

Politeknik Caltex Riau

LAPORAN PROYEK AKHIR

ANALISIS PENYIMPANGAN GEOMETRI DAN GETARAN PADA MESIN BEVELING V-GROOVE PADA PLAT DAN PIPA DENGAN METODE PLASMA CUTTING

Octavianus Marito Tarihoran

NIM. 2221302037

Pembimbing

JUPRI YANDA ZAIRA, S.T., M.T

**PROGRAM STUDI
TEKNIK MESIN
POLITEKNIK CALTEX RIAU**

2026

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENYIMPANGAN GEOMETRI DAN GETARAN PADA MESIN *BEVELING V-GROOVE* PADA PLAT DAN PIPA DENGAN METODE *PLASMA CUTTING*

Octavianus Marito Tarihoran

NIM. 2221302037

Laporan Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh gelar **Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)**
di Politeknik Caltex Riau

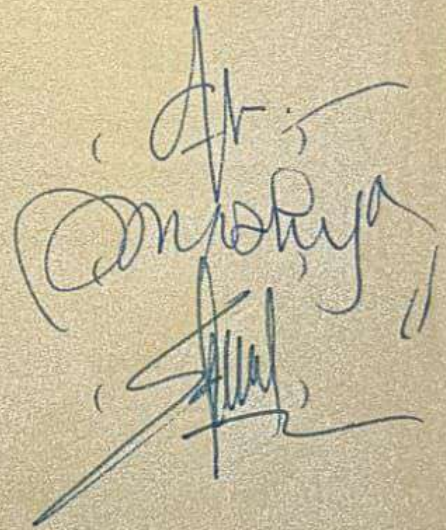
Pekanbaru, 25 Agustus 2026

Disetujui oleh:

Pembimbing 1 : Jupri Yanda Zaira S.T.,M.T.
NIP. 078321

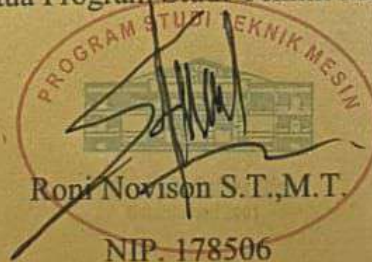
Penguji 1 : Amnur Akhyan, S.ST.,M.T.
NIP. 007803

Penguji 2 : Roni Novison, S.T.,M.T.
NIP. 178506



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Roni Novison S.T.,M.T.
NIP. 178506

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

ANALISIS PENYIMPANGAN GEOMETRI DAN GETARAN PADA MESIN *BEVELING V-GROOVE* PADA PLAT DAN PIPA DENGAN METODE *PLASMA CUTTING*

Menggunakan teknologi Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) dalam penyusunan dokumen ini sebatas pada hal-hal berikut:

Penyusunan penelitian ini menggunakan alat kecerdasan buatan secara terbatas untuk membantu dalam perbaikan tata bahasa, penyempurnaan struktur kalimat, dan pengecekan ejaan.

Penggunaan tersebut **tidak menyangkut substansi utama penelitian**, seperti analisis, penyusunan ide pokok, perumusan konsep ilmiah, atau penentuan hasil penelitian. Seluruh substansi utama dalam dokumen ini merupakan hasil pemikiran dan karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menerima konsekuensi sesuai ketentuan yang berlaku

Pekanbaru, 25 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Octavianus Marito Tarihoran

NIM. 2221302037

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

ANALISIS PENYIMPANGAN GEOMETRI DAN GETARAN PADA MESIN *BEVELING V-GROOVE* PADA PLAT DAN PIPA DENGAN METODE *PLASMA CUTTING*

Adalah benar hasil karya saya, dan tidak mengandung karya ilmiah atau tulisan yang pernah diajukan di suatu Perguruan Tinggi

Setiap kata yang dituliskan tidak mengandung plagiat, pernah ditulis maupun diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam dokumen ini dan disebutkan pada daftar pustaka. Saya siap menanggung seluruh akibat apabila terbukti melakukan plagiat.

Pekanbaru, 25 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Octaviaus Marito Tarihoran

NIM. 2221302037

KESEPAKATAN PUBLIKASI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini saya menyatakan:

- 1) Memberikan persetujuan kepada Politeknik Caltex Riau untuk menyimpan, mengolah dalam bentuk pangkalan data, merawat, mengalih media/formatkan dan mempublikasikan **Proyek Akhir** ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
- 2) Tidak melakukan alih media/format dan publikasi dalam bentuk makalah ilmiah dari bagian atau keseluruhan **Proyek Akhir** ini ke suatu publikasi ilmiah, pada seminar ataupun jurnal, skala nasional maupun internasional, kecuali ada persetujuan dari saya dan Dosen Pembimbing Utama, dan mencantumkan nama saya, Dosen Pembimbing Utama dan nama-nama lain (jika ada) yang berkontribusi pada makalah.

Pekanbaru, 25 Agustus 2026

Yang menyatakan,

Octavianus Marito Tarihoran

NIM. 2221302037

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis **LAPORAN PROYEK AKHIR** dapat menyelesaikan penelitian berjudul “**ANALISIS PENYIMPANGAN GEOMETRI DAN GETARAN PADA MESIN *BEVELING V-GROOVE* PADA PLAT DAN PIPA DENGAN METODE *PLASMA CUTTING* ”**. yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan **Sarjana Terapan** pada Program Studi **Teknik Mesin** Politeknik Caltex Riau.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca, serta menjadi bahan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Pekanbaru, 25 Agustus 2026

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

- 1) Tuhan Yesus Kristus Sang Juru Selamat Atas Segala Pertolongan
- 2) Kedua Orang Tua Penulis Atas Dukungan Dan Kasih Sayang Yang Tak Terhingga, Sehingga Penulis Bisa Menyelesaikan Penelitian Ini Tepat Waktu
- 3) Bapak Isa Teguh Widodo Yang Selalu Memberikan Dukungan Dan Saran Yang Diberikan Kepada Penulis
- 4) Bapak Roni Novison, S.T. M.T. Selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Politeknik Caltex Riau
- 5) Bapak Jupri Yanda Zaira, S.T., M.T. Selaku Pembimbing, Yang Telah Memberikan Ilmu Dan Bimbingan Dengan Penuh Kesabaran Kepada Penulis Dalam Menyelesaikan Penelitian.
- 6) Bapak Amnur Akhyan S.ST., M.T Dan Bapak Roni Novison, S.T. M.T Selaku Penguji, Yang Telah Memberikan Ilmu Dan Bimbingan Dengan Penuh Kesabaran Kepada Penulis Dalam Menyelesaikan Penelitian.
- 7) Seluruh Dosen Pengajar Program Studi **Teknik Mesin** Politeknik Caltex Riau Yang Telah Memberikan Bekal Ilmu Kepada Penulis Dalam Menyelesaikan Penelitian.
- 8) Kristian Wardana, Elbert Stanly Dan Petrasius Tampubolon Selaku Teman Seperjuangan Dalam Proyek Akhir Ini
- 9) Seluruh Teman Teman Generasi 22 Teknik Mesin Selaku Teman Seperjuangan Wisuda Tahun Ini
- 10) Rekan Rekan Kontrakan PH Yang Selalu Memberikan Dukungan Dan Saran Kepada Penulis Selama Pengerjaan Proyek Akhir Ini
- 11) Seluruh pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan pengerjaan proyek akhir dan penyusunan laporan.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses penyusunan dan penyelesaian laporan ini. Segala bentuk bantuan, motivasi, serta doa yang diberikan sangat berarti dan menjadi sumber semangat bagi penulis dalam menyelesaikan tugas ini dengan sebaik-baiknya.ss

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyimpangan geometri (kesejajaran, kebulatan, dan run-out) serta karakteristik tingkat getaran mekanis pada struktur rangka mesin saat beroperasi. Pengujian geometri dilakukan menggunakan instrumen dial indicator dan dievaluasi dengan mengacu pada standar ISO 2768-2 kelas K. Sementara itu, pengujian getaran dilakukan menggunakan vibration tester pada 10 titik dengan variasi arah (aksial, vertikal, horizontal) pada kondisi putaran rendah (5 RPM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penyimpangan kesejajaran antara torch plasma dan meja kerja membesar secara bertahap hingga mencapai 1,70 mm, yang mana telah melampaui batas toleransi ISO 2768-2. Pada pengujian poros spindel, nilai run-out aksial mencapai 0,4 mm dan dinyatakan tidak memenuhi standar kelayakan. Dari sisi pengujian getaran, nilai amplitudo tertinggi terdeteksi pada areaudukan bearing 1 (arah aksial) sebesar 0,0525 mm, dengan tingkat percepatan (acceleration) tertinggi yang mencapai $38,87 \text{ m/s}^2$ di area dudukan bearing. Kesimpulan dari penelitian ini adalah mesin memerlukan kalibrasi ulang pada rel pemandu meja kerja, perbaikan pada bantalan poros, serta penambahan perkuatan struktur di area dudukan bearing untuk meminimalisasi getaran dan penyimpangan.

Kata kunci : Mesin Beveling, Plasma Cutting, Penyimpangan Geometri, Getaran

ABSTRACT

This study aims to analyze geometric deviations (parallelism, roundness, and run-out) and the characteristics of mechanical vibration levels on the machine frame structure during operation. Geometric testing was carried out using a dial indicator and evaluated according to the ISO 2768-2 Class K standard. Meanwhile, vibration testing was conducted using a vibration tester at 10 measurement points with various directions (axial, vertical, horizontal) under low RPM conditions (5, 8, and 10 RPM). The test results showed that the parallelism deviation between the plasma torch and the work table increased gradually, reaching 1.70 mm, which exceeded the ISO 2768-2 tolerance limit. In the spindle shaft testing, the axial run-out value reached 0.4 mm and was declared unacceptable according to the standard. Regarding the vibration testing, the highest amplitude value was detected at the bearing 1 mount area (axial direction) at 0.0525 mm, accompanied by the highest acceleration level reaching 38.87 m/s² at the bearing mount area. The conclusion of this study is that the machine requires recalibration of the table guide rails, repair of the shaft bearings, and structural reinforcement in the bearing mount area to minimize vibration and geometric deviations.

Keywords : *Beveling Machine, Plasma Cutting, Geometric Deviation, Vibration*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
KESEPAKATAN PUBLIKASI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan.....	4
1.4.2 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 Beveling.....	5
2.1.2 Penyimpangan Geometri	5
2.1.3 Getaran	8
2.1.4 Alat Yang Digunakan Untuk Mengukur Getaran.....	9
2.2 Standar Yang Digunakan Pada Penelitian	10
2.2.1 Standar Penyimpangan Geometri	10
2.2.2 Standar Getaran	11
2.3 Penelitian Terdahulu	12
2.3.1 Keterbaruan (novelty).....	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19

3.1	<i>Flowchart</i> Proses Pengambilan Data	19
3.2	Rencana Pengambilan Data	20
3.2.1	Prosedur Pengambilan Data Geometri	20
3.2.2	Prosedur Pengambilan Data Getaran.....	23
BAB 4 DATA DAN ANALISA		29
4.1	Hasil Pengujian Geometri	29
4.1.1	Tabel Pengujian Kesejajran.....	29
4.1.2	Tabel Hasil Pengujian Kebulatan Dan Run-Out	30
4.2	Evaluasi Penyimpangan Geometri (ISO 2768-2)	39
4.3	Hasil Pengujian Getaran	40
4.3.1	Pengujian Titik 1 (Tanpa Beban Pemotongan)	41
4.3.2	Pengujian Titik 2 (Tanpa Beban Pemotongan)	42
4.3.3	Pengujian Titik 1 (Dengan Beban Pemotongan)	45
4.3.4	Pengujian Titik 2	46
4.3.5	Pengujian Titik 3	47
4.3.6	Pengujian Titik 4	49
4.3.7	Pengujian Titik 5	50
4.3.8	Pengujian Titik 6	51
4.3.9	Pengujian Titik 7	53
4.3.10	Pengujian Titik 8	54
4.3.11	Pengujian Titik 9	55
4.3.12	Pengujian Titik 10	55
4.4	Analisa Amplitudo	56
4.4.1	Hasil Perbandingan Grafik Getaran Antara Tanpa Beban dan Dengan Beban Pemotongan	62
4.5	Evaluasi Hasil Pengujian Getaran Terhadap ISO 20816-1	62
4.5.1	Evaluasi karakteristik getaran mesin	62
4.6	Hasil Analisis Penyimpangan Geometri Dan Getaran.....	64
4.6.1	Analisis Penyimpangan Geometri	64
4.6.2	Analisis Karakteristik Getaran Mesin.....	64
4.6.3	Hubungan Antara Penyimpangan Geometri Terhadap Getaran Yang Dihasilkan Oleh Mesin	65

4.7	Rekomendasi Perbaiki Mesin Berdasarkan Hasil Pengujian	65
4.7.1	Rekomendasi Perbaiki Kesejajaran Torch Terhadap Meja Kerja	66
4.7.2	Rekomendasi Perbaiki Run-Out Aksial pada Poros Spindel	66
4.7.3	Rekomendasi Perkuatan Struktur dan Reduksi Getaran.....	67
BAB 5	PENUTUP.....	68
5.1	Kesimpulan	68
5.2	Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....		70
Lampiran		72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Dial Dan <i>Stand</i> Dial Indikator.....	7
Gambar 2. 2 Spirit Level.....	8
Gambar 2. 3 <i>Vibration Tester VM-6380</i>	10
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian.....	19
Gambar 3. 3 Titik Pengujian <i>Run Out</i> Dan Kebulatan.....	21
Gambar 3. 4 Titik Pengujian Getaran 1 dan 2.....	23
Gambar 3. 5 Titik Pengujian Titik 3-6	24
Gambar 3. 6 Titik Pengujian 7 Dan 8	25
Gambar 3. 7 Titik Pengujian 9 Dan 10	26
Gambar 4. 1 Proses Pengambilan Data Kesejajaran.....	29
Gambar 4. 2 Titik Akhir <i>Dial Indicator</i> Pada Uji Kesejajaran	30
Gambar 4. 3 Posisi Pengujian Kebulatan Dan <i>Runout</i>	31
Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian Kebulatan Poros Pada Titik A.....	31
Gambar 4. 5 Dokumentasi Pengujian Kebulatan Poros Pada Titik B.....	32
Gambar 4. 6 Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian Kebulatan Poros Pada Titik C	33
Gambar 4. 7 Pengujian <i>Runout Radial Titik A</i>	35
Gambar 4. 8 Pengujian <i>Runout Radial Titik B</i>	36
Gambar 4. 9 Pengujian <i>Runout Radial Titik C</i>	37
Gambar 4. 10 Pengujian <i>Runout Axial Titik A</i>	38
Gambar 4. 11 Pengujian <i>Runout Axial Titik B</i>	39
Gambar 4. 12 Proses Pengambilan Data Getaran	41
Gambar 4. 13 Sampel Pengambilan Data 3-10	44
Gambar 4. 14 Grafik Amplitudo Titik 1 dan 2 (Tanpa Beban Pemotongan).....	61
Gambar 4. 15 Grafik Amplitudo Titik 1 Sampai 10 (Dengan Beban Pemotongan)	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tabel Toleransi Penyimpangan Kedataran,Kesejajaran dan Kelurusan	11
Tabel 2. 2 Tabel Penyimpangan <i>Run-Out</i>	11
Tabel 3. 1 Tabel Hasil Pengujian Kesejajaran <i>Torch</i> dan meja.....	20
Tabel 3. 4 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan (Titik A)	21
Tabel 3. 5 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan (Titik B).....	21
Tabel 3. 6 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan (Titik C).....	21
Tabel 3. 7 Tabel Hasil Pengujian Kelurusan Run-Out (Titik A)	22
Tabel 3. 8 Tabel Hasil Pengujian Kelurusan Run-Out (Titik B).....	22
Tabel 3. 9 Tabel Hasil Pengujian Kelurusan Run-Out (Titik C).....	22
Tabel 4. 1 Tabel Hasil Pengujian Kesejajaran.....	30
Tabel 4. 2 Tabel hasil Pengujian Kebulatan Titik A.....	32
Tabel 4. 3 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan Titik B	33
Tabel 4. 4 Tabel Hasil Pengujian <i>Runout Radial Pada Titik A</i>	35
Tabel 4. 5 Tabel Hasil Pengujian <i>Runout Radial</i> Pada Titik B.....	36
Tabel 4. 6 Tabel Hasil Pengujian Runout Radial Pada Titik C.....	37
Tabel 4. 7 Tabel Hasil Pengujian Runout Radial Pada Titik A	38
Tabel 4. 8 Tabel Hasil Pengujian Runout Radial Pada Titik B.....	39
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 1 (Tanpa Beban Pemotongan)	41
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 2 (Tanpa Beban Pemotongan) ..	43
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 1 (Dengan Pemotongan).....	45
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 2 (Dengan Pemotongan).....	46
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 3 (Dengan Pemotongan).....	48
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 4 (Dengan Pemotongan).....	49
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 5 (Dengan Pemotongan).....	50
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 6 (Dengan Pemotongan).....	52
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 7 (Dengan Pemotongan).....	53
Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 8 (Dengan Pemotongan).....	54
Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 9 (Dengan Pemotongan).....	55
Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 10 (Dengan Pemotongan).....	56
Tabel 4. 21 Tabel Analisa Amplitudo Dari Titik 1 Sampai 10	57

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin *beveling* adalah alat yang digunakan untuk memotong, membentuk, atau mengikis tepi material pada sudut tertentu. Mesin ini sering ditemukan dalam industri konstruksi, manufaktur, dan fabrikasi, karena berfungsi untuk membuat tepi miring yang mempermudah proses pengelasan atau penyambungan dengan menciptakan permukaan kontak yang lebih luas di bagian tepi material. Mesin *beveling* adalah mesin yang dibuat untuk membantu pekerja dalam membuat *beveling* (kemiringan, sudut pada sambungan pelat dan pipa) sebelum dilakukan pengelasan (Veronika et al., 2023). Mesin *beveling* dapat diaplikasikan pada pelat dan pipa dan dengan berbagai variasi sudut diantaranya 30° , 45° , 60° , yang mana pada saat pengoprasian mesin *beveling* harus diletakkan di atas spesimen yang akan dibuatkan *beveling* (kemiringan) (Ramadani et al., 2016).

Seiring berkembangnya teknologi, pembuatan *beveling* kini tidak hanya menggunakan proses pemotongan menggunakan mata pisau, melainkan memanfaatkan metode pemotongan lain seperti menggunakan metode *plasma cutting*. Metode ini menggunakan sistem penggerak mekanik yang menjadi penggerak *torch*, metode ini juga tidak lepas dari masalah getaran dan penyimpangan geometri. Masalah ini sangat mempengaruhi proses mesin itu sendiri. Penyimpangan geometri dapat terjadi pada beberapa komponen seperti poros ataupun rel pemandi *torch* hal ini dapat mempengaruhi hasil dari proses pembuatan sudut pada pipa ataupun plat dalam pembuatan *beveling* (Indrawan et al., 2020). Getaran dalam mesin biasanya muncul dari ketidakseimbangan komponen yang bergerak ataupun yang berputar. Biasanya mesin bekerja tanpa getaran yang berlebih, tetapi keseimbangan beban, komponen yang sudah aus, atau ketidaktepatan saat produksi dapat menyebabkan getaran. Getaran yang tidak terkendali akan menyebabkan kerusakan pada komponen mesin, menurunkan kinerja mesin, dan bahkan mengakibatkan kerusakan pada mesin (Hariyandi, 2015).

Penelitian terdahulu dengan judul Analisa Getaran Mesin Milling Vertikal 1108 Terhadap Pengaruh Variasi Kedalaman Potong (Jupri & Agus, 2020). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar getaran yang dihasilkan oleh mesin milling vertikal 1108 pada saat beroperasi dengan metode penelitian tiga arah pemakanan muka benda kerja dengan dengan tiga variasi kedalaman yaitu 0,5 mm, 1 mm dan 1,5 mm dengan diameter cutter sebesar 30mm. Diperoleh hasil amplitude terbesar terjadi dengan pemakanan 1,5 mm pada arah aksial yaitu sebesar 0,164 mm dan amplitude terkecil terjadi dengan pemakanan 1 mm pada arah vertikal yaitu sebesar 0,034 mm

Penelitian terdahulu dengan judul Analisis ketelitian geometrik mesin frais horizontal KUNZMAN UF6N di laboratorium manufaktur Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi (Tolosi et al., 2015). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui penyimpangan atau kesalahan salah satu mesin frais horizontal yang ada di laboratorium manufaktur Teknik mesin Unsrat dengan metode pengukuran menggunakan alat ukur seperti spirit level dan dial indikator yang dilakukan pengukuran pada beberapa bagian mesin frais yaitu penyelarasan terhadap meja, ketegak lurus vertikal lutut, arbor dengan meja dan putaran Poros. Diperoleh hasil penyimpangan pada meja sebesar 0,00005 mm untuk sejauh 700 mm, penyimpangan ketegak lurus vertikal lutut sebesar 0,000125 mm 25-50mm dan 125-300 mm, penyimpangan arbor terhadap meja sebesar 0,035mm dengan jarak 150mm, penyimpangan putaran Poros sebesar 0,002 mm untuk ke arah radial dan 0,0002 mm untuk arah aksial

Penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu pada mesin perkakas sebagai referensi dasar mekanis, penelitian oleh (Jupri & Agus, 2020) mengenai Analisa Getaran Mesin Milling Vertikal 1108 menunjukkan bahwa variasi parameter pemotongan sangat mempengaruhi amplitudo getaran yang dihasilkan, di mana amplitudo terbesar mencapai 0,164 mm pada arah aksial. Sementara itu, (Tolosi et al., 2015) dalam penelitiannya mengenai Analisis Ketelitian Geometrik Mesin *Frais* Horizontal KUNZMAN UF6N membuktikan bahwa penyimpangan kecil pada komponen mesin (seperti penyimpangan putaran poros sebesar 0,002 mm ke arah radial) sudah dapat mempengaruhi proses dalam manufaktur sebuah benda. Meskipun kedua penelitian tersebut berbasis pada mesin potong mekanis,

prinsip dasar bahwa getaran dan penyimpangan komponen mekanis dapat menurunkan hasil potong dari mesin *beveling* dengan metode *plasma cutting*.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu penulis memunculkan ide yaitu menganalisa penyimpangan geometri pada mesin dan menguji getaran yang dihasilkan oleh mesin pada saat beroperasi. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan nilai dari penyimpangan geometri dan seberapa besar getaran yang dihasilkan oleh mesin saat sedang beroperasi. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan rekomendasi sebagai referensi untuk perbaikan desain untuk pengembangan mesin sejenis di masa depan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar penyimpangan geometri (kebulatan dan *run-out* poros, kesejajaran meja dan *torch plasma*)
2. Berapa besar tingkat getaran pada rangka dengan parameter pengukuran (*velocity, acceleration, displacement*)?
3. Bagaimana rekomendasi perbaikan untuk mengatasi penyimpangan geometri dan getaran berdasarkan hasil dari pengujian?

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup penelitian tidak terlalu luas, batasan masalah yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dibatasi pada parameter pengukuran penyimpangan kebulatan poros, run out poros dan kesejajaran antara meja dan *torch plasma*
2. Standart evaluasi penyimpangan geometri pada penelitian ini terbatas pada ISO 2768-2 dan getaran menggunakan ISO 13373
3. Penelitian ini hanya berikan rekomendasi perbaikan, tidak sampai tahap fabrikasi ulang mesin

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur dan menganalisis besaran nilai penyimpangan geometri yang meliputi kesejajaran rel *torch* terhadap meja kerja, kebulatan poros, serta *run-out* (radial dan aksial) pada poros spindel mesin *beveling plasma cutting*.
2. Mengukur dan menganalisis karakteristik tingkat getaran mekanis (*displacement, velocity, acceleration*, dan amplitudo) pada struktur rangka, bearing, serta rambatan ke lantai kerja pada kondisi putaran rendah (5 RPM) saat tanpa beban maupun dengan beban pemotongan.
3. Mengevaluasi tingkat kelayakan mesin berdasarkan standar ISO 2768-2 Kelas K (geometri) dan ISO 20816-1 (getaran) untuk menentukan kesiapan mesin digunakan pada studi eksperimental.
4. Menyusun rekomendasi perbaikan teknis pada komponen geometris dan struktural mesin berdasarkan hasil evaluasi pengujian yang diperoleh.

1.4.2 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan referensi pada pembuatan mesin *beveling*
2. Memberikan wawasan tentang getaran dan penyimpangan geometri pada mesin
3. Memberikan referensi tentang data teknis dalam pembuatan mesin *beveling* lokal yang murah berstandarkan ISO

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Beveling

Beveling adalah teknik persiapan material berupa pemotongan miring pada tepi plat atau pipa untuk menciptakan ruang yang memungkinkan peleburan dari kawat las dapat maksimal, teknik ini juga berfungsi untuk meningkatkan kekuatan sambungan, khususnya pada desain *beveling v-groove*. *V-groove* dirancang untuk sambungan yang membutuhkan penetrasi las yang dalam, sehingga dapat mendistribusikan tegangan secara seragam dan meningkatkan kekuatan sambungan (Jamal et al., 2025). Secara teknik, *beveling* las jenis *v-groove* tunggal (*single v-groove*) sangat sesuai digunakan pada benda kerja yang ketebalannya mulai dari 5 mm hingga 20 mm untuk memastikan penembusan las mencapai 100% (Candra et al., 2023). Parameter yang mempengaruhi kualitas penetrasi ini adalah ukuran sudut *beveling* (*beveling angel*). Variasi sudut *beveling* terbukti secara eksperimental pada penelitian sebelumnya memiliki pengaruh langsung terhadap perubahan sifat mekanik pada benda kerja plat maupun pipa, seperti kekuatan uji tarik dan uji kekerasan (Abadi et al., 2024). Oleh karena itu, analisis terhadap penyimpangan geometri dan getaran pada mesin *beveling plasma cutting* menjadi hal yang penting dilakukan. Jika mesin mengalami getaran dan penyimpangan yang terlalu besar dapat menyebabkan kurangnya ketepatan dalam pembuatan sudut *beveling* las.

2.1.2 Penyimpangan Geometri

Penyimpangan geometri merupakan kondisi dimana bentuk, posisi dan orientasi nyata dari suatu komponen mesin mengalami pegeseran dari bentuk awal yang sudah ditentukan. Pada proses manufaktur penyimpangan geometri tidak dapat dihilangkan sepenuhnya. Usia pakai mesin, beban mekanis selama operasi, deformasi secara perlahan akan menurunkan tingkat geometri yang sudah ditentukan pada sistem penggerak mesin (Ariyanto et al., 2017).

Pengujian dan analisis terhadap pengujian geometri sumbu-sumbu penggerak mesin sangat penting dilakukan dikarenakan penyimpangan sekecil apapun dapat mempengaruhi hasil dari produk akhir yang akan dihasilkan (Tolosi et al., 2015). Oleh karena itu, analisis perbandingan antara hasil penyimpangan geometri aktual terhadap batas toleransi yang diizinkan menjadi indikator utama dalam menentukan mesin layak atau tidaknya untuk dioperasikan (Yudo et al., 2019).

Untuk metode evaluasi dan pengukuran secara internasional, klasifikasi penyimpangan geometri beserta simbol-simbolnya mengacu pada standar ISO 1101. Berdasarkan standar tersebut, penyimpangan geometri pada struktur rangka dan sumbu mesin *beveling plasma cutting* dapat dikelompokkan ke dalam beberapa parameter utama, yaitu penyimpangan bentuk, penyimpangan orientasi, dan penyimpangan putar.

1. Penyimpangan Bentuk

Salah satu parameter penyimpangan bentuk adalah kedataran (*flatness*). Kedataran merupakan kondisi ketika seluruh titik pada suatu permukaan berada pada satu bidang datar ideal secara matematis. Dalam standar ISO. Pada mesin *beveling plasma cutting*, penyimpangan kedataran pada rangka penopang utama dapat menjadi penyebab awal terjadinya ketidakstabilan gerakan linear pada sumbu mesin.

2. Penyimpangan Putar

Parameter penyimpangan putar yang digunakan adalah penyimpangan putar atau *circular run-out*. *Circular run-out* merupakan nilai penyimpangan maksimum yang terjadi pada suatu permukaan silindris ketika benda diputar satu putaran penuh atau 360° terhadap sumbu utamanya. Pengujian ini dilakukan pada poros spindel utama penggerak pipa atau pelat untuk memastikan bahwa pusat sumbu putar tetap stabil dan tidak mengalami gerakan goyang selama mesin beroperasi.

2.2.2.3 Alat Ukur Yang Digunakan Dalam Pengujian Geometri

1. Dial Indikator

Dial indicator atau jam ukur adalah instrumen pengukuran mekanis yang berfungsi untuk mengukur pergerakan linear yang sangat kecil dengan tingkat ketelitian mencapai 0,01 mm. Alat ini beroperasi dengan mengonversi pergerakan sentuhan dari ujung sensor menjadi putaran pada jarum skala. *dial indicator* yang dipadukan denganudukan magnetis (*magnetic base*) merupakan instrumen pokok untuk mengevaluasi tingkat (*parallelism*) pada rel pemandu, serta penyimpangan putar radial (*circular run-out*) pada poros pemutar mesin (Tolosi et al., 2015). Gambar dari *dial indicator* yang digunakan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 1 Dial Dan *Stand* Dial Indikator

Sumber :

<https://5.imimg.com/data5/SELLER/Default/2024/1/376193469/QO/IG/KL/419417/ultra-heavy-duty-dial-indicator-stand-500x500.jpg>

2. *Spirit Level*

Spirit level presisi mekanik adalah instrumen pengukuran inklinasi yang dirancang khusus untuk kalibrasi permesinan, dengan tingkat sensitivitas tinggi (biasanya mencapai 0,02 mm/m). Alat ini bekerja menggunakan prinsip gelembung udara di dalam tabung kaca berisi cairan yang akan bergeser apabila permukaan bidang yang diukur mengalami kemiringan. dalam prosedur standar pengujian mesin, sebelum parameter geometri lain diukur, struktur rangka utama mesin harus dipastikan berada dalam kondisi datar. Pada penelitian ini, *spirit level* diletakkan di atas rangka penopang utama dan meja kerja untuk menguji parameter kedataran. (Gundara & Riyadi, 2017). Gambar dari *spirit level* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. 2 Spirit Level

Sumber : https://m.media-amazon.com/images/I/61aDUcZEVpL._AC_SX679_.jpg

2.1.3 Getaran

Getaran mekanis merupakan gerakan bolak balik dari suatu sistem mekanik disekitar titik atau kesetimbangan. Hampir seluruh mesin yang beroperasi akan menghasilkan getaran akibat gaya dari komponen yang bergerak atau yang berputar (Sadiana, 2016). Secara umum, getaran pada mesin perkakas disebabkan oleh adanya gaya yang memiliki ketidakstabilan nilai selama proses mesin berlangsung (Rao, 2004).

Frekuensi getaran secara fisik, apabila tidak terkendali dapat menimbulkan kondisi bising pada proses mesin berlangsung. Amplitudo getaran yang tak terkendali tampak dari goyangan pada mesin yang tidak beraturan. Hal ini tentu harus dapat diredam karena dapat menurunkan performa mesin bahkan dapat merusak mesin itu sendiri (Karyasa, 2011).

2.1.3.1 Kategori Getaran

Getaran dalam sistem mekanis dikategorikan ke dalam 2 kategori utama yang bersangkutan dengan pengoperasian mesin:

1. Getaran bebas : Getaran bebas terjadi ketika sistem mekanik diberikan gangguan awal lalu dibiarkan secara bebas. Contoh pada gerak harmonik pada bandul sederhana serta pada tegangan pada pegas vertikal maupun horizontal (Qoribullah, 2021).

2. Getaran Paksa : Getaran yang diakibatkan oleh gaya dari luar yang bekerja secara terus menerus pada saat mesin beroperasi. Contoh pada pemakanan pada mesin milling dan mesin bubut serta mesin perkakas lainnya (Qoribullah, 2021).

2.1.3.2 Parameter Getaran

Gerak getaran merupakan suatu fungsi periodik, dimana gerakan tersebut berulang-ulang secara beraturan dalam waktu yang sama (Clarkson, 1981). Untuk menngalisis getaran mekanis beberapa parameter utama yang digunakan:

1. Periode dan Frekuensi: Periode adalah banyaknya waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan getaran dalam 1 siklus penuh. Posisi komponen mesin waktu (t) akan sama dengan posisinya pada waktu t+T. Sedangkan frekuensi adalah laju pegulangan pada siklus tersebut per satuan waktu
2. *Displacement*: *Displacement* merupakan perpindahan jarak benda dari titik kesimbangannya. Dalam greak harmonik, persamaan simpangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$x = A \sin(\omega t) \dots\dots\dots 2.1$$

3. Kecepatan (*velocity*): Turunan dari simpangan terhadap waktu. Kecepatan getaran adalah parameter yang paling direkomendasikan pada standar ISO getaran karena mengandung nilai dari kecepatan pergerakan material pada frekuensi menengah.

$$x' = A \omega \cos(\omega t) \dots\dots\dots 2.2$$

4. Percepatan (*acceleration*): Turunan kedua dari simpangan terhdap waktu yang mempresentasikan gaya deskruktif pada frekuensi tinggi.

$$x = -A \omega^2 (\omega t) \dots\dots\dots 2.3$$

2.1.4 Alat Yang Digunakan Untuk Mengukur Getaran

1. *Vibration Tester*

Vibration tester (atau secara umum disebut sebagai *vibrometer*) merupakan instrumen elektronik yang dirancang khusus untuk menangkap, mengukur, dan menganalisis parameter fisik dari osilasi mekanis pada komponen mesin yang beroperasi (Antomy, 2023). Di dalam dunia teknik permesinan, alat ini memegang peranan krusial sebagai instrumen perawatan prediktif (*predictive maintenance*) maupun evaluasi performa guna mendeteksi ketidakseimbangan struktural, kelonggaran mekanis, serta penyimpangan komponen sebelum memicu kerusakan fatal (Rao, 2017). Alat ukur yang digunakan adalah *vibration tester* dengan spesifikasi VM-6380.



Gambar 2. 3 *Vibration Tester VM-6380*

Sumber : <https://image.made-in-china.com/2f0j00SomibHhsfafv/Vm-6380-Digital-3-Axis-Vibration-Meter-Piezoelectric-Sensor-Displacement-Velocity-Acceleration.jpg>

2.2 Standar Yang Digunakan Pada Penelitian

2.2.1 Standar Penyimpangan Geometri

Pada penelitian ini standar digunakan sebagai acuan untuk nilai maksimum nilai penyimpangan geometri dan getaran. Dalam penelitian ini, pengukuran geometri dilakukan dengan mengacu pada standar ISO 2768-2 untuk menilai penyimpangan geometri berupa runout poros, kedataran rangka mesin, rel *torch plasma* dan *torch holder*. Standar ini digunakan sebagai batas toleransi yang dapat diterima terhadap penyimpangan hasil pengukuran. Kelas toleransi K dipilih

sebagai acuan karena mengacu pada tingkat toleransi umum dengan ketelitian menengah yang sesuai untuk analisis geometri mesin. Khususnya pada penyimpangan dalam ISO 2768-2 menetapkan bahwa nilai toleransi umumnya setara dengan nilai toleransi kelurusan atau kedataran.

Tabel 2. 1 Tabel Toleransi Penyimpangan Kedataran, Kesejajaran dan Kelurusan
Sumber : ISO 2768-2

Ranges of nominal lengths in mm	Tolerance Class		
	H	K	L
up to 10	0.02	0.05	0.1
above 10 to 30	0.05	0.1	0.2
above 30 to 100	0.1	0.2	0.4
above 100 to 300	0.2	0.4	0.8
above 300 to 1000	0.3	0.6	1.2
above 1000 to 3000	0.4	0.8	1.6

Tabel 2. 2 Tabel Penyimpangan *Run-Out*
Sumber : ISO 2768-2

Ranges of nominal lengths in mm	Tolerance Class		
	H	K	L
	0.1	0.2	0.5

2.2.2 Standar Getaran

Pada penelitian ini pengujian getaran pada mesin *beveling v-groove* ini memiliki karakteristik berbeda dari mesin perkakas lainnya seperti mesin *milling*, yaitu pada kecepatan putar mesin ini sangat rendah yaitu pada 5 rpm dengan menggunakan metode *plasma cutting* yang dimana dengan metode ini tidak ada terjadi kontak antar benda kerja dan alat potong, maka pengujian ini menggunakan standar ISO 20816-1 yang dimana standar tersebut umum digunakan sebagai referensi pada mesin yang bergerak dibawah 120 RPM karena pada standar ini menggunakan *acceleration* sebagai parameter yang digunakan untuk mengetahui

karakteristik getaran. Dikarenakan pada standar ISO 20816-1 tidak ada angka ambang batas untuk RPM rendah maka pengujian getaran pada penelitian ini menggunakan metode analisis kriteria relatif. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai *acceleration* pada saat mesin beroperasi tanpa beban pemotongan dengan nilai *accrleration* pada saat mesin beroperasi dengan beban pemotongan

2.3 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dengan judul *vibration analysis of CNC plsma cutting* (Tantowi et al., 2025). Metode yang digunakan pada penelitian adalah pemotongan pada *SS400 carbon steel plate* dengan ketebalan 5 mm, hasil pengujian pada pemotongan *SS400 carbon steel* dengan 20 kombinasi eksperimen dan parameter yang diuji adalah tekanan, arus dan kecepatan potong. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah RMS *acceleration and vibration*. Hasil eksperimen didapatkan bahwa RMS minimum 0,196 mm/s dan RMS maksimum 0,456 mm/s dengan RMS rata-rata 0,2862 mm/s standar deviasi pada RMS 0,693, *acceleration* minimum 0,014 mm/s, *acceleration* maksimum 0,024 mm/s dengan rata rata *acceleration* 0,0180 mm/s. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa parameter optimal tekanan sebesar 5,015 bar, arus 72,838 A, *cutting speed* 520,944 mm/min dengan hasil optimal RMS 0,282 mm/s, *acceleration optimal* 0,023g dengan *desirability* 0,618. Dengan nilai *desirability* tersebut mampu menghasilkan getaran yang cukup baik, meskipun belum mencapai kondisi yang ideal.

Penelitian terdahulu dengan judul *Optimization of Plasma Cutting Parameters on Dimensional Accuracy and Machining Time for Low Carbon Steel* (Hamood & Najm, 2020). Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen pemotongan pada material *mild steel 1010* dengan ketebalan 4 mm dengan parameter yang digunakan adalah *arc current*, *cutting speed* dan *arc distance*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa deviasi hasil potongan berada pada rentang 0,21 mm hingga 0,77 mm. Deviasi terkecil sebesar 0.21 mm diperoleh pada *arc current* 90 A, *arc distance* 4 mm, dan *cutting speed* 3000 mm/min, sedangkan deviasi terbesar diperoleh pada *arc current* 90 A, *arc distance* 2 mm dan *cutting speed* 3000mm/min.

2.3.1 Keterbaruan (*novelty*)

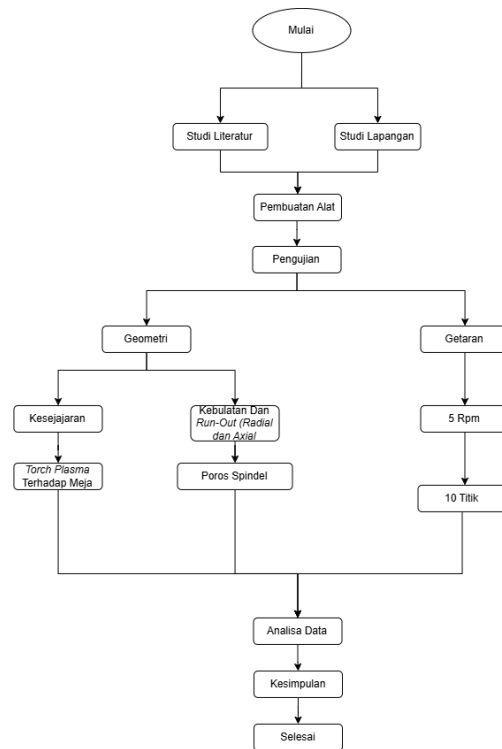
Keterbaruan (*novelty*) dari penelitian ini adalah pengujian penyimpangan geometri dan pengujian getaran pada rpm rendah (5 Rpm). Penelitian ini menganalisis penyimpangan pada struktur penggerak mesin yang menimbulkan getaran yang dapat merambat ke posisi *plasma torch* yang dapat mempengaruhi hasil dari pemotongan pada pipa maupun plat.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flowchart* Proses Pengambilan Data

Flowchart merupakan sebuah gambaran dari suatu proses penelitian yang akan dilakukan. Pada flowchart ini akan menjelaskan tentang proses pembuatan *beveling* yang akan diuji untuk proyek akhir. Dalam pengerjaan proyek akhir ini diperlukan flowchart yang dapat menjelaskan urutan kerja dari pengumpulan data hingga pembuatan laporan akhir. Sehingga pengerjaan proyek akhir dapat berjalan dengan lancar dan sesuai yang diharapkan. Berikut ini merupakan flowchart proses penelitian



Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian

Metode yang peneliti gunakan untuk mengukur dan mendata nilai getaran mengikuti metode penelitian sebelumnya yang dilakukan (Zaira & Wijianto, 2020), yaitu dengan menggunakan *vibration tester type* VM – 6370 dengan mencari parameter berupa . nilai displacement, acceleration, velocity, dan amplitudo. Pada pengolahan data untuk hasil penelitian ini nantinya akan ditampilkan tabel dan

grafik data yang sudah diolah menggunakan *software microsoft excel* dan dari data yang sudah diolah ini kita bisa melihat bagaimana korelasi antara penyimpangan geometri terhadap tingkat getaran yang terjadi sehingga bisa dibuat sebuah rekomendasi pada akhirnya.

3.2 Rencana Pengambilan Data

3.2.1 Prosedur Pengambilan Data Geometri

1. Prosedur pengambilan data penyimpangan

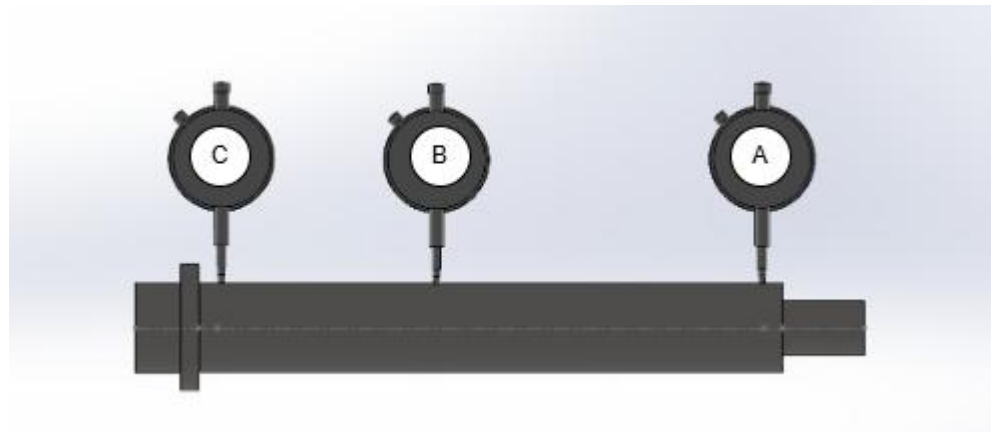
Pada pengukuran kesejajaran *torch* dan meja menggunakan *dial indicator* yang dipasang pada *magnetic stand*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan jarak anatar *torch* dan meja pada saat proses pemotongan berlangsung.

Tabel 3. 1 Tabel Hasil Pengujian Kesejajaran *Torch* dan meja

Titik Pengukuran	Dial Indicator	Penyimpangan
Titik 1		
Titik 2		
Titik 3		
Titik 4		
Titik 5		
Titik 6		

2. Prosedur pengambilan data penyimpangan kebulatan dan *run-out*

Pengukuran *run out* poros dilakukan menggunakan *dial indikator* yang dipasang pada *magnetic stand*. Sebelum dilakukan pengukuran *run-out*, terlebih dahulu dilakukan pengukuran kebulatan pada poros spindle untuk memastikan bahwa penyimpangan yang terbaca pada *run out* bukan disebabkan oleh bentuk spindle yang tidak bulat, melainkan dari penyompangan putaran. Untuk pengukuran nilai penyimpangan *run out* diperoleh dari selisih pergerakan maksimum dan minimum jarum dial indikator selama proses pemutaran. Pada pengukuran ini mesin bubut digunakan sebagai alat bantu dalam pengukuran.



Gambar 3. 2 Titik Pengujian *Run Out* Dan Kebulatan

Tabel 3. 2 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan (Titik A)

Hasil pengujian Kebulatan (Titik A)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	
2	90°	
3	180°	
4	270°	
Rata-Rata		

Tabel 3. 3 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan (Titik B)

Hasil pengujian Kebulatan (Titik B)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	
2	90°	
3	180°	
4	270°	
Rata-Rata		

Tabel 3. 4 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan (Titik C)

Hasil pengujian Kebulatan (Titik C)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	
2	90°	
3	180°	
4	270°	
Rata-Rata		

Tabel 3. 5 Tabel Hasil Pengujian Kelurusan Run-Out (Titik A)

Hasil pengujian Run Out (Titik A)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	
2	90°	
3	180°	
4	270°	
5	360°	
Rata-Rata		

Tabel 3. 6 Tabel Hasil Pengujian Kelurusan Run-Out (Titik B)

Hasil pengujian Run Out (Titik B)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	
2	90°	
3	180°	
4	270°	
5	360°	
Rata-Rata		

Tabel 3. 7 Tabel Hasil Pengujian Kelurusan Run-Out (Titik C)

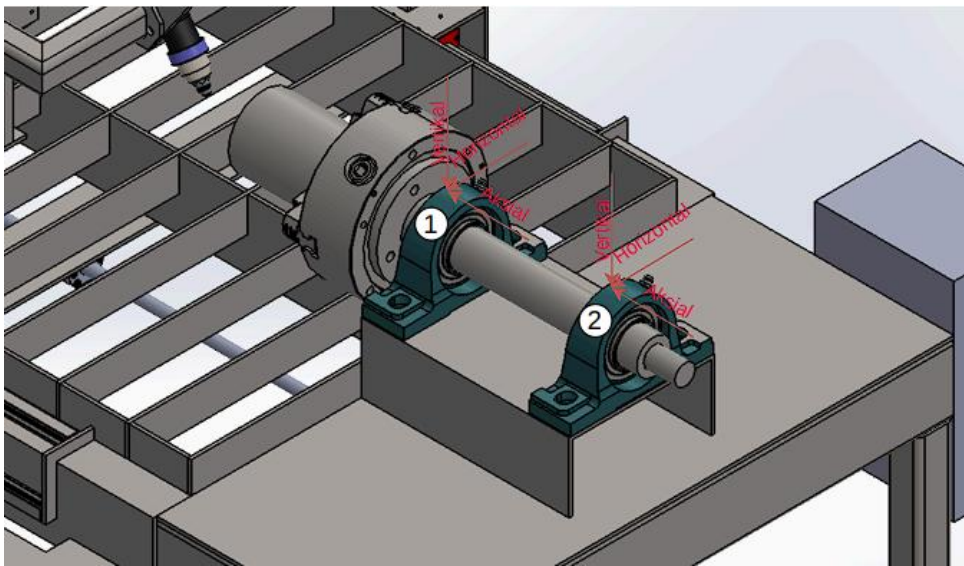
Hasil pengujian Run Out (Titik C)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	
2	90°	
3	180°	
4	270°	
5	360°	
Rata-Rata		

3.2.2 Prosedur Pengambilan Data Getaran

Pada pengambilan data getaran ini akan dilakukan di beberapa area yang sudah ditandai pada *apparatus* dan akan digunakan variasi posisi pengukuran (axial, horizontal, vertikal). Variasi rpm yang digunakan pada pengujian ini yaitu 5. Alat ukur yang digunakan adalah *vibration tester* dengan spesifikasi VM-6370

1 Prosedur Pengukuran Titik 1-2

Pengukuran titik 1 dan titik 2 dilakukan padaudukan (bearing 1 dan 2) pada poros spindel pencekam material pipa yang akan dipotong, dimana data diambil pada saat mesin beroperasi dalam pembuatan *beveling* pada pipa. Jenis probe yang akan digunakan pada titik ini adalah probe jarum. Berikut ilustrasi letak probe jarum pada titik 1:

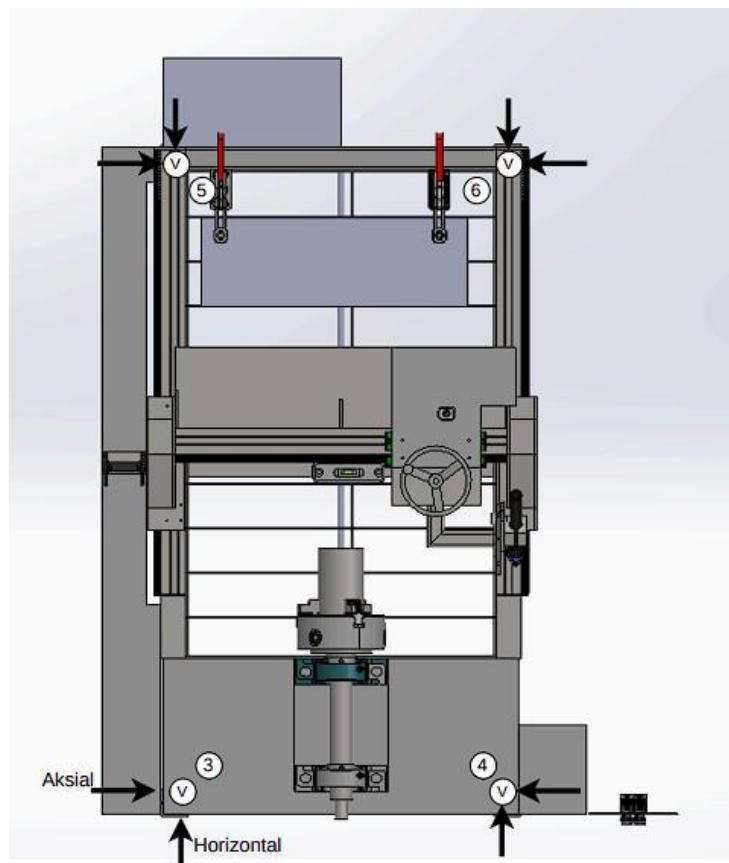


Gambar 3. 3 Titik Pengujian Getaran 1 dan 2

Sumber : Kristian

2 Prosedur Pengukuran Titik 3-6

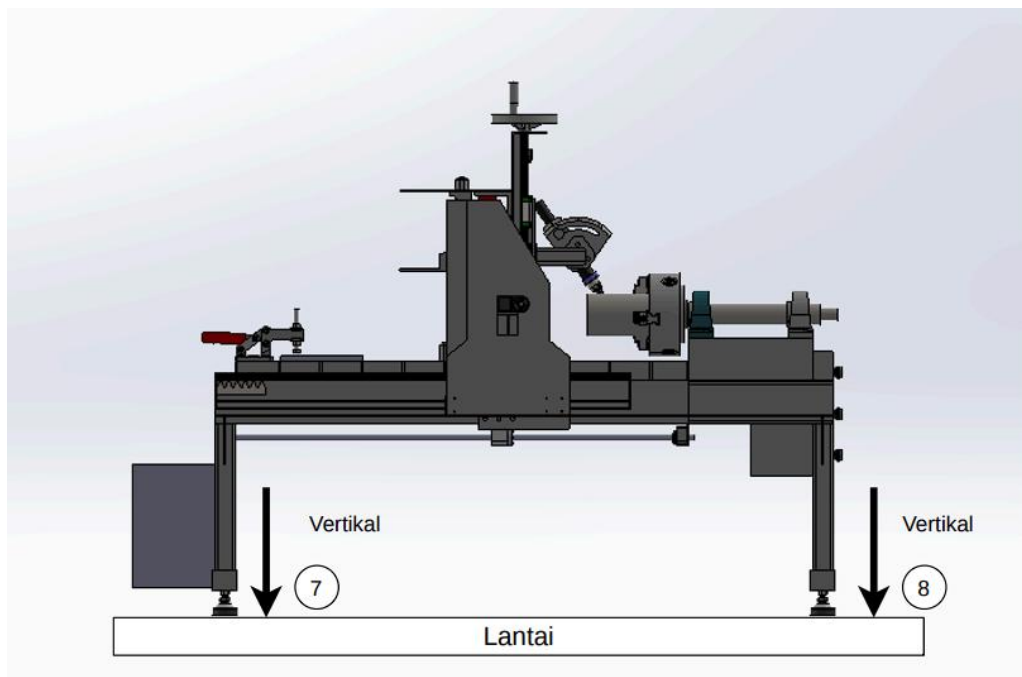
Pengukuran titik 3-6 dilakukan pada setiap sudut pada rangka, dimana data diambil pada saat mesin beroperasi dalam pembuatan *beveling* . Jenis probe yang akan digunakan pada titik ini adalah probe magnet. Berikut ilustrasi letak probe magnet pada titik 3-6 :



Gambar 3. 4 Titik Pengujian Titik 3-6
Sumber : Kristian

3 Prosedur Pengukuran Titik 7-8

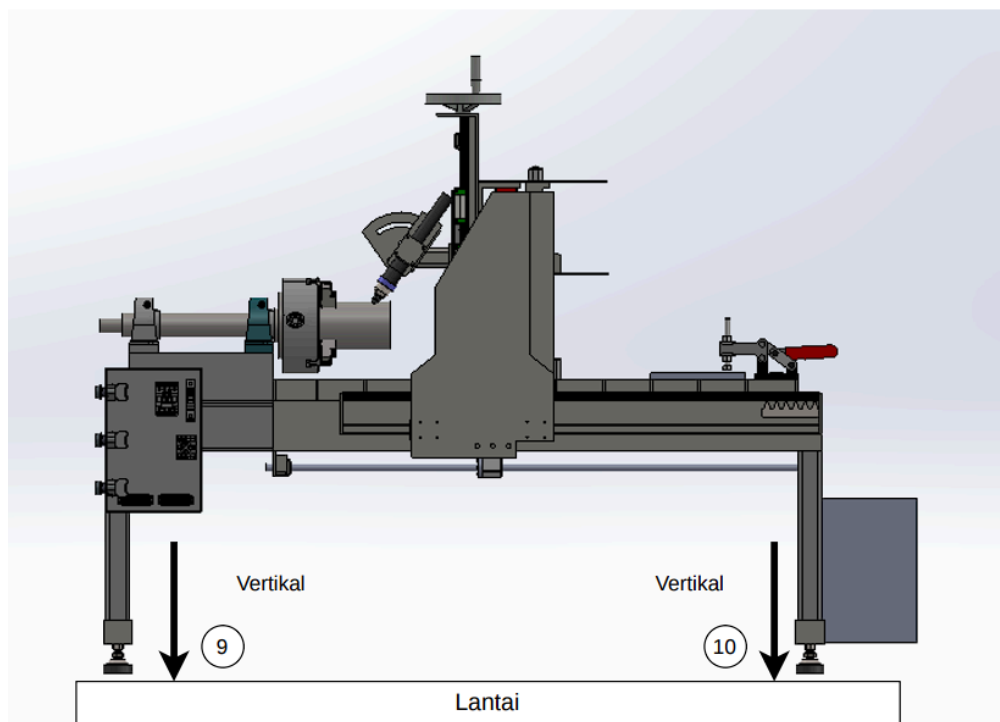
Pengukuran titik 7-8 dilakukan pada kedudukan pada lantai disamping kaki mesin, ini dilakukan untuk mengetahui nilai getaran yang merambat ke tubuh manusia pada saat proses pemotongan *beveling* berlangsung, data diambil pada saat mesin beroperasi dalam pembuatan *beveling* pada pipa. Jenis probe yang akan digunakan pada titik ini adalah probe magnet. Berikut ilustrasi letak probe magnet pada titik 7-8:



Gambar 3. 5 Titik Pengujian 7 Dan 8
Sumber : Kristian

6 Prosedur Pengukuran Titik 9-10

Pengukuran titik 9-10 dilakukan pada kedudukan pada lantai disamping kaki mesin, ini dilakukan untuk mengetahui nilai getaran yang merambat ke tubuh manusia pada saat proses pemotongan *beveling* berlangsung, data diambil pada saat mesin beroperasi dalam pembuatan *beveling* pada pipa. Jenis probe yang akan digunakan pada titik ini adalah probe magnet. Berikut ilustrasi letak probe magnet pada titik 9-10: (*Tabel Pengujian Terlampir*)



Gambar 3. 6 Titik Pengujian 9 Dan 10
Sumber : Kristian

Menurut (Clarkson, 1981), periode adalah banyaknya waktu yang diperlukan untuk melakukan getaran dalam satu siklus penuh. Sebuah gerakan disebut gerak periodik jika gerakan tersebut berulang secara teratur dalam interval waktu yang sama. Interval waktu tersebut disebut periode dan dilambangkan dengan T . Periode ini menunjukkan berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus penuh gerakan.

Dalam penyederhanaan matematis yang akan digunakan, fungsi waktu " $x(t)$ " menggambarkan posisi benda pada waktu tertentu " t ". Pada gerakan periodik, posisi benda pada waktu t akan selalu sama dengan posisi benda pada waktu " $t + T$ ", artinya, setelah periode waktu berlalu, gerakan benda akan kembali ke keadaan semula. Jadi, hubungan ini bisa ditulis sebagai persamaan dengan domain waktu:

$$x(t) = x(t + T) \dots \dots \dots (3)$$

Ini berarti bahwa jika kita mengukur posisi benda pada waktu tertentu dan kemudian mengukur posisi benda lagi setelah periode waktu T , posisinya akan sama. Perumusan ini bisa dinyatakan dengan:

$$x = A \sin 2\pi \frac{t}{T} = \dots \dots \dots (4)$$

Dengan A sebagai amplitudo, yaitu simpangan terjauh yang terjadi saat siklus osilasi terjadi.

$$x = A \sin \omega t \dots \dots \dots (5)$$

x adalah perpindahan, ω adalah kecepatan sudut, dan ωt adalah kecepatan sudut fungsi waktu. Lalu selanjutnya adalah persamaan velocity (kecepatan):

$$\dot{x} = \omega A \cos \omega t \dots \dots \dots (6)$$

Lalu untuk persamaan selanjutnya yaitu persamaan acceleration (percepatan) dilakukan derivative:

$$\ddot{x} = -A \omega \sin \omega t \dots \dots \dots (7)$$

Lalu substitusi persamaan (5) dan (7), maka didapatkan:

$$\ddot{x} = -y \cdot \omega^2 \dots \dots \dots (8)$$

Terdapat hasil negatif pada persamaan yang didapat dari hasil substitusi. Ini berarti arah percepatan berlawanan dengan arah simpangannya. Sehingga bisa mendapatkan frekuensi getaran dalam bentuk kecepatan sudut (ω):

$$\omega = \sqrt{\frac{\ddot{x}}{x}} \dots\dots\dots(9)$$

Amplitudo (A) adalah nilai simpangan terjauh dan mempunyai harga yang sama pada simpangan (displacement), kecepatan (velocity), dan percepatan (acceleration), sehingga berlaku hubungan :

$$A_1=A_2=A_3 \dots\dots\dots(10)$$

Sehingga bisa didapatkan:

$$\frac{x}{\sin \omega t} = \frac{\dot{x}}{\omega \cos \omega t} = \frac{\ddot{x}}{\omega^2 \sin \omega t} \dots\dots\dots(11.a)$$

Maka:

$$\frac{x}{\sin \omega t} = \frac{\dot{x}}{\omega \cos \omega t} = \frac{\ddot{x}}{\omega^2 \sin \omega t} \rightarrow \frac{x}{\dot{x}} = \frac{\sin \omega t}{\omega_{05} \cos \omega t} \rightarrow \omega^t = \arctan \frac{x\omega}{\dot{x}} \dots\dots\dots(11)$$

Nilai dari kecepatan sudut, kecepatan sudut terhadap waktu, dan amplitudo akan didapatkan dari hasil pengukuran dan akan dianalisis berdasarkan rumus yang sudah dipaparkan. Pada tabel analisis berikut ini akan ditampilkan tabel analisis amplitudo. Amplitudo yang dicari awalnya adalah amplitudo pada tiap titik di antara variasi beban yang diberikan. Analisis amplitudo akan dilakukan satu per satu tiap titiknya.

1. Analisa Amplitudo

Analisa pada amplitudo dilakukan pada tiap titik yang ditentukan, mulai dari T-01 sampai T-10. Nilai displacement, velocity, dan acceleration yang diletakkan pada tabel analisa ini adalah nilai rata-rata dari hasil pengujian pada prosedur pengukuran getaran. Nilai ω , ωt , dan amplitudo dicari dengan rumus yang sudah dijabarkan diatas dengan bantuan software pengolah data.

BAB 4

DATA DAN ANALISA

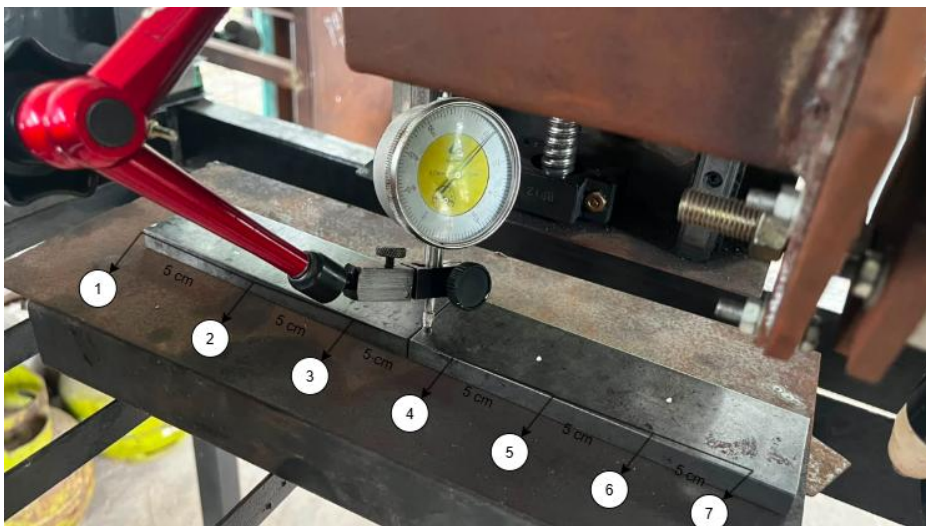
Bab ini membahas terkait hasil pengujian geometri pada rel pemandu, poros, badan rel pemandu dan getaran pada mesin . Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan yang dihasilkan pada part setelah melalui tahap produksi.

4.1 Hasil Pengujian Geometri

Pengujian geometri dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan yang terjadi pada komponen mesin setelah melalui proses fabrikasi dan *assembly*. Hasil pengujian ini digunakan sebagai parameter evaluasi untuk memastikan bahwa penyimpangan masih berada dalam batas toleransi dalam ISO 2768-2.

4.1.1 Tabel Pengujian Kesejajaran

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar penyimpangan kesejajaran antara *torch plasma* dan meja . Posisi *dial indicator* diletakkan pada kedudukan *torch plasma* dan dial diletakkan pada benda uji yang berada di meja, dapat dilihat seperti gambar berikut.



Gambar 4. 1 Proses Pengambilan Data Kesejajaran



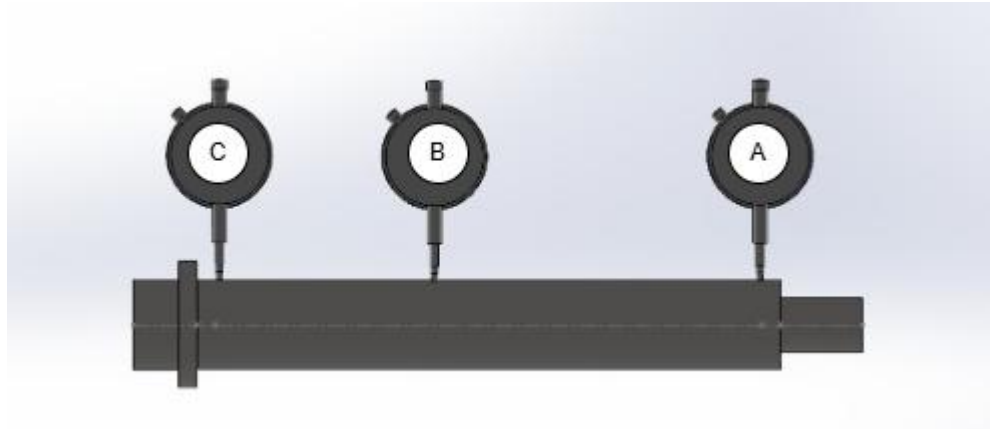
Gambar 4. 2 Titik Akhir *Dial Indicator* Pada Uji Kesejajaran

Tabel 4. 1 Tabel Hasil Pengujian Kesejajaran

Titik Pengukuran	Dial Indicator	Penyimpangan
Titik 1	46 garis	0.46mm
Titik 2	47 garis	0.47mm
Titik 3	59 garis	0.59mm
Titik 4	80 garis	0.80mm
Titik 5	135 garis	1.35mm
Titik 6	170 garis	1.70mm

4.1.2 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan Dan Run-Out

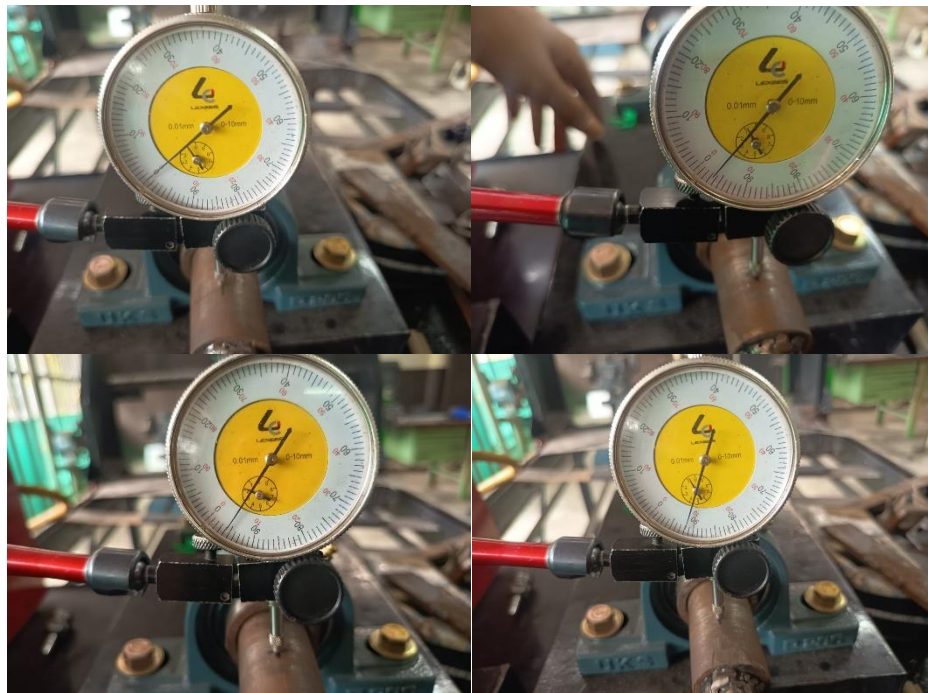
Pada pengujian kebulatan dilakukan untuk mengetahui bentuk dari poros yang digunakan pada alat dan juga untuk mengetahui bahwa pada pengujian penyimpangan *run-out* memang terjadi penyimpangan kesumbuaan bukan dari penyimpangan bentuk. Berikut adalah gambar untuk posisi pengambilan data pada kebulatan dan *runout*.



Gambar 4. 3 Posisi Pengujian Kebulatan Dan *Runout*

1. Titik A

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kebulatan (*roundness / run-out*) pada poros atau benda kerja di Titik A. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dokumentasi, pengukuran ini menggunakan alat ukur berupa *Dial Indicator* dengan tingkat ketelitian 0.01 mm yang ditempelkan langsung pada permukaan poros. Benda kerja diputar untuk melihat seberapa besar penyimpangan pergerakan jarum pada dial indikator tersebut.



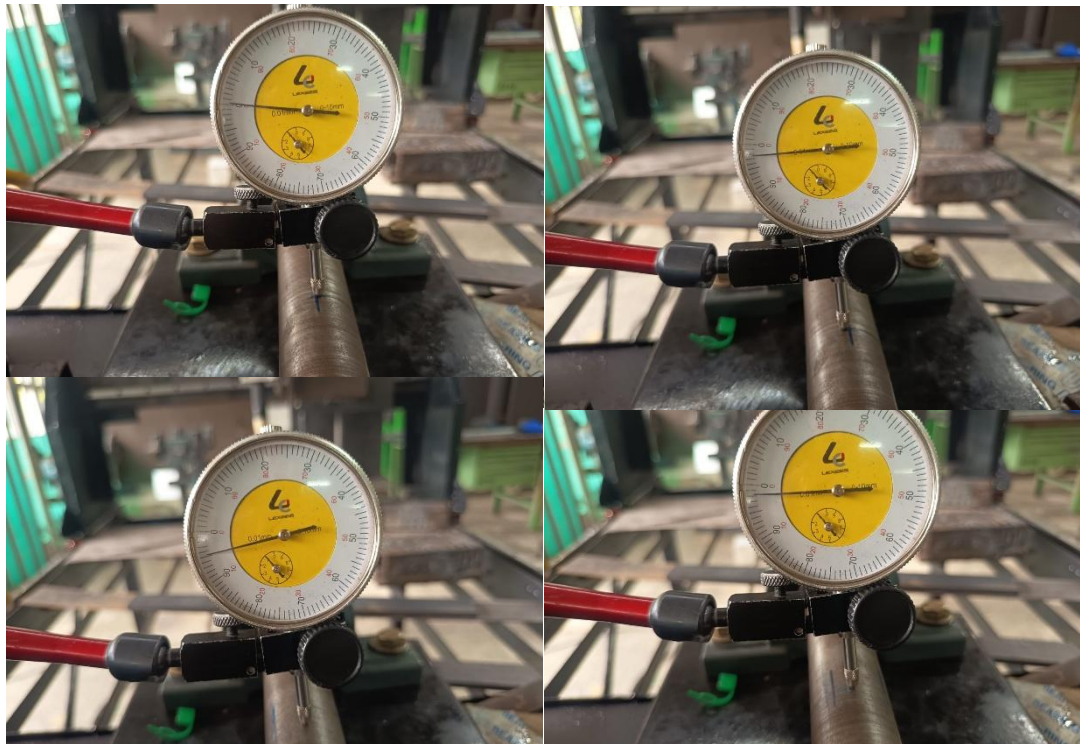
Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian Kebulatan Poros Pada Titik A

Tabel 4. 2 Tabel hasil Pengujian Kebulatan Titik A

Hasil pengujian Kebulatan (Titik A)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	0,00 mm
2	90°	0,03 mm
3	180°	0,04 mm
4	270°	0,08 mm
Rata-Rata		0,0375 mm

2. Titik B

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kebulatan (*roundness / run-out*) pada poros atau benda kerja di Titik B. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dokumentasi, pengukuran ini menggunakan alat ukur berupa *Dial Indicator* dengan tingkat ketelitian 0.01 mm yang ditempelkan langsung pada permukaan poros. Benda kerja diputar untuk melihat seberapa besar penyimpangan pergerakan jarum pada dial indikator tersebut.



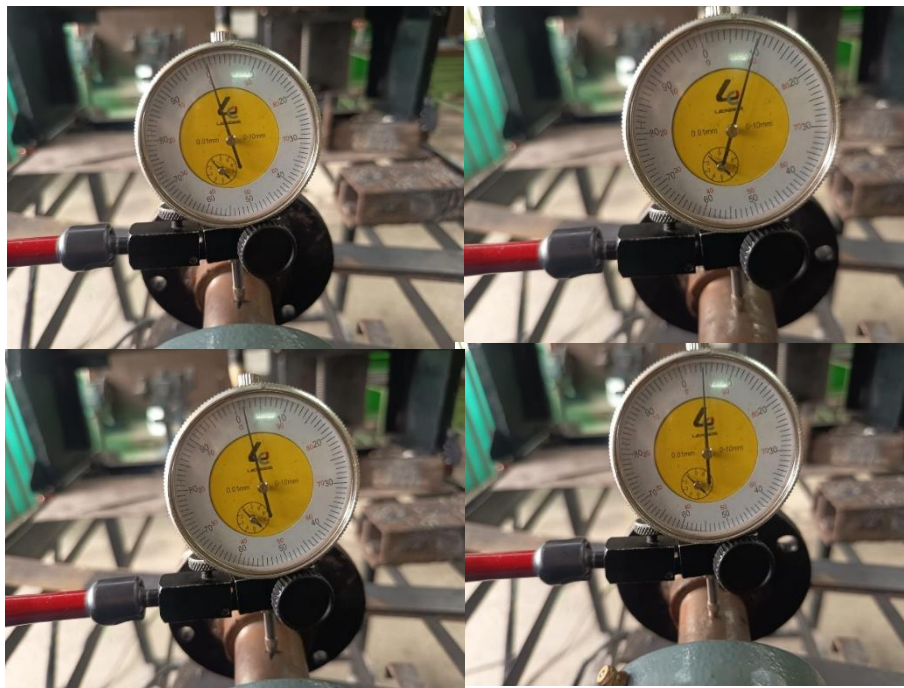
Gambar 4. 5 Dokumentasi Pengujian Kebulatan Poros Pada Titik B

Tabel 4. 3 Tabel Hasil Pengujian Kebulatan Titik B

Hasil pengujian Kebulatan (Titik B)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	0,00 mm
2	90°	0,02 mm
3	180°	0,05 mm
4	270°	(-0,02 mm)
Rata-Rata		0,012 mm

3. Titik C

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kebulatan (*roundness / run-out*) pada poros atau benda kerja di Titik B. Seperti yang ditunjukkan pada gambar dokumentasi, pengukuran ini menggunakan alat ukur berupa *Dial Indicator* dengan tingkat ketelitian 0.01 mm yang ditempelkan langsung pada permukaan poros. Benda kerja diputar untuk melihat seberapa besar penyimpangan pergerakan jarum pada dial indikator tersebut.



Gambar 4. 6 Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengujian Kebulatan Poros Pada Titik C

Hasil pengujian Kebulatan (Titik C)		
No	Sudut	Pembacaan Dial Indikator
1	0°	0,00 mm
2	90°	0,04 mm
3	180°	(-0,02 mm)
4	270°	0,08 mm
Rata-Rata		0,025 mm

Pada pengujian *run-out* ini dilakukan dua jenis pengujian *run-out* yaitu *run out radial* dan *runout axial* yang dimana pada engujian *run out radial* posisi jarum *dial indicator* diletakkan pada badan poros dan pada *run out axial* posisi *dial indicator* diletakkan pada bagian samping poros. Untuk posisi pengujian yang akan digunakan pada pengujian *runout* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan untuk *runout axial* dilakukan pada bagian samping poros . Berikut adalah hasil dari pengujian

1. Titik A

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tingkat penyimpangan pada poros saat berputar. Pengukuran dilakukan secara langsung menggunakan *Dial Indicator* dengan tingkat ketelitian pembacaan 0,01 mm yang diposisikan tegak lurus menyentuh permukaan benda kerja.



Gambar 4. 7 Pengujian *Runout Radial* Titik A

Tabel 4. 4 Tabel Hasil Pengujian *Runout Radial* Pada Titik A

Hasil Pembacaan <i>Dial Indicator</i> Pada Pengujian <i>Runout Radial</i> (Titik A)	
Nilai Penyimpangan Terendah	0,00 mm
Nilai Penyimpangan Tertinggi	0,06 mm
Nilai Penyimpangan ($R_{maks} - R_{min}$)	0,06 mm

2. Titik B

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tingkat penyimpangan pada poros saat berputar. Pengukuran dilakukan secara langsung menggunakan *Dial Indicator* dengan tingkat ketelitian pembacaan 0,01 mm yang diposisikan tegak lurus menyentuh permukaan benda kerja.



Gambar 4. 8 Pengujian *Runout Radial* Titik B

Tabel 4. 5 Tabel Hasil Pengujian *Runout Radial* Pada Titik B

Hasil Pembacaan <i>Dial Indicator</i> Pada Pengujian <i>Runout Radial</i> (Titik B)	
Nilai Penyimpangan Terendah	0,00 mm
Nilai Penyimpangan Tertinggi	0,00 mm
Nilai Penyimpangan ($R_{maks} - R_{min}$)	0,00 mm

3. Titik C

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tingkat penyimpangan pada poros saat berputar. Pengukuran dilakukan secara langsung menggunakan *Dial Indicator* dengan tingkat ketelitian pembacaan 0,01 mm yang diposisikan tegak lurus menyentuh permukaan benda kerja.



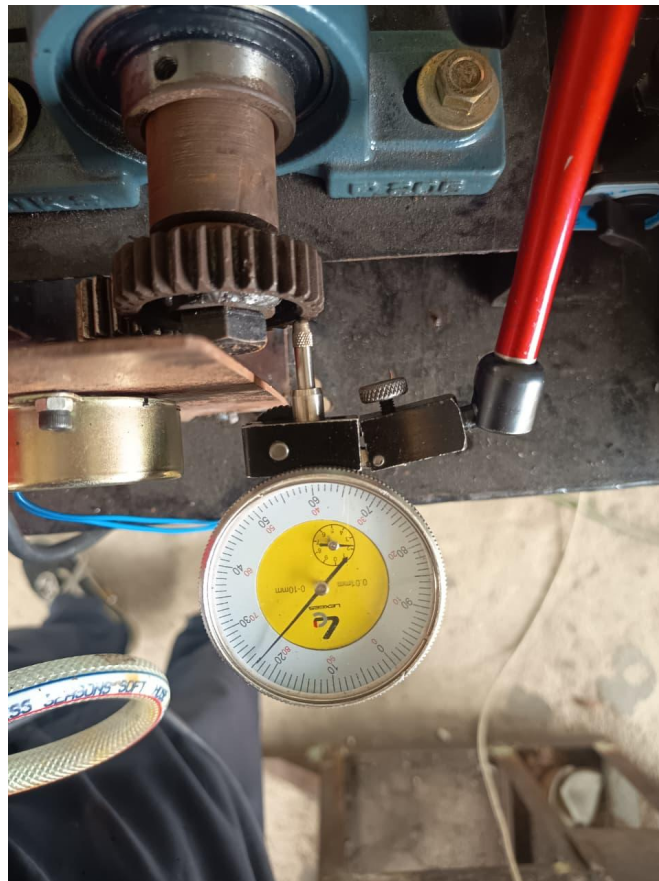
Gambar 4. 9 Pengujian Runout Radial Titik C

Tabel 4. 6 Tabel Hasil Pengujian Runout Radial Pada Titik C

Hasil Pembacaan <i>Dial Indicator</i> Pada Pengujian <i>Runout Radial</i> (Titik C)	
Nilai Penyimpangan Terendah	0,08 mm
Nilai Penyimpangan Tertinggi	0,1 mm
Nilai Penyimpangan ($R_{maks} - R_{min}$)	0,02 mm

1. Titik A

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tingkat penyimpangan pada poros saat berputar. Pengukuran dilakukan secara langsung menggunakan *Dial Indicator* dengan tingkat ketelitian pembacaan 0,01 mm yang diposisikan tegak lurus menyentuh permukaan benda kerja.



Gambar 4. 10 Pengujian Runout Axial Titik A

Tabel 4. 7 Tabel Hasil Pengujian Runout Radial Pada Titik A

Hasil Pembacaan <i>Dial Indicator</i> Pada Pengujian <i>Runout Axial</i> (Titik A)	
Nilai Penyimpangan Terendah	0,8 mm
Nilai Penyimpangan Tertinggi	0,4 mm
Nilai Penyimpangan ($R_{maks} - R_{min}$)	0,4 mm



Gambar 4. 11 Pengujian Runout Axial Titik B

Tabel 4. 8 Tabel Hasil Pengujian Runout Radial Pada Titik B

Hasil Pembacaan <i>Dial Indicator</i> Pada Pengujian <i>Runout Axial</i> (Titik B)	
Nilai Penyimpangan Terendah	-0,09 mm
Nilai Penyimpangan Tertinggi	0,07 mm
Nilai Penyimpangan ($R_{maks} - R_{min}$)	0,16 mm

4.2 Evaluasi Penyimpangan Geometri (ISO 2768-2)

Evaluasi penyimpangan geometri mengacu pada standar ISO 2768-2 dengan menggunakan kelas toleransi K (Keltelitian Menengah). Hasil evaluasi masing - masing parameter dijelaskan sebagai berikut:

1. Kesejajaran Antara *Torch* dan Meja

Hasil pengujian kesejajaran yang dilakukan pada 6 titik pengukuran menunjukkan nilai penyimpangan jarak antara *torch* plasma dan meja kerja yang

membesar secara bertahap. Pengukuran menggunakan *dial indicator* mencatat deviasi berturut-turut sebesar 0,46 mm (Titik 1), 0,47 mm (Titik 2), 0,59 mm (Titik 3), 0,80 mm (Titik 4), 1,35 mm (Titik 5), dan mencapai nilai tertinggi sebesar 1,70 mm (Titik 6). Mengacu pada standar ISO 2768-2 Kelas K, batas toleransi penyimpangan linier untuk rentang panjang nominal 300 mm hingga 1000 mm adalah 0,6 mm, dan toleransi maksimal 0,8 mm untuk rentang 1000 mm hingga 3000 mm. Meskipun penyimpangan pada Titik 1 hingga Titik 3 masih berada pada batas yang dapat ditoleransi, nilai pada Titik 4 hingga Titik 6 telah melampaui standar batas maksimum yang diizinkan.

2. Kebulatan dan *Runout*

Pada penyimpangan kebulatan dan *runout* batas toleransi (ISO 2768-2 Kelas K): Nilai batas toleransi *circular run-out* radial yang diizinkan adalah 0,2 mm. Pada pengujian kebulatan dilakukan 3 titik pengujian rata rata dari hasil pengujian adalah titik A = 0,00375 mm, titik B = 0,012 mm dan titik C = 0,025 mm. Pada pengujian *runout* juga dilakukan pada 3 titik pengujian. Nilai dari *runout radial* pada poros ($M_{maks} - M_{Min}$) titik A = 0,01 mm, titik B = 0,01 mm, dan titik C = 0,01 mm. Nilai pada *runout axial* poros titik A = 0,4 mm dan pada titik B = 0,16 mm yang dimana nilai *runout axial* poros pada titik A telah melewati batas yang telah ditentukan oleh ISO 2768-2 dan pada titik A dapat dinyatakan bahwa penyimpangan *runout axial* pada titik tersebut tidak layak dan direkomendasikan untuk diperbaiki.

4.3 Hasil Pengujian Getaran

Pada proses pengujian getaran dilakukan dalam 10 titik pada mesin dengan pada penentuan titik terdapat 6 titik pengujian yang memiliki 3 arah pengujian seperti vertikal, axial dan horizontal, lalu untuk 4 titik lainnya hanya menggunakan arah vertikal. Pengujian ini dilakukan pada saat terjadi proses pemotongan dan pada saat tidak ada beban pemotongan. Pengujian ini menggunakan alat vibration tester dengan spesifikasi VM- 6380 dan *stopwatch*. Berikut adalah gambar pengambilan data:



Gambar 4. 12 Proses Pengambilan Data Getaran

4.3.1 Pengujian Titik 1 (Tanpa Beban Pemotongan)

Pengujian getaran dilakukan pada Titik 1 dalam kondisi mesin menyala tanpa adanya beban pemotongan (idle). Pengambilan data dilakukan dalam rentang waktu (time domain) selama 60 detik, dengan pencatatan setiap interval 4 detik. Parameter yang diukur meliputi *Displacement* (Perpindahan/Simpangan) dalam satuan mm, *Velocity* (Kecepatan) dalam satuan mm/s, dan *Acceleration* (Percepatan) dalam satuan m/s^2 .

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 1 (Tanpa Beban Pemotongan)

Titik 1									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s^2)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s^2)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s^2)
4	0,002	0,0000	35,000	0,001	0,0100	36,000	0,037	0,0000	8,0000
	5		0	7		0	0		

8	0,002 7	0,0000	40,000 0	0,026 0	0,0000	41,000 0	0,125 0	1,2700	7,0000
12	0,003 2	0,0000	47,000 0	0,025 0	0,0000	57,000 0	0,067 0	0,0100	7,0000
16	0,002 5	0,0000	51,000 0	0,022 0	0,0000	41,000 0	0,050 0	0,1700	5,0000
20	0,002 9	0,0000	36,000 0	0,019 0	0,0000	44,000 0	0,063 0	0,0300	15,000 0
24	0,001 5	0,0000	30,000 0	0,018 0	0,0000	46,000 0	0,045 0	0,0000	11,000 0
28	0,001 3	0,0000	32,000 0	0,026 0	0,0000	42,000 0	0,057 0	0,0500	11,000 0
32	0,002 5	0,0000	23,000 0	0,011 0	0,0000	44,000 0	0,010 0	0,0000	11,000 0
36	0,001 8	0,0000	22,000 0	0,017 0	0,0000	38,000 0	0,055 0	0,0000	13,000 0
40	0,002 7	0,0000	26,000 0	0,015 0	0,0000	30,000 0	0,087 0	0,0000	18,000 0
44	0,002 2	0,0000	28,000 0	0,013 0	0,0000	41,000 0	0,130 0	1,8500	12,000 0
48	0,002 4	0,0000	36,000 0	0,035 0	0,0000	27,000 0	0,016 0	0,0000	7,0000
52	0,002 6	0,0000	27,000 0	0,021 0	0,0000	31,000 0	0,102 0	0,3100	8,0000
56	0,002 8	0,0000	29,000 0	0,049 0	0,0000	20,000 0	0,027 0	0,2900	5,0000
60	0,001 7	0,0000	33,000 0	0,011 0	0,0000	45,000 0	0,040 0	0,0000	5,0000
Rata Rata	0,002 4	0,0000	33,000 0	0,020 6	0,0007	38,866 7	0,060 7	0,2653	9,5333

4.3.2 Pengujian Titik 2 (Tanpa Beban Pemotongan)

Pengujian getaran dilakukan pada Titik 1 dalam kondisi mesin menyala tanpa adanya beban pemotongan (idle). Pengambilan data dilakukan dalam rentang waktu (time domain) selama 60 detik, dengan pencatatan setiap interval 4 detik. Parameter yang diukur meliputi *Displacement* (Perpindahan/Simpangan) dalam

satuan mm, *Velocity* (Kecepatan) dalam satuan mm/s, dan *Acceleration* (Percepatan) dalam satuan m/s².

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 2 (Tanpa Beban Pemotongan)

Titik 2									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,063 0	0,1500	0,0000	0,044 0	0,0100	0,0000	0,016 0	0,2700	0,0000
8	0,084 0	0,9000	0,0000	0,108 0	1,3100	0,0000	0,041 0	0,9300	0,0000
12	0,039 0	0,4500	0,0000	0,111 0	1,2700	0,0000	0,040 0	0,0000	0,0000
16	0,051 0	0,0800	0,0000	0,063 0	0,0900	0,0000	0,048 0	0,0000	0,0000
20	0,028 0	0,0000	0,0000	0,033 0	0,3900	0,0000	0,128 0	0,6700	0,0000
24	0,138 0	0,0800	0,0000	0,022 0	0,1900	0,0000	0,050 0	0,0100	0,0000
28	0,016 0	0,3300	0,0000	0,043 0	0,3100	0,0000	0,080 0	0,8000	0,0000
32	0,087 0	0,3900	0,0000	0,045 0	0,8500	0,0000	0,056 0	0,1300	0,0000
36	0,126 0	1,9700	0,0000	0,062 0	0,0000	0,0000	0,088 0	0,0000	0,0000
40	0,045 0	0,1100	0,0000	0,063 0	1,1300	0,0000	0,042 0	0,0000	0,0000
44	0,086 0	0,6300	0,0000	0,106 0	2,0500	0,0000	0,062 0	0,0000	0,0000
48	0,179 0	2,6900	0,0000	0,061 0	0,3700	0,0000	0,025 0	0,0900	0,0000
52	0,188 0	0,8900	0,0000	0,020 0	0,6300	0,0000	0,059 0	0,0000	0,0000
56	0,025 0	0,0000	0,0000	0,020 0	0,0000	0,0000	0,060 0	0,0000	0,0000

60	0,037 0	0,0000	0,0000	0,012 0	0,0000	0,0000	0,034 0	0,0000	0,0000
Rata Rata	0,079 5	0,5780	0,0000	0,054 2	0,5733	0,0000	0,055 3	0,1933	0,0000

Pada pengujian tanpa beban ini sinyal getaran hanya terdeteksi pada titik 1 dan 2, sedangkan pengujian pada titik 3 sampai 10 menunjukkan pembacaan *vibration meter* sebesar $0,00 \text{ m/s}^2$. Hal ini disebabkan karena bearing merupakan titik kontak mekanis langsung yang menerima transmisi gerak antara gear pada poros dan gear pada motor sehingga menimbulkan getaran dan pada titik 3 sampai 10



Gambar 4. 13 Sampel Pengambilan Data 3-10

4.3.3 Pengujian Titik 1 (Dengan Beban Pemotongan)

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 1, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 1 (Dengan Pemotongan)

Titik 1									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0025	0,0000	35,0000	0,0017	0,0100	36,0000	0,0370	0,0000	8,0000
8	0,0027	0,0000	40,0000	0,0260	0,0000	41,0000	0,1250	1,2700	7,0000
12	0,0032	0,0000	47,0000	0,0250	0,0000	57,0000	0,0670	0,0100	7,0000
16	0,0025	0,0000	51,0000	0,0220	0,0000	41,0000	0,0500	0,1700	5,0000
20	0,0029	0,0000	36,0000	0,0190	0,0000	44,0000	0,0630	0,0300	15,0000
24	0,0015	0,0000	30,0000	0,0180	0,0000	46,0000	0,0450	0,0000	11,0000
28	0,0013	0,0000	32,0000	0,0260	0,0000	42,0000	0,0570	0,0500	11,0000
32	0,0025	0,0000	23,0000	0,0110	0,0000	44,0000	0,0100	0,0000	11,0000
36	0,0018	0,0000	22,0000	0,0170	0,0000	38,0000	0,0550	0,0000	13,0000
40	0,0027	0,0000	26,0000	0,0150	0,0000	30,0000	0,0870	0,0000	18,0000

44	0,002 2	0,0000	28,000 0	0,013 0	0,0000	41,000 0	0,130 0	1,8500	12,000 0
48	0,002 4	0,0000	36,000 0	0,035 0	0,0000	27,000 0	0,016 0	0,0000	7,0000
52	0,002 6	0,0000	27,000 0	0,021 0	0,0000	31,000 0	0,102 0	0,3100	8,0000
56	0,002 8	0,0000	29,000 0	0,049 0	0,0000	20,000 0	0,027 0	0,2900	5,0000
60	0,001 7	0,0000	33,000 0	0,011 0	0,0000	45,000 0	0,040 0	0,0000	5,0000
Rata Rata	0,002 4	0,0000	33,000 0	0,020 6	0,0007	38,866 7	0,060 7	0,2653	9,5333

4.3.4 Pengujian Titik 2

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 2, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 2 (Dengan Pemotongan)

Titik 2									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,035 0	0,0000	2,0000	0,001 7	0,0100	36,000 0	0,012 0	0,0000	0,0000
8	0,012 0	0,0000	0,0000	0,026 0	0,0000	41,000 0	0,011 0	0,0000	0,0000
12	0,045 0	0,0000	0,0000	0,025 0	0,0000	57,000 0	0,100 0	0,0000	0,0000

16	0,050 0	0,0000	0,0000	0,022 0	0,0000	41,000 0	0,003 0	0,0000	0,0000
20	0,063 0	0,0000	0,0000	0,019 0	0,0000	44,000 0	0,006 0	0,0000	0,0000
24	0,045 0	0,0000	0,0000	0,018 0	0,0000	46,000 0	0,020 0	0,0000	0,0000
28	0,032 0	0,0000	0,0000	0,026 0	0,0000	42,000 0	0,009 0	0,0000	0,0000
32	0,012 0	0,0000	0,0000	0,011 0	0,0000	44,000 0	0,010 0	0,0000	0,0000
36	0,032 0	0,0000	0,0000	0,017 0	0,0000	38,000 0	0,003 4	0,0300	0,0000
40	0,045 0	0,0000	0,0000	0,015 0	0,0000	30,000 0	0,010 0	0,0000	0,0000
44	0,032 0	0,0000	0,0000	0,013 0	0,0000	41,000 0	0,057 0	0,0000	0,0000
48	0,028 0	0,0000	0,0000	0,035 0	0,0000	27,000 0	0,009 0	0,0000	0,0000
52	0,015 0	0,0000	0,0000	0,021 0	0,0000	31,000 0	0,002 3	0,0000	0,0000
56	0,022 0	0,0000	0,0000	0,049 0	0,0000	20,000 0	0,003 3	0,0000	0,0000
60	0,036 0	0,0000	0,0000	0,011 0	0,0000	45,000 0	0,032 0	0,0000	0,0667
Rata Rata	0,033 6	0,0000	0,1333	0,020 6	0,0007	38,866 7	0,019 2	0,0020	0,0000

4.3.5 Pengujian Titik 3

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 3, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 3 (Dengan Pemotongan)

Titik 3									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0250	0,0200	35,0000	0,0250	0,0200	35,0000	0,0017	0,0100	36,0000
8	0,0200	0,0000	55,0000	0,0220	0,0000	41,0000	0,0260	0,0000	41,0000
12	0,0350	0,0000	41,0000	0,0250	0,0000	23,0000	0,0250	0,0000	57,0000
16	0,0450	0,0000	42,0000	0,0180	0,0000	22,0000	0,0220	0,0000	41,0000
20	0,0500	0,0000	32,0000	0,0027	0,0000	26,0000	0,0190	0,0000	44,0000
24	0,0480	0,0000	46,0000	0,0220	0,0000	28,0000	0,0180	0,0000	46,0000
28	0,0370	0,0000	25,0000	0,0024	0,0000	36,0000	0,0250	0,0000	51,0000
32	0,0590	0,0000	12,0000	0,0450	0,0000	11,0000	0,0029	0,0000	36,0000
36	0,0460	0,0000	35,0000	0,0430	0,0500	11,0000	0,0150	0,0000	30,0000
40	0,0420	0,0300	25,0000	0,0100	0,0000	11,0000	0,0130	0,0000	32,0000
44	0,0170	0,0000	24,0000	0,0550	0,0000	13,0000	0,0025	0,0000	23,0000
48	0,0250	0,0000	28,0000	0,0450	0,0000	11,0000	0,0160	0,0000	7,0000
52	0,0300	0,0000	36,0000	0,0570	0,0500	11,0000	0,0120	0,0310	8,0000
56	0,0350	0,0000	22,0000	0,0100	0,0000	11,0000	0,0270	0,0290	5,0000

60	0,027 0	0,0000	21,000 0	0,055 0	0,0000	13,000 0	0,040 0	0,0000	5,0000
Rata Rata	0,036 1	0,0033	31,933 3	0,029 1	0,0080	20,200 0	0,017 7	0,0047	30,800 0

4.3.6 Pengujian Titik 4

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 4, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 4 (Dengan Pemotongan)

Titik 4									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0029	0,0000	36,0000	0,0017	0,0100	36,0000	0,0017	0,0100	36,0000
8	0,0150	0,0000	30,0000	0,0260	0,0000	41,0000	0,0260	0,0000	41,0000
12	0,0130	0,0000	32,0000	0,0250	0,0000	57,0000	0,0250	0,0000	57,0000
16	0,0025	0,0000	23,0000	0,0220	0,0000	41,0000	0,0220	0,0000	41,0000
20	0,0180	0,0000	22,0000	0,0190	0,0000	44,0000	0,0190	0,0000	44,0000
24	0,0027	0,0000	26,0000	0,0180	0,0000	46,0000	0,0180	0,0000	46,0000
28	0,0220	0,0000	28,0000	0,0250	0,0000	51,0000	0,0260	0,0000	42,0000
32	0,0240	0,0000	36,0000	0,0240	0,0000	36,0000	0,0110	0,0000	44,0000

36	0,012 0	0,0000	25,000 0	0,012 0	0,0000	25,000 0	0,015 0	0,0000	30,000 0
40	0,011 0	0,0000	22,000 0	0,011 0	0,0000	22,000 0	0,013 0	0,0000	41,000 0
44	0,100 0	0,0000	26,000 0	0,100 0	0,0000	26,000 0	0,035 0	0,0000	27,000 0
48	0,030 0	0,0000	28,000 0	0,030 0	0,0000	28,000 0	0,021 0	0,0000	31,000 0
52	0,060 0	0,0000	36,000 0	0,060 0	0,0000	36,000 0	0,049 0	0,0000	20,000 0
56	0,020 0	0,0000	27,000 0	0,020 0	0,0000	27,000 0	0,011 0	0,0000	45,000 0
60	0,027 0	0,0000	21,000 0	0,002 9	0,0000	36,000 0	0,017 0	0,0000	33,000 0
Rata Rata	0,024 0	0,0000	27,866 7	0,026 4	0,0007	36,800 0	0,020 6	0,0007	38,533 3

4.3.7 Pengujian Titik 5

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 5, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 5 (Dengan Pemotongan)

Titik 5									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,002 7	0,0000	26,000 0	0,011 0	0,0000	44,000 0	0,002 7	0,0000	26,000 0
8	0,020	0,0000	28,000 0	0,015 0	0,0000	30,000 0	0,022 0	0,0000	28,000 0

12	0,002 4	0,0000	36,000 0	0,013 0	0,0000	41,000 0	0,002 4	0,0000	36,000 0
16	0,045 0	0,0000	11,000 0	0,035 0	0,0000	27,000 0	0,045 0	0,0000	11,000 0
20	0,043 0	0,0500	11,000 0	0,021 0	0,0000	31,000 0	0,043 0	0,0500	11,000 0
24	0,042 0	0,0300	25,000 0	0,049 0	0,0000	20,000 0	0,042 0	0,0300	25,000 0
28	0,017 0	0,0000	24,000 0	0,012 0	0,0000	25,000 0	0,017 0	0,0000	24,000 0
32	0,025 0	0,0000	28,000 0	0,011 0	0,0000	22,000 0	0,025 0	0,0000	28,000 0
36	0,030 0	0,0000	36,000 0	0,100 0	0,0000	26,000 0	0,030 0	0,0000	36,000 0
40	0,035 0	0,0000	22,000 0	0,030 0	0,0000	28,000 0	0,002 5	0,0000	23,000 0
44	0,013 0	0,0000	41,000 0	0,060 0	0,0000	36,000 0	0,016 0	0,0000	7,0000
48	0,035 0	0,0000	27,000 0	0,030 0	0,0000	28,000 0	0,012 0	0,0310	8,0000
52	0,021 0	0,0000	31,000 0	0,060 0	0,0000	36,000 0	0,027 0	0,0290	5,0000
56	0,049 0	0,0000	20,000 0	0,020 0	0,0000	27,000 0	0,040 0	0,0000	5,0000
60	0,011 0	0,0000	45,000 0	0,027 0	0,0000	21,000 0	0,001 7	0,0100	36,000 0
Rata Rata	0,026 2	0,0053	27,400 0	0,032 9	0,0000	29,466 7	0,021 9	0,0100	20,600 0

4.3.8 Pengujian Titik 6

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 6, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup

Displacement (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 6 (Dengan Pemotongan)

Titik 6									
Time Domain									
Time (S)	Axial			Vertikal			Horizontal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0017	0,0100	36,0000	0,0025	0,0020	0,0120	0,0000	25,0000	0,0120
8	0,0260	0,0000	41,0000	0,0160	0,0000	0,0110	0,0000	22,0000	0,0110
12	0,0250	0,0000	57,0000	0,0120	0,0310	0,1000	0,0000	26,0000	0,1000
16	0,0160	0,0000	7,0000	0,0270	0,0290	0,0300	0,0000	28,0000	0,0300
20	0,0120	0,0310	8,0000	0,0400	0,0000	0,0600	0,0000	36,0000	0,0600
24	0,0270	0,0290	5,0000	0,0150	0,0000	0,0025	0,0000	23,0000	0,0025
28	0,0400	0,0000	5,0000	0,0130	0,0000	0,0160	0,0000	7,0000	0,0160
32	0,0017	0,0100	36,0000	0,0350	0,0000	0,0120	0,0310	8,0000	0,0120
36	0,0260	0,0000	41,0000	0,0210	0,0041	0,0270	0,0250	5,0000	0,0270
40	0,0250	0,0000	57,0000	0,0490	0,0000	0,0400	0,0150	5,0000	0,0400
44	0,0220	0,0000	41,0000	0,0120	0,0000	0,0300	0,0000	28,0000	0,0300
48	0,0190	0,0000	44,0000	0,0110	0,0000	0,0600	0,0100	36,0000	0,0600
52	0,0170	0,0000	24,0000	0,0350	0,0042	0,0200	0,0000	27,0000	0,0200

56	0,025 0	0,0000	28,000 0	0,021 0	0,0000	0,0100	0,000 0	11,000 0	0,0100
60	0,030 0	0,0000	36,000 0	0,049 0	0,0000	0,0550	0,012 0	13,000 0	0,0550
Rata Rata	0,020 9	0,0053	31,066 7	0,023 9	0,0047	0,0324	0,006 2	20,000 0	0,0324

4.3.9 Pengujian Titik 7

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 7, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 7 (Dengan Pemotongan)

Titik 7			
Time Domain			
Time (S)	Vertikal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0120	0,0000	2,0000
8	0,0110	0,0000	1,0000
12	0,1000	0,0000	2,0000
16	0,0300	0,0000	0,0000
20	0,0600	0,0000	0,0000
24	0,0300	0,0000	0,0000
28	0,0600	0,0000	0,0000
32	0,1000	0,0000	0,0000
36	0,0300	0,0000	6,0000
40	0,0600	0,0000	3,0000
44	0,0200	0,0000	7,0000
48	0,0029	0,0000	2,0000
52	0,0400	0,0000	1,0000
56	0,0150	0,0000	4,0000
60	0,0130	0,0000	3,0000

Rata Rata	0,0350	0,0000	2,0667
-----------	--------	--------	--------

4.3.10 Pengujian Titik 8

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 8, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 8 (Dengan Pemotongan)

Titik 8			
Time Domain			
Time (S)	Vertikal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0250	0,0200	0,0000
8	0,0220	0,0000	0,0000
12	0,0250	0,0000	0,0000
16	0,0180	0,0000	0,0000
20	0,0027	0,0000	0,0000
24	0,0220	0,0000	0,0000
28	0,0024	0,0000	0,0000
32	0,0150	0,0000	0,0000
36	0,0130	0,0000	4,0000
40	0,0350	0,0000	7,0000
44	0,0210	0,0000	0,0000
48	0,0490	0,0000	1,0000
52	0,0210	0,0000	7,0000
56	0,0490	0,0000	0,0000
60	0,0110	0,0000	0,0000
Rata Rata	0,0221	0,0013	1,2667

4.3.11 Pengujian Titik 9

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 9, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 19 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 9 (Dengan Pemotongan)

Titik 9			
Time Domain			
Time (S)	Vertikal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0600	0,0000	0,0000
8	0,0300	0,0000	0,0000
12	0,0600	0,0000	0,0000
16	0,0200	0,0000	0,0000
20	0,0220	0,0000	0,0000
24	0,0190	0,0000	0,0000
28	0,0170	0,0000	0,0000
32	0,0250	0,0000	0,0000
36	0,0300	0,0000	0,0000
40	0,0027	0,0000	0,0000
44	0,0220	0,0000	3,0000
48	0,0024	0,0000	4,0000
52	0,0260	0,0000	6,0000
56	0,0250	0,0000	0,0000
60	0,0220	0,0000	4,0000
Rata Rata	0,0255	0,0000	8,9333

4.3.12 Pengujian Titik 10

Pengujian getaran kembali dilakukan pada Titik 10, namun kali ini dalam kondisi mesin beroperasi dengan adanya beban pemotongan. Berdasarkan potongan data yang disajikan, pengamatan (*time domain*) dicatat hingga detik ke-60 dengan

interval pengambilan data setiap 4 detik. Parameter yang diukur tetap mencakup *Displacement* (Simpangan), *Velocity* (Kecepatan), dan *Acceleration* (Percepatan) pada tiga sumbu pengerjaan

Tabel 4. 20 Hasil Pengujian Getaran Pada Titik 10 (Dengan Pemotongan)

Titik 10			
Time Domain			
Time (S)	Vertikal		
	Dis (mm)	Vel (mm/s)	Acc (m/s ²)
4	0,0220	0,0000	0,0000
8	0,0024	0,0000	0,0000
12	0,0150	0,0000	0,0000
16	0,0130	0,0000	0,0000
20	0,0350	0,0000	0,0000
24	0,0110	0,0000	0,0000
28	0,1000	0,0000	0,0000
32	0,0300	0,0000	0,0000
36	0,0027	0,0000	0,0000
40	0,0220	0,0000	0,0000
44	0,0024	0,0000	0,0000
48	0,0220	0,0000	0,0000
52	0,0190	0,0000	0,0000
56	0,0170	0,0000	4,0000
60	0,0250	0,0000	2,0000
Rata Rata	0,0226	0,0000	0,4000

4.4 Analisa Amplitudo

Setelah data hasil pengujian getaran diperoleh menggunakan vibration meter, data tersebut selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel untuk menghitung nilai amplitudo getaran pada setiap titik pengukuran. Perhitungan dilakukan berdasarkan data displacement, velocity, dan acceleration yang diperoleh pada arah axial, vertikal, dan horizontal.

Titik 1				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0024	0,0469	0,0206
	Vel (mm/s)	0,0000	0,2653	0,0007
	Acc (mm/s^2)	33,0000	9,5333	38,8667
	ω (rad/s)	14022662,8895	1882466,9035	156970,3622
	$\omega t(^{\circ})$	0,0000	58300000,0000	35929,6482
	A (mm)	0,0000	0,0231	0,0679
Titik 2				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0542	0,0553	0,0542
	Vel (mm/s)	0,5733	0,1933	0,5733
	Acc (mm/s^2)	0,0000	0,0000	0,0000
	ω (rad/s)	0,0000	0,0000	0,0000
	$\omega t(^{\circ})$	0,0000	0,0000	0,0000
	A (mm)	0,0000	0,0000	0,0000

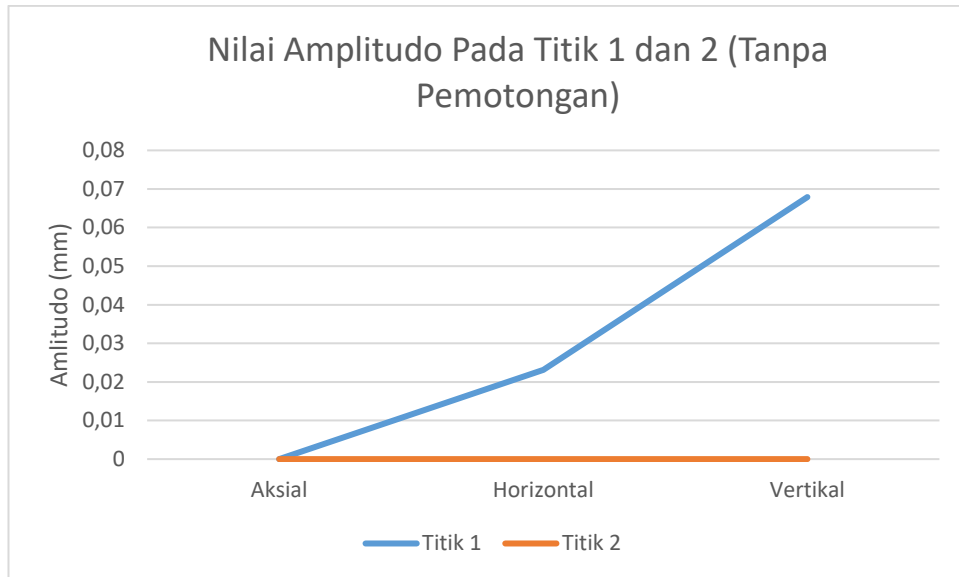
Tabel 4. 21 Tabel Analisa Amplitudo Dari Titik 1 Sampai 10

Titik 1				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0168	0,0469	0,0206
	Vel (mm/s)	0,0000	0,2653	0,0007
	Acc (mm/s^2)	33,0000	9,5333	38,8667
	ω (rad/s)	1969757,2622	203125,0000	1882466,9035
	$\omega t(^{\circ})$	0,0000	89,9984	90,0000
	A (mm)	0,0000	0,0525	0,0231

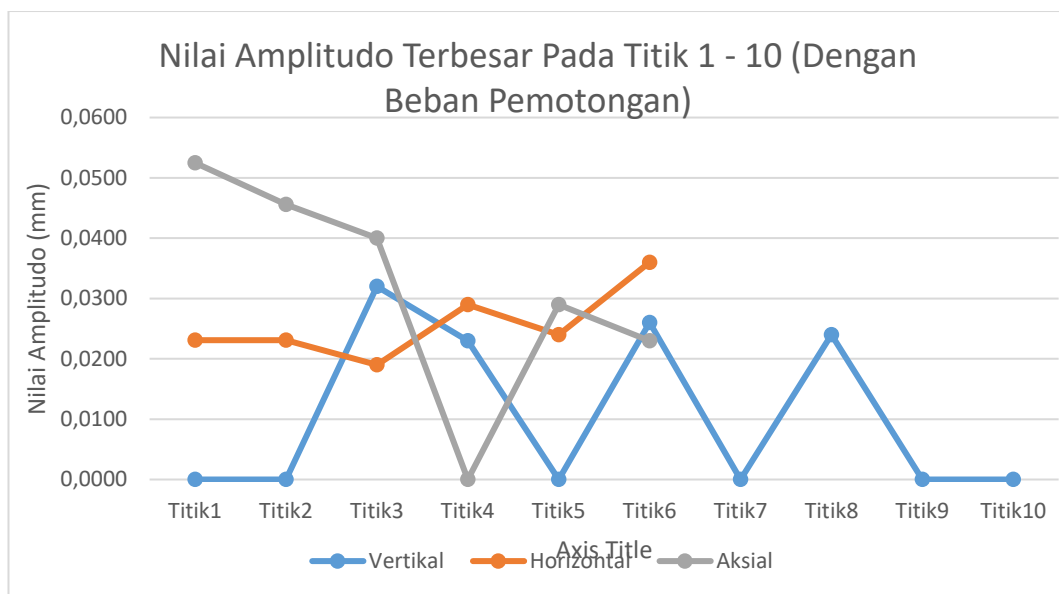
Titik 2				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0336	0,0408	0,0206
	Vel (mm/s)	0.0175	0,0020	0,0033
	Acc (mm/s^2)	0,1333	38,8667	0,0667
	ω (rad/s)	3968,2540	1633,9869	1882466,9035
	$\omega t(^{\circ})$	0,0000	89,9983	90,0000
	A (mm)	0,0000	0,0456	0,0231
Titik 3				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0361	0,0177	0,0291
	Vel (mm/s)	0,0033	0,0080	0,0047
	Acc (mm/s^2)	31,9333	20,2000	30,8000
	ω (rad/s)	885397,4122	693205,2162	1742738,589
	$\omega t(^{\circ})$	89,99999402	89,99997731	89,99999132
	A (mm)	0,040343057	0,019768817	0,032594829
0,0291				
Titik 4				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0240	0,0206	0,0264
	Vel (mm/s)	0,0000	0,0007	0,0007
	Acc (mm/s^2)	27,8667	38,5333	36,800
	ω (rad/s)	1160788,67	1866322,247	1391830,56
	$\omega t(^{\circ})$	0,0000	89,99999996	89,99999801
	A (mm)	0,0000	0,02309478	0,029575039
Titik 5				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0262	0,0219	0,0329

	Vel (mm/s)	0,0053	0,0100	0,0000
	Acc (mm/s^2)	27,4000	29,4667	20,6000
	ω (rad/s)	1045535,487	941212,3058	894736,8421
	$\omega t(^{\circ})$	89,99998885	89,99997219	0,0000
	A (mm)	0,02931389	0,02448148	0,0000
Titik 6				
	Parameter	Aksial	Horizontal	Vertikal
	Dis (mm)	0,0209	0,0324	0,0239
	Vel (mm/s)	0,0053	0,0047	0,0062
	Acc (mm/s^2)	31,0667	21,4667	20,0000
	ω (rad/s)	1486917,677	617919,6704	898186,8898
	$\omega t(^{\circ})$	89,99999016	89,99998749	89,99998224
	A (mm)	0,023370591	0,036204138	0,026733713
Titik 7				
	Parameter	Vertikal		
	Dis (mm)	0,0350		
	Vel (mm/s)	0,0000		
	Acc (mm/s^2)	2,0667		
	ω (rad/s)	59047,61905		
	$\omega t (^{\circ})$	0,0000		
	A (mm)	0,0000		
Titik 8				
	Parameter	Vertikal		
	Dis (mm)	0,0221		
	Vel (mm/s)	0,0013		
	Acc (mm/s^2)	1,2667		
	ω (rad/s)	57384,47599		
	$\omega t (^{\circ})$	89,99993969		

	A (mm)	0,024689875
Titik 9		
	Parameter	Vertikal
	Dis (mm)	0,0255
	Vel (mm/s)	0,0000
	Acc (mm/s^2)	0,8667
	ω (rad/s)	33933,69877
	ωt ($^\circ$)	0,0000
	A (mm)	0,0000
Titik 10		
	Parameter	Vertikal
	Dis (mm)	0,0226
	Vel (mm/s)	0,0000
	Acc (mm/s^2)	0,4000
	ω (rad/s)	17725,25849
	ωt ($^\circ$)	0,0000
	A (mm)	0,0000



Gambar 4. 14 Grafik Amplitudo Titik 1 dan 2 (Tanpa Beban Pemotongan)



Gambar 4. 15 Grafik Amplitudo Titik 1 Sampai 10 (Dengan Beban Pemotongan)

Berdasarkan hasil pengolahan data getaran mekanis menggunakan persamaan gerak harmonik, diperoleh parameter (ω), (ωt), dan (A) pada seluruh titik pengukuran. Dari hasil perhitungan pada Tabel 4.21, nilai amplitudo getaran terbesar terdeteksi pada area dudukan bearing 1 (Titik 1) sebesar 0,0525 mm, yang diikuti oleh dudukan bearing 2 (Titik 2) sebesar 0,0456 mm. Tingginya amplitudo pada area poros dan bantalan ini mengindikasikan adanya konsentrasi tegangan dinamis akibat kontak mekanis sistem transmisi roda gigi saat memutar spesimen

pipa pada kecepatan 5 RPM. Sebaliknya, nilai amplitudo getaran pada arah vertikal di sebagian besar titik struktur menunjukkan nilai mendekati 0,0000 mm, yang membuktikan bahwa struktur rangka pada sumbu vertical lebih kuat dalam meredam getaran dibandingkan sumbu horizontal dan aksialnya.

4.4.1 Hasil Perbandingan Grafik Getaran Antara Tanpa Beban dan Dengan Beban Pemotongan

Perbandingan antara respon getaran mesin pada kondisi tanpa beban pemotongan (Gambar 4.14) dan kondisi berbeban pemotongan (Gambar 4.15) memperlihatkan perbedaan karakteristik yang signifikan. Pada kondisi tanpa beban, getaran mekanis hanya terpusat secara lokal pada Titik 1 dan Titik 2 (area dudukan bantalan), sedangkan Titik 3 hingga Titik 10 mencatatkan nilai percepatan sebesar $0,00 \text{ m/s}^2$. Hal ini menandakan bahwa getaran awal murni bersumber dari gesekan bantalan dan celah kontak antar roda gigi.

Ketika proses pemotongan plasma berlangsung, respon getaran mengalami lonjakan dan terdistribusi ke seluruh bagian mesin. Adanya gaya dorong dinamis dari tembakan gas bertekanan yang merambat ke rangka atas dan bawah. Respon getaran yang diteruskan ke rantai kerja (Titik 7 hingga Titik 10) teredam secara baik hingga berada di bawah $2,07 \text{ m/s}^2$. Hal ini menunjukkan bahwa sistem penumpu kaki mesin bekerja efektif dalam mengisolasi rambatan getaran ke lingkungan kerja operator.

4.5 Evaluasi Hasil Pengujian Getaran Terhadap ISO 20816-1

Untuk menentukan kelayakan mekanis dan keamanan operasional mesing *bevelling v-groove plasma cutting*, hasil pengujian geometri dan getaran yang diperoleh di evaluasi dengan membandingkannya terhadap batas toleransi standar yang berlaku

4.5.1 Evaluasi karakteristik getaran mesin

Evaluasi karakteristik getaran pada mesin *beveling V-groove plasma cutting* dilakukan dengan mengacu pada standar ISO 20816-1 menggunakan parameter percepatan (*acceleration*) dalam satuan m/s^2 . Berhubung poros spindel mesin

beroperasi pada putaran sangat rendah yaitu 5 RPM (≤ 120 RPM), standar ISO 20816-1 tidak menetapkan nilai ambang batas getaran mutlak (*absolute threshold*). Oleh karena itu, evaluasi dilakukan dengan menggunakan Metode Analisis Kriteria Relatif, yaitu membandingkan nilai percepatan getaran saat mesin beroperasi tanpa beban (*baseline* / A_0) terhadap nilai percepatan saat mesin beroperasi dengan beban pemotongan (A_{load}).

Fokus evaluasi kriteria relatif ini ditujukan secara khusus pada Titik 1 (dudukan *bearing* 1) dan Titik 2 (dudukan *bearing* 2). Hal ini didasarkan pada karakteristik pembacaan instrumen *vibration tester*, di mana sinyal getaran pada kondisi tanpa beban hanya terdeteksi secara nyata pada kedua titik dudukan bantalan tersebut, sementara titik pengukuran lainnya (Titik 3 hingga Titik 10) mencatatkan nilai pembacaan percepatan sebesar $0,00 \text{ m/s}^2$. Dudukan bantalan poros spindel merupakan titik kontak mekanis utama yang menerima transmisi daya langsung dari motor penggerak serta gaya reaksi pemotongan spesimen pipa.

Berdasarkan hasil evaluasi pada Titik 1, nilai rata-rata percepatan getaran tertinggi terukur pada arah vertikal sebesar $38,87 \text{ m/s}^2$ dan arah aksial sebesar $33,00 \text{ m/s}^2$, baik pada kondisi tanpa beban maupun dengan beban pemotongan. Rasio perbandingan yang bernilai konstan ($\approx 1,0$) menunjukkan bahwa beban dinamis dari busur plasma tidak menimbulkan lonjakan getaran tambahan yang ekstrem pada bantalan 1, melainkan getaran didominasi oleh dinamika internal putaran poros dan kontak transmisi roda gigi. Sementara itu, pada Titik 2, nilai percepatan getaran arah aksial tercatat sebesar $0,1333 \text{ m/s}^2$ dengan respon getaran vertikal yang terkontrol.

Mengacu pada prinsip kriteria relatif ISO 20816-1, kondisi getaran pada area transmisi poros spindel (Titik 1 dan Titik 2) berada pada kondisi operasional yang aman karena rasio peningkatan getaran berada jauh di bawah batas kritis ($< 2,0$ kali nilai *baseline*). Meskipun demikian, tingginya nilai percepatan vertikal pada Titik 1 ($38,87 \text{ m/s}^2$) mengindikasikan adanya kekakuan dinamis yang perlu ditingkatkan pada struktur penyangga bantalan. Oleh sebab itu, direkomendasikan pada pelat dudukan *bearing* 1 melakukan pelumasan dan pengecekan kelonggaran baut

pengikat secara berkala guna meredam getaran dan menjaga kestabilan putaran spesimen.

4.6 Hasil Analisis Penyimpangan Geometri Dan Getaran

Pegujian geometri dan getaran dilakukan pada mesin *bevelling v-groove* dengan metode *plasma cutting* memberikan gambaran yang menyeluruh dari kualitas pembuatan dan perakitan part, serta pergerakan mesin saat beroperasi pada kecepatan putar 5 Rpm. Analisis gabungan antara kedua nya diuraikan sebagai berikut:

4.6.1 Analisis Penyimpangan Geometri

Pengujian kesejajaran *torch plasma* terhadap meja kerja peningkatan penyimpangan meningkat secara bertahap mulai dari 0,46 mm pada titik 1 hingga mencapai yang tertinggi pada titik 6 sebesar 1,70 mm. Berdasarkan ISO 2768-2 penyimpangan tersebut melewati batas toleransi maksimum yang diberikan (0,60-0,80 mm) mulai dari titik 4 (0,80 mm). Kondisi ini bertanda adanya kemiringan sudut pada pembuatan instalasi meja.

Pengujian kebulatan dan *runout* poros diketiga titik uji (titik A = 0,0375 mm, titik B = 0,012mm, titik C = 0,025 mm) dan *runout radial* (memiliki penyimpangan terbesar 0,06 mm) masih berada dalam dibawah standar yang diberikan ISO 2768 2 (toleransi $\leq 0,2$ mm). Namun, pada *runout* aksial pada titik A memiliki penyimpangan sebesar 0,40 mm yang melewati batas toleransi 0,2 mm sebesar dua kali lipat. Hal ini membuktikan bahwa permukaan gear pada poros mengalami ketegaklurusan pada bidang terhadap sumbu putar tidak sesuai.

4.6.2 Analisis Karakteristik Getaran Mesin

Pada saat kondisi tanpa beban getaran hanya berpusat pada areaudukan poros, yaitu pada dudukan bearing 1 (titik 1) dan pada dudukan bearing 2 (titik 2). Sinyal getaran pada rangka (titik 3 sampai 10) bernilai 0,00 m/s^2 , yang menunjukkan bahwa getaran yang merambat dalam kondisi statis tidak merambat luas ke bagian rangka

Pada saat kondisi dengan beban pemotongan berlangsung terjadi distribusi getaran keseluruhan rangka (titik 3 sampai titik 6) akibat tembakan gas dari plasma yang bertekanan. Percepatan getaran (*acceleration*) tertinggi berpusat pada

dudukan bearing 1 ($38,87 \text{ m/s}^2$ pada arah vertikal dan $33,00 \text{ m/s}^2$ pada arah aksial) dan titik 4 pada sudut rangka ($38,53 \text{ m/s}^2$)

Evaluasi perambatan getaran (titik 7 sampai 10) yang diterukan ke lantai teredam dengan sangat baik dengan percepatan rata rata berkisar $0,40 \text{ m/s}^2$ hingga $2,07 \text{ m/s}^2$. Hal ini membuktikan bahwa sistem kaki tumpuan alat sangat baik dalam meredam getaran yang dihasilkan oleh mesin pada saat beroperasi.

4.6.3 Hubungan Antara Penyimpangan Geometri Terhadap Getaran Yang Dihasilkan Oleh Mesin

Terdapat hubungan secara teknik dalam penyimpangan geometri dengan getaran pada mesin

1. Pengaruh *runout axial* terhadap amplitudo pada dudukan bearing

Tingginya nilai *runot axial* pada poros titik A ($0,40 \text{ mm}$) sebagai sumber utama timbulnya getaran. Hal ini dapat dilihat dari perhitungan amplitudo getaran terbesar yang terjadi pada bearing 1 (titik 1 *axial*) sebesar $0,0525 \text{ m/s}^2$. Ketidaksejajaran pada bagian gear penggerak pada poros saat berputar menghasilkan gerak bolak balik yang terus menerus membebani bearing.

2. Pengaruh kesejajaran *torch* terhadap meja pada proses pemotongan

Penyimpangan kesejajaran rel sebesar $1,70 \text{ mm}$ menyebabkan jarak ujung *nozzle torch* ke benda kerja berubah ubah sepanjang proses pemotongan benda kerja. Ketidakstabilan *nozzle plasma* ini dapat berpotensi menghasilkan ketidaksejajaran pada hasil potongan pada benda kerja

Tingkat getaran pada putaran 5 RPM secara umum masih dalam batas kerja yang aman, namun penyimpangan geometri pada rel pemandu meja kerja ($1,70 \text{ mm}$) dan run-out aksial poros ($0,40 \text{ mm}$) menjadi faktor kritis yang wajib diperbaiki. Perbaikan antara *torch* terhadap meja, perbaikan *runout axial* pada gear sebagai penggerak poros, serta penambahan plat dudukan bearing 1 diperlukan untuk meredam getaran yang dihasilkan pada bearing pada saat proses *bevelling* berlangsung

4.7 Rekomendasi Perbaikan Mesin Berdasarkan Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil analisis pengujian geometri yang mengacu pada standar ISO 2768-2 Kelas K dan pengujian karakteristik getaran mekanis yang mengacu pada

standar ISO 20816-1, penulis memberikan beberapa rekomendasi untuk perbaikan pada komponen mesin *bevelling v-groove* dengan metode *plasma cutting*. Rekomendasi ini bertujuan untuk memperkecil penyimpangan yang terjadi pada komponen mesin serta meningkatkan struktur mesin sebelum dilakukannya study eksperimental.

4.7.1 Rekomendasi Perbaikan Kesejajaran Torch Terhadap Meja Kerja

Pengujian kesejajaran mendapatkan hasil penyimpangan yang meningkat secara linier hingga mencapai 1,70 mm pada Titik 6. Meskipun sudut pemotongan yang dihasilkan mesin saat ini sudah seragam dan konsisten di sepanjang spesimen, peningkatan penyimpangan secara linier tersebut menyebabkan jarak bebas antara ujung *nozzle torch* dan permukaan pelat berubah-ubah. Untuk menstabilkan jarak *torch*, tindakan perbaikan yang direkomendasikan adalah:

1. Melakukan pengujian kedataran padaudukan rel pemandu *torch* guna memastikan bahwa rel yang dipasang tidak mempengaruhi penyimpangan kesejajaran antara *torch* dan meja kerja. Karena jika kedudukan rel mengalami kemiringan maka rel pemandu *torch* akan selalu mengikuti kontur atau kemiringan bidang kedudukan di bawahnya saat baut dikencangkan.
2. Pengukuran kembali bilah plat penompang benda kerja pada meja hal ini dilakukan untuk mengetahui tinggi dari setiap bilah plat memiliki tinggi yang sama
3. Setelah dilakukan pengujian kedataran dan pengukuran bilah plat. Pengujian kesejajaran dilakukan kembali untuk memastikan bahwa penyimpangan sudah berada dibawah batas toleransi

4.7.2 Rekomendasi Perbaikan Run-Out Aksial pada Poros Spindel

Hasil pengujian *run-out* aksial pada Titik A yang dilakukan pada permukaan samping roda gigi memiliki penyimpangan sebesar 0,40 mm (melebihi batas toleransi ISO 2768-2 sebesar 0,20 mm). Kemiringan roda gigi ini menjadi sumber utama yang memicu tingginya getaran aksial pada bantalan 1. Tindakan perbaikan yang direkomendasikan adalah

1. Pembubutan muka roda gigi (*gear facing*) proses pembubutan ulang bidang samping roda gigi pada mesin bubut untuk menjamin ketegaklurusan bidang kontak terhadap garis sumbu poros.

2. Memeriksa kembali suaian lubang guna memperbaiki toleransi suaian antara lubang roda gigi dan poros agar terpasang rapat serta sesumbu tanpa mengalami kemiringan saat baut pengunci dikencangkan.
3. Memasang ring per pada baut pengunci roda gigi guna mendistribusikan gaya pengencangan aksial secara simetris di sekeliling roda gigi.

4.7.3 Rekomendasi Perkuatan Struktur dan Reduksi Getaran

Pengujian getaran menunjukkan konsentrasi percepatan getaran tertinggi berada padaudukan *bearing* 1 ($38,87 \text{ m/s}^2$ vertikal dan $33,00 \text{ m/s}^2$ aksial) dengan amplitudo aksial $0,0525 \text{ mm}$. Tingginya nilai ini dipicu oleh beban dinamis transmisi roda gigi saat memutar spesimen pipa. Tindakan perbaikan yang direkomendasikan sebagai berikut

1. Menambah penambahan penguat vertikal tepat di bawah baut bearing dengan cara las pelat baja tegak (tebal 4–6 mm) di bagian dalam rongga, posisinya tepat di bawah garis baut pengikat *pillow block bearing* 1 dan 2. Pelat tegak ini menghubungkan langsung pelat atas dudukan ke permukaan meja mesin di bawahnya.
2. Memasang bantalan karet peredam getaran di antara kaki tumpuan mesin dan rantai kerja guna mempertahankan isolasi getaran yang sudah terbukti efektif (saat ini teredam di bawah $2,07 \text{ m/s}^2$).

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengujian geometri dan getaran pada mesin *bevelling v-groove*, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pengukuran kesejajaran antara *torch* plasma dan meja kerja menunjukkan deviasi yang membesar secara bertahap dari 0,46 mm (Titik 1) hingga 1,70 mm (Titik 6). Berdasarkan standar ISO 2768-2 Kelas K, deviasi pada Titik 4 hingga Titik 6 telah melampaui batas toleransi yang diizinkan (maksimal 0,60–0,80 mm).
2. Nilai kebulatan poros spindel (rata-rata 0,012–0,0375 mm) dan *run-out* radial (maksimal 0,06 mm) memenuhi standar toleransi ISO 2768-2 ($\leq 0,20$ mm). Namun, *run-out* aksial pada Titik A mencatatkan nilai 0,40 mm yang melampaui batas toleransi 0,20 mm akibat ketidakrataan pada muka gear pada poros.
3. Amplitudo getaran terbesar terdeteksi pada area bantalan poros (Titik 1 arah aksial) sebesar 0,0525 mm dengan percepatan tertinggi 38,87 m/s² pada arah vertikal. Berdasarkan evaluasi standar ISO 20816-1 menggunakan analisis kriteria relatif, getaran yang dihasilkan mesin pada putaran 5 RPM berada dalam batas aman dan perambatan getaran ke rantai kerja teredam sangat baik (0,40–2,07 m/s²).
4. Mesin *beveling V-groove* ini dinyatakan cukup layak untuk operasional pemotongan sudut secara fungsional, namun memerlukan pengukuran ulang sebelum digunakan pada studi eksperimental. Perbaikan antara *torch* dan meja (penyimpangan 1,70 mm) dan perbaikan *run-out* aksial (0,40 mm) tetap diperlukan agar jarak busur plasma tidak berubah ubah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk penelitian kedepannya

1. Melakukan penyeragaman ketinggian pada deretan bilah pelat penopang benda kerja dengan cara memotong ulang atau meratakan alur dudukannya
2. Melakukan proses pembubutan rata pada permukaan samping roda gigi dan bidang tumpuan bahu poros agar posisinya tegak lurus terhadap sumbu putar.
3. Memasang pelat penguat tegak di dalam kolong pelat dudukan bantalan yang kosong, tepat di bawah garis baut pengikat *bearing* 1 dan 2 menuju rangka meja mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, H. S., Subagiyo, S., Jl, A., Hatta, S., Lowokwaru, K., Malang, K., & Timur, J. (2024). *Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Pengelasan Hasil Las SMAW Baja SS400 untuk Bahan Bejana Tekan terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Politeknik Negeri Malang , Indonesia Arus SMAW terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Baja Konstruksi IWF JIS G3101 SS400 ”*. 2(5).
- Ariyanto, Husman, & Dharta, Y. (2017). TINJAUAN PERFORMASI BUBUT DOALL LT13 TERHADAP PENYIMPANGAN KEBULATAN BENDA KERJA. *JURNAL MANUTECH*, 9, 48–88.
- Candra, T. A., Widi, I. K. A., & Sutrisno, T. A. (2023). *PENGARUH VARIASI SUDUT KAMPUH “ V ” 60 ° , 75 ° , 90 ° SAMBUNGAN PENGELASAN SHIELDED METAL ARC WELDING (SMAW) TERHADAP KEKUATAN MEKANIS PADA BAJA ST 42*. 12(1).
- Clarkson, B. L. (1981). Theory of vibration with applications. In *Journal of Sound and Vibration* (Vol. 79, Issue 4). [https://doi.org/10.1016/0022-460x\(81\)90474-0](https://doi.org/10.1016/0022-460x(81)90474-0)
- Gundara, G., & Riyadi, S. (2017). *Pengukuran Ketelitian Komponen Mesin Bubut Dengan Standar ISO 1708*. 2(2), 8–15.
- Hamood, S. A., & Najm, V. N. (2020). *Optimization of Plasma Cutting Parameters on Dimensional Accuracy and Machining Time for Low Carbon Steel*. 38(08), 1160–1168.
- Hariyandi. (2015). STUDI KASUS UNBALANCE PADA MOTOR CONDENSATE PUMP 3A PLTU TARAHAH BERDASARKAN ANALISA GETARAN. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 3(ISSN 2087-3832), 12–18.
- Indrawan, E., Yufrizal, A., Aziz, A., & Tawakal, M. I. (2020). *Analisis Kualitas Geometri Mesin Bubut Maximat Super 11*. 20(3), 71–80.
- Jamal, J., Hardiyanto, H., Siswandi, B., & Fazrian, F. (2025). *Welding Strength Analysis on the Polbeng 1 Research Vessel Made of High Density Polyethylene*. 2025(Dewangga 2017). <https://doi.org/10.2991/978-94-6463->

- Jupri, J. Y., & Agus, W. (2020). Analisa Getaran Mesin Milling Vertikal 1108 Terhadap Pengaruh Variasi Kedalaman Potong. *Jurnal Politeknik Caltex Riau*, 6(1), 42–50.
- Karyasa, T. B. (2011). Dasar-dasar getaran mekanis. In *Yogyakarta, ANDI* (Vol. 1).
- Qoribullah, F. (2021). *GETARAN MEKANIS - TOTO RUSLIANTO - DICETAK 10 X.pdf* (p. 1).
- Ramadani, R., Pratikno, H., & Yuliadi, dan M. Z. (2016). *Analisa Pengaruh Variasi Sudut Bevel Akibat Kombinasi Pengelasan Fcaw dan SMAW terhadap Kekuatan Impact Butt Joint pada*. 5(2).
- Rao, S. S. (2004). *Fifth Edition*.
- Sadiana, R. (2016). *Analisis respon sistem getaran pada mesin torak 1*). 4(2).
- Tantowi, I., Mohruni, A. S., & Mataram, A. (2025). *Vibration Analysis Of CNC Plasma Cutting Machine*. 22(4), 1–7. <https://doi.org/10.9790/1684-2204020107>
- Tolosi, K., Poeng, R., & Lumintang, R. (2015). Analisis Ketelitian Geometrik Mesin Frais Horisontal Kunzmann Uf6N. *Universitas Sam Ratulangi*, 1(1), 2.
- Veronika, R., Abdillah, H., Hidayat, M., Nainggolan, I. K., Vokasional, P., Mesin, T., Keguruan, F., Sultan, U., Raya, J. C., Serang, K., Serang, K., Raya, J., No, P., Jaya, K. C., & Serang, K. (2023). *Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Hasil Uji Bending Dengan Standar Aws Pada Baja ASTM A36 6 Veronika , Rika , dkk ; Pengaruh Parameter Pengelasan Terhadap Hasil Uji Bending Dengan Standar Aws Pada Baja ASTM A36*. 9(2), 5–14.
- Yudo, E., Mesin, T., Babel, P., Industri, K., & Kantung, A. (2019). *KINERJA MESIN BUBUT GEMINIS DITINJAU DARI*. 11(1), 9–13.

Lampiran





