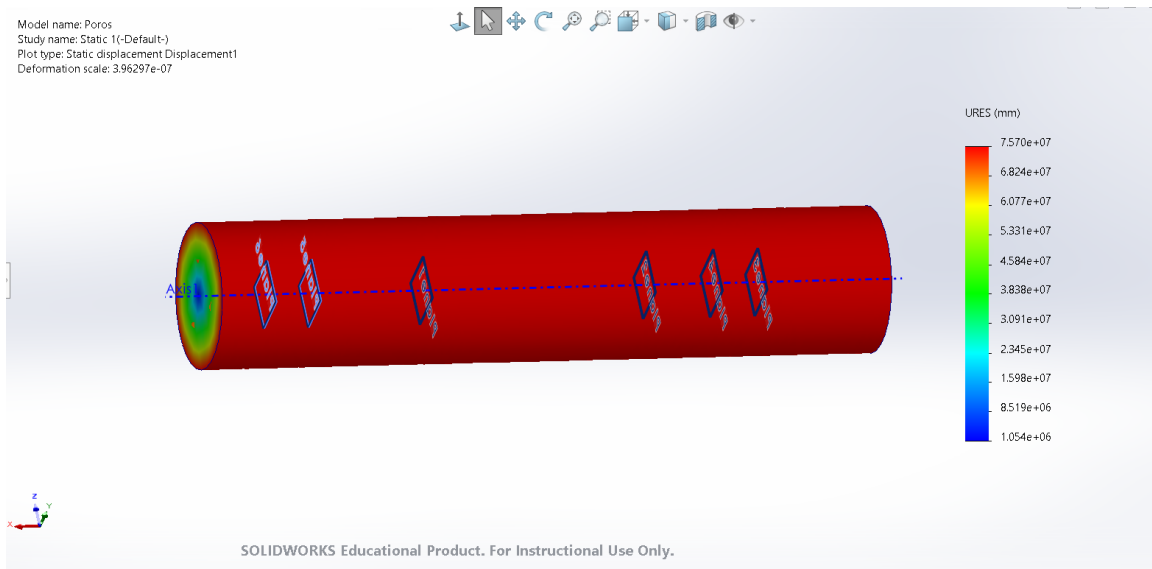


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi *Static Structural* pada Poros

4.1.1. *Displacement*

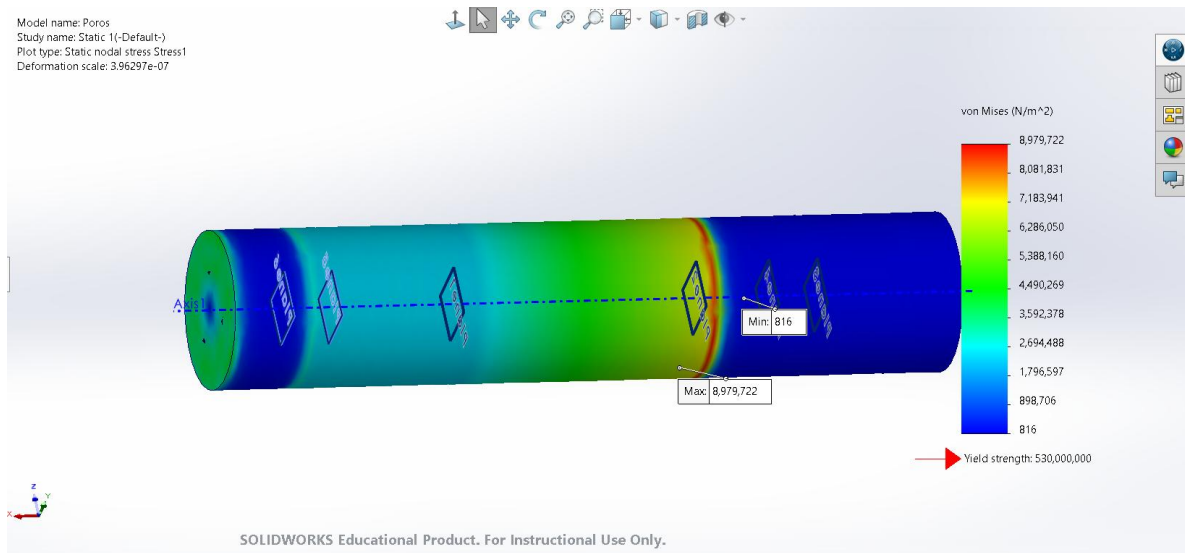


Gambar 4. 1 Hasil *displacement*

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.

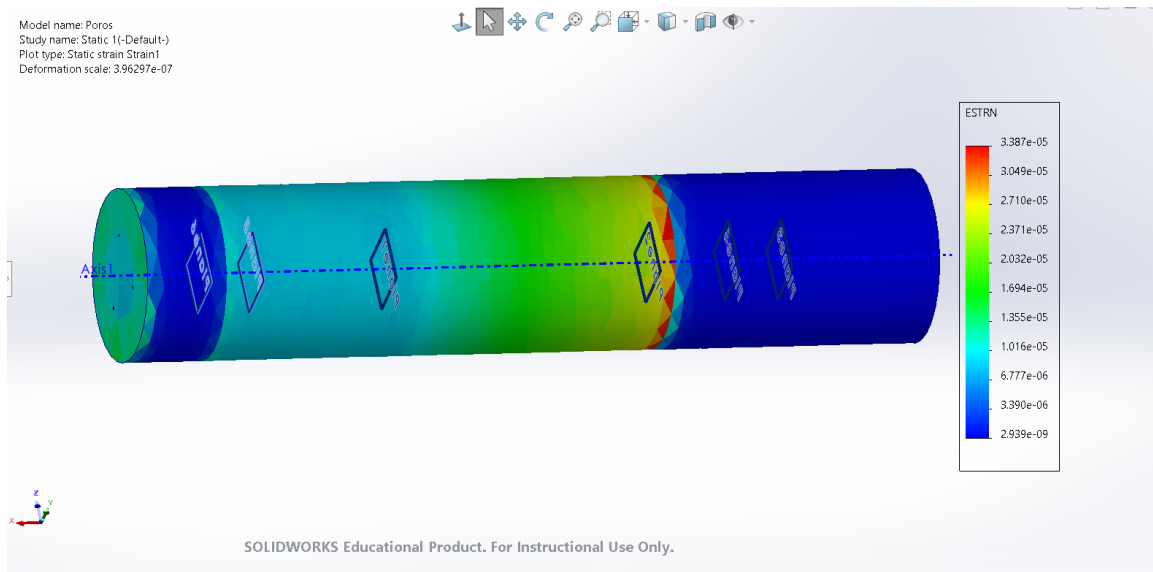
4.1.2. *Stress (Von Mises)*



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.

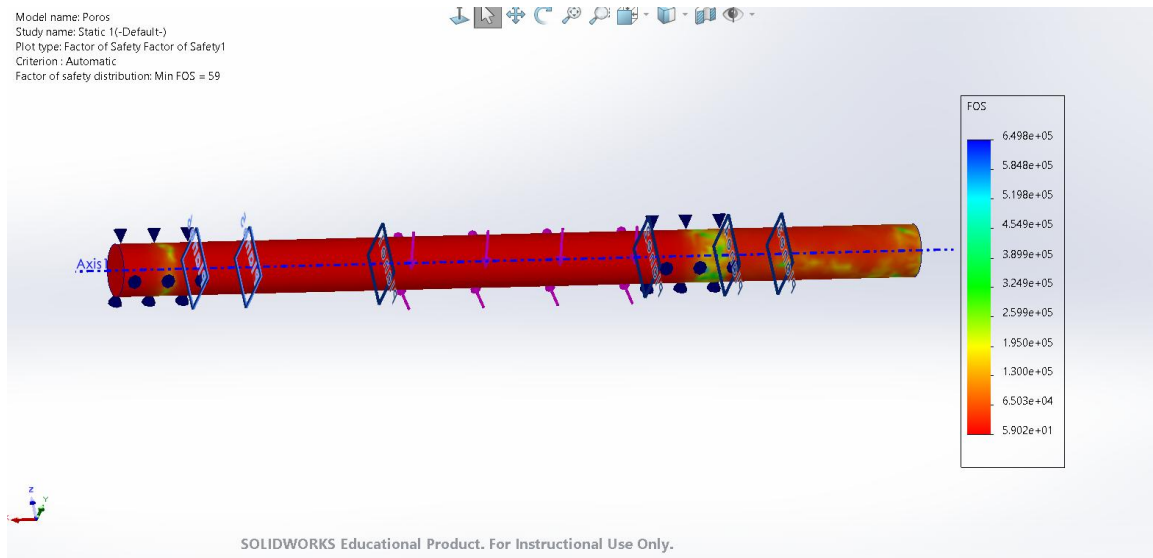
4.1.3. Strain



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 Offset*

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

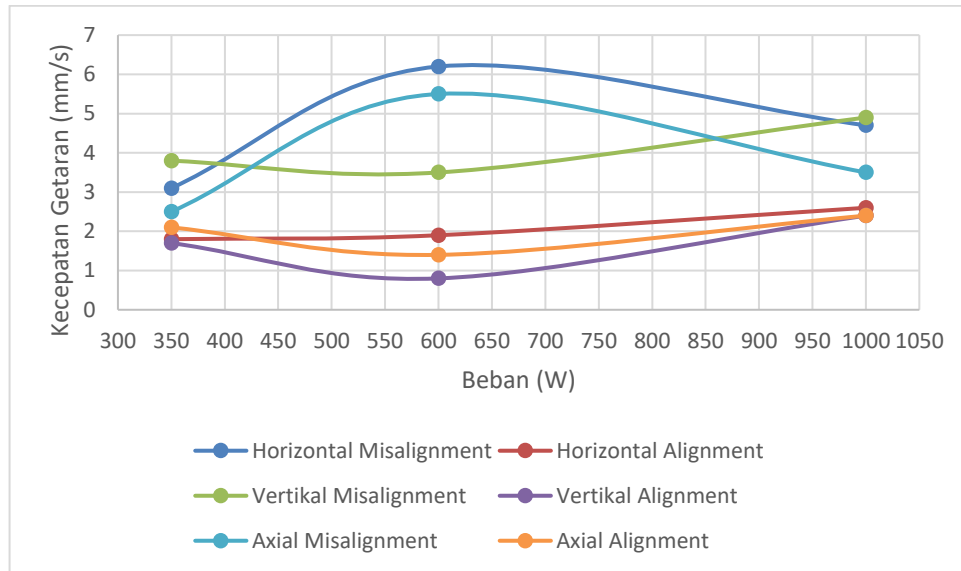
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	3.1	<i>Unsatisfactory</i>
DE Motor	Vertikal	1.7	<i>Satisfactory</i>
DE Motor	Axial	2.5	<i>Unsatisfactory</i>

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

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Motor	Horizontal	6.2	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Vertikal	3.5	<i>Unsatisfactory</i>
DE Motor	Axial	5.5	<i>Unacceptable</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	4.7	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Vertikal	4.9	<i>Unacceptable</i>
DE Motor	Axial	3.5	<i>Unsatisfactory</i>



Gambar 4. 5 Grafik nilai getaran DE motor

Berdasarkan **Gambar 4.5**, menunjukkan perbandingan nilai getaran pada sisi *Drive End* motor listrik dalam tiga arah pengukuran, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial, baik pada kondisi *alignment* maupun *misalignment*, terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pada kondisi *alignment*, nilai getaran relatif rendah dan stabil di semua arah, dengan nilai horizontal berkisar antara 1,7–2,4 mm/s, vertikal antara 0,8–1,8 mm/s, dan aksial antara 1,4–2,1 mm/s. Nilai-nilai tersebut masih berada dalam kategori *satisfactory* menurut standar ISO 10816, yang berarti sistem bekerja dengan kesejajaran poros yang baik tanpa gangguan mekanis berarti.

Sebaliknya, pada kondisi *misalignment*, terutama akibat *offset misalignment* dan *angular misalignment*, terjadi peningkatan getaran yang signifikan. Getaran tertinggi terjadi pada arah horizontal dengan nilai mencapai 6,2 mm/s pada beban 600 W, diikuti oleh arah aksial sebesar 5,5 mm/s pada beban yang sama. Arah vertikal juga menunjukkan peningkatan dari 3,8 mm/s pada beban 350 W menjadi 4,9 mm/s pada beban 1000 W. Peningkatan ini menunjukkan bahwa *misalignment* menyebabkan beban lateral dan aksial tambahan pada kopling dan bantalan, yang berdampak langsung pada kenaikan amplitudo getaran.

Secara umum, pola getaran menunjukkan bahwa puncak tertinggi terjadi pada beban menengah (600 W) sebelum sedikit menurun pada beban tinggi (1000 W), mengindikasikan adanya kemungkinan resonansi sebagian pada sistem ketika berada di beban menengah. Dibandingkan dengan kondisi *alignment*, *misalignment* meningkatkan nilai getaran hingga lebih dari tiga kali lipat, terutama pada arah horizontal DE motor yang paling sensitif terhadap ketidaksejajaran. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kondisi *alignment* menghasilkan getaran yang aman dan stabil, sedangkan kondisi *offset misalignment* dan *angular misalignment* menyebabkan peningkatan getaran yang signifikan hingga mencapai 6,2 mm/s, yang termasuk kategori *unacceptable* menurut ISO 10816. Hal ini menunjukkan perlunya perbaikan dan penyesuaian *alignment* agar performa dan umur komponen mesin tetap terjaga.

- 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

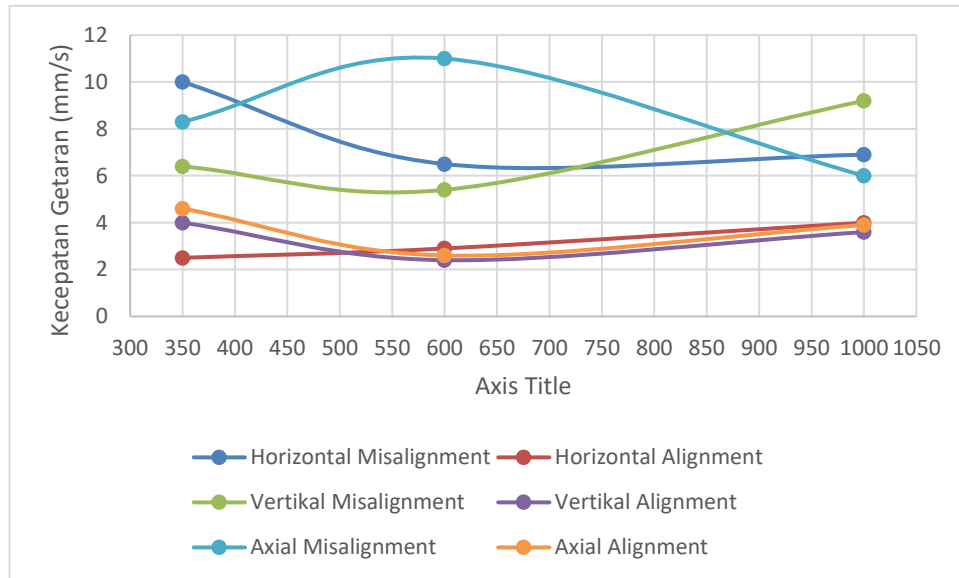
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	10.0	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Vertikal	6.4	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Axial	8.3	<i>Unacceptable</i>

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

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Motor	Horizontal	6.5	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Vertikal	5.4	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Axial	11.0	<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	6.9	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Vertikal	9.2	<i>Unacceptable</i>
NDE Motor	Axial	6.0	<i>Unacceptable</i>



Gambar 4. 6 Grafik nilai getaran NDE motor

Berdasarkan **Gambar 4.6**, memperlihatkan perbandingan nilai getaran pada sisi *Non-Drive End (NDE)* motor listrik dalam tiga arah pengukuran horizontal, vertikal, dan aksial baik pada kondisi *alignment* maupun *misalignment* terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pada kondisi *alignment*, nilai getaran berada pada kisaran rendah dan stabil, yaitu 2,5–3,9 mm/s untuk arah horizontal, 2,4–3,6 mm/s untuk arah vertikal, dan 2,6–4,0 mm/s untuk arah aksial. Nilai-nilai tersebut masih termasuk kategori *satisfactory* menurut standar ISO 10816, yang menunjukkan bahwa sistem bekerja dalam keadaan kesejajaran poros yang baik tanpa gangguan signifikan.

Namun, pada kondisi *misalignment*, baik *offset misalignment* maupun *angular misalignment*, terjadi peningkatan getaran yang sangat signifikan. Nilai tertinggi terlihat pada arah aksial dengan puncak 11 mm/s pada beban 600 W, diikuti oleh arah horizontal sebesar 10 mm/s pada beban 350 W. Sementara itu, arah vertikal menunjukkan tren kenaikan bertahap dari 6,4 mm/s pada 350 W menjadi 9,2 mm/s pada 1000 W. Kenaikan ini menunjukkan bahwa ketidaksejajaran poros menimbulkan gaya aksial dan lateral tambahan yang menyebabkan getaran berlebih terutama di sisi NDE motor.

Secara keseluruhan, pola grafik menunjukkan bahwa nilai getaran cenderung meningkat tajam pada beban menengah (600 W), yang menandakan kemungkinan terjadinya *resonansi parsial* akibat ketidaksejajaran sistem transmisi daya. Dibandingkan kondisi *alignment*, *misalignment* menyebabkan lonjakan amplitudo getaran hingga empat kali lipat, terutama pada arah aksial dan horizontal yang merupakan arah dominan terhadap reaksi kopling dan bantalan. Kondisi ini masuk dalam kategori *unacceptable* ($>4,5$ mm/s) berdasarkan ISO 10816, yang berarti sistem bekerja di luar batas aman.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa sisi *Non-Drive End* motor merupakan bagian yang paling sensitif terhadap *offset misalignment* dan *angular misalignment*, karena merupakan area tumpuan beban akhir poros. Semakin tinggi tingkat ketidaksejajaran, semakin besar pula nilai getaran yang timbul, sehingga dapat mempercepat keausan bantalan, menyebabkan kenaikan temperatur, serta menurunkan efisiensi motor. Oleh karena itu, pengendalian *alignment* yang presisi sangat penting untuk menjaga kestabilan getaran dan keandalan sistem motor–generator secara keseluruhan.

- 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

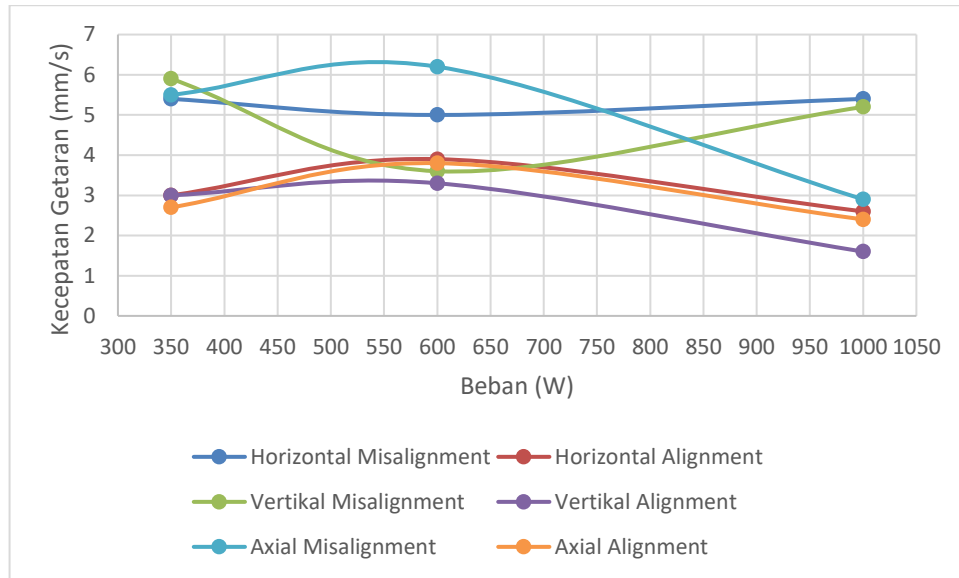
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	5.4	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Vertikal	5.9	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Axial	5.5	<i>Unacceptable</i>

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

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
DE Generator	Horizontal	5.0	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Vertikal	3.6	<i>Unsatisfactory</i>
DE Generator	Axial	6.2	<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	5.4	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Vertikal	5.2	<i>Unacceptable</i>
DE Generator	Axial	2.9	<i>Unsatisfactory</i>



Gambar 4. 7 Grafik nilai getaran DE generator

Berdasarkan **Gambar 4.7**, menunjukkan perbandingan nilai getaran pada sisi *Drive End (DE)* generator dalam tiga arah pengukuran horizontal, vertikal, dan aksial baik pada kondisi *alignment* maupun *misalignment*, terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pada kondisi *alignment*, nilai getaran cenderung rendah dan stabil di semua arah. Arah horizontal memiliki nilai antara 2,7–3,8 mm/s, arah vertikal 1,6–3,3 mm/s, dan arah aksial 3,0–3,9 mm/s. Nilai-nilai ini berada dalam batas aman kategori *satisfactory* sesuai standar ISO 10816, yang menunjukkan bahwa kesejajaran poros antara motor dan generator berada dalam kondisi baik sehingga sistem beroperasi secara stabil tanpa indikasi gangguan mekanis.

Sementara itu, pada kondisi *misalignment*, baik *offset* maupun *angular misalignment*, terjadi peningkatan getaran yang cukup signifikan terutama pada arah aksial dan vertikal. Arah aksial menunjukkan puncak tertinggi sebesar 6,2 mm/s pada beban 600 W, sedangkan arah vertikal *misalignment* mencapai 5,9 mm/s pada beban 350 W dan meningkat kembali menjadi 5,4 mm/s pada beban 1000 W. Arah horizontal *misalignment* relatif lebih stabil dengan rentang 4,5–5,0 mm/s, namun tetap menunjukkan peningkatan dibanding kondisi *alignment*.

Secara umum, pola grafik memperlihatkan bahwa puncak getaran tertinggi terjadi pada beban menengah (600 W), di mana gaya dinamis dari kopling dan poros yang tidak sejajar menghasilkan getaran maksimum akibat efek *resonansi parsial*. Setelah melewati titik tersebut, nilai getaran menurun sedikit pada beban yang lebih tinggi karena keseimbangan dinamis sistem mulai terbentuk. Dibandingkan dengan kondisi *alignment*, kondisi *misalignment* menyebabkan kenaikan getaran antara 40–70%, terutama pada arah aksial yang paling sensitif terhadap ketidaksejajaran kopling.

Hasil ini menunjukkan bahwa sisi *Drive End* generator masih mengalami dampak langsung dari *offset misalignment* yang ditransmisikan dari motor penggerak melalui kopling. Ketidaksejajaran poros menyebabkan gaya puntir tidak terdistribusi merata, sehingga timbul getaran lebih tinggi terutama di arah aksial dan vertikal. Berdasarkan kategori ISO 10816, beberapa nilai getaran pada kondisi *misalignment* sudah masuk dalam batas *unsatisfactory* hingga *unacceptable* ($>4,5$ mm/s). Dengan demikian, pengaturan *alignment* yang lebih presisi antara poros motor dan generator sangat diperlukan untuk mengurangi getaran, menjaga stabilitas operasi, serta mencegah kerusakan prematur pada bantalan dan kopling.

- 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

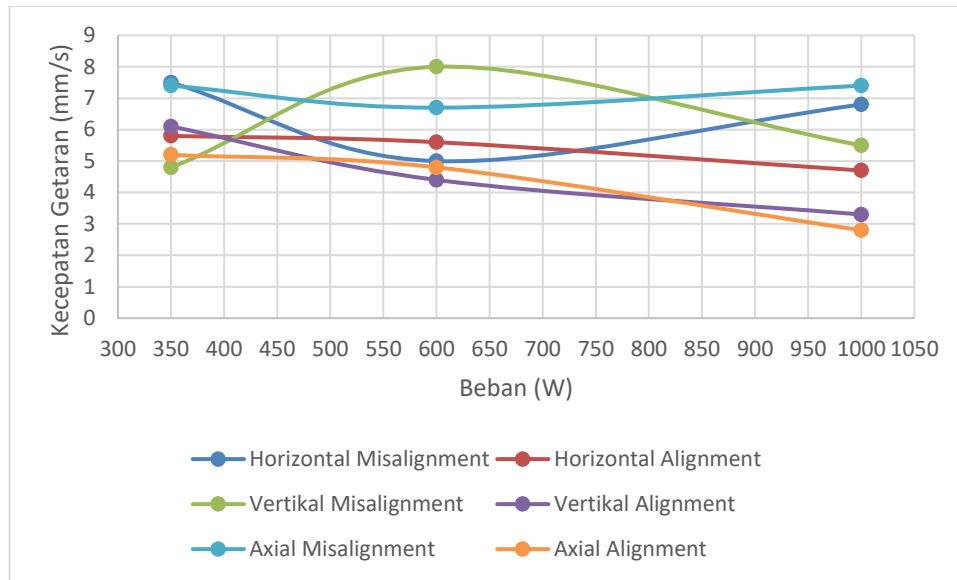
Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	7.5	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	4.8	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Axial	7.4	<i>Unacceptable</i>

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

Titik Ukur	Arah (Axial/Radial/Vertikal)	Kecepatan Getaran (mm/s)	Klasifikasi ISO 10816
NDE Generator	Horizontal	5.0	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	8.0	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Axial	6.7	<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	6.8	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Vertikal	5.5	<i>Unacceptable</i>
NDE Generator	Axial	7.4	<i>Unacceptable</i>



Gambar 4. 8 Grafik nilai getaran NDE generator

Berdasarkan **Gambar 4.8**, menunjukkan nilai getaran pada sisi *Non-Drive End (NDE)* generator dalam tiga arah pengukuran, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial, baik pada kondisi *alignment* maupun *misalignment*, terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Pada kondisi *alignment*, nilai getaran relatif rendah dan stabil, dengan arah horizontal berada pada kisaran 4,4–4,8 mm/s, vertikal 2,8–4,8 mm/s, dan aksial 3,3–5,8 mm/s. Nilai-nilai tersebut tergolong dalam kategori *satisfactory* menurut standar ISO 10816, yang berarti sistem generator bekerja dalam kondisi kesejajaran poros yang baik dan belum menunjukkan gejala gangguan mekanis.

Sebaliknya, pada kondisi *misalignment*, baik *offset misalignment* maupun *angular misalignment*, terlihat peningkatan getaran yang cukup signifikan di ketiga arah. Nilai getaran tertinggi terjadi pada arah vertikal sebesar 8,0 mm/s pada beban 600 W, diikuti oleh arah horizontal sebesar 7,5 mm/s pada beban 350 W, dan arah aksial sebesar 7,4 mm/s pada beban 1000 W. Peningkatan ini menunjukkan bahwa ketidaksejajaran poros menyebabkan ketidakseimbangan distribusi gaya puntir dan gaya radial, sehingga getaran yang ditransmisikan ke sisi NDE generator meningkat tajam.

Secara umum, grafik menunjukkan tren bahwa puncak getaran cenderung terjadi pada beban menengah (600 W), terutama pada arah vertikal, sebelum menurun kembali pada beban tinggi (1000 W). Hal ini mengindikasikan adanya kemungkinan *resonansi parsial* yang terjadi saat beban menengah, di mana frekuensi alami sistem mendekati frekuensi getaran operasi. Perbandingan antara kondisi *alignment* dan *misalignment* memperlihatkan bahwa *misalignment* dapat meningkatkan amplitudo getaran hingga lebih dari dua kali lipat, terutama pada arah vertikal dan aksial yang paling sensitif terhadap perubahan posisi poros.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa sisi *Non-Drive End* generator lebih rentan terhadap dampak *offset misalignment* dibanding sisi lainnya, karena posisinya yang menerima propagasi gaya dari poros motor melalui kopling. Nilai getaran yang mencapai 7–8 mm/s sudah masuk kategori *unacceptable* menurut standar ISO 10816, yang menandakan kondisi kerja tidak aman bagi sistem transmisi daya. Oleh karena itu, penyetelan *alignment* secara presisi sangat diperlukan untuk menurunkan amplitudo getaran, mencegah keausan bantalan, serta menjaga efisiensi dan umur pakai generator agar tetap optimal.

4.2.2. Perbandingan Efisiensi Daya Motor Generator

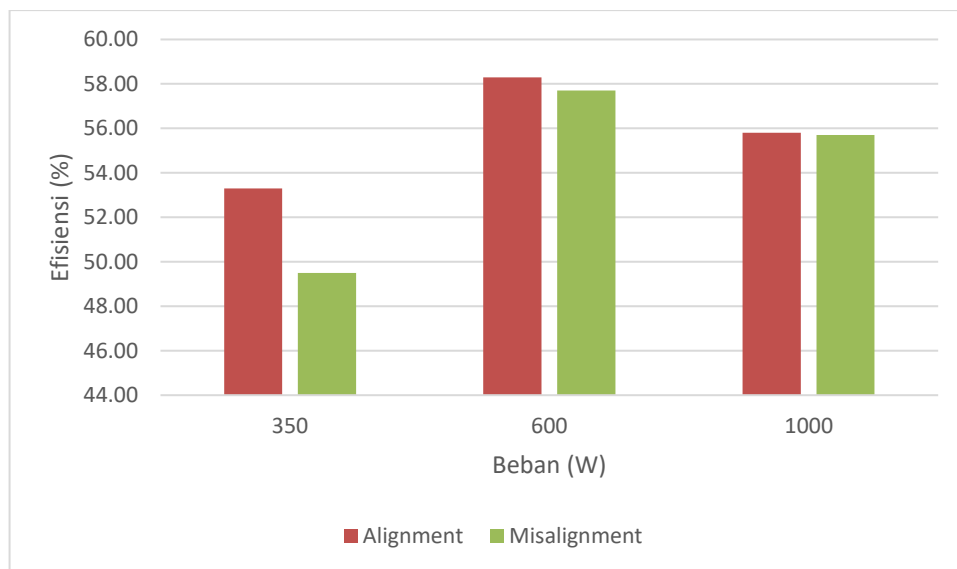
Hasil data pengukuran daya *input* pada kondisi *alignment* dan *misalignment* menggunakan Chauvin Arnoux PEL 103 pada sisi motor listrik, sedangkan daya *output* diukur dengan Lutron DW-6093 pada sisi generator. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 4.25** hingga **Tabel 4.26**.

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 offset*

Beban W	Daya <i>Input</i> P_{in} (W)	Daya <i>Output</i> P_{out} (W)	Efisiensi
350 W	704	349	49,5 %
600 W	1234	712	57,7 %
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 kondisi *alignment* dan *misalignment* terhadap variasi beban 350 W, 600 W, dan 1000 W. Secara umum, nilai efisiensi pada kondisi *alignment* selalu

lebih tinggi dibandingkan kondisi *misalignment*, yang menunjukkan bahwa kesejajaran poros memiliki pengaruh besar terhadap kinerja transmisi daya sistem.

Pada beban 350 W, efisiensi sistem pada kondisi *alignment* mencapai 53,30%, sedangkan pada kondisi *misalignment* hanya 49,50%, terjadi penurunan sebesar 3,8%. Penurunan efisiensi ini disebabkan oleh bertambahnya gaya gesek dan getaran akibat ketidaksejajaran poros, sehingga sebagian energi mekanik hilang sebagai panas dan getaran. Pada beban 600 W, efisiensi *alignment* meningkat menjadi 58,30%, sedangkan pada *misalignment* mencapai 57,70%. Perbedaan yang relatif kecil (0,6%) pada beban ini menunjukkan bahwa pada daya menengah, sistem bekerja mendekati kondisi optimum meskipun sedikit terpengaruh oleh ketidaksejajaran.

Namun, pada beban tertinggi 1000 W, efisiensi justru sedikit menurun pada kedua kondisi, yaitu 55,80% untuk *alignment* dan *55,70% untuk *misalignment*. Penurunan efisiensi pada beban tinggi ini disebabkan oleh peningkatan temperatur dan rugi daya akibat beban berlebih, yang menyebabkan performa elektromekanis motor dan generator menurun.

Dari pola keseluruhan grafik, dapat disimpulkan bahwa kondisi *alignment* memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan *misalignment* pada semua tingkat beban. Misalignment, baik dalam bentuk *offset* maupun *angular*, menyebabkan penurunan efisiensi rata-rata sebesar 2–4%, terutama pada beban rendah karena pengaruh gesekan relatif lebih besar dibandingkan energi keluaran. Dengan demikian, menjaga kesejajaran poros sangat penting untuk meminimalkan

rugi energi, mempertahankan efisiensi transmisi daya, dan memperpanjang umur komponen mesin dalam sistem motor–generator.

4.2.3. Perbandingan Suhu Motor – Generator

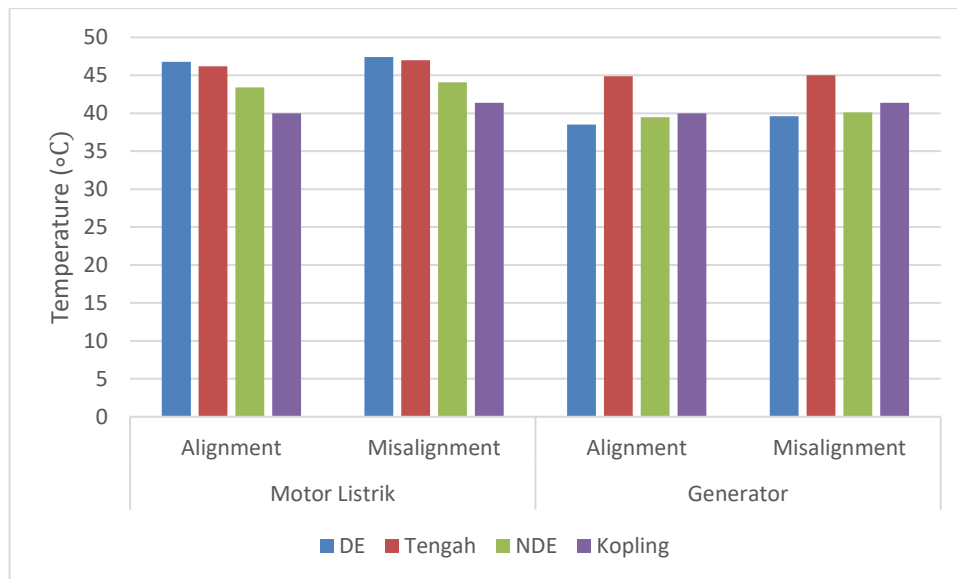
Hasil data pengukuran temperatur yang dilakukan untuk memantau perubahan panas pada motor listrik dan generator ketika mengalami kondisi *alignment* dan *misalignment offset*. Data hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 4.27** hingga **Tabel 4.32**.

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 Offset* 350W

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)
20 Menit	30	Motor Listrik	350W	DE	0.95	47.4
				TENGAH	0.95	47.0
				NDE	0.95	44.1
				KOPLING	0.30	41.4
		Generator		DE	0.95	39.6
				TENGAH	0.95	45.0
				NDE	0.95	40.1



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

Berdasarkan **Gambar 4.10**, menunjukkan perbedaan temperatur kerja antara kondisi *alignment* dan *misalignment* pada empat titik pengukuran, yaitu sisi kopling, NDE (*Non-Drive End*), tengah, dan DE (*Drive End*), baik untuk motor listrik maupun generator. Grafik ini menggambarkan bahwa kondisi *misalignment* menyebabkan kenaikan suhu di seluruh titik pengukuran dibandingkan kondisi *alignment*, meskipun pembebanan yang digunakan relatif kecil, yaitu 350 W.

Pada bagian motor listrik, suhu tertinggi tercatat pada sisi DE sebesar 47,4°C dalam kondisi *misalignment*, sedangkan pada kondisi *alignment* suhu di sisi yang sama sedikit lebih rendah yaitu 46,8°C. Perbedaan serupa juga terlihat pada sisi tengah motor, di mana suhu meningkat dari 46,2°C pada kondisi *alignment* menjadi 47°C pada kondisi *misalignment*. Sementara itu, pada sisi kopling dan NDE, kenaikan suhu tidak terlalu besar, masing-masing dari 40°C menjadi 41,4°C. Hal ini menunjukkan bahwa area DE dan tengah motor adalah titik yang paling terpengaruh oleh ketidaksejajaran poros, karena di area tersebut terjadi transfer gaya putar dan gesekan terbesar akibat *offset misalignment*.

Pada bagian generator, pola yang sama juga terlihat, meskipun dengan nilai suhu yang sedikit lebih rendah dibandingkan motor. Sisi tengah generator mengalami peningkatan suhu paling besar, yaitu dari 44,9°C pada kondisi *alignment* menjadi 45°C pada *misalignment*. Sementara itu, sisi kopling naik dari 39,6°C menjadi 41,4°C, dan sisi NDE dari 40°C menjadi 40,1°C. Peningkatan ini menandakan bahwa ketidaksejajaran poros tidak hanya memengaruhi motor penggerak, tetapi juga ditransfer ke generator melalui kopling, menyebabkan panas tambahan akibat ketegangan mekanis dan gesekan.

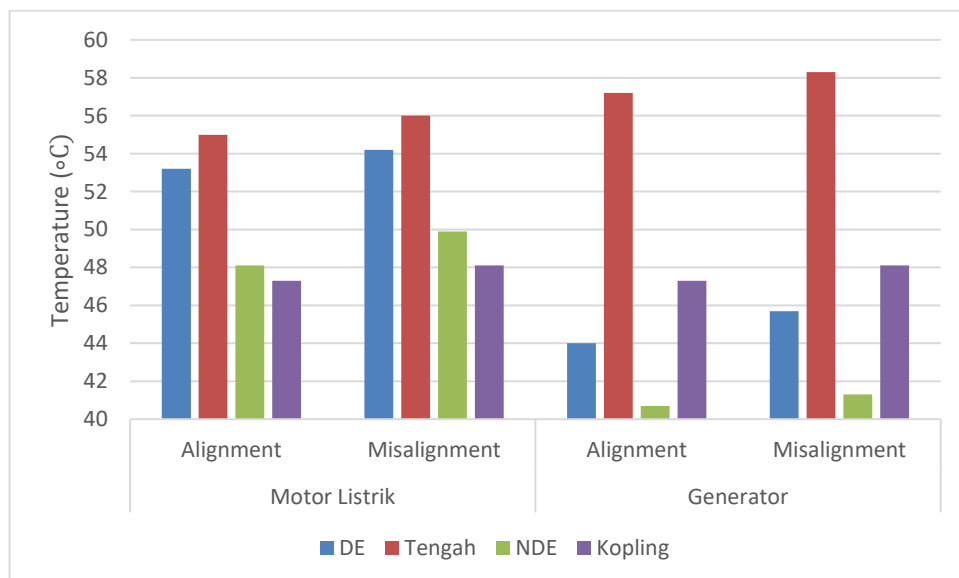
Secara keseluruhan, grafik ini memperlihatkan bahwa kondisi *misalignment* mengakibatkan kenaikan suhu rata-rata sekitar 1–1,5°C di seluruh titik pengukuran dibandingkan kondisi *alignment*. Kenaikan ini terjadi karena ketidaksejajaran poros menimbulkan beban tambahan pada bantalan dan kopling, sehingga energi mekanik sebagian berubah menjadi panas. Titik DE motor menjadi area dengan suhu tertinggi karena merupakan sisi yang langsung menerima gaya putar dari poros penggerak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa menjaga kondisi *alignment* yang baik tidak hanya menurunkan tingkat getaran dan meningkatkan efisiensi, tetapi juga membantu mengontrol kenaikan suhu komponen agar tetap dalam batas aman sesuai standar operasi mesin rotasi.

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 Offset* 600W

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)
20 Menit	30	Motor Listrik	600W	DE	0.95	54.2
				TENGAH	0.95	56,0
				NDE	0.95	49,9
				KOPLING	0.30	48.1
		Generator		DE	0.95	45.7
				TENGAH	0.95	58.3
				NDE	0.95	41.3



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

Berdasarkan **Gambar 4.11**, memperlihatkan perbedaan temperatur kerja antara kondisi *alignment* dan *misalignment* pada empat titik pengukuran — sisi kopling, NDE (*Non-Drive End*), tengah, dan DE (*Drive End*) — baik pada motor listrik maupun generator. Grafik ini menunjukkan bahwa kondisi *misalignment* menyebabkan peningkatan suhu di seluruh titik pengukuran dibandingkan dengan kondisi *alignment*, yang menandakan adanya tambahan beban mekanis dan gesekan akibat ketidaksejajaran poros.

Pada motor listrik, suhu tertinggi terjadi pada sisi DE sebesar 56°C dalam kondisi *misalignment*, sedangkan pada *alignment* suhu pada sisi yang sama sedikit lebih rendah yaitu 55°C. Titik tengah motor menunjukkan peningkatan suhu dari 48,1°C menjadi 49,9°C, dan sisi kopling naik dari 47,3°C menjadi 48,1°C. Peningkatan ini disebabkan oleh adanya gaya aksial dan radial tambahan akibat *offset misalignment*, yang mengakibatkan peningkatan gesekan di area bantalan dan kopling. Selain itu, sisi NDE motor juga mengalami kenaikan dari 53,2°C menjadi 54,2°C, menunjukkan bahwa ketidaksejajaran tidak hanya memengaruhi sisi penggerak tetapi juga sisi tumpuan akhir poros.

Pada generator, pola yang serupa terlihat dengan sedikit perbedaan besaran suhu. Sisi tengah generator mencatat suhu tertinggi sebesar 58,3°C dalam kondisi *misalignment*, sementara pada *alignment* nilainya 57,2°C. Sisi DE generator menunjukkan kenaikan dari 45,7°C menjadi 48,1°C, sedangkan sisi kopling naik dari 47,3°C menjadi 48,1°C. Kenaikan terbesar terdapat pada bagian tengah, karena di area ini terjadi konsentrasi tegangan akibat gaya puntir yang diteruskan dari motor.

Secara keseluruhan, kondisi *misalignment* menyebabkan peningkatan suhu rata-rata sekitar 1–1,5°C dibandingkan dengan *alignment*. Kenaikan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi ketidaksejajaran poros, semakin besar pula energi yang hilang dalam bentuk panas akibat gaya gesek dan ketegangan mekanis antar komponen. Baik pada motor listrik maupun generator, sisi DE dan tengah merupakan titik paling kritis terhadap kenaikan temperatur, karena menerima beban torsi langsung dari sistem transmisi daya.

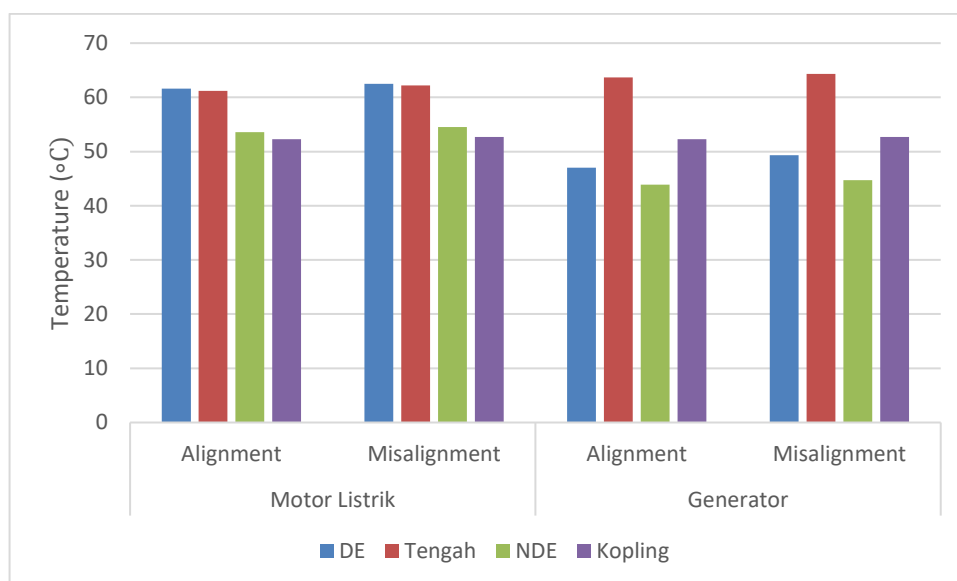
Dengan demikian, grafik ini menguatkan bahwa ketidaksejajaran poros (*misalignment*) tidak hanya berdampak pada peningkatan getaran dan penurunan efisiensi, tetapi juga mempercepat kenaikan temperatur komponen utama mesin. Oleh karena itu, pengendalian *alignment* yang presisi menjadi faktor penting untuk menjaga kestabilan termal, efisiensi energi, dan umur pakai komponen sistem motor–generator.

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 Offset 1000W*

WAKTU	SUHU AWAL (°C)	MESIN	PEMBEBANAN	TITIK	EMISIVITAS	SUHU (°C)
20 Menit		Motor Listrik	1000W	DE	0.95	62.5
				TENGAH	0.95	62.2
				NDE	0.95	54.5
				KOPLING	0.30	52.7
		Generator		DE	0.95	49.3
				TENGAH	0.95	64.3
				NDE	0.95	44.7



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

Berdasarkan **Gambar 4.12**, memperlihatkan perubahan temperatur pada empat titik pengukuran sisi kopling, NDE (*Non-Drive End*), tengah, dan DE (*Drive End*) untuk kondisi *alignment* dan *misalignment* pada motor listrik dan generator. Secara umum, grafik menunjukkan bahwa pada beban tinggi (1000 W), seluruh titik mengalami peningkatan suhu dibandingkan beban sebelumnya, dengan kondisi *misalignment* menghasilkan temperatur yang lebih tinggi di semua titik pengukuran.

Pada motor listrik, suhu tertinggi terjadi pada sisi DE dengan nilai 62,5°C pada kondisi *misalignment* dan 61,6°C pada kondisi *alignment*. Sisi tengah motor juga menunjukkan peningkatan dari 61,2°C menjadi 62,2°C, sedangkan kopling naik dari 52,3°C menjadi 52,7°C, dan NDE dari 53,6°C menjadi 54,5°C. Hal ini menunjukkan bahwa *misalignment* menyebabkan peningkatan beban mekanis dan gesekan internal yang menghasilkan panas tambahan, terutama pada sisi DE yang menjadi tumpuan langsung gaya putar motor.

Pada generator, pola yang sama terlihat dengan nilai temperatur yang sedikit lebih tinggi dibandingkan motor. Sisi tengah generator mencatat suhu tertinggi 64,3°C pada kondisi *misalignment* dan 63,7°C pada kondisi *alignment*. Sisi DE generator naik dari 49,3°C menjadi 52,7°C, sedangkan kopling juga meningkat dari 52,3°C menjadi 52,7°C, dan NDE dari 43,9°C menjadi 44,7°C. Peningkatan ini menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan akibat ketidaksejajaran poros ditransmisikan dari motor ke generator melalui kopling, menyebabkan peningkatan suhu di seluruh sistem.

Secara keseluruhan, kondisi *misalignment* menyebabkan kenaikan suhu rata-rata sekitar 1–1,5°C dibandingkan *alignment*, dan tren kenaikan ini semakin nyata pada beban tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar daya yang ditransmisikan, semakin besar pula efek negatif dari ketidaksejajaran poros terhadap peningkatan temperatur sistem. Titik tengah dan DE baik pada motor maupun generator merupakan area dengan suhu tertinggi karena di bagian ini terkonsentrasi gaya putar dan gesekan akibat beban torsi.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa pada pembebanan 1000 W, *misalignment* memperburuk kondisi termal sistem dengan meningkatkan suhu operasi, terutama di area DE dan tengah poros. Jika dibiarkan, kondisi ini dapat mempercepat degradasi pelumasan, meningkatkan keausan bantalan, serta menurunkan efisiensi dan umur pakai mesin. Oleh karena itu, perawatan dan pengaturan *alignment* secara presisi sangat penting untuk menjaga kestabilan termal dan performa sistem motor–generator pada beban tinggi.

4.2.4. Pembahasan Intergratif *Alignment* dan *Misalignment*

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi *alignment* memberikan performa yang lebih baik dibandingkan *misalignment offset*. 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. Dengan demikian, *misalignment* terbukti menurunkan kestabilan, efisiensi, serta distribusi panas sistem motor–generator.

Berdasarkan standar ISO 10816, simulator *shaft alignment* termasuk dalam Class I (small machines) karena menggunakan motor dan generator berdaya kecil di bawah 15 kW yang dipasang pada pondasi kaku. Batas kecepatan getaran aman untuk kelas ini adalah 4,5 mm/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi *alignment*, nilai getaran tertinggi berada di kisaran 0,72–1,8 mm/s dan tergolong satisfactory, sedangkan pada kondisi *misalignment* mencapai 10,0 mm/s yang termasuk kategori unacceptable. Hal ini menunjukkan bahwa ketidaksejajaran

poros secara signifikan meningkatkan getaran sistem motor-generator hingga melampaui batas aman standar ISO 10816.