



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**RANCANG BANGUN SIMULATOR *SHAFT*
ALIGNMENT BERBASIS METODE *FACE AND RIM*
(TUGAS KHUSUS : PERHITUNGAN
COMBINATION)**

PROYEK AKHIR

**OLEH
HAFIDH ZAFAR RIANSYAH
NIM. 40040221650070**

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

**SEMARANG
OKTOBER 2025**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**RANCANG BANGUN SIMULATOR *SHAFT*
ALIGNMENT BERBASIS METODE *FACE AND RIM*
(TUGAS KHUSUS : PERHITUNGAN
COMBINATION)**

PROYEK AKHIR

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

**OLEH
HAFIDH ZAFA RIANSYAH
NIM. 40040221650070**

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

**SEMARANG
OKTOBER 2025**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

NAMA : Hafidh Zafa Riansyah

NIM : 40040221650070

Tanda Tangan :



Tanggal : 22 Oktober 2025

SURAT TUGAS



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

Jalan Prof. Sudarto, 5.14 Tembung
Semarang
Kode Pos 50275
Telp/Fax (024) 7471379
Laman www.vokasi.undip.ac.id
e-mail Vokasi@live.undip.ac.id

SURAT TUGAS PROYEK AKHIR

No : 453/PA/RPM/IV/2025

Dengan ini diberikan Tugas Proyek Akhir untuk mahasiswa berikut :

Nama : Hafidh Zafa Riansyah
NIM : 40040221650070
Judul Proyek Akhir : Rancang Bangun Simulator *Shaft Alignment* Berbasis
Misalignment Dengan Metode *Face And Rim*
Dosen Pembimbing : Alaya Fadllu H.M S.T., M.Eng.
NIP : 198509272012121002

Isi Tugas :

1. Mendesain dan melakukan perhitungan Rancang Bangun Simulator *Shaft Alignment* Berbasis *Misalignment* Dengan Metode *Face And Rim*.
2. Menguji Rancang Bangun Simulator *Shaft Alignment* Berbasis *Misalignment* Dengan Metode *Face And Rim*.
3. Membuat laporan Rancang Bangun Simulator *Shaft Alignment* Berbasis *Misalignment* Dengan Metode *Face And Rim*.
4. Membuat prototipe dan/atau paten sederhana dan/atau HKI hak cipta dan/atau jurnal publikasi.

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

Semarang, 21 Maret 2025
Sekprodi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik


Alaya Fadllu H.M S.T., M.Eng.
NIP. 198509272012121002

Tembusan:

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

HALAMAN PERSETUJUAN



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN,
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEKOLAH VOKASI
PROGRAM STUDI
S.Tr REKAYASA PERANCANGAN MEKANIK

Jalan Prof. Sudarto,
S.H. Tembalang, Semarang Kode Pos
50275
Tel./Faks: (024) 7471379
www.vokasi

HALAMAN PERSETUJUAN

Telah disetujui untuk diajukan dalam Sidang Proyek Akhir mahasiswa Program Studi
Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas
Diponegoro yang disusun oleh :

Nama : Hafidh Zafa Riansyah
NIM : 40040221650070
Judul Proyek Akhir : Rancang Bangun Simulator *Shaft Alignment* Berbasis
Misalignment dengan Metode *Face and Rim* (Tugas Khusus :
Perhitungan Kombinasi)

Disetujui pada tanggal : 01 Oktober 2025

Semarang, 01 Oktober 2025
Dosen Pembimbing

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

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN

Proyek Akhir ini diajukan oleh :

NAMA : Hafidh Zafa Riansyah
NIM : 40040221650070
Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Judul Proyek Akhir : Rancang Bangun Simulator Shaft Alignment Berbasis Misalignment Dengan Metode Face And Rim (Tugas Khusus : Perhitungan Kombinasi)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Alaya Fadllu H.M.,S.T.,M.Eng.
Penguji 1 : Alaya Fadllu H.M.,S.T.,M.Eng.
Penguji 2 : Dr. Drs. Wiji Mangestiyono, M.T.
Penguji 3 : Bambang Setyoko, S.T.,M.Eng.



Semarang, 22 Oktober 2025

Ketua Program Studi Sarjana Terapan
Rekayasa Perancangan Mekanik



Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T.
NIP. 197609152003122001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Hafidh Zafa Riansyah
Nim : 40040221650070
Jurusan/Program Studi : Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik
Departemen : Teknologi Industri
Fakultas : Sekolah Vokasi
Jenis Karya : Proyek Akhir

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

**“ Rancang Bangun Simulator Shaft Alignment Berbasis Misalignment
Dengan Metode Face And Rim ”**

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

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 22 Oktober 2025

Yang menyatakan



Hafidh Zafa Riansyah

MOTTO

إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan." (QS. Al-Insyirah: 6)

"Jangan takut gagal, karena kegagalan adalah bahan bakar menuju keberhasilan."

"Kegagalan hanyalah jeda, bukan ahir dari segalanya."

"Belajar dari kemarin, jalani hari ini, rencanakan esok."

"Hidup bukan soal siapa yang tercepat, tapi siapa yang paling konsisten melangkah."

"Hidup seperti poros mesin, ketika selaras berjalan lancar, ketika menyimpang harus segera diperbaiki."

"Hidup adalah proses alignment yang terus diperbaiki agar tujuan tercapai dengan lurus."

"Poros utama dari kehidupan adalah keluarga, yang menjaga agar langkah tetap selaras dan menjadi tempat kembali ketika goyah."

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, karunia, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan proposal Proyek Akhir dengan judul "Rancang Bangun Simulator Shaft *Alignment* Berbasis Variasi *Misalignment* Dengan Metode *Face* and *Rim* (Tugas Khusus : Perhitungan Kombinasi)" Proyek Akhir ini menjadi salah satu syarat kelulusan pada Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro. Selama penyusunan proposal Proyek Akhir, penulis mendapatkan banyak bantuan yang menunjang kelancaran dalam menyusun proposal proyek akhir. Ucapan Terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof Dr. Ir. Budiyo, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
2. Ibu Dr. Sri Utami Handayani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Alaya Fadllu Hadi Mukhammad S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir.
4. Seluruh Dosen dan Staf Pengajar Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Keluarga dan terutama kedua orang tua dan wali yang mendukung.
6. Semua teman-teman prodi Rekayasa Perancangan Mekanik angkatan 2021.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat

diharapkan. Semoga proposal ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

7. Keluarga sobat adenium grup yang selalu mensupport dan selalu memberi semangat.

Semarang, 22 Oktober 2025

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'H' and 'Z' followed by a horizontal line.

Hafidh Zafa Riansyah

ABSTRAK

RANCANG BANGUN SIMULATOR *SHAFT ALIGNMENT* BERBASIS *METODE FACE AND RIM* (TUGAS KHUSUS : PERHITUNGAN KOMBINASI)

Keselarasan poros (*shaft alignment*) merupakan aspek krusial dalam menjaga performa mesin rotasi, khususnya pada sistem transmisi daya motor dan generator. Ketidaklurusan sumbu poros atau *misalignment* dapat terjadi dalam bentuk *offset*, *angular*, maupun kombinasi keduanya. Kondisi ini menimbulkan dampak signifikan berupa peningkatan getaran, kenaikan temperatur, penurunan efisiensi, hingga mempercepat kerusakan komponen. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun simulator *shaft alignment* berbasis metode *face and rim* dengan fokus pada analisis pengaruh *misalignment combination* terhadap performa sistem motor–generator. Simulator dirancang menggunakan motor listrik tiga fasa 1,1 kW frame 80M, generator Forza BG 2200 L 1,1 kW, serta kopling fleksibel FCL-90. Proses *alignment* dan variasi *misalignment* dilakukan dengan dial indikator metode *face and rim*. Parameter uji meliputi getaran, temperatur, serta daya *input–output* untuk mengetahui efisiensi sistem. Pengujian dilakukan dengan variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Selain pengujian eksperimental, simulasi statik struktural pada poros dilakukan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* untuk memperoleh nilai deformasi, tegangan, regangan, dan faktor keamanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi *alignment* menghasilkan kecepatan getaran $\leq 2,5$ mm/s dan masuk kategori *satisfactory* menurut ISO 10816. Sebaliknya, pada kondisi *misalignment combination*, nilai getaran meningkat tajam mencapai >6 mm/s baik pada arah *radial* maupun *aksial*, dan dikategorikan *unacceptable*. Temperatur motor dan generator juga mengalami kenaikan 5–15 °C dibanding kondisi *alignment*, dengan temperatur maksimum tercatat 68,5 °C pada motor. Efisiensi sistem turun signifikan, dimana pada beban 1000 W efisiensi *alignment* mencapai $\pm 82\%$, sedangkan pada *misalignment combination* hanya sekitar 74%. Hasil simulasi menunjukkan *displacement* maksimum sebesar 0,0067 mm dengan tegangan *Von Mises* 124 MPa, regangan $6,8 \times 10^{-4}$, dan faktor keamanan minimum 2,09, yang masih di atas batas desain 1,5–2. Dengan demikian, simulator yang dirancang mampu merepresentasikan secara nyata dampak *misalignment combination* terhadap sistem transmisi daya. Penelitian ini menegaskan bahwa kondisi *misalignment combination* memberikan efek lebih buruk dibanding kondisi *alignment*, sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran praktis serta acuan penelitian dalam bidang pemeliharaan mesin rotasi.

Kata kunci : *Shaft alignment*, *misalignment combination*, getaran motor-generator.

ABSTRACT

Design and Development of a Shaft Alignment Simulator Based on the Face and Rim Method (Special Task: Combination Calculations)

Shaft alignment is a crucial aspect in maintaining the performance of rotating machinery, especially in power transmission systems of motors and generators. Misalignment of the shaft axis can occur in the form of offset, angular, or a combination of both. This condition causes significant impacts in the form of increased vibration, increased temperature, decreased efficiency, and accelerated component damage. This study aims to design and build a shaft alignment simulator based on the face and rim method with a focus on analyzing the effect of combination misalignment on the performance of the motor-generator system. The simulator was designed using a three-phase electric motor of 1.1 kW frame 80M, a Forza BG 2200 L generator of 1.1 kW, and an FCL-90 flexible coupling. The alignment process and misalignment variations were carried out using a dial indicator with the face and rim method. The test parameters included vibration, temperature, and input-output power to determine system efficiency. Testing was carried out with load variations of 350 W, 600 W, and 1000 W. In addition to experimental testing, static structural simulation on the shaft was carried out using SolidWorks software to obtain deformation, stress, strain, and safety factor values. The results showed that the alignment condition produced vibration velocity ≤ 2.5 mm/s and was included in the satisfactory category according to ISO 10816. Conversely, in the combination misalignment condition, the vibration value increased sharply reaching > 6 mm/s in both radial and axial directions, and was categorized as unacceptable. The temperature of the motor and generator also increased by 5–15 °C compared to the alignment condition, with the maximum temperature recorded at 68.5 °C on the motor. System efficiency decreased significantly, where at a load of 1000 W the alignment efficiency reached $\pm 82\%$, while in the combination misalignment condition it was only around 74%. The simulation results showed a maximum displacement of 0.0067 mm with a Von Mises stress of 124 MPa, a strain of 6.8×10^{-4} , and a minimum safety factor of 2.09, which is still above the design limit of 1.5–2. With this, the designed simulator is able to realistically represent the impact of combination misalignment on the power transmission system. This research confirms that the combination misalignment condition provides worse effects than the alignment condition, so the results can be used as a practical learning medium as well as a reference for research in the field of rotating machinery maintenance.

Keywords : *Shaft alignment, misalignment combination, electric motor-generator vibrasi.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
SURAT TUGAS	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI PROYEK AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	x
<i>ABSTRACT</i>	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Luaran	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6

2.1	Motor Listrik.....	6
2.1.1	Keunggulan Motor 3 Fasa.....	6
2.1.2	Kelebihan Motor Listrik 3 Fasa.....	7
2.2	Generator DC	8
2.3	Flexible Coupling.....	9
2.4	Heater	11
2.5	Metode Alignment	13
2.6	Misalignment	26
2.6.1	Toleransi Misalignment	27
2.6.2	Macam macam <i>Misalignment</i> dibagi menjadi 3	27
2.6.3	Penyebab <i>Misalignment</i>	28
2.6.4	Dampak Akibat Misalignment	29
2.7	Keuntungan dan Kerugian Mesin di Alignment	30
2.7.1	Keuntungan Mesin di Alignment.....	30
2.7.2	Kerugian Mesin Tidak di Alignment	31
2.8	Getaran	31
2.8.1	Standar Getaran Untuk Mesin <i>Rotating</i> Menurut ISO 10816.....	34
2.8.2	Parameter Getaran.....	36
2.9	Daya Input Output dan Efisiensi	38
2.10	Pengukuran Temperatur Mesin dengan Infrared Thermography	39
2.11	Simulasi Static Struktural.....	40
BAB III METODOLOGI		43
3.1	Diagram Alir Penelitian	43
3.2	Perancangan Desain Simulator Shaft Alignment.....	47

3.3	Dasar Perancangan dan Perhitungan Konstruksi	50
3.3.1	Perhitungan Torsi Motor Listrik	50
3.3.2	Perhitungan Torsi Generator	51
3.3.3	Perhitungan <i>Shaft</i> (Poros)	51
3.3.4	Perhitungan Kopling FCL 90	53
3.4	Bahan dan Alat	54
3.5	Proses Fabrikasi Alat Simulator Shaft Alignment Berbasis Misalignment dengan Metode Face and Rim.....	71
3.6	Simulasi <i>Static Structural</i> pada Poros.....	73
3.6.1	Pre-Processing.....	73
3.6.2	Solving	79
3.6.3	Post-Processing	81
3.7	Pengukuran Misalignment	83
3.7.1	Tahap Pra-Alignment Poros Motor Listrik dan Generator	85
3.7.2	Langkah Pelaksanaan Alignment dengan Metode Face and Rim ..	86
3.8	Langkah Pengujian Alat	87
3.8.1	Langkah pelaksanaan Putaran Mesin	88
3.8.2	Langkah Pelaksanaan Pengukuran Daya Input-Output.....	89
3.8.3	Langkah Pelaksanaan Pengukuran Getaran	89
3.8.4	Langkah Pelaksanaan Pengukuran Temperatur	90
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		92
4.1	Hasil Fabrikasi Mesin	92
4.2	Hasil Simulasi <i>Static Structural</i> pada Poros	93
4.2.1	Displacement.....	93

4.2.2	Stress (Von Mises)	94
4.2.3	<i>Strain</i>	95
4.2.4	Faktor Keamanan (<i>FoS</i>)	96
4.3	Pelaksanaan Metode <i>Pra-Alignment</i>	97
4.3.1	Pembahasan Data, Hasil Pengukuran Hasil <i>SoftFoot</i>	97
4.3.2	Pengujian Bar Sag	98
4.3.3	Pemeriksaan <i>Rough Alignment</i> Awal	100
4.3.4	Pemasangan bracket dial indicator	100
4.3.5	Pembahasan data hasil <i>run out</i> kopling motor	101
4.4	Pengukuran Kondisi <i>Alignment</i> , Getaran, Daya Input – Output, Temperatur	103
4.4.1	Pengukuran <i>Alignment</i>	104
4.4.2	Hasil Pengambilan Data Getaran <i>Alignment</i>	106
4.4.3	Hasil Pengambilan Data Daya <i>Input</i> Dan <i>Output</i> serta Efisiensi Motor Generator Kondisi <i>Alignment</i>	110
4.4.4	Hasil Pengambilan Data Temperatur Motor Listrik–Generator pada Kondisi <i>Alignment</i>	112
4.5	Pengukuran Misalignment Kombinasi, Getaran, Temperatur, dan Efisiensi Motor Generator	114
4.5.1	Pengukuran Misalignment Kombinasi	115
4.5.2	Pengukuran Getaran pada <i>Misalignment</i> Kombinasi	122
4.5.3	Pengukuran Daya Input dan Output Misalignment Kombinasi ..	126
4.5.4	Hasil Pengambilan Data Temperatur Motor Listrik–Generator pada Kondisi Misalignment Kombinasi	128

4.6	Pembahasan Data Getaran, Efisiensi, dan Temperatur pada kondisi Alignment dan Misalignment Kombinasi	130
4.6.1	Perbandingan Nilai Getaran pada Kondisi <i>Alignment</i> dan <i>Misalignment</i>	130
4.6.2	Perbandingan Efisiensi Daya Motor dan Generator.....	138
4.6.3	Perbandingan Suhu Motor dan Generator.....	139
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		146
5.1	Kesimpulan	146
5.2	Saran.....	147
DAFTAR PUSTAKA.....		149
LAMPIRAN.....		152

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Spesifikasi motor listrik 3 phase	56
Tabel 3. 2 Spesifikasi generator DC.....	57
Tabel 3. 3 Spesifikasi flxsible coupling 90 (FCL Coupling)	60
Tabel 3. 4 Sifat mekanik baja AISI 1045	75
Tabel 3. 5 Variabel Penelitian	88
Tabel 4. 1 Pengukuran softFoot motor listrik.....	98
Tabel 4. 2 Data pengujian bar sag	99
Tabel 4. 3 Run out kopling dynamo alternator.....	101
Tabel 4. 4 Run out kopling motor listrik	102
Tabel 4. 5 Arah <i>radial</i> kondisi <i>alignment</i> pembebanan 350,600,1000 W	104
Tabel 4. 6 Arah axial kondisi <i>alignment</i> pembebanan 350,600,1000 W	105
Tabel 4. 7 Pembebanan 350.....	106
Tabel 4. 8 Pembebanan 350.....	107
Tabel 4. 9 Pembebanan 600.....	108
Tabel 4. 10 Pembebanan 600.....	108
Tabel 4. 11 Pembebanan 1000.....	109
Tabel 4. 12 Pembebanan 1000.....	110
Tabel 4. 13 Efisiensi kondisi <i>alignment</i>	111
Tabel 4. 14 Temperatur kondisi <i>alignment</i>	113
Tabel 4. 15 Pengujian misalignment angular dengan beban 350,600,1000W ...	115
Tabel 4. 16 Pengujian <i>misalignment offset</i> dengan beban 350,600,1000W	117
Tabel 4. 17 Pembebanan motor listrik 350 Watt.....	122
Tabel 4. 18 Pembebanan generator 350 Watt.....	123
Tabel 4. 19 Pembebanan motor listrik 600 Watt.....	124
Tabel 4. 20 Pembebanan generator 600 Watt.....	124
Tabel 4. 21 Pembebanan motor listrik 1000 watt.....	125
Tabel 4. 22 Pembebanan generator 1000 Watt.....	125
Tabel 4. 23 Efisiensi kombinasi motor-generator	127
Tabel 4. 24 Temperatur misalignment kombinasi.....	129
Tabel 4. 25 Perbandingan getaran DE motor	130
Tabel 4. 26 Perbandingan getaran NDE motor	132

Tabel 4. 27 Perbandingan getaran DE generator	134
Tabel 4. 28 Perbandingan getaran NDE generator	136
Tabel 4. 29 Perbandingan efisiensi alignment dan misalignment	138
Tabel 4. 30 Perbandingan suhu pada pembebanan 350 Watt.....	139
Tabel 4. 31 Perbandingan suhu pada pembebanan 600 Watt.....	141
Tabel 4. 32 Perbandingan suhu pada pembebanan 1000 Watt.....	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Motor listrik 3 phase	7
Gambar 2. 2 Generator DC	8
Gambar 2. 3 Fcl coupling	11
Gambar 2. 4 Tubular heater	12
Gambar 2. 5 Alignment	13
Gambar 2. 6 Metode visual line-up	14
Gambar 2. 7 Metode straightedges	14
Gambar 2. 8 Face and rim.....	15
Gambar 2. 9 Memutar kedua poros	15
Gambar 2. 10 Sketsa pengaplikasian formula matematis.....	17
Gambar 2. 11 Double radial.....	18
Gambar 2. 12 Reverse dial.....	20
Gambar 2. 13 Shaft alignment metode reverse dial.....	22
Gambar 2. 14 Rumus metode reverse dial	22
Gambar 2. 15 Shaft alignment metode reverse dial.....	24
Gambar 2. 16 Shaft alignment metode laser.....	25
Gambar 2. 17 Batas toleransi alignment.....	27
Gambar 2. 18 Macam - macam misalignment	28
Gambar 2. 19 Titik pengukuran DE dan NDE	32
Gambar 2. 20 Titik pengukuran putaran mesin	33
Gambar 2. 21 Pengecekan putaran mesin.....	33
Gambar 2. 22 Standar vibrasi	36
Gambar 3. 1 Diagram alir alignment.....	43
Gambar 3. 2 Diagram alir kombinasi (Offset dan Angular).....	45
Gambar 3. 3 Desain simulator shaft alignment	47
Gambar 3. 4 Base plate.....	47
Gambar 3. 5 Motor listrik	48
Gambar 3. 6 Generator forza gasolin BG 2200 L.....	49
Gambar 3. 7 Coupling fcl 90	49
Gambar 3. 8 Spesifikasi kopling	54
Gambar 3. 9 Plat besi mild steel ST 30	55

Gambar 3. 10	Motor Listrik 3 phase	56
Gambar 3. 11	Generator DC	57
Gambar 3. 12	Flexsible coupling.....	58
Gambar 3. 13	Batas toleransi runout (satuan : mm).....	59
Gambar 3. 14	Toleransi coupling	59
Gambar 3. 15	Kabel listrik eterna NYM 2×2,5 mm²	61
Gambar 3. 16	Stop kontak 220	61
Gambar 3. 17	Stop kontak 220	62
Gambar 3. 18	Terminal blok 100 A.....	62
Gambar 3. 19	Dial Indikator.....	63
Gambar 3. 20	Feeler gauge.....	64
Gambar 3. 21	Penggaris	65
Gambar 3. 22	Jangka sorong	66
Gambar 3. 23	Lutron DW-6093	66
Gambar 3. 24	Chauvin arnoux PEL103.....	67
Gambar 3. 25	Skf vibration meter	68
Gambar 3. 26	Obeng tespen	69
Gambar 3. 27	Tachometer	70
Gambar 3. 28	FLIR TG165	70
Gambar 3. 29	Deesain Geometri	74
Gambar 3. 30	Material Poros.....	75
Gambar 3. 31	Acuan pembacaan pergeseran.....	84
Gambar 4. 1	Hasil fabrikasi simulator shaft alignment.....	92
Gambar 4. 2	Hasil displacement.....	93
Gambar 4. 3	Stress (Von Mises).....	94
Gambar 4. 4	Hasil strain.....	95
Gambar 4. 5	Hasil faktor keamanan (FoS).....	96
Gambar 4. 6	Softfoot	98
Gambar 4. 7	Pengujian bar sag posisi jam 12.....	99
Gambar 4. 8	Pengujian bar sag posisi jam 6.....	99
Gambar 4. 9	Pemeriksaan rough alignment awal	100
Gambar 4. 10	Pemasangan brecket dial indicator	101

Gambar 4. 11	Data pengukuran radial kondisi alignment	104
Gambar 4. 12	Data pengukuran axial kondisi alignment	105
Gambar 4. 13	Data pengukuran angular	116
Gambar 4. 14	Posisi angular vertikal (Pandangan samping).....	116
Gambar 4. 15	Posisi angular horizontal (Pandangan atas)	117
Gambar 4. 16	Data pengukuran offset.....	118
Gambar 4. 17	Posisi offset vertical (Pandangan samping).....	118
Gambar 4. 18	Posisi offset horizontal (pandangan atas)	119
Gambar 4. 19	Posisi misalignment kombinasi vertikal (pandangan samping)..	119
Gambar 4. 20	Posisi misalignment kombinasi horizontal (pandangan atas).....	120
Gambar 4. 21	Rim and face shaft alignmnet	120
Gambar 4. 22	Perbandingan getaran DE motor.....	131
Gambar 4. 23	Grafik perbandingan getaran NDE motor	133
Gambar 4. 24	Grafik perbandingan getaran DE generator	135
Gambar 4. 25	Grafik perbandingan getaran NDE generator	136
Gambar 4. 26	Perbandingan efesiensi alignment dan misalignment kombinasi	138
Gambar 4. 27	Perbandingan suhu motor dan generator beban 350 Watt	140
Gambar 4. 28	Perbandingan suhu motor dan generator beban 600 Watt	142
Gambar 4. 29	Perbandingan suhu motor dan generator beban 1000 Watt	144

DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

Simbol	Keterangan	Halaman
O_v	<i>Offset vertical</i>	99
O_H	<i>Offset horisontal</i>	99
A_v	<i>Angular vertical</i>	99
A_h	<i>Angular horizontal</i>	99
Dir	<i>Dial indicator rim</i>	16
Dif	<i>Dial indicator face</i>	16
Tir	<i>Total indicator reading</i>	16
A	Dimensi kopling	17
B	Jarak kaki motor ke kopling generator	17
c	Jarak kaki belakang motor ke kopling generator	17
P_{in}	Daya <i>input</i> (Watt/kW)	34
P_{out}	Daya <i>output</i> (Watt/kW)	34
τ	Temperatur (°C)	105
V	Tegangan (Volt)	34
I	Arus (Ampere)	34
$\cos \varphi$	Faktor daya	34
η	Efisiensi (%)	35

T	Torsi (Nm)	38
π	konstanta (pi)	45
P	Daya Motor (kW)	38
n	Putaran motor (rpm)	38
d	Diameter poros minimum (mm)	45
FS	Faktor keamanan	45
S	Kekuatan geser (MPa)	45
C	Komposisi karbon	53
UTS	Kekuatan Tarik	53
Yield Strength	Tegangan luluh	53
E	Modulus Elastisitas	53
ν	Rasio Poisson	53
HB	Kekerasan Brinell	53
ρ	Densitas	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin rotasi seperti motor listrik dan generator banyak digunakan di industri untuk mentransmisikan daya mekanik. Keandalan sistem transmisi daya sangat dipengaruhi oleh keselarasan poros (*shaft alignment*), karena ketidaksesuaian posisi atau arah poros dapat menimbulkan getaran berlebih, kebisingan, peningkatan temperatur, hingga kerusakan prematur pada komponen mesin. Salah satu permasalahan umum adalah misalignment, yang dapat terjadi dalam bentuk *offset*, *angular*, maupun kombinasi keduanya.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa misalignment memberikan dampak signifikan terhadap performa mesin (Raharjo et al, 2016). menganalisis *misalignment* kopling pada mesin *rotary* menggunakan metode *face and rim* dan menemukan adanya peningkatan getaran pada kondisi tidak selaras. (Taufana, 2018) menekankan pentingnya ketelitian pengukuran dengan metode *double dial indicator* untuk memperoleh hasil *alignment* yang optimal. Penelitian terbaru oleh (Fajrul, 2024) juga mengembangkan simulator *shaft alignment* berbasis *dial digital indicator* untuk tujuan pembelajaran. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada satu jenis *misalignment*, atau hanya pada aspek pengukuran tanpa analisis komprehensif terhadap dampak getaran, temperatur, dan efisiensi sistem.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan penelitian yang tidak hanya membahas metode pengukuran, tetapi juga mengkaji pengaruh berbagai kondisi *misalignment* terhadap performa motor dan generator secara eksperimental. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan merancang dan membangun simulator

shaft alignment berbasis metode *face and rim* untuk mengamati perbedaan kondisi *alignment* dan *misalignment* (*offset*, *angular*, dan kombinasi). Untuk mendukung pengujian eksperimental, penelitian ini juga dilengkapi dengan analisis simulasi statik struktural menggunakan *software SolidWorks*.

Dengan adanya simulator ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai pengaruh misalignment terhadap performa sistem transmisi daya, sekaligus menjadi media pembelajaran praktis bagi mahasiswa maupun referensi penelitian lanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang muncul ketika merancang alat ini adalah:

1. Mendapatkan desain alat simulator *shaft alignment* dengan metode pengukuran *face and rim*?
2. Mengetahui pengaruh terhadap poros menggunakan simulasi *static structural* menggunakan *software Solidworks*?
3. Mengetahui fabrikasi alat simulator *shaft alignment* dengan metode pengukuran *face and rim* dengan *misalignment combination*?
4. Mengetahui pengaruh *misalignment combination* terhadap, daya *input – output*, getaran, temperature dan efisiensi pada alat simulator *shaft alignment*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam rancang bangun alat ini, batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini meliputi:

1. Perancangan alat simulator *shaft alignment* dengan metode pengukuran *face and rim* dan variasi *misalignment combination*.
2. Simulasi pada poros menggunakan *software SolidWorks* dengan studi *static structural*.
3. Fabrikasi alat simulator *shaft alignment* berbasis *misalignment* dengan metode *face and rim*.
4. Mengetahui pengaruh *misalignment combination* terhadap daya *input–output*, getaran, temperatur dan efisiensi pada alat simulator *shaft alignment*.

1.4 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Membuat desain simulator *shaft alignment* dengan berbasis variasi *misalignment* metode *face and rim*.
2. Mengetahui hasil simulasi difokuskan pada parameter tegangan, regangan, deformasi, dan faktor keamanan.
3. Fabrikasi alat simulator *shaft alignment* dengan metode pengukuran *face and rim* dan *misalignment combination*.
4. Mengetahui pengaruh *misalignment combination* terhadap daya *input–output*, getaran, temperatur dan efisiensi pada alat simulator *shaft alignment* dengan metode pengukuran *face and rim*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan dan latar belakang yang telah diuraikan di atas, penulis memiliki harapan adanya manfaat-manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik, Fakultas Vokasi, Universitas Diponegoro. *Prototype* yaitu alat *simulator shaft alignment* berbasis variasi *misalignment* dengan metode *face and rim*.
2. Sebagai penerapan teori dan praktik yang diperoleh selama perkuliahan ke dalam bentuk nyata melalui perancangan, fabrikasi, pengujian dan simulasi *static structural simulator shaft alignment*.
3. Simulator *shaft alignment* ini diharapkan dapat menjadi media pembelajaran dan penelitian dalam memahami metode pengukuran *face and rim* serta pengaruh *misalignment* kombinasi terhadap daya *input-output*, getaran, temperatur dan efisiensi pada sistem motor-generator.

1.6 Luaran

Pelaksanaan Tugas Akhir akan menghasilkan luaran, yaitu:

1. Laporan Tugas Akhir.
2. *Prototype* yaitu Alat simulator *shaft alignment* berbasis variasi *misalignment* dengan metode *face and rim*.
3. Hak Kekayaan Intelektual (HAKI).

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam pembuatan laporan tugas akhir ini, sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, tujuan dan manfaat tugas akhir, rumusan dan batasan masalah dalam penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori terkait motor listrik, generator DC, alignment, misalignment, dan alat yang digunakan selama pengujian.

BAB III METODOLOGI

Bab ini berisi uraian tentang proses pengujian pada alat simulator *shaft alignment* berbasis *misalignment* dengan perhitungan combination metode *face and rim*.

BAB IV HASIL PENGUJIAN

Bab ini berisi tentang analisa hasil pengujian geser pada simulator *shaft alignment* berbasis *misalignment* dengan perhitungan combination metode *face and rim*

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari laporan tugas akhir ini serta saran- saran untuk pihak yang terkait.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Listrik

Merupakan motor arus bolak-balik (AC) berfungsi merubah energi listrik menjadi energi mekanik (Zulfikar et al., 2019; Triyanto, Sakti, et al., 2022). Motor induksi equipment yang paling luas digunakan karena kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerja yang baik. Motor induksi terdiri dari dua bagian utama yaitu stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang berputar). Kedua bagian ini dipisahkan oleh suatu celah yang disebut Air Gap (Radiansyah & Gifson, 2020). Prinsip kerja motor induksi yaitu dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik dengan cara kumparan stator motor induksi dihubungkan dengan suatu sumber tegangan tiga fasa sehingga kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar (Artakusuma et al., 2018). Garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi (Asral & Handika, 2023). Karena penghantar (kumparan) sebuah rotor merupakan rangkaian yang tertutup di *shorted oleh endring*. Kondisi ini mengakibatkan aliran arus pada kumparan rotor dan terjadi perbedaan medan kutub magnet rotor menjadi berputar (Junior S & Saleh, 2022).

2.1.1 Keunggulan Motor 3 Fasa

a. Daya yang lebih besar

Motor 3 fasa memiliki daya yang lebih besar dibanding motor 1 fasa, sehingga lebih cocok digunakan untuk aplikasi industri yang membutuhkan daya yang besar.

b. Efisiensi yang lebih tinggi

Motor 3 fasa memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibanding motor 1 fasa karena daya yang lebih besar dan distribusi daya yang lebih merata.

c. Kinerja yang lebih stabil

Motor 3 fasa memiliki kinerja yang lebih stabil dan tidak terpengaruh oleh beban yang berubah-ubah seperti pada motor 1 fasa.

2.1.2 Kelebihan Motor Listrik 3 Fasa

a. Kemampuan untuk mengatasi beban berat

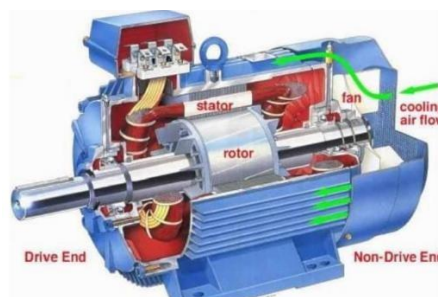
Motor listrik 3 fasa mampu mengatasi beban berat dan memastikan bahwa peralatan tetap berjalan dengan efisien.

b. Kemampuan untuk mengatasi suhu tinggi

Motor listrik 3 fasa mampu mengatasi suhu tinggi dan memastikan bahwa peralatan tetap bekerja dengan baik.

c. Kemampuan untuk mempertahankan daya

Motor listrik 3 fasa mampu mempertahankan daya dan memastikan bahwa peralatan tetap berfungsi dengan baik, meskipun beban berubah-ubah.

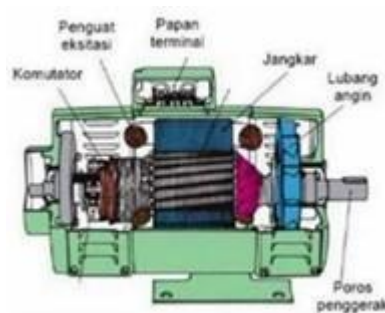


Gambar 2. 1 Motor listrik 3 *phase*

(Sumber: <https://gearboxelectro.com/blog/mengenal-motor-listrik-3-fasa>)

2.2 Generator DC

Generator DC merupakan suatu mesin DC yang dapat menghasilkan daya listrik arus searah (DC) dengan cara merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan perantara energi magnet. Pada generator DC, energi mekanik yang berasal dari penggerak mula yang dikopel dengan rotor. Penggerak mula ini dapat berasal dari tenaga uap panas, tenaga potensial air, motor diesel, dan lain sebagainya. Energi listrik keluaran generator dikeluarkan pada kumparan jangkar generator yang juga terdapat pada rotornya. Generator DC menghasilkan listrik arus searah dalam penggunaannya, generator DC ini kadang- kadang ditempatkan secara tetap atau dalam keadaan bergerak bersama dengan bebanya. Generator DC yang diletakkan secara tetap contohnya adalah generator yang dipergunakan untuk pengisian accu pada perusahaan pengisi accu dan generator yang ditempatkan secara bergerak dengan bebanya misalnya pada pusat-pusat tenaga listrik arus bolak-balik, dimana generator DC ini berfungsi sebagai sumber eksitasi magnet (*exciter*) pada generator utama pembangkit listrik arus bolak balik (Muddin, David & Harza., 2021).



Gambar 2. 2 Generator DC

(Sumber: <https://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/08/prinsip-kerja-generator-DC.html>)

2.3 Flexible Coupling

Flexible coupling adalah komponen mekanis yang dirancang untuk menghubungkan dua poros yang tidak sepenuhnya sejajar dan mentransmisikan torsi dari satu poros ke poros lainnya. Salah satu keunggulan utama dari kopling ini adalah kemampuannya untuk mengakomodasi berbagai tingkat ketidaksejajaran hingga 3 derajat dan sedikit ketidaksejajaran sejajar. Selain itu, *flexible coupling* juga bisa berfungsi sebagai peredam getaran dan pengurang kebisingan dalam sistem mekanis, yang sangat penting untuk menjaga keandalan dan umur panjang sistem.

Penggunaan *flexible coupling* sangat umum dalam berbagai sistem transmisi daya industri. Salah satu alasan utama penggunaannya adalah untuk mengkompensasi ketidaksejajaran poros yang terjadi dalam sistem mekanis. Dalam banyak kasus, ketidaksejajaran ini bisa terjadi karena proses manufaktur, pemasangan, atau karena faktor lingkungan. *Fleksibel coupling* memungkinkan sedikit ketidaksejajaran ini tanpa merusak sistem, yang bisa sangat merugikan jika menggunakan kopling kaku. Selain itu, dalam beberapa aplikasi, *flexible coupling* juga memberikan perlindungan terhadap komponen lain dengan menyerap beban berlebih yang mungkin timbul akibat ketidaksejajaran atau getaran (Taliagung,2024). Keuntungan dari *flexible coupling* yaitu :

a. Kompensasi Ketidaksejajaran

Salah satu fungsi utama kopling fleksibel adalah kemampuannya untuk mengkompensasi ketidaksejajaran antara dua poros yang terhubung. Ini sangat penting dalam sistem yang memerlukan fleksibilitas tinggi dan presisi.

b. Reduksi Getaran dan Kebisingan

Flexible coupling berperan penting dalam meredam getaran yang dihasilkan oleh mesin, yang tidak hanya melindungi komponen lain dalam sistem tetapi juga mengurangi kebisingan. Ini penting dalam aplikasi di mana getaran berlebihan bisa merusak komponen mekanis atau menurunkan kinerja sistem secara keseluruhan.

c. Perlindungan Sensor dan Komponen Lain

Dalam beberapa aplikasi, seperti pengukuran torsi, *flexible coupling* digunakan untuk menghubungkan motor dan sensor torsi dengan komponen lain. Kopling ini sangat penting karena melindungi sensor dari beban berlebih yang dapat merusaknya, serta mengurangi kesalahan akibat ketidaksejajaran.

d. Fleksibilitas dalam Aplikasi

Kopling fleksibel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari sistem transmisi daya kecil hingga besar. Mereka mampu mentransmisikan torsi dengan karakteristik backlash yang rendah, kekakuan torsi yang baik, serta kemampuan menyesuaikan dengan ketidaksejajaran lateral dan sudut, menjadikannya cocok untuk berbagai kebutuhan mekanis.

Beberapa karakteristik utama yang membuat *flexible coupling* sangat berguna dalam aplikasi industri meliputi :

a. Rendah atau *Nol Backlash*

Ini berarti kopling fleksibel memiliki toleransi yang sangat kecil terhadap pergerakan balik atau reaksi, sehingga sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan presisi tinggi.

b. Kekakuan Torsi yang Baik

Flexible coupling mampu mentransmisikan torsi dengan efisiensi tinggi tanpa

menyebabkan distorsi yang signifikan, menjadikannya andal dalam aplikasi yang memerlukan transmisi daya tinggi.

c. Kemampuan Menyesuaikan Ketidaksejajaran

Kopling ini dapat menyesuaikan ketidaksejajaran lateral dan sudut, sehingga cocok untuk sistem mekanis yang sering mengalami perubahan posisi atau getaran.



Gambar 2. 3 *Fcl coupling*

(Sumber: <https://id.shp.ee/u6XStcg>)

2.4 Heater

Heater merupakan peralatan yang banyak digunakan dalam industri proses (process industri) yang berfungsi untuk memanaskan suatu fluida. Biasanya, sisa panas yang berasal dari heater dimanfaatkan kembali untuk memanaskan fluida lain untuk meningkatkan efisiensi alat yang bisa digunakan adalah *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan alat yang digunakan sebagai media untuk memindahkan panas dari fluida yang bertemperatur lebih tinggi menuju fluida yang bertemperatur lebih rendah. Dalam aplikasinya alat ini digunakan untuk menaikkan maupun menurunkan temperatur, dan juga mengubah fase fluida. Salah satu tipe *heat exchanger* yang banyak digunakan di dunia industri adalah *shell and tube heat exchanger*. Alat ini terdiri dari sebuah shell silindris di bagian luar dan sejumlah *tube* di bagian dalam berbentuk pipa, di mana temperatur fluida di dalam *tube*

berbeda dengan di luar *tube* (di dalam *shell*) sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida di dalam tube dan di luar *tube*. Panas dari *Heater* kemudian dipakai untuk mentransfer panas menuju air yang temperaturnya rendah. *Heat Exchanger* dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). Proses perpindahan panas ini perlu untuk dikontrol agar diperoleh temperatur fluida sesuai dengan kriteria yang diinginkan, dan pemanfaatan sumber energi yang tersedia dapat digunakan lebih optimal dan tidak terdapat energi yang terbuang. Sebelum fluida memasuki *heat exchanger* fluida yang masuk pada *tube* harus berada pada kondisi panas. Maka dari itu fluida tersebut butuh dipanaskan menggunakan *heater* yang berfungsi memanaskan fluida sebelum masuk pada tube dari *heat exchanger*. (Said Sadad, 2016).



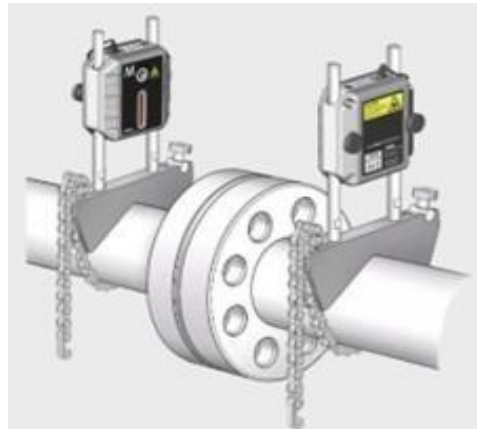
Gambar 2. 4 *Tubular heater*

(Sumber: <https://www.neo-indo.com/product/tubular-heater-p156669.aspx>)

2.5 Metode Alignment

Alignment adalah suatu pekerjaan yang meluruskan atau mensejajarkan dua sumbu poros hingga sentris (antara poros penggerak dengan sumbu poros yang digerakkan). Tujuan *alignment* untuk mendapatkan kelurusan/kesentrisan antara kedua poros pemutar dan poros yang diputar hingga tidak menimbulkan gesekan, getaran, dan lain-lain yang dapat memperpendek umur mesin yang tentunya akan menambah biaya

pengeluaran untuk perbaikan maupun penggantian mesin. Ketidaklurusan adalah Penyimpangan dari garis sumbu ke dua poros yang dipersambungkan, baik arah sejajar maupun arah aksial, sehingga terjadi ketidak sebarisan dari ke dua poros yang dipersambungkan tersebut (Giyats., 2022).



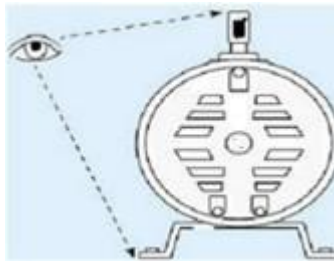
Gambar 2. 5 *Alignment*

(Sumber: <https://www.spminstrument.co.uk/measuring-techniques/shaft-alignment>)

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk meng-*alignment* poros sebagai berikut :

1. Metode Visual Line-Up

Metode *Visual Line-Up* adalah metode *alignment* yang paling umum dan mudah untuk dilakukan. Metode *visual line-up* umumnya digunakan pada instalasi awal, dimana metode ini memungkinkan teknisi atau operator dapat menganalisa kelayakan instalasi dan kondisi kerja.

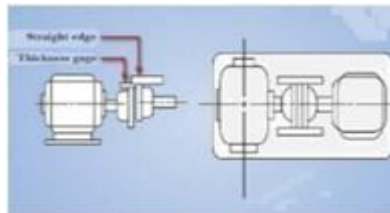


Gambar 2. 6 Metode *visual line-up*

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

2. Metode Dial Indicator (*Face and Rim*)

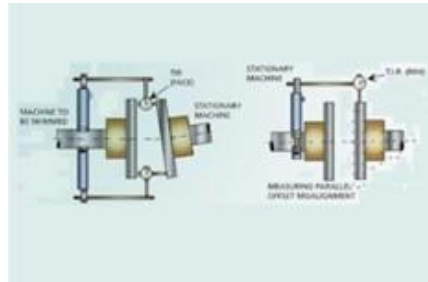
Metode *Straightedges* adalah metode *alignment* yang digunakan untuk menentukan *offset* pada bagian kopling. Koreksi metode ini dilakukan dibawah keempat kaki mesin. Metode *straightedges* menggunakan alat bantu berupa *feeler gauge* atau *taper gauge* yang berfungsi untuk mengukur jarak antara bagian kopling pada bagian atas dan bawah kopling.



Gambar 2. 7 Metode *straightedges*

(Sumber: : <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

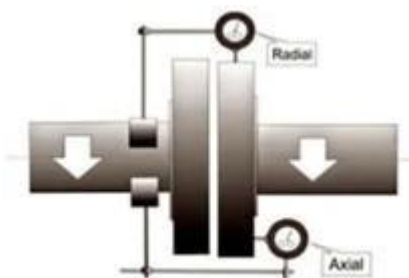
Metode *Face and Rim* pada prinsipnya serupa dengan metode *straightedges* atau *feeler gauge*, tetapi pada metode *rim and face* lebih akurat karena menggunakan dial indikator. Pembacaan tepi (*rim*) berfungsi untuk mengukur *offset* antara bagian kopling. Sedangkan Pembacaan wajah (*face*) berfungsi untuk mengukur perbedaan sudut antara wajah kopling.



Gambar 2. 8 Face and rim

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

Cara penggunaan dengan memutar kedua poros dalam waktu bersamaan dan searah jangan lupa selalu tandai (*marking*) titik awal dari *plunjer* (jarum penunjuk) pada kedua poros agar bacaan angka tidak berubah-ubah dalam setiap putaran. Bisa digunakan pada poros berdiameter besar maupun kecil pada mesin putaran tinggi. Namun, alat ini sangat sensitif. Pemasangan dial harus teliti dan kokoh untuk menghindari salah baca.



Gambar 2. 9 Memutar kedua poros

(Sumber: <https://www.cnzahid.com/2015/02/tools-for-alignment.html>)

- Keuntungan :
 - a. Metode ini cukup akurat,
 - b. Cukup efisien untuk poros berdiameter besar maupun kecil,
 - c. Dengan menggambar atau mudah melihat posisi kedua poros,
 - d. Dapat dilakukan untuk kedua poros yang dapat diputar ataupun hanya satu,
 - e. Alat cukup murah dibanding laser atau alat lain,
 - f. Mudah di gambar, dibuat perhitungan-perhitungan, sehingga pekerjaan dapat diselesaikan lebih cepat,
 - g. Cukup sesuai untuk mesin-mesin besar, putaran tinggi.
- Kerugian :
 - a. Mengerjakannya harus sangat teliti/hati-hati, pemasangan dial harus kokoh, sehingga dapat menghindari salah baca/salah petunjuk,
 - b. Toleransi, *run-out*, *sag* harus diketahui atau di cek dahulu,
 - c. Jika permukaan kopling tidak rata atau *run-out* nya besar, maka penunjukan *dial indicator* menjadi tidak sebenarnya, sehingga selanjutnya perhitungan-perhitungan menjadi salah,
 - d. Aksial *clearence* sangat mempengaruhi kesalahan,
 - e. Membaca dial merupakan hal yang paling dasar yang harus dipahami dan dimengerti oleh pelaksana, hasil bacaan salah akan mengkaibatkan hasil salah dan fatal,
 - f. Penunjukan bisa salah, hal itu bisa disebabkan karena pemasangan dial tidak kokoh : kendor, ada *sag*, tidak sejajar, dan posisi tidak tepat,
 - g. Kesalahan pada alat ada histiris, tidak lancar naik-turun plunjer,

h. Pemahaman membaca dial salah, terbalik-balik, pemahaman skala salah sehingga hasil perhitungan atau penggambaran salah.

- Reposisi matematis *offset misalignment* (Raharjo, Wicaksono dan Irianto, 2016)

➤ $\text{Kopling Offset Vertikal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{\text{Arah jam 12} - \text{Arah jam 6}}{2}$

➤ $\text{Kopling Offset Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{\text{Arah jam 3} - \text{Arah jam 9}}{2}$

- Perhitungan matematis *angular misalignment* (Raharjo, Wicaksono dan Irianto, 2016)

• $\text{Kopling Angular Vertikal} = \frac{\text{Face Dial (DIF)TIR}}{A \text{ Dimension}} = \frac{\text{Arah jam 12} - \text{Arah jam 6}}{A \text{ Dimension}}$

• $\text{Kopling Angular Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIF)TIR}}{A \text{ Dimension}} = \frac{\text{Arah jam 3} - \text{Arah jam 9}}{A \text{ Dimension}}$

Dimana:

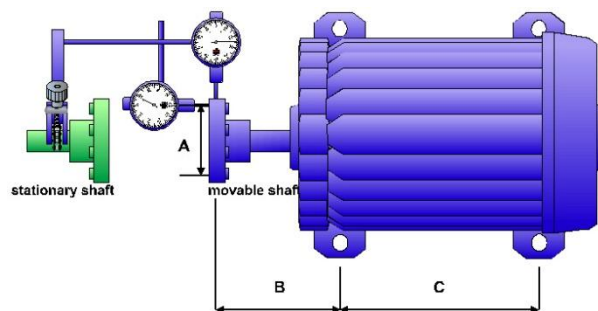
A = Diameter kopling

DIR = Dial indikator rim

DIF = Dial indikator face

TIR = Total indikator reading

- Reposisi dengan perhitungan matematis



Gambar 2. 10 Sketsa pengaplikasian formula matematis

(Sumber : <https://www.alignmentknowledge.com/wp-content/uploads/2019/03/Rim-Face-Calculations-1.jpg>)

- Kaki depan (*Front Foot*)

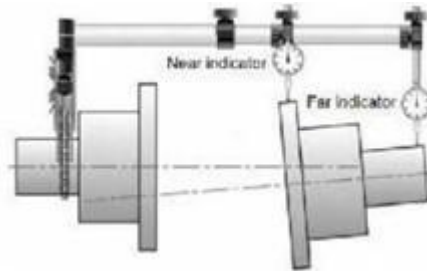
$$\Delta F = \left(\frac{\text{Face TIR}}{A} \times B \right) + \frac{1}{2} \text{ Rim TIR}$$

- Kaki depan (*Front Foot*)

$$\Delta F = \left(\frac{\text{Face TIR}}{A} \times (B + C) \right) + \frac{1}{2} \text{ Rim TIR}$$

3. Metode *Double Dial Indicator*

Metode *Double Radial* dikenal sebagai alat yang tidak memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan metode yang lain. Metode ini hanya boleh digunakan jika terdapat setidaknya 3 *inchi* atau lebih dari jarak antara posisi pengukuran indikator. Keakuratan teknik ini meningkat apabila jarak antara point pembacaan semakin jauh, pada metode ini biasanya pada poros tidak tepat atau cukup jauh dengan posisi *dial indicator*, kecuali dalam keadaan tertentu. Metode ini biasa digunakan ketika salah satu poros yang diukur tidak dapat diputar.



Gambar 2. 11 *Double dial indicator*

(Sumber: [Shaft Alignment Handbook, Jhon Piotrowski, Third Edition](#))

Dari gambar tersebut di atas, pengukuran dengan menggunakan metode *double radial* hanya menggunakan satu bracket yang dipasang dua *dial indicator* yang ditempelkan pada dua titik, pada titik dekat yaitu di bagian ujung depan kopling sedangkan pada titik jauh yaitu pada kopling yang mendekati poros yang

akan diukur *misalignment*-nya.

- Keuntungan :

- a. Teknik metode yang baik untuk digunakan dalam situasi dimana salah satu poros mesin tidak dapat diputar atau sulit untuk memutar salah satu poros mesin,
- b. Metode yang baik untuk digunakan saat pembacaan *dial indicator* jarak dekat dan jauh,
- c. Lokasi pengukuran dapat jauh secara terpisah,
- d. Metode ini hampir untuk mendekati akurasi dari metode sebelumnya (metode *indicator reverse*) ketika jarak antara dua set pembacaan *dial indicator* ditangkap pada satu poros yang sama atau melebihi rentang pembacaan titik dari poros ke poros,
- e. Apabila mesin didukung dengan jenis bantalan aksial ketika memutar poros untuk menangkap pembacaan data, hampir tidak ada efek pada keakuratan pembacaan yang diambil.

- Kerugian :

Penggunaan metode *double radial* terkadang tidak seluruhnya mengenai permukaan dari poros atau kopling yang akan diukur, biasanya pengukuran kurang akurat dibandingkan dengan metode *face and rim* dan metode *reverse*.

- Prosedur :

- a. Pasang braket penyelarasan dengan kuat ke salah satu braket poros dan posisikan indikator pada parameter dari poros lainnya. Diperlukan untuk mengatur kedua indikator secara bersamaan (yaitu, atur di lokasi “dekat”, lalu atur lagi di lokasi “jauh”),

- b. Nolkan indikator pada posisi jam dua belas,
- c. Putar perlahan susunan poros dan braket melalui interval.

4. Metode Reverse Dial Indicator

Metode *reverse dial* menggunakan dua buah *dial indicator* yang membaca dari poros ke poros dan hampir serupa dengan metode *cross dial*, perbedaannya pada *dial indicator* yang berada pada bidang yang sama satu sama lain. *Offset* dan angularitas digabungkan dalam perhitungan pada metode ini.

Digunakan jika ada poros yang sulit diputar atau tidak memiliki ruang untuk penyetelan (*dial*). Keuntungan dari *reverse dial indicator* adalah proses *alignment* cukup diterapkan pada satu poros. Dengan begitu, pemasangan mesin yang tidak memiliki *axial bearing* bisa tetap disetel. *Reverse dial indicator* cocok untuk *alignment* motor listrik. Dengan memasang dua pasang dial seperti gambar dibawah adalah cara yang sangat cerdas untuk menghemat waktu. Dengan sekali putar menghasilkan dua penunjukan.



Gambar 2. 12 *Reverse dial indicator*

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

- Keuntungan :

- a. Cukup satu poros *shaft* yang perlu diputar, sehingga sangat baik untuk *alignment* pasangan mesin dimana salah satunya sulit diputar ataupun mesin yang tidak memiliki *thrust bearing*
- b. Baik untuk *alignment* motor listrik tidak memiliki *bearing* aksial, tidak perlu diputar, karena jika diputar dapat menimbulkan kesalahan penunjukan *dial indicator*
- c. Cukup cocok untuk kopling dengan diameter besar, karena ada ruang untuk penempatan *dial indicator*
- d. Dengan mudah bisa melihat atau menggambarkan posisi poros

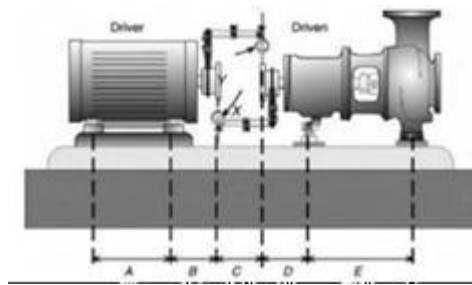
- Kerugian :

- a. Sulit mendapatkan data yang akurat pada muka kopling jika rotor mempunyai *thrust bearing* yang *hydrodinamis*, karena pemindahan aksial
- b. Sulit juga untuk motor listrik yang tidak mempunyai *thrust bearing*, karena jika diputar akan lari ke arah aksial atau maju-mundur
- c. Biasanya memerlukan melepas *spool* kopling,
- d. Agak sulit digambarkan untuk kalkulasi perpindahan.

- Perhitungan :

Ada hubungan matematis antara ukuran mesin yaitu, dimana baut kaki berada, tempat dilakukannya pengukuran posisi poros, dan poros pengukuran itu sendiri. Setelah semua pengukuran telah dilakukan, dan poros diplot ke dalam model penyelarasan, solusi gerakan korektif dapat dicapai. Menunjukkan hubungan matematis antara dimensi mesin dan pembacaan *dial indicator* ditangkap menggunakan teknik indikator terbalik. Persamaannya akan menyelesaikan

langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk memperbaiki kondisi *misalignment* yaitu, membawa poros ke dalam hubungan *cooler* ketika *off-line*, pada satu mesin atau mesin lainnya. Kasus ini adalah kondisi jika anda memutuskan untuk menjaga pengemudi tetap diam, menyelesaikan gerak pada mesin yang digerakkan atau sebaliknya (piotrowski, 2006).



Gambar 2. 13 *Shaft alignment metode reverse dial*

(Sumber: [Shaft Alignment Handbook, Jhon Piotrowski, Third Edition](#))

Dimana :

A,B,C,D,E = Jarak ditampilkan (dalam).

N = Setengah yang digerakkan perbedaan pembacaan pelek (dari atas ke bawah atau sisi ke sisi dalam mil).

Y = Setengah dari yang digerakkan perbedaan pembacaan pelek (dari atas ke bawah atau sisi ke sisi dalam mil).

$$\begin{aligned} \text{Inboard feet of driver} &= (B+C) \left[\frac{(F-N)}{C} \right] - (F) & \text{Inboard feet of driven} &= (C+D) \left[\frac{(F-N)}{C} \right] + (N) \\ \text{Outboard feet of driver} &= (A+B+C) \left[\frac{(F-N)}{C} \right] - (F) & \text{Outboard feet of driven} &= (C+D+E) \left[\frac{(F-N)}{C} \right] + (N) \end{aligned}$$

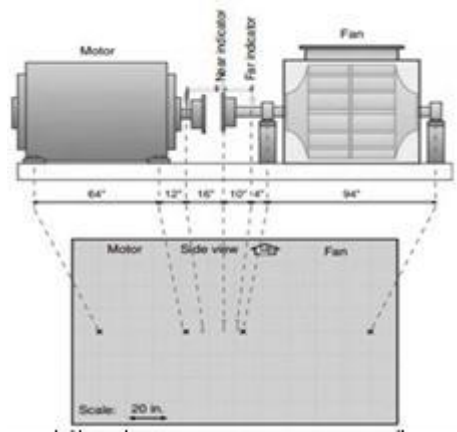
Gambar 2. 14 Rumus metode *reverse dial*

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

Prinsip dasar pengukuran teknik radial ganda adalah menangkap dua (atau lebih jika diinginkan) pembacaan melingkar pada titik-titik berbeda sepanjang poros.

Ada enam informasi yang Anda perlukan untuk menyusun posisi poros dengan benar menggunakan teknik ini:

- a. Jarak dari kaki tempel ke dalam kapal (bidang baut) mesin pertama
- b. Jarak dari bidang perbautan bagian dalam mesin pertama ke titik pada poros dimana letak braket pada mesin pertama
- c. Jarak dari tempat indikator dial dekat menangkap pembacaan pelek pada mesin kedua hingga titik di mana indikator dial jauh menangkap pembacaan pelek mesin kedua
- d. Jarak dari tempat indikator dial jauh menangkap pembacaan pelek pada mesin kedua ke bidang perbautan bagian dalam mesin kedua
- e. Jarak dari kaki bagian dalam ke bagian luar (bidang baut) dari mesin kedua
- f. Delapan pembacaan *dial indicator* diambil di bagian atas, bawah, dan kedua sisi pada kedua poros setelah mengkompensasi *barshake* yaitu, berapa sepenuhnya *barshake* diukur. Fakta bahwa mungkin akan ada dua jumlah penurunan yang berbeda masing-masing lokasi indikator dial.



Gambar 2. 15 *Shaft alignment metode reverse dial*

Sumber: [Shaft Alignment Handbook, Jhon Piotrowski, Third Edition](#)

Tata cara pembuatan plot teknik radial ganda adalah sebagai berikut:

- Gambarkan poros tempat braket dijepit di atas garis tengah grafik.
- Mulailah dengan pembacaan indikator dial dari atas ke bawah atau dari sisi ke sisi pada poros lainnya (yaitu, yang tidak Anda gambar pada garis tengah grafik)
- Plot posisi garis tengah poros lainnya dengan memulai dari perpotongan grafik garis tengah dan titik di mana indikator dial dekat menangkap pembacaan di poros lainnya. Jika pembacaan bawah (atau samping) negatif, beri titik setengahnya pembacaan bawah (atau samping) dari garis tengah grafik ke arah atas grafik. Jika pembacaan bagian bawah (atau samping) positif, beri titik di separuh bagian bawah (atau samping) pembacaan dari garis tengah grafik ke arah bawah grafik (sama seperti pada teknik pemodelan *point-to-point*). Jangan menarik garis apa pun dulu.
- Selanjutnya, mulailah dari perpotongan garis tengah grafik dan titik letak dial jauh indikator menangkap pembacaan pada poros. Jika pembacaan bawah (atau samping) adalah negatif, tempatkan setengah titik pembacaan bawah (atau samping)

sampling) dari garis tengah grafik menuju bagian bawah grafik. Jika pembacaan bawah (atau sampling) positif, tempatkan titik setengah pembacaan bawah (atau sampling) dari garis tengah grafik ke arah atas grafik (kebalikan dari teknik pemodelan *point-to-point*).

- e. Kedua titik yang ditandai pada grafik pada titik pembacaan dial indikator ini menentukan garis pandangan (yaitu, garis tengah rotasi) dari poros lainnya. Gambarlah garis lurus melaluinya dua titik ini dari ujung kopling ke ujung luar poros lainnya.

5. Metode Laser

Metode *alignment* laser mirip dengan metode *rim and face*, namun pada metode ini menggunakan cahaya laser untuk menjangkau jarak antar poros. *Misalignment* dapat ditentukan oleh pergerakan sinar laser pada permukaan detektor dengan menggerakkan kedua buah poros secara bersamaan.



Gambar 2. 16 *Shaft alignment* metode laser

(Sumber: <https://www.etsworlds.id/2020/02/jenis-jenis-metode-alignment.html>)

- Kelebihan *alignment* metode Laser:
 - a. Merupakan metode *alignment* yang paling akurat,
 - b. Perhitungan alignment dapat dibuat dengan cepat langsung ke komputer,
 - c. Hanya membutuhkan 180 derajat poros rotasi,
 - d. Kemampuan bergerak secara horizontal.

- Sumber kesalahan alignment metode Laser:
 - a. Pengaruh Panas dan dingin pada udara dapat merusak komponen laser dan mempengaruhi hasil perhitungan *alignment*,
 - b. Kelonggaran dalam braket atau perlengkapan,
 - c. Kopling *backlash*.

2.6 Misalignment

Misalignment adalah ketidaklurusan antara kedua poros. *Misalignment* terjadi karena adanya pergeseran atau penyimpangan salah satu bagian mesin dari garis pusatnya. *Misalignment* sendiri mengakibatkan getaran dalam arah *axial* (Chaniago, Witanto, Suryadi., 2023). Gejala vibrasi yang diakibatkan oleh *misalignment* hampir sama dengan gejala *unbalance* akan tetapi dengan menggunakan *vibrometer* yang memadai akan lebih mudah membedakan antara *unbalance* dan *misalignment* yaitu dari analisa sudut fasanya. Terdapat beberapa jenis *misalignment*, seperti *misalignment* pada 18 sambungan kopling, sabuk, rantai, roda gigi dan lain-lain (Kalam Diaz A, B Setyoko, 2023). Jika *misalignment* terjadi pada kopling maka akan mempercepat kerusakan kopling, *bearing*, dan menimbulkan vibrasi berlebihan (Andi Ulfiana, 2016). Bagian-bagian yang mengalami kerusakan akibat ketidaklurusan poros (*misalignment*) (Junior dan Saleh, 2022) :

1. Poros, terjadi getaran yang berlebihan pada masing-masing poros.
2. Bantalan, terjadinya gesekan yang berlebihan pada bantalan mengakibatkan timbulnya panas yang berlebihan.
3. Baut –baut kopling akan rusak / putus.

4. Mempercepat kebocoran cairan yang dipompa pada *stuffing box*.
5. Pada pompa menurunkan efesiensi mekaniknya.
6. Kumputan pada motor listrik akan bergesekan sehingga dapat menimbulkan hubungan pendek.

2.6.1 Toleransi Misalignment

Menurut ANSI/ASA S2.75-2017/Part 1, batas toleransi *alignment* dipengaruhi oleh kecepatan putaran mesin dan jenis kopling yang digunakan. Pada sistem dengan kopling FCL 90 (*elastomeric flexible coupling*) dan putaran 2850 RPM, toleransi *alignment* yang diperbolehkan adalah *offset* sekitar 0,07–0,075 mm dan *angular* sekitar 0,2 mm. Semakin tinggi kecepatan putaran, nilai toleransi yang diizinkan semakin kecil, sehingga hasil alignment harus dijaga dalam batas ini agar kinerja poros dan kopling tetap andal serta umur pakai komponen lebih panjang (ANSI/ASA, 2017).

Tolerance range for flex planes separation 75 mm (3 inches) or greater, or couplings with elastomeric CML	Values @ RPM							
	900		1200		1800		3600	
	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in	Offset μm (mils)	Angle $\mu\text{m}/\text{mm}$ or mils/in
Minimal	191 (7.5)	1.5	178 (7.0)	1.4	157 (6.0)	1.2	122 (4.5)	0.9
Standard	106 (4.0)	0.8	97 (3.5)	0.7	87 (3.0)	0.6	66 (2.5)	0.5
Precision	51 (2.0)	0.4	46 (1.8)	0.3	41 (1.6)	0.3	30 (1.3)	0.2

Gambar 2. 17 Batas toleransi *alignment*

2.6.2 Macam macam *Misalignment* dibagi menjadi 3

1. *Offset Misalignment*

Offset misalignment adalah posisi dari kedua poros dalam keadaan tidak sejajar dengan ketinggian yang berbeda pada kedua poros tersebut.

2. *Angular Misalignment*

Angular misalignment adalah ketidaklurusan yang terjadi pada kedua poros yang posisinya saling menyudut, sedangkan kedua ujungnya (pada kopling) memiliki ketinggian yang sama.

3. *Combination Misalignment*

Combination misalignment adalah ketidaklurusan kedua poros dengan saling menyudut dan kedua ujung poros tidak sama.



Gambar 2. 18 Macam - macam **misalignment**

(Sumber: https://eprints.untirta.ac.id/34633/1/LAPORAN%20KP_Putu%20Evan%20Raditya%20S_3331200099.pdf)

2.6.3 Penyebab *Misalignment*

Ada beberapa penyebab terjadinya *misalignment*, diantaranya adalah (Putra, Taufika & Saefudin, 2016):

1. Defleksi yang terjadi pada poros
2. Kesalahan pemilihan kopling untuk menghubungkan dua buah poros
3. Kesalahan karena adanya perubahan kedudukan mesin yang satu (misal: settlement pondasi) relatif terhadap pasangannya.

Defleksi yang terjadi pada poros dapat menghasilkan *misalignment* terhadap sumbu putarnya. Defleksi pada poros ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, antara lain (Putra, Taufika & Saefudin, 2016):

1. Dimensi poros yang terlalu panjang sehingga adanya bending akibat massa dari poros tersebut
2. Letak *bearing* yang tidak tepat, misalnya *bearing* tidak diletakkan di dekat konsentrasi beban yang besar.
3. Terjadi kesalahan pada waktu pemasangan kembali komponen mesin setelah diperbaiki.
4. Pergeseran bantalan atau landasan akibat getaran yang besar.
5. Pemuaian material akibat perubahan temperatur yang disebabkan oleh adanya gesekan pada bantalan.

2.6.4 Dampak Akibat Misalignment

Misalignment yang terjadi dapat mengakibatkan beberapa dampak negatif. Dampak negatif yang ditimbulkan oleh misalignment antara lain adalah (Putra, Taufika & Saefudin, 2016):

1. Getaran yang dibangkitkan bertambah besar dan dapat menimbulkan kebisingan (*noise*).
2. Terjadinya beban fatik pada poros yang disebabkan oleh tegangan dinamik yang terjadi. Keadaan ini dapat menyebabkan patah pada poros. Tegangan dinamik tersebut timbul karena adanya beban bending dan torsi.
3. Adanya konsentrasi tegangan yang besar bekerja pada *bearing*, sehingga dapat menurunkan umur pakai *bearing*.
4. Mempercepat terjadinya keausan pada *seal*.
5. Konsumsi energi makin tinggi dan terjadi penurunan performansi mesin karena tidak semua torsi diteruskan.

2.7 Keuntungan dan Kerugian Mesin di Alignment

2.7.1 Keuntungan Mesin di Alignment

Umur pakai mesin sangat diharapkan agar *reliable*/handal dan dapat dioperasikan selama mungkin tanpa kerusakan. Bahkan sistem “Manajemen Pemeliharaan” yang canggih pun menjadi tidak berarti jika mesin-mesin tidak di-*alignment* dengan benar mesin-mesin rotasi harus handal agar:

1. Mengurangi beban aksial dan radial yang berlebih pada *bearing* untuk mendapatkan umur *bearing* yang lebih panjang dan stabilitas rotor pada kondisi operasi dinamis.
2. Mengurangi kemungkinan poros patah akibat kelelahan *cyclic*.
3. Mengurangi keausan pada komponen kopling.
4. Mengurangi bend poros dari titik transmisi tenaga pada kopling ke *bearing*.
5. Mengurangi rotor *internal clearance* yang sesuai.
6. Level vibrasi yang lebih rendah pada casing mesin, rumah *bearing* dan rotor.
7. Unit produksi *reliable* / handal, dapat beroperasi sesuai dengan target waktu operasi yang diinginkan.
8. Ongkos pemeliharaan rendah, karena tidak terjadi kerusakan premature yang mengakibatkan kehilangan produksi dan membayar ongkos perbaikan/*spare part*.
9. Target produksi bisa dicapai sesuai dengan perencanaan produksi yang disesuaikan dengan kebutuhan / permintaan pasar.

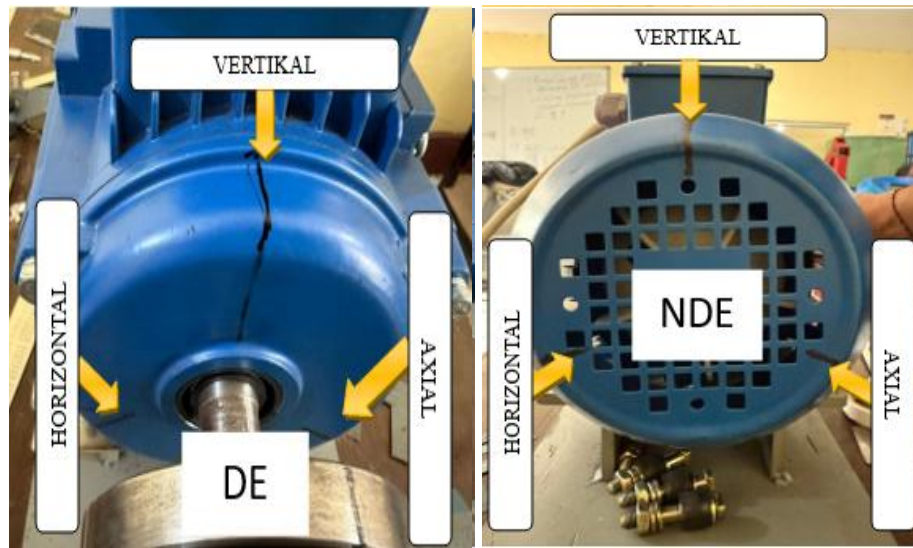
2.7.2 Kerugian Mesin Tidak di Alignment

Biasanya Biasanya kerusakan mesin rotasi disebabkan oleh *misalignment*, hal ini tentu saja sangat merugikan. Sedangkan sebab utama *misalignment* lebih banyak disebabkan oleh faktor manusia antara lain: karena tidak tahu, tahu tetapi belum bisa mengerjakan, tahu dan bisa mengerjakan tetapi malas melakukan.

1. Konsumsi energi (listrik, bahan bakar, steam) penggerak meningkat sekitar 5 - 10%. (Dwi20)
2. Beban yang diderita mesin bertambah, umur *bearing* berkurang dengan faktor dari bertambahnya beban.
3. Kerusakan prematur pada *bearing*, poros, *seal*, kopling dan lain-lain.
4. Temperatur tinggi pada *casing*, *bearing* atau minyak lubrikasi.
5. Kebocoran pada *seal*-nya *bearing*, *mechanical seal*.
6. Kopling menjadi panas dan cepat rusak.
7. Baut koping mudah kendur / patah. Baut pondasi kendur.
8. Vibrasi tinggi kearah radial dan axial

2.8 Getaran

Pengambilan data getaran diambil di tiga titik pengukuran dengan jenis karakteristik getaran kecepatan (*velocity*), hal ini berdasarkan pada pembahasan tinjauan pustaka bahwa *velocity* adalah satu indikator yang paling baik untuk mengetahui masalah *vibrasi* pada kondisi *misalignment*. Berikut adalah bagian-bagian yang akan diukur.



Gambar 2. 19 Titik pengukuran DE dan NDE

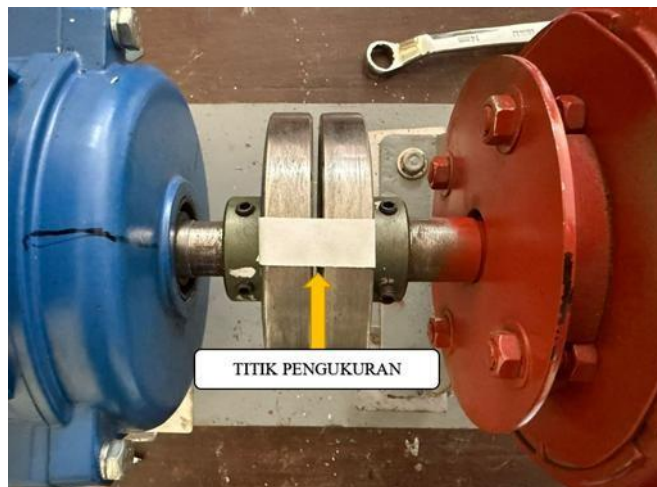
Pada titik pengukuran secara *vertical* adalah menempatkan alat pada posisi *vertikal* berbanding 90° dengan arah *horizontal* pada rumah motor, dan *axial* sejajar garis lurus dengan poros. Pengambilan pada tiga sumbu berfungsi untuk melihat kondisi vibrasi pada masing-masing sumbu seperti yang sudah dibahas di atas karena di setiap sumbu mempunyai vibrasi yang berbeda, dan pada setiap kondisi dapat ditentukan karakteristik kerusakan dengan melihat sinyal vibrasi dari masing-masing sumbu pengukuran.

Pengukuran vibrasi dilakukan dengan putaran mesin sebesar 100% yaitu sebesar 2850 RPM. Pengukuran putaran mesin menggunakan alat bantu *tachometer* non-contact. Cara kerja *non-contact tachometer* adalah dengan menempelkan bahan reflektif pada komponen yang berputar. *Tachometer* kemudian memancarkan seberkas cahaya

Inframerah yang diarahkan ke target reflektif. Ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan di dalam *tachometer*. Berikut titik pengukuran putaran mesin.

Pengukuran vibrasi dilakukan dengan putaran mesin sebesar 100% yaitu

sebesar 2850 RPM. Pengukuran putaran mesin menggunakan alat bantu *tachometer* non-contact. Cara kerja *non-contact tachometer* adalah dengan menempelkan bahan reflektif pada komponen yang berputar. *Tachometer* kemudian memancarkan seberkas cahaya inframerah yang diarahkan ke target reflektif. Ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan di dalam *tachometer*. Berikut titik pengukuran putaran mesin.



Gambar 2. 20 Titik pengukuran putaran mesin

Setiap pengambilan data vibrasi harus dilakukan pengecekan putaran mesin terlebih dahulu. Pengecekan putaran menggunakan dua titik pengukuran untuk memastikan bahwa putaran sesuai dengan yang disepakati sebelumnya yaitu 2850 rpm.



Gambar 2. 21 Pengecekan putaran mesin

2.8.1 Standar Getaran Untuk Mesin *Rotating* Menurut ISO 10816

Dengan membaca tabel dibawah kita dapat mengkaitkan kondisi kerusakan permesinan dengan getaran sebagai monitoring perawatan berbasis kondisi. Standar yang digunakan adalah parameter kecepatan (rms) untuk mengindikasikan kerusakan. Warna – warna seperti terlihat pada Tabel mengklasifikasikan tingkat keparahan sesuai dengan kelas permesinan, sebagai berikut:

- a. Class I, bagian mesin dan motor listrik terpisah, secara integral bagian mesin dikaitkan sebagai permesinan lengkap dalam kondisi pengoperasian normal (motor listrik sampai 15kW)

Kategori getaran:

- **Good:** < 0.71 mm/s $\rightarrow$ Mesin dalam kondisi sangat baik dan stabil.
- **Satisfactory:** $0.71 - 2.80$ mm/s $\rightarrow$ Masih dapat diterima untuk operasi jangka panjang.
- **Unsatisfactory:** $2.80 - 7.10$ mm/s $\rightarrow$ Getaran mulai tinggi, perlu pemeriksaan.
- **Unacceptable:** > 7.10 mm/s $\rightarrow$ Tidak aman, harus segera dilakukan perbaikan.

- b. Class II, peralatan permesinan berukuran sedang (motor listrik dengan output 15-75 kW) tanpa fondasi khusus, mesin terpasang mati (hingga 300 kW) dengan fondasi khusus.

Kategori getaran:

- **Good:** $< 1.12 \text{ mm/s}$ → Mesin dalam kondisi baik dan efisien.
 - **Satisfactory:** $1.12 - 2.80 \text{ mm/s}$ → Masih aman untuk operasi normal.
 - **Unsatisfactory:** $2.80 - 7.10 \text{ mm/s}$ → Indikasi adanya ketidakseimbangan atau misalignment.
 - **Unacceptable:** $> 7.10 \text{ mm/s}$ → Melebihi batas, berpotensi merusak komponen.
- c. Class III, mesin dengan penggerak utama yang lebih besar dan mesin besar lainnya dengan rotating masses terpasang mati pada fondasi padat dan fondasi berat yang indikatornya sulit bagi penalaran getaran.

Kategori getaran:

- **Good:** $< 1.80 \text{ mm/s}$ → Mesin stabil dan tidak ada indikasi gangguan.
 - **Satisfactory:** $1.80 - 4.50 \text{ mm/s}$ → Dapat diterima untuk operasi berkelanjutan.
 - **Unsatisfactory:** $4.50 - 11.20 \text{ mm/s}$ → Getaran meningkat, perlu evaluasi.
 - **Unacceptable:** $> 11.20 \text{ mm/s}$ → Kondisi kritis, operasi harus dihentikan.
- d. Class IV, mesin dengan penggerak utama yang lebih besar dan mesin-mesin besar lainnya dengan rotating masses terpasang pada fondasi yang indikatornya mudah bagi pengukuran getaran.

Kategori getaran:

- **Good:** $< 2.80 \text{ mm/s}$ → Mesin bekerja dengan sangat baik.

- Satisfactory: 2.80 – 7.10 mm/s → Masih dalam batas aman operasi.
- Unsatisfactory: 7.10 – 18.00 mm/s → Getaran tinggi, perlu pemeriksaan sistem.
- Unacceptable: > 18.00 mm/s → Getaran berbahaya, harus segera dihentikan.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
Machine			Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
Vibration Velocity Vrms	in/s	mm/s				
	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71		good		
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		unacceptable		
	1.10	45.0				

Gambar 2. 22 Standar vibrasi

2.8.2 Parameter Getaran

Getaran merupakan fenomena kompleks yang dapat diukur dengan berbagai cara. Tiga parameter terpenting yang digunakan untuk mengukur getaran adalah perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*). Masing masing parameter ini memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri, yang jika digunakan dengan tepat kan memberi wawasan mengenai sifat getaran.

1. Perpindahan (*Displacement*)

Perpindahan menunjukkan jarak antara objek yang berputar dan sensor yang berlaku. Jarak yang ditempuh dari puncak ke puncak atau *peak to peak*. Perpindahan diukur dalam satuan micron (μm) atau mils. Perpindahan paling efektif dalam getaran frekuensi sangat rendah umumnya di bawah lima kali kecepatan berjalan pada mesin yang bergerak lambat.

2. Kecepatan (*Velocity*)

Kecepatan adalah laju perubahan perpindahan dari waktu ke waktu dan diukur dalam satuan milimeter per detik (mm/s) (peak) atau inci per detik (in/s atau ips). Yang paling umum digunakan, kecepatan biasanya dianggap sebagai "jalan tengah yang tepat" antara perpindahan dan percepatan. Sementara perpindahan paling baik untuk mengukur getaran kecepatan/frekuensi yang sangat rendah, dan percepatan paling cocok untuk getaran kecepatan tinggi/frekuensi tinggi, kecepatan adalah solusi yang seimbang untuk sebagian besar kecepatan dan frekuensi. Beberapa potensi kesalahan dapat diidentifikasi dengan kecepatan seperti ketidaksejajaran, ketidakseimbangan, kelonggaran mekanis, getaran terkait baling-baling atau impeller, dan daftarnya terus bertambah.

Parameter kecepatan selalu berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya, dimana pada posisi positif maximum dan negatif maximum kecepatan adalah nol, sedangkan pada posisi gerakan melewati daerah netral kecepatan adalah maximum.

3. Percepatan (*Acceleration*)

Akselerasi adalah laju perubahan kecepatan dari waktu ke waktu.

Akselerasi diukur dalam satuan meter per detik kuadrat (m/s^2) atau g. Akselerasi paling efektif dalam mendeteksi getaran yang berfrekuensi tinggi. Percepatan selalu

berubah sepanjang jarak yang ditempuhnya, dimana maximum pada saat displacement mencapai positif *maximum* atau mendekati negatif *maximum*.

2.9 Daya Input Output dan Efisiensi

Daya *input* pada motor listrik merupakan energi listrik yang disuplai dari sumber, V adalah tegangan, I adalah arus, dan $\cos \varphi$ adalah faktor daya. dimana dapat dihitung dengan persamaan (Pabla, 2005).

$$P_{in} = V \times I \cos \varphi$$

Daya *output* pada generator adalah energi listrik yang dihasilkan dari energi mekanik yang ditransfer melalui kopling, untuk beban resistif murni atau dapat diukur langsung menggunakan alat ukur daya listrik, dengan persamaan umum (Chapman, 2012).

$$P_{out} = V \times I \cos \varphi$$

Nilai efisiensi ini menunjukkan seberapa efektif konversi energi terjadi dari input ke output, di mana kehilangan daya biasanya disebabkan oleh rugi-rugi listrik, mekanik, maupun panas pada sistem (Fitzgerald et al., 2003). Dalam penelitian ini, pengukuran daya input dilakukan dengan *Chauvin Arnoux PEL 103* sebagai *power & energy logger*, sedangkan daya *output* generator diukur dengan Lutron DW 6093 sebagai digital *power meter*. Efisiensi sistem motor-generator dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan, yaitu

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

2.10 Pengukuran Temperatur Mesin dengan Infrared Thermography

Pengukuran temperatur pada mesin listrik dapat dilakukan melalui metode kontak maupun non-kontak. Metode kontak biasanya menggunakan sensor seperti termokopel atau RTD, sedangkan metode non-kontak memanfaatkan *infrared thermometer* atau kamera termal. Prinsip kerja pengukuran non-kontak adalah mendeteksi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh permukaan benda, kemudian mengonversinya menjadi nilai temperatur (Çengel & Ghajar, 2015).

Faktor penting dalam pengukuran temperatur inframerah adalah emisivitas (ϵ), yaitu kemampuan suatu permukaan untuk memancarkan radiasi dibandingkan dengan benda hitam ideal. Nilai emisivitas bervariasi dari 0 hingga 1, di mana permukaan non-logam atau berlapis cat/karet memiliki emisivitas tinggi sekitar 0.95, sedangkan permukaan logam mengkilap seperti baja poles hanya sekitar 0.30 (Kaplan, 2007). Untuk meningkatkan akurasi pada permukaan logam dengan emisivitas rendah, biasanya digunakan cat hitam atau tape hitam sebagai lapisan tambahan.

Dalam penelitian ini digunakan FLIR TG-165, yaitu kamera termal genggam yang mengombinasikan citra inframerah dengan pengukuran titik temperatur. Alat ini diterapkan untuk memantau temperatur pada titik kritis mesin motor-generator, meliputi bearing sisi *Drive End (DE)* dan *Non-Drive End (NDE)* motor, *coupling*, serta housing generator. Nilai emisivitas disesuaikan dengan material permukaan yang diukur, yaitu 0.95 untuk permukaan non-logam atau berlapis cat/karet, dan 0.30 untuk permukaan logam mengkilap. Dengan pengaturan tersebut, hasil pengukuran temperatur dapat lebih merepresentasikan kondisi aktual mesin (FLIR Systems, 2015).

2.11 Simulasi Static Struktural

Simulasi *Static Struktural* adalah suatu metode analisis berbasis *Finite Element Method* (FEM) yang digunakan untuk mengetahui respon mekanik komponen akibat beban statis atau konstan. Analisis ini umumnya menghasilkan distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan (*factor of safety*). Dengan pendekatan FEM, komponen kompleks dapat dianalisis lebih detail dibandingkan perhitungan manual sederhana (Prakash et al., 2025).

Metode Elemen Hingga (FEM) bekerja dengan membagi struktur menjadi elemen kecil (*meshing*) yang saling terhubung di titik simpul (*node*). Setiap elemen memiliki fungsi bentuk (*shape function*) untuk menghitung regangan dan tegangan.

SolidWorks memiliki modul *Simulation* yang mendukung analisis statik linear untuk berbagai komponen mesin. Pada analisis poros, *SolidWorks* dapat menghitung distribusi tegangan akibat torsi maupun gaya tangensial, serta memprediksi deformasi puntir. Penelitian pada poros reel baja menggunakan *SolidWorks* menunjukkan bahwa hasil simulasi *Von Mises stress* dan defleksi sesuai dengan perhitungan manual, sehingga valid untuk digunakan dalam evaluasi desain (Pravin et al., 2018).

1. Pre-processing

Tahap awal simulasi dimulai dengan *pre-processing*, yaitu pembuatan model CAD komponen (misalnya poros atau kopling) di *SolidWorks* dan pendefinisian properti material. Material didefinisikan berdasarkan data modulus elastisitas, rasio Poisson, densitas, dan tegangan luluh. Selain itu, model kemudian didiskretisasi ke dalam elemen-elemen kecil melalui proses *meshing* untuk mempermudah analisis numerik. Penelitian oleh Prakash et al. (2025) menunjukkan bahwa pemodelan

CAD yang tepat serta meshing yang baik sangat berpengaruh pada akurasi distribusi tegangan *Von Mises* yang dihasilkan dalam analisis kopling flange kaku.

2. *Boundary Condition*

Setelah model dibuat, kondisi batas (*boundary condition*) perlu ditentukan agar simulasi mendekati kondisi nyata di lapangan. Pada umumnya, salah satu ujung poros atau hub didefinisikan sebagai *fixed support* untuk menahan gerakan, sementara bagian lain menerima beban berupa torsi atau gaya tangensial. Penetapan kondisi batas ini krusial karena jika tidak sesuai, hasil simulasi dapat menyimpang jauh dari kondisi riil. Vijay et al. (2021) dalam studinya tentang poros engkol membuktikan bahwa kondisi batas yang akurat sangat menentukan dalam memprediksi tegangan maksimum pada titik kritis.

3. *Loading*

Tahap berikutnya adalah memasukkan beban yang bekerja pada komponen. Pada analisis poros motor–generator, beban umumnya berupa torsi yang dihitung dari daya dan putaran motor dengan persamaan.

Torsi ini dapat dikonversi menjadi gaya tangensial ekuivalen pada diameter kopling. Zheng et al. (2016) dalam penelitiannya pada mesin CNC lima sumbu menggunakan gaya pemesian sebagai input beban untuk mengevaluasi deformasi poros secara realistis dengan SolidWorks Simulation.

4. *Solving*

Setelah semua parameter dimasukkan, perangkat lunak FEM menyelesaikan sistem persamaan kesetimbangan global. Proses ini dilakukan secara otomatis oleh *solver* di SolidWorks Simulation. Tee (2021) menjelaskan bahwa penyusunan dan penyelesaian matriks kekakuan global merupakan inti dari FEM yang

memungkinkan analisis distribusi tegangan dan deformasi lebih akurat dibanding metode manual.

5. Post-processing

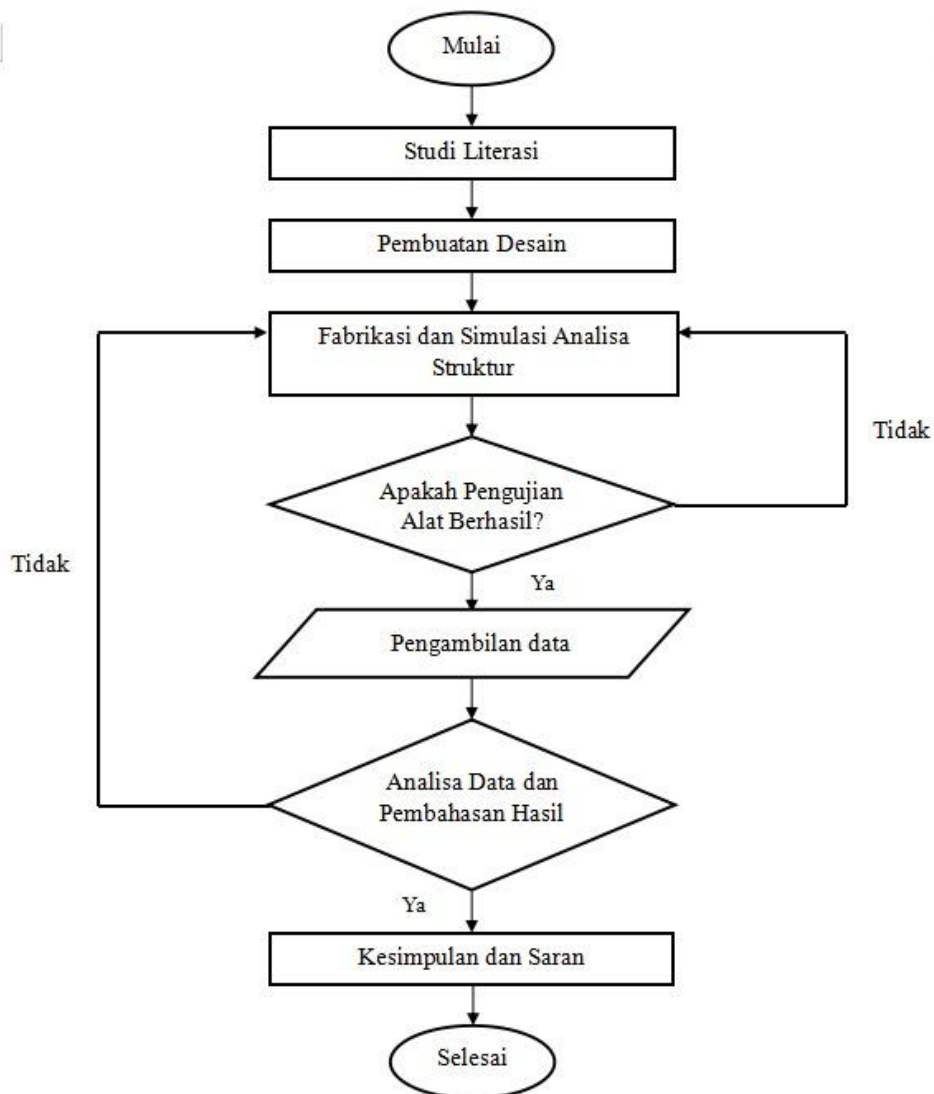
Tahap terakhir adalah *post-processing*, yaitu interpretasi hasil simulasi berupa visualisasi kontur tegangan Von Mises, deformasi total, regangan, serta faktor keamanan (*factor of safety*). Informasi ini digunakan untuk mengevaluasi apakah desain poros maupun kopling masih berada dalam batas aman material. Pravin et al. (2018) menunjukkan bahwa hasil simulasi pada poros reel baja dapat divalidasi dengan perhitungan manual, di mana Von Mises stress dan deformasi masih di bawah batas luluh material sehingga desain dinyatakan aman.

BAB III

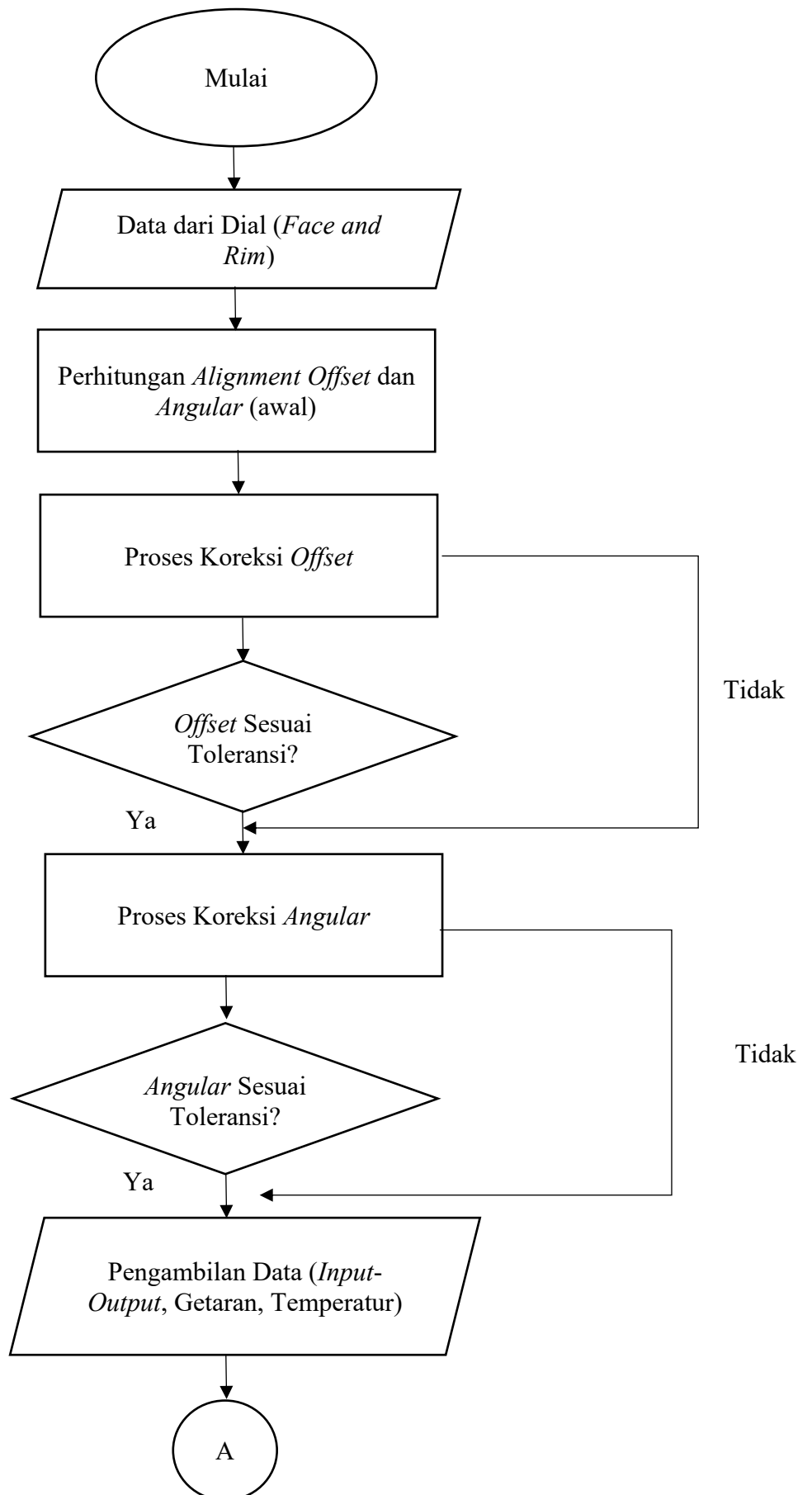
METODOLOGI

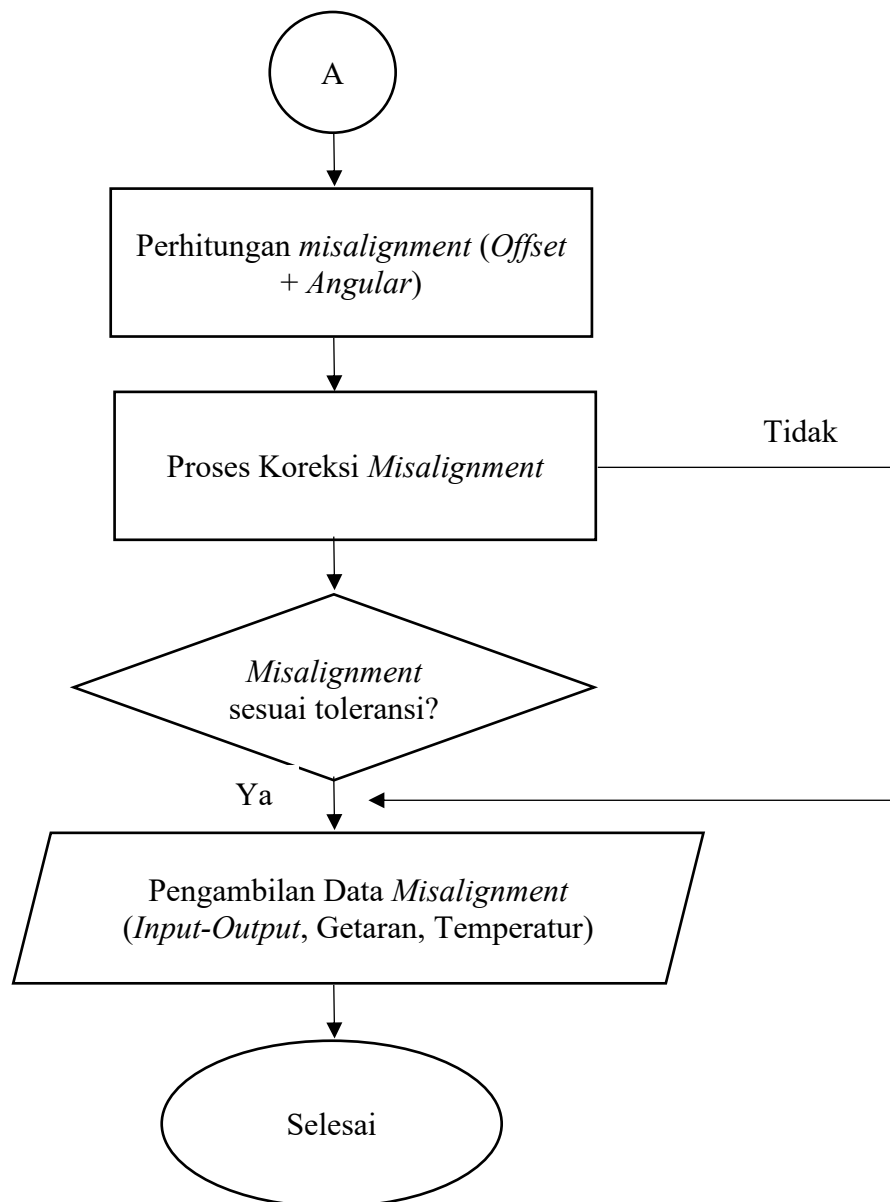
3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir suatu tahapan menggambarkan dalam suatu proses, terkait dengan pembuatan alat yang digunakan untuk melakukan proses *alignment* pada *shaft* dengan metode *face and rim*. Perencanaan pembuatan alat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram alir *alignment*





Gambar 3. 2 Diagram alir kombinasi (*Offset* dan *Angular*)

Diagram ini menunjukkan alur proses yang sistematis dalam pengembangan alat atau sistem, dimulai dari kajian literatur hingga analisis hasil pengujian. Berikut adalah penjelasan dari setiap tahapan dalam diagram alir:

1. Studi Literasi

Pada tahap ini dilakukan penelitian terhadap referensi yang relevan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai konsep yang akan digunakan.

2. Pembuatan Desain

Berdasarkan hasil studi literasi, dibuatlah *desain* awal dari konsep yang akan dikembangkan.

3. Evaluasi Kriteria Desain

Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap desain yang telah dibuat untuk memastikan bahwa desain memenuhi kriteria yang telah ditentukan.

- a. Jika desain memenuhi kriteria, proses berlanjut ke tahap berikutnya.
- b. Jika tidak memenuhi kriteria, perlu dilakukan revisi dan kembali ke tahap pembuatan desain.

4. Pembuatan Alat

Setelah desain dikonfirmasi sesuai kriteria, dilakukan proses pembuatan alat berdasarkan desain yang telah disusun.

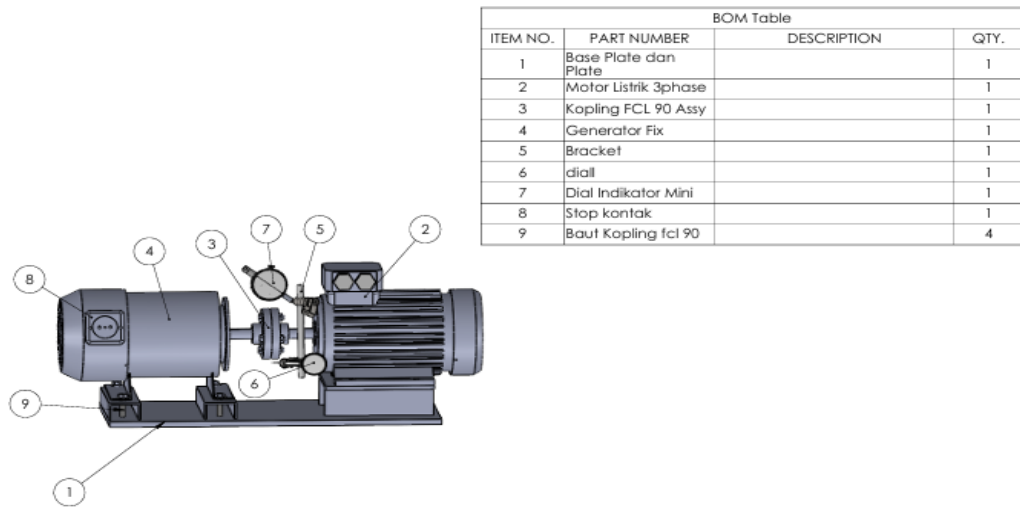
5. Pengujian *Alignment*

Alat yang telah dibuat diuji untuk memastikan bahwa kinerjanya sesuai dengan yang diharapkan.

6. Analisa dan Pembahasan

Data hasil pengujian dianalisis dan dibahas untuk mendapatkan kesimpulan mengenai keefektifan alat serta kesesuaian dengan tujuan.

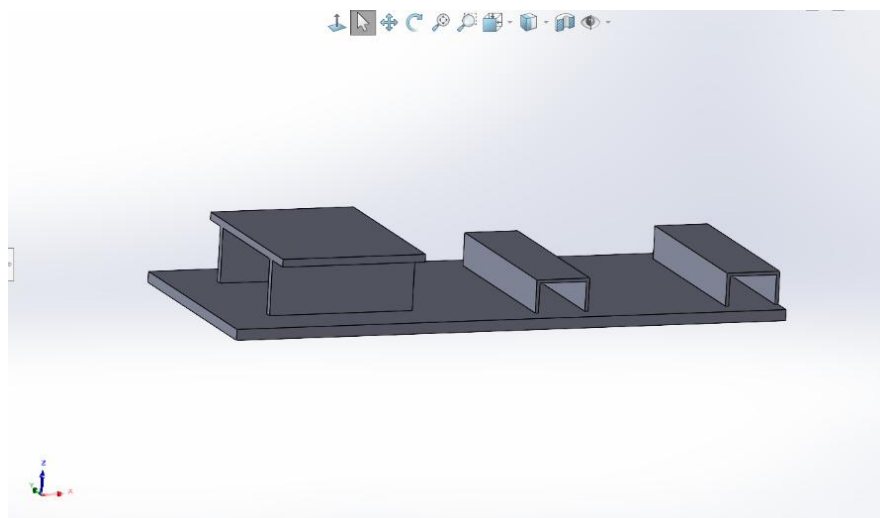
3.2 Perancangan Desain Simulator Shaft Alignment



Gambar 3. 3 Desain simulator shaft alignment

Pembuatan simulator membutuhkan beberapa bagian yaitu meliputi *baseplate*, Motor listrik, Generator, *Coupling Fcl 90*, Dial Indicator dan *bracket dial*. Proses pembuatan diawali dengan perancangan menggunakan media *solidworks*. Simulator dibuat dengan dasar perancangan yang telah diperhitungkan sebelumnya, di media *solidworks* adalah dimensi hasil akhir.

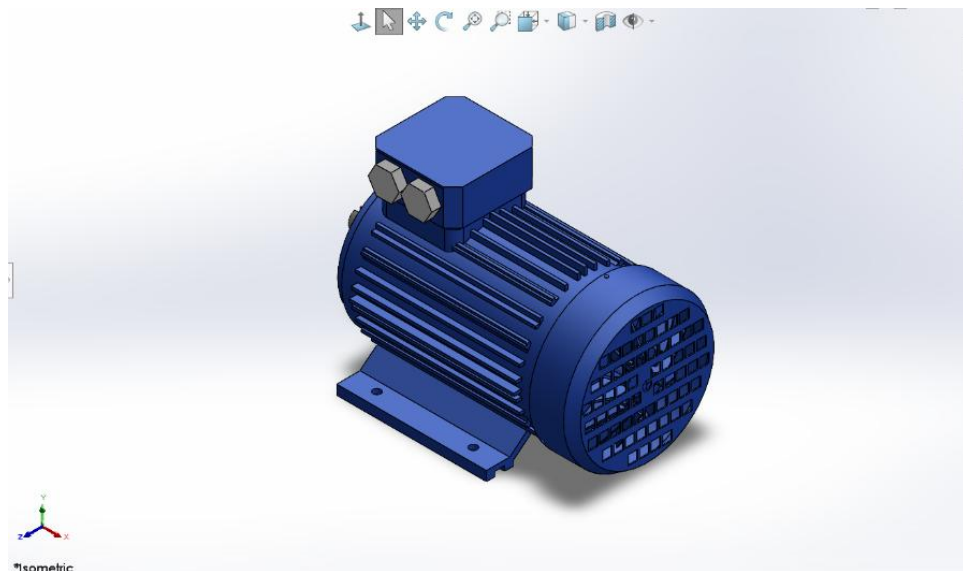
1. *Baseplate* dan Dudukan Plat



Gambar 3. 4 *Base plate*

Baseplate pada gambar merupakan dudukan mesin yang terbuat dari plat baja karbon rendah (Mild Steel) ST 37. Material ini mudah dilas, dibentuk, serta ekonomis sehingga umum digunakan untuk konstruksi dasar mesin. Desain baseplate dilengkapi dengan stiffener atau profil penguat untuk meningkatkan kekakuan, mencegah deformasi, serta menyalurkan beban statis maupun dinamis dari motor atau generator ke fondasi. Agar tahan lama, baseplate perlu diberi perlakuan akhir berupa cat pelindung terhadap korosi.

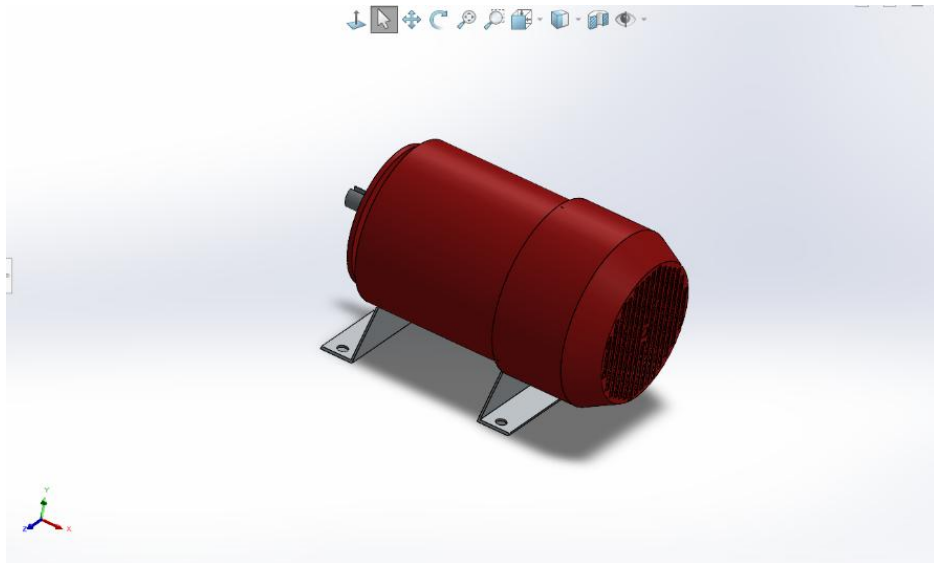
2. Motor Listrik



Gambar 3. 5 Motor listrik

Motor listrik dengan frame size 80M adalah motor induksi standar IEC dengan tinggi sumbu poros 80 mm dan diameter poros 19 mm. Motor ini biasanya memiliki daya sekitar 0,75–1,5 kW dengan kecepatan putar 2850 rpm (2 pole, 50 Hz). Desainnya menggunakan foot mounting (IM B3) dengan terminal box di atas, dilengkapi sirip pendingin dan kipas untuk menjaga suhu kerja. Motor tipe ini umum digunakan pada pompa, kipas, kompresor, dan generator kecil karena kokoh, kompak, serta mudah dipasang.

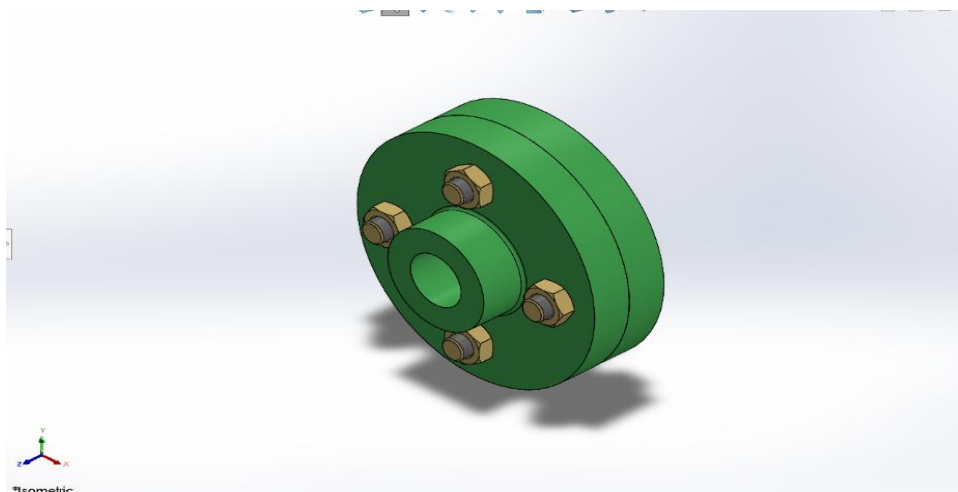
3. Generator



Gambar 3. 6 Generator forza gasolin BG 2200 L

Generator Forza Gasoline BG 2200 L adalah generator bensin portabel dengan daya keluaran sekitar 1,1 kW dan tegangan 220 V, 50 Hz. Desainnya ringkas dengan dudukan kaki dan pendinginan udara melalui kipas. Generator ini mudah digunakan, cocok sebagai sumber listrik cadangan maupun untuk simulasi sistem motor dan generator skala kecil.

4. Coupling Fcl 90



Gambar 3. 7 Coupling fcl 90

Coupling FCL 90 adalah kopling fleksibel tipe flange dengan diameter 89 mm yang digunakan untuk menghubungkan poros motor dan generator. Kopling ini dilengkapi elemen karet peredam dan baut pengikat, berfungsi mentransmisikan daya sekaligus meredam getaran serta mengompensasi sedikit misalignment radial, aksial.

3.3 Dasar Perancangan dan Perhitungan Konstruksi

Dalam perancangan suatu sistem mekanik, diperlukan dasar perhitungan yang sistematis agar komponen yang digunakan mampu menahan beban kerja dengan aman dan efisien. Perhitungan ini meliputi analisis torsi dari motor listrik serta generator, penentuan dimensi poros (shaft) berdasarkan kekuatan material, dan kapasitas kopling yang digunakan sebagai penghubung antar poros. Prinsip perancangan yang baik harus memperhatikan faktor keamanan, sifat material, serta kondisi operasional, sehingga konstruksi simulator shaft alignment yang dirancang dapat berfungsi sesuai tujuan tanpa mengalami kegagalan dini (Budynas & Nisbett, 2015). Oleh karena itu, pada subbab ini akan dibahas tahapan dasar perancangan dan perhitungan konstruksi yang meliputi perhitungan daya, torsi, dimensi poros, dan kapasitas kopling.

3.3.1 Perhitungan Torsi Motor Listrik

- Torsi Motor Listrik

$$\begin{aligned} T &= \frac{9550 P (kW)}{n (rpm)} \\ &= \frac{9550 \times 1,1}{2850} = 3,69 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Dimana;

T = torsi (Nm)

P = daya motor (kw)

n = putaran motor (rpm)

3.3.2 Perhitungan Torsi Generator

Tujuan mendapatkan torsi pada poros generator dari hasil ukur listrik keluaran generator, lalu menurunkannya menjadi daya poros masuk generator (sekaligus sebagai verifikasi dengan torsi motor).

- Torsi Generator

$$T = \frac{9550 P (kW)}{n (rpm)}$$
$$= \frac{9550 \times 1}{2850} = 3,3 \text{ Nm}$$

Dimana;

T = torsi (Nm)

P = daya motor (kW)

n = putaran motor (rpm)

3.3.3 Perhitungan *Shaft* (Poros)

Diameter poros generator dimodifikasi menjadi 19 mm agar sesuai dengan poros motor listrik yang juga berdiameter 19 mm. Penyesuaian ini dilakukan untuk memastikan kesesuaian sambungan pada kopling FCL 90, sehingga dapat meminimalkan risiko misalignment. Pemilihan ukuran ini sesuai dengan standar IEC 60072 untuk motor listrik frame size 80, di mana diameter poros ditetapkan

sebesar 19 mm, serta didukung literatur perancangan poros (Shigley, 2015; Khurmi & Gupta, 2005) yang menyebutkan bahwa poros dengan daya ± 1 kW umumnya menggunakan diameter 18–22 mm.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot FS \cdot T}{\pi \cdot S}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3 \cdot 3690}{\pi \cdot 185}}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{354,720}{580,9}} = \sqrt[3]{610,4}$$

$$d \approx 8,5 \text{ mm}$$

Dimana;

d = diameter poros minimum (mm)

FS = faktor keamanan (*safety factor*)

T = torsi yang ditransmisikan (N-mm)

π = konstanta pi (3,1416)

S = kekuatan geser bahan poros (N/mm² atau MPa)

Hasil perhitungan menghasilkan diameter minimum $\approx 8,5$ mm. Tapi secara praktik dibulatkan ke standar pabrikan IEC frame 80 = 19 mm.

Secara teori, diameter poros minimum yang dibutuhkan hanya sekitar 8–10 mm. Namun, dalam praktik, ukuran poros ditentukan tidak hanya oleh kekuatan, tetapi juga oleh standar internasional IEC 60072 untuk motor listrik frame size 80, yang menetapkan diameter poros sebesar 19 mm. Selain itu, kopling FCL-90 yang digunakan memiliki bore standar 19 mm, sehingga pemilihan diameter poros 19

mm selain memenuhi standar juga memastikan kesesuaian dengan komponen kopling. Dengan demikian, penggunaan poros 19 mm adalah hasil dari pertimbangan teknis, standar, serta kompatibilitas transmisi daya.

3.3.4 Perhitungan Kopling FCL 90

Pada pembuatan alat simulasi ini digunakan kopling fleksibel, yaitu sebuah kopling yang menghubungkan poros pada motor listrik dan poros berputar yang dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai fleksibilitas untuk mengompensasi gerak radial dan aksial meskipun terbatas, atau misalignment dari poros ke poros yang dihubungkan. Kopling yang digunakan merupakan jenis kopling fleksibel FCL, dengan keuntungan tidak memerlukan pelumasan sehingga biaya pemeliharaan sangat rendah. Pemilihan ukuran kopling didasarkan pada besar torsi yang harus ditransmisikan dari motor ke generator. Dengan daya motor 1,1 kW dan putaran 2850 rpm, torsi nominal motor listrik 3,69 Nm dan generator sebesar 3,3 Nm.

Nilai torsi tersebut masih jauh lebih kecil dibandingkan kapasitas torsi maksimum kopling FCL-90 (sekitar 40 N·m, sesuai katalog pabrikan), sehingga pemilihan kopling tipe FCL-90 dinilai aman dan sesuai secara teknis. Kopling FCL-90 juga memiliki batas runout sebesar 0,14 mm, yang masih memenuhi syarat penggunaan pada simulasi shaft alignment ini.

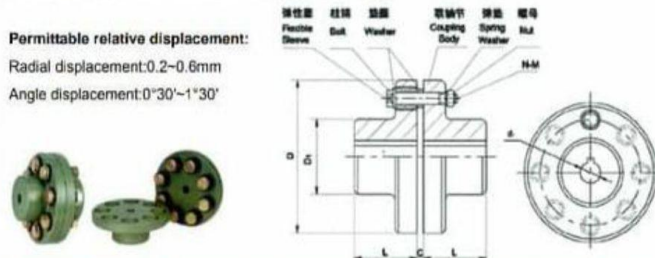
FCL Couplings

FCL Flexible Couplings is widely used, owing to its advantages: compact designing, easy installation, convenient maintenance, small size and light weight. As long as the relative displacement between shafts is kept within the specified tolerance, B couplings will operate the best function and have a longer working life. Thus it is greatly demanded in medium and minor power transmission systems driven by motors, such as speed reducers, hoists, compressors, conveyers, spinning and weaving machines and ball mills.

Permittable relative displacement:

Radial displacement: 0.2~0.6mm

Angle displacement: 0°30'~1°30'



Type	Max torque N.m	Max speed r/min	D	D ₁	d ₁	L	C	n-M	Weight kg
FCL90	4	4000	90	35.5	11	28	3	4-M8×50	1.7
FCL100	10	4000	100	40	11	35.5	3	4-M10×56	2.3
FCL112	16	4000	112	45	13	40	3	4-M10×56	2.8
FCL125	25	4000	125	50	13	45	3	4-M12×64	4.0
FCL140	50	4000	140	63	13	50	3	6-M12×64	5.4
FCL160	110	4000	160	80	15	56	3	8-M12×64	8.0
FCL180	157	3500	180	90	15	63	3	8-M12×64	10.5
FCL200	245	3200	200	100	21	71	4	8-M20×85	16.2
FCL224	392	2850	224	112	21	80	4	8-M20×85	21.3
FCL220	618	2550	250	125	25	90	4	8-M24×110	31.6
FCL280	980	2300	280	140	34	100	4	8-M24×116	44.0
FCL315	1588	2050	315	160	41	112	4	10-M24×116	57.7
FCL355	2450	1800	355	180	60	125	5	8-M30×50	89.5
FCL400	3920	1600	400	200	60	125	5	10-M30×150	113
FCL450	6174	1400	450	224	65	140	5	12-M30×150	145
FCL560	9800	1150	560	250	85	160	5	14-M30×150	229
FCL630	15880	1000	630	280	95	180	5	18-M30×150	296

Gambar 3. 8 Spesifikasi kopling

(Sumber : https://www.cahaya-globalteknik.com/fcl-coupling/?srsId=AfmBOooVXrVbc2WvoJFu0seJQJTMZpgV9wkmkKPWPqDyz0qM_kTzcVur)

3.4 Bahan dan Alat

A. Bahan

1. Plat Besi *Mild Steel* (MS) ST 37

Besi ini memiliki kandungan karbon kurang dari 0,3 %. Baja ini sering dipakai juga untuk kontruksi-kontruksi mesin yang saling bergesekan seperti roda gigi, poros, dll karna sangat ulet. Namun kekerasan permukaan dari baja tersebut

tergolong rendah sehingga sebelum digunakan untuk konstruksi-konstruksi yang disebutkan di atas, maka perlu dimodifikasi atau memperbaiki sifat kekerasan pada permukaan. Baja ST 37 ini tidak dapat dikeraskan secara konvensional tetapi melalui penambahan karbon dengan proses carburizing.



Gambar 3. 9 Plat besi mild steel ST 30

(Sumber: https://indonesian.metalsteelpipe.com/buy/st37_carbon_steel_plates.html)

2. Motor Listrik

Motor listrik tiga fasa banyak digunakan oleh dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan. Penggunaan motor induksi dipilih karena mempunyai sifat mudah dioperasikan dan tidak menimbulkan polusi suara dibanding dengan penggunaan tenaga motor diesel atau motor bakar. Motor induksi digunakan untuk menggerakkan penggerak pengangkatan beban (Surya Hadi Prawira, 2022).

Tabel 3. 1 Spesifikasi motor listrik 3 phase

No	Parameter	Keterangan
1	Daya	1.5 HP/1.1 kW
2	Putaran	2840 RPM
3	Arus	2.61 A
4	Frame	80
5	Kelas Isolasi	F (High Class)
6	Tegangan	380 V (3 phase)
7	Frekuensi	50/60 Hz
8	Diameter As	19 mm
9	Lilitan	100% Tembaga Murni
10	Metode Instalasi	B3 (Foot Mounting)
11	Spesifications	IP55, Insulation class F, Temperatur Rise Class F
12	Material Bodi	Alumunium Cast
13	Berat	11 kg



Gambar 3. 10 Motor Listrik 3 *phase*

(Sumber : <https://id.shp.ee/7ZQD3Bz>)

3. Generator

Generator DC merupakan mesin DC yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik (Muddin Martua, David Setiawan, Hazra Yuvendius, 2021).

Tabel 3. 2 Spesifikasi generator DC

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Merek	Forza Gasolin Generator
2	Tipe	BG 2200 L
3	Rated Frequency	50 Hz
4	Speed	3000 Rpm
5	Rated Voltage	220 V
6	Rated Output	1 kW
7	Max Output	1.1 kW



Gambar 3. 11 Generator DC

(Sumber : Dokumen Pribadi)

4. Coupling FCL 90

Pada pembuatan alat simulasi ini digunakan kopling fleksibel, yaitu sebuah kopling yang menghubungkan poros pada motor listrik dan poros berputar yang dirancang sedemikian rupa sehingga mempunyai fleksibilitas yang mampu memberikan kompensasi pada masalah gerak radial dan aksial meski sangat terbatas, atau misalignment dari poros ke poros yang dihubungkan. Kopling yang digunakan merupakan jenis kopling fleksibel FCL. Keuntungan dari kopling ini yaitu tidak perlu pelumasan sehingga ongkos pemeliharaan sangat murah.

Pemilihan ukuran kopling berdasarkan besar diameter shaft yang digunakan. Ukuran kopling FCL yang kami gunakan harus disesuaikan ukuran diameter shaft yang digunakan yaitu 20 mm dan yang kami pilih untuk digunakan yaitu ukuran FCL 90 untuk dapat mengakomodasi dimensi shaft yang ada.



Gambar 3. 12 *Flexible coupling*

(Sumber : <https://id.shp.ee/u6XStcg>)

Kopling FCL 90 memiliki batas runout sebesar 0.14 mm.

Pitch Circle Diameter	Pitch Circle Diameter dan Pitch Allowance	Pitch Circle Diameter Toleransi Lepas
60/67/75	$\pm 0,16$	0,12
85/100/115/132/145	$\pm 0,20$	0,14
170/180/200/236	$\pm 0,26$	0,18
260/300/355/450/530	$\pm 0,32$	0,22
580/600/670	$\pm 0,40$	0,28

Gambar 3. 13 Batas toleransi *runout* (satuan : mm)

(Sumber: https://www.nbk1560.com/en/products/coupling/powertransmission/FCL/FCL-90/?srsltid=AfmBOoputKyyZjBUENnz1KPI60r8BzKBEqMK8sbGuEt0tK6qdCmhx7t&utm_)

Kopling jenis FCL-90 berdasarkan standart NBK America LCC memiliki toleransi offset sebesar 0,1 mm dan toleransi angular dengan sudut $1/6^\circ$ atau 0.166° .

Part Number	Max. Bore Diameter ^{*1} (mm)		Maximum Torque (N · m)	Max. Rotatinal Frequency (min ⁻¹)	Moment of Inertia ^{*2} (kg · m ²)	Max. Lateral Misalignment (mm)	Max. Angular Misalignment (°)	Max. End-Play (mm)	Mass ^{*3} (kg)
	D ₁	D ₂							
FCL-90	20	20	15	4000	1.4×10^{-3}	0.1	1/6	±2.1	1.55

Gambar 3. 14 Toleransi *coupling*

(Sumber: https://www.nbk1560.com/en/products/coupling/powertransmission/FCL/FCL-90/?srsltid=AfmBOoputKyyZjBUENnz1KPI60r8BzKBEqMK8sbGuEt0tK6qdCmhx7t&utm_)

Tabel 3. 3 Spesifikasi *flexible coupling* 90 (FCL Coupling)

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Model Number	FCL 90
2	Maximum Torque (Nm)	4
3	Maximum Speed (Rpm)	4000
4	Dimension D1 (mm)	19
5	Dimension D2 (mm)	36
6	Dimension L (mm)	28
7	Dimension C (mm)	1
8	Dimension D (mm)	89
9	n-M Size	4-M8x50
10	Berat (Kg)	1.7

5. Kabel Listrik Eterna NYM 2X25

Kabel listrik Eterna NYM 2×2,5 mm² merupakan jenis kabel berinti tembaga dengan isolasi PVC dan selubung luar tambahan yang dirancang untuk instalasi bangunan, baik pada ruangan kering maupun lembap (Wijaya Elektrik, 2023; Sinar Monas, 2023). Kabel ini terdiri dari dua inti konduktor dengan luas penampang masing-masing 2,5 mm², sehingga umum digunakan untuk stop kontak maupun instalasi pencahayaan rumah tangga (LKPP, 2023; STP, 2023). Spesifikasi teknisnya mencakup tegangan nominal sebesar 300/500 V dengan suhu operasional maksimum +70 °C serta batas suhu pemasangan hingga −30 °C sampai −40 °C, bergantung pada produsen (Wilson Cables, 2023; ZW Cable, 2023). Dari sisi standar, kabel NYM telah memenuhi ketentuan internasional seperti IEC 60228 terkait ukuran penampang konduktor serta standar mutu nasional melalui sertifikasi SNI, sehingga dapat dipastikan aman dan sesuai untuk kebutuhan instalasi listrik rumah tangga maupun komersial (Wikipedia, 2023; Helukabel, 2023).



Gambar 3. 15 Kabel listrik eterna NYM 2×2,5 mm²

(Sumber : <https://www.lazada.co.id/products/kabel-listrik-eterna-nym-2x25-putih-per-meter-i8144890805.html>)

6. Stop Kontak 220V

Perangkat listrik cerdas yang selain berfungsi sebagai titik sambungan listrik standar, juga dapat memonitor kondisi penggunaan listrik secara *real time* dan memberikan proteksi otomatis. Stop kontak 220 V dirancang untuk menangani arus listrik dengan kapasitas tertentu, biasanya antara 10 hingga 16 ampere, tergantung pada spesifikasi dan standar yang berlaku.



Gambar 3. 16 Stop kontak 220

(Sumber: <https://sl.bing.net/cMK0fhVEhci>)



Gambar 3. 17 Stop kontak 220

(Sumber: <https://wijayaelektrik.com/saklar-stop-kontak/27-stop-kontak-3-lubang-uticon.html>)

7. Terminal Block 100 A

Kotak sambungan listrik yang dirancang untuk menampung dan menghubungkan kabel-kabel listrik dengan kapasitas arus hingga 100 ampere (A). Perangkat ini digunakan dalam instalasi listrik untuk menghubungkan berbagai sirkuit atau peralatan ke sumber daya utama, baik dalam system distribusi listrik tiga fasa maupun satu fasa.



Gambar 3. 18 Terminal blok 100 A

(Sumber: <https://www.amazon.com/uxcell-Positions-Barrier-Block-Terminal/dp/B07DLZ361K>)

B. Alat

1. Dial Indikator

Dial indicator (*dial gauge*) adalah alat ukur komparator yang digunakan untuk membandingkan dimensi benda kerja terhadap master dengan ketelitian tinggi (0,01–0,05 mm). Alat ini terdiri dari badan dengan dial bergradasi, jarum penunjuk, serta titik kontak yang terhubung ke sistem roda gigi. Penggunaan dial *indicator* dilakukan dengan menempatkan titik kontak pada master, mengatur nol, lalu mengukur benda kerja sehingga perbedaan dimensi dapat dibaca langsung. *Dial indicator* banyak dipakai di laboratorium metrologi untuk memeriksa kebulatan, kelurusan, atau deviasi, serta sebagai bagian dari *bore gauge* dan *depth gauge*. Titik kontaknya dapat diganti sesuai kebutuhan, tersedia dalam berbagai material keras, dan bentuknya bervariasi. Alat ini memiliki dua jenis skala, yaitu *dial* kontinu untuk toleransi *unilateral* dan dial seimbang untuk toleransi *bilateral*. (N.V. RAGHAVENDRA & L. KRISHNAMURTHY, 2013)



Gambar 3. 19 Dial Indikator

(Sumber : <https://www.monotaro.id/s029794225.html>)

2. Feeler Gauge

Feeler gauge adalah alat ukur berupa bilah-bilah baja tipis dengan ketebalan berbeda, digabungkan pada satu ujung dan dapat digerakkan pada sumbunya.

Panjang bilah umumnya 10–12,5 cm dengan ketebalan 0,0015–0,025 inci. Beberapa bilah bisa digunakan sekaligus untuk memperoleh ukuran celah yang tepat. Penggunaan harus hati-hati: bilah jangan ditekan saat dimasukkan, sebaiknya ditarik, serta bilah tipis dikembalikan bersama bilah lain agar tidak rusak. (Arkareserch, 2021)



Gambar 3. 20 *Feeler gauge*

(Sumber : <https://www.ubuy.co.id/id/product/2PURR7IW-stainless-steel-feeler-gauge-dual-marked-metric-and-imperial-gap-measuring-tool-0-0015-0-04-0-025-0-?srsltid=AfmBOooFlod-CHts6Yx45I49rMIqJpe3s0TRVHxnVuAB-XJaaKZAXr1I>)

3. Penggaris

Penggaris adalah alat ukur linear yang kaku dengan tepi lurus bergraduasi untuk membaca panjang/ jarak. Dalam 22 metrologi penggaris dianggap sebagai referensi garis lurus (*straight edge*) yang sederhana dan dipakai untuk pengukuran dimensi *linear* serta sebagai alat pembanding/*straight reference* dalam inspeksi dan *alignment*. penggaris ditempatkan melintang pada *flange* atau permukaan *coupling*. (N.V. RAGHAVENDRA & L. KRISHNAMURTHY, 2013)\

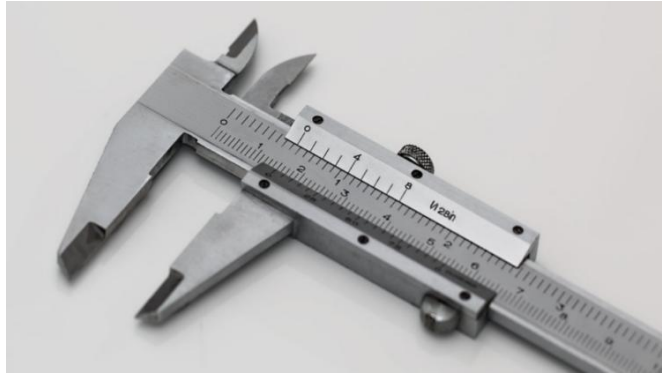


Gambar 3. 21 Penggaris

(Sumber : https://www.tokopedia.com/levitaams/penggaris-besi-penggaris-3-cm-penggarispanjang?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=dp)

4. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur presisi yang memiliki dua bagian utama, yaitu skala utama dan skala *vernier*. Skala utama terukir pada rangka berbentuk L yang kokoh, berfungsi juga sebagai rahang tetap (*fixed jaw*). Skala ini diberi gradasi dalam *milimeter* dengan ketelitian 1 mm. Skala *vernier* terdapat pada rahang geser (*movable jaw*) yang dapat bergerak sepanjang skala utama. Skala ini bisa berupa *vernier* maju (*forward vernier*) atau *vernier* mundur (*backward vernier*). Untuk melakukan pengukuran, buka kedua rahang, menempatkan alat pada benda kerja, lalu menggeser rahang geser hingga menutup rapat. Posisi rahang dapat dikunci dengan sekrup pengunci (*clamping screw*) agar tidak bergeser saat pembacaan. Selain itu, tersedia sekrup penyetel halus (*fine adjustment screw*) untuk mengatur tekanan penjepitan sehingga hasil lebih akurat. (N.V. RAGHAVENDRA & L. KRISHNAMURTHY, 2013)



Gambar 3. 22 Jangka sorong

(Sumber: https://www.tokopedia.com/blog/how-cara-menggunakan-jangka-sorong/?utm_source=google&utm_medium=organic)

5. Lutron DW-6093

Lutron DW-6093 adalah alat analisis daya tiga fasa dengan fitur perekaman data *real-time* berbasis *SD card*. Alat ini berfungsi untuk mengukur, menghitung, dan menyimpan parameter kelistrikan penting seperti tegangan, arus, daya aktif/reaktif, energi, faktor daya, hingga sudut fasa. Dengan kemampuan *logging* otomatis ke *SD card*, pengguna dapat melakukan pemantauan jangka panjang dan analisis kualitas daya secara praktis dan efisien. Lutron DW-6093 (ADM, 2021)



Gambar 3. 23 Lutron DW-6093

(Sumber : <https://darmasaktigroup.com/p/lutron-dw-6093-3-phase-power-analyzer>)

6. Chauvin Arnoux PEL103

Chauvin Arnoux PEL 103 adalah *Power & Energy Logger* yang dirancang untuk memantau dan merekam parameter listrik dalam instalasi listrik. PEL 103 dapat mengukur berbagai parameter seperti tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, energi, faktor daya, harmonisa, dan *frekuensi*. Alat ini dilengkapi dengan sensor arus dan *input* tegangan, serta menyediakan fungsi komunikasi melalui USB, *Bluetooth*, dan *Ethernet*. PEL 103 cocok digunakan untuk pemantauan konsumsi energi secara *real-time* maupun analisis historis dalam berbagai aplikasi. (Chauvinarnoux, 2008)



Gambar 3. 24 Chauvin arnoux PEL103

(Sumber : <https://chauvin-arnoux.africa/product/chauvin-arnoux-pel103-power-and-energy-logger-promo-kit/>)

7. SKF Vibration Meter

SKF *Machine Condition* Advisor CMAS 100-SL adalah alat *portabel* yang dirancang untuk memantau kondisi mesin secara cepat dan akurat. Alat ini mengukur getaran dan suhu pada mesin berputar, memberikan indikasi awal mengenai kesehatan mesin atau kerusakan pada bantalan. Dengan desain ergonomis

dan antarmuka pengguna yang sederhana, CMAS 100-SL cocok digunakan oleh teknisi pemula maupun 23 berpengalaman untuk pemeliharaan prediktif dan inspeksi rutin. (SKF, 2010)



Gambar 3. 25 Skf vibration meter

(Sumber : https://www.kucari.com/product/skf-cmas100-sl-machine-condition-advisor/?srsId=AfmBOoqELDwXmzzTmfQPT5w_Scwu_bJyEmcbQJ8-tlQV1yoeVALn4ziH)

8. Obeng Tespen

Obeng Tespen atau *Test Pen* merupakan salah satu alat yang paling sering digunakan oleh para Teknisi Listrik dalam melakukan pekerjaannya. Bentuknya yang relatif kecil dan mirip seperti sebuah pena membuatnya sangat mudah untuk dibawa ke mana-mana. Ujung *Test Pen* yang berbentuk “Minus” dapat dijadikan sebagai obeng untuk melonggarkan atau mengetatkan sekrup (*screw*). Jadi *Test Pen* pada dasarnya adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui atau mengecek apakah sebuah penghantar listrik memiliki tegangan listrik atau tidak. Penghantar listrik yang dimaksud di sini dapat berupa kabel listrik, kawat listrik maupun stop kontak listrik. Scribd. (2018).



Gambar 3. 26 Obeng tespen

(Sumber : <https://sl.bing.net/hyeo3SDtMi>)

9. *Tachometer*

Tachometer adalah alat ukur genggam yang digunakan untuk mengukur kecepatan benda yang berputar seperti operasi mesin, dalam satuan RPM. Tachometer dirancang untuk mengukur kecepatan putaran poros atau piringan saat mesin sedang bergerak. Dari beberapa jenis tachometer, kami menggunakan jenis *non-contact type* tachometer yaitu *tachometer non kontak (laser photo tachometer)* yang digunakan untuk mengukur dari jarak jauh menggunakan berkas cahaya inframerah atau laser. Jenis *tachometer* ini lebih efisien, tahan lama, akurat dan ringkas. Cara kerjanya yaitu ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan di dalam *tachometer*. Jika komponen berputar dengan baik, tachometer akan menghitung berapa kali alat ini menerima sinyal pantul yang memberikan pembacaan dalam RPM.



Gambar 3. 27 Tachometer

(Sumber : Dokumen Pribadi)

10. FLIR TG165

FLIR TG165 adalah perangkat spot thermal camera atau alat pengukur suhu berbasis citra termal genggam yang dikembangkan oleh FLIR (sekarang bagian dari Teledyne). Dirancang untuk kebutuhan inspeksi, alat ini memungkinkan pengguna melihat distribusi suhu secara visual, bukan hanya membaca angka suhu di satu titik.



Gambar 3. 28 FLIR TG165

(Sumber : https://www.tokopedia.com/sumberhidup/flir-tg165-thermal-imaging-ir-thermometer-camera-imager-tg-165?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=pdp)

3.5 Proses Fabrikasi Alat Simulator Shaft Alignment Berbasis Misalignment dengan Metode Face and Rim

Proses pembuatan alat simulator shaft alignment berbasis misalignment dengan metode face and rim dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu persiapan, pembuatan komponen, dan perakitan sistem alat. Tahapan ini disusun agar alat yang dibuat sesuai dengan desain dan dapat berfungsi optimal saat dilakukan pengujian.

A. Persiapan

1. Menyiapkan desain gambar 3D pada alat simulator shaft alignment menggunakan perangkat lunak SolidWorks sebagai acuan utama pembuatan. Desain 3D ini mencakup rangka utama, dudukan motor dan generator, sistem kopling, serta dudukan dial indicator.
2. Menyiapkan gambar susunan dan detail teknis alat simulator, meliputi ukuran, toleransi, serta posisi setiap komponen untuk mempermudah tahap perakitan.
3. Menentukan urutan langkah kerja pembuatan komponen, dimulai dari rangka, dudukan mesin, sistem poros, hingga dudukan pengukuran face dan rim.
4. Menyiapkan bahan utama seperti plat baja ST 30 dan poros AISI 1045, serta alat kerja seperti mesin bubut, bor, las, dan gerinda.
5. Melakukan pemeriksaan awal terhadap bahan dan peralatan, memastikan semuanya dalam kondisi baik dan sesuai dengan kebutuhan desain.

B. Pembuatan Komponen

1. Membubut poros AISI 1045 sesuai dengan ukuran hasil perancangan dan membuat alur pasak (keyway) sebagai dudukan kopling fleksibel.
2. Membuat baseplate dan rangka utama dari plat baja ST 30 melalui proses pemotongan dan pengelasan dengan memperhatikan kekakuan struktur.

3. Membuatudukan motor dan generator dengan posisi lubang baut disesuaikan terhadap jarak kaki masing-masing mesin agar mudah dilakukan penyetelan alignment.
4. Membuat bracket dial indicator sebagaiudukan pengukuran metode face dan rim.
5. Melakukan finishing berupa penghalusan sambungan las dan pengecatan untuk mencegah korosi serta memperbaiki tampilan alat.

C. Perakitan

1. Merakit seluruh komponen utama menjadi satu sistem simulator, meliputi motor listrik tiga fasa, generator DC, dan poros yang dihubungkan menggunakan kopling fleksibel FCL 90.
2. Memasang motor dan generator padaudukan yang telah dibuat, kemudian menyetel kelurusan poros dengan shim agar poros sejajar sesuai desain.
3. Memasang alat ukur pendukung seperti dial indicator, vibration meter, wattmeter, tachometer, dan thermometer infrared pada titik yang telah ditentukan.
4. Melakukan pemeriksaan awal sistem, termasuk pengecekan kekencangan baut, kesejajaran kopling, serta sambungan kelistrikan.
5. Melakukan uji fungsi awal tanpa beban untuk memastikan sistem simulator dapat beroperasi dengan baik sesuai rancangan.

3.6 Simulasi *Static Structural* pada Poros

3.6.1 Pre-Processing

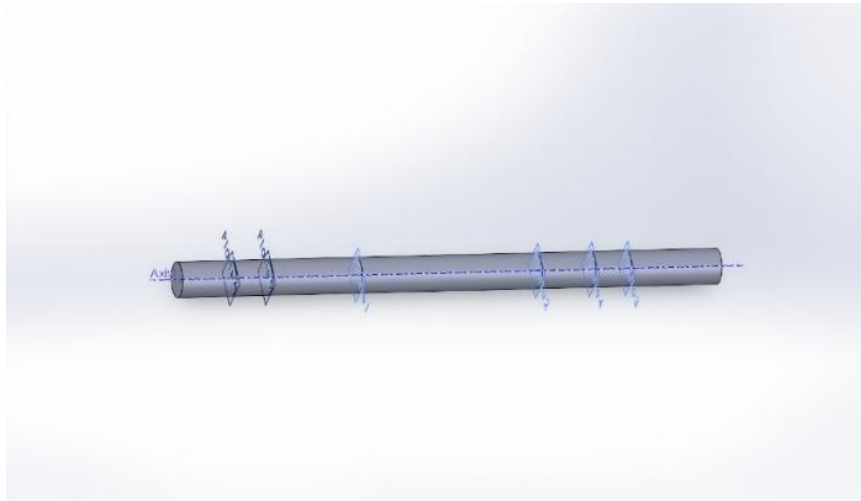
Pada simulasi *static structural* di *SolidWorks*, tahap *pre-processing* merupakan proses persiapan sebelum analisis dijalankan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi *static structural* terhadap poros menggunakan *SolidWorks Simulation* dengan kondisi beban berasal dari generator sebagai elemen penerima daya. Tahap *pre-processing* meliputi beberapa langkah penting, yaitu pembuatan model geometri, penentuan material, pembuatan mesh, serta penetapan *boundary condition* dan pembebanan.

Tahap *pre-processing* ini penting agar simulasi mampu merepresentasikan kondisi nyata, yaitu poros menerima beban puntir dari generator, sementara sisi yang terhubung ke motor dianggap sebagai tumpuan tetap. Dengan demikian, hasil simulasi berupa distribusi tegangan, displacement, dan faktor keamanan dapat dianalisis lebih akurat (Budynas & Nisbett, 2015; Moaveni, 2015).

1. Model Geometri .

Model geometri poros dibuat menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* berdasarkan hasil perhitungan dimensi pada tahap perancangan. Poros dirancang dengan diameter nominal 19 mm sesuai hasil analisis torsi dan faktor keamanan pada Bab III, serta panjang total yang disesuaikan dengan jarak antar kopling motor dan generator.

Model 3D yang dihasilkan kemudian digunakan sebagai basis analisis statik pada *SolidWorks Simulation*. Pembuatan model geometri ini bertujuan agar bentuk poros dalam simulasi mendekati kondisi nyata sehingga distribusi tegangan dan perpindahan yang terjadi dapat diprediksi lebih akurat (Budynas & Nisbett, 2015).



Gambar 3. 29 Deesain Geometri

2. Material Poros

Material poros yang digunakan pada simulator *shaft alignment* ini ditetapkan sebagai baja karbon menengah AISI 1045 (setara C45 / EN8). Material ini merupakan standar industri yang banyak dipakai sebagai poros motor listrik dan generator dengan frame size 80 (1,1 kW – 2,2 kW). Pemilihan AISI 1045 didasarkan pada kombinasi kekuatan tarik, ketangguhan, serta kemampuan mesin (*machinability*) yang baik. Selain itu, material ini mudah didapatkan di pasaran dengan harga yang relatif ekonomis.

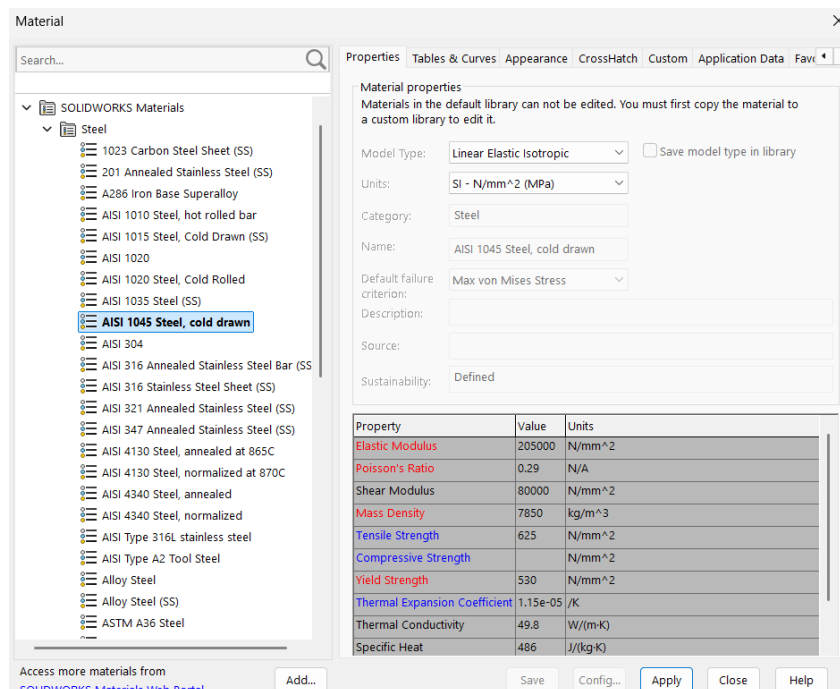
Data mekanik material yang dimasukkan ke dalam simulasi mencakup modulus elastisitas 210 GPa, tegangan luluh 310–370 MPa, rasio Poisson 0,30, dan densitas 7850 kg/m³.

AISI 1045 memiliki kandungan karbon sekitar 0,45% sehingga lebih kuat dibanding baja karbon rendah, tetapi tetap dapat dikerjakan dengan proses permesinan konvensional. Material ini cocok digunakan untuk poros, roda gigi, kopling, baut, dan komponen mekanis lain yang menerima beban torsi dan tegangan sedang (Budynas & Nisbett, 2015).

Tabel 3. 4 Sifat mekanik baja AISI 1045

Properti Mekanik	Nilai Tipikal
Komposisi karbon (C)	0,42 – 0,50 %
Kekuatan Tarik (UTS)	570 – 700 Mpa
Tegangan luluh (Yield Strength)	± 310 – 370 MPa
Modulus Elastisitas (E)	210 GPa
Rasio Poisson (v)	0,30
Kekerasan Brinell (HB)	170 – 210 HB
Densitas (ρ)	7850 kg/m ³

Dengan sifat mekanik tersebut, poros berbahan AISI 1045 dipastikan mampu menahan torsi nominal motor listrik 1,1 kW pada 2850 rpm dengan faktor keamanan yang memadai. Selain itu, penggunaan material standar industri ini memudahkan proses manufaktur serta validasi desain terhadap referensi pustaka maupun data pabrikan.



Gambar 3. 30 Material Poros

3. *Meshing*

Tahap *meshing* merupakan proses pemecahan model geometri poros menjadi elemen-elemen kecil (*finite elements*) yang saling terhubung melalui titik simpul (*nodes*). Proses ini bertujuan untuk mendiskretisasi struktur kontinu menjadi bentuk yang dapat dihitung secara numerik menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*).

Pada simulasi ini, *mesh* tipe tetrahedral digunakan karena bentuknya sesuai untuk memodelkan geometri poros berbentuk silinder. Ukuran elemen ditentukan secara otomatis oleh perangkat lunak *SolidWorks Simulation*, dengan penyesuaian berupa *refinement* (pendetailan *mesh*) pada bagian kitis seperti shoulder poros dan alur keyway. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi hasil simulasi pada daerah yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan.

Kriteria *meshing* yang diterapkan adalah sebagai berikut:

1. Ukuran elemen global diatur pada tingkat *standard mesh* untuk menjaga keseimbangan antara waktu komputasi dan akurasi hasil.
2. *Refinement mesh* lokal digunakan di area transisi diameter dan *keyway*, dengan elemen lebih kecil dibanding area poros lurus.
3. Jumlah elemen dan nodes otomatis meningkat pada *mesh* halus, sehingga distribusi tegangan akibat pembebanan torsi dapat diperoleh dengan lebih detail.

Keakuratan hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh kualitas *mesh* yang digunakan. Oleh karena itu, dilakukan pengaturan mesh hingga didapatkan model dengan jumlah elemen cukup banyak namun tetap efisien secara komputasi. Dengan penerapan *meshing* yang tepat, hasil simulasi berupa *displacement*, *stress*,

strain, dan *factor of safety* pada poros dapat dianalisis secara lebih representatif (Cook et al., 2002; Moaveni, 2015).

4. *Boundary Condition*

Boundary condition atau kondisi batas merupakan salah satu tahap penting dalam simulasi *static structural*, karena berfungsi untuk merepresentasikan keadaan nyata poros saat bekerja di dalam sistem simulator *shaft alignment*. Dengan pemberian kondisi batas yang tepat, respon struktur yang dihitung oleh perangkat lunak dapat mendekati kondisi sebenarnya.

Pada simulasi ini, *boundary condition* ditentukan sebagai berikut:

1. *Fixed Support* (Tumpuan Tetap)

- Salah satu ujung poros yang terhubung dengan motor listrik ditetapkan sebagai *fixed support*.
- Kondisi ini mengasumsikan bahwa sisi poros tersebut terkunci secara kaku oleh *hub* kopling dan dudukan motor sehingga tidak mengalami perpindahan linier maupun rotasi.
- Pemberian *fixed support* juga berfungsi untuk menghindari gerakan bebas model (*rigid body motion*) saat simulasi dijalankan.

2. *Torque Load* (Beban Torsi dari Generator)

- Ujung poros yang lain, yaitu yang terhubung dengan generator, diberikan beban berupa torsi nominal hasil perhitungan dari daya keluaran generator.
- Nilai torsi dihitung dengan persamaan:
- Beban torsi ini diaplikasikan pada permukaan silinder ujung poros yang masuk ke *hub* generator, sesuai kondisi operasional nyata.

3. Asumsi Pembatasan

- Beban dianggap statis (tidak berubah terhadap waktu).
- Distribusi beban torsi dianggap merata pada permukaan ujung poros.
- Pengaruh gaya dinamis akibat getaran, ketidaksempurnaan alignment, dan gesekan tidak dimodelkan dalam simulasi, tetapi dianalisis melalui pengujian eksperimen.

Dengan kondisi batas tersebut, simulasi dapat memberikan gambaran distribusi tegangan, *displacement*, serta faktor keamanan poros akibat beban torsi dari generator, sekaligus memverifikasi hasil perhitungan teoritis yang dilakukan pada Bab III (Budynas & Nisbett, 2015; Moaveni, 2015).

5. Pembebanan (*Loading*)

Tahap pembebanan merupakan proses pemberian gaya atau momen pada model poros dalam simulasi *static structural* di *SolidWorks*. Tujuan pemberian beban adalah untuk merepresentasikan kondisi nyata kerja poros ketika menerima daya dari motor listrik dan menyalurkannya ke generator.

Pada penelitian ini, pembebanan yang diterapkan berupa torsi puntir (*torque load*) dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Jenis Beban

- Beban yang diberikan berupa momen puntir (torsi) yang bekerja pada poros akibat transmisi daya dari motor listrik menuju generator.
- Tidak ada beban aksial maupun transversal yang dimasukkan dalam simulasi karena fokus analisis adalah respon poros terhadap torsi nominal.

2. Besarnya Beban

- Nilai torsi dihitung berdasarkan daya keluaran generator yang telah dikoreksi dengan efisiensi, menggunakan persamaan:
- Rumus dari generator
- Nilai torsi sebesar 3,3 N·m ini kemudian dimasukkan ke dalam simulasi sebagai *torque load* pada permukaan silinder ujung poros yang terhubung dengan generator.

3. Asumsi Pembebanan

- Beban dianggap statis (konstan sepanjang waktu), sehingga pengaruh perubahan dinamis diabaikan.
- Distribusi beban puntir dianggap merata pada permukaan poros yang bersinggungan dengan kopling.
- Kehilangan daya akibat gesekan dan ketidaksempurnaan *alignment* tidak diperhitungkan dalam simulasi, tetapi dianalisis melalui pengujian langsung pada simulator.

Dengan pembebanan ini, simulasi diharapkan mampu menggambarkan kondisi nyata poros saat bekerja, sehingga distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dapat dievaluasi dengan lebih representatif (Budynas & Nisbett, 2015; Moaveni, 2015).

3.6.2 Solving

Tahap *solving* merupakan proses penyelesaian numerik dari model simulasi *static structural* yang telah disiapkan pada tahap *pre-processing*. Pada tahap ini, perangkat lunak *SolidWorks Simulation* menyelesaikan persamaan matematis

berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*) yang telah dibentuk dari pemodelan geometri, pemilihan material, *meshing*, serta *boundary condition* dan pembebanan.

Proses *solving* dilakukan secara otomatis oleh *solver* dengan langkah-langkah utama sebagai berikut:

1. Formulasi Persamaan FEM

- Model poros yang telah di-mesh menghasilkan ribuan elemen dan node.
- Setiap elemen direpresentasikan oleh persamaan kekakuan (*stiffness matrix*) berdasarkan sifat material dan geometri.
- Seluruh elemen kemudian digabungkan menjadi persamaan global sistem.

2. Penerapan *Boundary Condition* dan *Loading*

- *Solver* memasukkan kondisi batas (*fixed support*) pada salah satu ujung poros.
- Beban torsi sebesar 3,22 N·m diaplikasikan pada ujung poros yang terhubung dengan generator.
- Dengan demikian, sistem persamaan matematis sudah lengkap dan siap diselesaikan.

3. Proses Iterasi dan Penyelesaian Numerik

- *Solver SolidWorks* menggunakan metode numerik langsung (*direct solver*) untuk menyelesaikan sistem persamaan linear.
- Proses ini menghasilkan nilai perpindahan (*displacement*) pada setiap node.
- Dari hasil perpindahan, perangkat lunak menghitung distribusi tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan faktor keamanan (*FoS*).

4. Monitoring Konvergensi

- Selama proses *solving*, perangkat lunak memastikan hasil simulasi stabil.

- Jika diperlukan, mesh refinement dilakukan kembali agar hasil lebih akurat pada daerah kritis.

Tahap *solving* sangat menentukan keakuratan hasil simulasi. Kesalahan dalam pemberian *boundary condition*, *mesh* yang terlalu kasar, atau pemilihan beban yang tidak sesuai dapat menyebabkan hasil analisis tidak valid. Oleh karena itu, setelah proses *solving* selesai, dilakukan evaluasi awal terhadap distribusi *displacement* dan tegangan sebelum masuk ke tahap *post-processing* (Cook et al., 2002; Moaveni, 2015).

3.6.3 Post-Processing

Tahap *post-processing* merupakan langkah akhir dalam simulasi *static structural* setelah proses *solving* selesai. Pada tahap ini, hasil komputasi yang diperoleh dari *solver* ditampilkan dalam bentuk data numerik maupun visualisasi kontur warna, sehingga dapat dianalisis secara lebih mudah.

Adapun hasil yang diamati dalam simulasi poros ini meliputi:

1. *Displacement* (Perpindahan Maksimum)
 - Menunjukkan besarnya deformasi poros akibat beban torsi.
 - Nilai *displacement* biasanya kecil (dalam orde μm hingga mm) karena poros relatif kaku.
 - Distribusi perpindahan divisualisasikan dengan kontur warna, di mana bagian ujung poros yang menerima beban memiliki nilai deformasi paling besar.
2. *Stress* (Tegangan Von Mises)
 - Digunakan untuk menentukan tegangan maksimum yang dialami poros akibat torsi.

- Tegangan *Von Mises* dibandingkan dengan tegangan luluh material untuk menentukan keamanan *desain*.
- Kontur warna menampilkan distribusi tegangan, dengan konsentrasi tegangan biasanya muncul di *shoulder* atau *keyway* poros.

3. *Strain* (Regangan)

- Menunjukkan perubahan bentuk relatif akibat tegangan yang bekerja.
- Regangan membantu mengevaluasi respon elastis poros terhadap pembebanan.

4. *Factor of Safety* (*FoS*)

- *SolidWorks* menghitung nilai faktor keamanan dengan membandingkan tegangan *Von Mises* terhadap tegangan luluh material.
- Jika $FoS > 1,5$ maka poros dianggap aman. Nilai *FoS* yang terlalu rendah menunjukkan desain berisiko gagal, sementara nilai terlalu tinggi dapat berarti desain kurang ekonomis.

5. Visualisasi Hasil

- *SolidWorks* menampilkan hasil berupa plot kontur warna untuk *displacement*, *stress*, *strain*, dan *FoS*.
- Selain itu, hasil juga dapat diekspor dalam bentuk tabel numerik untuk dokumentasi perhitungan.

Tahap *post-processing* ini sangat penting karena dari sinilah dilakukan interpretasi teknis mengenai apakah poros yang dirancang mampu menahan beban torsi dari generator. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan perhitungan teoritis pada Bab III untuk memvalidasi desain (Budynas & Nisbett, 2015; Moaveni, 2015).

3.7 Pengukuran Misalignment

Dalam proses *shaft alignment* pada motor Listrik (*driver*) dan generator (*driven*). Langkah awal yang perlu dilakukan adalah pengecekan kondisi *soft foot* pada kaki motor serta pemeriksaan *runout* pada kopling. Tahapan ini penting untuk memastikan bahwa poros dalam keadaan siap dilakukan proses *alignment*, sehingga hasil pembacaan data tidak terpengaruh oleh ketidakrataan permukaan ketidakpusatan kopling.

Penyelarasan poros menjadi tahap krusial karena ketidaksejajaran (*misalignment*) dapat menyebabkan peningkatan getaran, penurunan efisiensi daya *input-output*, dan kenaikan temperatur pada sistem rotasi. Oleh karena itu, sebelum masuk pada pengukuran *misalignment* dengan metode *face and rim*, dilakukan persiapan data awal yang bertujuan meminimalkan kesalahan.

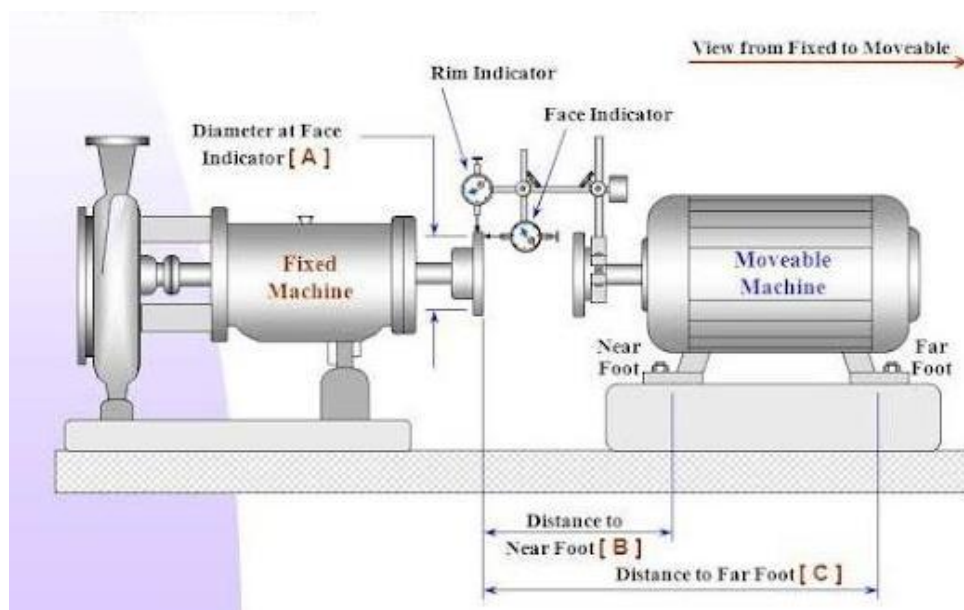
Langkah-langkah dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengecekan *soft foot*, memastikan kestabilan motor listrik dengan pengukur ketidakrataan pada kaki motor.
2. Pemeriksaan *runout* kopling, mengevaluasi tingkat ketidakpusatan kopling sebelum *alignment*.
3. Pengukuran *alignment*, poros motor diputar secara perlahan, kemudian dicatat hasil pembacaan pada dial *indicator* di setiap posisi (0° , 90° , 180° , dan 270°).
4. Pengukuran *misalignment combination*, dengan metode *face and rim* menggunakan pembacaan dial *indicator* pada posisi *rim* (*face* = 0), dengan pengukuran daya *input-output*, getaran, dan temperatur.

Pengukuran ini dilakukan dengan memasang dial indicator pada posisi koping motor dan generator. poros diputar bersamaan sehingga dial *indicator* memberikan nilai pergeseran pada posisi jam 12,3,6, dan 9. Data tersebut menjadi dasar perhitungan *combination misalignment* dengan metode *face and rim*.

dengan metode ini dapat ditentukan besarnya sudut ketidaksejajaran antara poros penggerak dan poros yang digerakan. Hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh *misalignment combination* terhadap kinerja sistem, terutama pada efisiensi daya *input-output*, getaran dan *temperature*.

Sebelum melaksanakan proses *alignment*, dibutuhkan acuan sebagai dasar persamaan persepsi penulis dan pembaca terkait pembacaan nilai pergeseran *vertical* dan *horizontal*, maka dari itu disepakati bahwa acuan pembacaan nilai pergeseran seperti gambar 3.31 dibawah ini.



Gambar 3. 31 Acuan pembacaan pergeseran

(Sumber : https://www.alignmentknowledge.com/rim-andface/?utm_source=chatgpt.com)

3.7.1 Tahap Pra-Alignment Poros Motor Listrik dan Generator

Sebelum melakukan *alignment face and rim*, kita lakukan pengecekan *soft foot* dan *run out* poros dan kopling.

Langkah pengecekan *soft foot* :

1. Kencangkan semua baut pondasi.
2. Pasang dial *indicator* di sudut kaki dekat baut pengikat “setting pada penunjukan 0” lalu kendorkan baut dengan hati-hati sampai bisa diputar menggunakan tangan. Catat hasil.
3. Kencangkan kembali baut tersebut lalu pindah ke baut yang lain.
4. Ulangi langkah tersebut pada kaki-kaki yang lain dan catat semua hasil pengukurannya.
5. Setelah mendapat data, tentukan penambahan shim terhadap kaki-kaki yang mengalami *soft foot*.

Langkah pengecekan *run out* kopling :

1. Pasang *bracket dial indicator* dengan posisi tegak lurus terhadap permukaan *hub* kopling generator (*driven*).
2. Arahkan jarum dial *indicator* hingga menyentuh permukaan *hub* kopling generator dengan tekanan yang sesuai.
3. Bagi *hub* kopling menjadi empat titik pada kelilingnya, lalu beri tanda pada posisi jam 12, 3, 6, dan 9 sebagai acuan pengukuran.
4. Setting jarum dial *indicator* pada posisi jam 12 sehingga menunjukkan angka 0.00 mm sebagai titik awal.
5. Putar *hub* kopling motor *driver*, tetapi *hub* kopling *driven* tetap atau tidak diputar.

6. Putar 90 derajat hingga menunjuk ke empat titik yang telah diberi tanda. catat setiap posisi jam 12, 3, 6 dan 9.
7. Kembalikan posisi *hub* ke jam 12. Jarum dial *indicator* seharusnya kembali ke posisi 0.00 mm. Jika tidak kembali ke nol kemungkinan terdapat kesalahan saat pemutaran hub atau ketidakakuratan pada dial *indicator*.

3.7.2 Langkah Pelaksanaan Alignment dengan Metode Face and Rim

Setelah melakukan pengecekan *soft foot* dan *run out*, selanjutnya lakukan tahap *alignment*.

1. Pasang *bracket* pada mesin atau poros pertama *driven* yang mudah diputar dan tidak goyang supaya tidak terjadi kesalahan.
2. Pasang dial *indicator* ke lingkaran posisi *rim and face* pada *coupling driven*.
3. Letakkan jarum dial di posisi 12 dan lakukan pengenolan dial.
4. Putar sebesar 90 derajat sampai posisi jam 9, jam 6, dan jam 3. Baca dan lakukan pencatatan penunjukan jarum dial.
5. Putar hingga jarum kembali di posisi jam 12 dan menunjukan angka 0.
6. Ulangi langkah 3 sampai 5 apabila pada saat kembali di jam 12 tidak menunjukan angka 0.
7. Lepas *bracket* dan *dial indicator*, pindah dan pasang kembali pada dial *shaft driver* (*bracket* pada *driven* dan *dial indicator* pada *shaft*).
8. Lakukan seperti point 3 sampai 6 dan catat pembacaan dial.
9. Lakukan 4x pengambilan data kemudian ambil rata-rata untuk hasil akhir.

3.8 Langkah Pengujian Alat

Variabel penelitian merupakan karakteristik dari objek atau kegiatan yang memiliki variasi tertentu dan dapat diamati, diukur, serta dianalisis oleh peneliti untuk memperoleh Kesimpulan. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan pada simulator shaft alignment berbasis misalignment dengan metode face and rim, sehingga variable yang diamati meliputi variable bebas, variable kontrol, dan variable terikat.

Variabel bebas merupakan factor yang diubah atau dimanipulasi untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil pengujian. Variabel kontrol Adalah factor yang dijaga tetap konstan agar hasil pengujian tidak terpengaruh oleh faktor lain. Sementara itu, variabel terikat merupakan hasil pengukuran atau respon dari perubahan variabel bebas. Adapun variable yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3. 5 Variabel Penelitian

No	Parameter	Kategori	Keterangan
1.	Kondisi penyelarasan poros (alignment / misalignment)	Variabel Bebas	Pengaturan posisi poros antara motor dan generator yang diubah untuk melihat pengaruhnya terhadap performa alat.
2.	Variasi Beban Output	Variabel Bebas	Arus beban divariasikan pada beban 350, 600, 1000 Watt
3.	Kecepatan putaran poros (rpm)	Variabel Kontrol	Kecepatan motor dijaga konstan pada putaran 2850 RPM.
4.	Temperatur lingkungan	Variabel Kontrol	Suhu ruang laboratorium dijaga konstan selama pengujian.
5.	Getaran (vibration velocity / mm/s)	Variabel Terikat	Nilai getaran yang dihasilkan akibat perubahan kondisi alignment.
6.	Daya input (W)	Variabel Terikat	Daya listrik yang digunakan motor selama pengujian.
7.	Efisiensi Daya Listrik (%)	Variabel Terikat	Perbandingan antara daya output terhadap daya input sistem.
8.	Temperatur permukaan Motor dan Generator (°C)	Variabel Terikat	Nilai temperatur pada permukaan motor dan generator akibat kondisi alignment dan misalignment.

3.8.1 Langkah pelaksanaan Putaran Mesin

1. Siapkan alat pengukur putaran mesin yaitu *tachometer*.

2. Tempelkan bahan reflektif pada komponen yang berputar.
3. Pencet tombol hingga tachometer memancarkan cahaya inframerah yang diarahkan ke target reflektif.
4. Ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan dalam *tachometer* sehingga putaran mesin dapat terbaca.
5. Melakukan pencatatan hasil.

3.8.2 Langkah Pelaksanaan Pengukuran Daya Input-Output

1. Pastikan motor listrik, generator atau sistem uji *alignment* sudah terpasang dengan benar dan aman.
2. Siapkan alat mengukur daya input-output dan tegangan (*Chauvin Arnoux* dan *Lutron Clamp Meter*), pastikan kondisi kabel, sensor, serta baterai pada alat ukur.
3. Hubungkan *power analyzer* (*Chauvin Arnoux*) pada jalur listrik *input* motor, atur metode pengukuran sesuai parameter, nyalakan motor pada kondisi normal.
4. Hubungkan alat pada sisi generator atau beban keluaran sistem, atur *power analyzer chauvin* untuk mengukur *output*, gunakan *clamp meter lutron* untuk verifikasi nilai arus keluaran.
5. Catat hasil pengukuran dalam tabel (*input dan output*).
6. Dokumentasikan kondisi alat ukur dengan foto dan simpan data pada format digital untuk analisis lebih lanjut

3.8.3 Langkah Pelaksanaan Pengukuran Getaran

1. Siapkan alat pengukur getaran yaitu *vibration meter*.

2. Atur satuan ukur menjadi m/s atau mm/s.
3. Tempelkan sensor maupun base perangkat ke permukaan objek yang akan diukur.
4. Tempel pada posisi axial dan radial (vertical dan horizontal).
5. Tahan selama beberapa detik hingga muncul angka di layar perangkat.
6. Lakukan pencatatan angka hasil getaran.
7. Lepas dan matikan kembali perangkat vibration meter.

3.8.4 Langkah Pelaksanaan Pengukuran Temperatur

1. Nyalakan alat ukur suhu (*Thermo Gun*) dan pastikan kondisi baterai dalam keadaan penuh.
2. Atur parameter pengukuran pada alat sesuai dengan kebutuhan (emisifiti, jarak, serta rentang suhu pengukuran).
3. Arahkan sensor alat ke titik pengukuran yang sudah ditentukan pada komponen mesin (motor, kopling, poros dan bantalan).
4. Pastikan jarak antara alat ukur dan objek sesuai standar agar hasil pembacaan lebih akurat.
5. Tahan beberapa detik hingga layar menampilkan citra termal dan nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$).
6. Catat nilai temperatur setiap titik ukur secara berurutan sesuai parameter yang ditentukan.
7. lakukan dokumentasi hasil berupa foto citra termal dari layar perangkat untuk setiap titik pengukuran.
8. Ulangi langkah pengukuran sesuai jadwal pencatatan yang telah ditentukan.

9. Setelah selesai, matikan perangkat dan simpan dengan aman.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi Mesin

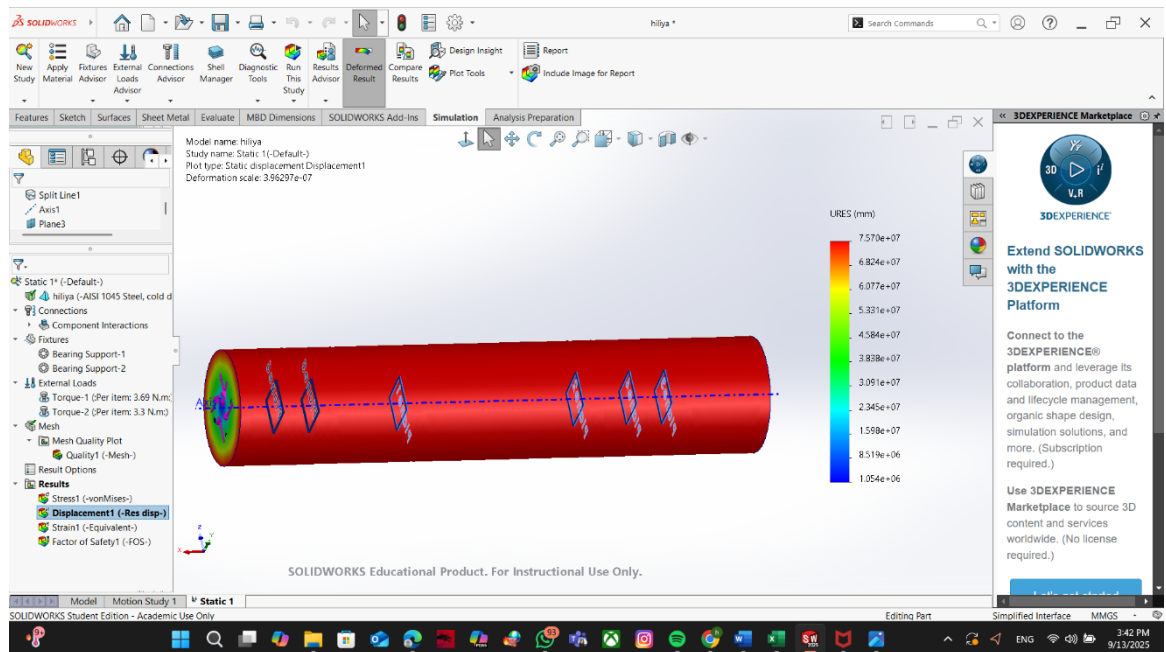
Simulator *shaft alignment* dirancang sebagai media pembelajaran mahasiswa melakukan kegiatan proses *alignment* secara riil yang meliputi pengukuran *soft foot*, *rough alignment* awal, pemasangan *bracket dial*, *bar sag*, *runout* kopling dan proses *alignment* itu sendiri. Proses pembuatan diawali dengan perancangan desain menggunakan media *solidworks* yang kemudian dilanjutkan proses fabrikasi. Berikut merupakan hasil fabrikasi simulator *shaft alignment* ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil fabrikasi simulator *shaft alignment*

4.2 Hasil Simulasi *Static Structural* pada Poros

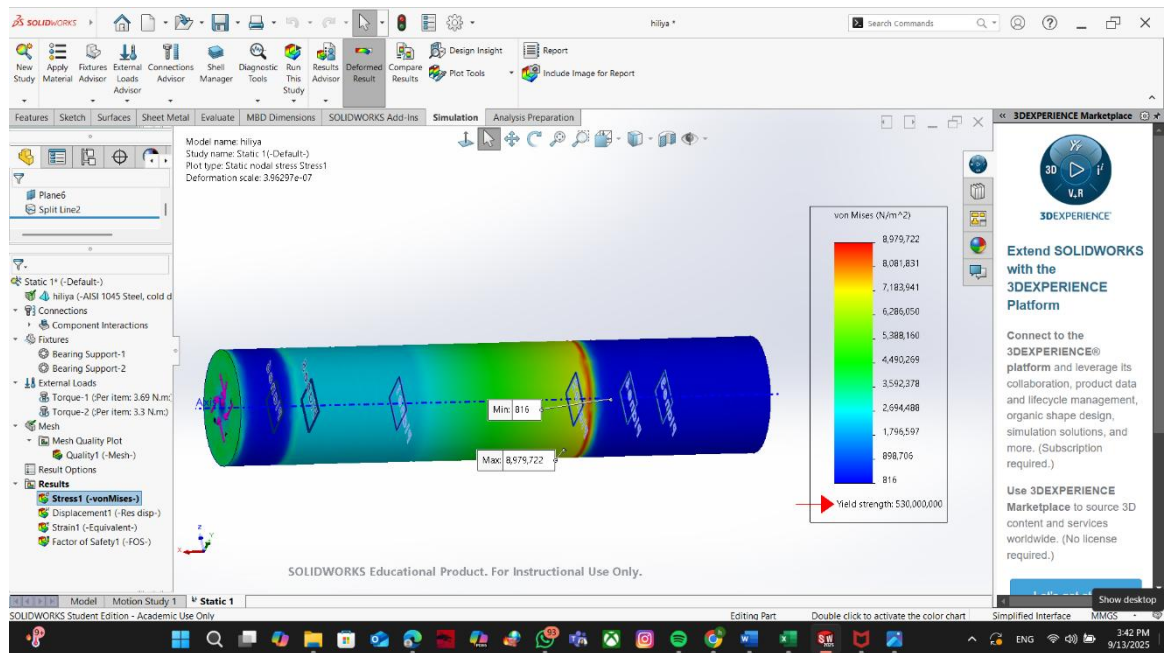
4.2.1 Displacement



Gambar 4. 2 Hasil *displacement*

Gambar 4.2 Hasil simulasi *static structural* menunjukkan bahwa poros mengalami perpindahan maksimum pada ujung bebas yang menerima beban torsi (sisi generator) dan perpindahan minimum pada ujung yang diberi *fixed support* (sisi motor). Kontur warna dari biru hingga merah memperlihatkan distribusi perpindahan yang semakin besar seiring menjauhi tumpuan, sesuai teori torsi pada batang pejal. Nilai perpindahan yang ditampilkan pada *legend SolidWorks* tampak sangat besar akibat adanya skala visualisasi (*deformation scale*), padahal nilai aktualnya berada pada orde mikrometer sehingga relatif sangat kecil dibandingkan dengan dimensi poros berdiameter 19 mm. Kondisi ini wajar mengingat material poros AISI 1045 memiliki modulus elastisitas tinggi (± 210 GPa), sehingga deformasi elastis akibat beban torsi 3,3 N·m tidak signifikan. Dengan demikian, poros tetap bersifat kaku, mampu menyalurkan daya secara efektif.

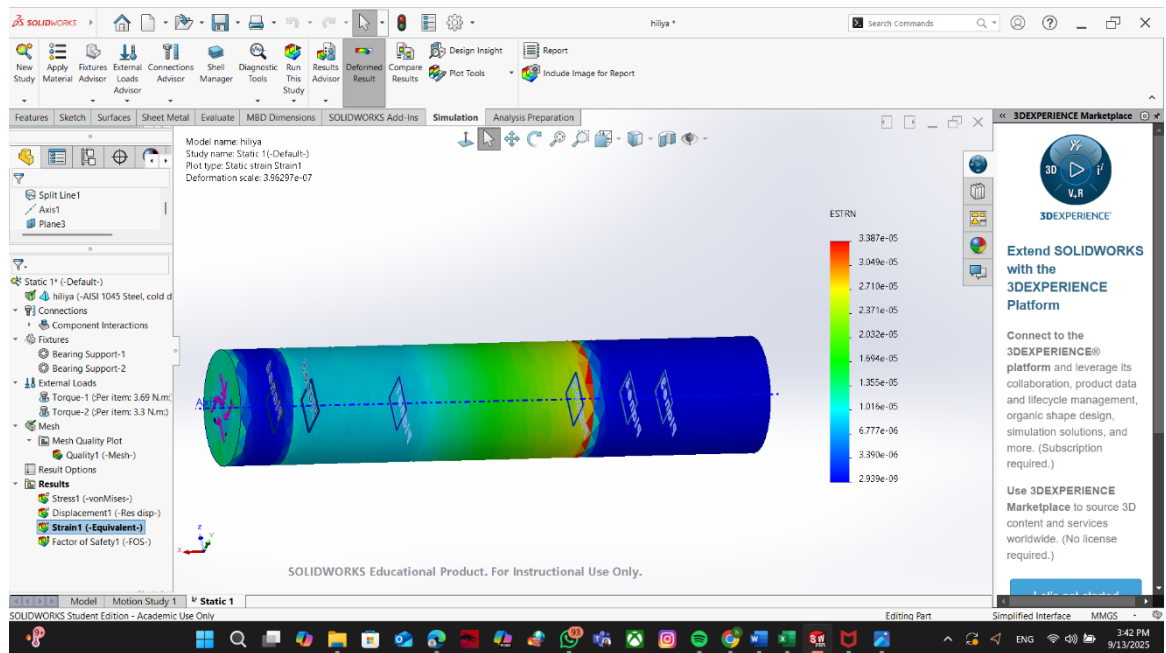
4.2.2 Stress (Von Mises)



Gambar 4. 3 *Stress (Von Mises)*

Gambar 4.3 hasil simulasi menunjukkan distribusi tegangan *Von Mises* pada poros berbahan AISI 1045 Steel dengan kondisi pembebanan berupa torsi. Kontur warna menggambarkan tingkat tegangan, di mana warna biru menandakan daerah dengan tegangan rendah dan warna merah menunjukkan tegangan tertinggi. Dari model terlihat bahwa konsentrasi tegangan terbesar muncul di sekitar shoulder atau area pereduksi diameter, yang merupakan titik kritis akibat perubahan geometri poros. Nilai tegangan minimum tercatat sebesar 816 N/m² ($\approx 0,000816$ MPa) pada bagian ujung yang tidak menerima beban langsung, sedangkan tegangan maksimum mencapai 8.979.722 N/m² ($\approx 8,98$ MPa) pada area transisi geometri. Jika dibandingkan dengan *yield strength* material AISI 1045 sebesar 530 MPa, nilai tegangan maksimum ini masih sangat kecil sehingga poros berada pada kondisi aman secara statik dalam menerima beban torsi.

4.2.3 Strain

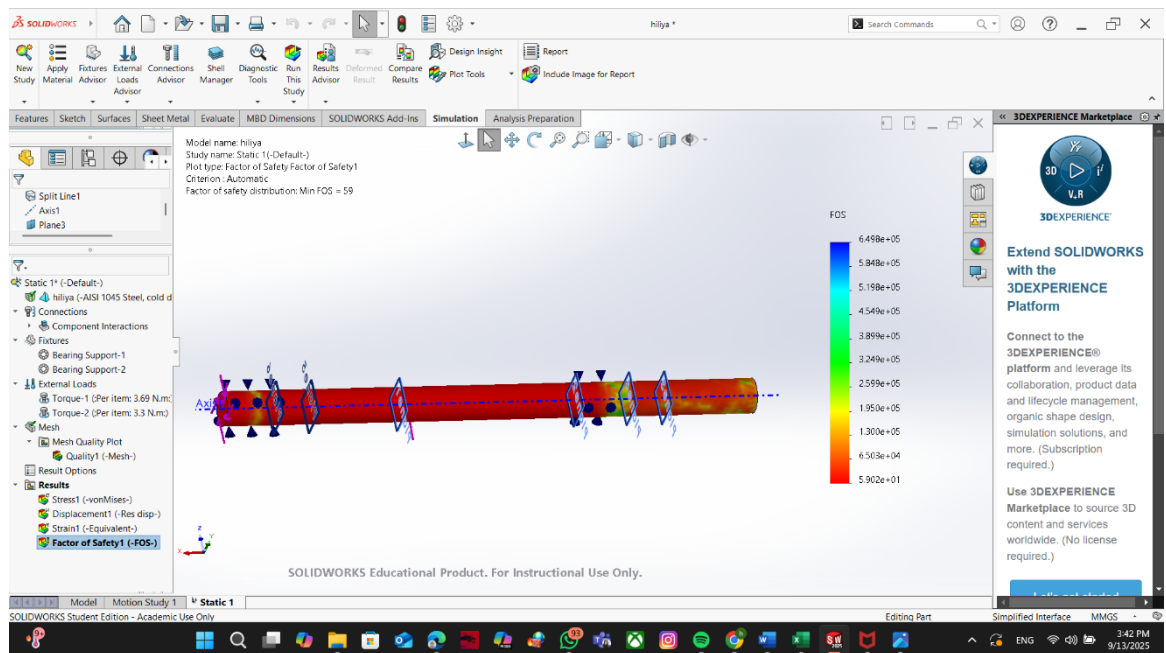


Gambar 4. 4 Hasil *strain*

Gambar 4.4 Hasil simulasi menunjukkan distribusi *equivalent strain* (ESTRN) pada poros akibat pembebanan torsi sebesar 3,3 N·m. Kontur warna memperlihatkan sebaran regangan, di mana warna biru menandakan regangan sangat kecil dan warna merah menunjukkan regangan relatif lebih tinggi. Nilai strain berada pada rentang $2,93 \times 10^{-9}$ hingga $3,39 \times 10^{-5}$, dengan regangan minimum mendekati nol terjadi pada bagian poros dekat *fixed support* (sisi motor), sedangkan regangan maksimum muncul di ujung poros yang menerima beban torsi (sisi generator), terutama pada daerah transisi diameter yang juga menjadi titik konsentrasi tegangan *Von Mises*. Nilai regangan maksimum sebesar $3,39 \times 10^{-5}$ ($\approx 0,00339\%$) masih sangat kecil dibandingkan batas regangan elastis material AISI 1045 (sekitar 0,15–0,2%), sehingga poros hanya mengalami deformasi elastis yang dapat kembali ke bentuk semula setelah beban dilepas. Hasil ini mendukung analisis tegangan (*Von Mises* ≈ 9 MPa) dan perpindahan (orde mikrometer) yang

menunjukkan bahwa poros bekerja dalam kondisi aman, kaku, dan mampu menyalurkan torsi tanpa risiko kegagalan material.

4.2.4 Faktor Keamanan (FoS)



Gambar 4. 5 Hasil faktor keamanan (FoS)

Gambar 4.5 hasil simulasi menunjukkan distribusi *Factor of Safety* (FoS) pada poros berbahan AISI 1045 akibat pembebanan torsi 3,3 N·m. FoS dihitung dari perbandingan tegangan *Von Mises* maksimum dengan *yield strength* material. Kontur warna memperlihatkan daerah merah sebagai titik dengan FoS paling rendah, yaitu di area *shoulder* atau transisi diameter poros, sedangkan warna biru menunjukkan FoS sangat tinggi pada bagian lain poros. Nilai minimum FoS tercatat sebesar 59, jauh di atas standar minimal perancangan mesin (1,5–2), sementara sebagian besar area poros bahkan memiliki FoS hingga ratusan ribu, yang menandakan tegangan kerja sangat kecil dibanding kekuatan material. Kondisi ini membuktikan bahwa poros Ø19 mm memiliki margin keamanan yang sangat besar,

sepenuhnya aman, dan tidak berisiko mengalami kegagalan plastis pada beban operasi normal.

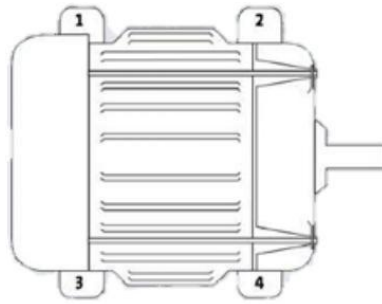
Meskipun demikian, nilai *FoS* yang sangat tinggi juga mengindikasikan adanya *over-design*, artinya dimensi dan kekuatan poros jauh melampaui kebutuhan beban aktual. Hal ini memang menjamin keandalan, tetapi kurang efisien dari sisi pemanfaatan material dan biaya. Dalam praktik rekayasa, kondisi *over-design* seperti ini dapat dijadikan dasar untuk pertimbangan optimasi desain di masa depan, misalnya dengan mengurangi diameter poros atau memilih material dengan spesifikasi lebih ekonomis, selama tetap memenuhi standar keamanan minimum. Dengan demikian, hasil ini tidak hanya menegaskan bahwa poros aman digunakan, tetapi juga membuka peluang evaluasi efisiensi desain untuk aplikasi sejenis.

4.3 Pelaksanaan Metode *Pra-Alignment*

Pengambilan data pra-alignment metode *face and rim* yaitu pengukuran soft foot, *rough alignment* awal, pemasangan *bracket* dial, dan *runout*.

4.3.1 Pembahasan Data, Hasil Pengukuran Hasil *SoftFoot*

Langkah pengecekan soft foot dapat dilihat pada gambar 4.6 Cek gap kaki kaki pada posisi 1, 2, 3, 4 terhadap pondasi/unp dengan menggunakan dial indikator dan catat hasil penyimpangan tersebut.



Gambar 4. 6 *Softfoot*

1. Hasil Pengukuran *SoftFoot* motor listrik

Tabel 4. 1 Pengukuran *softFoot* motor listrik

Posisi Pengambilan Data <i>SoftFoot</i> (mm)				
	Nomor 1	Nomor 2	Nomor 3	Nomor 4
Hasil Data	0,01	0,03	0	0,03

Hasil dari pengecekan *soft foot* yang dilakukan di empat titik pada kaki-kaki motor listrik didapatkan hasil seperti tabel 4.1 dengan pengukuran Nomor 1= 0,01, 2=0,03 , 3=0, 4=0,03. Pengecekan *soft foot* ini sebagai acuan untuk *pra-alignment* supaya *alignment* mendapat hasil yang lebih baik , dari pengukuran yang sudah dilakukan bahwa tidak terdapat masalah *soft foot* pada kaki-kaki sehingga tidak perlu dilakukan penambahan *shim* pada mesin.

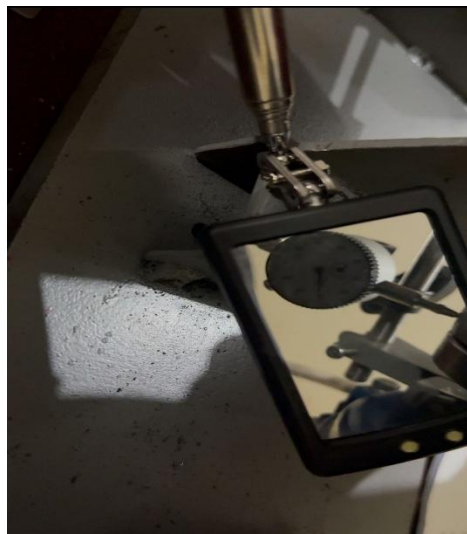
4.3.2 Pengujian Bar Sag

Pengujian *bar sag* dilakukan untuk mengetahui besar lendutan batang dial *indicator* yang dapat memengaruhi hasil pembacaan saat proses *alignment*. Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan dial *indicator* pada posisi jam 12 (atas) kemudian dilakukan pengaturan awal hingga jarum menunjukkan angka nol.

Selanjutnya batang diputar ke posisi jam 6 (bawah) dan hasil pergeseran jarum dicatat sebagai nilai *bar sag*.



Gambar 4. 7 Pengujian *bar sag* posisi jam 12



Gambar 4. 8 Pengujian *bar sag* posisi jam 6

Tabel 4. 2 Data pengujian *bar sag*

Posisi Dial Indicator	Pembacaan (mm)
Jam 12 (atas)	0.00
Jam 6 (bawah)	0.00
Nilai <i>bar sag</i>	0.00

4.3.3 Pemeriksaan *Rough Alignment* Awal

Rough alignment dilakukan untuk menyamakan posisi awal kopling motor listrik dan kopling dinamo alternator menggunakan penggaris secara visual dan manual, dengan tujuan meminimalkan kesalahan awal sebelum dilakukan *fine alignment* menggunakan metode *face and rim*.

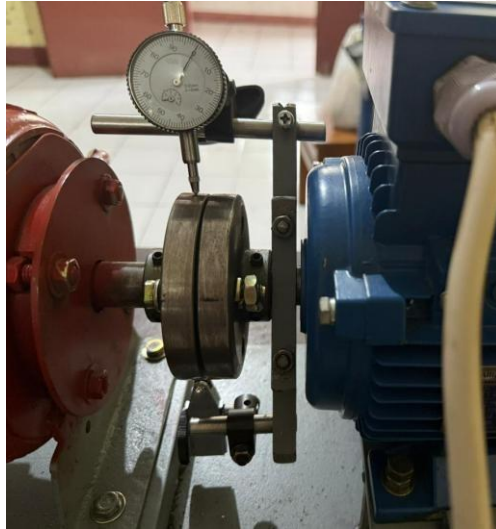


Gambar 4. 9 Pemeriksaan *rough alignment* awal

4.3.4 Pemasangan bracket dial indicator

Setelah pengecekan *softfoot* memastikan pondasi motor sudah dalam kondisi stabil, tahap selanjutnya adalah pemasangan *bracket* dan *dial indicator* untuk mendeteksi *misalignment*. *Bracket* dipasang pada poros tetap, yaitu generator, sedangkan *dial indicator* diarahkan ke kopling motor listrik sebagai poros gerak. Pengukuran berada pada sisi *face* dan *rim* kopling untuk mendeteksi *misalignment*, sesuai dengan tujuan khusus pengujian.

Hasil pemasangan menunjukkan *dial indicator* merespon perubahan saat poros diputar, menandakan bahwa sistem telah siap untuk proses pengambilan data sudut ketidaksejajaran.



Gambar 4. 10 Pemasangan *brecket dial indicator*

4.3.5 Pembahasan data hasil *run out* kopling motor

1. Hasil Pengukuran *Run Out* Kopling Generator

Tabel 4. 3 *Run out* kopling generator

No	Posisi Pengambilan Data Runout (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 9	Arah Jam 6	Arah Jam 3
1	0	-0.01	0	0.01
2	0	-0.02	-0.01	0.01
3	0	0	-0.01	0
4	0	-0.01	-0.01	0.01
Rata-rata	0	-0.01	-0.01	0.01

Hasil pengecekan *run out* dilakukan di 4 titik kopling *driver*. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.3 Untuk arah jam 12 = 0 mm, jam 9 = -0.01 mm, jam 6 = -0.01 mm, dan jam 3 = 0.01 mm.

Pengecekan *run out* ini sebagai acuan untuk *pra-alignment* supaya *alignment* mendapat hasil yang terbaik. Jika sudah mengetahui masalah penyimpangan pada kopling kemudian lakukan metode kesejajaran kopling (*alignment*). Berikut merupakan perhitungan *offset* pada kopling :

$$\text{Kopling Offset Vertikal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0 - (-0.01)}{2} = 0 \text{ mm}$$

$$\text{Kopling Offset Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0.01 - 0.01}{2} = 0 \text{ mm}$$

2. Hasil Pengukuran *Run Out* kopling Motor Listrik

Tabel 4. 4 *Run out* kopling motor listrik

No	Posisi Pengambilan Data runout (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 9	Arah Jam 6	Arah Jam 3
1	0	0,01	0,02	0
2	0	0	0,02	0
3	0	0	0,02	0,01
4	0	0,01	0,01	0,01
Rata-rata	0	0,005	0,02	0,005

Hasil pengecekan *run out* dilakukan di 4 titik kopling driver. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.4. Untuk arah jam 12 = 0 mm, jam 9 = 0.005 mm, jam 6 = 0.02 mm dan jam 3 = 0.005mm. Pengecekan *run out* ini sebagai acuan untuk *pra-alignment* supaya *alignment* mendapat hasil yang terbaik. Jika sudah mengetahui masalah penyimpangan pada kopling kemudian lakukan metode kesejajaran kopling (*alignment*). Berikut merupakan perhitungan *offset* pada

kopling :

$$\text{Kopling Offset Vertikal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0 - (-0.02)}{2} = 0,01 \text{ mm}$$

$$\text{Kopling Offset Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0,005 - (-0.02)}{2} = 0 \text{ mm}$$

4.4 Pengukuran Kondisi *Alignment*, Getaran, Daya Input – Output, Temperatur

Pengukuran *alignment* menggunakan metode *face and rim* pada empat titik (pukul 12, 3, 6, dan 9) menunjukkan nilai dalam batas toleransi standar. Ini menandakan bahwa poros motor listrik dan generator telah sejajar dengan baik.

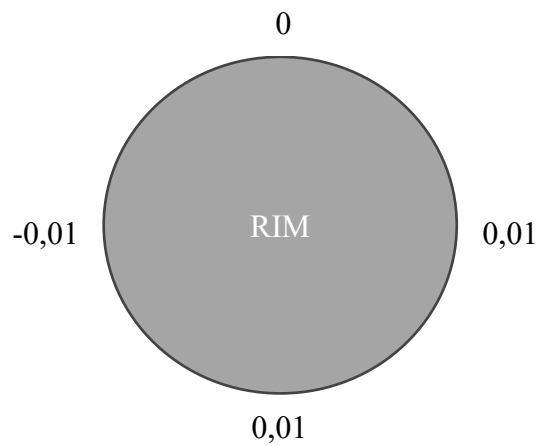
Selanjutnya, dilakukan pengujian getaran untuk menilai kestabilan sistem. Hasil menunjukkan penurunan signifikan pada tingkat getaran dibandingkan kondisi saat *misalignment*.

Pengukuran daya *input* dan *output* motor listrik juga dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi sistem. Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan efisiensi kerja setelah *alignment* dilakukan, yang berarti sistem bekerja lebih stabil dan optimal.

4.4.1 Pengukuran *Alignment*

Tabel 4. 5 Arah *radial* kondisi *alignment* pembebanan 350,600,1000 W

No	Posisi Pengambilan Data Alignment Searah Jarum Jam (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 9	Arah Jam 6	Arah Jam 3
1	0	-0,01	0	0,01
2	0	-0,02	-0,01	0,01
3	0	0	-0,01	0,01
4	0	-0,01	-0,01	0,01
Rata-rata	0	-0,01	-0,01	0,01

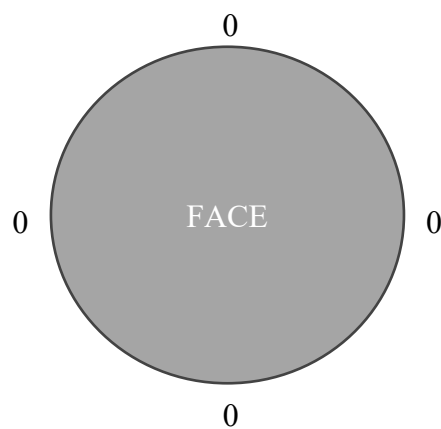


Gambar 4. 11 Data pengukuran *radial* kondisi *alignment*

Vertical	Horizontal
$V_0 = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2}$	$H_0 = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2}$
$V_0 = \frac{\text{Dir 12} - \text{Dir 6}}{2}$	$H_0 = \frac{\text{Dir 3} - \text{Dir 9}}{2}$
$V_0 = \frac{0-0,01}{2}$	$H_0 = \frac{-0,01-0,01}{2}$
$V_0 = 0 \text{ m}$	$H_0 = 0 \text{ mm}$

Tabel 4. 6 Arah axial kondisi alignment pembebanan 350,600,1000 W

No	Posisi Pengambilan Data Alignment Searah Jarum Jam (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 9	Arah Jam 6	Arah Jam 3
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Rata-rata	0	0	0	0



Gambar 4. 12 Data pengukuran *axial* kondisi *alignment*

Vertical	Horizontal
$V_0 = \frac{\text{Face Dial (DIF)TIF}}{D \text{ Coupling}}$	$V_H = \frac{\text{Face Dial (DIF)TIF}}{D \text{ Coupling}}$
$V_0 = \frac{\text{Dif 12 - Dif 6}}{D \text{ Coupling}}$	$V_H = \frac{\text{Dif 3 - Dif 9}}{D \text{ Coupling}}$
$V_0 = \frac{0-0}{89}$	$V_H = \frac{0-0}{89}$
$V_0 = 0 \text{ mm}$	$V_H = 0 \text{ mm}$

4.4.2 Hasil Pengambilan Data Getaran Alignment

- Pembebanan DE dan NDE Motor

Tabel 4. 7 Pembebanan 350

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	1.8	Satisfactory
DE Motor	Vertikal	1.7	Satisfactory
DE Motor	Axial	2.1	Unsatisfactory
NDE Motor	Horizontal	2.5	Unsatisfactory
NDE Motor	Vertikal	4.0	Unsatisfactory
NDE Motor	Axial	4.6	Unacceptable

- Pembebanan DE dan NDE Generator

Tabel 4. 8 Pembebanan 350

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	3,0	Unsatisfactory
DE Generator	Vertikal	3,0	Unsatisfactory
DE Generator	Axial	2,7	Unsatisfactory
NDE Generator	Horizontal	5,8	Unacceptable
NDE Generator	Vertikal	6,1	Unacceptable
NDE Generator	Axial	5,2	Unacceptable

Pada pembebanan 350 W, nilai getaran motor tercatat dalam rentang 1,7–4,6 mm/s. Nilai terendah terdapat pada arah *vertikal* DE motor sebesar 1,7 mm/s (*satisfactory*), sedangkan nilai tertinggi pada arah *aksial* NDE motor sebesar 4,6 mm/s (*unacceptable*).

Pada generator, nilai getaran berada pada kisaran 2,7–6,1 mm/s. Nilai terendah tercatat pada arah *aksial* DE generator sebesar 2,7 mm/s (*unsatisfactory*), sedangkan nilai tertinggi pada arah *vertikal* NDE generator sebesar 6,1 mm/s (*unacceptable*).

- Pembebanan DE dan NDE Motor

Tabel 4. 9 Pembebanan 600

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	1.9	Unsatisfactory
DE Motor	Vertikal	0.8	Satisfactory
DE Motor	Axial	1.4	Satisfactory
NDE Motor	Horizontal	2.9	Unsatisfactory
NDE Motor	Vertikal	2.4	Unsatisfactory
NDE Motor	Axial	2.6	Unsatisfactory

- Pembebanan DE dan NDE Generator

Tabel 4. 10 Pembebanan 600

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	3.9	Unsatisfactory
DE Generator	Vertikal	3.3	Unsatisfactory
DE Generator	Axial	3.8	Unsatisfactory
NDE Generator	Horizontal	5.6	Unacceptable
NDE Generator	Vertikal	4.4	Unsatisfactory
NDE Generator	Axial	4.8	Unacceptable

Pada pembebanan 600 W, motor menunjukkan nilai getaran antara 0,8–2,9 mm/s. Nilai terendah terdapat pada arah *vertikal* DE motor sebesar 0,8 mm/s (*satisfactory*), sedangkan nilai tertinggi tercatat pada arah *horizontal* NDE motor sebesar 2,9 mm/s (*unsatisfactory*).

Pada generator, nilai getaran berada dalam kisaran 3,3–5,6 mm/s. Nilai terendah terdapat pada arah *vertikal* DE generator sebesar 3,3 mm/s (*unsatisfactory*), sedangkan nilai tertinggi pada arah *horizontal* NDE generator sebesar 5,6 mm/s (*unacceptable*).

- Pembebanan DE dan NDE Motor

Tabel 4. 11 Pembebanan 1000

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	2.6	Unsatisfactory
DE Motor	Vertikal	1.6	Satisfactory
DE Motor	Axial	2.4	Unsatisfactory
NDE Motor	Horizontal	4.0	Unsatisfactory
NDE Motor	Vertikal	3.6	Unsatisfactory
NDE Motor	Axial	3.9	Unsatisfactory

- Pembebanan DE dan NDE Generator

Tabel 4. 12 Pembebanan 1000

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	2.6	Unsatisfactory
DE Generator	Vertikal	1.6	Satisfactory
DE Generator	Axial	2.4	Unsatisfactory
NDE Generator	Horizontal	4.7	Unacceptable
NDE Generator	Vertikal	3.3	Unsatisfactory
NDE Generator	Axial	2.8	Unsatisfactory

Pada pembebanan 1000 W, nilai getaran motor berada pada rentang 1,6–4,0 mm/s. Nilai terendah tercatat pada arah *vertikal* DE motor sebesar 1,6 mm/s (*satisfactory*), sedangkan nilai tertinggi terdapat pada arah *horizontal* NDE motor sebesar 4,0 mm/s (*unsatisfactory*).

Pada generator, nilai getaran tercatat dalam rentang 1,6–4,7 mm/s. Nilai terendah terdapat pada arah *vertikal* DE generator sebesar 1,6 mm/s (*satisfactory*), sedangkan nilai tertinggi pada arah *horizontal* NDE generator sebesar 4,7 mm/s (*unacceptable*).

4.4.3 Hasil Pengambilan Data Daya *Input* Dan *Output* serta

Efisiensi Motor Generator Kondisi *Alignment*

Pengukuran daya *input* dilakukan menggunakan Chauvin Arnoux PEL 103 pada sisi motor listrik, sedangkan daya *output* diukur dengan Lutron DW-6093 pada

sisi generator. Nilai daya *input* dan *output* kemudian dibandingkan untuk memperoleh efisiensi system motor dan generator. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan daya keluar terhadap daya masuk.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- Pembenana 350 W

$$n = \frac{343}{648} \times 100\%$$

$$n = 52,9\%$$

- Pembenanan 600 W

$$n = \frac{641}{1110} \times 100\%$$

$$n = 57,7 \%$$

- Pembebanan 1000 W

$$n = \frac{795}{1440} \times 100\%$$

$$n = 55,2 \%$$

Tabel 4. 13 Efisiensi kondisi *alignment*

Beban W	Daya Input P_{in} (W)	Daya Output P_{out} (W)	Efisiensi
350 W	648	343	52.9 %
600 W	1110	641	57.7 %
1000 W	1440	795	55.2 %

Hasil pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.13

- Beban 350 W menghasilkan daya *input* sebesar 648 W dan daya *output* 343 W dengan efisiensi 52.9 %. Efisiensi masih rendah karena pada beban kecil rugi-

rugi listrik dan mekanis lebih dominan dibanding daya keluaran.

- Beban 600 W menunjukkan peningkatan efisiensi hingga 57.7 %, dengan daya *input* 1110 W dan *output* 641 W. Hal ini menandakan sistem bekerja lebih optimal pada beban menengah.
- Beban 1000 W menghasilkan efisiensi 55.2 %, sedikit menurun dibanding beban menengah. Penurunan ini disebabkan adanya rugi panas yang meningkat pada motor dan generator.

Secara umum, kondisi *alignment* memberikan efisiensi rata-rata sekitar 52–57 %, dengan kinerja paling optimal pada beban menengah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem motor–generator dalam kondisi sejajar bekerja lebih stabil dan memiliki kerugian daya yang lebih kecil.

4.4.4 Hasil Pengambilan Data Temperatur Motor Listrik–Generator pada Kondisi Alignment

Pada kondisi *alignment*, poros motor listrik dan generator berada pada posisi sejajar serta lurus sesuai standar toleransi. Kondisi ini meminimalkan terjadinya gesekan maupun beban tambahan pada kopling dan bantalan, sehingga distribusi panas pada mesin relatif stabil. Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan FLIR TG165 untuk memantau suhu komponen utama motor dan generator secara *non-kontak*. Data temperatur yang diperoleh pada kondisi *alignment* digunakan sebagai nilai pembanding (*baseline*) terhadap hasil pengukuran pada kondisi *misalignment*.

Tabel 4. 14 Temperatur kondisi *alignment*

Waktu	Suhu Awal (°C)	Mesin	Pembebanan	Titik	Emisivitas	Suhu (°C)
20 MENIT	29,8	Motor Listrik	350 W	DE	0.95	46,8
				TENGAH	0.95	46,2
				NDE	0.95	43,4
				KOPLING	0.30	40
		Generator		DE	0.95	38,5
				TENGAH	0.95	44,9
				NDE	0.95	39,5
		Motor Listrik	600W	DE	0.95	53,2
				TENGAH	0.95	55
				NDE	0.95	48,1
				KOPLING	0.30	47,3
	29,8	Generator		DE	0.95	44
				TENGAH	0.95	57,2
				NDE	0.95	40,7
		Motor Listrik	1000W	DE	0.95	61,6
				NDE	0.95	53,6
				TENGAH	0.95	61,2
				KOPLING	0.30	52,3
		Generator		DE	0.95	47
				TENGAH	0.95	63,7
				NDE	0.95	43,9

Pada kondisi *alignment*, distribusi panas pada motor listrik dan generator relatif lebih stabil karena posisi poros sejajar sehingga gesekan dan beban tambahan pada kopling maupun bantalan dapat diminimalkan.

Dari hasil tabel 4.14, terlihat bahwa pada pembebanan 350 W hingga 1000 W, kenaikan suhu pada titik DE, NDE, dan tengah motor berkisar antara 46–61 °C, sementara generator berkisar pada 38–63 °C. Suhu kopling juga relatif lebih rendah, berada pada kisaran 47–52 °C. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kestabilan temperatur meskipun pembebanan meningkat.

Kondisi ini sesuai dengan teori bahwa *alignment* yang baik dapat mengurangi rugi-rugi energi akibat gesekan, sehingga temperatur komponen meningkat secara wajar dan masih dalam batas aman.

4.5 Pengukuran Misalignment Kombinasi, Getaran, Temperatur, dan Efisiensi Motor Generator

Pengukuran *misalignment cobination* dilakukan menggunakan metode *face and rim* pada empat titik pengukuran (posisi jam 12, 9, 6, dan 3) dengan menggunakan dial indikator. Data hasil pengukuran *face dan rim* kemudian dianalisis untuk mengetahui tingkat ketidaksejajaran sudut antara poros motor listrik dan *dynamo alternator*.

Selain itu, dilakukan pengujian getaran pada motor untuk mengetahui pengaruh misalignment terhadap kestabilan operasional. Pengujian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar perubahan nilai getaran yang timbul ketika kondisi poros tidak sejajar.

Pengukuran *daya input dan output* motor listrik juga dilakukan guna mengevaluasi efisiensi kerja sistem ketika terjadi misalignment. Data hasil pencatatan dari alat ukur digunakan untuk mengetahui perbandingan daya masuk dengan daya yang

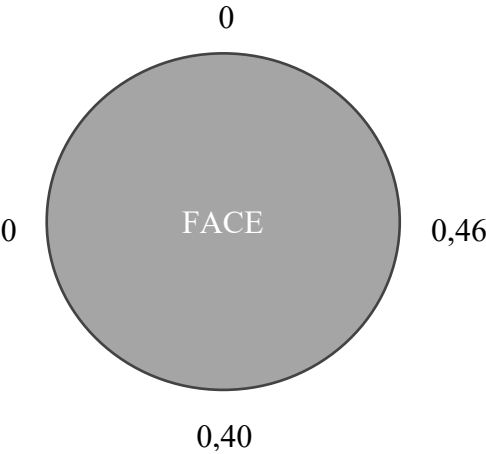
dihasilkan generator.

Selanjutnya, dilakukan pula pengukuran temperatur pada motor listrik, generator, serta area kopling menggunakan *thermal camera* FLIR TG-165. Pengukuran temperatur ini bertujuan untuk mengamati distribusi panas yang timbul akibat kondisi *misalignment angular*, sehingga dapat diketahui kecenderungan peningkatan suhu pada komponen-komponen kritis yang berpotensi mempengaruhi kinerja sistem.

4.5.1 Pengukuran Misalignment Kombinasi

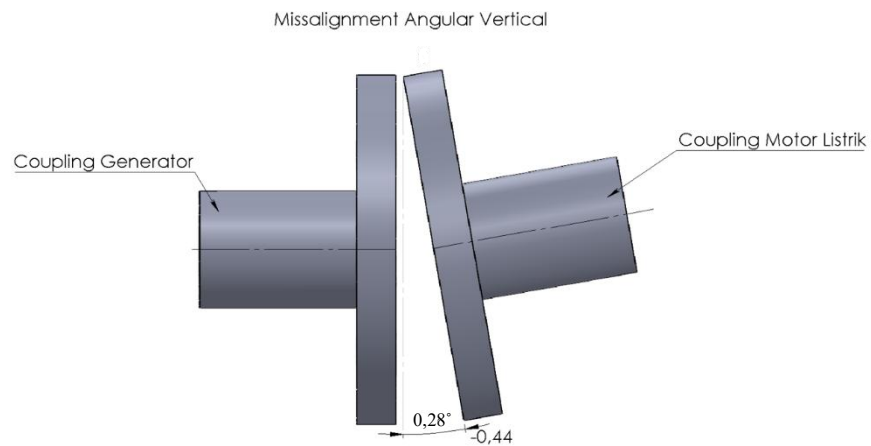
Tabel 4. 15 Pengujian *misalignment angular* dengan beban 350,600,1000W

No	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
1	0	0	0.40	0.46
2	0	0	0.40	0.46
3	0	0	0.40	0.46
4	0	0	0.40	0.46
Rata-Rata	0	0	0.40	0.46

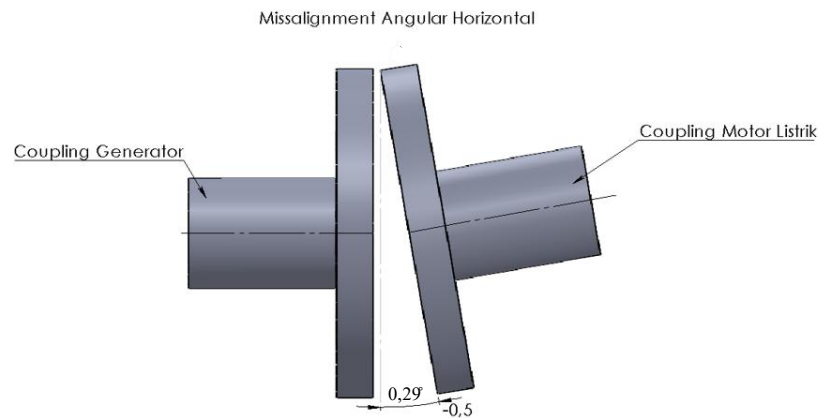


Gambar 4. 13 Data pengukuran *angular*

Vertical	Horizontal
$V_A = \frac{\text{Face Dial (DIF)TIF}}{D_{\text{Coupling}}}$	$H_A = \frac{\text{Face Dial (DIF)TIF}}{D_{\text{coupling}}}$
$V_A = \frac{\text{Dif 12 - Dif 6}}{D_{\text{Coupling}}}$	$H_A = \frac{\text{Dif 3 - Dif 9}}{D_{\text{Coupling}}}$
$V_A = \frac{0 - 0,40}{89}$	$H_A = \frac{0 - 0,46}{89}$
$V_A = -0,0044 \text{ mm/mm}$	$H_A = -0,0051 \text{ mm/mm}$
$V_A = -0,44 \text{ mm}$	$H_A = -0,51 \text{ mm}$



Gambar 4. 14 Posisi *angular vertikal* (Pandangan samping)



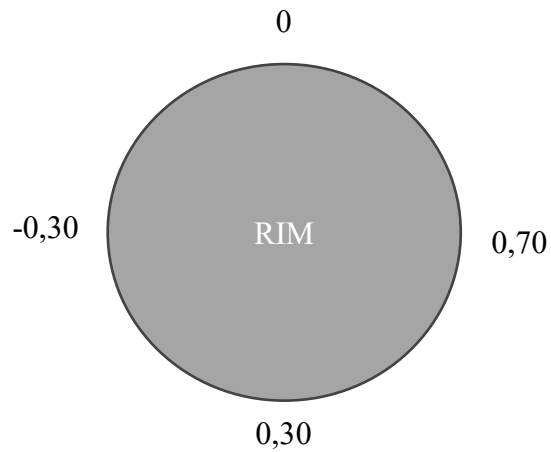
Gambar 4. 15 Posisi *angular horizontal* (Pandangan atas)

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan metode *face and rim*, diperoleh data bahwa terjadi penyimpangan (*misalignment*) antara kopling *driver* (motor) dan kopling *driven* (*generator*) yang melebihi batas toleransi. Penyimpangan ini ditunjukkan dari bacaan dial indicator pada *rim* yang mengukur *offset* (*misalignment radial*), serta bacaan dial indicator pada *face* yang mengukur *angular misalignment*.

Untuk memperkecil nilai penyimpangan tersebut, perlu dilakukan reposisi pada salah satu mesin. Pada simulasi ini, dilakukan reposisi pada kopling *driven* (*generator*) dengan mengacu pada hasil pembacaan dial indicator.

Tabel 4. 16 Pengujian *misalignment offset* dengan beban 350,600,1000W

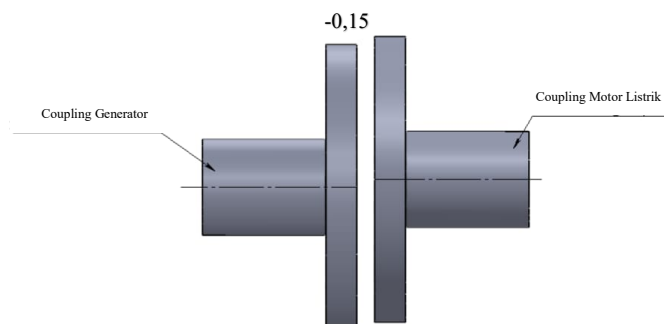
No	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
1	0	0.7	0.3	-0.3
2	0	0.7	0.3	-0.3
3	0	0.7	0.3	-0.3
4	0	0.7	0.3	-0.3
Rata-Rata	0	0.7	0.3	-0.3



Gambar 4. 16 Data pengukuran *offset*

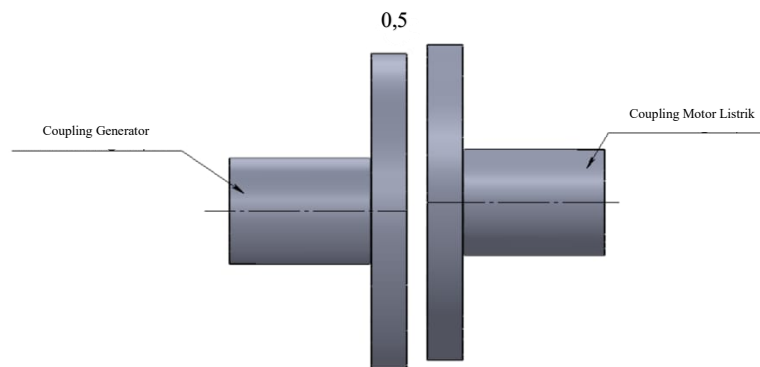
Vertical	Horizontal
$V_o = \frac{\text{RIM Dial (DIR)TIR}}{2}$	$H_o = \frac{\text{RIM Dial (DIR)TIR}}{2}$
$V_o = \frac{\text{Dif 12} - \text{Dif 6}}{2}$	$H_o = \frac{\text{Dif 3} - \text{Dif 9}}{2}$
$V_o = \frac{0 - 0,30}{2}$	$H_o = \frac{0,70 - (-0,30)}{2}$
$V_o = -0,15 \text{ mm}$	$H_o = 0,5 \text{ mm}$

Misalignment Offset Vertikal



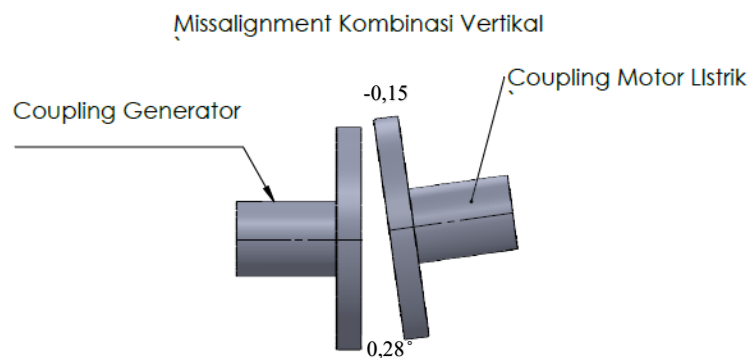
Gambar 4. 17 Posisi *offset vertical* (Pandangan samping)

Misalignment Offset Horizontal

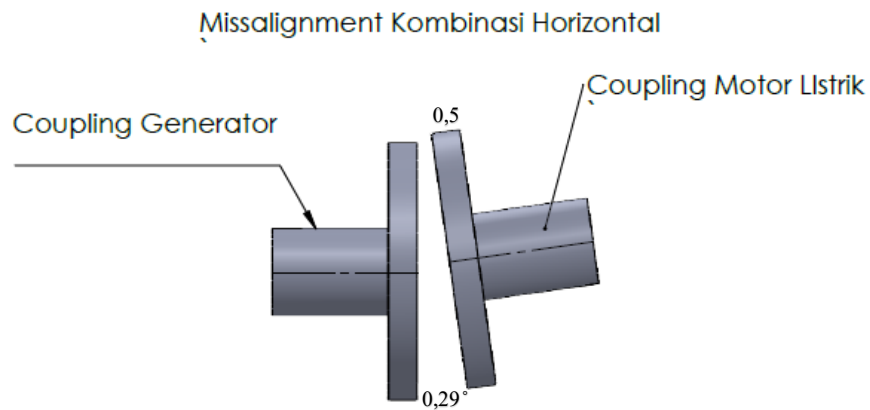


Gambar 4. 18 Posisi *offset horizontal* (pandangan atas)

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan metode *face and rim*, diperoleh data bahwa terjadi penyimpangan (*misalignment*) antara kopling *driver* (motor) dan kopling *driven* (*generator*) yang melebihi batas toleransi. Penyimpangan ini ditunjukkan dari bacaan dial indicator pada *rim* yang mengukur *offset* (*misalignment radial*), serta bacaan dial indicator pada *face* yang mengukur *angular misalignment*.



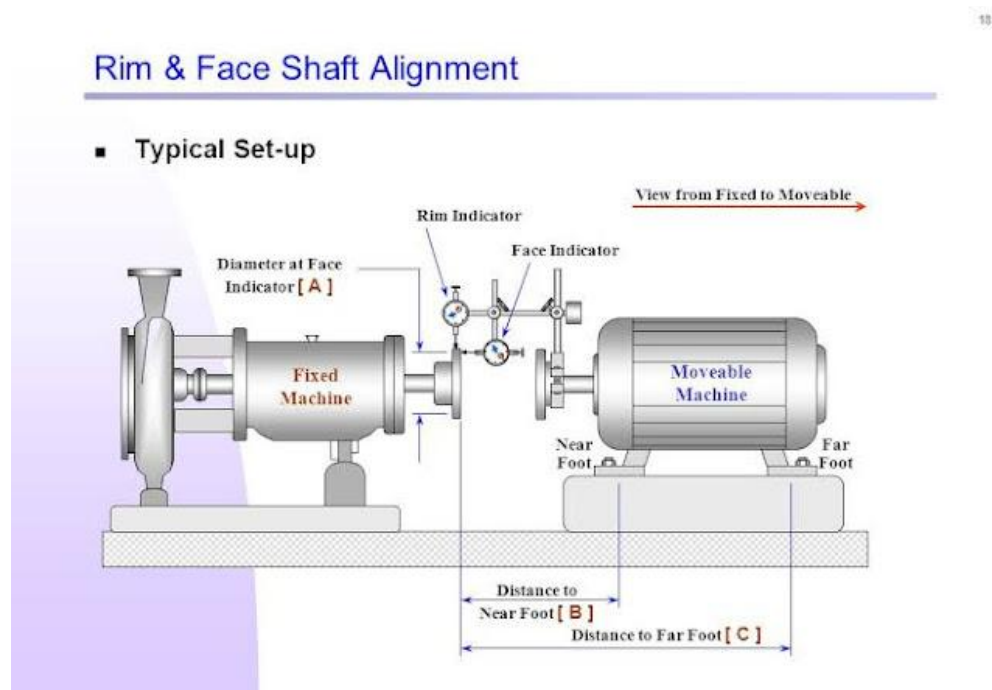
Gambar 4. 19 Posisi *misalignment* kombinasi *vertikal* (pandangan samping)



Gambar 4. 20 Posisi *misalignment* kombinasi *horizontal* (pandangan atas)

Untuk memperkecil nilai penyimpangan tersebut, perlu dilakukan reposisi pada salah satu mesin. Pada simulasi ini, dilakukan reposisi pada kopling *driven* (generator) dengan mengacu pada hasil pembacaan dial indicator.

Perhitungan



Gambar 4. 21 *Rim and face shaft alignment*

A	= 89 mm
B	= 99,8 mm
C	= 195 mm
Face TIR Vertikal	= -0,59 mm
Face TIR Horizontal	= 0,51 mm
Rim TIR Vertikal	= -0,30 mm
Rim TIR Horizontal	= 0,10 mm

- Kaki depan (*Front Foot*)

$$\Delta F = \left(\frac{\text{Face TIR}}{A} \times B \right) + \frac{1}{2} \text{ Rim TIR}$$

- Kaki belakang (*Rear Foot*)

$$\Delta R = \left(\frac{\text{Face TIR}}{A} \times (B + C) \right) + \frac{1}{2} \text{ Rim TIR}$$

- Vertikal (*Shim*)

$$\Delta F_V = \left(\frac{-0,59}{89} \times 99,8 \right) + \frac{1}{2} (-0,30) = 0,81 \text{ mm}$$

$$\Delta R_V = \left(\frac{-0,59}{89} \times (99,8 + 195) \right) + \frac{1}{2} (-0,30) = 2,10 \text{ mm}$$

- Horizontal (geser)

$$\Delta F_H = \left(\frac{0,51}{89} \times 99,8 \right) + \frac{1}{2} 0,10 = 0,62 \text{ mm}$$

$$\Delta R_H = \left(\frac{0,51}{89} \times (99,8 + 195) \right) + \frac{1}{2} 0,10 = 1,73 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan reposisi menggunakan metode *face and rim*, diperoleh empat komponen koreksi yaitu ΔF_v , ΔR_v , ΔF_h , dan ΔR_h . Nilai ΔF_v dan ΔR_v memperlihatkan besarnya penambahan *shim* pada kaki depan dan belakang mesin untuk mengoreksi sudut *misalignment* pada bidang *vertikal*. Sementara itu, ΔF_h dan ΔR_h menunjukkan nilai pergeseran pada kaki depan dan belakang mesin untuk mengoreksi sudut *misalignment* pada bidang *horizontal*.

Dari data pengukuran, diperoleh kebutuhan koreksi sebesar 0,81 mm pada kaki depan dan 2,10 mm pada kaki belakang untuk arah *vertikal*. Pada bidang *horizontal*, mesin perlu digeser sebesar 0,62 mm pada kaki depan dan 1,73 mm pada kaki belakang ke arah jam 9. Dengan melakukan koreksi tersebut, sudut *misalignment angular* dapat dihilangkan dan kinerja sistem dapat lebih stabil serta efisien.

4.5.2 Pengukuran Getaran pada *Misalignment* Kombinasi

Tabel 4. 17 Pembebanan motor listrik 350 Watt

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	6.3	Unacceptable
DE Motor	Vertikal	7.9	Unacceptable
DE Motor	Axial	7.1	Unacceptable
NDE Motor	Horizontal	10.5	Unacceptable
NDE Motor	Vertikal	9.4	Unacceptable
NDE Motor	Axial	7.6	Unacceptable

Tabel 4. 18 Pembebanan generator 350 Watt

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	8.6	Unacceptable
DE Generator	Vertikal	5.2	Unacceptable
DE Generator	Axial	4.8	Unacceptable
NDE Generator	Horizontal	9.3	Unacceptable
NDE Generator	Vertikal	10.5	Unacceptable
NDE Generator	Axial	7.7	Unacceptable

Pada pembebanan 350 W, motor menunjukkan nilai getaran dalam kisaran 6,3–10,5 mm/s. Nilai terendah tercatat pada arah *horizontal* DE motor sebesar 6,3 mm/s, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada arah *horizontal* NDE motor sebesar 10,5 mm/s, keduanya masuk kategori *unacceptable*.

Pada generator beban yang sama menunjukkan nilai getaran antara 4,8–10,5 mm/s, dengan nilai terendah pada arah *aksial* DE generator (4,8 mm/s) dan tertinggi pada arah *vertikal* NDE generator (10,5 mm/s), yang seluruhnya juga termasuk *unacceptable*.

Tabel 4. 19 Pembebanan motor listrik 600 Watt

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	6.6	Unacceptable
DE Motor	Vertikal	6.7	Unacceptable
DE Motor	Axial	6.0	Unacceptable
NDE Motor	Horizontal	8.5	Unacceptable
NDE Motor	Vertikal	7.6	Unacceptable
NDE Motor	Axial	6.8	Unacceptable

Tabel 4. 20 Pembebanan generator 600 Watt

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	8.0	Unacceptable
DE Generator	Vertikal	8.9	Unacceptable
DE Generator	Axial	6.8	Unacceptable
NDE Generator	Horizontal	10.0	Unacceptable
NDE Generator	Vertikal	11.1	Unacceptable
NDE Generator	Axial	9.3	Unacceptable

Pada pembebanan 600 W, motor memiliki rentang nilai getaran 6,0–8,5 mm/s. Nilai terendah tercatat pada arah *aksial* DE motor (6,0 mm/s), sedangkan nilai tertinggi terdapat pada arah *horizontal* NDE motor (8,5 mm/s).

Pada generator, nilai getaran berada pada kisaran 6,8–11,1 mm/s. Nilai terendah terjadi pada arah *aksial* DE generator (6,8 mm/s), sementara nilai tertinggi

pada arah *vertikal* NDE generator (11,1 mm/s). Seluruh nilai termasuk kategori *unacceptable*.

Tabel 4. 21 Pembebanan motor listrik 1000 watt

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	6.3	Unacceptable
DE Motor	Vertikal	6.0	Unacceptable
DE Motor	Axial	5.0	Unacceptable
NDE Motor	Horizontal	6.2	Unacceptable
NDE Motor	Vertikal	8.9	Unacceptable
NDE Motor	Axial	7.3	Unacceptable

Tabel 4. 22 Pembebanan generator 1000 Watt

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	6.3	Unacceptable
DE Generator	Vertikal	6.9	Unacceptable
DE Generator	Axial	6.8	Unacceptable
NDE Generator	Horizontal	8.8	Unacceptable
NDE Generator	Vertikal	8.8	Unacceptable
NDE Generator	Axial	9.1	Unacceptable

Pada pembebanan 1000 W, nilai getaran motor tercatat dalam rentang 5,0–8,9 mm/s. Nilai terendah terdapat pada arah *aksial* DE motor (5,0 mm/s), sedangkan nilai tertinggi tercatat pada arah *vertikal* NDE motor (8,9 mm/s).

Pada generator, nilai getaran berada dalam kisaran 6,3–9,1 mm/s. Nilai terendah tercatat pada arah *horizontal* DE generator (6,3 mm/s), sedangkan nilai tertinggi pada arah *aksial* NDE generator (9,1 mm/s). Semua titik ukur tetap berada pada kategori *unacceptable*.

4.5.3 Pengukuran Daya Input dan Output Misalignment Kombinasi

Pengukuran daya *input* dilakukan menggunakan Chauvin Arnoux PEL 103 pada sisi motor listrik, sedangkan daya *output* diukur dengan Lutron DW-6093 pada sisi generator. Nilai daya *input* dan *output* kemudian dibandingkan untuk memperoleh efisiensi system motor dan generator. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan daya keluar terhadap daya masuk.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

- Pembebanan 350 W

$$n = \frac{349}{665} \times 100\%$$

$$n = 52.4 \%$$

- Pembebanan 600 W

$$n = \frac{637}{1111} \times 100\%$$

$$n = 57.3 \%$$

- Pembebanan 1000 W

$$n = \frac{786}{1436} \times 100\%$$

$$n = 54.7 \%$$

Tabel 4. 23 Efisiensi kombinasi motor-generator

Beban W	Daya Input $P_{in}(W)$	Daya Output $P_{out} (W)$	Efisiensi
350 W	665	349	52.4 %
600 W	1111	637	57.3 %
1000 W	1436	786	54,7 %

Data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.23

- Beban 350 W menghasilkan daya *input* 665 W dan daya *output* 349 W dengan efisiensi 52.4 %. Efisiensi lebih rendah dibanding kondisi *alignment*, karena rugi-rugi getaran dan gesekan lebih dominan pada beban rendah.
- Beban 600 W memberikan efisiensi 57,3 % dengan daya *input* 1111 W dan *output* 637 W. Nilai ini hampir sama dengan kondisi *alignment*, menandakan sistem masih dapat bekerja cukup baik pada beban menengah meskipun tidak selaras.
- Beban 1000 W menunjukkan efisiensi 54,7 %, sama saat kondisi *alignment*. Namun, hal ini tidak berarti lebih baik, melainkan fenomena sesaat yang dipengaruhi oleh distribusi daya, sedangkan dalam jangka panjang *misalignment* tetap merugikan karena menimbulkan getaran dan panas berlebih.

Dengan demikian, efisiensi pada kondisi *misalignment* kombinasi rata-rata

berada di kisaran 52–57 %. Meskipun pada beban tinggi terlihat sedikit lebih besar dibanding *alignment*, kondisi ini tidak stabil dan berpotensi mempercepat kerusakan komponen.

4.5.4 Hasil Pengambilan Data Temperatur Motor Listrik–Generator pada Kondisi Misalignment Kombinasi

Pengukuran temperatur dilakukan untuk memantau perubahan panas pada motor listrik dan generator ketika mengalami kondisi *misalignment* kombinasi. Kenaikan suhu biasanya terjadi akibat peningkatan gesekan dan beban tidak merata pada poros serta kopling. Proses pengukuran menggunakan FLIR TG165, yaitu alat ukur temperatur berbasis infrared yang dapat merekam nilai suhu secara cepat dan akurat tanpa kontak langsung dengan objek.

Tabel 4. 24 Temperatur *misalignment* kombinasi

Waktu	Suhu Awal (°C)	Mesin	Pembebanan	Titik	Emisivitas	SUHU (°C)	
20 Menit	33.8	Motor Listrik	350W	DE	0.95	48.7	
				TENGAH	0.95	48.0	
				NDE	0.95	44.2	
				KOPLING	0.30	42.5	
				DE	0.95	41.0	
		Generator		TENGAH	0.95	45.3	
				NDE	0.95	42.2	
				DE	0.95	59.4	
				TENGAH	0.95	58.7	
				NDE	0.95	51.2	
	34.2	Motor Listrik	600W	KOPLING	0.30	49,4	
				DE	0.95	47.1	
				TENGAH	0.95	53.2	
				NDE	0.95	43.5	
				DE	0.95	68.5	
		Motor Listrik		TENGAH	0.95	66.5	
				NDE	0.95	59.4	
				KOPLING	0.30	62.1	
				DE	0.95	52.1	
				TENGAH	0.95	55.6	
	34,8	Generator	1000W	NDE	0.95	45.4	

Pada kondisi *misalignment* kombinasi, terlihat adanya peningkatan temperatur yang lebih signifikan. Dari tabel 4.24, pada pembebanan 350 W hingga 1000 W, suhu motor listrik meningkat lebih tinggi, dengan titik DE mencapai 68,5 °C dan titik tengah mencapai 66,5 °C, sementara generator juga menunjukkan kenaikan pada titik tengah hingga 55.6 °C. Suhu kopling pun naik, tercatat hingga 62.1 °C.

Kenaikan ini terjadi akibat gesekan tambahan dan beban yang tidak merata pada poros dan kopling, yang menyebabkan panas lebih cepat terakumulasi. Dibandingkan kondisi *alignment*, nilai suhu rata-rata pada titik kritis (DE, Tengah, Kopling) meningkat sekitar 5–15 °C.

4.6 Pembahasan Data Getaran, Efisiensi, dan Temperatur pada kondisi *Alignment* dan *Misalignment* Kombinasi

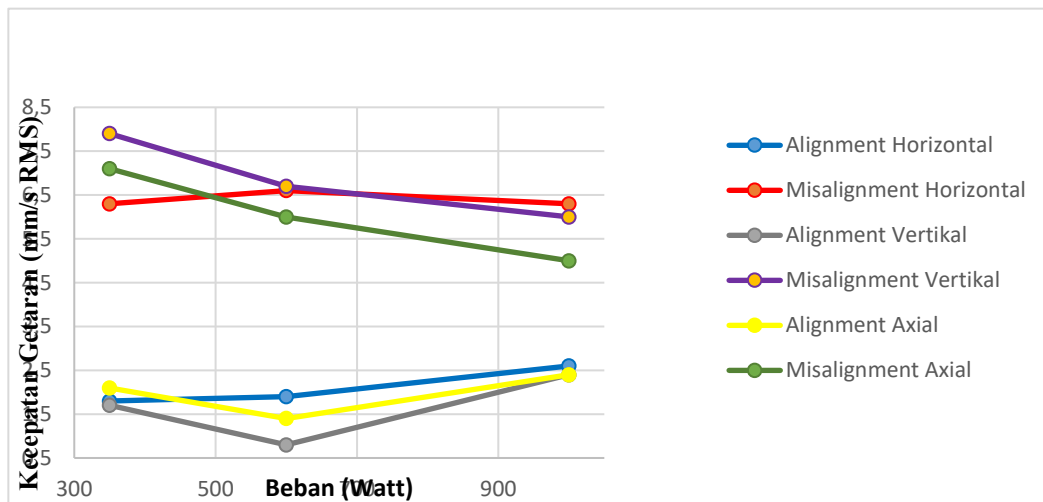
Pada bagian ini disajikan hasil pembahasan mengenai perbandingan kinerja sistem motor–generator dalam kondisi *alignment* dan *misalignment* kombinasi. Analisis dilakukan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu getaran, efisiensi daya motor–generator, serta temperatur komponen kritis pada motor listrik, generator, dan kopling. Data perbandingan ditampilkan dalam bentuk diagram batang untuk memudahkan visualisasi, kemudian dijelaskan secara deskriptif guna memberikan gambaran kecenderungan perubahan yang terjadi akibat *misalignment*.

4.6.1 Perbandingan Nilai Getaran pada Kondisi *Alignment* dan *Misalignment*

1. Perbandingan Grafik Getaran *Alignment* dan *Misalignment* DE Motor

Tabel 4. 25 Perbandingan kecepatan getaran DE motor

Beban (W)	Alignment Horizontal (mm/s)	Misalignment Horizontal (mm/s)	Alignment Vertikal (mm/s)	Misalignment Vertikal (mm/s)	Alignment Axial (mm/s)	Misalignment Axial (mm/s)
350	1,8	6,3	1,7	7,9	2,1	7,1
600	1,9	6,6	0,8	6,7	1,4	6
1000	2,6	6,3	2,4	6	2,4	5



Gambar 4. 22 Perbandingan getaran DE motor

Pada Gambar 4.22 ditunjukkan perbandingan nilai kecepatan getaran pada sisi *Drive End* (DE) motor terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W pada kondisi *alignment* dan *misalignment* di tiga arah pengukuran, yaitu *horizontal*, *vertikal*, dan *aksial*. Secara keseluruhan, nilai getaran pada kondisi *misalignment* memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan kondisi *alignment* pada semua arah pengukuran.

Pada arah *horizontal*, nilai getaran tertinggi terjadi pada kondisi *misalignment* sebesar 6,6 mm/s pada beban 600 W, sedangkan nilai terendah terdapat pada *alignment* sebesar 1,8 mm/s pada beban 350 W. Tren ini menunjukkan bahwa ketidaksejajaran poros memberikan pengaruh besar terhadap peningkatan getaran *horizontal* akibat timbulnya gaya dinamis tambahan.

Pada arah *vertikal*, kondisi *misalignment* juga menunjukkan nilai getaran yang lebih tinggi, dengan nilai maksimum 7,9 mm/s pada beban 350 W. Sebaliknya, getaran *alignment* pada arah *vertikal* berada pada rentang relatif rendah yaitu 0,8–2,4 mm/s, menandakan bahwa ketika poros berada dalam keadaan sejajar.

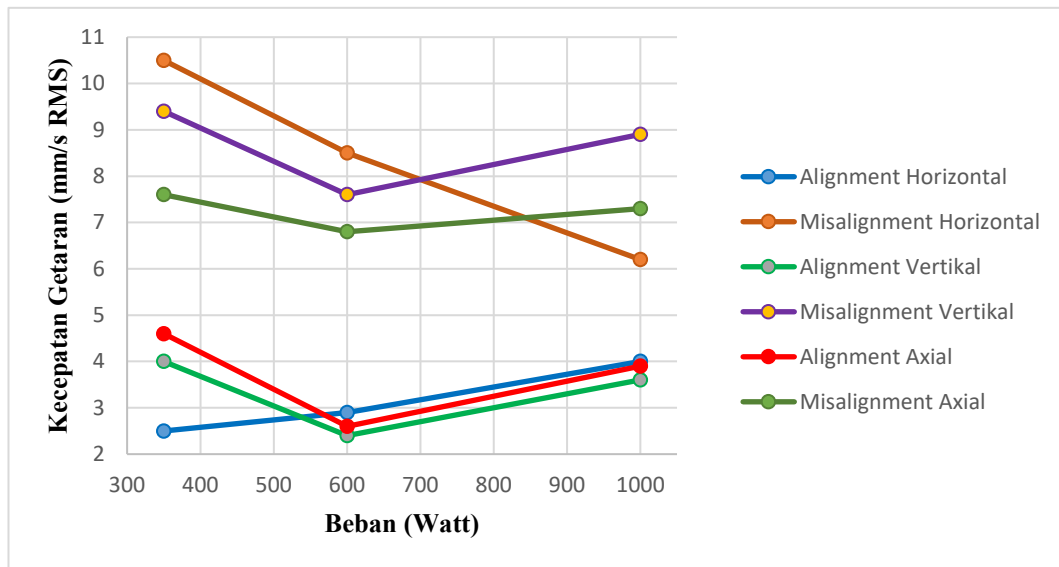
Sementara itu, pada arah *aksial*, kondisi *misalignment* kembali menunjukkan nilai getaran lebih besar, dengan nilai tertinggi 7,1 mm/s pada beban 350 W. Adapun nilai *alignment* aksial tetap rendah dalam kisaran 1,4–2,4 mm/s, yang mengindikasikan ketidakmampuan sistem untuk menahan gaya *aksial* ketika terjadi *misalignment*.

Secara umum, hasil pengujian menunjukkan bahwa *misalignment* berpengaruh signifikan terhadap peningkatan getaran pada ketiga arah pengukuran. Semakin besar ketidaksejajaran poros, maka semakin tinggi nilai getaran yang terjadi. Oleh karena itu, proses *alignment* perlu dilakukan secara tepat untuk menjaga kestabilan operasi motor dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada sistem.

2. Perbandingan Grafik Getaran *Alignment* dan *Misalignment* NDE Motor

Tabel 4. 26 Perbandingan kecepatan getaran NDE motor

Beban (W)	Alignment Horizontal (mm/s)	Misalignment Horizontal (mm/s)	Alignment Vertikal (mm/s)	Misalignment Vertikal (mm/s)	Alignment Axial (mm/s)	Misalignment Axial (mm/s)
350	2,5	10,5	4	9,4	4,6	7,6 mm/s
600	2,9	8,5	2,4	7,6	2,6	6,8
1000	4	6,2	3,6	8,9	3,9	7,3



Gambar 4. 23 Grafik perbandingan getaran NDE motor

Pada Gambar 4.23 diperlihatkan perbandingan nilai kecepatan getaran pada sisi *Non-Drive End* (NDE) motor untuk variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pengukuran dilakukan pada kondisi *alignment* dan *misalignment* pada tiga arah, yaitu *horizontal*, *vertikal*, dan *aksial*. Secara umum, kondisi *misalignment* menunjukkan nilai getaran yang lebih tinggi dibandingkan *alignment*, menandakan terjadinya ketidakseimbangan gaya dinamis akibat ketidakselarasan poros.

Pada arah *horizontal*, nilai getaran *misalignment* memiliki nilai tertinggi yaitu 10,5 mm/s pada beban 350 W, jauh lebih besar dari *alignment* sebesar 2,5 mm/s pada beban yang sama. Tren ini menunjukkan bahwa ketidaksejajaran poros memberikan dampak paling signifikan pada arah *horizontal* di sisi NDE. Seiring peningkatan beban, nilai *misalignment horizontal* cenderung menurun namun masih tetap lebih tinggi dibandingkan *alignment*.

Untuk arah *vertikal*, kondisi *misalignment* juga menunjukkan nilai getaran yang lebih besar dibandingkan *alignment*, dengan nilai maksimum 9,4 mm/s pada

beban 350 W. Sedangkan pada kondisi *alignment*, getaran *vertikal* berada pada rentang 2,4–4 mm/s, menandakan stabilitas sistem yang lebih baik ketika poros berada dalam kondisi sejajar.

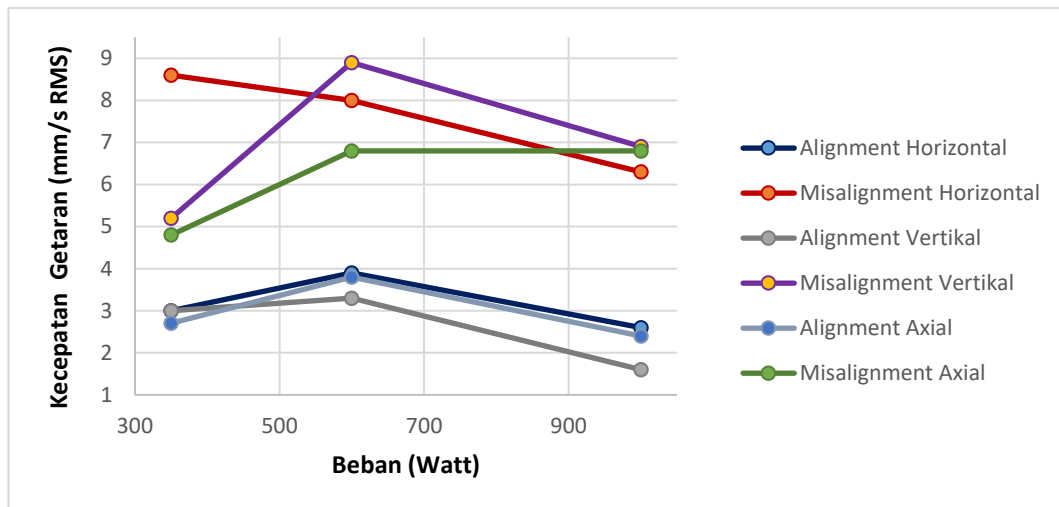
Pada arah *aksial*, nilai getaran *misalignment* berada pada kisaran 6,8–7,6 mm/s, lebih tinggi dibandingkan *alignment* yang berada pada kisaran 2,6–4,6 mm/s. Peningkatan pada misalignment aksial menunjukkan adanya gaya dorong tambahan pada arah sumbu poros akibat ketidaksejajaran.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran pada sisi NDE ini memperlihatkan bahwa *misalignment* memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan getaran pada ketiga arah pengukuran. Getaran tertinggi ditemukan pada *misalignment horizontal* beban 350 W. Hal ini kembali menegaskan pentingnya proses *alignment* yang tepat untuk menjaga kestabilan getaran motor dan mencegah potensi kerusakan pada bantalan serta komponen mekanis lainnya.

3. Perbandingan Grafik Getaran *Alignment* dan *Misalignment* DE Generator

Tabel 4. 27 Perbandingan kecepatan getaran DE generator

Beban (W)	Alignment Horizontal (mm/s)	Misalignment Horizontal (mm/s)	Alignment Vertikal (mm/s)	Misalignment Vertikal (mm/s)	Alignment Axial (mm/s)	Misalignment Axial (mm/s)
350	3	8,6	3	5,2	2,7	4,8
600	3,9	8	3,3	8,9	3,8	6,8
1000	2,6	6,3	1,6	6,9	2,4	6,8



Gambar 4. 24 Grafik perbandingan getaran DE generator

Pada Gambar 4.24 ditampilkan perbandingan nilai kecepatan getaran pada sisi *Drive End* (DE) generator terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pengukuran dilakukan pada kondisi *alignment* dan *misalignment* pada tiga arah, yaitu *horizontal*, *vertikal*, dan *aksial*. Secara umum, nilai getaran pada kondisi *misalignment* cenderung lebih tinggi dibandingkan *alignment*, sehingga menunjukkan adanya peningkatan gaya dinamis akibat ketidaksejajaran poros.

Pada arah *horizontal*, nilai getaran *misalignment* berada pada kisaran 6,3–8,6 mm/s, dengan nilai tertinggi sebesar 8,6 mm/s pada beban 350 W. Nilai ini jauh lebih besar dibandingkan kondisi *alignment* yang hanya berada pada kisaran 2,6–3,9 mm/s. Hal ini mengindikasikan bahwa ketidaksejajaran poros memberikan pengaruh signifikan terhadap getaran *horizontal* pada sisi DE generator.

Untuk arah *vertikal*, nilai getaran *misalignment* menunjukkan kecenderungan lebih tinggi, dengan nilai maksimum 8,9 mm/s pada beban 600 W. Sedangkan pada *alignment*, getaran *vertikal* memiliki nilai lebih rendah, yaitu 1,6–

3,3 mm/s, menunjukkan stabilitas yang lebih baik saat poros sejajar.

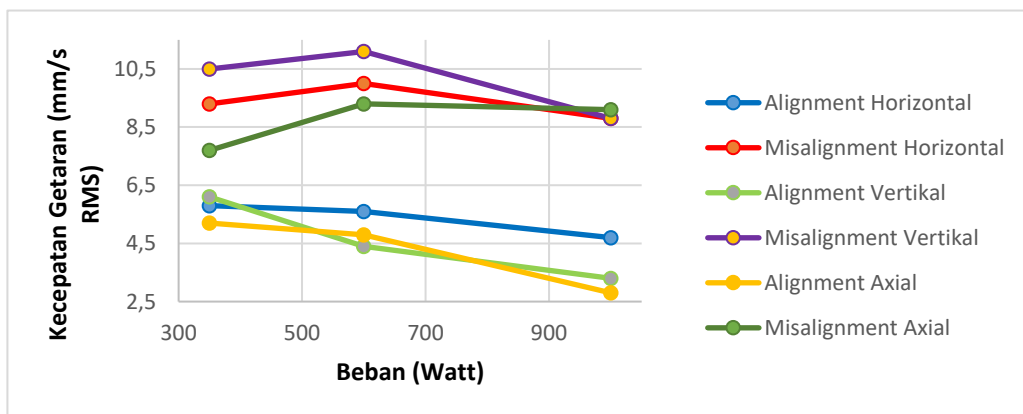
Sementara itu, pada arah *aksial*, kondisi *misalignment* juga menunjukkan nilai getaran yang lebih besar pada setiap variasi beban, yaitu dalam kisaran 4,3–6,8 mm/s, dengan nilai tertinggi pada beban 600 W. Pada kondisi *alignment*, getaran *aksial* jauh lebih rendah yaitu 2,4–3,8 mm/s, menandakan bahwa *alignment* meminimalkan gaya dorong *aksial* yang timbul akibat pergerakan poros.

Secara keseluruhan, hasil pengukuran pada DE generator menggambarkan bahwa *misalignment* memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan getaran pada ketiga arah pengukuran. Nilai getaran tertinggi terjadi pada *misalignment horizontal* beban 350 W dan *misalignment vertikal* beban 600 W.

4. Perbandinga Grafik Getaran *Alignment* dan *Misalignment* NDE Generator

Tabel 4. 28 Perbandingan kecepatan getaran NDE generator

Beban (W)	Alignment Horizontal (mm/s)	Misalignment Horizontal (mm/s)	Alignment Vertikal (mm/s)	Misalignment Vertikal (mm/s)	Alignment Aksial (mm/s)	Misalignment Aksial (mm/s)
350	5,8	9,3	6,1	10,5	5,2	7,7
600	5,6	10	4,4	11,1	4,8	9,3
1000	4,7	8,8	3,3	8,8	2,8	9,1



Gambar 4. 25 Grafik perbandingan getaran NDE generator

Pada Gambar 4.25 ditampilkan perbandingan nilai kecepatan getaran pada sisi *Non-Drive End* (NDE) generator terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pengukuran dilakukan pada kondisi *alignment* dan *misalignment* pada tiga arah pengukuran, yaitu *horizontal*, *vertikal*, dan *aksial*. Secara keseluruhan, kondisi *misalignment* menghasilkan nilai getaran yang lebih tinggi pada seluruh arah pengukuran jika dibandingkan dengan kondisi *alignment*, sehingga menegaskan adanya ketidakseimbangan gaya dinamis akibat ketidaksejajaran poros.

Pada arah *horizontal*, nilai getaran *misalignment* memiliki rentang 8,8–10 mm/s, dengan nilai tertinggi 10 mm/s pada beban 600 W. Nilai ini jauh lebih tinggi daripada *alignment* yang hanya berada pada kisaran 4,7–5,8 mm/s. Hal tersebut menunjukkan bahwa arah *horizontal* sangat sensitif terhadap kondisi *misalignment* pada sisi NDE generator.

Untuk arah *vertikal*, nilai getaran *misalignment* mencapai nilai tertinggi 11,1 mm/s pada beban 600 W, sedangkan nilai *alignment* hanya berada pada rentang 3,3–6,1 mm/s. Tingginya nilai *misalignment vertikal* mengindikasikan pengaruh signifikan dari gaya dinamis yang bekerja secara tegak lurus sumbu poros ketika terjadi ketidaksejajaran.

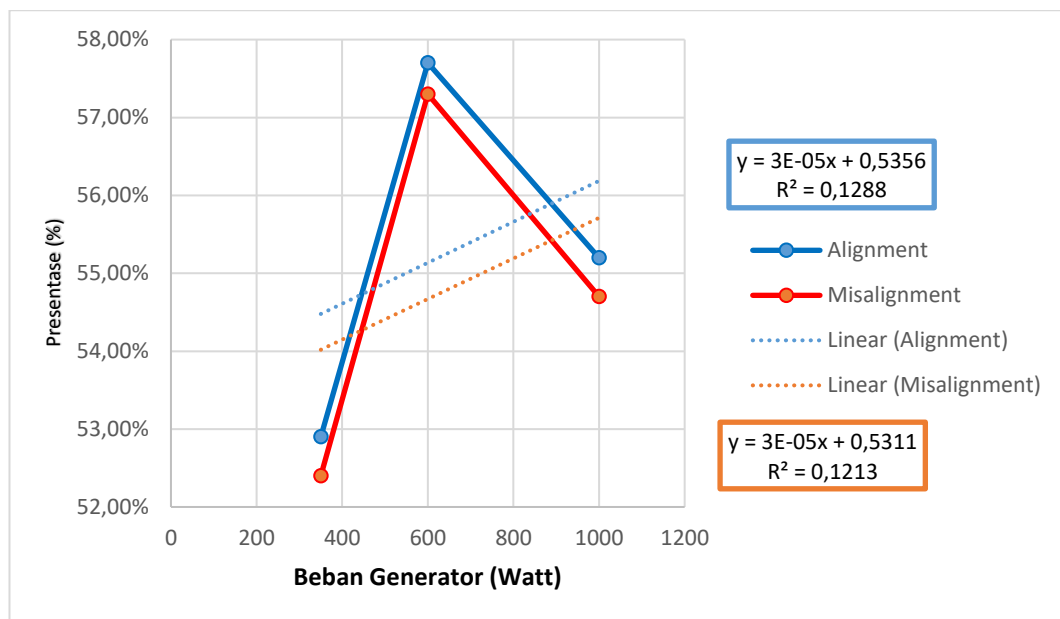
Pada arah *aksial*, nilai getaran *misalignment* berada pada kisaran 7,7–9,3 mm/s, sedangkan pada *alignment* hanya berada pada kisaran 2,8–5,2 mm/s. Hal ini menunjukkan bahwa *misalignment* juga mempengaruhi kestabilan gaya dorong aksial, sehingga meningkatkan getaran sepanjang sumbu poros.

Hasil pengukuran pada sisi NDE generator memperlihatkan bahwa *misalignment* secara konsisten menghasilkan peningkatan getaran pada seluruh arah pengukuran dan semua variasi beban.

4.6.2 Perbandingan Efisiensi Daya Motor dan Generator

Tabel 4. 29 Perbandingan efisiensi *alignment* dan *misalignment* (%)

Beban	Alignment	Misalignment
350	52,90	52,40
600	57,70	57,30
1000	55,20	54,70



Gambar 4. 26 Grafik tipe *scatter* perbandingan efisiensi

Berdasarkan Gambar 4.26, perbandingan efisiensi daya motor dan generator pada kondisi *alignment* dan *misalignment* menunjukkan adanya perbedaan kinerja yang cukup signifikan pada setiap tingkat beban.

Pada beban 350 W, efisiensi *alignment* tercatat sebesar 52,90%, lebih tinggi dibandingkan *misalignment* yang hanya mencapai 52,40%. Pada beban 600 W, kondisi *alignment* menunjukkan performa paling optimal dengan efisiensi sebesar 57,70%, sementara *misalignment* juga meningkat hingga 57,30% namun tetap lebih rendah. Selanjutnya pada beban 1000 W, nilai efisiensi *alignment* sedikit lebih tinggi yakni 55,20% dibandingkan *misalignment* sebesar 54,70%.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kondisi *alignment* selalu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan *misalignment* pada setiap beban. Efisiensi optimal dicapai pada beban menengah (600 W), baik untuk kondisi *alignment* maupun *misalignment*. Namun, meskipun perbedaannya terlihat kecil, *misalignment* tetap memberikan kerugian dalam jangka panjang karena berpotensi menimbulkan rugi daya, panas berlebih, dan getaran yang berdampak negatif pada keandalan sistem.

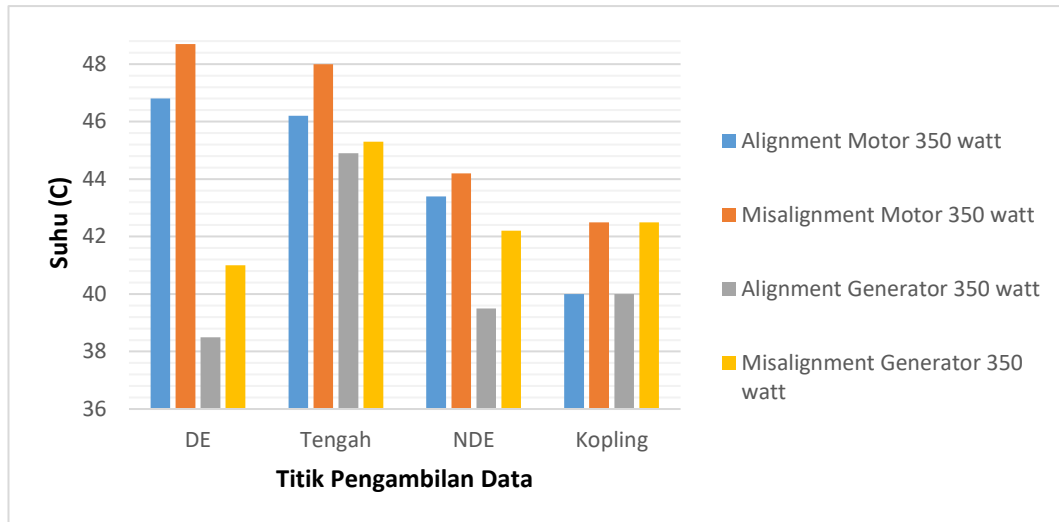
4.6.3 Perbandingan Suhu Motor dan Generator

Pengukuran temperature dengan FLIR TG-165 menunjukan kondisi alignment menghasilkan distribusi panas yang merata dengan kenaikan suhu motor 46,8°C dan generator pada rentang 43,4°C. Pada kondisi misalignment offset, suhu meningkat lebih tinggi hingga 47,4°C pada DE motor dan 41,4°C pada kopling. Peningkatan ini mengidentifikasikan adanya gesekan dan beban tambahan akibat ketidaksejajaran poros yang dapat mempercepat kerusakan komponen.

1. Perbandingan Suhu Motor-Generator pada Beban 350 Watt

Tabel 4. 30 Perbandingan suhu pada pembebanan 350 Watt

Titik	Alignment Motor (°C)	Misalignment Motor (°C)	Alignment Generator (°C)	Misalignment Generator (°C)
DE	46,8	48,7	38,5	41
Tengah	46,2	48	44,9	45,3
NDE	43,4	44,2	39,5	42,2
Kopling	40	42,5	40	42,5



Gambar 4. 27 Perbandingan suhu motor dan generator beban 350 Watt

Pada Gambar 4.27 ditunjukkan perbandingan suhu motor dan generator pada kondisi alignment dan misalignment pada beban 350 Watt di empat titik pengukuran, yaitu DE, Tengah, NDE, dan Kopling. Secara umum, kondisi misalignment menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan alignment, baik pada motor maupun generator.

Pada sisi motor, titik DE mencatat suhu tertinggi pada kondisi misalignment yaitu 48,7°C, lebih tinggi dibandingkan alignment yang sebesar 46,8°C. Peningkatan suhu serupa terjadi pada titik Tengah, dimana misalignment mencapai 48°C, sedangkan alignment berada pada 46,2°C. Pada titik NDE dan Kopling, misalignment juga menunjukkan temperatur lebih tinggi, masing-masing 44,2°C dan 42,5°C, dibandingkan alignment yang hanya 43,4°C dan 40°C. Hal ini menunjukkan bahwa misalignment pada motor menyebabkan peningkatan gesekan dan beban mekanis sehingga suhu meningkat.

Pada sisi generator, pola yang sama juga terlihat. Pada titik DE, misalignment menghasilkan suhu 41°C, lebih besar dibandingkan alignment yang hanya 38,5°C.

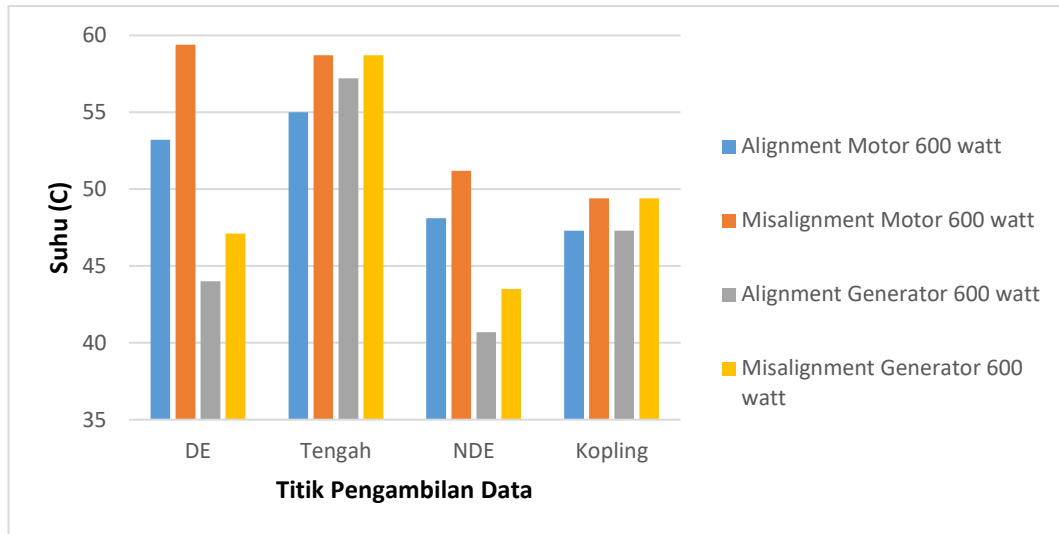
Pada titik Tengah, perbedaan lebih signifikan, yaitu 45,3°C pada misalignment dan 44,9°C pada alignment. Pada titik NDE dan Kopling, misalignment juga lebih tinggi, dengan nilai 42,2°C dan 42,5°C, sementara alignment berada pada 39,5°C dan 40°C.

Secara keseluruhan, dari empat titik pengukuran pada motor dan generator, kondisi misalignment secara konsisten menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan alignment, dengan selisih peningkatan antara 1–3°C pada motor dan 0,5–3°C pada generator. Hal ini mengindikasikan bahwa misalignment memberikan beban tambahan pada komponen mekanik sehingga meningkatkan gesekan dan mempercepat kenaikan suhu.

2. Perbandingan Suhu Motor-Generator Pada Beban 600 Watt

Tabel 4. 31 Perbandingan suhu pada pembebanan 600 Watt

Titik	Alignment	Misalignment	Alignment	Misalignment
	Motor (°C)	Motor (°C)	Generator (°C)	Generator (°C)
DE	53,2	59,4	44	47,1
Tengah	55	58,7	57,2	58,7
NDE	48,1	51,2	40,7	43,5
Kopling	47,3	49,4	47,3	49,4



Gambar 4. 28 Perbandingan suhu motor dan generator beban 600 Watt

Pada Gambar 4.28 ditunjukkan perbandingan suhu motor dan generator pada kondisi alignment dan misalignment dengan beban 600 Watt. Pengukuran dilakukan pada empat titik yaitu DE, Tengah, NDE, dan Kopling. Secara umum, kondisi misalignment memberikan nilai temperatur yang lebih tinggi dibandingkan alignment pada seluruh titik pengukuran.

Pada sisi motor, peningkatan suhu paling signifikan terjadi pada titik DE, dimana kondisi misalignment mencapai 59,4°C, lebih tinggi dibandingkan alignment yang hanya 53,2°C. Pada titik Tengah, suhu misalignment tercatat 58,7°C, sedangkan alignment sebesar 55°C. Perbedaan suhu ini menunjukkan bahwa misalignment menyebabkan peningkatan gesekan dan beban kerja motor.

Pada titik NDE, suhu misalignment sebesar 51,2°C, sedangkan alignment berada di 48,1°C. Begitu pula pada titik Kopling, misalignment menghasilkan suhu 49,4°C, lebih tinggi dibandingkan alignment yang hanya 47,3°C. Keempat titik pengukuran pada motor menunjukkan tren yang sama, yaitu peningkatan suhu akibat misalignment.

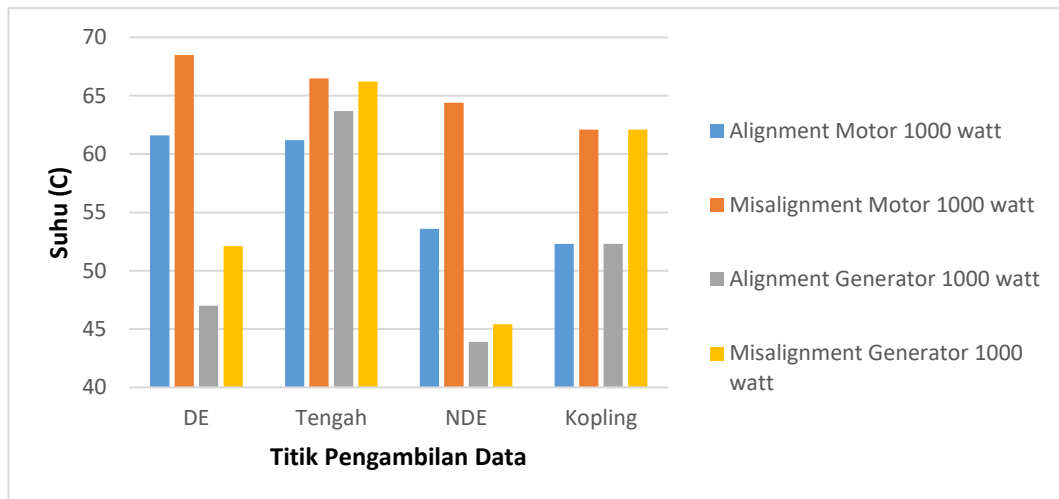
Pada sisi generator, kondisi misalignment juga menghasilkan suhu yang lebih tinggi. Pada titik DE, misalignment menunjukkan nilai 47,1°C, lebih besar dari alignment yang hanya 44°C. Pada titik Tengah, misalignment mencapai 58,7°C, secara signifikan lebih tinggi dibandingkan alignment yang sebesar 57,2°C. Pada titik NDE, misalignment mencatat 43,5°C, sementara alignment berada pada 40,7°C. Pada titik Kopling, suhu misalignment sedikit lebih tinggi yaitu 49,4°C, dibandingkan alignment yang sebesar 47,3°C.

Secara keseluruhan, dari seluruh titik pengukuran pada motor dan generator, kondisi misalignment secara konsisten menghasilkan suhu lebih tinggi dengan selisih berkisar 2–6°C pada motor dan 1–3°C pada generator. Peningkatan suhu ini mengindikasikan adanya beban tambahan pada komponen mekanik akibat ketidaksejajaran poros, yang menyebabkan gesekan lebih besar dan peningkatan temperatur.

3. Perbandingan Suhu Motor-Generator Pada Beban 1000 Watt

Tabel 4. 32 Perbandingan suhu pada pembebanan 1000 Watt

Titik	Alignment	Misalignment	Alignment	Misalignment
	Motor (°C)	Motor (°C)	Generator (°C)	Generator (°C)
DE	61,6	68,5	47	52,1
Tengah	53,6	66,5	63,7	66,2
NDE	61,2	64,4	43,9	45,4
Kopling	52,3	62,1	52,3	62,1



Gambar 4. 29 Perbandingan suhu motor dan generator beban 1000 Watt

Pada Gambar 4.29 ditunjukkan perbandingan suhu motor dan generator pada kondisi alignment dan misalignment pada beban 1000 Watt di empat titik pengukuran, yaitu DE, Tengah, NDE, dan Kopling. Sama seperti pengujian pada beban sebelumnya, kondisi misalignment kembali menunjukkan kecenderungan menghasilkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan alignment.

Pada sisi motor, titik DE menunjukkan perbedaan suhu yang cukup mencolok. Misalignment mencatat suhu sebesar 68,5°C, jauh lebih tinggi dibandingkan alignment yang hanya 61,6°C. Pada titik Tengah, suhu misalignment mencapai 66,5°C, lebih besar dibandingkan alignment yang sebesar 53,6°C. Perbedaan ini menunjukkan peningkatan beban mekanis yang cukup signifikan.

Pada titik NDE, kondisi misalignment menghasilkan nilai 64,4°C, sedangkan alignment hanya sebesar 55,2°C. Tren serupa terlihat pada titik Kopling, dimana misalignment mencatat suhu tertinggi yaitu 62,1°C, sementara alignment berada pada 52,3°C. Secara keseluruhan, perbedaan suhu antara alignment dan misalignment pada motor berada pada rentang 7–13°C, menunjukkan bahwa pada

beban tinggi, pengaruh misalignment semakin dominan.

Pada sisi generator, pola yang sama kembali terlihat, meskipun peningkatan suhunya tidak sebesar pada motor. Pada titik DE, misalignment mencatat suhu 52,1°C, lebih tinggi dari alignment yang sebesar 47°C. Pada titik Tengah, perbedaan suhu cukup besar, dimana misalignment mencapai 65,2°C, sedangkan alignment hanya 55°C.

Untuk titik NDE, misalignment mencatat suhu 45,4°C, lebih tinggi dibandingkan alignment dengan nilai 43,9°C. Sementara itu, pada titik Kopling, kondisi misalignment menghasilkan suhu 62°C, lebih tinggi dibandingkan alignment yang hanya 53,4°C.

Secara keseluruhan, hasil pengujian pada beban 1000 Watt menunjukkan bahwa misalignment secara konsisten meningkatkan suhu motor dan generator, dengan selisih yang semakin besar seiring bertambahnya beban. Hal ini mengindikasikan pada beban tinggi, ketidaksejajaran poros menyebabkan peningkatan gesekan dan vibrasi yang lebih besar, menghasilkan panas berlebihan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, fabrikasi, pengujian, serta analisis simulasi terhadap simulator *shaft alignment* berbasis *misalignment* dengan metode *face and rim*, ada beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Simulator *shaft alignment* berhasil dibuat menggunakan motor listrik tiga fasa 1,1 kW, generator DC Forza BG 2200 L 1,1 kW, dan kopling fleksibel FCL-90. Alat ini mampu menampilkan kondisi *alignment*, *misalignment offset*, *angular*, dan kombinasi secara nyata, sehingga dapat digunakan sebagai media pembelajaran maupun penelitian.
2. Hasil pengujian getaran menunjukkan bahwa pada kondisi *alignment*, nilai getaran berada di bawah 2,5 mm/s dan tergolong *satisfactory* menurut standar ISO 10816. Sementara pada kondisi *misalignment* kombinasi, nilai getaran meningkat signifikan hingga lebih dari 6 mm/s pada arah *radial* dan *aksial*, dan masuk kategori *unacceptable*.
3. Pengukuran temperatur menunjukkan kenaikan suhu pada kondisi *misalignment* kombinasi sebesar 5–15 °C dibandingkan kondisi *alignment*. Temperatur tertinggi tercatat 68,5 °C pada motor listrik, sedangkan pada kondisi *alignment* suhu maksimum berada di kisaran 53–55 °C.
4. Dari hasil pengujian efisiensi daya, diketahui bahwa pada beban 1000 W, efisiensi sistem dalam kondisi *alignment* mencapai sekitar 82 %, sedangkan pada kondisi *misalignment* kombinasi turun menjadi sekitar 74 %. Hal ini menunjukkan bahwa ketidaksejajaran poros berpengaruh nyata terhadap

performa dan efisiensi daya.

5. Berdasarkan simulasi statik struktural menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*, diperoleh nilai *displacement* maksimum sebesar 0,0067 mm, tegangan *Von Mises* 124 MPa, regangan $6,8 \times 10^{-4}$, dan faktor keamanan minimum sebesar 2,09. Nilai tersebut masih berada di atas batas desain aman (1,5–2), sehingga poros dan komponennya dapat dinyatakan aman digunakan.
6. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa *misalignment* kombinasi memberikan pengaruh paling besar terhadap peningkatan getaran, kenaikan temperatur, dan penurunan efisiensi dibanding kondisi *alignment*. Simulator yang dikembangkan ini terbukti efektif sebagai alat bantu pembelajaran dan riset praktis untuk memahami pentingnya keselarasan poros dalam sistem mesin rotasi.

5.2 Saran

1. Penambahan variasi metode *alignment* seperti reverse dial *indicator*.
2. Penambahan laser *alignment* akan memperluas fungsi simulator sehingga lebih representatif dengan praktik industri modern.
3. Penelitian lanjutan dapat menggunakan simulasi dinamis (dynamic analysis) untuk melihat pengaruh getaran dan resonansi yang lebih mendekati kondisi operasi nyata.
4. Variasi geometri poros (diameter berbeda, adanya keyway, atau notch) dapat disimulasikan untuk mengetahui pengaruh bentuk terhadap distribusi tegangan.
5. Penelitian berikutnya disarankan menambahkan inverter agar kecepatan

motor dapat divariasikan. Hal ini memungkinkan analisis lebih luas terkait pengaruh misalignment pada berbagai kondisi operasi. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi jenis kopling dan kecepatan putar yang berbeda untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh misalignment terhadap kinerja mesin.

DAFTAR PUSTAKA

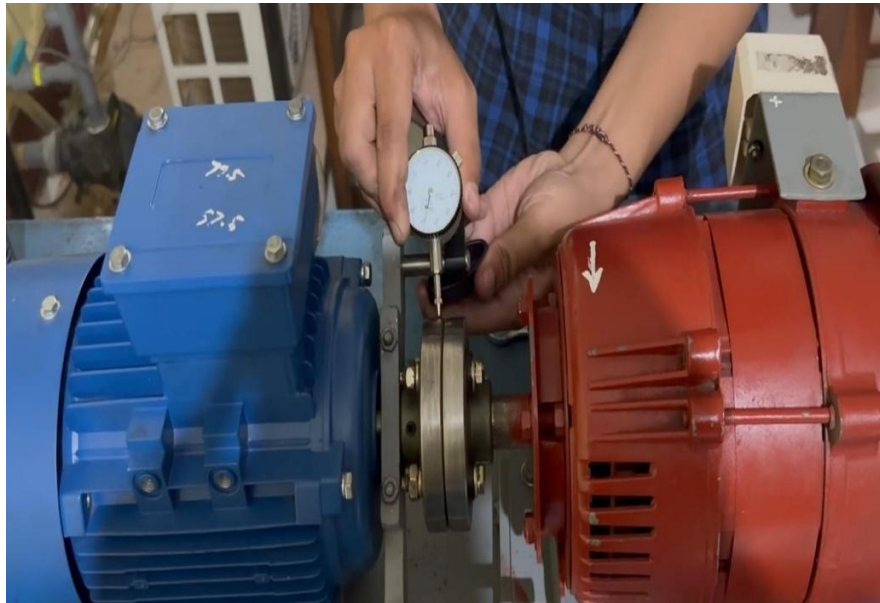
- Administrator. (2024). Mengenal motor listrik 3 fasa: Mulai dari definisi hingga cara kerja. Gearbox Electro. <https://www.suzuki.co.id/tips-trik/dial-indicator-pengertian-fungsi-dan-cara-menggunakannya?pages=all>
- Askeland, D. R., Fulay, P. P., & Wright, W. J. (2011). The science and engineering of materials (6th ed.). Cengage Learning. ISBN 978-0-495-29602-7
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). Shigley's mechanical engineering design (10th ed.). McGraw-Hill. ISBN 978-0-07-339820-4
- Chaniago, Y. W. A. (2023). Alignment poros pompa Benfield 1107-JB menggunakan dial indikator dengan metode rim and face. Jurnal Teknik Mesin S-1 Universitas Bengkulu, 2023.
- Chapman, S. J. (2004). Electric machinery fundamentals (4th ed.). McGraw-Hill.
- Falah, M. M. F. (2024). Rancang bangun simulator shaft alignment berbasis digital indicator dengan metode double radial (Proyek Akhir, Universitas Diponegoro). Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Jr., & Umans, S. D. (2003). Electric machinery (6th ed.). McGraw-Hill. ISBN 0-07-366009-4
- Groover, M. P. (2010). Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems (4th ed.). John Wiley & Sons. ISBN 978-0470467002
- Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2012). Fundamentals of machine component design (5th ed.). John Wiley & Sons. ISBN 978-1118012895
- Kalam Diaz A, B Setyoko, (2023). Rancang bangun test bed pengukuran alignment dan getaran studi kasus pergeseran 1 mm ke kanan dengan variabel beban poros 1–10 kg (Tugas Akhir, Universitas Diponegoro). Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.

- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2023). Manufacturing engineering and technology (8th ed., SI Units). Pearson Education Limited. ISBN 978-1-292-42224-4
- Martua, M., Setiawan, D., & Yuvendius, H. (2021). Studi karakteristik luar dan efisiensi generator DC penguat terpisah terhadap perubahan beban dengan menggunakan metode fuzzy logic. *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, 1(1), 22–36. Universitas Lancang Kuning.
- Piotrowski, J. (2006). *Shaft alignment handbook* (3rd ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group. ISBN 978-1-57444-721-7
- Prawira, S. H., Rizky, M., & Rahmaniar. (2023). Analisis efisiensi daya motor 3 phase sebagai penggerak boiler penghisap abu PT Industri Invilon Sagita. Universitas Pembangunan Panca Budi.
- Purnomo, E. D., Aziz, A., Mandasari, D. R., Amelia, L., Krisnowo, A., & Nandar, C. S. A. (2022). Analysis of BLDC electric motor shaft treatment model using numerical method. *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri (Journal of Industrial Research and Innovation)*, 16(1), 30–35. BRIN.
<https://ejurnal.bppt.go.id/index.php/MIPI/index>
- Putra, I. K. D. P., Taufik, A., & Saefudin, E. (2016). Analisis getaran poros pada motor dan pompa yang mengalami misalignment. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Institut Teknologi Nasional Bandung, 2016.
- Raharjo, I. A., Widodo, A., & Ismoyo, H. (2016). Analisis misalignment kopling pada mesin rotary menggunakan sinyal getaran steady state dengan metode rim and face. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Universitas Diponegoro, 4(2), 214–223.
- Sadad, S. (2016). Rancang bangun sistem pengendalian temperatur heater pada miniplant heat exchanger berbasis mikrokontroler (Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember). Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS Surabaya.

- Soesanto, & Farid, A. (2018). Analisis batas toleransi alignment antara poros motor listrik dan poros fresh water cooling pump di PT Pindad (Persero). PROTON, 10(1), 13–17. Universitas Widya Gama Malang.
- Sutrisno. (2016). Fisika dasar I. Bandung: Penerbit ITB.
- Suzuki Indonesia. (2024, Mei 25). Dial indicator: Pengertian, fungsi, dan cara menggunakannya. Suzuki.co.id. <https://www.suzuki.co.id/tips-trik/dial-indicator-pengertian-fungsi-dan-cara-menggunakannya?pages=all>
- Tauvana, A. I. (2018). Alignment coupling dengan metode double dial indicator rim and face. Jurnal SIMETRIS, 9(1), 671–678. Politeknik Enjinering Indorama.
- Triyanto, O. S. A. (2024). Analisis parallel misalignment pada motor tiga fasa menggunakan digital diagnostics system. Jurnal Teknik Mesin, 2024.
- Volkswagen AG. (1997). Variable intake manifold in VR engines: Principles and description of operation (Self-study programme 212). Volkswagen Technical Literature.
- Yudianto, H., & Alimuddin, A. (2023). Dasar-dasar teknik mesin untuk SMK/MAK kelas X. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia. ISBN 978-623-194-530-3

LAMPIRAN

- Dokumentasi Setup Alat



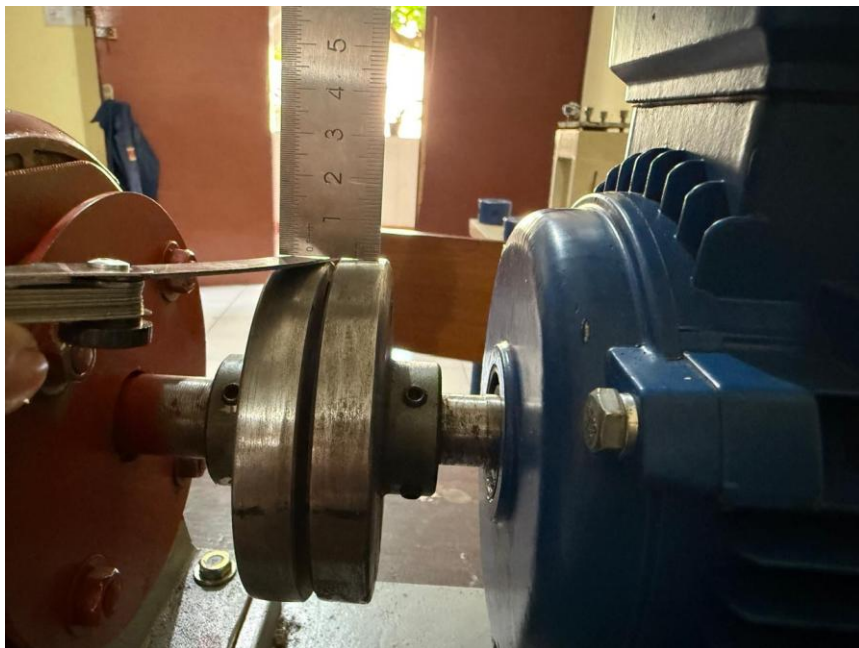
- Proses Pengukuran Softfoot



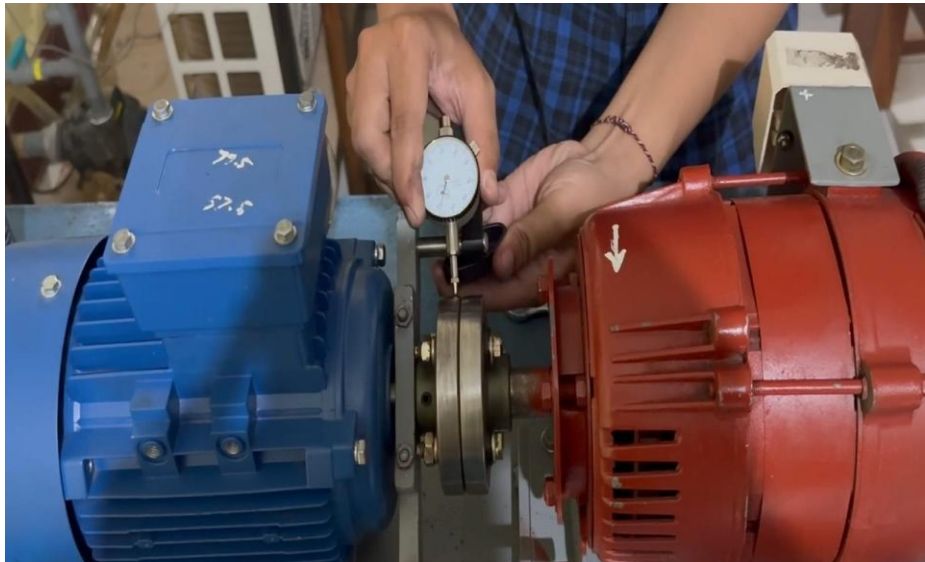
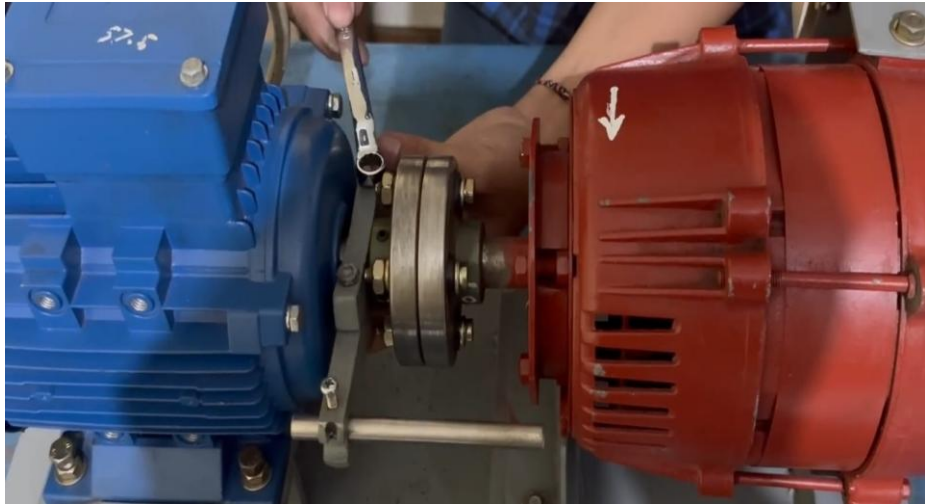
- Dokumentasi Proses Bar Sag



- Dokumen Proses Rough Alignment



- Dokumentasi Pemasangan Brecket dan Dial Indikator



- Dokumentasi Proses Run Out



- Dokumentasi Proses Alignment Face



- Dokumentasi Proses Alignment Rim



- Dokumentasi Pengukuran Getaran



-



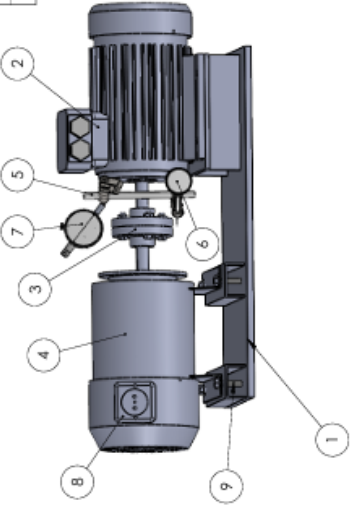
- Dokumentasi Pengukuran Temperatur



- Dokumentasi Pengukuran Kecepatan



- Simulator



1: Base Plate dan Plate
2: Motor Listrik 3-phase
3: Kopling FCL 90 Assy
4: Generator Fix
5: Bracket
6: diall
7: Dial Indikator Mini
8: Stop kontak
9: Baut Kopling fcl 90

BOM Table			
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1		Base Plate dan Plate	1
2		Motor Listrik 3-phase	1
3		Kopling FCL 90 Assy	1
4		Generator Fix	1
5		Bracket	1
6		diall	1
7		Dial Indikator Mini	1
8		Stop kontak	1
9		Baut Kopling fcl 90	4



Scale : 1:1

Satuan Ukuran : mm

Tanggal : 03/07/2023

Dipambar : Nitya Kumuning Putri Dayana

NIM : 40040221450073

Dipentasa : Alvaro Pauls Hadz. W. S.T. M.T.

Keterangan :

Universitas Diponegoro

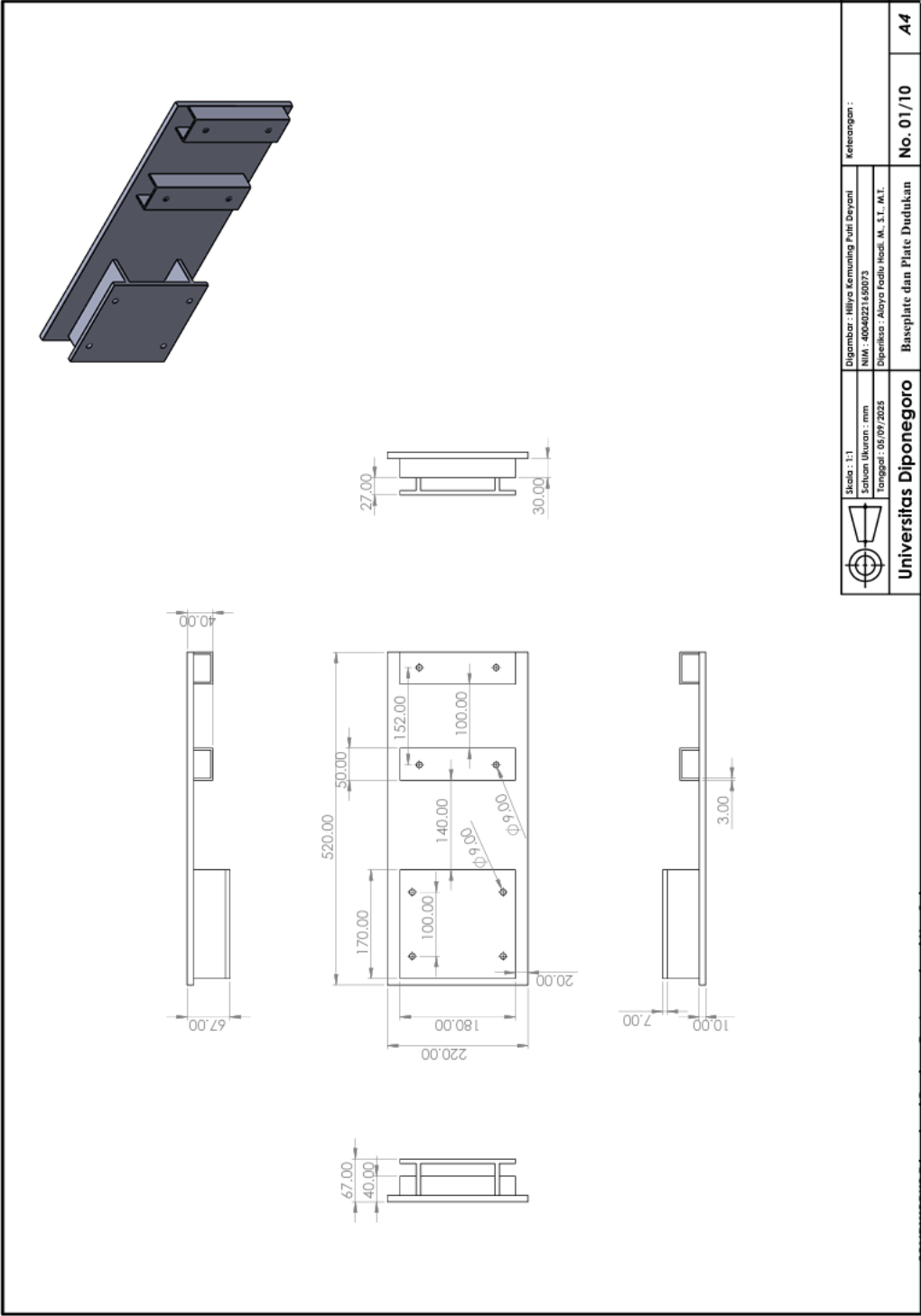
MOTOR LISTRIK

No. 4/5

A4

SOLIDWORKS EDUCATIONAL PRODUCT FOR INSTRUCTIONAL USE ONLY.

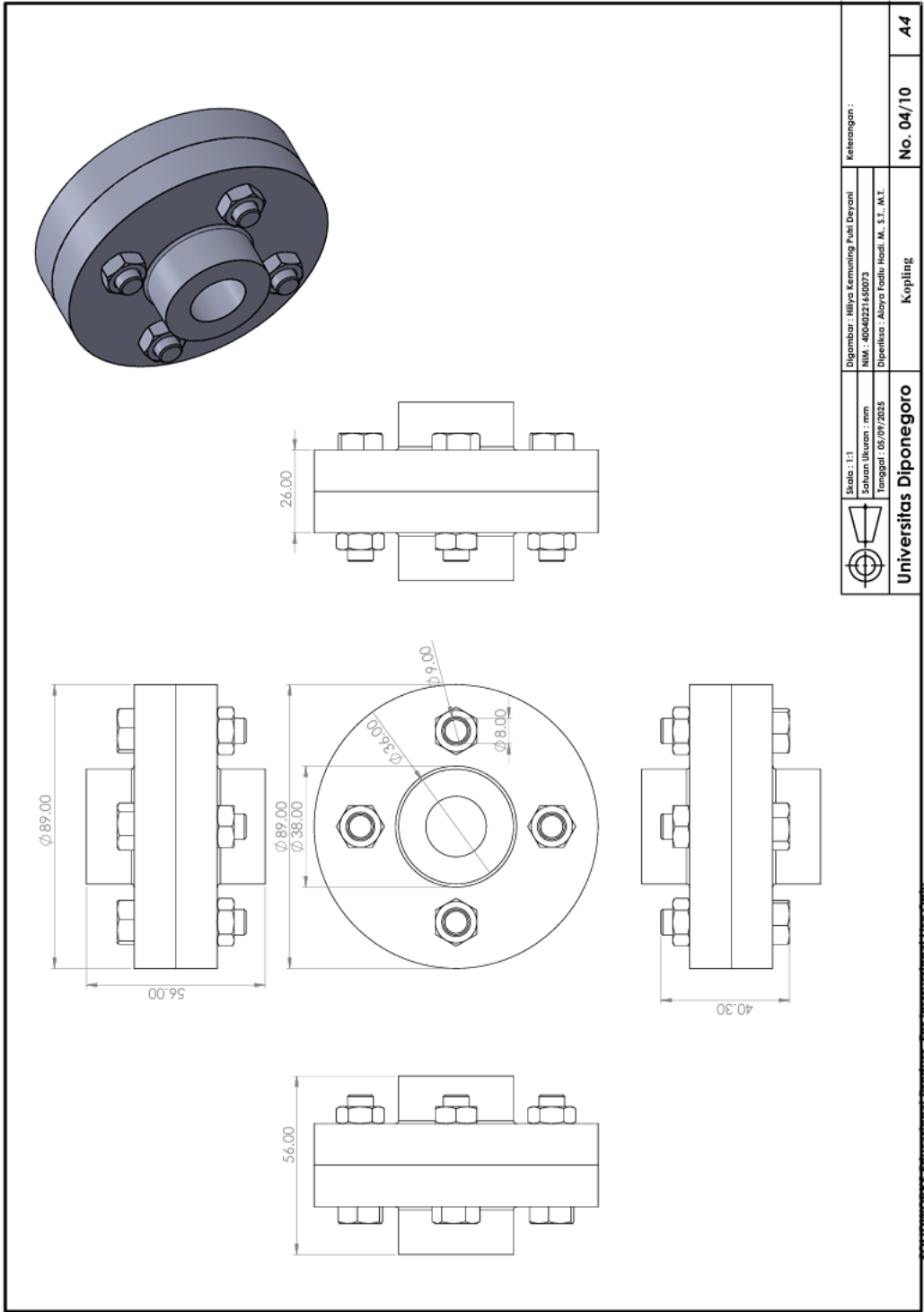
- *Baseplate dan Plat*



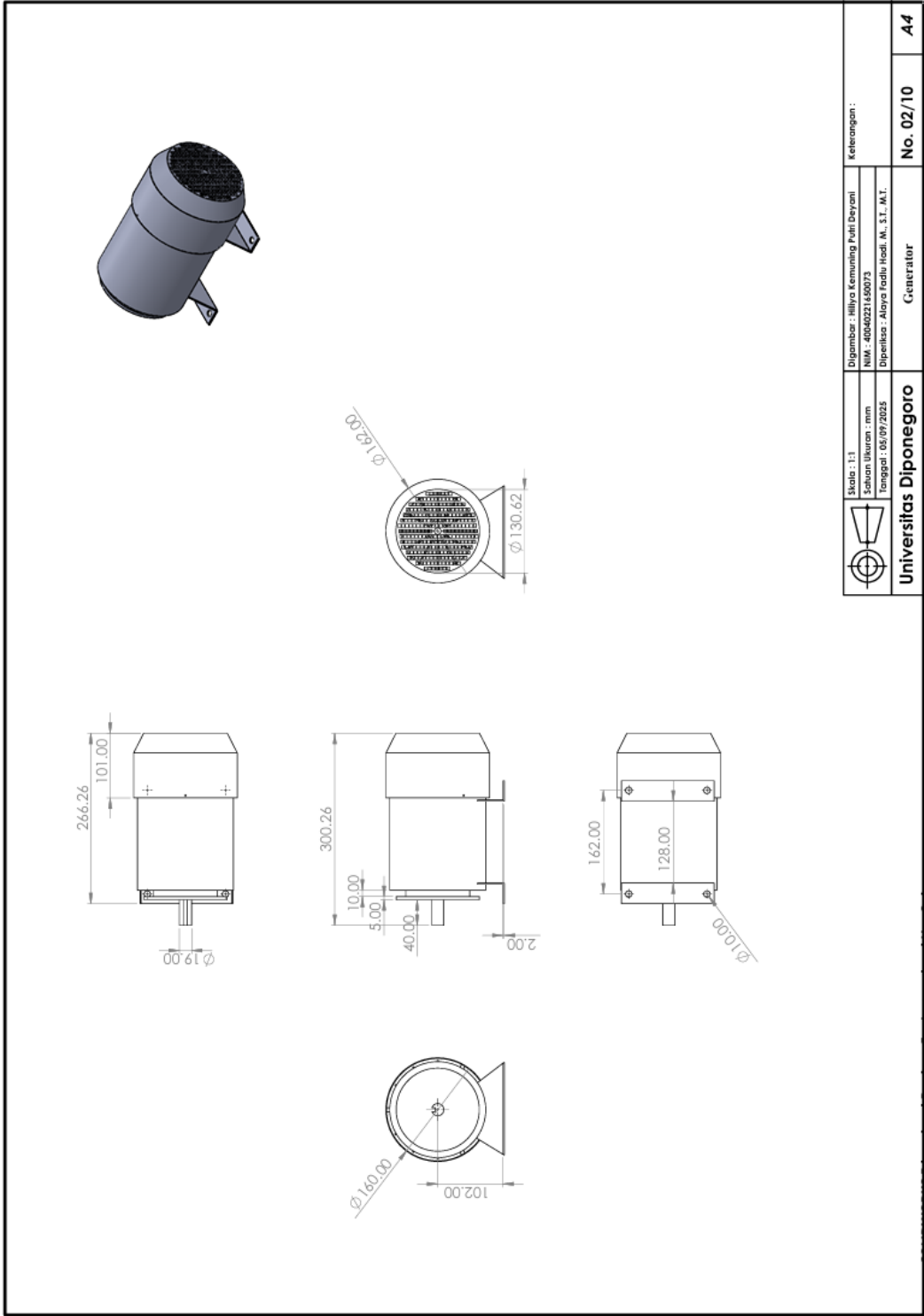
	Skala : 1:1 Satuan Ukuran : mm Tanggal : 05/07/2023	Disambar : Hilva Kurniawan Putri Deyanti NIM : 400422142073 Diperiksa : Alvaro Fadlu Hosi, M. T.I., M.T.	Keterangan :	
	Universitas Diponegoro	Baseplate dan Plate Dudukan	No. 01/10	A4

-

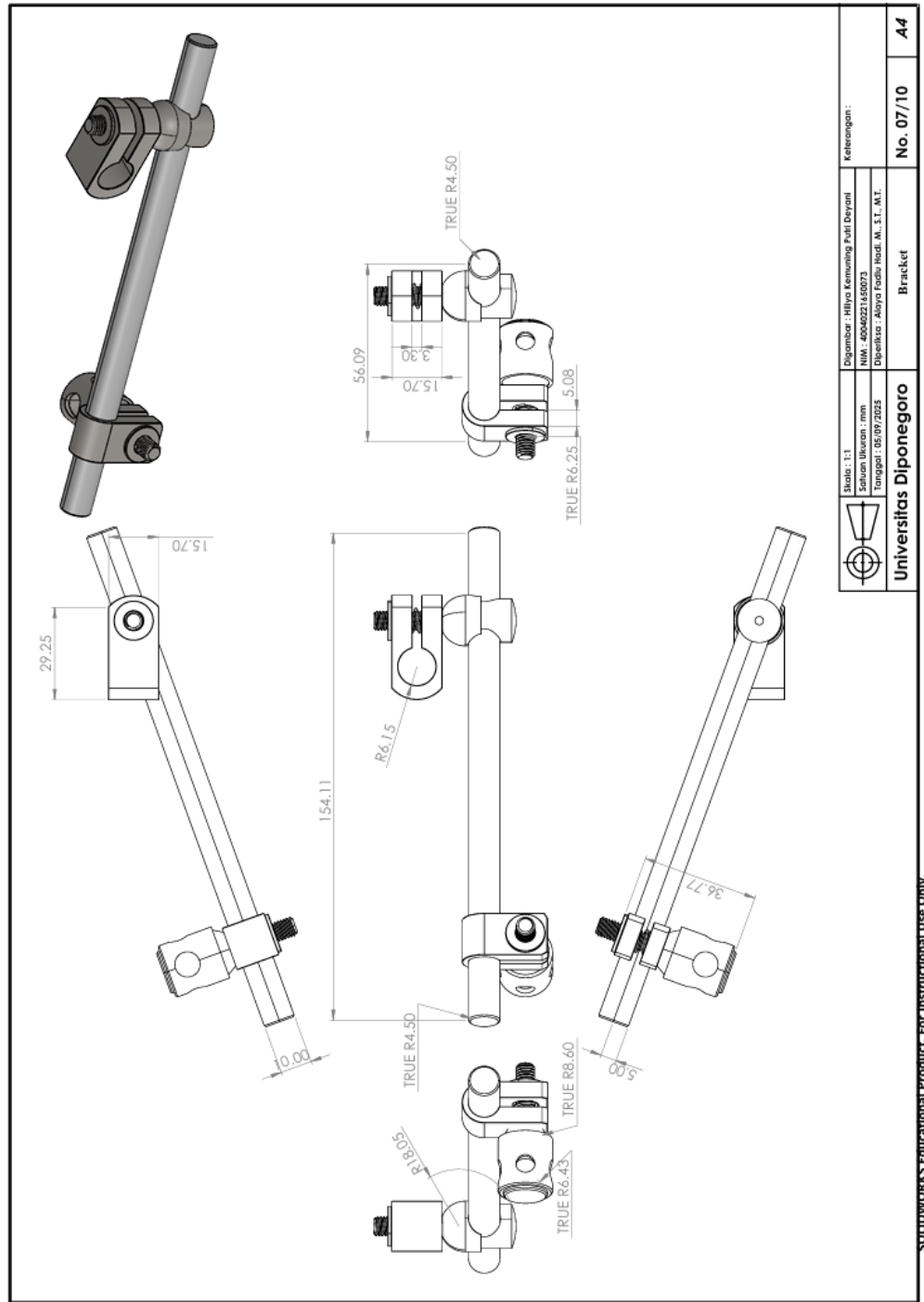
• Coupling FCL 90



• Generator



- Bracket Dial Indicator



- Technical drawing of a Dial Indicator showing four views: isometric, front, top, and side. The drawing includes dimensions in millimeters.

Front View Dimensions:

 - Overall diameter: $\phi 57.00$
 - Overall height: 16.00
 - Top flange diameter: 1.00

Top View Dimensions:

 - Overall diameter: $\phi 57.00$
 - Overall height: 16.00

Side View Dimensions:

 - Overall height: 16.00
 - Overall diameter: $\phi 57.00$

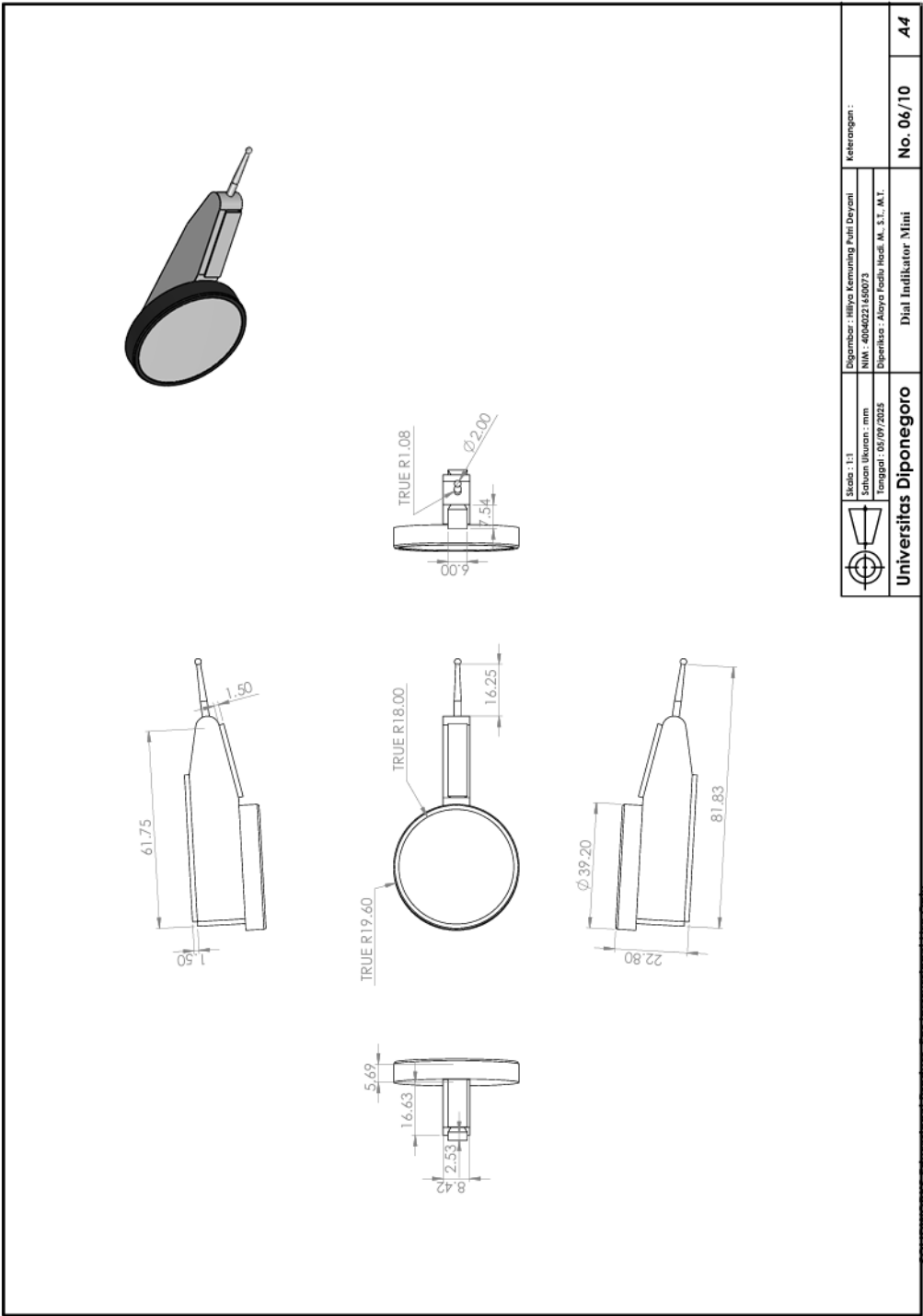
Isometric View Dimensions:

 - Overall height: 16.00
 - Overall diameter: $\phi 57.00$

Other Dimensions:

 - Top flange thickness: 3.00
 - Top flange inner diameter: $\phi 5.00$
 - Top flange outer diameter: $\phi 8.00$
 - Top flange height: 20.30
 - Top flange radius: R2.50
 - Top flange width: 18.00
 - Top flange height: 14.58
 - Top flange width: 26.50
 - Top flange height: 3.11
 - Top flange width: 8.48

- Dial Indicator Mini



- Simulator Shaft Alignment

