

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Fabrikasi Mesin

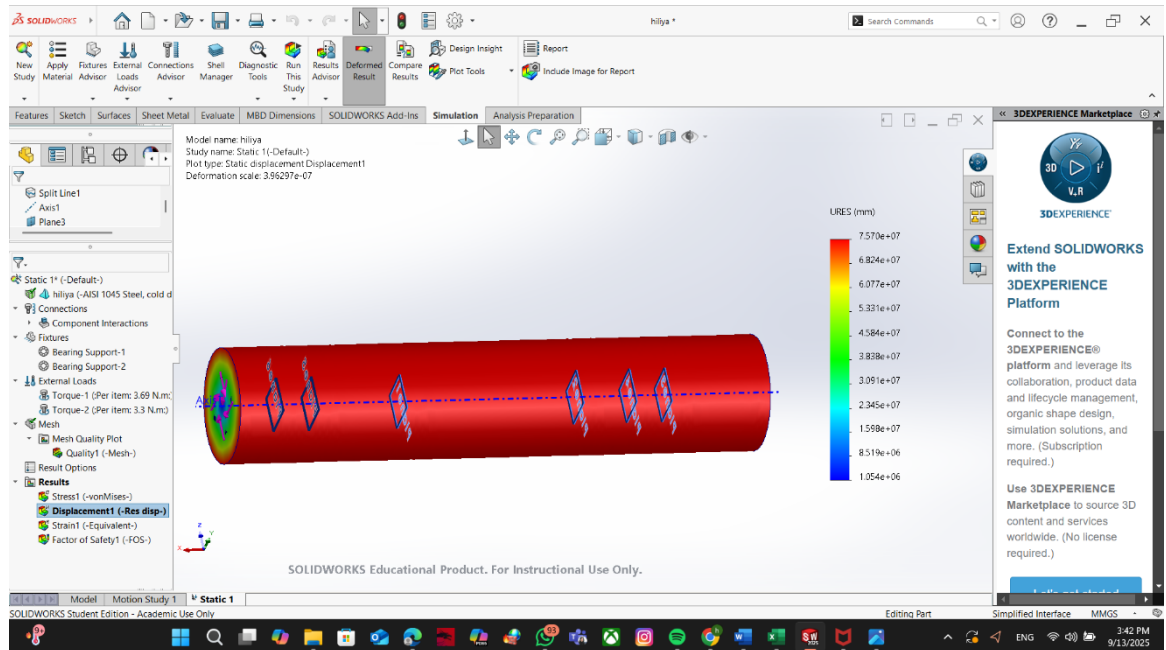
Simulator *shaft alignment* dirancang sebagai media pembelajaran mahasiswa melakukan kegiatan proses *alignment* secara riil yang meliputi pengukuran *soft foot*, *rough alignment* awal, pemasangan *bracket dial*, *bar sag*, *runout* kopling dan proses *alignment* itu sendiri. Proses pembuatan diawali 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

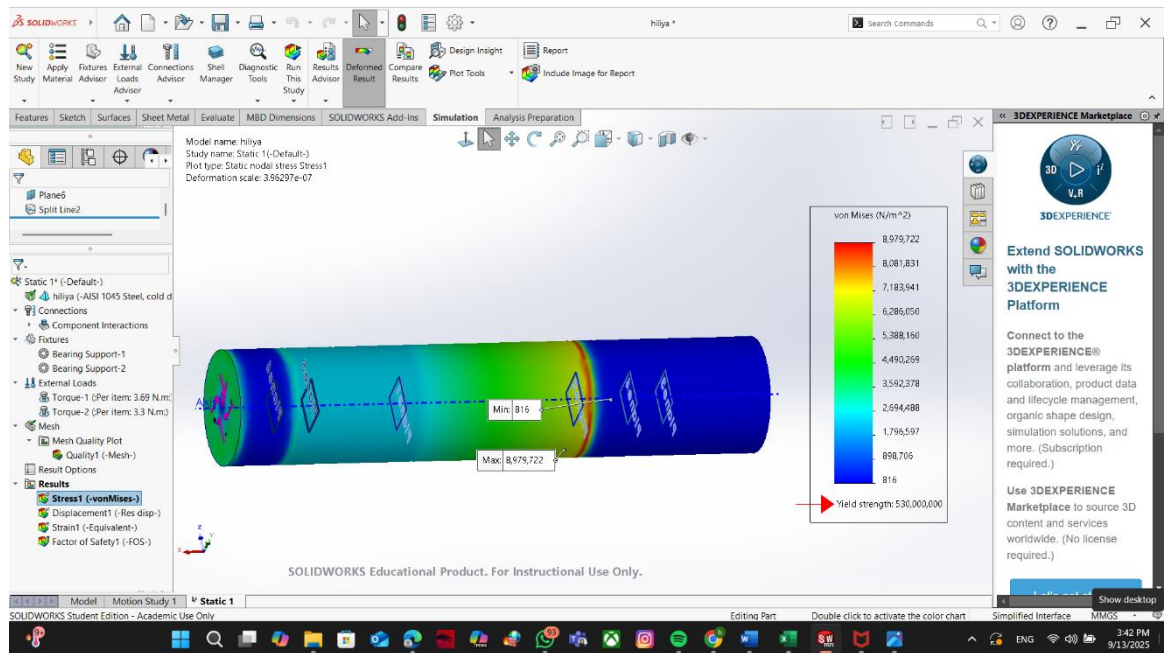
4.2.1 Displacement



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.

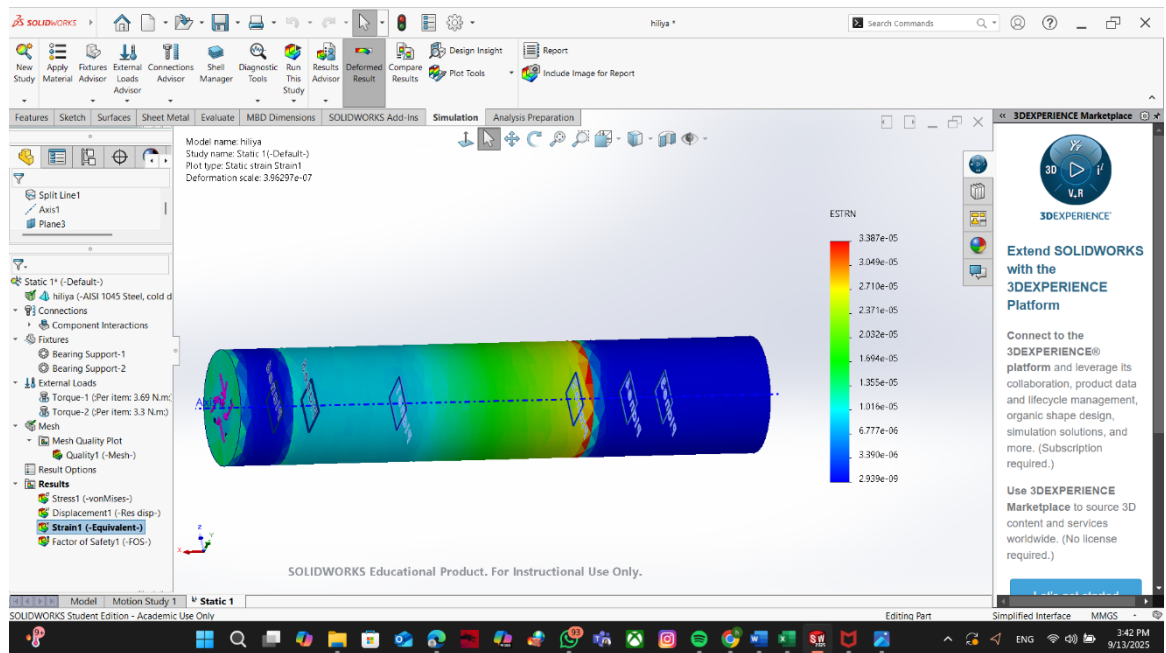
4.2.2 Stress (Von Mises)



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/m^2 ($\approx 0,000816 \text{ MPa}$) pada bagian ujung yang tidak menerima beban langsung, sedangkan tegangan maksimum mencapai $8.979.722 \text{ N/m}^2$ ($\approx 8,98 \text{ MPa}$) 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

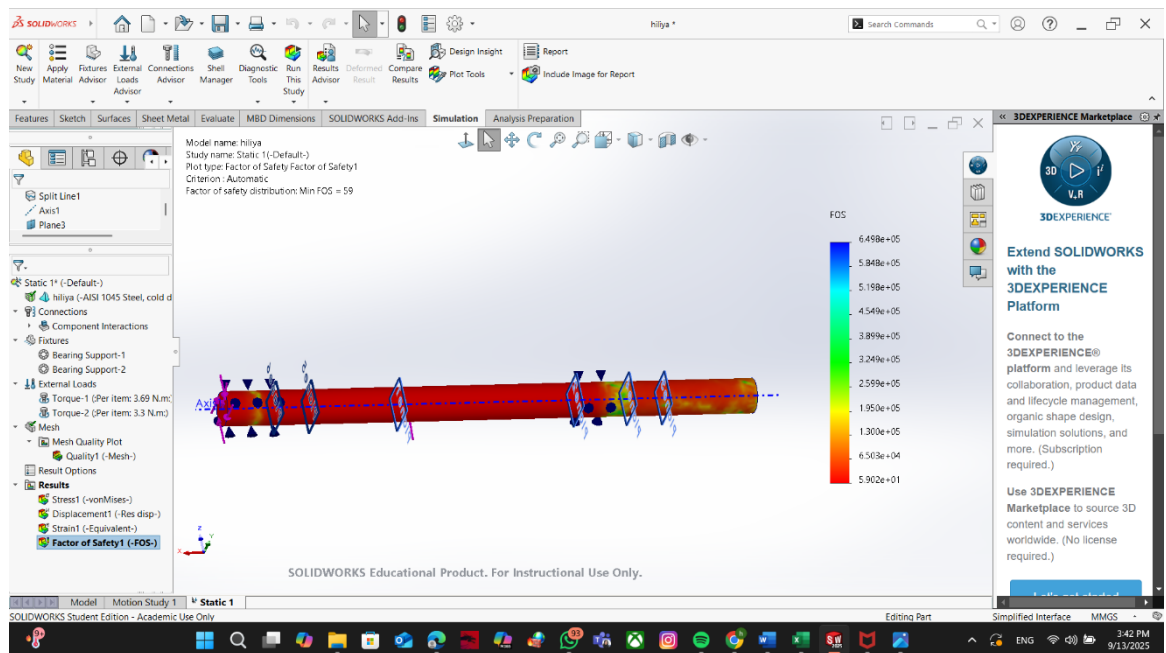


Gambar 4. 4 Hasil *strain*

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.

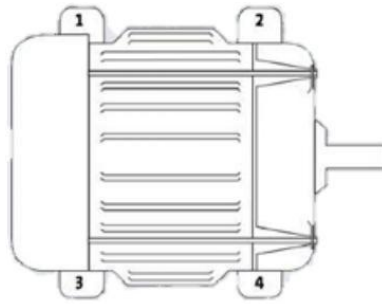
Meskipun demikian, nilai *FoS* yang sangat tinggi juga mengindikasikan adanya *over-design*, artinya dimensi dan kekuatan poros jauh melampaui kebutuhan beban aktual. Hal ini memang menjamin keandalan, tetapi kurang efisien dari sisi pemanfaatan material dan biaya. Dalam praktik rekayasa, kondisi *over-design* 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.

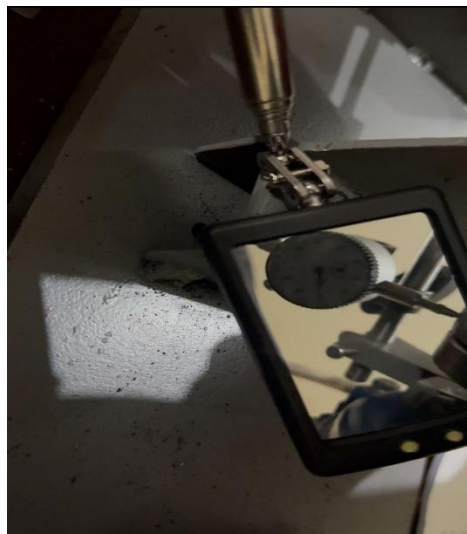
4.3.2 Pengujian Bar Sag

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*.

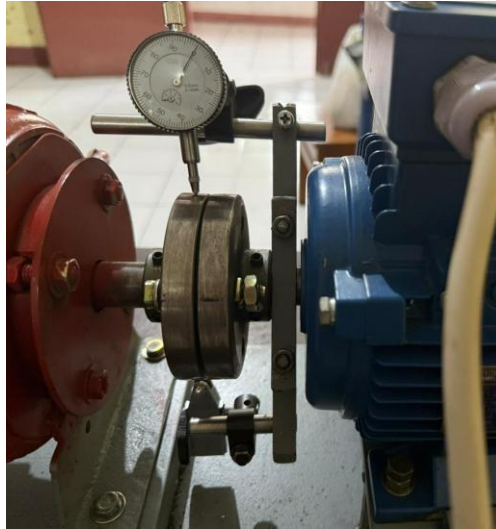


Gambar 4. 9 Pemeriksaan *rough alignment* awal

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.

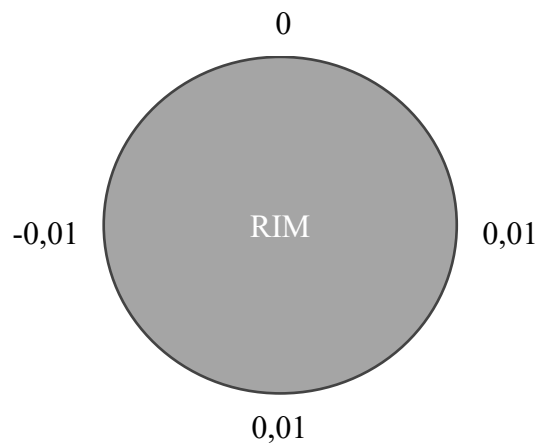
Selanjutnya, dilakukan pengujian getaran untuk menilai kestabilan sistem. Hasil menunjukkan penurunan signifikan pada tingkat getaran dibandingkan kondisi saat *misalignment*.

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

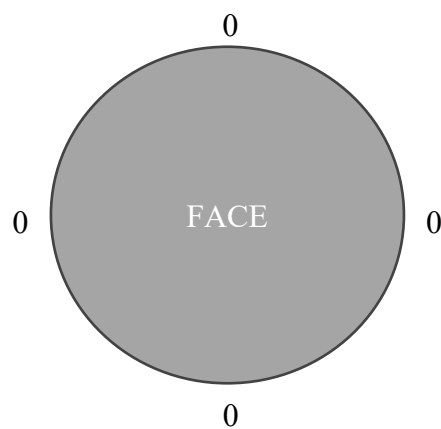


Gambar 4. 11 Data pengukuran *radial* kondisi *alignment*

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 combination* 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

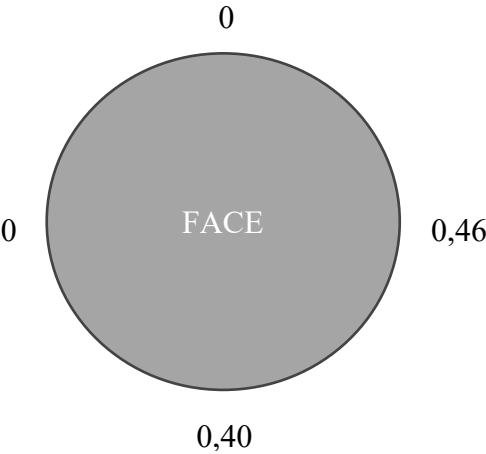
dihasilkan generator.

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

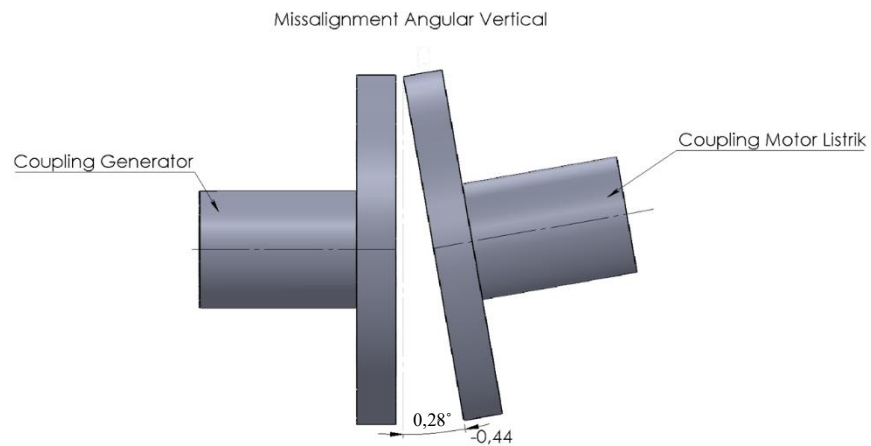
Tabel 4. 15 Pengujian *misalignment angular* dengan beban 350,600,1000W

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

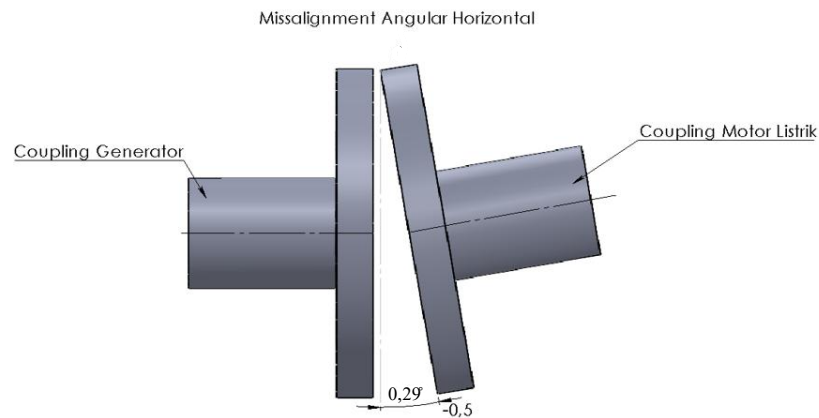


Gambar 4. 13 Data pengukuran *angular*

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)



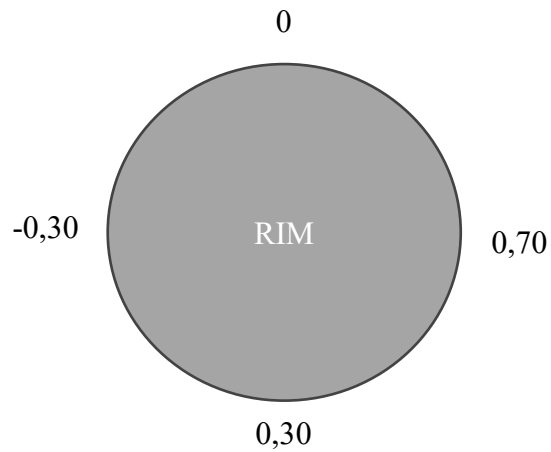
Gambar 4. 15 Posisi *angular horizontal* (Pandangan atas)

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

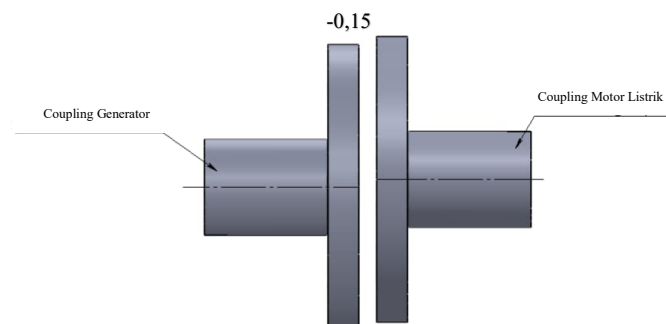
No	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
1	0	0.7	0.3	-0.3
2	0	0.7	0.3	-0.3
3	0	0.7	0.3	-0.3
4	0	0.7	0.3	-0.3
Rata-Rata	0	0.7	0.3	-0.3



Gambar 4. 16 Data pengukuran *offset*

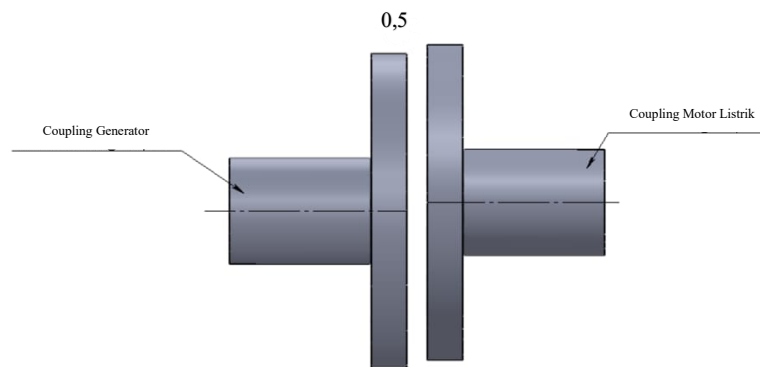
Vertical	Horizontal
$V_o = \frac{\text{RIM Dial (DIR)TIR}}{2}$	$H_o = \frac{\text{RIM Dial (DIR)TIR}}{2}$
$V_o = \frac{\text{Dif 12} - \text{Dif 6}}{2}$	$H_o = \frac{\text{Dif 3} - \text{Dif 9}}{2}$
$V_o = \frac{0 - 0,30}{2}$	$H_o = \frac{0,70 - (-0,30)}{2}$
$V_o = -0,15 \text{ mm}$	$H_o = 0,5 \text{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

Misalignment Offset Vertikal



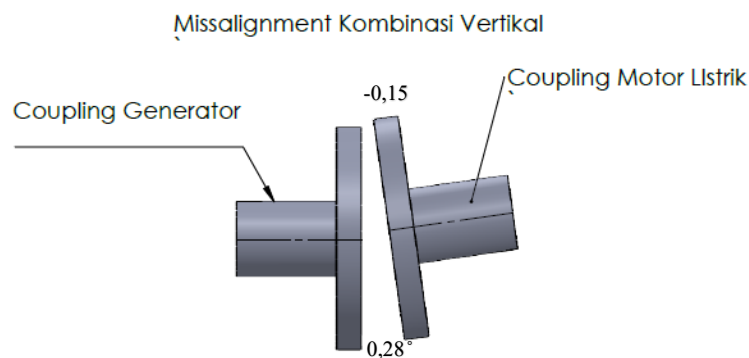
Gambar 4. 17 Posisi *offset vertical* (Pandangan samping)

Misalignment Offset Horizontal

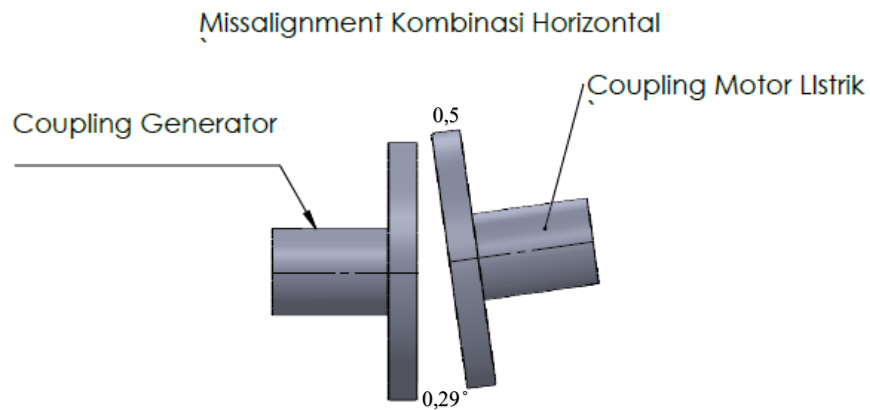


Gambar 4. 18 Posisi *offset horizontal* (pandangan atas)

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*.



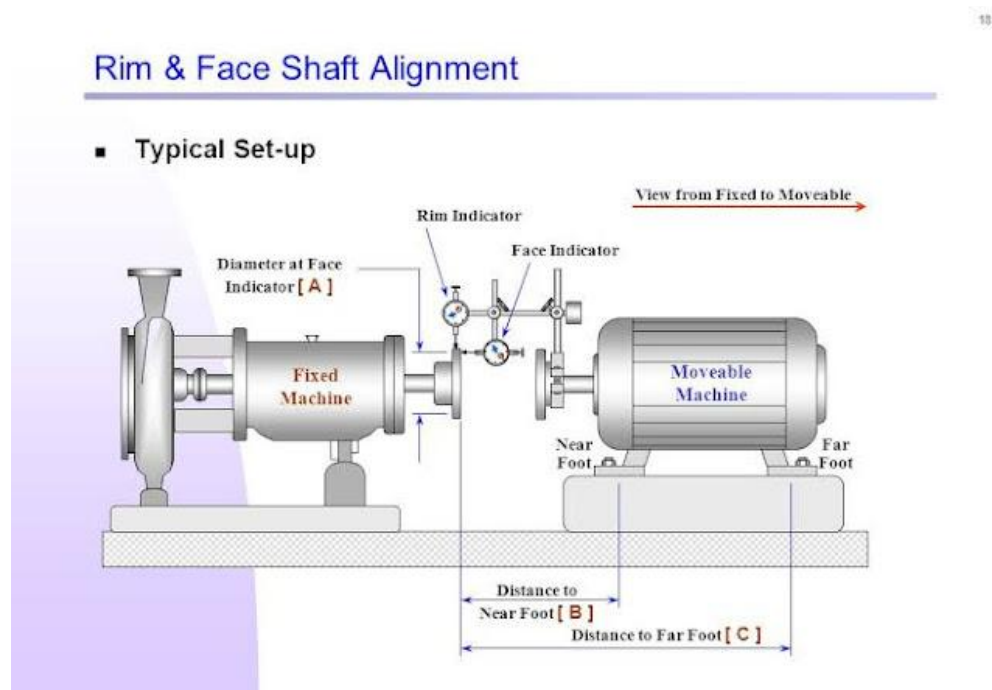
Gambar 4. 19 Posisi *misalignment* kombinasi *vertikal* (pandangan samping)



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*

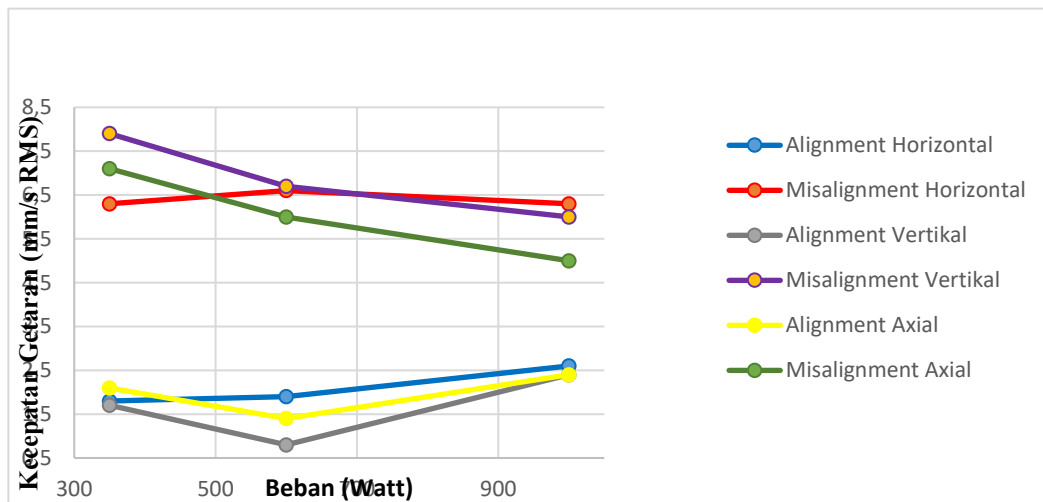
Pada bagian ini disajikan hasil pembahasan mengenai perbandingan kinerja sistem motor–generator dalam kondisi *alignment* dan *misalignment* kombinasi. Analisis dilakukan berdasarkan tiga parameter utama, yaitu getaran, efisiensi daya motor–generator, serta temperatur komponen kritis pada motor listrik, 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.

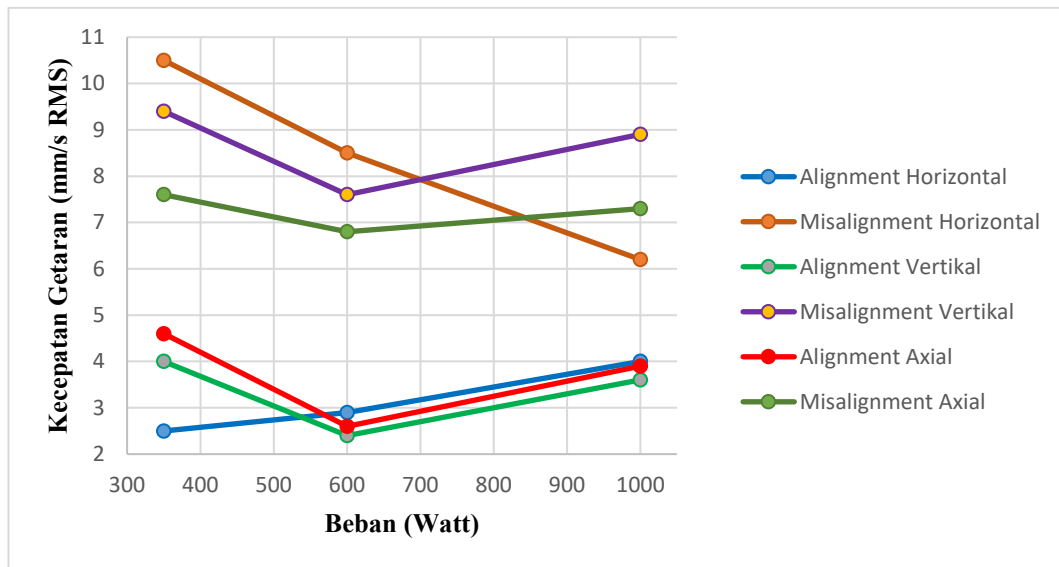
Sementara itu, pada arah *aksial*, kondisi *misalignment* kembali menunjukkan nilai getaran lebih besar, dengan nilai tertinggi 7,1 mm/s pada beban 350 W. Adapun nilai *alignment* aksial tetap rendah dalam kisaran 1,4–2,4 mm/s, yang mengindikasikan ketidakmampuan sistem untuk menahan gaya *aksial* ketika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

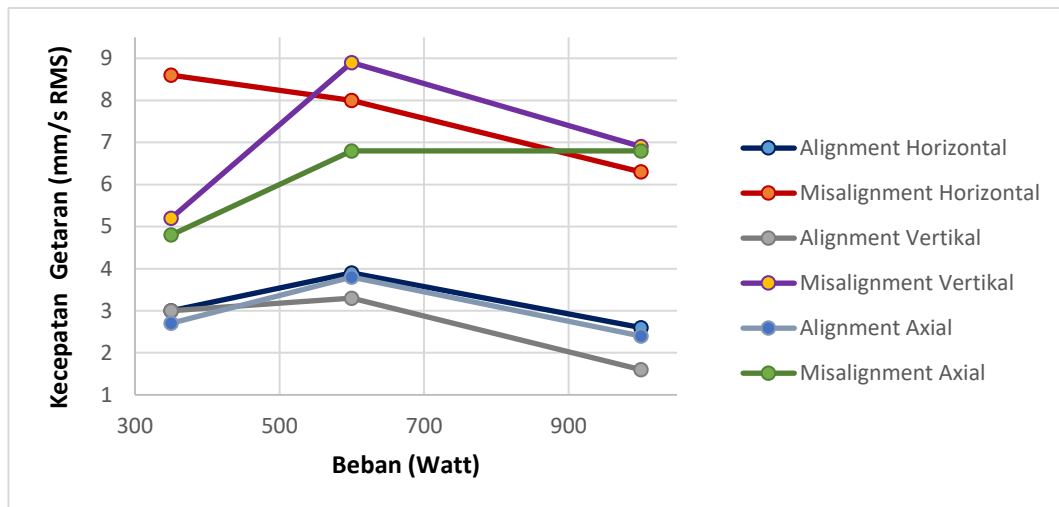
Pada arah *aksial*, nilai getaran *misalignment* berada pada kisaran 6,8–7,6 mm/s, lebih tinggi dibandingkan *alignment* yang berada pada kisaran 2,6–4,6 mm/s. Peningkatan pada misalignment aksial menunjukkan adanya gaya dorong tambahan pada arah sumbu poros akibat ketidaksejajaran.

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 Aksial (mm/s)	Misalignment Aksial (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.

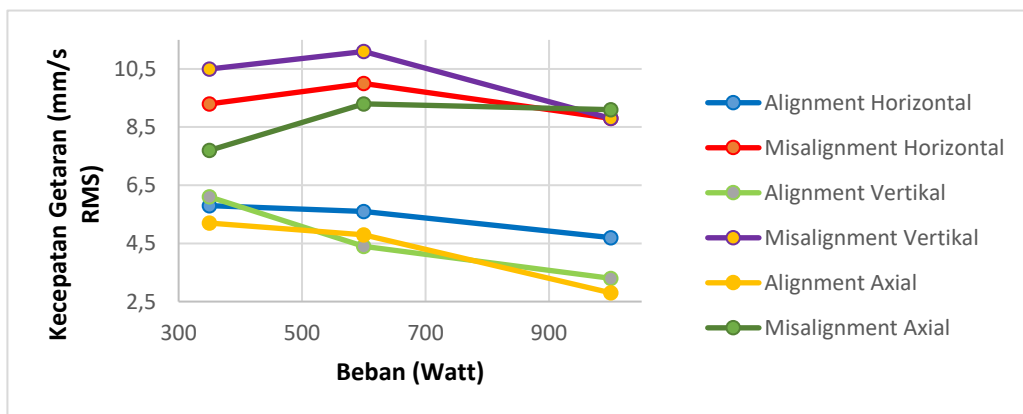
Sementara itu, pada arah *aksial*, kondisi *misalignment* juga menunjukkan nilai getaran yang lebih besar pada setiap variasi beban, yaitu dalam kisaran 4,3–6,8 mm/s, dengan nilai tertinggi pada beban 600 W. Pada kondisi *alignment*, getaran *aksial* jauh lebih rendah yaitu 2,4–3,8 mm/s, menandakan bahwa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

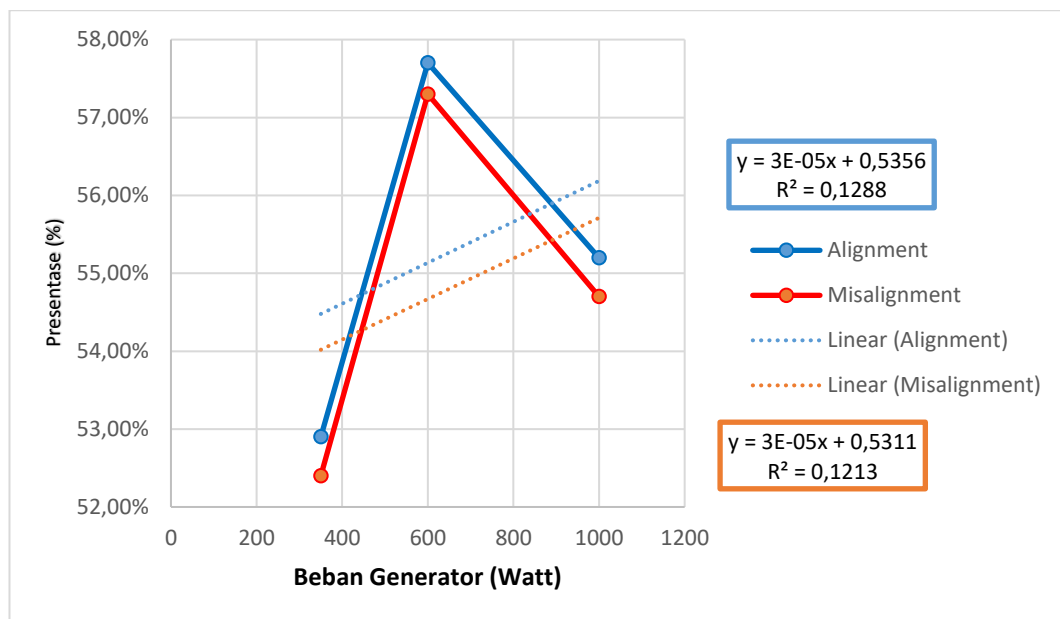
Pada arah *aksial*, nilai getaran *misalignment* berada pada kisaran 7,7–9,3 mm/s, sedangkan pada *alignment* hanya berada pada kisaran 2,8–5,2 mm/s. Hal ini menunjukkan bahwa *misalignment* juga mempengaruhi kestabilan gaya dorong aksial, sehingga meningkatkan getaran sepanjang sumbu poros.

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.

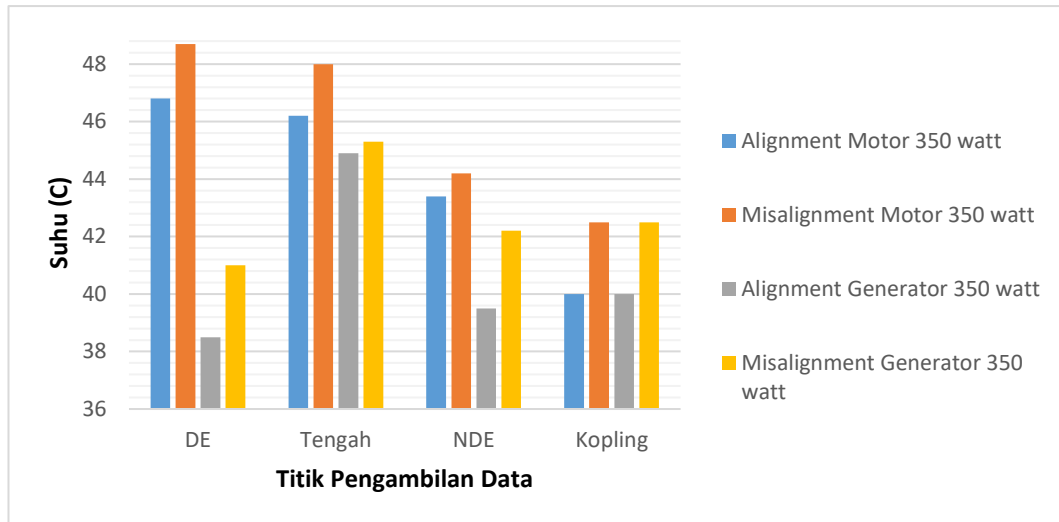
4.6.3 Perbandingan Suhu Motor dan Generator

Pengukuran temperature dengan FLIR TG-165 menunjukkan 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.

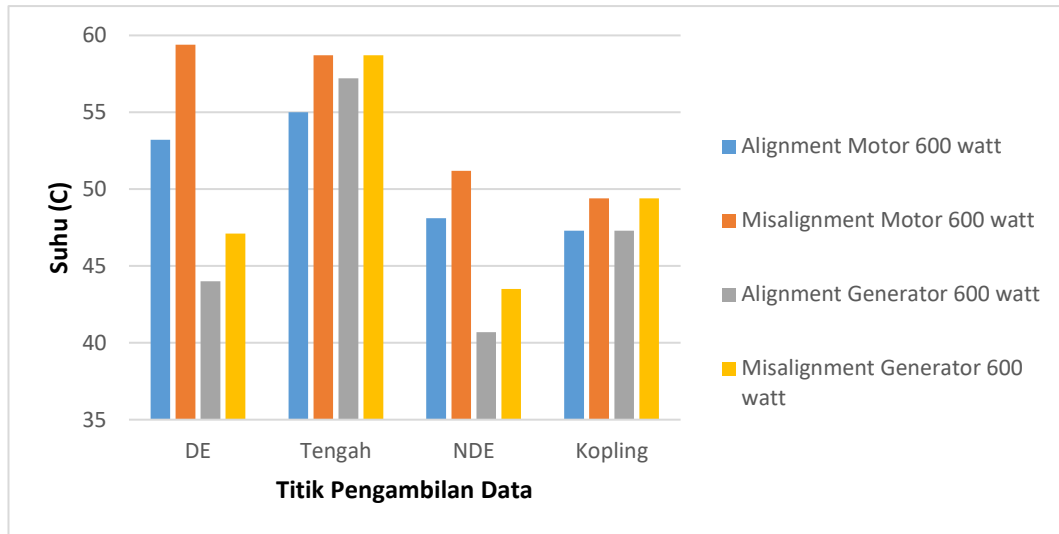
Pada titik Tengah, perbedaan lebih signifikan, yaitu 45,3°C pada misalignment dan 44,9°C pada alignment. Pada titik NDE dan Kopling, misalignment juga lebih tinggi, dengan nilai 42,2°C dan 42,5°C, sementara alignment berada pada 39,5°C dan 40°C.

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.

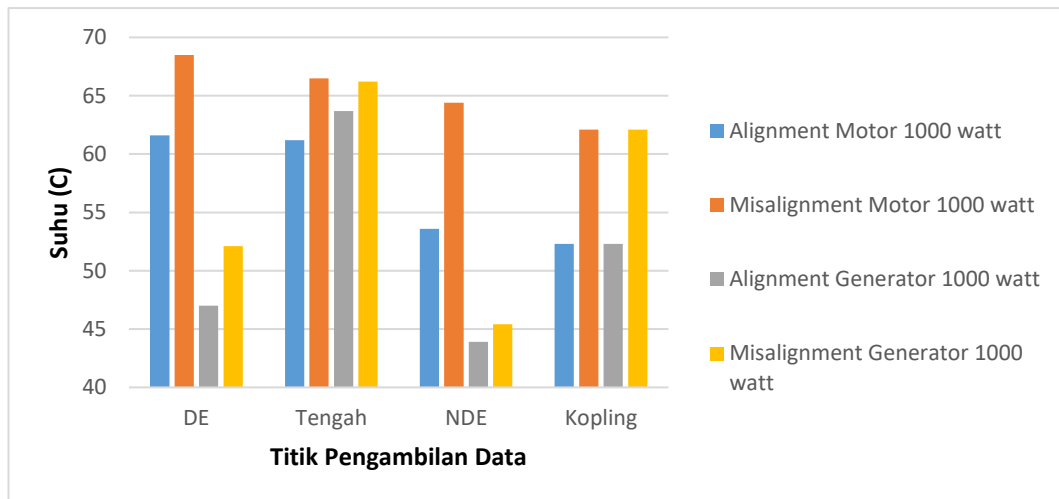
Pada sisi generator, kondisi misalignment juga menghasilkan suhu yang lebih tinggi. Pada titik DE, misalignment menunjukkan nilai 47,1°C, lebih besar dari alignment yang hanya 44°C. Pada titik Tengah, misalignment mencapai 58,7°C, secara signifikan lebih tinggi dibandingkan alignment yang sebesar 57,2°C. 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 $52,1^{\circ}\text{C}$, lebih tinggi dari alignment yang sebesar 47°C . Pada titik Tengah, perbedaan suhu cukup besar, dimana misalignment mencapai $65,2^{\circ}\text{C}$, sedangkan alignment hanya 55°C .

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

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.