanaskan hingga suhu tinggi. Tujuannya adalah untuk mengubah struktur

mikro logam sehingga menghasilkan sifat mekanik yang diinginkan, terutama kekerasan dan kekuatan. Media pendingin pada proses quenching ini bisa menggunakan air, atau minyak. Pada material HSS ini media pendinginannya adalah minyak cepat (*martempering oil*) pada kisaran suhu 500-600°C dengan kecepatan pendinginan 50-100°C per detik.

4. *Tempering*

Tempering adalah proses pendinginan dimana material ditahan dalam waktu yang secukupnya pada temperature ini kemudian didinginkan perlahan-lahan, tujuannya adalah untuk mengurangi internal stresses dan menstabilkan struktur dari logam. Proses tempering pada material HSS ini berlangsung 3 kali proses tempering, dengan masing-masing tempering membutuhkan waktu 1 jam, dengan rentang suhu 500-600°C.

3.2.3.8 Pengunci

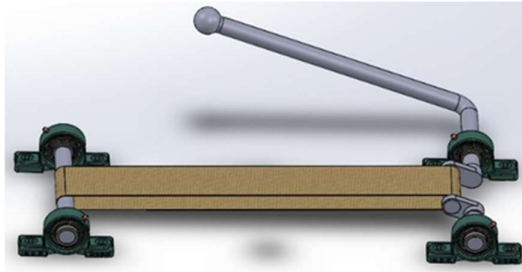


Gambar 3. 6 Desain pengunci

Pengunci bandul berfungsi untuk membuka dan mengunci bandul serta menahan bandul. Pengunci ini terbuat dari plat baja. Pengunci yang berfungsi untuk menahan bandul berukuran 40 mm x 15 mm sedangkan pengunci yang berfungsi untuk membuka dan mengunci bandul berukuran

280 mm x 15 mm. Pengunci ini berada diatas rangka yang dilas dengan dudukan pengunci.

3.2.3.9 Pengereman

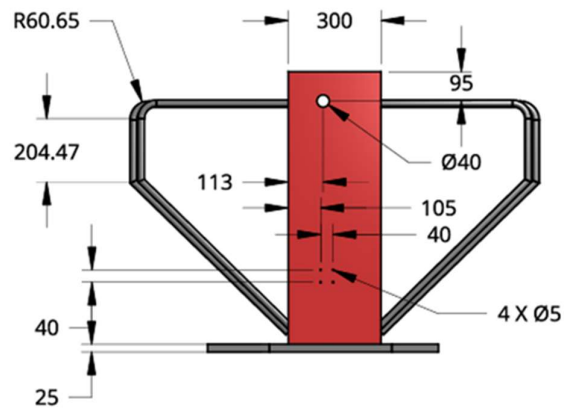


Gambar 3. 7 Desain pengereman

Pada alat pengujian Impact V-Charpy tidak ada sistem pengereman. Memodifikasi dengan menambahkan sistem pengereman karena sistem pengereman memiliki peran penting dalam memastikan keakuratan. Pengereman bandul berfungsi untuk menghentikan bandul setelah melakukan tumbukan terhadap specimen uji serta meningkatkan efisiensi pengujian karena dengan adanya sistem pengereman maka waktu antara setiap pengujian dapat dikurangi sehingga proses pengujian bisa lebih cepat dan efisien. Komponen pada sistem pengereman, meliputi :

- a) Tuas : Menggerakkan belt agar dapat memberikan gesekan pada pendulum untuk menghentikan gerakannya secara perlahan.
- b) Pillow bearing F205
- c) As
- d) Belt

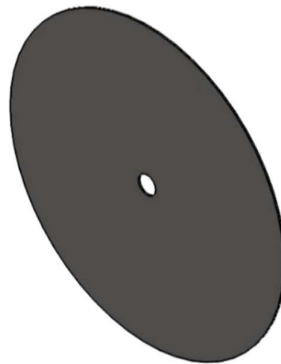
3.2.3.10 Pengaman



Gambar 3. 8 Desain sistem pengaman

Pada alat pengujian Impact V-Charpy tidak ada sistem pengaman. Memodifikasi dengan menambahkan sistem pengaman karena sistem pengaman merupakan komponen penting untuk menjaga integritas alat serta menjaga keselamatan. Sistem pengaman berfungsi untuk memastikan keamanan operator dari pecahan spesimen ataupun pergerakan bandul yang dapat membahayakan

3.2.3.11 Dial Indicator



Gambar 3. 9 Desain dial indicator

a) Elemen pembaca data sebelum di modifikasi

Elemen pembaca data sebelum di modifikasi menggunakan sistem elektronik yaitu konversi penyajian dalam bentuk analog ke digital (*Analog to Digital Converter*) dengan membandingkan tegangan dari sebuah chip dengan tegangan keluar potensiometer

b) *Elemen pembaca data setelah di modifikasi*

Elemen pembaca data setelah di modifikasi menggunakan sistem analog yaitu Dial indicator. Dial Indicator berfungsi untuk menunjukkan energi impak yang tersisa, untuk menghitung energi yang diserap dan memberikan hasil uji untuk mengetahui ketangguhan spesimen. Terdapat 2 jarum pada dial indicator dengan fungsi yang berbeda, yaitu :

1. Jarum Penunjuk Nilai Puncak

Jarum Penunjuk Nilai Puncak memiliki fungsi untuk menunjukkan titik tertinggi atau nilai maksimum energi yang dihasilkan oleh pendulum saat menumbuk spesimen, nilai puncak ini digunakan untuk menganalisis kekuatan spesimen sebelum patah total atau untuk menentukan ketahanan awal material terhadap benturan. Dengan cara kerja, jarum ini akan bergerak seiring dengan pergerakan pendulum dan berhenti di titik tertinggi setelah tumbukan terjadi.

2. Jarum Penunjuk Energi Terserap

Jarum Penunjuk Energi Terserap memiliki fungsi untuk menunjukkan jumlah energi yang diserap oleh spesimen selama tumbukan, yang digunakan untuk menentukan ketangguhan material, data ini digunakan untuk mengevaluasi sifat mekanik material, seperti ketangguhan

dan ketahanan terhadap benturan. Cara kerja jarum ini yaitu, setelah pendulum menghantam spesimen dan melewati titik terendahnya, energi yang hilang akibat patahnya spesimen diukur dan jarum ini akan berhenti pada angka yang mewakili energi terserap.

3.2.3.12 Motor Gearbox



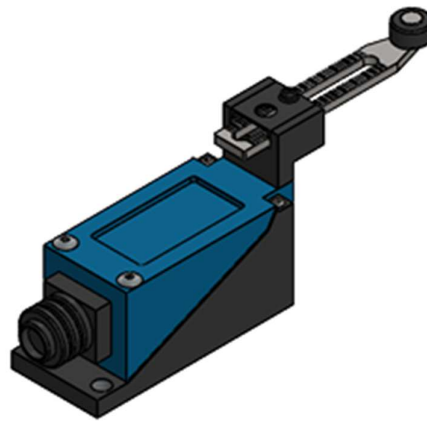
Gambar 3. 10 Motor gearbox

Motor gearbox merupakan sistem mekanis yang terdiri dari motor listrik dan unit gearbox, berfungsi untuk mengkonversi kecepatan tinggi motor menjadi torsi tinggi dengan rasio reduksi tertentu. Pada alat uji impact seperti Charpy Impact Test, komponen ini memiliki peran vital untuk mengangkat pendulum dengan massa tertentu (misal 20-30 kg) ke posisi awal pada sudut tertentu (biasanya 150° - 160°) secara presisi dan terkendali. Gearbox berfungsi menurunkan RPM motor sambil meningkatkan torsi output, memungkinkan pengangkatan beban berat secara halus tanpa getaran berlebihan. Sistem ini dilengkapi dengan mekanisme pengunci (brake system) untuk mempertahankan posisi pendulum sebelum dilepaskan, menjamin konsistensi sudut pelepasan yang sangat penting untuk validitas

hasil uji.

Selain fungsi utamanya, motor gearbox juga dirancang untuk mengatasi variasi beban dinamis selama siklus pengangkatan pendulum. Desainnya yang efisien memungkinkan penggunaan motor berdaya relatif kecil namun mampu menghasilkan torsi besar melalui sistem reduksi gigi, sehingga lebih hemat energi dan memiliki umur pakai panjang. Fitur tambahan seperti encoder dan sistem kontrol canggih memastikan presisi posisi pendulum, sementara material komponen yang tahan aus menjamin keandalan operasional dalam jangka panjang. Dengan karakteristik unggul ini, motor gearbox menjadi solusi ideal untuk aplikasi pengujian material yang membutuhkan repetisi tinggi dan data yang konsisten.

3.2.3.13 Limit Switch ME-8104



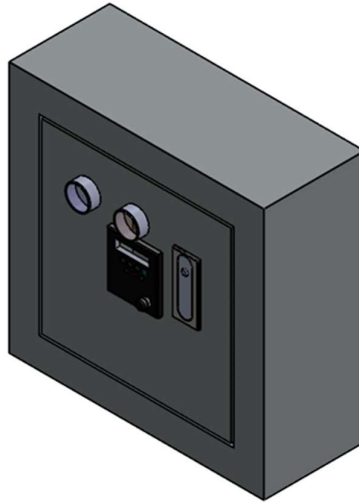
Gambar 3. 11 Limit switch ME-8104

Limit Switch ME 8104 merupakan komponen kritis dalam sistem alat uji impact yang berfungsi untuk membatasi gerakan pendulum secara presisi. Mekanisme kerjanya mengandalkan aktuasi mekanis dimana tuas

saklar akan tertekan saat pendulum mencapai sudut pengangkatan tertentu (biasanya 155°), kemudian mengirim sinyal elektrik untuk menghentikan motor gearbox dan mengaktifkan rem elektromagnetik. Dengan rating arus 10A @250VAC dan proteksi IP65, komponen ini dirancang untuk operasional yang handal dalam berbagai kondisi lingkungan. Fitur hysteresis adjustment $\pm 2^\circ$ pada limit switch ini mencegah terjadinya chatter atau getaran yang tidak diinginkan selama proses penghentian, sekaligus memastikan konsistensi posisi pendulum untuk setiap pengujian.

Dalam sistem alat uji impact, Limit Switch ME 8104 terintegrasi dengan kontroler PLC dan power supply melalui konfigurasi kontak SPDT (1NO + 1NC). Pemasangannya memerlukan kalibrasi presisi menggunakan busur derajat digital untuk mencapai akurasi sudut $\pm 0.5^\circ$. Keunggulan utamanya terletak pada durabilitas tinggi (mencapai >1 juta siklus operasi) berkat material housing fiberglass yang tahan getaran, serta desain fail-safe yang tetap berfungsi bahkan dalam kondisi daya terputus. Pemeliharaan rutin seperti pembersihan kontak dan pengecekan alignment tuas sangat penting untuk mencegah malfungsi yang dapat mempengaruhi akurasi pengujian impact.

3.2.3.14 Box Panel Pyramid



Gambar 3. 12 Box panel pyramid

Panel box merupakan komponen vital dalam sistem kontrol alat uji impact yang berfungsi sebagai pusat distribusi dan pengamanan rangkaian listrik. Dalam aplikasinya, panel box berperan untuk menampung dan mengorganisir komponen elektrik seperti MCB, kontaktor, relay, serta terminal koneksi yang menghubungkan antara sumber daya, kontroler, dan aktuator seperti motor gearbox. Selain itu, panel box juga berfungsi sebagai pelindung komponen listrik dari gangguan eksternal seperti debu, kelembaban, atau kontak fisik yang tidak disengaja, sekaligus memfasilitasi pemeliharaan dan troubleshooting sistem dengan layout wiring yang terstruktur. Dengan dilengkapi sistem grounding dan label yang jelas, panel box memastikan keamanan operator sekaligus meningkatkan keandalan operasional alat uji impact secara keseluruhan.

3.2.3.15 Speed Control Motor Gearbox



Gambar 3. 13 Speed control motor gearbox

Pengontrol kecepatan (*speed controller*) motor gearbox Wanshsin merupakan komponen penting yang berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran motor gearbox secara presisi. Alat ini memungkinkan pengguna menyesuaikan kecepatan motor sesuai kebutuhan aplikasi, mulai dari memperlambat, mempercepat, hingga menghentikan putaran motor secara bertahap. Fitur utamanya meliputi kontrol kecepatan variabel yang memungkinkan penyesuaian kecepatan secara fleksibel untuk berbagai kebutuhan operasional, serta kemampuan akselerasi dan perlambatan halus yang melindungi motor dari lonjakan daya atau hentakan tiba-tiba, sehingga meningkatkan umur pakai peralatan.

3.2.3.16 Switch On-Off



Gambar 3. 14 Switch on-off

Switch ON/OFF merupakan komponen kontrol dasar yang berfungsi

sebagai antarmuka antara pengguna dan sistem elektrik pada motor gearbox. Secara mekanis, switch ini bekerja dengan prinsip kontak logam sederhana - ketika diaktifkan (ON), kontak logam akan terhubung sehingga arus listrik dapat mengalir ke motor gearbox, sedangkan saat dimatikan (OFF), kontak akan terputus dan aliran listrik terhenti. Fungsi utamanya meliputi: (1) mengontrol suplai daya utama ke sistem motor, (2) sebagai sistem keselamatan darurat untuk memutus daya secara manual ketika terjadi kondisi abnormal, dan (3) memungkinkan isolasi sistem saat dilakukan perawatan. Desain switch ON/OFF umumnya dilengkapi dengan indikator visual (lampu LED) dan proteksi arus lebih untuk memastikan keandalan operasional dalam jangka panjang.

3.2.3.17 Push Button



Gambar 3. 15 Push button

Push button merupakan komponen kontrol elektromekanis yang berfungsi sebagai antarmuka antara operator dan sistem kontrol motor gearbox. Secara mekanis, komponen ini bekerja berdasarkan prinsip kontak sesaat (momentary contact) atau kontak tetap (maintained contact), dimana tekanan fisik pada tombol akan mengaktifkan atau menonaktifkan rangkaian kontrol. Dalam sistem motor gearbox, push button berperan penting sebagai: (1) alat kontrol start/stop operasi, (2) sistem pengaman

darurat (emergency stop), dan (3) antarmuka input untuk kontrol otomatis. Desainnya yang ergonomis dan dilengkapi dengan indikator visual (LED) serta proteksi IP rating memastikan keandalan operasional dalam berbagai kondisi lingkungan kerja.

3.2.3.18 Pilot Lamp 220 V



Gambar 3. 16 Pilot lamp 220 V

Pilot lamp adalah sebuah lampu indikator yang bisa membantu dalam mengetahui ada tidaknya aliran listrik yang masuk pada bagian panel listrik. Mengingat fungsi lampu indikator ini sangat penting bagi kelistrikan industri, maka keberadaan lampu ini harus terpasang pada struktur panel listrik.

3.2.4 Beton Pondasi



Gambar 3. 17 Beton pondasi

Sesuai pada standar ASTM E23 pada *annex* A1.1 bahwa rangka alat

dapat dibuatkan beton pondasi sebagai penanaman rangka ke tanah. “Mesin harus ditempatkan pada permukaan yang rata dengan kemiringan tidak lebih dari 3:1000 dan dipasang dengan kokoh pada lantai beton dengan ketebalan minimal 150 mm (6 inci) atau, jika hal ini tidak praktis, mesin harus dipasang pada fondasi dengan massa minimal 40 kali massa bandul.” (ASTM E23).

Beton pondasi terbuat dari adukan semen, pasir, dan batu kerikil, dengan dimensi 90 x 70 x 35 cm dengan komposisi campuran semen : kerikil : pasir adalah 1:2:3.

3.3 Perancangan Alat

Untuk membuat alat uji Impak yang memadai, diperlukan perhitungan gaya yang akurat, hal ini penting dilakukan untuk memahami karakteristik dinamika bandul sebelum dan sesudah tumbukan terhadap spesimen. Dengan menentukan lintasan gerak dan periode ayunan, dapat dihitung energi potensial dan energi kinetik bandul secara lebih akurat, sehingga proses penentuan energi impak yang diserap oleh material menjadi lebih tepat. Perhitungan ini juga berperan dalam memastikan bahwa desain bandul memenuhi persyaratan fungsional dan keselamatan sesuai standar pengujian impak.

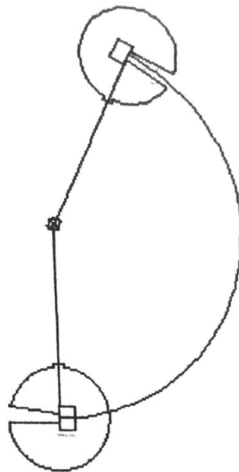
3.3.1 Perhitungan Lintasan Bandul Gaya dan Periode Bandul

Mencari panjang lintasan bandul, besar gaya yang terjadi, gaya sentrifugal, tegangan maksimal pada lengan, periode bandul:

Diketahui:

Tabel 3. 2 Perhitungan lintasan bandul gaya dan Periode bandul

E_m	=	240 Joule	(Energi Awal)
R	=	0,55 m	Jari-jari jarak poros – momen inersia pendulum
m	=	22 Kg	Massa Pendulum
v	=	$4,7 \text{ ms}^{-1}$	Kecepatan Ayunan Pendulum
α	=	155°	Sudut awal pendulum

3.3.1.1 Perhitungan Panjang Lintasan Bandul (L)**Gambar 3. 18** Busur lintasan pendulum

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling Lintasan (K)} &= 2 \cdot \pi \cdot R \\
 &= 2 \cdot \pi \cdot 0,55 \\
 &= 3,45 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Busur} &= \frac{\alpha}{360} \times K \\
 &= \frac{155}{360} \times 3,45 \\
 &= 1,48 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.3.1.2 Perhitungan Gaya Saat Terjadi Tumbukan (F)

Besar gaya dapat diperoleh dari persamaan:

$$W = F \cdot s$$

$$240 \text{ kgm}^2\text{s}^2 = F \cdot 1,48 \text{ m}$$

$$F = 165,5 \text{ N}$$

3.3.1.3 Perhitungan Gaya Sentrifugal

Besar gaya sentrifugal dapat menggunakan rumus dibawah ini:

$$F_r = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

$$F_r = \frac{22 \text{ kg} \cdot (4,7 \text{ ms}^{-1})^2}{0,55 \text{ m}}$$

$$F_r = 883,64 \text{ N}$$

Keterangan :

m : Massa Pendulum

v : Kecepatan Ayunan Pendulum

R : Jari-jari jarak poros sampai ke momen inersia pendulum

3.4 Perhitungan Energi Koefisien Gesek

Untuk menentukan besarnya nilai energi gesek yang terjadi antara bearing dan poros pendulum pada saat mekanisme pengujian tanpa spesimen dilakukan, maupun dalam menentukan nilai energi gesek yang timbul saat melakukan pengereman yang dimana pendulum bergesekan dengan sabuk kanvas pengereman.

3.4.1 Perhitungan Energi Gesek Poros Pendulum dan Bantalan

Untuk menentukan besarnya nilai energi gesek dalam mekanisme pengujian tanpa spesimen, ada dua metode yakni :

1. Perhitungan dengan menggunakan rumus energi potensial

Untuk menentukan besarnya nilai energi gesek dalam mekanisme pengujian tanpa spesimen dengan menggunakan rumus

energi potensial sebagai berikut :

$$E_p = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Energi gesek yang terjadi pada alat pembanding adalah :

$$\begin{aligned} E_p &= m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 136,1 - \cos 140,18) \\ &= 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (-0,723 - (-0,766)) \\ &= 8,25 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Energi gesek yang terjadi pada alat yang di modifikasi adalah :

$$\begin{aligned} E_p &= m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 154 - \cos 155) \\ &= 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (-0,898 - (-0,90)) \\ &= 0,8 \text{ Joule} \end{aligned}$$

2. Perhitungan dengan menggunakan rumus energi gesek pada bearing

Energi gesek ($E_{friction}$) dihasilkan dari gaya gesek ($F_{friction}$) yang bekerja sepanjang jarak slip atau rotasi. Untuk sistem rotasi seperti gerak poros pendulum, energi gesek dirumuskan sebagai berikut :

$$E_{friction} = \tau_{friction} \times \theta$$

Dimana,

$\tau_{friction}$ = Torsi gesek

θ = Sudut rotasi (radian)

Menghitung nilai torsi gesek :

Besarnya nilai torsi gesek pada bearing tergantung pada gaya yang bekerja

pada poros (F), nilai koefisien gesek (μ) dan radius poros pendulum (r).

$$\tau_{friction} = \mu \times F \times r$$

Dimana, nilai F diperoleh dari :

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ &= 22 \cdot 9,81 \\ &= 215,82 \text{ N} \end{aligned}$$

Koefisien gesek (μ) diperoleh dari :

Untuk *ball bearing* diambil $\mu = 0,0013$

Tabel 3. 3 Ball Bearing
(Sumber : NSK technical report)

Bearing Types	Approximate Values of μ
Deep Groove Ball Bearings	0.0013
Angular Contact Ball Bearings	0.0015
Self-Aligning Ball Bearings	0.0010
Thrust Ball Bearings	0.0011
Cylindrical Roller Bearings	0.0010
Tapered Roller Bearings	0.0022
Spherical Roller Bearings	0.0028
Needle Roller Bearings with Cages	0.0015
Full Complement Needle Roller Bearings	0.0025
Spherical Thrust Roller Bearings	0.0028

Radius poros (r) ditentukan dari diameter poros pendulum yaitu 20 mm atau 0,02 m.

Maka dari data diatas, perhitungan torsi geseknya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \tau_{friction} &= \mu \times F \times r \\ \tau_{friction} &= 0,0013 \times 215,82 \times 0,02 \\ &= 0,005 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung sudut rotasi poros pendulum saat pengujian tanpa spesimen

Pendulum berayun dari sudut 155° hingga 0° dan 0° hingga 155° maka :

$$\theta = 310^\circ \times \frac{2\pi}{360}$$

$$\theta = 310^\circ \times \frac{6,28}{360}$$

$$= 5,407 \text{ rad}$$

Dimana :

θ = Sudut rotasi (radian)

Maka dari perhitungan nilai torsi gesek diatas, dapat ditentukan besarnya nilai energi gesekan total berikut :

$$\begin{aligned} E_{friction} &= \tau_{friction} \times \theta \\ &= 0,005 \times 5,407 \\ &= 0,070 \text{ Joule} \end{aligned}$$

3.4.2 Perhitungan Energi Gesek Pendulum dan Sabuk Kanvas Pengereman

Untuk menentukan besarnya nilai energi gesek dalam mekanisme pengujian tanpa spesimen, ada dua metode yakni :

1. Perhitungan dengan menggunakan rumus energi potensial

Untuk menentukan besarnya nilai energi gesek dalam mekanisme pengujian tanpa spesimen dengan menggunakan rumus energi potensial sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_p &= m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha) \\ &= 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 0 - \cos 40) \\ &= 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (1 - 0,76) \\ &= 28,4 \text{ Joule} \end{aligned}$$

2. Perhitungan dengan menggunakan rumus energi gesek

Energi gesek ($E_{friction}$) dihasilkan dari gaya gesek ($F_{friction}$) yang bekerja sepanjang jarak yang bergesekan antara pendulum dengan sabuk kanvas.

$$E_{friction} = F_{friction} \times d$$

Dimana :

$F_{friction}$ = Gaya gesek

d = Jarak gesek

Gaya gesek yang terjadi antara sabuk kanvas dan pendulum sangat ditentukan oleh jenis material masing-masing. Dengan demikian untuk menentukan besarnya nilai dari gaya gesek yang terjadi dalam mekanisme pengereman pendulum dijawab dengan rumus :

$$F_{friction} = \mu \times F$$

Dimana :

μ = Koefisien gesek kinetis

F = Gaya normal

Maka, nilai F diperoleh dari :

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \cdot \cos(\theta) \\ &= 22 \cdot 9,81 \cdot \cos(40^\circ) \\ &= 22 \cdot 9,81 \cdot 0,76 \\ &= 164 \text{ N} \end{aligned}$$

3. Koefisien gesek (μ) diperoleh dari :

Untuk meterial kanvas dan logam diambil $\mu = 0,4$

Tabel 3. 4 Koefisien Gesek
(Sumber : *machinery handbook 27th edition industrial press*)

Material Combination	Coefficient of Friction, μ		Material Combination	Coefficient of Friction, μ	
	Clean	Lubricated		Clean	Lubricated
Aluminum-aluminum	1.35	0.30	Tungsten carbide-tungsten carbide	0.2–0.25	0.12
Cadmium-cadmium	0.5	0.05	Plexiglas-Plexiglas	0.8	0.8
Chromium-chromium	0.41	0.34	Polystyrene-polystyrene	0.5	0.5
Copper-copper	1.0	0.08	Teflon-Teflon	0.04	0.04
Iron-iron	1.0	0.15–0.20	Nylon-nylon	0.15–0.25	...
Magnesium-magnesium	0.6	0.08	Solids on rubber	1–4	...
Nickel-nickel	0.7	0.28	Wood on wood (clean)	0.25–0.5	...
Platinum-platinum	1.2	0.25	Wood on wood (wet)	0.2	...
Silver-silver	1.4	0.55	Wood on metals (clean)	0.2–0.6	...
Zinc-zinc	0.6	0.04	Wood on metals (wet)	0.2	...
Glass-glass	0.9–1.0	0.1–0.6	Brick on wood	0.6	...
Glass-metal	0.5–0.7	0.2–0.3	Leather on wood	0.3–0.4	...
Diamond-diamond	0.1	0.05–0.1	Leather on metal (clean)	0.6	...
Diamond-metal	0.1–0.15	0.1	Fabric on metal (clean)	0.4	...
Sapphire-sapphire	0.2	0.2	Leather on metal (greasy)	0.2	...
Hard carbon on carbon	0.16	0.12–0.14	Brake material on cast iron	0.4	...
Graphite-graphite (in vacuum)	0.5–0.8	...	Brake material on cast iron (wet)	0.2	...
Graphite-graphite	0.1	0.1			

Maka, nilai gaya geseknya adalah :

$$\begin{aligned}
 F_{friction} &= \mu \times F \\
 &= 0,4 \times 164 \\
 &= 65,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Menghitung besarnya energi gesek pada mekanisme pengereman :

$$E_{friction} = F_{friction} \times d$$

Diketahui:

Sabuk kanvas yang bergesekan sepanjang, $d = 0,2 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 E_{friction} &= 65,6 \times 0,2 \\
 &= 13,12 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

3.4.3 Perhitungan Tegangan Poros Maksimum

Tegangan poros maksimum terjadi pada saat bandul mempunyai kecepatan

tertinggi yaitu pada saat $h_1 = 0$. Maka :

$$F_{\max} = F_r$$

$$F_{\max} = 883,64 \text{ N}$$

3.5 Perhitungan Konstruksi

Perhitungan konstruksi diperlukan untuk memastikan bahwa rangka, dudukan spesimen, poros bandul, dan elemen pendukung lainnya mampu menahan beban dinamis yang terjadi selama proses pengujian. Dengan melakukan evaluasi terhadap tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada struktur, rancangan alat uji impak dapat dioptimalkan sehingga memenuhi standar keselamatan dan keandalan.

3.5.1 Perhitungan Poros

Asumsi pada poros tidak terjadi beban puntir, maka dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$F_{\text{statis}} = F_r = 883,64 \text{ N} = 88,364 \text{ kg}$$

$$d_{\text{poros}} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Bahan Baja ST 60} = 60 \text{ kg.mm}^{-2}$$

3.5.2 Perhitungan Nilai Tegangan Geser

Besarnya tegangan geser yang diijinkan dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini : (Sularso,1997:8)

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{(S_{f1} \cdot S_{f2})}$$

Dimana,

$$\tau_a = \text{Tegangan geser ijin}$$

$$\sigma_B = \text{Kekuatan tarik}$$

S_{f1} = Angka keamanan bahan

S_{f2} = Angka keamanan konsentrasi tegangan

3.5.3 Tegangan geser yang diijinkan

$$\tau_a = \frac{60 \text{ kg.mm}^{-2}}{(5,6.3)}$$

$$\tau_a = 3,571 \text{ kg.mm}^{-2}$$

3.5.4 Besarnya tegangan geser yang terjadi

$$\tau = \frac{88,364 \text{ kg}}{\left(\frac{\pi}{4}(d)^2\right)}$$

$$\tau = \frac{88,364 \text{ kg}}{\left(\frac{\pi}{4}(25 \text{ mm})^2\right)}$$

$$\tau = 180 \text{ kg/mm}^2$$

Besarnya tegangan geser yang terjadi lebih kecil daripada tegangan geser yang diijinkan. Jadi, konstruksi dinyatakan aman.

3.5.5 Perhitungan Nilai Tegangan Lentur

Konstruksi dinyatakan aman jika nilai tegangan lentur maksimal lebih kecil dari nilai tegangan lentur yang diijinkan.

$$\sigma_a \geq \sigma_{\max}$$

Dimana,

σ_a = Tegangan lentur yang diijinkan

$\sigma_{\max}$ = Tegangan lentur yang terjadi

Maka :

$$\sigma_a = \frac{\text{kekuatan tarik bahan}}{(f.s.f.d)}$$

Keterangan :

fs adalah angka keamanan bahan untuk beban statis ($fs = 3$)

fd adalah angka keamanan bahan untuk beban statis ($fd = 1$)

$$\sigma_a = \frac{60 \text{ kg.mm}^{-2}}{(3.1)} = 20 \text{ kgmm}^{-2}$$

3.5.6 Perhitungan momen maksimal poros (M_1)

$$\Sigma M_A = 0$$

$$R_{AV} + P \cdot 75\text{mm} - R_{BV} \cdot 150\text{mm} = 0$$

$$0 + 88,364\text{kg} \cdot 75\text{mm} - R_{BV} \cdot 150\text{mm} = 0$$

$$R_{BV} = \frac{88,364\text{kg} \cdot 75\text{mm}}{150\text{mm}} = 44,182\text{kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$R_{AV} \cdot 150\text{mm} - P \cdot 75\text{mm} + R_{BV} = 0$$

$$R_{AV} \cdot 150\text{mm} - 88,364\text{kg} \cdot 75\text{mm} + 0 = 0$$

$$R_{AV} = \frac{88,364\text{kg} \cdot 75\text{mm}}{150\text{mm}} = 44,182\text{kg}$$

$$M_1 = R_{AV} \cdot 75\text{mm}$$

$$M_1 = 44,182 \cdot 75\text{mm} = 3313,65\text{kgmm}$$

3.6 Perhitungan Bantalan

Perhitunngan ini untuk mengetahui besarnya beban Ekuivalen Dinamis (Pr). Beban ekuivalen dinamis merupakan beban yang diterima oleh bantalan saat beroperasi. Rumus yang dapat digunakan dalam menghitung beban ekuivalen dinamis ini adalah :

$$Pr = X \times V \times Fr + Y \times Wa$$

Keterangan :

P_r = Beban Ekivalen Dinamis (Kg)

X = Faktor Beban Radial

V = Faktor Putaran

= 1, untuk semua jenis bantalan saat lintasan dalam berputar,

= 1, untuk bantalan yang dapat menyelaraskan sendiri saat lintasan dalam diam,

= 1,2, untuk semua jenis bantalan kecuali yang dapat menyelaraskan sendiri, saat lintasan dalam diam.

F_r = Beban Radial (Kg)

Y = Faktor Beban Aksial

W_a = Beban Aksial (Kg)

Untuk menentukan besarnya nilai beban Ekivalen Dinamis (P_r), kita wajib mengetahui besarnya nilai X dan Y yang tertera pada tabel beban dinamis dibawah ini :

Type of bearing	Specifications	$\frac{W_A}{W_R} \leq e$		$\frac{W_A}{W_R} > e$		e
		X	Y	X	Y	
Deep groove ball bearing	$\frac{W_A}{C_0} = 0,025$				2,0	0,22
	= 0,04				1,8	0,24
	= 0,07	1	0	0,56	1,6	0,27
	= 0,13				1,4	0,31
	= 0,25				1,2	0,37
	= 0,50				1,0	0,44
Angular contact ball bearings	Single row		0	0,35	0,57	1,14
	Two rows in tandem		0	0,35	0,57	1,14
	Two rows back to back	1	0,55	0,57	0,93	1,14
	Double row		0,73	0,62	1,17	0,86
	Light series : for bores					
	10 – 20 mm		1,3		2,0	0,50
Self-aligning bearings	25 – 35 mm	1	1,7		2,6	0,37
	40 – 45 mm		2,0	6,5	3,1	0,31
	50 – 65 mm		2,3		3,5	0,28
	70 – 100 mm		2,4		3,8	0,26
	105 – 110 mm		2,3		3,5	0,28
	Medium series : for bores					
Spherical roller bearings	12 mm		1,0	0,65	1,6	0,63
	15 – 0 mm		1,2		1,9	0,52
	25 – 50 mm		1,5		2,3	0,43
	55 – 90 mm		1,6		2,5	0,39
	For bores:					
	25 – 35 mm	1	2,1		3,1	0,32
Taper roller bearings	40 – 45 mm		2,5	0,67	3,7	0,27
	50 – 100 mm		2,9		4,4	0,23
	100 – 200 mm		2,6		3,9	0,26
	For bores :					
	30 – 40 mm	1	0	0,4	1,60	0,37
	45 – 110 mm				1,45	0,44
	120 – 150 mm				1,35	0,41

Gambar 3. 19 Nilai X dan Y pada bantalan untuk beban dinamis
(Khurmi and Gupta, 2005)

Diketahui :

$$X = 1$$

$$V = 1$$

$$Fr = 88,53 \text{ kg}$$

$$Y = 0 \text{ (mengacu pada tabel, tidak memiliki beban aksial)}$$

$$W_a = 0 \text{ (mengacu pada tabel, tidak memiliki beban aksial)}$$

$$\text{Diameter dalam bearing} = 20 \text{ mm (Bearing tipe UCP 204)}$$

Type	Type	Type	Type	Type	Hole Diameter
UCFL 201	UCFC 201	UCF 201	UCT 201	UCP 201	12 mm.
UCFL 202	UCFC 202	UCF 202	UCT 202	UCP 202	15 mm.
UCFL 203	UCFC 203	UCF 203	UCT 203	UCP 203	17 mm.
UCFL 204	UCFC 204	UCF 204	UCT 204	UCP 204	20 mm.
UCFL 205	UCFC 205	UCF 205	UCT 205	UCP 205	25 mm.
UCFL 206	UCFC 206	UCF 206	UCT 206	UCP 206	30 mm.
UCFL 207	UCFC 207	UCF 207	UCT 207	UCP 207	35 mm.
UCFL 208	UCFC 208	UCF 208	UCT 208	UCP 208	40 mm.
UCFL 209	UCFC 209	UCF 209	UCT 209	UCP 209	45 mm.
UCFL 210	UCFC 210	UCF 210	UCT 210	UCP 210	50 mm.
UCFL 211	UCFC 211	UCF 211	UCT 211	UCP 211	55 mm.
UCFL 212	UCFC 212	UCF 212	UCT 212	UCP 212	60 mm.
UCFL 213	UCFC 213	UCF 213	UCT 213	UCP 213	65 mm.
UCFL 214	UCFC 214	UCF 214	UCT 214	UCP 214	70 mm.

Gambar 3. 20 Ukuran hole diameter bearing

Sumber : (ASB UC Diameter Bearings)

Penyelesaian :

$$Pr = X \times V \times Fr + Y \times Wa$$

$$Pr = 1 \times 1 \times 88,53 + 0 \times 0$$

$$Pr = 88,53 + 0$$

$$Pr = 88,53 \text{ kg}$$

3.7 Perhitungan Mekanisme Angkat Pendulum

Untuk melakukan usaha dalam pengangkatan pendulum, langkah awal yang ditentukan adalah nilai atau besarnya torsi yang dibutuhkan untuk mengangkat pendulum. Besarnya nilai torsi yang diperlukan untuk mengangkat pendulum didapat dengan cara menentukan besarnya gaya yang bekerja, menentukan komponen gaya yang menghasilkan torsi, torsi maksimum yang dibutuhkan, dan nilai torsi rata-rata yang dibutuhkan.

Menentukan besarnya gaya yang bekerja :

$$F = m \cdot g$$

m : massa pendulum

g : percepatan gravitasi

$$F = 22 \cdot 9,18$$

$$F = 215,8 \text{ N}$$

3.7.1 Menentukan komponen gaya yang menghasilkan torsi

Torsi (T) adalah hasil perkalian antara gaya dan lengan momen (L), tetapi hanya komponen gaya yang tegak lurus terhadap lengan pendulum yang berkontribusi pada torsi.

Pada sudut θ (diukur dari posisi vertikal), komponen gaya yang menghasilkan torsi adalah :

$$F_{\text{torsi}} = F \cdot \sin(\theta)$$

3.7.2 Menghitung torsi maksimum yang dibutuhkan

Torsi maksimum terjadi ketika lengan pendulum membentuk sudut 90° terhadap gaya gravitasi (yaitu saat pendulum horizontal). Namun, karena pendulum diangkat dari 0° (posisi vertikal bawah) ke 155° kita perlu menghitung torsi pada berbagai sudut.

Torsi pada sudut $\theta = 90^\circ$:

$$T_{(\text{max})} = F \cdot L \cdot \sin(\theta)$$

Dimana :

T = Torsi Maksimal

F = Gaya yang bekerja

L = Panjang lengan pendulum

Torsi maksimum terjadi saat $\theta = 90^\circ$

$$\begin{aligned} T_{(\text{max})} &= F \cdot L \cdot \sin(\theta) \\ &= 215,8 \cdot 0,5 \cdot \sin 90^\circ \end{aligned}$$

$$= 215,8 \cdot 0,5 \cdot 1$$

$$= 107,91 \text{ N}$$

3.7.3 Menentukan perhitungan roda gigi untuk mengangkat pendulum

Untuk menentukan nilai perhitungan dari mekanisme roda gigi yang telah dibuat, yang mampu untuk mengangkat pendulum dengan torsi yang telah dihitung sebelumnya, berikut langkah-langkah perhitungan tersebut :

Data awal, Mengacu pada perhitungan yang telah ditentukan sebelumnya, didapatkan data torsi yang dibutuhkan untuk mengangkat pendulum, yaitu torsi maksimal yang dibutuhkan untuk mengangkat pendulum sebesar 107,91 N, dan torsi rata-rata sebesar 76 N, panjang lengan pendulum 0,55 m, beban (F) sebesar 215,82 N, dan sudut angkat total 155° atau 2,705 rad

Spesifikasi motor gearbox yang dimiliki sebagai berikut :



Gambar 3. 21 Motor Gearbox

Spesifikasi motor gearbox wanshin:

Merk : Wanshin

Input Daya : 90 Watt

Output Torsi : 46 N/m

Rasio gigi : 1:75

RPM output : 18,7 RPM

Spesifikasi Roda gigi eksternal yang dibuat :



Gambar 3. 21 Roda gigi pinion 24 teeth



Gambar 3. 22 Gear 71 teeth

Roda gigi pinion : 24 *teeth*

Gear : 71 *teeth*

Rasio *gear eksternal* : $71/24 = 2,96:1$

Verifikasi spesifikasi motor gearbox,

Perhitungan Daya :

$$\begin{aligned}
 P &= \tau \cdot \omega = 46 \cdot \left(\frac{18,7 \cdot 2\pi}{60} \right) \\
 &= 46 \cdot \left(\frac{18,7 \cdot 2 \cdot 3,14}{60} \right) \\
 &= 90 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Dimana :

P : Daya

T : Torsi output motor gearbox

ω : Kecepatan sudut motor gearbox

Dari perhitungan daya tersebut membuktikan bahwa kapasitas daya motor

90 Watt terbukti valid.

Perhitungan dengan roda gigi eksternal,

Total rasio pada sistem roda gigi :

$$Total\ gear\ ratio = ((ratio\ gear\ motor \times ratio\ gear\ eksternal): 1)$$

$$Total\ gear\ ratio = (75 \cdot 2,96): 1$$

$$= 222 :1$$

Torsi output akhir :

$$T_{final} = T_{motor} \times ratio\ gear\ eksternal$$

$$= 46 \cdot 2,96$$

$$= 136,2\ Nm$$

Bedasarkan perhitungan torsi output akhir, dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai torsi output akhir sebesar 136 Nm yang berarti lebih besar dari nilai torsi yang dibutuhkan untuk mengangkat pendulum sebesar 107,91 Nm.

RPM output akhir :

$$RPM_{final} = \left(\frac{RPM\ output\ motor}{Ratio\ gear\ eksternal} \right)$$

$$RPM_{final} = \left(\frac{18,7}{2,9} \right)$$

$$= 6,4\ RPM$$

3.8 Pembuatan Sistem Pengaman

Penambahan rangka pengaman bertujuan untuk melindungi operator dari potensi bahaya akibat pergerakan pendulum, baik sebelum, saat, maupun setelah pengujian berlangsung. Selain itu, rangka pengaman juga berfungsi membatasi ruang ayunan pendulum agar tidak keluar jalur yang ditentukan.

3.9 Pembuatan Sistem Pengereman

Pembuatan sistem pengereman dilakukan oleh beberapa langkah, yaitu :

1. Perancangan sistem pengereman

Langkah ini dimulai dengan mendesain posisi komponen pengereman agar terintegrasi dengan struktur rangka tanpa mengganggu ayunan pendulum lalu menentukan titik pemasangan tuas, pulley dan jalur belt agar belt dapat menekan bagian poros pendulum secara efektif.

Pembuatan dan pemasangan komponen

- Belt canvas dipotong sesuai kebutuhan dan dibuat memanjang dari sisi bawah pendulum menuju tuas atas.
- Tuas, dibuat dari material logam (plat baja) dan dipasang menggunakan engsel agar dapat digerakkan ke atas-bawah.
- Bracket penahan, dipasang untuk memastikan arah gerak belt tetap stabil saat tuas ditarik

2. Finishing dan uji coba

Sistem pengereman diuji dengan melepaskan pendulum dan melakukan pengereman secara manual untuk memastikan belt dapat memperlambat dan menghentikan gerakan pendulum secara efektif.

Perhitungan gaya untuk menarik tuas pengereman :

Pengukuran nilai gaya yang dilakukan dengan alat neraca pegas, nilai yang terbaca adalah 9,7 Newton.

$$F = k \cdot \Delta_x$$

Dimana :

F : gaya (N)

k : Konstanta pegas (N/m)

Δ_x : Pertambahan panjang pegas (m)

$$F = k \cdot \Delta_x$$

Beban 1 Newton menyebabkan perpajangan pegas 0,01m. Maka :

$$k = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ N/m}$$

Diketahui $\Delta_x = 0,06 \text{ m}$, maka besarnya gaya :

$$\begin{aligned} F &= 100 \cdot 0,06 \\ &= 6 \text{ N} \end{aligned}$$

3.10 Sistem Pembacaan Dial

Sistem pembacaan energi pada alat uji impact Charpy V-notch ini menggunakan dial analog dengan jarum penunjuk. Dial memiliki diameter $\pm 200 \text{ mm}$ sehingga skala dapat terbaca dengan jelas. Resolusi pembacaan dial adalah 1 Joule, dengan batas maksimum pembacaan sebesar 300 Joule.

Pada sistem pembaca menggunakan pegas (Spring) untuk mentransfer gerak rotasi yang di konversi menjadi gerak linier dari lengan pendulum ke dial indicator tanpa sistem roda gigi.

Dial dipasang pada rangka utama alat uji impact dengan posisi tegak lurus terhadap poros bandul sehingga jarum bergerak sesuai arah putar pendulum. Dudukan dial dibuat dari plat baja dengan sistem baut pengikat agar kedudukan dial stabil dan tidak bergeser akibat getaran. Posisi dial dipilih pada bagian atas rangka agar mudah dibaca oleh operator tanpa harus mendekat ke area tumbukan, sehingga meningkatkan aspek keselamatan.

Sebelum dilakukan pengujian, dial perlu melalui proses kalibrasi. Tahapan pertama adalah memastikan jarum menunjuk ke nol saat pendulum berada pada posisi tegak bawah tanpa spesimen. Jika terdapat deviasi (zero error), jarum dapat disetel ulang dengan mekanisme pengatur di bagian belakang dial. Kalibrasi selanjutnya dilakukan dengan banding silang menggunakan sudut ayun pendulum. Misalnya, jika pendulum dilepaskan tanpa spesimen dari sudut tertentu, maka jarum seharusnya kembali menunjukkan nol. Proses ini dilakukan untuk memastikan gear dan jarum bekerja tanpa slip. Terdapat 2 jarum pada dial indicator ini :

1. Jarum sebagai penunjuk gerakan secara real-time

Terhubung langsung ke poros pengayun atau lengan pendulum melalui sistem penghubung langsung dan dengan menggunakan pegas, saat pendulum bergerak, pegas ikut berputar dan memutar jarum aktif di dial indicator.

2. Jarum sebagai penunjuk maksimum

Jarum ini tidak terhubung langsung ke sistem penggerak, jarum indicator ini tetap diam di posisi tertinggi, menunjukkan energi maximum yang terserap oleh spesimen.

3.11 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan yang matang sangat penting untuk memastikan proses perakitan dan pengujian dapat berjalan secara efisien, aman, dan sesuai dengan rancangan. Pada tahap ini, ditentukan jenis material, spesifikasi komponen, serta peralatan kerja yang akan digunakan, mulai dari bahan dasar rangka, pendulum,udukan spesimen, hingga alat ukur dan

perlengkapan penunjang lainnya.

3.11.1. Alat dan Bahan Uji Impact Charpy V Notch

Alat dan bahan digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu :

Tabel 3. 5 Alat dan Bahan Uji Impact Charpy V Notch

No	Alat	Bahan
1.	Las Listrik	Rangka
2.	Mesin Gerinda	Belt Kanvas
3.	Bor Listrik	Dial Indicator
4.	Peralatan Kompresor Dan Spray Gun	Pengaman
5.	Mesin Gerinda duduk	Sistem Pengereman
6.	Ragum	Pendelum

a. Las Listrik



Gambar 3. 24 Inverter las listrik

(Sumber : <https://eprints.ummetro.ac.id/795/4/BAB%20III.pdf>)

Las listrik merupakan proses penyambungan dua atau lebih logam dengan memanfaatkan energi listrik sebagai sumber panas. Fungsi utama las listrik adalah menyatukan material logam secara permanen melalui proses peleburan lokal pada titik sambungan. Cara pengoperasiannya meliputi penyambungan kabel positif dan negatif ke sumber daya, pemilihan elektroda sesuai jenis material, pengaturan arus, serta penggunaan pelindung diri seperti masker las dan sarung tangan. Setelah elektroda menyentuh permukaan logam, arus listrik akan membentuk busur

api yang melelehkan logam dasar dan elektroda sehingga terbentuk sambungan yang kuat dan tahan lama.

b. Mesin Gerinda Tangan



Gambar 3. 25 Gerinda tangan

(Sumber : <https://eprints.ummetro.ac.id/795/4/BAB%20III.pdf>)

Mesin gerinda adalah alat yang digunakan untuk mengasah, memotong, menghaluskan, atau membentuk permukaan benda kerja dengan memanfaatkan putaran batu gerinda berkecepatan tinggi. Fungsinya meliputi memperbaiki permukaan logam, menghilangkan sisa pengelasan, memotong material, dan mempertajam alat potong. Cara pengoperasiannya dimulai dengan memeriksa kondisi batu gerinda, memastikan pelindung terpasang, menyalakan mesin, kemudian mendekatkan benda kerja secara perlahan dengan tekanan yang sesuai. Operator wajib menggunakan alat pelindung diri seperti kacamata dan sarung tangan untuk menghindari percikan atau serpihan. Mesin ini tersedia dalam berbagai jenis seperti gerinda tangan, gerinda duduk, dan gerinda silinder.

c. Bor Listrik



Gambar 3. 23 Bor listrik

(Sumber : <https://eprints.ummetro.ac.id/795/4/BAB%20III.pdf>)

Bor listrik adalah alat yang digunakan untuk membuat lubang pada berbagai material seperti kayu, logam, dan plastik dengan memanfaatkan putaran mata bor yang digerakkan oleh motor listrik. Fungsinya meliputi pengeboran, pelubangan sekrup, dan terkadang digunakan untuk pengamplasan atau pencampuran dengan aksesori tambahan.

d. Gerinda Duduk



Gambar 3. 24 Mesin gerinda duduk

(Sumber : <https://eprints.ummetro.ac.id/795/4/BAB%20III.pdf>)

Mesin gerinda duduk adalah peralatan yang digunakan untuk mengasah, meratakan, atau menghaluskan permukaan benda kerja dengan batu gerinda yang berputar tetap pada posisi stasioner. Fungsinya mencakup mengasah pahat, memperbaiki ujung alat potong, menghilangkan karat, dan meratakan permukaan logam. Cara pengoperasiannya diawali dengan

memastikan batu gerinda dalam kondisi baik dan pelindung terpasang, kemudian mesin dinyalakan hingga putaran stabil. Benda kerja didekatkan secara perlahan dengan tekanan ringan agar tidak merusak permukaan. Operator wajib menggunakan kacamata pelindung, sarung tangan, dan menjaga jarak aman dari percikan api atau serpihan material.

e. Peralatan Kompresor dan Spray Gun



Gambar 3. 25 Kompresor spray gun
(Sumber : <https://eprints.ummetro.ac.id/795/4/BAB%20III.pdf>)

Kompresor dan spray gun merupakan peralatan yang digunakan untuk proses pengecatan atau pelapisan permukaan. Kompresor berfungsi menghasilkan udara bertekanan yang disalurkan ke spray gun untuk menyemprotkan cat secara merata pada permukaan benda kerja. Cara pengoperasiannya dimulai dengan memastikan tekanan udara kompresor sesuai kebutuhan, mengisi cat ke tabung spray gun, mengatur pola semprotan, kemudian menarik pelatuk spray gun secara stabil dengan jarak semprot yang sesuai. Operator wajib menggunakan masker, sarung tangan, dan pelindung mata untuk mencegah paparan cat serta menjaga kebersihan.

f. Gergaji Tangan

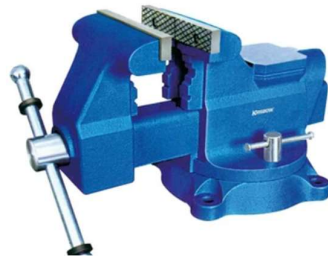


Gambar 3. 26 Gergaji tangan

(Sumber : <https://eprints.ummetro.ac.id/795/4/BAB%20III.pdf>)

Gergaji tangan adalah alat pemotong yang digerakkan dengan tangan, terdiri dari pisau gergaji dan pegangan. Gergaji tangan dapat digunakan untuk memotong berbagai bahan, seperti kayu, plastik, dan logam. seperangkat kunci ring-pas.

g. Ragum



Gambar 3. 27 Ragum

(Sumber : <https://www.ruparupa.com/p/krisbow-american-bench-vise-ragum-putar-12-7-cm-biru.html>)

Ragum adalah alat penjepit yang digunakan untuk menahan benda kerja agar tetap pada tempatnya selama proses pengerjaan, seperti mengikir, memahat, atau menggergaji.

h. Kunci Pas dan Ring

Seperangkat kunci pas dan ring adalah kumpulan kunci yang terdiri dari kunci pas dan kunci ring yang dapat digunakan untuk mengencangkan atau membuka mur dan baut. Kunci pas dan ring memiliki fungsi yang berbeda-beda, sehingga keduanya dapat saling melengkapi.

3.11.2. Alat dan Bahan Beton Pondasi

Alat dan bahan digunakan dalam penelitian ini antara lain yaitu :

Tabel 3. 6 Alat dan bahan beton pondasi

No	Alat	Bahan
1.	Cangkul	Semen
2.	Sekop	Pasir
3.	Ember	Batu Split
4.	Scrap	Air
5.	Palu	Paku
6.		Besi Foot Plate (Cakar Ayam)

3.12 Proses Pembuatan Alat Uji Impact

Proses pembuatan komponen alat uji impak tipe *charpy* seperti pendulum dilakukan dengan proses pemesinan, yaitu menghilangkan beberapa bagian bahan untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan. Perakitan adalah suatu proses penyusunan dan penyatuan beberapa bagian komponen menjadi suatu alat atau mesin yang mempunyai fungsi tertentu. Pekerjaan perakitan dimulai bila obyek sudah siap dipasang dan berakhir bila obyek tersebut telah bergabung secara sempurna.

Langkah perakitan untuk berbagai komponen alat ini dipersiapkan menurut langkah persiapan, pelaksanaan dan finishing.

1. Persiapan
2. Menyiapkan alat bantu
3. Pelaksanaan
4. Menentukan teknik untuk mengikat atau menyambung antar komponen
5. Pemeriksaan komponen sesuai spesifikasi
6. Penyetelan alat yang akan dipakai
7. *Finishing* perakitan diperiksa secara visual dan ukuranya disesuaikan.

Langkah perakitan untuk berbagai komponen alat ini dipersiapkan menurut langkah persiapan, pelaksanaan dan finishing.

3.13 Proses Pembuatan Beton Pondasi

Proses pembuatan beton pondasi diawali dengan pembuatan cetakan (*begisting*) yang terbuat dari triplek, berukuran 90 x 70 x 35 cm yang membentuk persegi panjang. Setiap lembar triplek disatukan dengan paku dan dipukul dengan palu. Kemudian bagian dalam dari *begisting* dilapisi dengan plastik agar campuran semen, pasir, batu dan air tidak merembes keluar dari sela-sela triplek. Selanjutnya besi *Foot Plate* dapat diletakkan di dalam cetakan untuk memperkuat kekuatan dari beton pondasi.

Pembuatan beton pondasi secara manual menggunakan cangkul, sekop, ember, dan scrap dimulai dengan mencampur bahan utama (semen, pasir, dan batu split) dengan perbandingan 1:2:3. Pertama, pasir dan semen dicampur merata di atas permukaan datar menggunakan cangkul hingga homogen. Batu split kemudian ditambahkan dan diaduk kembali. Air dimasukkan bertahap menggunakan ember sambil terus diaduk dengan cangkul hingga mencapai kekentalan yang diinginkan. Adukan beton

diangkut menggunakan sekop ke lokasi pondasi, lalu diratakan dan dipadatkan dengan scrap untuk menghilangkan rongga udara. Dan yang terakhir, tanamkan 4 baut pasak M16 dengan panjang 15 cm kedalam cor beton di 4 titik. Baut pasak M16 ini memiliki fungsi sebagai angkur antara alat dan pondasi, yang bertujuan untuk meredam guncangan dari alat saat proses pengujian material yang dipengaruhi oleh besarnya energi potensial yang dihasilkan saat pengujian berlangsung. Proses ini mengandalkan ketelitian dalam pengukuran material dan konsistensi pengadukan untuk menghasilkan beton pondasi yang berkualitas.

3.14 Pengujian Alat

Proses pengujian dilakukan pada alat uji impak *type charpy* tanpa menggunakan specimen (dalam keadaan kosong) pendulum dijatuhkan pada sudut 155° dan pedal rem ditekan, setelah melewati pedal rem, pedal rem dilepas, untuk memastikan bahwa semua komponen alat uji impak berfungsi.

Pengecekan dilakukan terhadap komponen pengunci pendulum, poros pendulum, sistem pengereman, sistem skala jarum penunjuk dan lainnya untuk memastikan semua komponen berada pada posisi baik dan dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

Variabel penelitian adalah segala sesuatu yang menjadi objek pengamatan dalam suatu penelitian dan memiliki nilai yang dapat berubah-ubah. Variabel yang diambil untuk penelitian pada Modifikasi Alat Uji Impact Charpy V Notch ada 2 jenis yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Dibawah ini merupakan variabel yang akan diambil dalam Penelitian

Modifikasi Alat Uji Impact Charpy V Notch.

Tabel 3. 7 Variabel penelitian

No	Variabel Bebas	Variabel Terikat
1	Jenis Material	Energi Serapan
2	Suhu Pengujian	Fraktur Atau Pola Patahan
3	Dimensi Spesimen	Sudut Ayunan Bandul setelah Tumbukan
4	Kondisi Notch	Presentase Area Patahan

3.15 Proses Pembuatan Spesimen Pengujian

Pembuatan spesimen merupakan tahap penting karena bentuk, dimensi, dan kondisi permukaan spesimen akan sangat memengaruhi hasil pengujian. Proses ini mencakup pemilihan material, pemotongan, permesinan, dan pembuatan notch (V-notch) sesuai standar pengujian seperti ASTM E23.

3.15.1 Klasifikasi dan Kodefikasi Baja

Terdapat beberapa macam klasifikasi baja sesuai kadarnya, yaitu :

- a) Baja karbon rendah adalah baja dengan komposisi karbon sampai 0,2% banyak di gunakan pada konstruksi, baja tulangan beton, kapal dan pada pembuatan tangki.
- b) Baja Karbon Sedang adalah baja dengan komposisi karbon 0,25% - 0,55% lebih kuat dan keras dan dapat dikeraskan banyak dipergunakan sebagai konstruksi mesin dan roda gigi.
- c) Baja Karbon Tinggi adalah baja dengan komposisi karbon diatas 0,55% lebih kuat dan keras.
- d) Low Alloy steel adalah baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah atau kurang dari 10% sifat pada baja paduan ini lebih kuat dan Tangguh.

- e) High alloy steel adalah baja dengan komposisi paduan yang tinggi dan mempunyai sifat paduan yang khusus sesuai dengan implementasi dan fungsi di lapangan seperti baja tahan karat (Stainless Steel) dan lain lain.

3.15.2 Baja ASTM ST-37

Baja merupakan logam yang terdiri dari unsur Fe (besi) dan unsur C (Carbon) yang di bentuk sedemikian rupa menjadi pipa, lembaran plat, dan batang besi, salah satu dari sekian banyak material baja adalah baja ST 37 termasuk dalam kategori baja dengan karbon rendah (Mild Steel). Untuk tegangan tarik dari Baja ASTM ST-37 adalah 310 MPa. Baja dengan kategori ini banyak di pergunakan untuk material konstruksi, pembuatan kapal dan juga material pada tangka timbun dan bejana tekan dengan komposisi baja ST 37 sebagai berikut:

Tabel 3. 8 Komposisi baja ST 37

No	Komposisi	Kandungan Maksimum (%)
1.	Carbon (C)	0,17
2.	Phosphorus (P)	0,05
3.	Sulfur (S)	0,05
4.	Silicon (Si)	0,35

(Sumber : 2015 ASME BPVC SECTION II, "Section ii 2015," vol. PART A. American society for testing materials, New York, p. 852, 2015.)

Pada standarisasi material baja ASTM ST 37 atau pada standar jepang (JIS) adalah SS400 dapat di simpulkan bahwa baja ST 37 atau SS400 adalah baja dengan kekuatan tarik tidak kurang dari 400 kg/mm². Pada baja ST 37 nilai tegangan tekan yang aman seringkali

merujuk pada nilai tegangan lelehnya, sehingga nilai $F_y = 240\text{MPa}$ bisa menjadi pedoman untuk mendesain agar tidak melebihi batas deformasi permanen. Setelah perlakuan panas *tempering*, nilai tegangan geser maksimum yang pernah diukur pada material baja ST 37 adalah 566.62 Mpa dan nilai torsi maksimum yang dihasilkan pada pengujian puntir adalah 13,90 Nm.

3.15.3 Stainless Steel

Stainless Steel diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya, terutama kandungan kromium, nikel, dan unsur paduan lainnya. Kodefikasi stainless steel umumnya menggunakan sistem angka tiga digit, seperti seri 200, 300, dan 400, yang menunjukkan jenis dan propertinya. beberapa macam klasifikasi Stainless Steel sesuai kadarnya, yaitu :

- a) Austenitic (Seri 200 dan Seri 300).

Tipe ini memiliki kandungan kromium dan nikel yang tinggi, membuatnya tahan korosi dan non-magnetik.

- b) Ferritic (Seri 400).

Tipe ini memiliki kandungan kromium yang lebih tinggi dan nikel yang lebih rendah, memberikan kekuatan dan ketahanan panas yang baik.

- c) Martensitic (Seri 400).

Tipe ini dapat dikeraskan melalui perlakuan panas, memberikan kekuatan dan kekerasan yang tinggi.

- d) Duplex

Memiliki struktur ganda austenitik dan feritik, memberikan kombinasi kekuatan dan ketahanan korosi yang baik. Kodefikasi pada material Stainless Steel adalah sebagai berikut :

e) Sistem Angka (AISI/SAE)

Menggunakan tiga digit angka untuk mengidentifikasi jenis stainless steel. Contoh: 304, 316, 430.

f) Sistem Angka (JIS)

Menggunakan awalan “SUS” yang diikuti angka. Contohnya SUS 304 dan SUS 316.

g) Sistem UNS (Unified Numbering System)

Menggunakan istilah “S” dan diikuti dengan lima digit angka. Contohnya S30400, dan S31600.

Stainless Steel 304 adalah baja tahan karat jenis austenitic yang mengandung 18% Cr dan 8% Ni (Cr-Ni 18/8). Material ini banyak dipakai karena tahan korosi, non-magnetik, dan mudah dibentuk. Untuk tegangan tarik dari spesimen ini yaitu 500-620 Mpa. Tegangan geser (shear strength) material stainless steel bervariasi tergantung pada grade (tipe) dan kondisi perlakuan materialnya (misalnya, *annealed* atau *cold worked*). Secara umum, nilai tipikal berada dalam kisaran 240 hingga 630 MPa. Tegangan tekan (kekuatan tekan) material *stainless steel* bervariasi tergantung pada jenis (grade) dan perlakuan materialnya, namun umumnya berada dalam kisaran 170 MPa hingga lebih dari 310 Mpa, dan nilai torsi maksimum yang dihasilkan pada pengujian puntir adalah 33,45 Nm.

3.15.4 Klasifikasi dan Kodefikasi Aluminium

Alumunium diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya dan sistem penomoran yang dikembangkan oleh *The Aluminum Asssotiation (AA)*. Sistem ini menggunakan kode empat digit, untuk mengidentifikasi paduan aluminium. Digit pertama menunjukkan unsur paduan utama, digit kedua dan ketiga menunjukkan paduan spesifik, dan digit keempat menunjukkan bentuk produk (ingot atau pengecoran). Berikut adalah penjelasan lebih rinci mengenai klasifikasi dan kodefikasi aluminium:

a) Sistem Penomoran *Aluminum Association (AA)*

- 1) Digit pertama menunjukan unsur paduan ke aluminium.
 - 1XXX : Aluminum murni (minimal 99% aluminum)
 - 2XXX : Tembaga (Cu).
 - 3XXX : Mangan (Mn).
 - 4XXX : Silikon (Si).
 - 5XXX : Magnesium (Mg.)
 - 6XXX : Magnesium dan Silikon (Mg dan Si).
 - 7XXX : Seng (Zn).
 - 8XXX : Unsur lain.
- 2) Digit kedua dan ketiga menunjukkan paduan spesifik dan modifikasi dalam seri tersebut.
- 3) Digit keempat menunjukkan bentuk produk, biasanya 0 untuk pengecoran dan 1 atau 2 untuk ingot.

b) Kode Paduan Aluminium

- 1) AA 1100: Aluminium murni dengan 99% aluminium.
- 2) AA 6061: Paduan aluminium yang mengandung magnesium dan silikon, umum digunakan dalam konstruksi.
- 3) AA 7075: Paduan aluminium berkekuatan tinggi yang mengandung seng, sering digunakan dalam aplikasi kedirgantaraan.

c) Penggunaan Kode pada Aluminium

Kode-kode ini digunakan untuk mengidentifikasi paduan aluminium dalam berbagai aplikasi, mulai dari konstruksi, otomotif, hingga dirgantara. Kode ini membantu memastikan bahwa paduan yang tepat digunakan untuk aplikasi tertentu, dengan mempertimbangkan sifat-sifat seperti kekuatan, ketahanan korosi, dan kemampuan las.

d) Klasifikasi lainnya

Selain sistem AA, ada juga klasifikasi berdasarkan bentuk fisik, seperti:

- 1) Batangan (bar): Tersedia dalam berbagai bentuk (bulat, datar, persegi, dll.) dan digunakan dalam berbagai aplikasi struktural dan mekanis.
- 2) Profil (profile): Didesain untuk aplikasi khusus, seperti kusen jendela dan pintu.
- 3) Lembaran (sheet) dan Pelat (plate): Digunakan dalam

berbagai aplikasi, termasuk otomotif dan konstruksi.

- 4) Kawat (wire): Digunakan dalam aplikasi pengelasan dan elektronik.

Aluminium 6061-T6 merupakan paduan aluminium-magnesium-silikon (Al-Mg-Si) yang paling umum digunakan di bidang teknik karena memiliki kombinasi kekuatan, ketahanan korosi, dan kemudahan fabrikasi yang sangat baik. Kode “T6” menunjukkan bahwa material ini telah melalui perlakuan panas (solution heat treated) dan diaging buatan (artificially aged) untuk mendapatkan kekuatan maksimum. Tegangan tarik pada spesimen ini adalah 310 MPa. Tegangan tekan (kekuatan tekan) material aluminium sangat bervariasi, berkisar antara 40 MPa hingga lebih dari 500 MPa, Tegangan geser (kekuatan geser) aluminium sangat bervariasi tergantung pada jenisnya, misalnya aluminium murni memiliki kekuatan geser sekitar 30 MPa, sedangkan paduan aluminium seperti 6061-T6 dapat memiliki kekuatan geser hingga 150 MPa atau lebih. Nilai torsi maksimum yang dihasilkan pada pengujian puntir adalah 83,76 Nm.

3.15.5 Klasifikasi dan Kodefikasi Kuningan

Kuningan, atau brass, adalah paduan logam yang terutama terdiri dari tembaga dan seng. Klasifikasi kuningan didasarkan pada komposisi kimianya, khususnya persentase seng yang terkandung, serta penambahan unsur lain seperti timah, timbal, atau aluminium. Tegangan tarik pada spesimen ini adalah 350 MPa.

Kodefikasi kuningan, jika ada, biasanya terkait dengan standar industri atau sistem penomoran spesifik yang digunakan untuk mengidentifikasi paduan tertentu. Berikut klasifikasi kuningan berdasarkan komposisinya :

- a) Kuningan Rendah (Low Brass) mengandung sekitar 20% seng. Memiliki warna keemasan yang khas.
- b) Kuningan Umum (Common Brass): Mengandung sekitar 37% seng. Merupakan jenis kuningan yang umum digunakan karena sifat kerjanya yang baik.
- c) Kuningan Alpha: Mengandung seng kurang dari 35%
- d) Kuningan Alpha-Beta (Muntz Metal): Mengandung 35-45% seng. Cocok untuk pengerjaan panas.
- e) Kuningan Admiralty: Mengandung sekitar 30% seng dan 1% timah.
- f) Kuningan Naval: Kuningan 6/4 (35-45% seng) yang ditambahkan timah 0.5-1.5% Kodefikasi kuningan biasanya mengikuti standar industri seperti :

1. Unified Numbering System (UNS)

Sistem ini memberikan kode unik untuk berbagai paduan, termasuk kuningan. Misalnya, UNS C21000 untuk kuningan dengan kadar tembaga 99.5%.

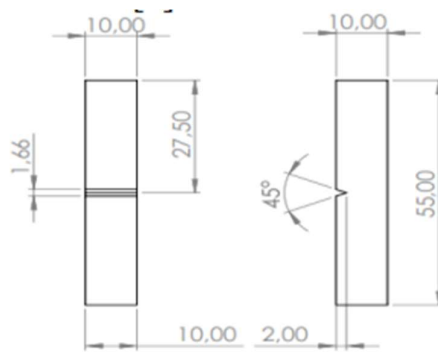
2. SAE (Society Of Automotive Engineers) dan ASTM (American Society for Test and Material)

Tegangan tarik material kuningan bervariasi tergantung pada

paduannya, tetapi umumnya berkisar antara 300 hingga 550 MPa (sekitar 43.500 hingga 79.800 psi). Tegangan geser material kuningan adalah sekitar $344,35 \text{ N/mm}^2$. Nilai torsi maksimum yang dihasilkan pada pengujian puntir adalah 50 Nm.

3.15.6 Persiapan Bahan Pengujian

- Spesimen yang digunakan adalah batang logam dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 55 mm.
- Pada bagian belakang (membelakangi arah pendulum) dibuat sebuah takikan dengan kedalaman 2 mm dan membentuk sudut 45° .
- Catat ukuran serta jenis bahan setiap spesimen uji tersebut pada lembar data.



Gambar 3. 28 Ukuran spesimen benda uji

(Sumber : Standard ASTM E 23)

3.16 Pengujian Spesimen Uji Impak

Pengujian impak charpy banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Pada pengujian ini akan dipergunakan batang uji berbentuk balok persegi panjang dengan takikan bentuk V (V-Notch). Pengujian

impak charpy dilakukan untuk mengetahui sifat liat dari bahan yang ditentukan dari banyaknya energi yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji dengan sekali pukul.

Yang pertama dilakukan adalah menyiapkan spesimen uji, setelah itu catat ukuran serta jenis bahan setiap spesimen uji pada lembar data. Setelah spesimen siap, langkah selanjutnya adalah menyiapkan alat uji impact charpy.

Letakkan spesimen yang sudah siap tersebut pada anvil, angkat pendulum dengan sudut 155° lalu kunci, setelah itu lepaskan pengunci. Ketika pendulum mengenai spesimen jarum penunjuk nilai puncak merekam energi impact dan jarum penunjuk energi terserap akan bergerak secara langsung saat pendulum berayun dan memberikan hasil pengukuran dalam satuan joule (J). Kombinasi kedua jarum ini memastikan akurasi pembacaan energi impact dan memudahkan dalam evaluasi ketangguhan material yang diuji. Setelah hasilnya keluar, maka catat besar energi yang diserap oleh batang uji pada tabel pengambilan data.

3.17 Kalibrasi

Metode yang digunakan untuk kalibrasi adalah membandingkan alat yang dimiliki dengan alat yang lebih standar. Pengujian pada alat tersebut menggunakan jenis dan jumlah spesimen yang sama. Kemudian dari kedua alat tersebut dapat ditentukan standar deviasi. Pengujian alat pembanding dilakukan pada hari Senin, 4 Agustus 2025 di Laboratorium Pengujian Material Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Identitas alat uji yang dibuat diberi kode “Workshop RPM” dan alat uji pembanding diberi kode “LAB-TM”. Jenis-jenis

material spesimen uji nya antara lain :

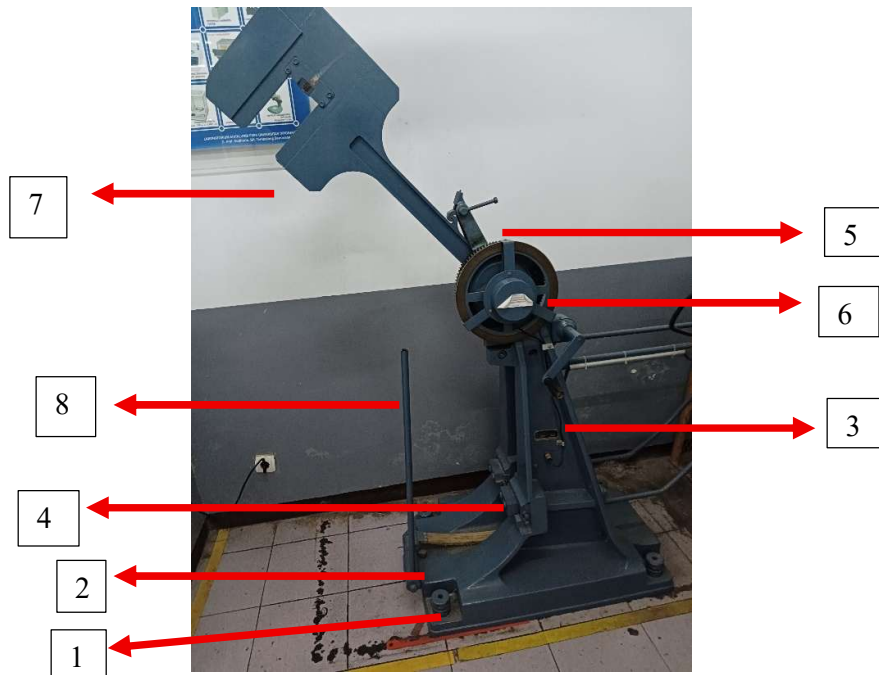
1. Baja ST 37 (ST 37)
2. Stainless Steel (SS)
3. Alumunium (AL)
4. Kuningan (KN)

Pengujian masing-masing jenis bahan dilakukan sebanyak tiga kali karena dari pengujian sebanyak tiga kali ini sudah mempresentasikan nilai impact pada masing-masing bahan.

Data dari alat pembanding adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 9 Spesifikasi alat pembanding

Jenis	:	Alat Uji Impak-Charpy V-Notch Bar
Merk	:	Shimadzu Coy-Japan
Kapasitas	:	30 kgf.m
Standar Alat	:	JIS B7722
Standar Spesimen	:	ASTM E-23
Sudut Efektif	:	140,18°
Berat Pendulum	:	26,01 kg
Jari-jari	:	0,75 m
Material <i>Treatment</i>	:	Instruksi penyalan AC ruangan oleh pembimbing lapangan, suhu ruangan lebih kurang 22-23°



Gambar 3. 29 Alat impact pembanding

Keterangan:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| 1. Dudukan mesin / body | 7. Tuas pengereman |
| 2. Sabuk rem pengaman | 8. Palu Charpy |
| 3. Engkol pengungkit | |
| 4. Peletakan specimen | |
| 5. Tuas rem | |
| 6. Skalator derajat | |

3.17.1 Pengujian pada alat yang sudah di modifikasi

Tabel 3. 10 Hasil pengujian alat yang sudah di modifikasi

No	Identitas Spesimen	Sudut Awal ($\cos \alpha$)	Sudut Akhir ($\cos \beta$)
1	ST 37-1	155	115
2	ST 37-2	155	115
3	ST 37-3	155	115
4	ST 37-4	155	115

5	ST 37-5	155	114
6	ST 37-6	155	114
7	ST 37-7	155	114
8	ST 37-8	155	114
9	ST 37-9	155	114
10	ST 37-10	155	114
11	ST 37-11	155	114
12	ST 37-12	155	114
13	SS 1	155	87
14	SS 2	155	87
15	SS 3	155	87
16	SS 4	155	87
17	SS 5	155	86
18	SS 6	155	86
19	SS 7	155	86
20	SS 8	155	86
21	SS 9	155	87
22	SS 10	155	87
23	SS 11	155	87
24	SS 12	155	87
25	AL 1	155	126
26	AL 2	155	126
27	AL 3	155	126
28	AL 4	155	126
29	AL 5	155	127
30	AL 6	155	127
31	AL 7	155	127
32	AL 8	155	127
33	AL 9	155	126
34	AL 10	155	126
35	AL 11	155	126
36	AL 12	155	126
37	KN 1	155	132
38	KN 2	155	132
39	KN 3	155	132
40	KN 4	155	132
41	KN 5	155	131
42	KN 6	155	131

43	KN 7	155	131
44	KN 8	155	131
45	KN 9	155	131
46	KN 10	155	131
47	KN 11	155	131
48	KN 12	155	131

Perhitungan energi yang terserap pada spesimen uji pada pengujian alat yang sudah di modifikasi.

Energi yang terserap (J) :

$$J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dimana :

m = Massa pendulum = 22 kg

g = Kecepatan gravitasi = 9,81 m/s

λ = Panjang lengan ayun pendulum = 0,55 m

$\cos \alpha$ = Sudut awal pendulum

$\cos \beta$ = Sudut akhir pendulum

Dari persamaan diatas, didapatkan besarnya nilai impak yaitu :

$$K = \frac{J}{A}$$

K = Nilai impak (J/mm^2)

J = Energi yang diserap

A = Luas penampang dibawah takikan (mm^2)

3.17.2 Pengujian pada alat pembanding (LAB-TM)

Tabel 3. 11 Hasil pengujian alat pembanding

No	Identitas Spesimen	Sudut Awal ($\cos \alpha$)	Sudut Akhir ($\cos \beta$)
1	ST 37-1	140,18	111
2	ST 37-2	140,18	111
3	ST 37-3	140,18	111
4	ST 37-4	140,18	111
5	ST 37-5	140,18	111
6	ST 37-6	140,18	111
7	ST 37-7	140,18	111
8	ST 37-8	140,18	111
9	ST 37-9	140,18	112
10	ST 37-10	140,18	112
11	ST 37-11	140,18	112
12	ST 37-12	140,18	112
13	SS 1	140,18	96
14	SS 2	140,18	96
15	SS 3	140,18	96
16	SS 4	140,18	96
17	SS 5	140,18	97
18	SS 6	140,18	97
19	SS 7	140,18	97
20	SS 8	140,18	97
21	SS 9	140,18	96
22	SS 10	140,18	96
23	SS 11	140,18	96
24	SS 12	140,18	96
25	AL 1	140,18	122
26	AL 2	140,18	122
27	AL 3	140,18	122
28	AL 4	140,18	122
29	AL 5	140,18	123
30	AL 6	140,18	123
31	AL 7	140,18	123
32	AL 8	140,18	123
33	AL 9	140,18	123
34	AL 10	140,18	123

35	AL 11	140,18	123
36	AL 12	140,18	123
37	KN 1	140,18	128
38	KN 2	140,18	128
39	KN 3	140,18	128
40	KN 4	140,18	128
41	KN 5	140,18	129
42	KN 6	140,18	129
43	KN 7	140,18	129
44	KN 8	140,18	129
45	KN 9	140,18	128
46	KN 10	140,18	128
47	KN 11	140,18	128
48	KN 12	140,18	128

Perhitungan energi yang terserap pada spesimen uji pada pengujian alat pembanding (LAB-TM)

Energi yang terserap (J) :

$$J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Dimana :

m = Massa pendulum = 26,01 kg

g = Kecepatan gravitasi = 9,81 m/s

λ = Panjang lengan ayun pendulum = 0,75 m

$\cos \alpha$ = Sudut awal pendulum

$\cos \beta$ = Sudut akhir pendulum

Dari persamaan diatas, didapatkan besarnya nilai impak yaitu :

$$K = \frac{J}{A}$$

Dimana :

K = Nilai impak (J/mm^2)

J = Energi yang diserap

A = Luas penampang dibawah takikan (mm^2)

Untuk menentukan besarnya nilai tegangan impak dapat diformulakan sebagai berikut :

$$\tau = \frac{F_{impak}}{A}$$

Dimana :

τ = Tegangan impak

F_{impak} = Gaya impak yang terjadi

A = Luas penampang dibawah takikan (mm^2)

Untuk nilai F_{impak} adalah sebagai berikut :

$$F_{impak} = m \cdot a$$

$$F_{impak} = 22 \text{ Kg} \cdot 4,7 \text{ m/s}$$

$$F_{impak} = 103,4 \text{ N}$$

Maka, didapatkan :

$$\tau = \frac{103,4 \text{ N}}{100 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = \frac{103,4 \text{ N}}{10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\tau = 1.034.000 \text{ N/m}^2$$

$$\tau = 1.034 \text{ Mpa}$$

3.18 Pengolahan Data

Pengolahan data dalam uji impact v-charpy bertujuan untuk menentukan energi serapan material serta karakteristik patahan setelah spesimen diuji. Tahapan pengolahan data dimulai dengan *analisis mode patahan*, di mana setelah spesimen mengalami kerusakan, jenis patahan dianalisis berdasarkan karakteristik permukaan patahan tersebut.

Pengujian alat dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah alat dapat bekerja dengan baik setelah di modifikasi, untuk memastikan sistem pengaman dan pengereman berfungsi efektif, untuk membandingkan hasil pembacaan energi terhadap alat yang sudah standar.

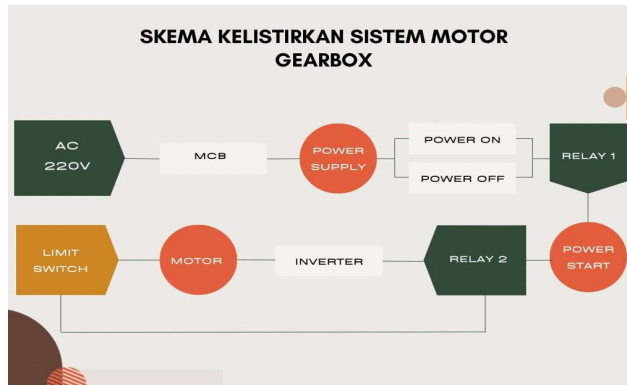
Uji impact Charpy V-notch digunakan untuk mengetahui energi yang dibutuhkan untuk mematahkan spesimen uji yang memiliki takikan berbentuk V. Energi ini merepresentasikan ketangguhan material.

- a. Semakin besar energi yang diserap, maka material lebih ulet
- b. jika semakin kecil energi yang diserap, maka material cenderung getas.

3.18.1 Alat dan Bahan Pengujian

- a. Menentukan ketangguhan atau energi impak material uji.
- b. Spesimen uji berbentuk balok dengan takikan V (standar ASTM E23: 55 mm × 10 mm × 10 mm, notch V sedalam 2 mm)
- c. Vernier caliper atau mikrometer
- d. Termometer (jika pengujian pada temperatur tertentu)

3.18.2 Skema Sistem Kelistrikan



Gambar 3. 30 Skema sistem kelistrikan motor gearbox

3.18.3 Prosedur dalam Pengujian

1. Persiapan Spesimen

a. Ukur dimensi spesimen sesuai dengan standar ASTM E 23 yaitu :

Panjang : 55 mm

Lebar : 10 mm

Tinggi : 10 mm

Sudut takikan : 45 derajat dengan kedalaman 2 mm

Pastikan spesimen memiliki takik berbentuk V sesuai standar.

2. Persiapan pengujian

a. Kondisi alat

1. Pastikan pendulum, bantalan, poros, dan mekanisme pembacaan energi/dial indicator berfungsi baik.
2. Periksa komponen-komponen sistem kelistrikan, pastikan berfungsi dengan baik dan tidak ada potensi kerusakan.
3. Periksa sistem pengereman & pengaman

b. Spesimen

1. Ukuran dan bentuk sesuai standar ASTM E23 (panjang, lebar,

ketebalan, dan sudut notch).

2. Notch dibuat dengan akurasi tinggi (sudut 45° , kedalaman ± 2 mm, radius ujung $\pm 0,25$ mm).
3. Permukaan bebas dari cacat yang tidak diinginkan (retak awal, goresan).
4. Material diidentifikasi (jenis baja ST 37, aluminium, Stainless Steel, Kuningan) dan kondisi (heat treatment, suhu uji).

c. Suhu spesimen

Jika pengujian di suhu tertentu (misalnya suhu rendah), gunakan chamber pendingin/pemanas dan catat suhu sebelum uji.

d. Keselamatan Kerja

1. Gunakan pelindung (safety shield) untuk mencegah serpihan terlempar
2. Jangan berdiri di jalur lintasan pendulum.
3. Gunakan APD: kacamata safety, sarung tangan, sepatu, dan baju praktek saat pengujian
4. Pastikan area sekitar alat bersih dari benda yang dapat mengganggu.
5. Pastikan komponen kelistrikan dalam keadaan kering agar tidak menimbulkan konsleting.

3. Pelaksanaan Pengujian

- a. Setting jarum pengukur derajat awal dan derajat akhir dengan posisi 0 derajat
- b. Cek posisi pendulum sebelum pengujian dengan posisi tepat di tengah anvil dan secara tegak lurus.

- c. Tekan pengunci lengan pendulum secara sempurna untuk mengunci pendulum saat terangkat.
- d. Atur poros *gear motor gear box* dan poros *gear* pendulum agar menempel secara sempurna.
- e. Hubungkan/sambungkan kabel dari panel box ke sumber listrik (*stopcontact*)
- f. Tekan tombol *on-off* berwarna merah untuk menghidupkan sistem kelistrikan.
- g. Putar knop *speed control* untuk mengatur kecepatan motor gearbox sesuai rpm yang diinginkan.
- h. Tekan tombol hijau untuk menyalakan motor gear box, lampu kuning akan menyala ketika motor gear box bekerja mengangkat pendulum hingga ketinggian 155 derajat, pendulum akan berhenti otomatis ketika mengenai limit switch.
- i. Tekan tombol off pada box panel untuk memutuskan arus listrik ke box panel.
- j. Pasang spesimen di atas anvil mesin impact dengan posisi takikan menghadap menjauh dari arah datangnya pendulum. Dan posisikan spesimen dengan posisi *center* dan sejajar.
- k. Cabut colokan listrik dari sumber arus listrik untuk memutuskan arus listrik yang mengalir ke box panel
- l. Cek kembali situasi sekitar alat uji impact charpy v notch dan pastikan aman tidak ada orang di jalur lintasan ayunan pendulum
- m. Lepaskan pendulum hingga mengenai dan mematahkan spesimen.

- n. Tarik tuas sistem pengereman hingga pendulum
- o. Catat energi yang ditunjukkan oleh indikator dari alat uji baik digital maupun analog.

4. Pencatatan Data

- a. Catat hasil pengujian ke dalam tabel data.
- b. Jika dilakukan beberapa kali, ambil rata-rata dan simpangan baku.
- c. Catat energi yang dibaca dari dial indikator atau sistem digital (dalam Joule).
- d. Hitung besarnya nilai harga impak seperti dalam rumus yang sebelumnya dijelaskan.
- e. Catat kondisi patahan (getas, ulet, campuran) dan dokumentasikan foto jika perlu.
- f. Simpan semua data pengujian untuk analisis

Data yang diambil

Tabel 3. 12 Data yang diambil

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1	Dimensi spesimen (panjang, lebar, tinggi)	mm	Untuk validasi ukuran sesuai standar
2	Ukuran takikan (kedalaman & sudut)	mm / °	Harus sesuai: kedalaman 2 mm, sudut 45°

3	Temperatur spesimen	°C	(Jika dilakukan pengujian suhu rendah)
4	Energi impak	Joule (J)	Energi yang diserap untuk mematahkan spesimen
5	Jenis patahan	Visual (ulet / getas)	Ditentukan dari bentuk permukaan patahan
6	Jumlah spesimen	Unit	Biasanya minimal 3 untuk tiap kondisi
7	Rerata energi impak	Joule (J)	Dari 3 kali pengujian
8	Simpangan baku energi	Joule (J)	Untuk mengetahui penyimpangan data

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

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

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 $(J - Jm)^2$ pada workshop dan lab teknik mesin

No.	$(J - Jm)^2$ Workshop	$(J - Jm)^2$ Lab-TM
1.	$(57,33 - 58,59)^2 : (-1,266)^2 : 1,602 \text{ Joule}$	$(78,54 - 77,51 : (1,03)^2 : 1,06 \text{ Joule}$
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

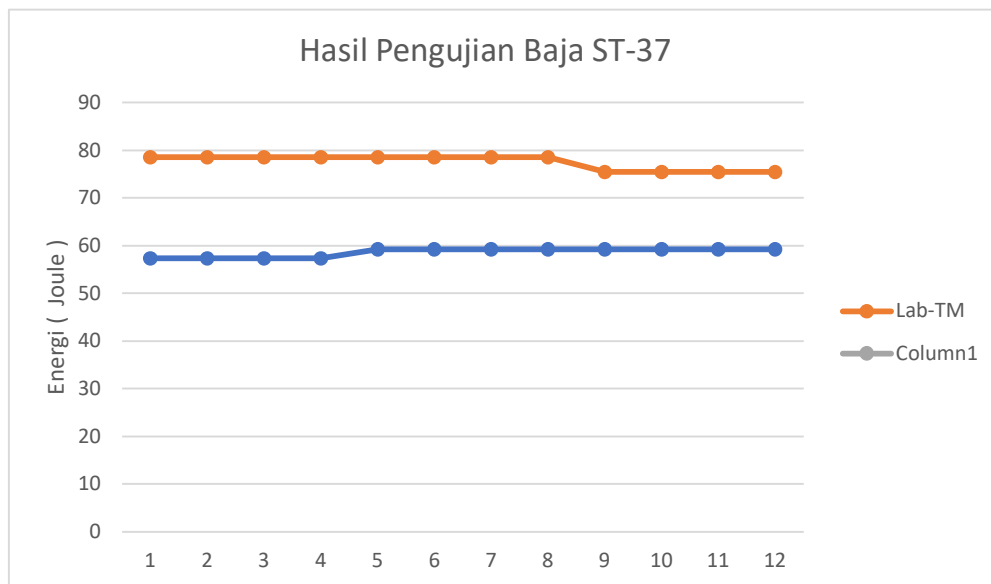
Perhitungan untuk bahan baja ST 37 Standar Deviasi dan Standar errornya sebagai berikut :

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

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 impact, 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 Pemanding (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.	$(112,76 - 113,553)^2 : (-0,793)^2 : 0,628 \text{ Joule}$	$(126,774 - 125,456)^2 : (1,318)^2 : 1,73 \text{ Joule}$
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

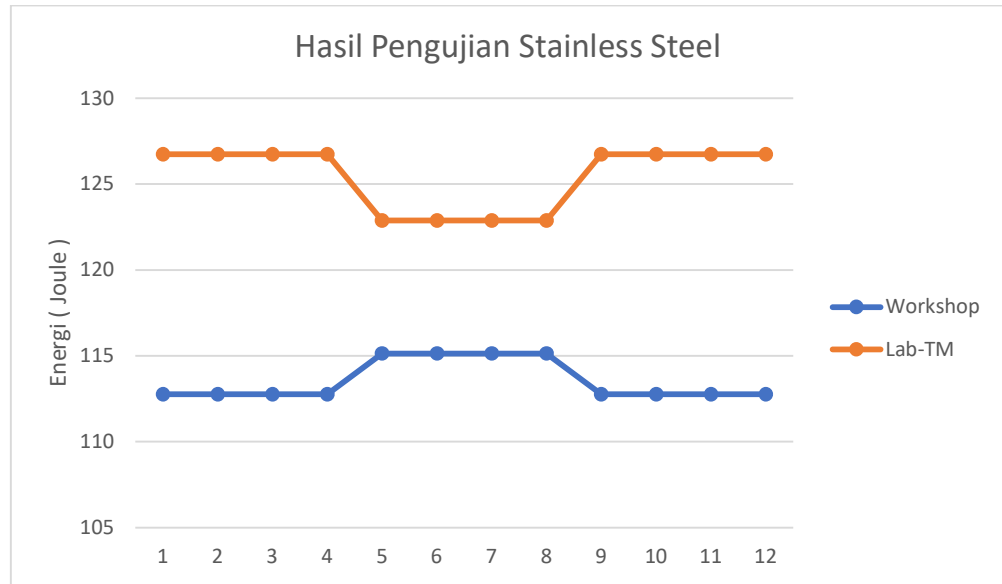
n : Jumlah Data

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.

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

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

$$= 119,504$$

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

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

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

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

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

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 impact, 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.

4.4 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> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (\cos 126 - \cos 155)$ $J = 22 \cdot 9,81 \cdot 0,55 (0,318)$ $J = 37,746 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{37,746 \text{ J}}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,377 \text{ J/mm}^2$ <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> $J = m \cdot g \cdot \lambda (\cos \beta - \cos \alpha)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (\cos 122 - \cos 140,18)$ $J = 26,1 \cdot 9,81 \cdot 0,75 (0,23)$ $J = 43,99$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{43,99 \text{ J}}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,4399 \text{ J/mm}^2$ <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 impact 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 Impact

J_m : Energi Impact 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

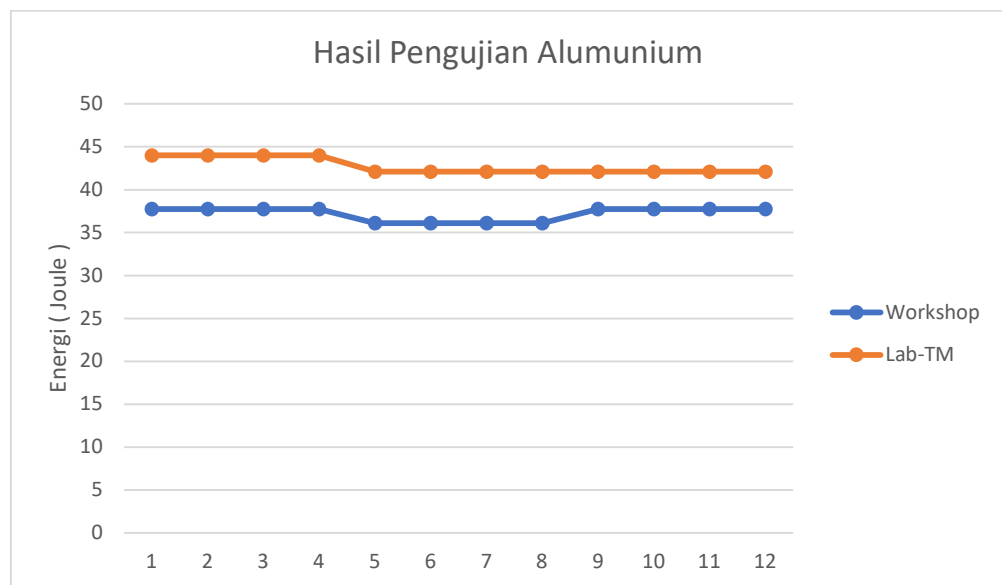
Perhitungan untuk bahan aluminium Standar Deviasi dan Standar errornya sebagai berikut :

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 impact, 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.

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

$J = 28,132 \text{ Joule}$ $K = \frac{J}{A}$ $K = \frac{28,132 J}{100 \text{ mm}^2}$ $K = 0,281 J/\text{mm}^2$ <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:

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

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 Joule	$(43,99 - 42,71)^2$: $(1,28)^2$: 1,638 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

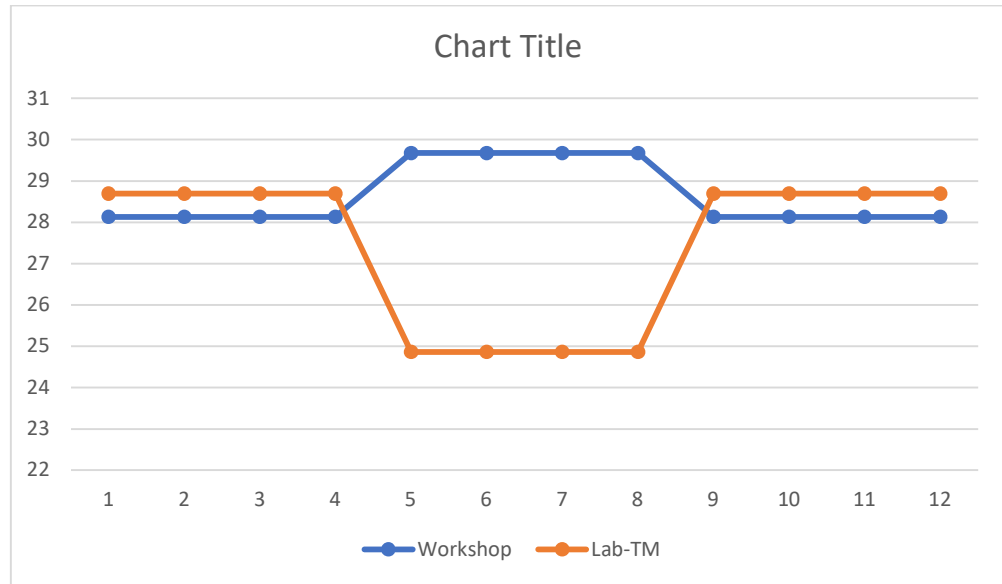
sebagai berikut :

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.

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

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

$$= 28,031$$

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

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

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

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

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

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 impak. Dengan memaparkan hasil pengujian secara sistematis, dapat ditentukan apakah alat uji yang dirancang sesuai dengan standar alat uji impak yang baku.

4.6 Perbandingan Hasil Pengujian Semua Material

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

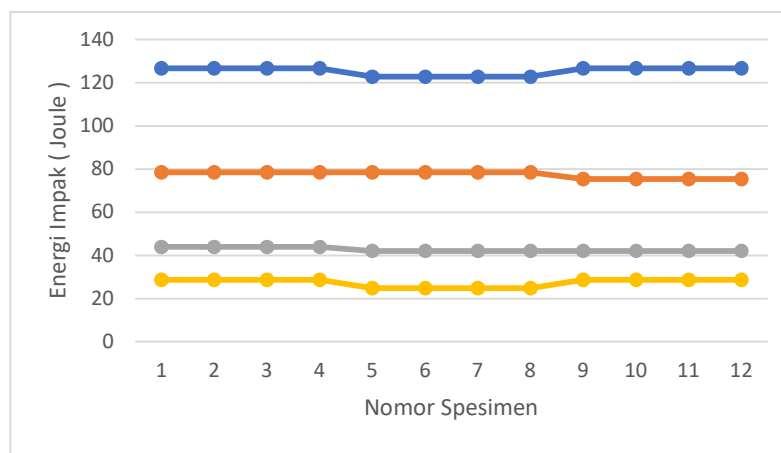
Tabel 4. 21 Standar deviasi dan Standar error pada setiap spesimen

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			

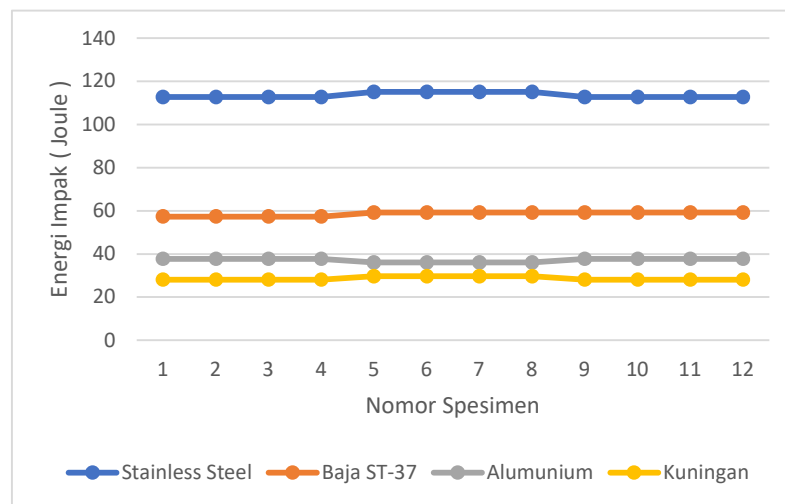
37.	KN 1	28,132	28,031 $\pm$ 1,54	1,12%	5,5%
38.	KN 2	28,132			
39.	KN 3	28,132			
40.	KN 4	28,132			
41.	KN 5	29,675			
42.	KN 6	29,675			
43.	KN 7	29,675			
44.	KN 8	29,675			
45.	KN 9	28,132			
46.	KN 10	28,132			
47.	KN 11	28,132			
48.	KN 12	28,132			

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 menunjukan energi yang terserap oleh bahan Baja ST 37, Stainless Steel, Alumunium dan Kuningan dengan nomor specimen 1, 2, dan 3. Pada alat uji pembanding 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.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Modifikasi alat uji impact Charpy V-notch berhasil dilakukan sehingga alat mampu menunjukkan hasil pengukuran energi serapan dengan lebih tepat sesuai standar JIS B-7722 dengan spesifikasi kapasitas 240 Joule, sudut efektif 155°, berat pendulum 22 kg dan dengan jari-jari (R) 0,55 mm, dengan mekanisme angkat pendulum menggunakan motor *gearbox* yang mempermudah operator dalam mengangkat pendulum yang lebih aman dan efisien.
2. Sistem pengaman telah berhasil dirancang dan dipasang, memberikan perlindungan tambahan bagi operator selama proses pengujian.
3. Sistem pengereman manual sabuk berbahan kanvas berhasil ditambahkan dan berfungsi efektif untuk menghentikan bandul setelah pengujian tanpa mengganggu mekanisme utama.
4. Menggunakan standar ASTM E-23 untuk spesimen pengujian dengan ukuran 10mm x 10mm x 55mm. Dengan takik berbentuk V (sudut 45°, kedalaman 2 mm, radius ujung 0,25 mm).

5. Energi gesek yang diperoleh dari pengujian tanpa spesimen pada alat pembanding sebesar 8,25 Joule, sedangkan pada alat hasil modifikasi hanya 0,8 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa alat modifikasi memiliki tingkat gesekan yang jauh lebih rendah, sehingga pembacaan energi impact lebih akurat dan energi yang terserap benar-benar merepresentasikan sifat material, bukan dipengaruhi oleh energi hilang akibat friksi.
6. Hasil perhitungan LAB-TM untuk bahan baja energi yang diserap adalah sebesar 77,51 joule dengan standar deviasi $\pm 1,51$ joule, untuk bahan *stainless steel* energi yang diserap adalah sebesar 125,456 Joule dengan standar deviasi $\pm 1,91$ Joule, untuk bahan aluminium energi yang diserap adalah sebesar 42,716 Joule dengan standar deviasi $\pm 0,94$ Joule, untuk bahan kuningan energi yang diserap adalah sebesar 27,416 Joule dengan standar deviasi $\pm 1,88$ Joule.
7. Hasil perhitungan Workshop untuk bahan baja energi yang diserap adalah sebesar 58,598 Joule dengan standar deviasi $\pm 0,935$ Joule, untuk bahan *stainless steel* energi yang diserap adalah sebesar 113,553 Joule dengan standar deviasi $\pm 1,17$ Joule, untuk bahan aluminium energi yang diserap adalah sebesar 37,192 Joule dengan standar deviasi $\pm 0,817$ Joule, untuk bahan kuningan energi yang diserap adalah sebesar 28,646 Joule dengan standar deviasi $\pm 0,759$ Joule.
8. Berdasarkan pembanding alat yang lebih standar, dapat

dinyatakan standar error alat sebesar 2,9%.

9. Spesimen yang bahannya bersifat ulet maka energi impak yang diserap lebih besar.

5.2 Saran

1. Alat uji impak hasil modifikasi ini perlu dilakukan perawatan dan pemeliharaan secara berkala, khususnya pada sistem pengereman dan motor pengangkat pendulum, agar kinerja alat tetap optimal dan umur pakainya lebih panjang.
2. Menambahkan sistem pengereman dapat dikembangkan menjadi otomatis dengan penambahan sensor maupun kontrol elektronik, sehingga lebih praktis dan dapat meminimalkan kesalahan operator.
3. Pengujian dapat diperluas dengan menambah variasi jenis material, sehingga performa alat dapat diuji lebih menyeluruh terhadap berbagai karakteristik material.

DAFTAR PUSTAKA

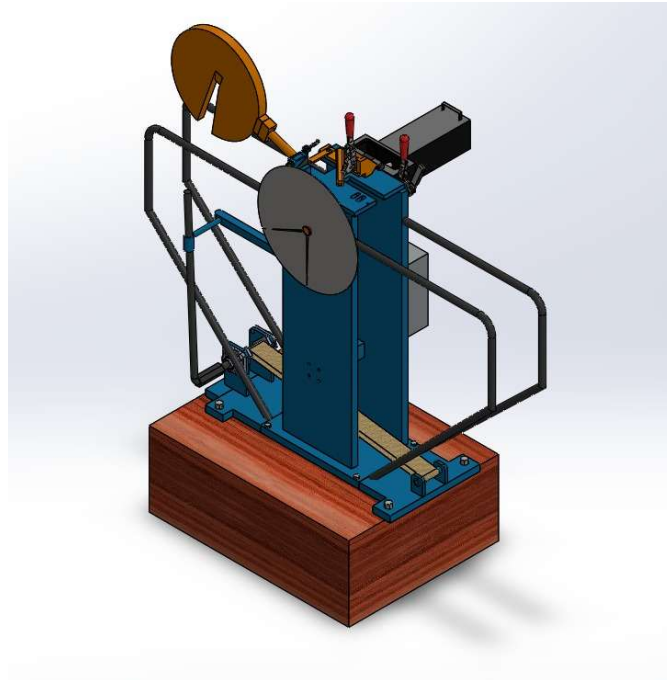
- Andrianto, Y, W Mangestiyono, B Setyoko (2014). Rancang Bangun Alat Uji Impek Charpy. Tugas Akhir, Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Dieter George E, University Of Maryland, 1987, " Metalurgi mekanik ", Halaman 91-117, Edisi ketiga, Jilid II, Jakarta, Erlangga, 1042.
- Esemka, A. E. (2013). *Program Studi Teknik Mesin , Universitas Islam 45 Bekasi*
Email : handoyoyopi@yahoo.com. 1(1), 17–25.
- F. Ismail, W Mangestiyono, B Setyoko. Rancang Bangun Alat Uji Impak Charpy, Tugas Akhir, Program Studi DIII Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.
- Holt, J. (1990). Charpy Impact Test: Factors and Variables. *Charpy Impact Test: Factors and Variables*. <https://doi.org/10.1520/stp1072-eb>
- Huda, M. K. (2018). Rancang Bangun Alat Uji Impact Metode Charpy. *Mechonversio: Mechanical Engineering Journal, 1(1), 7.*
<https://doi.org/10.51804/mmej.v1i1.348>
- John M. Amiss, Franklin D.Jones, And Henry H. Ryfeel, (2004). *Machinery Handbook 27th Edition*.
- Majanasastra, R. B. S. (2013). Karbon Tinggi (Aisi D2) Hasil Perlakuan Panas.
- Putranto, B. (2011). Perancangan Alat Uji Impak Charpy untuk Material Komposit Berpenguat Serat Alam (Natural Fiber). *Perancangan Aalat Uji Impact Charpy Untuk Material Komposit Berpenguat Serat Alam (Natural Fiber), 3,*

15.

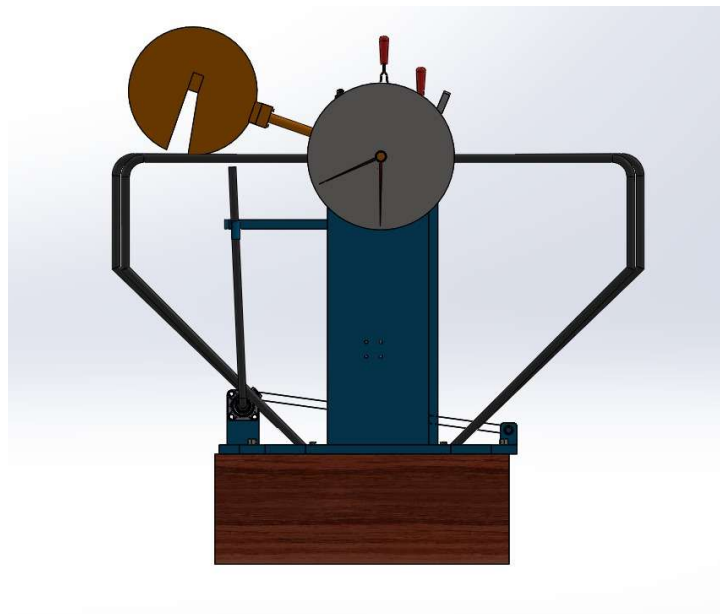
- Saba, N., Jawaaid, M., & Sultan, M. T. H. (2018). An overview of mechanical and physical testing of composite materials. In *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00001-1>
- Samlawi, A. K. (2016). Material Teknik. *Martensitic SS, 5191121001*, 48. [https://eprints.uad.ac.id/24681/1/MODUL KULIAH MATERIAL TEKNIK.pdf](https://eprints.uad.ac.id/24681/1/MODUL_KULIAH_MATERIAL_TEKNIK.pdf)
- Specimens, C. T., & Cores, T. D. (2017). *iTeh Standards Document Preview iTeh Standards Document Preview. i*, 4–6. <https://doi.org/10.1520/E0023-18.2>
- Standards, J. I. (2007). JIS-Japanese Industrial Standards. *Yamada, Y. Etc.* https://en.wikipedia.org/wiki/Japanese_Industrial_Standards
- Suarsana. (2017). Ilmu Material Teknik. *Universitas Udayana*, 47–56.
- Wahyu, M., & Irwan, A. (2020). Analisa Uji Impak Baja Carbon Steel 1045 Dengan Menggunakan Metode Charpy.
- Yopi Handoyo. (2018). Perancangan Alat Uji Impak Metode Charpy Kapasitas 100 Joule. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 1(2), 17–25.
- Zuhaimi, Z. (2017). Kekuatan impak baja ST 60 di bawah temperatur ekstrim. *Jurnal POLIMESIN*, 14(2), 33. <https://doi.org/10.30811/jpl.v14i2.341>

LAMPIRAN

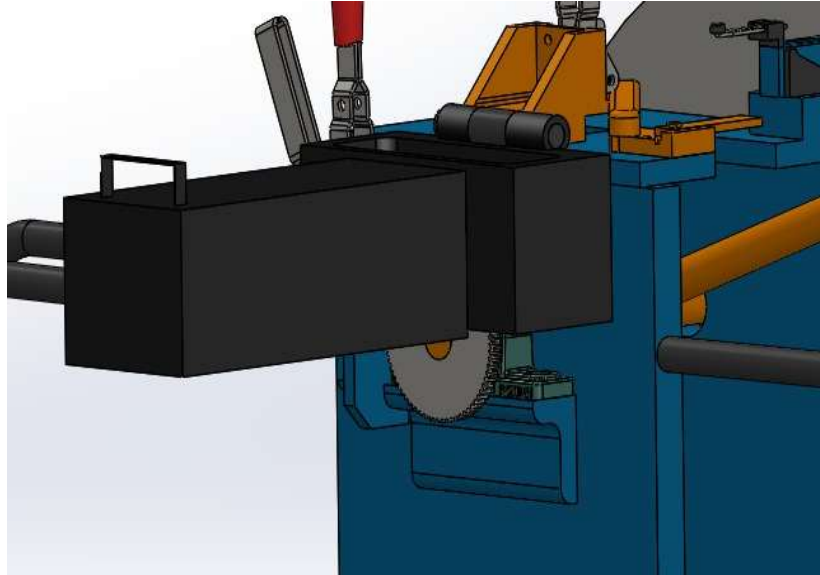
DESAIN LAMPIRAN



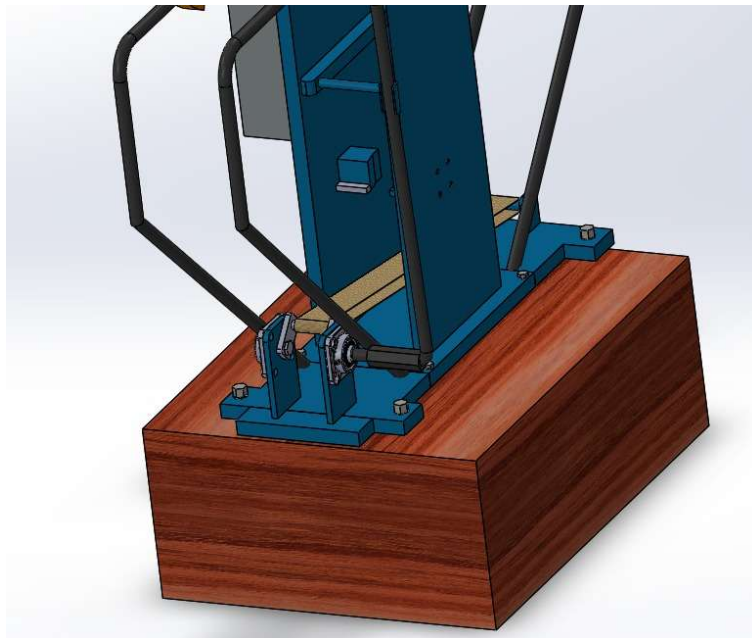
Lampiran 1 Alat Uji Impact Charpy V Notch



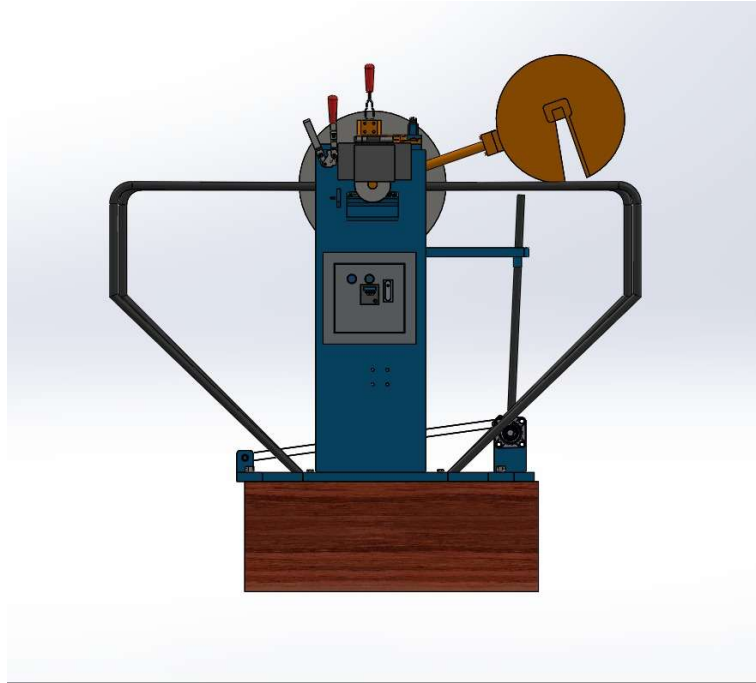
Lampiran 2 Tampak Samping Alat Uji Impact Charpy V Notch



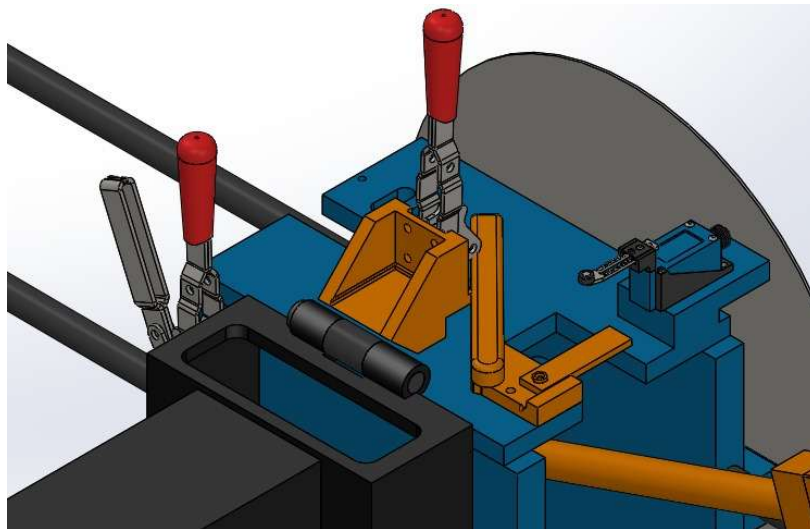
Lampiran 3 Sistem Penggerak Pendulum



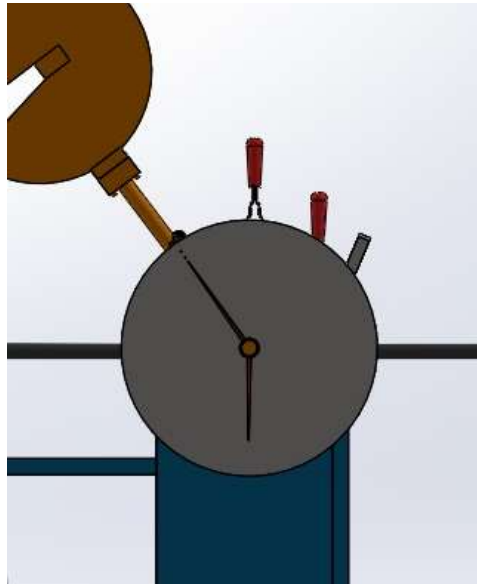
Lampiran 4 Sistem Pengereman Alat Uji Impact Charpy V Notch



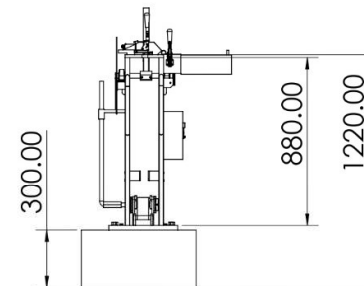
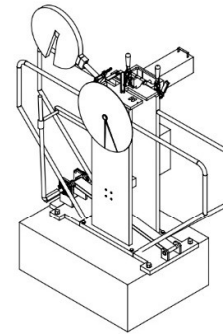
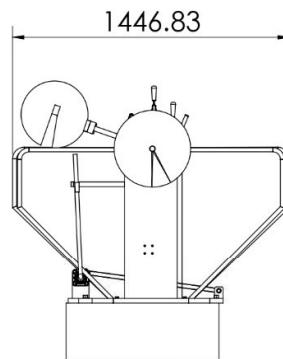
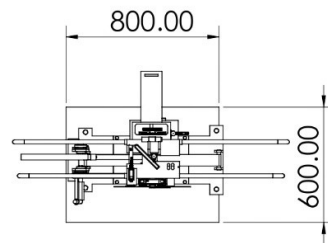
Lampiran 5 Sistem Pengaman Alat Uji Impact Charpy V Notch



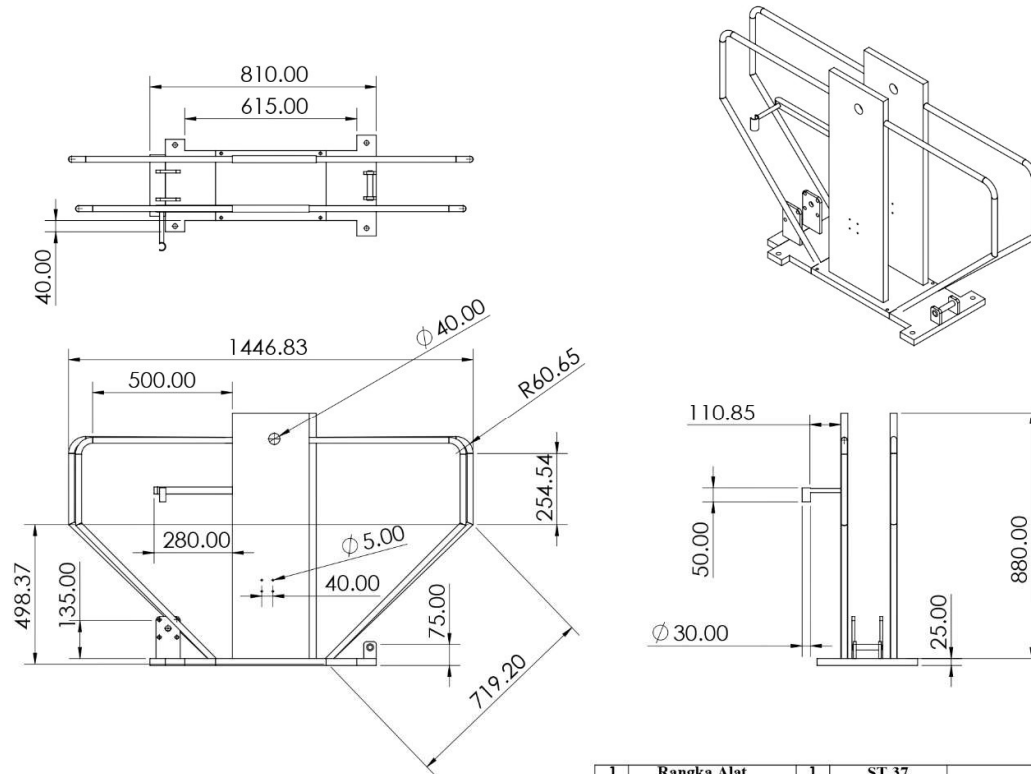
Lampiran 6. Sistem Pengunci Alat Uji Impact Charpy V Notch



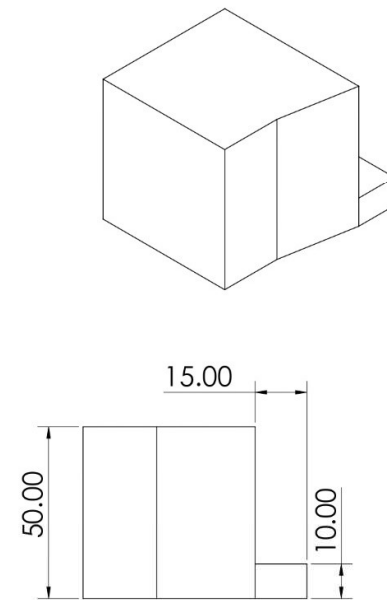
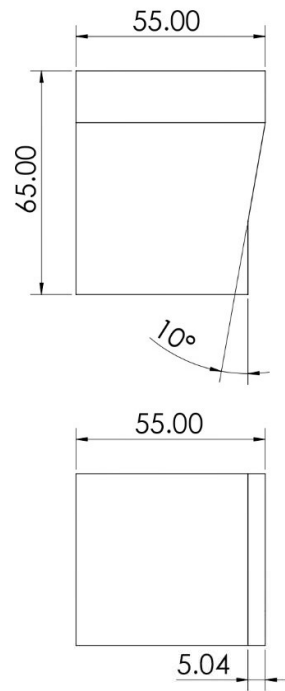
Lampiran 7. Sistem Pembacaan Dial Indicator



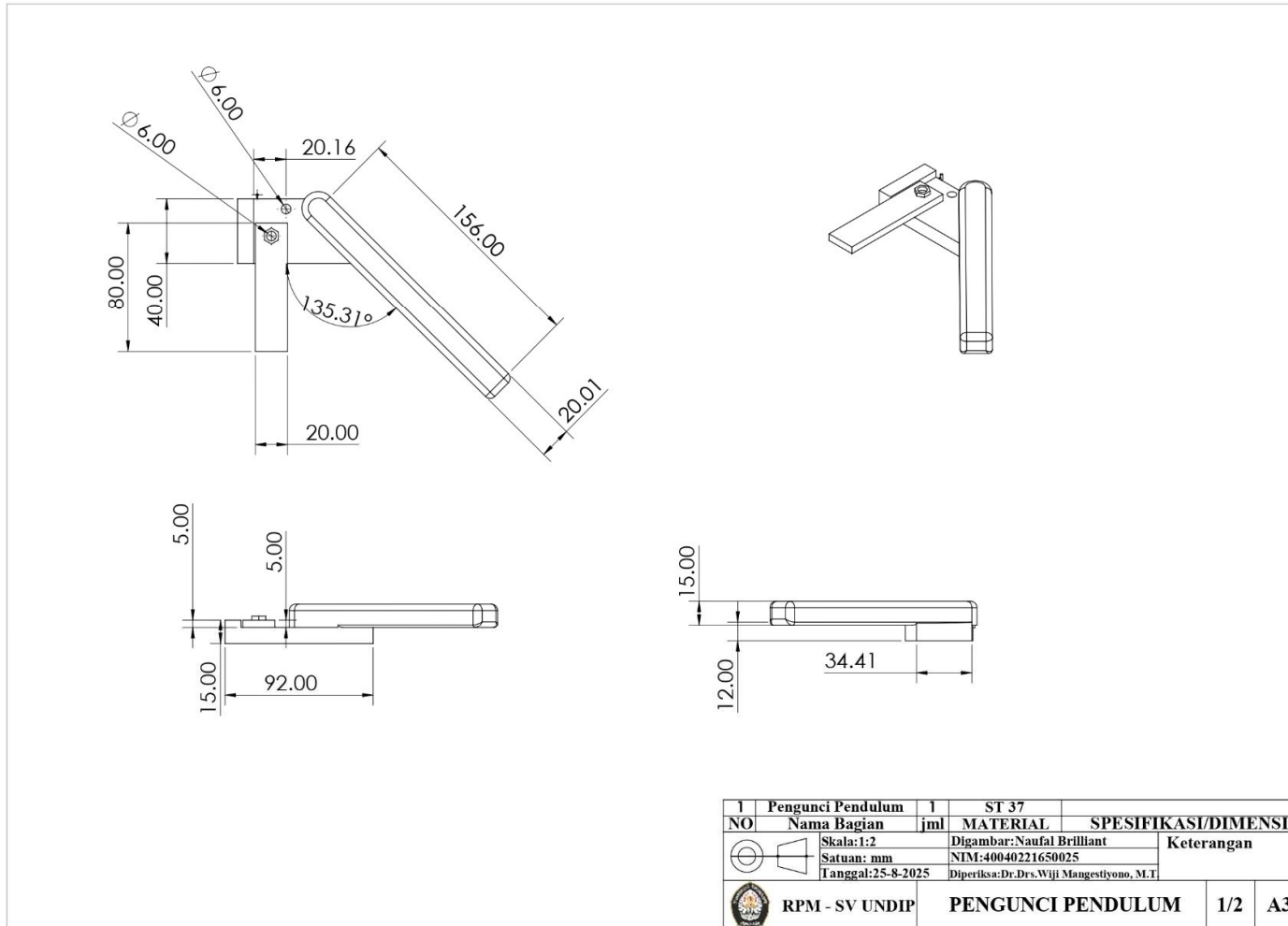
1	Alat Uji Impact	1	ST 37	SPESIFIKASI/DIMENSI
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	
	Skala: 1:20		Digambar: Naufal Brilliant	Keterangan
	Satuan: mm		NIM: 40040221650025	
	Tanggal: 25-8-2025		Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T	
		ALAT UJI IMPACT		1/20 A3

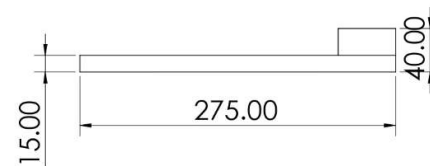
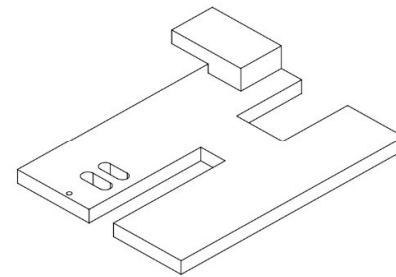
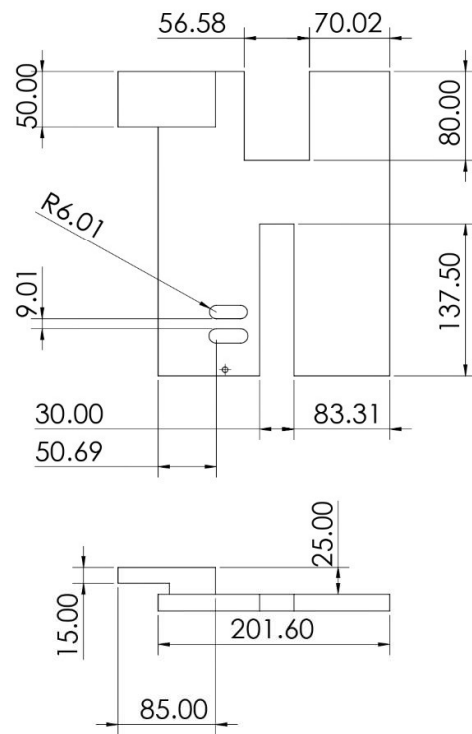


1	Rangka Alat	1	ST 37	SPESIFIKASI/DIMENSI
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	
	Skala: 1:10		Digambar: Naufal Brilliant	
	Satuan: mm		NIM: 40040221650025	Keterangan
	Tanggal: 25-8-2025		Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T.	
RPM - SV UNDIP		RANGKA ALAT		1/10 A3

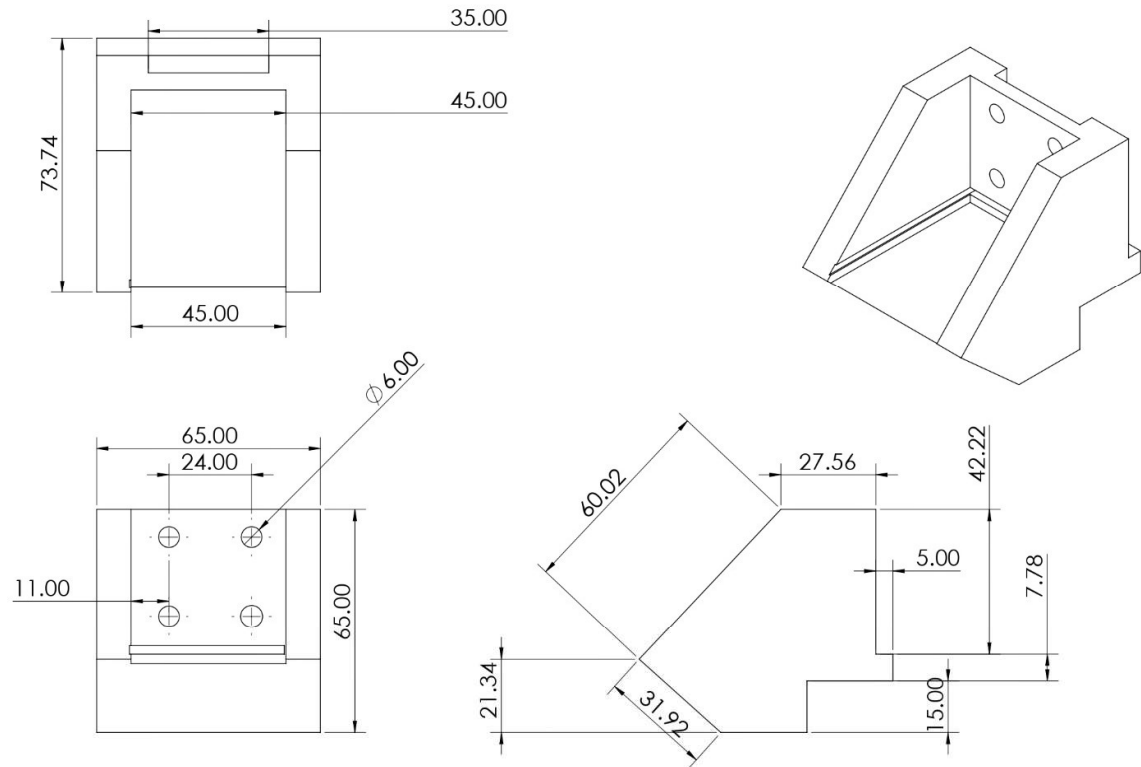


1	Anvil	1	ST 37	
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	SPESIFIKASI/DIMENSI
	Skala: 1:4		Digambar: Naufal Brilliant	Keterangan
	Satuan: mm		NIM: 40040221650025	
	Tanggal: 25-8-2025		Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T	
	RPM - SV UNDIP		ANVIL	
			1/4	A3

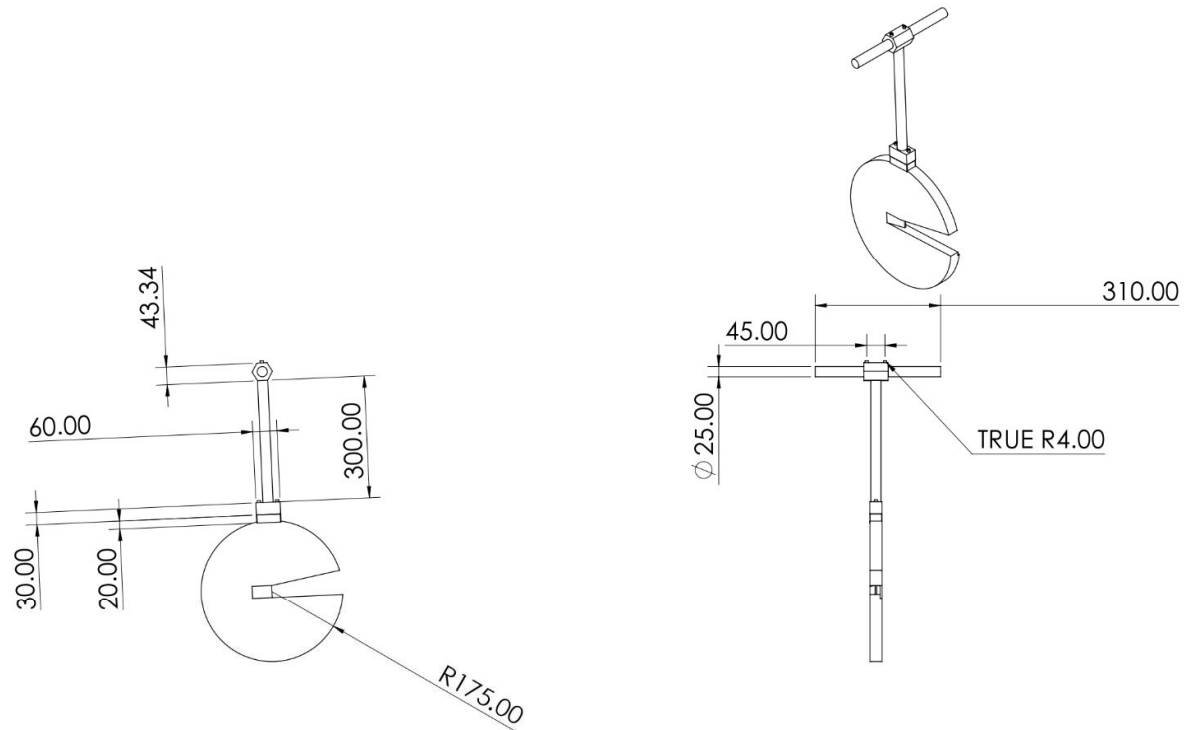




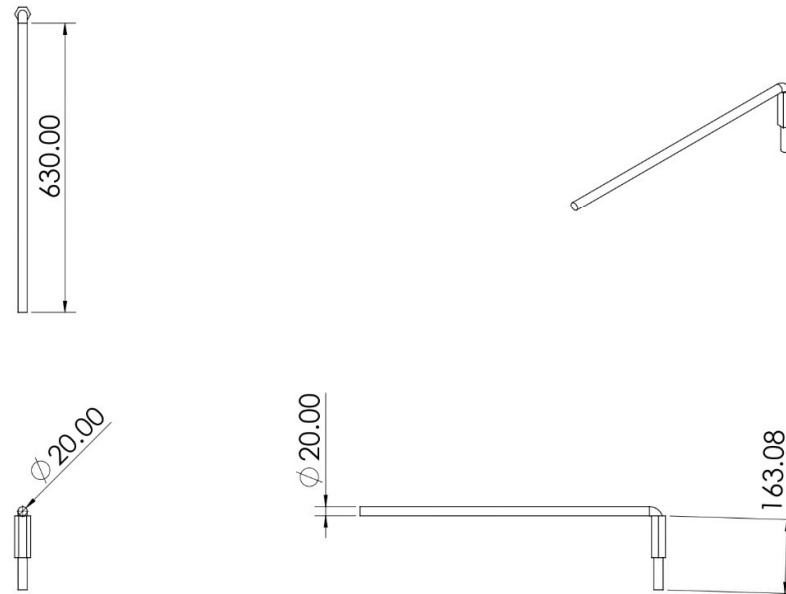
1	Dudukan Pengunci	1	ST 37	SPESIFIKASI/DIMENSI
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	
	Skala: 1:5	Digambar: Naufal Brilliant		Keterangan
	Satuan: mm	NIM: 40040221650025		
	Tanggal: 25-8-2025	Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T		
	RPM - SV UNDIP	DUDUKAN PENGUNCI		1/5 A3



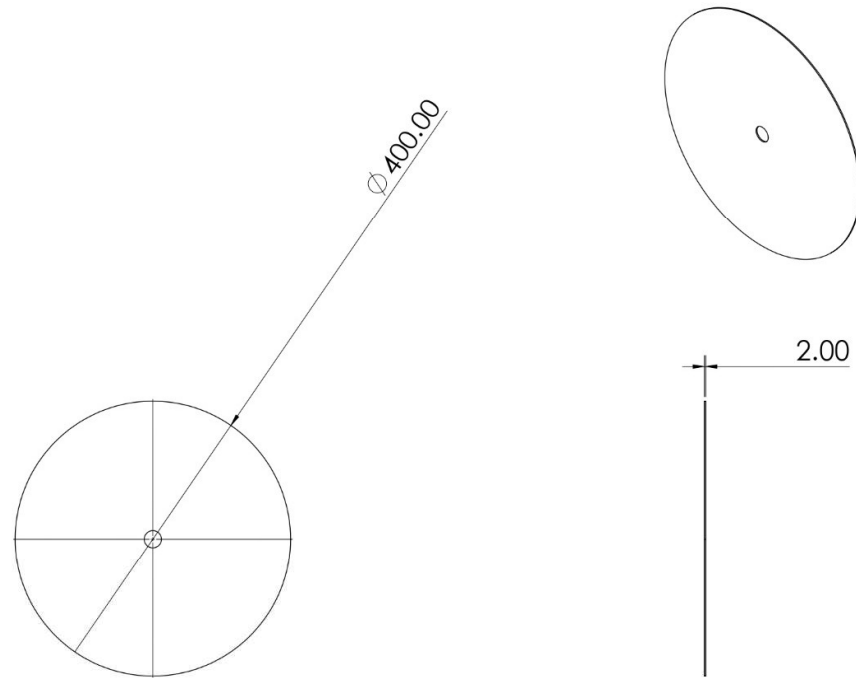
1	Dudukan Toogle	1	ST 37	
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	SPESIFIKASI/DIMENSI
	Skala: 1:1		Digambar: Naufal Brilliant	Keterangan
	Satuan: mm		NIM: 40040221650025	
	Tanggal: 25-8-2025		Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T	
	RPM - SV UNDIP		DUDUKAN TOOGLE	1/1 A3



1	Pendulum	1	ST 37	
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	SPESIFIKASI/DIMENSI
	Skala: 1:10		Digambar: Naufal Brilliant	Keterangan
	Satuan: mm		NIM: 40040221650025	
	Tanggal: 25-8-2025		Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T.	
RPM - SV UNDIP			PENDULUM	1/10 A3



1	Tuas Pengereman	1	ST 37	
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	SPEKIFIKASI/DIMENSI
	Skala: 1:5		Digambar: Naufal Brilliant	Keterangan
	Satuan: mm		NIM: 40040221650025	
	Tanggal: 25-8-2025		Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T	
	RPM - SV UNDIP		TUAS Pengereman	1/5
				A3



1	Dial	1	ST 37	
NO	Nama Bagian	jml	MATERIAL	SPESIFIKASI/DIMENSI
	Skala: 1:5		Digambar: Naufal Brilliant	Keterangan
	Satuan: mm		NIM: 40040221650025	
	Tanggal: 25-8-2025		Diperiksa: Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T	
RPM - SV UNDIP		DIAL		1/5 A3

HASIL PENGUJIAN LAB TEKNIK MESIN UNDIP

Pengujian pada alat pembanding

No	Identitas Spesimen	Sudut Awal ($\cos \alpha$)	Sudut Akhir ($\cos \beta$)
1	ST 37-1	140,18	111
2	ST 37-2	140,18	111
3	ST 37-3	140,18	111
4	ST 37-4	140,18	111
5	ST 37-5	140,18	111
6	ST 37-6	140,18	111
7	ST 37-7	140,18	111
8	ST 37-8	140,18	111
9	ST 37-9	140,18	112
10	ST 37-10	140,18	112
11	ST 37-11	140,18	112
12	ST 37-12	140,18	112
13	SS 1	140,18	96
14	SS 2	140,18	96
15	SS 3	140,18	96
16	SS 4	140,18	96
17	SS 5	140,18	97
18	SS 6	140,18	97
19	SS 7	140,18	97
20	SS 8	140,18	97
21	SS 9	140,18	96
22	SS 10	140,18	96
23	SS 11	140,18	96
24	SS 12	140,18	96
25	AL 1	140,18	122
26	AL 2	140,18	122
27	AL 3	140,18	122
28	AL 4	140,18	122
29	AL 5	140,18	123
30	AL 6	140,18	123
31	AL 7	140,18	123
32	AL 8	140,18	123
33	AL 9	140,18	123

34	AL 10	140,18	123
35	AL 11	140,18	123
36	AL 12	140,18	123
37	KN 1	140,18	128
38	KN 2	140,18	128
39	KN 3	140,18	128
40	KN 4	140,18	128
41	KN 5	140,18	129
42	KN 6	140,18	129
43	KN 7	140,18	129
44	KN 8	140,18	129
45	KN 9	140,18	128
46	KN 10	140,18	128
47	KN 11	140,18	128
48	KN 12	140,18	128

Standar Deviasi Alat Pembanding

No.	ID	$\beta(^{\circ})$	Energi		Harga Impak	
			J (J)	$J_m \pm SD(J)$	K ($J \cdot mm^{-2}$)	$K_m \pm (J \cdot mm^{-2})$
1	ST 37-1	111	78,54	77,51 $\pm$ 1,51	0,65	0,77 $\pm$ 0,0231
2	ST 37-2	111	78,54		0,65	
3	ST 37-3	111	78,54		0,65	
4	ST 37-4	111	78,54		0,65	
5	ST 37-5	111	78,54		0,69	
6	ST 37-6	111	78,54		0,69	
7	ST 37-7	111	78,54		0,69	
8	ST 37-8	111	78,54		0,69	
9	ST 37-9	112	75,46		0,69	
10	ST 37-10	112	75,46		0,69	
11	ST 37-11	112	75,46		0,69	

12	ST 37-12	112	75,46		0,69	
13	SS 1	96	126,74	125,456 ± 1,91	1,267	1,254 ± 0,019
14	SS 2	96	126,74		1,267	
15	SS 3	96	126,74		1,267	
16	SS 4	96	126,74		1,267	
17	SS 5	97	122,89		1,228	
18	SS 6	97	122,89		1,228	
19	SS 7	97	122,89		1,228	
20	SS 8	97	122,89		1,228	
21	SS 9	96	126,74		1,267	
22	SS 10	96	126,74		1,267	
23	SS 11	96	126,74		1,267	
24	SS 12	96	126,74		1,267	
25	AL 1	122	43,99	42,716 ± 0,94	0,4399	0,427 ± 0,0094
26	AL 2	122	43,99		0,4399	
27	AL 3	122	43,99		0,4399	
28	AL 4	122	43,99		0,4399	
29	AL 5	123	42,08		0,4208	
30	AL 6	123	42,08		0,4208	
31	AL 7	123	42,08		0,4208	
32	AL 8	123	42,08		0,4208	
33	AL 9	123	42,08		0,4208	
34	AL 10	123	42,08		0,4208	
35	AL 11	123	42,08		0,4208	
36	AL 12	123	42,08		0,4208	
37	KN 1	128	28,694	27,416	0,286	0,274

38	KN 2	128	28,694	± 1,88	0,286	± 0,001
39	KN 3	128	28,694		0,286	
40	KN 4	128	28,694		0,286	
41	KN 5	129	24,86		0,284	
42	KN 6	129	24,86		0,284	
43	KN 7	129	24,86		0,284	
44	KN 8	129	24,86		0,284	
45	KN 9	128	28,694		0,286	
46	KN 10	128	28,694		0,286	
47	KN 11	128	28,694		0,286	
48	KN 12	128	28,694		0,286	