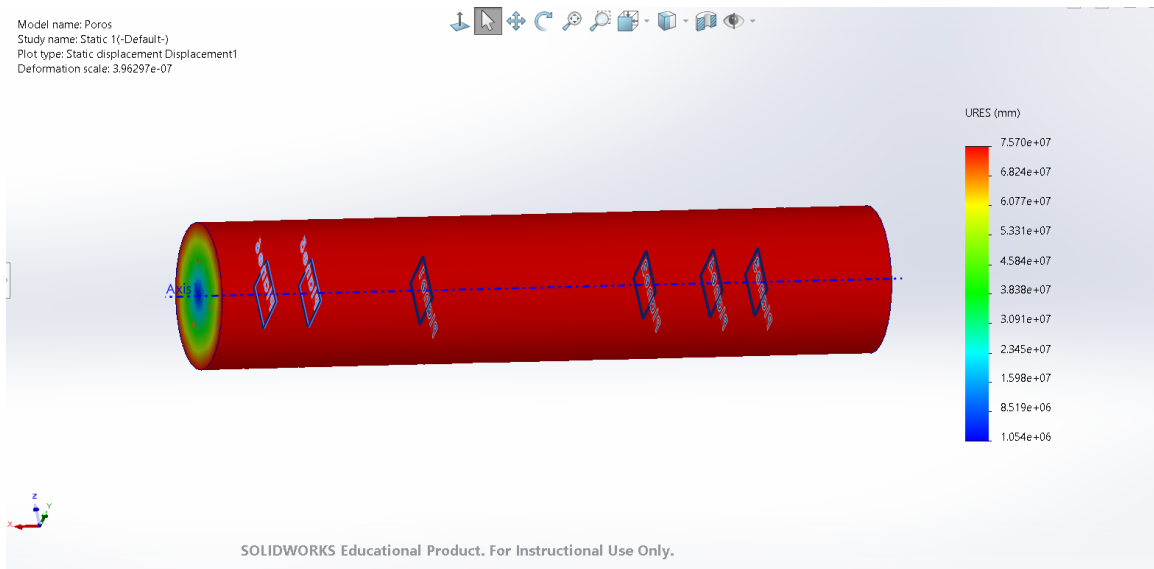


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi *Static Structural* pada Poros

4.1.1. *Displacement*

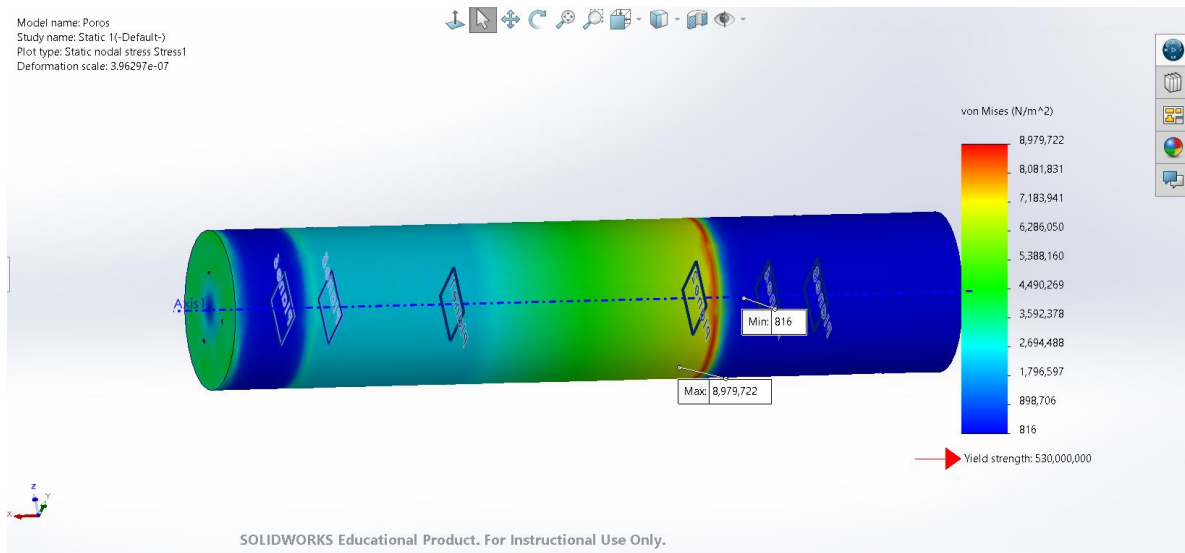


Gambar 4. 1 Hasil *displacement*

Hasil simulasi *static structural* bagian perpindahan (*displacement*) 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, serta aman digunakan tanpa menimbulkan deformasi berlebih yang dapat mengganggu kinerja sistem.

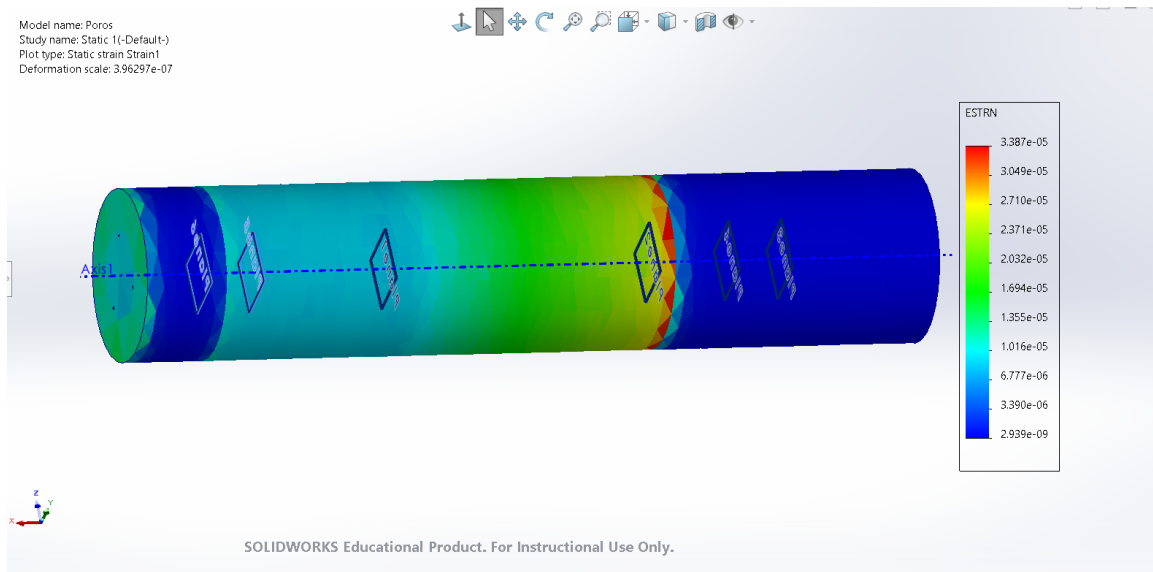
4.1.2. *Stress (Von Mises)*



Gambar 4. 2 Hasil *Von Mises*

Gambar 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 reduksi 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.

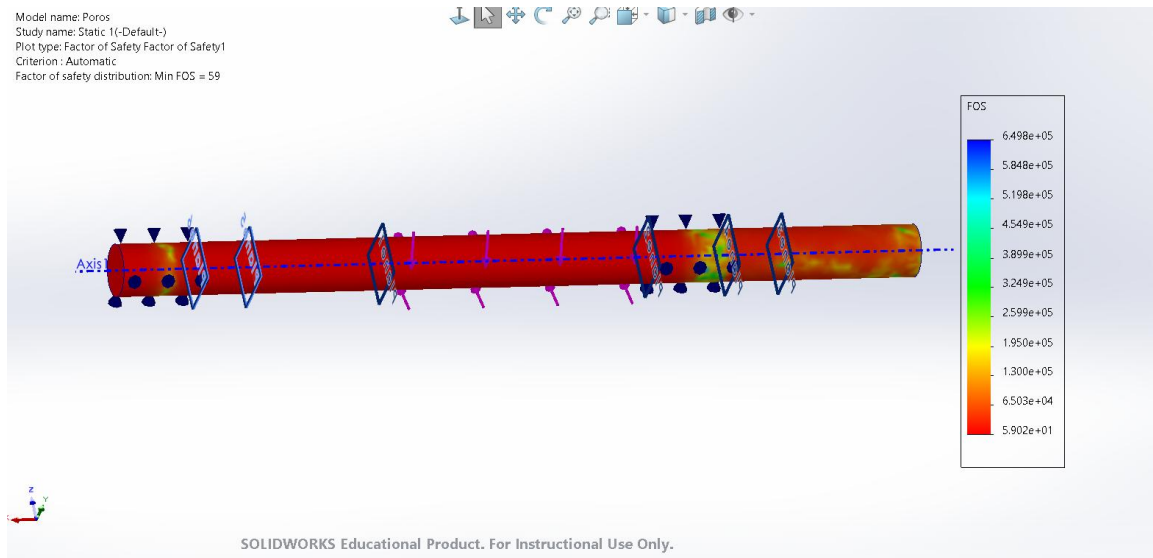
4.1.3. Strain



Gambar 4. 3 Hasil strain

Gambar 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.

4.1.4. Faktor Keamanan (FoS)



Gambar 4. 4 Hasil faktor keamanan (*FoS*)

Gambar 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 dengan diameter 19 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.

4.2 Pembahasan Data Getaran dan Daya Motor pada kondisi *Alignment* dan *Misalignment Angular*

Pada bagian ini disajikan hasil pembahasan mengenai perbandingan kinerja sistem motor-generator dalam kondisi *alignment* dan *misalignment angular*. 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*.

4.2.1. Perbandingan Nilai Getaran pada Kondisi *Alignment* dan *Misalignment*

Hasil pengambilan data getaran pada kondisi *alignment* dan *misalignment* dilakukan di titik *Drive End* (DE) dan *Non-Drive End* (NDE) pada motor maupun generator, dengan tiga arah pengukuran yaitu horizontal, vertikal, dan aksial. Untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai karakteristik getaran system (merujuk pada **Gambar 2.22**). Data hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 4.1**

hingga **Tabel 4.24**.

- Pembebanan DE Motor *Alignment*

Tabel 4. 1 Pembebanan DE Motor *Alignment* 350W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	1.8	<i>Satisfactory</i>
DE Motor	Vertikal	1.7	<i>Satisfactory</i>
DE Motor	Axial	2.1	<i>Unsatisfactory</i>

Tabel 4. 2 Pembebanan DE Motor *Alignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	1.9	<i>Unsatisfactory</i>
DE Motor	Vertikal	0.8	<i>Satisfactory</i>
DE Motor	Axial	1.4	<i>Satisfactory</i>

Tabel 4. 3 Pembebanan DE Motor *Alignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	2.6	<i>Unsatisfactory</i>
DE Motor	Vertikal	1.6	<i>Satisfactory</i>
DE Motor	Axial	2.4	<i>Unsatisfactory</i>

- Pembebanan DE Motor *Misalignment*

Tabel 4. 4 Pembebanan DE Motor *Misalignment* 350W

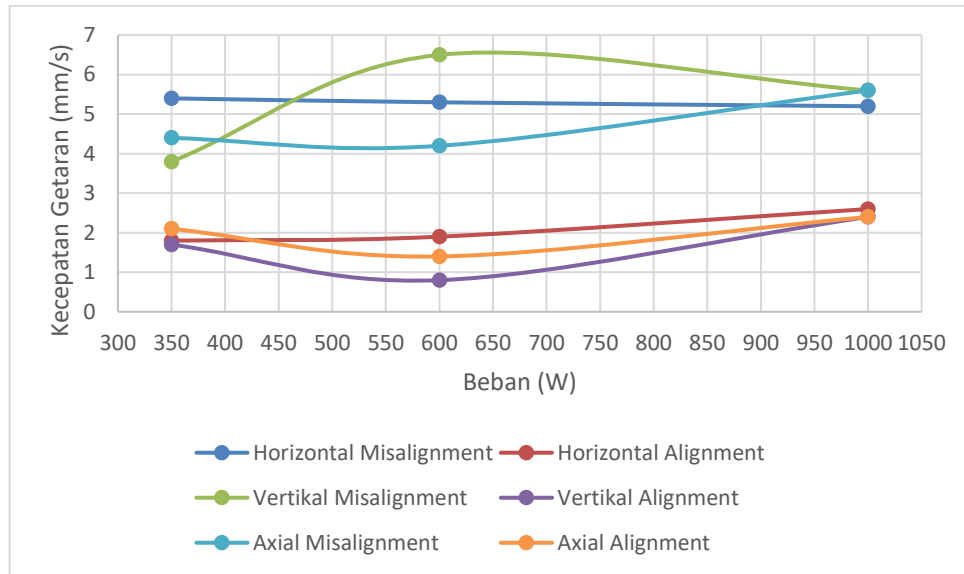
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	5.4	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Vertikal	3.8	<i>Unsatisfactory</i>
DE Motor	Axial	4.4	<i>Unsatisfactory</i>

Tabel 4. 5 Pembebanan DE Motor *Misalignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	5.3	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Vertikal	6.5	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Axial	4.2	<i>Unsatisfactory</i>

Tabel 4. 6 Pembebanan DE Motor *Misalignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	5.2	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Vertikal	4.7	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Axial	5.6	<i>Unacceptable</i>



Gambar 4. 5 Grafik nilai getaran DE motor

Berdasarkan **Gambar 4.5**, menunjukkan perbandingan nilai getaran pada titik Drive End (DE) motor untuk kondisi *alignment* dan *misalignment* terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pengukuran dilakukan pada tiga arah, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial menggunakan *vibration meter* dengan satuan mm/s.

Pada kondisi *alignment*, nilai getaran cenderung rendah dan stabil di seluruh variasi beban, dengan nilai tertinggi sebesar 2,6 mm/s pada arah aksial di beban 1000 W, sedangkan nilai terendah sebesar 0,8 mm/s pada arah vertikal di beban 600 W. Semua nilai pada kondisi *alignment* masih berada pada kategori satisfactory

berdasarkan standar ISO 10816 ($< 2,8 \text{ mm/s}$). Sebaliknya, pada kondisi *misalignment*, terjadi peningkatan nilai getaran yang signifikan di seluruh arah pengukuran. Getaran tertinggi terjadi pada arah vertikal misalignment dengan nilai maksimum $6,5 \text{ mm/s}$ pada beban 600 W, yang termasuk dalam kategori unacceptable ($> 4,5 \text{ mm/s}$) menurut ISO 10816. Arah horizontal dan aksial juga menunjukkan kenaikan nilai getaran masing-masing mencapai $5,3 \text{ mm/s}$ dan $5,2 \text{ mm/s}$ pada beban 600–1000 W.

Peningkatan getaran terbesar pada arah vertikal disebabkan oleh adanya angular misalignment vertikal, yang menimbulkan ketidakseimbangan gaya radial pada poros. Sementara itu, getaran aksial meningkat karena pengaruh gaya dorong (thrust) akibat ketidaksejajaran kopling selama rotasi. Pola kenaikan getaran ini menunjukkan bahwa semakin besar beban kerja, semakin tinggi gaya dinamis yang terjadi akibat misalignment. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa misalignment poros memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan getaran pada motor, terutama pada arah vertikal. Hal ini mengindikasikan pentingnya proses penyetelan *alignment* yang presisi untuk menjaga kestabilan rotasi dan umur pakai komponen sistem transmisi daya.

- Pembebanan NDE Motor *Alignment*

Tabel 4. 7 Pembebanan NDE Motor *Alignment* 350W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	2.5	<i>Unsatisfactory</i>
NDE Motor	Vertikal	4.0	<i>Unsatisfactory</i>
NDE Motor	Axial	4.6	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 8 Pembebanan NDE Motor *Alignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	2.9	<i>Satisfactory</i>
NDE Motor	Vertikal	2.4	<i>Satisfactory</i>
NDE Motor	Axial	2.6	<i>Satisfactory</i>

Tabel 4. 9 Pembebanan NDE Motor *Alignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	4.0	<i>Unsatisfactory</i>
NDE Motor	Vertikal	3.6	<i>Unsatisfactory</i>
NDE Motor	Axial	3.9	<i>Unsatisfactory</i>

- Pembebanan NDE Motor *Misalignment*

Tabel 4. 10 Pembebanan NDE Motor *Misalignment* 350W

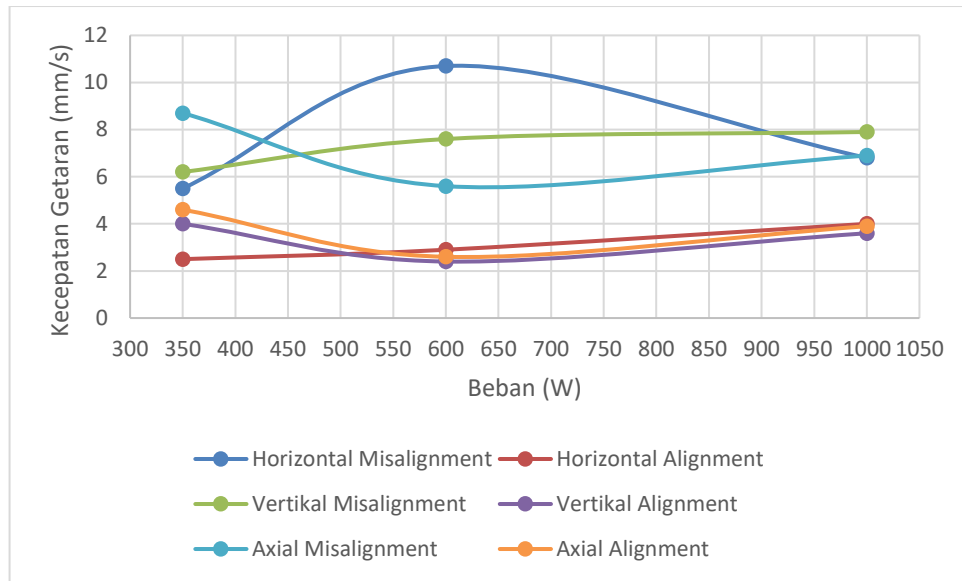
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	5.5	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Vertikal	6.2	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Axial	8.7	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 11 Pembebanan NDE Motor *Misalignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	10.7	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Vertikal	7.6	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Axial	5.6	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 12 Pembebanan NDE Motor *Misalignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	6.8	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Vertikal	7.9	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Axial	6.9	<i>Unacceptable</i>



Gambar 4. 6 Grafik nilai getaran NDE motor

Berdasarkan **Gambar 4.6**, menunjukkan hasil pengukuran tingkat getaran pada titik Non-Drive End (NDE) motor untuk kondisi *alignment* dan *misalignment* pada tiga arah pengukuran, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial, dengan variasi pembebanan 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pengukuran dilakukan menggunakan *vibration meter* SKF CMAS 100-SL dalam satuan mm/s.

Pada kondisi *alignment*, nilai getaran relatif rendah dan stabil di semua arah pengukuran. Nilai tertinggi tercatat sebesar 4,0 mm/s pada arah horizontal di beban 1000 W, sedangkan nilai terendah sebesar 2,4 mm/s pada arah vertikal di beban 600 W. Berdasarkan standar ISO 10816, nilai-nilai tersebut masih termasuk dalam kategori satisfactory ($< 4,5$ mm/s). Sebaliknya, pada kondisi *misalignment*, terjadi peningkatan getaran yang cukup signifikan di seluruh arah. Nilai getaran tertinggi tercatat pada arah horizontal misalignment sebesar 10,7 mm/s pada beban 600 W, yang masuk dalam kategori unacceptable ($> 4,5$ mm/s) menurut standar ISO 10816. Peningkatan ini menunjukkan adanya ketidaksejajaran poros yang menyebabkan

ketidakseimbangan gaya radial secara dominan pada arah horizontal. Selain itu, arah vertikal misalignment juga mengalami kenaikan hingga 7,6 mm/s, dan arah aksial misalignment mencapai 8,7 mm/s pada beban 350 W, menunjukkan pengaruh beban dorong (*thrust load*) akibat ketidaksejajaran kopling.

Kecenderungan peningkatan getaran tertinggi terjadi pada beban menengah (600 W), kemudian sedikit menurun pada beban 1000 W. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban sedang, efek resonansi getaran lebih terasa akibat keselarasan sistem yang tidak sempurna. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi misalignment pada arah horizontal memiliki pengaruh paling besar terhadap peningkatan getaran di sisi NDE motor, diikuti oleh arah aksial dan vertikal. Temuan ini menegaskan bahwa ketidaksejajaran poros secara horizontal dapat memicu getaran berlebih yang berpotensi mempercepat keausan bantalan serta menurunkan efisiensi dan keandalan sistem rotasi.

- Pembebanan DE Generator *Alignment*

Tabel 4. 13 Pembebanan DE Generator *Alignment* 350W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	3.0	<i>Unsatisfactory</i>
DE Generator	Vertikal	3.0	<i>Unsatisfactory</i>
DE Generator	Axial	2.7	<i>Unsatisfactory</i>

Tabel 4. 14 Pembebanan DE Generator *Alignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	3.9	<i>Satisfactory</i>
DE Generator	Vertikal	3.3	<i>Satisfactory</i>
DE Generator	Axial	3.8	<i>Satisfactory</i>

Tabel 4. 15 Pembebanan DE Generator *Alignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	2.6	<i>Unsatisfactory</i>
DE Generator	Vertikal	1.6	<i>Satisfactory</i>
DE Generator	Axial	2.4	<i>Unsatisfactory</i>

- Pembebanan DE Generator *Misalignment*

Tabel 4. 16 Pembebanan DE Generator *Misalignment* 350W

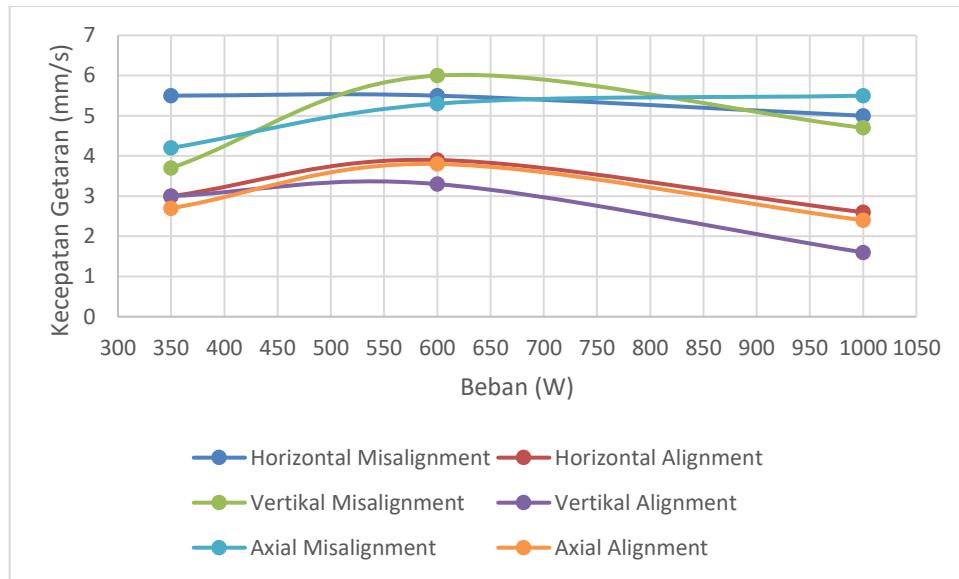
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	5.5	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Vertikal	3.7	<i>Unsatisfactory</i>
DE Generator	Axial	4.2	<i>Unsatisfactory</i>

Tabel 4. 17 Pembebanan DE Generator *Misalignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	5.5	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Vertikal	6.0	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Axial	5.3	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 18 Pembebanan DE Generator *Misalignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	5.0	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Vertikal	4.7	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Axial	5.5	<i>Unacceptable</i>



Gambar 4. 7 Grafik nilai DE Generator

Berdasarkan **Gambar 4.7**, menunjukkan hasil pengukuran tingkat getaran pada titik Drive End (DE) generator untuk kondisi *alignment* dan *misalignment* terhadap variasi pembebanan 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pengukuran dilakukan pada tiga arah, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial, menggunakan *vibration meter* SKF CMAS 100-SL dalam satuan mm/s.

Pada kondisi *alignment*, nilai getaran cenderung rendah dan stabil di seluruh variasi beban. Nilai tertinggi tercatat sebesar 3,8 mm/s pada arah aksial di beban 600 W, sedangkan nilai terendah sebesar 1,6 mm/s pada arah vertikal di beban 1000 W. Berdasarkan standar ISO 10816, seluruh nilai getaran pada kondisi *alignment* masih berada dalam kategori satisfactory (< 2,8 mm/s hingga mendekati batas acceptable). Sebaliknya, pada kondisi *misalignment*, nilai getaran meningkat secara signifikan. Getaran tertinggi terjadi pada arah vertikal misalignment dengan nilai maksimum 6,0 mm/s pada beban 600 W, diikuti oleh arah horizontal misalignment sebesar 5,5 mm/s, dan arah aksial misalignment sebesar 5,3 mm/s. Nilai-nilai

tersebut termasuk dalam kategori unacceptable ($> 4,5$ mm/s) menurut standar ISO 10816.

Peningkatan getaran tertinggi pada arah vertikal menunjukkan bahwa misalignment angular vertikal memberikan dampak paling besar terhadap kestabilan rotasi generator. Hal ini disebabkan oleh perubahan sudut kecil pada sumbu poros yang menghasilkan gaya radial tak seimbang antara kopling dan bantalan DE. Sementara itu, arah aksial juga mengalami peningkatan getaran akibat gaya dorong (*thrust load*) yang timbul dari ketidaksejajaran kopling selama berputar. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa misalignment, terutama pada arah vertikal, menyebabkan peningkatan getaran yang signifikan pada sisi DE generator. Kondisi ini memperkuat hasil pengujian sebelumnya pada motor, bahwa ketidaksejajaran poros tidak hanya berdampak pada sisi penggerak (motor), tetapi juga pada sisi penerima daya (generator), yang berpotensi mempercepat keausan bantalan dan menurunkan efisiensi sistem transmisi daya.

- Pembebanan NDE Generator *Alignment*

Tabel 4. 19 Pembebanan NDE Generator *Alignment* 350W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	5.8	<i>Unsatisfactory</i>
NDE Generator	Vertikal	6.1	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Axial	5.2	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 20 Pembebanan NDE Generator *Alignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	5.6	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	4.4	<i>Unsatisfactory</i>
NDE Generator	Axial	4.8	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 21 Pembebanan NDE Generator *Alignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	4.7	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	3.3	<i>Unsatisfactory</i>
NDE Generator	Axial	2.8	<i>Unsatisfactory</i>

- Pembebanan NDE Generator *Misalignment*

Tabel 4. 22 Pembebanan NDE Generator *Misalignment* 350W

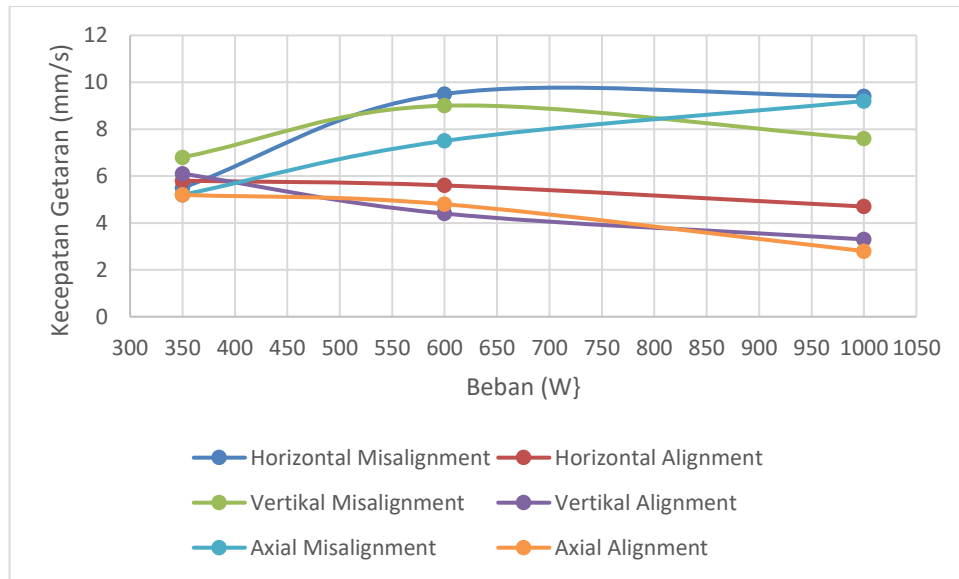
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	5.5	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	6.8	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Axial	5.2	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 23 Pembebanan NDE Generator *Misalignment* 600W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	9.5	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	9.0	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Axial	7.5	<i>Unacceptable</i>

Tabel 4. 24 Pembebanan NDE Generator *Misalignment* 1000W

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	9.4	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	7.6	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Axial	9.2	<i>Unacceptable</i>



Gambar 4. 8 Diagram nilai NDE generator

Berdasarkan **Gambar 4.8**, menunjukkan hasil pengukuran tingkat getaran pada titik Non-Drive End (NDE) generator untuk kondisi *alignment* dan *misalignment* pada tiga arah pengukuran, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial, terhadap variasi pembebanan 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pengukuran dilakukan menggunakan *vibration meter* SKF CMAS 100-SL dengan satuan mm/s.

Pada kondisi *alignment*, nilai getaran relatif rendah dan stabil di seluruh arah pengukuran. Nilai getaran tertinggi tercatat sebesar 5,6 mm/s pada arah aksial di beban 600 W, sedangkan nilai terendah sebesar 2,8 mm/s pada arah vertikal di beban 1000 W. Secara umum, seluruh nilai getaran pada kondisi *alignment* berada dalam kategori satisfactory hingga acceptable menurut standar ISO 10816. Sebaliknya, pada kondisi *misalignment*, nilai getaran meningkat secara signifikan pada seluruh arah pengukuran. Getaran tertinggi terjadi pada arah horizontal misalignment dengan nilai maksimum 9,5 mm/s pada beban 600 W, diikuti oleh arah vertikal misalignment sebesar 9,0 mm/s, dan arah aksial misalignment sebesar 7,5 mm/s pada beban yang sama. Semua nilai tersebut tergolong dalam kategori unacceptable ($> 4,5$ mm/s) berdasarkan standar ISO 10816.

Peningkatan getaran yang signifikan pada arah horizontal dan vertikal menunjukkan adanya pengaruh angular misalignment yang kuat terhadap ketidakseimbangan gaya radial pada sisi NDE generator. Selain itu, arah aksial juga menunjukkan kenaikan getaran akibat gaya dorong (*thrust load*) yang timbul dari perubahan sudut kopling ketika poros berputar. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa misalignment memberikan dampak paling besar terhadap peningkatan getaran di sisi NDE generator, khususnya pada arah horizontal. Peningkatan getaran tertinggi terjadi pada beban menengah (600 W), menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut sistem berada pada titik resonansi parsial, di mana getaran cenderung maksimal sebelum kembali menurun pada beban lebih tinggi. Kondisi ini menegaskan bahwa ketidaksejajaran poros secara horizontal dan vertikal menjadi faktor dominan dalam peningkatan getaran pada sistem generator, yang dapat mempengaruhi umur bantalan dan efisiensi transmisi daya secara keseluruhan.

4.2.2. Perbandingan Efisiensi Daya Motor Generator

Hasil data pengukuran daya *input* pada kondisi *alignment* dan *misalignment* menggunakan Chauvin Arnoux PEL 103 pada sisi motor listrik, sedangkan daya *output* diukur dengan Lutron DW-6093 pada sisi generator. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 4.25** hingga **Tabel 4.26**.

Tabel 4. 25 Kondisi *Alignment*

Beban W	Daya <i>Input</i> P_{in} (W)	Daya <i>Output</i> P_{out} (W)	Efisiensi
350 W	649	346	53,3 %
600 W	1112	647	58,3 %
1000 W	1441	804	55,8 %

Tabel 4. 26 Kondisi *Misalignment Angular*

Beban W	Daya Input P_{in} (W)	Daya Output P_{out} (W)	Efisiensi
350 W	713	340	48,5 %
600 W	1240	709	57,2 %
1000 W	1438	802	55,7%



Gambar 4. 9 Diagram nilai efisiensi daya motor-generator

Dari **Gambar 4.9**, menunjukkan perbandingan nilai efisiensi sistem motor–generator pada dua kondisi berbeda, yaitu alignment dan misalignment, terhadap variasi pembebanan 350 W, 600 W, dan 1000 W. Efisiensi dihitung berdasarkan perbandingan antara daya keluaran generator terhadap daya masukan motor listrik selama pengujian berlangsung.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi sistem pada kondisi *alignment* cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi *misalignment* pada seluruh variasi beban. Pada kondisi *alignment*, efisiensi tertinggi diperoleh pada beban 600 W sebesar 58,3%, sedangkan efisiensi terendah sebesar 53,3% pada beban 350 W. Sementara pada kondisi *misalignment*, efisiensi maksimum tercatat 57,2% pada beban 600 W dan menurun menjadi 48,5% pada beban 350 W.

Perbedaan efisiensi ini menunjukkan bahwa misalignment pada poros motor dan generator menyebabkan peningkatan rugi-rugi mekanis, terutama akibat naiknya tingkat getaran, ketidaksejajaran kopling, dan peningkatan gaya gesek pada bantalan. Kondisi ini membuat sebagian energi yang seharusnya dikonversi menjadi daya listrik pada generator justru hilang sebagai panas dan getaran.

Menariknya, pada beban 1000 W, nilai efisiensi antara *alignment* dan *misalignment* relatif mendekati (55,8% dan 55,7%). Hal ini disebabkan karena pada beban tinggi, sistem bekerja mendekati kapasitas maksimum sehingga pengaruh misalignment menjadi relatif lebih kecil dibanding total daya yang ditransmisikan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kondisi alignment yang baik berpengaruh langsung terhadap peningkatan efisiensi sistem motor-generator, sedangkan *misalignment* menyebabkan rugi-rugi mekanis dan penurunan efisiensi, terutama pada beban rendah hingga menengah.

4.2.3. Perbandingan Suhu Motor – Generator

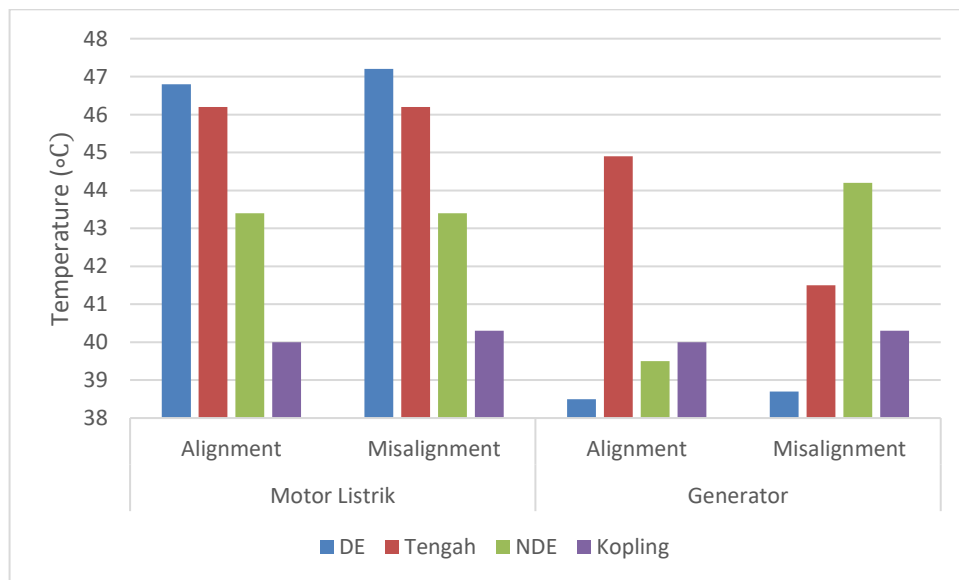
Hasil data pengukuran temperatur yang dilakukan untuk memantau perubahan panas pada motor listrik dan generator ketika mengalami kondisi *alignment* dan *misalignment angular*. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 4.27** hingga **Tabel 4.32**.

Tabel 4. 27 Data Temperatur kondisi *Alignment* 350W

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

Tabel 4. 28 Data Temperatur kondisi *Misalignment Angular* 350W

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)
20 Menit	30,4	Motor Listrik	350W	DE	0.95	47,2
				TENGAH	0.95	46,2
				NDE	0.95	43,4
				KOPLING	0.30	40,3
		Generator		DE	0.95	38,7
				TENGAH	0.95	41,5
				NDE	0.95	44,2



Gambar 4. 10 Diagram nilai perbandingan suhu motor-generator 350W

Berdasarkan **Gambar 4.10**, menunjukkan hasil pengukuran suhu pada empat titik pengamatan, yaitu Drive End (DE), Non-Drive End (NDE), bagian

tengah, dan kopling, untuk dua kondisi operasi: *alignment* dan *misalignment*. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan *thermal imager* Flir E4 setelah sistem beroperasi stabil selama periode tertentu pada beban 350 W.

Pada kondisi *alignment*, suhu tertinggi tercatat pada bagian DE motor listrik sebesar 46,8°C, diikuti oleh tengah motor sebesar 46,2°C, NDE motor 40°C, dan kopling 40°C. Untuk generator, suhu tertinggi terjadi pada bagian tengah sebesar 44,9°C, diikuti oleh DE 40°C, NDE 38,5°C, dan kopling 38,7°C. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa sistem dalam kondisi *alignment* bekerja stabil, dengan distribusi panas yang relatif merata antara sisi motor dan generator.

Pada kondisi *misalignment*, terjadi peningkatan suhu di hampir seluruh titik pengukuran. Suhu tertinggi pada motor listrik tercatat sebesar 47,2°C di bagian DE, sedangkan pada generator suhu maksimum mencapai 44,2°C di bagian tengah. Kenaikan suhu ini disebabkan oleh gesekan tambahan dan peningkatan getaran akibat ketidaksejajaran poros, yang mengakibatkan peningkatan rugi energi dalam bentuk panas, terutama di sekitar area bantalan dan kopling.

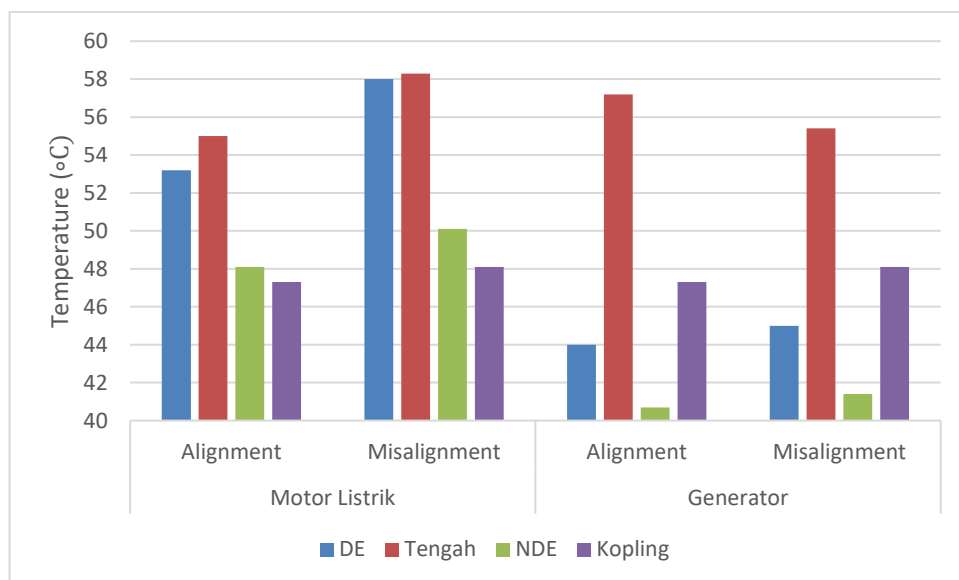
Secara umum, hasil pengukuran menunjukkan bahwa kondisi *misalignment* menyebabkan kenaikan suhu rata-rata sebesar 1–3°C dibandingkan kondisi *alignment*. Peningkatan ini paling besar terjadi pada sisi DE motor listrik, yang menjadi titik tumpuan beban putar utama. Temuan ini menegaskan bahwa *misalignment* tidak hanya mempengaruhi getaran, tetapi juga berdampak langsung pada kenaikan temperatur dan penurunan efisiensi sistem rotasi, yang jika dibiarkan dapat mempercepat degradasi pelumas dan keausan bantalan.

Tabel 4. 29 Data Temperatur kondisi *Alignment* 600W

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)
20 Menit	29,8	Motor Listrik	600W	DE	0.95	53,2
				TENGAH	0.95	55
				NDE	0.95	48,1
				KOPLING	0.30	47,3
		Generator		DE	0.95	44
				TENGAH	0.95	57,2
				NDE	0.95	40.7

Tabel 4. 30 Data Temperatur kondisi *Misalignment Angular* 600W

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)
20 Menit	32,1	Motor Listrik	600W	DE	0.95	58
				TENGAH	0.95	58,3
				NDE	0.95	50,1
				KOPLING	0.30	48,1
		Generator		DE	0.95	45
				TENGAH	0.95	55,4
				NDE	0.95	41,4



Gambar 4. 11 Diagram nilai perbandingan suhu motor-generator 600W

Berdasarkan **Gambar 4.11**, memperlihatkan perbandingan hasil pengukuran suhu pada empat titik pengamatan, yaitu Drive End (DE), Non-Drive

End (NDE), bagian tengah, dan kopling, untuk dua kondisi operasi: *alignment* dan *misalignment*. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan *thermal imager* Flir E4 setelah sistem beroperasi stabil pada beban 600 W.

Pada kondisi *alignment*, suhu tertinggi tercatat pada bagian DE motor listrik sebesar 53,2°C, diikuti oleh bagian tengah 55°C, NDE 48,1°C, dan kopling 47,3°C. Untuk generator, suhu tertinggi terjadi pada bagian tengah sebesar 57,2°C, kemudian DE 47,3°C, NDE 45°C, dan kopling 40,7°C. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem bekerja stabil dan mampu mentransfer daya dengan efisien tanpa kenaikan temperatur berlebih.

Pada kondisi *misalignment*, suhu di seluruh titik pengukuran mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Pada motor listrik, suhu maksimum tercatat 58,3°C pada bagian tengah dan 58°C pada DE, sedangkan pada generator, suhu tertinggi mencapai 55,4°C pada bagian tengah. Kenaikan suhu tertinggi terjadi di area DE dan tengah, karena keduanya merupakan titik tumpuan beban rotasi dan transfer daya melalui kopling.

Peningkatan suhu ini terjadi akibat gesekan tambahan dan ketidakseimbangan poros yang disebabkan oleh *misalignment angular*, menghasilkan rugi energi dalam bentuk panas pada bantalan dan permukaan kontak kopling. Dibandingkan kondisi *alignment*, rata-rata suhu meningkat sekitar 3–5°C pada semua titik pengamatan.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kondisi *misalignment* pada beban 600 W menghasilkan kenaikan suhu paling signifikan dibandingkan beban 350 W, karena pada daya menengah, sistem bekerja dengan torsi tinggi dan

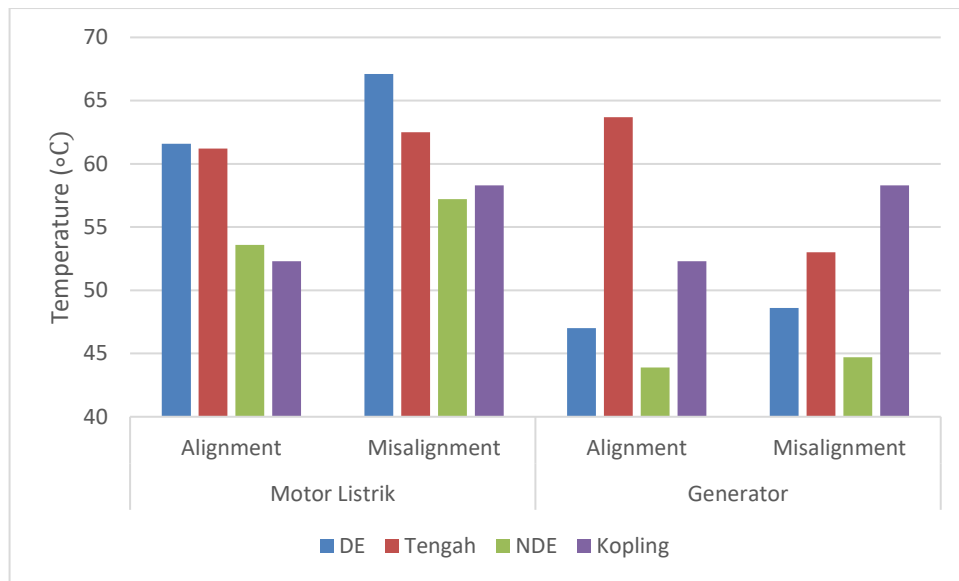
efek ketidaksejajaran poros lebih terasa. Hal ini memperkuat bahwa *misalignment* tidak hanya menurunkan efisiensi sistem, tetapi juga menyebabkan kenaikan temperatur yang dapat mempercepat keausan komponen mekanis seperti bantalan dan kopling.

Tabel 4. 31 Data Temperatur kondisi *Alignment* 1000W

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)
20 Menit	29,8	Motor Listrik	1000W	DE	0.95	61,6
				TENGAH	0.95	61,2
				NDE	0.95	53,6
				KOPLING	0.30	52,3
		Generator		DE	0.95	47
				TENGAH	0.95	63,7
				NDE	0.95	43,9

Tabel 4. 32 Data Temperatur kondisi *Misalignment Angular* 1000W

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)	
20 Menit	32,4	Motor Listrik	1000W	DE	0.95	67,1	
				NDE	0.95	57.2	
				TENGAH	0.95	62,5	
				KOPLING	0.30	58,3	
		Generator		DE	0.95	48,6	
				TENGAH	0.95	53	
				NDE	0.95	44,7	



Gambar 4. 12 Diagram nilai perbandingan suhu motor-generator 1000W

Berdasarkan **Gambar 4.13**, menunjukkan hasil pengukuran temperatur pada empat titik pengamatan Drive End (DE), Non-Drive End (NDE), bagian tengah, dan kopling untuk dua kondisi operasi, yaitu *alignment* dan *misalignment*. Pengukuran dilakukan menggunakan *thermal imager* Flir E4 setelah sistem beroperasi stabil pada beban 1000 W, yang merupakan beban tertinggi pada pengujian ini.

Pada kondisi *alignment*, suhu tertinggi tercatat pada bagian tengah generator sebesar 63,7°C, diikuti oleh DE motor listrik 61,6°C, tengah motor 61,2°C, dan kopling 52,3°C. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem bekerja pada kondisi stabil, meskipun terjadi kenaikan suhu seiring peningkatan beban. Peningkatan temperatur pada bagian tengah generator disebabkan oleh adanya disipasi panas dari lilitan medan dan gesekan internal rotor yang meningkat pada daya tinggi.

Pada kondisi *misalignment*, terjadi peningkatan suhu yang lebih signifikan di hampir seluruh titik pengukuran. Suhu tertinggi tercatat pada DE motor listrik

sebesar 67,1°C, diikuti oleh bagian tengah motor 62,5°C, bagian tengah generator 58,3°C, dan kopling 58,3°C. Kenaikan ini disebabkan oleh peningkatan gaya radial dan aksial akibat ketidaksejajaran poros, yang menyebabkan gesekan dan getaran berlebih pada area bantalan serta menimbulkan rugi panas tambahan.

Dibandingkan dengan kondisi *alignment*, suhu rata-rata pada *misalignment* meningkat sekitar 3–5°C, dengan kenaikan tertinggi terjadi pada DE motor listrik. Hal ini menunjukkan bahwa titik tumpu beban rotasi mengalami tekanan terbesar akibat *misalignment* angular vertikal.

Secara keseluruhan, hasil ini memperlihatkan bahwa pada beban tinggi (1000 W), sistem tetap mampu beroperasi namun menunjukkan kecenderungan kenaikan suhu signifikan akibat *misalignment*. Fenomena ini menegaskan bahwa selain meningkatkan getaran, *misalignment* juga berdampak langsung terhadap kenaikan temperatur dan efisiensi termal sistem motor–generator, yang berpotensi mempercepat degradasi bantalan, pelumas, serta menurunkan keandalan sistem dalam jangka panjang.

4.2.4. Pembahasan Intergratif *Alignment* dan *Misalignment*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi *alignment* memberikan performa yang lebih baik dibandingkan *misalignment angular*. Getaran pada *alignment* relatif rendah, sedangkan *misalignment* menghasilkan peningkatan signifikan hingga kategori *unsatisfactory* dan *unacceptable*. Efisiensi daya pada *alignment* mencapai 55–58 %, lebih tinggi daripada *misalignment* yang turun hingga 48,5 % pada beban rendah. Temperatur komponen pada *misalignment* juga cenderung lebih tinggi, terutama pada titik DE, NDE, dan kopling.

Berdasarkan standar ISO 10816, simulator shaft alignment termasuk kategori Class I (small machines) dengan batas kecepatan getaran maksimum 4,5 mm/s untuk kondisi aman. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi *alignment* berada pada kategori satisfactory, sedangkan kondisi *misalignment* melampaui batas dengan nilai hingga 10,7 mm/s, yang dikategorikan unacceptable. Dengan demikian, *misalignment* terbukti menurunkan kestabilan, efisiensi, serta distribusi panas sistem motor–generator.