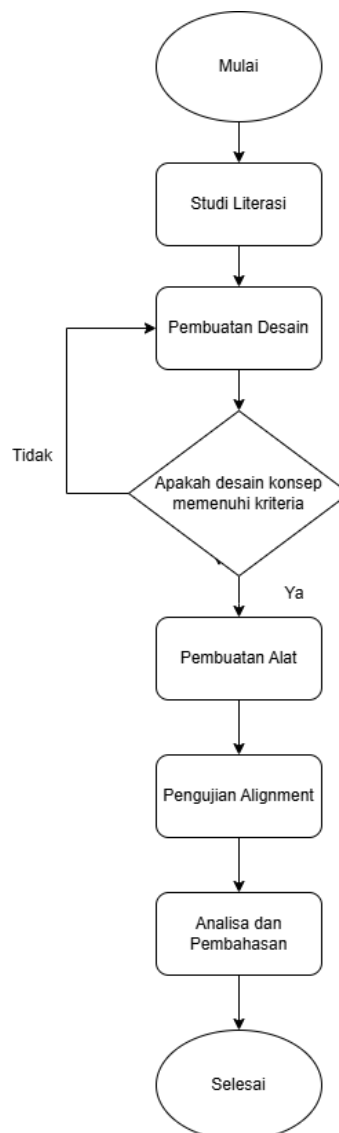


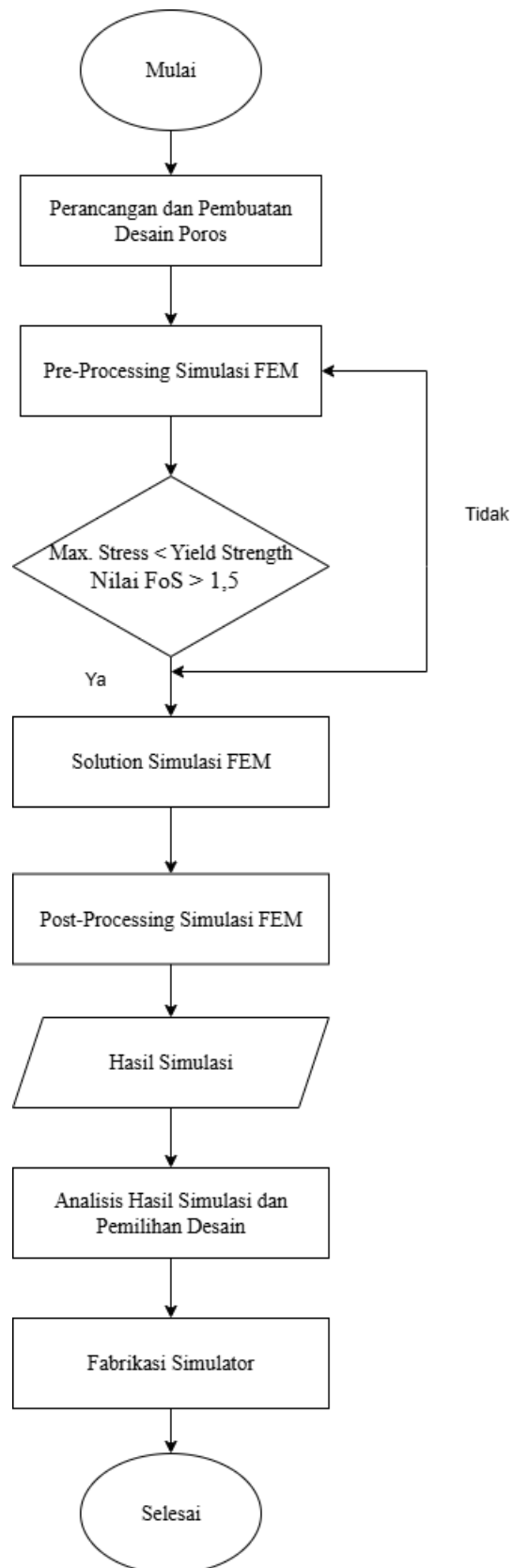
BAB III METODOLOGI

3.1. Diagram Alir Penelitian

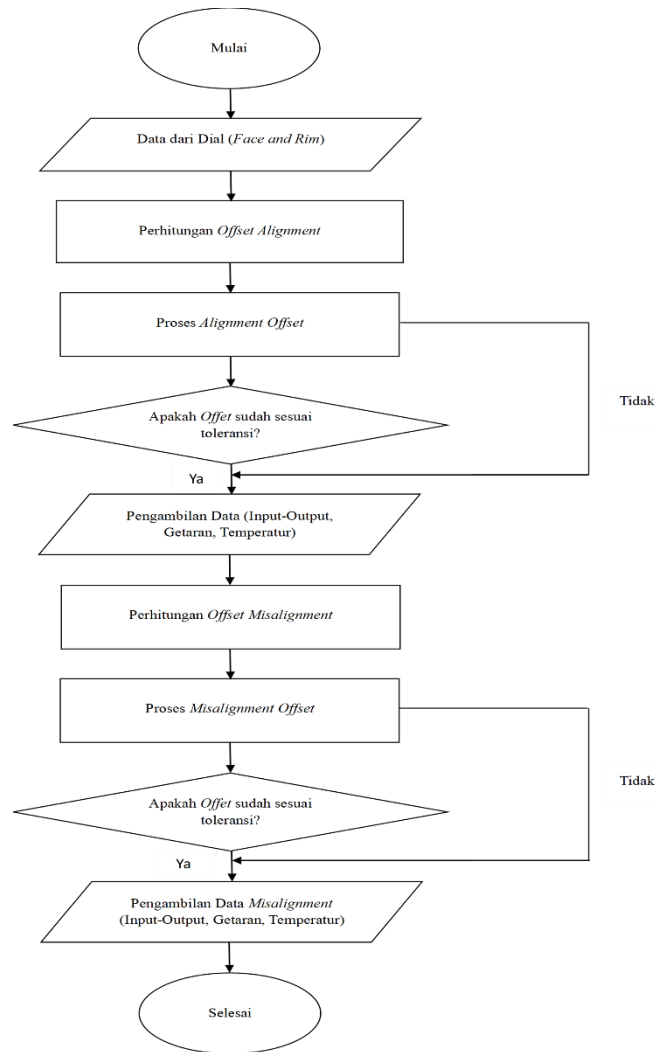
Diagram alir suatu tahapan menggambarkan dalam suatu proses, terkait dengan pembuatan alat yang digunakan untuk melakukan proses *alignment* pada *shaft* dengan metode *face and rim*.



Gambar 3. 1 Diagram alir *shaft alignment*



Gambar 3. 2 Diagram alir simulasi desain



Gambar 3. 3 Diagram alir *pengujian offset*

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

1. Studi Literasi

Pada tahap awal dilakukan kajian literatur atau penelitian terhadap referensi yang relevan untuk memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai konsep *shaft alignment*, metode pengukuran (*face & rim*), serta standar toleransi offset. Hasil studi literasi ini menjadi landasan dalam penyusunan desain alat simulasi.

2. Pembuatan Desain

Berdasarkan hasil studi literatur, dilakukan pembuatan desain awal alat

simulasi. Desain mencakup pemilihan material, penentuan dimensi komponen, serta sistem pengukuran yang digunakan. Pada rancangan ini, motor listrik dirancang dengan posisi *move* (dapat digeser) untuk memungkinkan proses penyetelan saat melakukan *alignment* maupun *misalignment*, sedangkan generator ditempatkan pada posisi *fixed* (tetap) sebagai acuan utama dalam sistem poros. Konfigurasi ini bertujuan agar proses kalibrasi dan pengujian variasi *misalignment* dapat dilakukan dengan lebih presisi dan efisien.

3. Evaluasi Kriteria Desain

Desain yang telah disusun dievaluasi untuk memastikan kesesuaian dengan kriteria teknis dan fungsional.

- a. Jika tidak memenuhi kriteria, maka desain diperbaiki dan kembali ke tahap sebelumnya.
- b. Jika memenuhi kriteria, proses dilanjutkan.

4. Pembuatan Alat

Setelah desain disetujui, dilakukan proses pembuatan alat sesuai spesifikasi. Proses ini mencakup manufaktur, perakitan, serta persiapan instrumen pengujian.

5. Parameter Pengujian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah jenis kondisi poros (*alignment* dan *misalignment angular*) serta variasi pembebanan generator sebesar 350 W, 600 W, dan 1000 W.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi nilai getaran (mm/s), suhu

kerja ($^{\circ}\text{C}$), sudut misalignment angular ($^{\circ}$), dan efisiensi sistem (%), yang diukur untuk menilai pengaruh perubahan kondisi alignment terhadap performa motor–generator.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini mencakup spesifikasi komponen utama simulator, yaitu motor listrik 3 fasa 1,1 kW (2850 rpm), generator DC Forza BG 2200 L (2,2 kW), kopling FCL-90, serta rangka Mild Steel ST 37. Kecepatan putaran motor dijaga konstan pada 2850 rpm, dan lingkungan pengujian dilakukan pada suhu ruang normal agar hasil pengukuran lebih akurat dan dapat dibandingkan.

6 Pengujian *Alignment*

- a. Pengambilan Data Dial (*Face and Rim*): dilakukan pengukuran awal menggunakan *dial indicator* untuk memperoleh data *rim (offset)* dan *face (offset)*.
- b. Perhitungan *offset alignment*: data hasil pengukuran dihitung untuk Menganalisa kondisi *Offset*.
- c. Proses *alignment offset*: dilakukan penyetelan poros agar sejajar.
- d. Pemeriksaan Toleransi: jika hasil *alignment* belum sesuai standar, dilakukan penyetelan ulang. Jika sudah sesuai, maka data dapat diambil.
- e. Pengambilan Data *alignment*: setelah *alignment* sesuai, dicatat data berupa *input–output* daya listrik, getaran, dan temperatur.

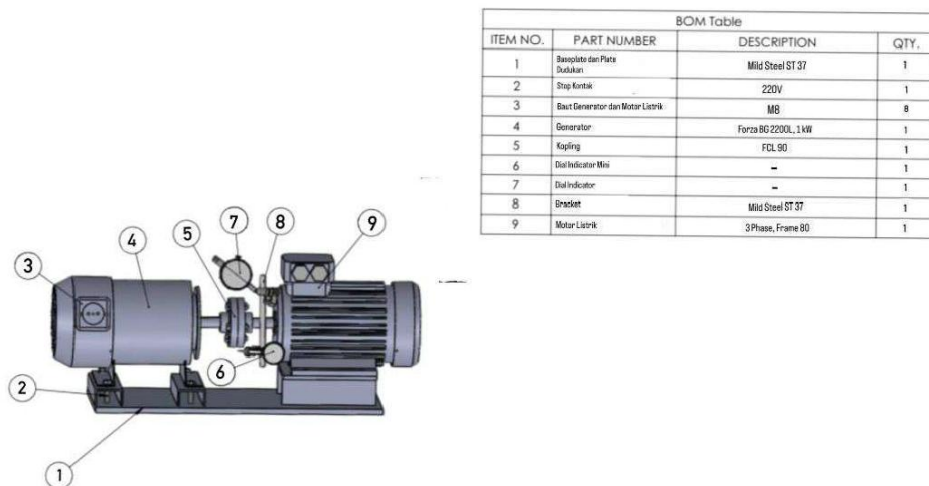
7 Pengujian *Misalignment*

- a. Perhitungan *offset Misalignment*: ditentukan besarnya penyimpangan *offset* yang akan disimulasikan.
- b. Proses *Misalignment offset*: poros diatur hingga mencapai kondisi *misalignment* sesuai target.

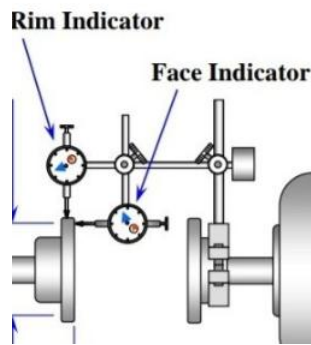
- c. Pemeriksaan Toleransi: jika belum sesuai, dilakukan penyesuaian ulang. Jika sudah sesuai, maka data dapat diambil.
 - d. Pengambilan Data *Misalignment*: dicatat data berupa *input-output*, getaran, dan temperatur pada kondisi *misalignment*.
- 8 Analisa dan Pembahasan

Data hasil pengujian *alignment* dan *misalignment* dianalisis serta dibandingkan dengan standar maupun teori. Analisis ini bertujuan untuk Menganalisa pengaruh kondisi poros terhadap kinerja sistem, sehingga dapat diperoleh kesimpulan mengenai efektivitas alat simulasi yang dikembangkan.

3.2. Perancangan Desain, serta Alat dan Bahan Pengujian Simulator Shaft Alignment



Gambar 3. 4 Desain simulator *shaft alignment*

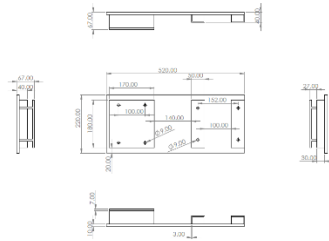


Gambar 3. 5 Desain Posisi Face and Rim

Pembuatan simulator membutuhkan beberapa bagian yaitu meliputi baseplate, motor listrik, generator, coupling FCL-90, dial indicator, dan bracket dial. Proses pembuatan diawali dengan perancangan menggunakan media SolidWorks, di mana desain dibuat berdasarkan hasil perhitungan dan menjadi acuan dimensi akhir pada proses fabrikasi. Dalam pelaksanaan pengujiannya, digunakan beberapa bahan pendukung seperti kabel listrik Eterna NYM 2×2,5 mm², terminal block 100A, stop kontak 220V, dan heater tubular sebagai media sambungan dan pembebanan. Selain itu, digunakan juga beberapa alat ukur pengujian antara lain vibration meter SKF CMAS 100-SL untuk mengukur getaran, tachometer Lutron DT-2236B untuk mengukur putaran, clamp meter Chauvin Arnoux PEL 103 untuk mengukur arus dan tegangan, serta thermal imager Flir E4 untuk memantau suhu kerja motor-generator.

3.2.1. Perancangan Desain dan Realisasi Komponen Simulator Shaft Alignment

1. *Baseplate* dan Dudukan Plat



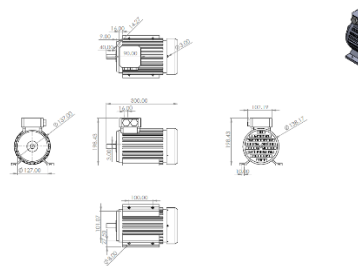
Gambar 3. 6 *Baseplate*



Gambar 3. 7 *Baseplate*

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

2. Motor Listrik



Gambar 3. 8 Desain Motor Listrik

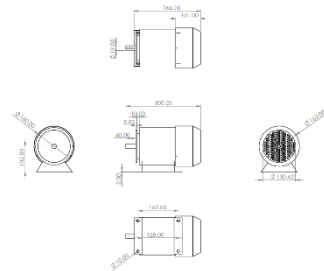


Gambar 3. 9 Motor Listrik 3 Phase

Motor listrik dengan frame size 80M adalah motor induksi standar *IEC* dengan tinggi sumbu poros 80 mm dan diameter poros 19 mm. Motor ini biasanya

memiliki daya sekitar 0,75–1,5 kW dengan kecepatan putar 2850 rpm (2 *pole*, 50 Hz). Desainnya menggunakan *foot mounting (IM B3)* dengan terminal box di atas, dilengkapi sirip pendingin dan kipas untuk menjaga suhu kerja. Motor tipe ini umum digunakan pada pompa, kipas, kompresor, dan generator kecil karena kokoh, kompak, serta mudah dipasang.

3. Generator



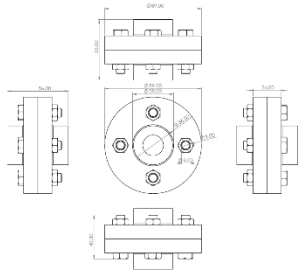
Gambar 3. 10 Desain Generator



Gambar 3. 11 Generator DC

Generator Forza Gasoline BG 2200 L adalah generator bensin portabel dengan daya keluaran sekitar 2 kW dan tegangan 220 V, 50 Hz. Desainnya ringkas dengan dudukan kaki dan pendinginan udara melalui kipas. Generator ini mudah digunakan, cocok sebagai sumber listrik cadangan maupun untuk simulasi sistem motor dan generator skala kecil.

4. *Coupling* Fcl 90



Gambar 3. 12 *Coupling* FCL 90

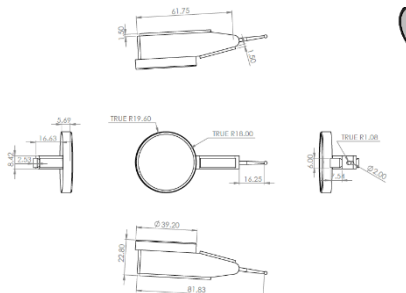


Gambar 3. 13 Flexible Coupling

Coupling FCL 90 adalah kopling fleksibel tipe *flange* dengan diameter 89

mm yang digunakan untuk menghubungkan poros motor dan generator. Kopling ini dilengkapi elemen karet peredam dan baut pengikat, berfungsi mentransmisikan daya sekaligus meredam getaran serta mengompensasi sedikit misalignment radial, aksial, maupun angular.

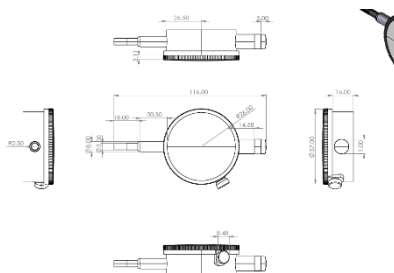
5. *Dial Indicator*



Gambar 3. 14 Desain *Dial Indicator*



Gambar 3. 15 *Dial Indicator*



Gambar 3. 16 Desain *Dial Indicator* Mini



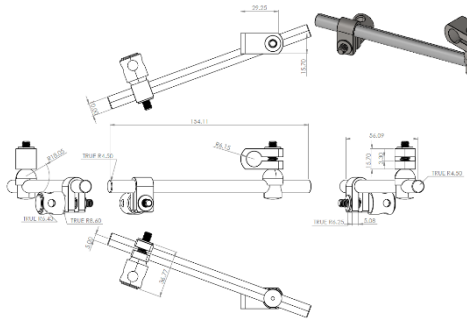
Gambar 3. 17 *Dial Indicator* Mini

Dial indicator (dial gauge) adalah alat ukur komparator yang digunakan untuk membandingkan dimensi benda kerja terhadap master dengan ketelitian tinggi (0,01–0,05 mm). Alat ini terdiri dari badan dengan dial bergradasi, jarum penunjuk, serta titik kontak yang terhubung ke sistem roda gigi. Penggunaan dial indicator dilakukan dengan menempatkan titik kontak pada master, mengatur nol, lalu mengukur benda kerja sehingga perbedaan dimensi dapat dibaca langsung.

Dial indicator banyak dipakai di laboratorium metrologi untuk memeriksa kebulatan, kelurusan, atau deviasi, serta sebagai bagian dari *bore gauge* dan *depth gauge*. Titik kontaknya dapat diganti sesuai kebutuhan, tersedia dalam berbagai

material keras, dan bentuknya bervariasi. Alat ini memiliki dua jenis skala, yaitu dial kontinu untuk toleransi unilateral dan dial seimbang untuk toleransi bilateral. (N. V. Raghavendra & L Krishnamurthy, 2013).

6. Bracket



Gambar 3. 18 Desain *Bracket*



Gambar 3. 19 Desain *Bracket*

Bracket merupakan salah satu komponen penting pada simulator shaft alignment yang berfungsi sebagai penopang dan dudukan bagi dial indicator saat proses pengukuran dilakukan. Komponen ini memastikan posisi dial indicator tetap stabil, presisi, dan sejajar dengan permukaan pengukuran baik pada bagian *face* maupun *rim* kopling. Ketelitian pemasangan bracket sangat berpengaruh terhadap akurasi hasil pembacaan misalignment.

Bracket pada simulator ini dibuat menggunakan plat baja SS400, yang dipilih karena memiliki kekuatan mekanik tinggi, mudah dibentuk, dan tahan terhadap getaran selama pengujian. Bentuk bracket dirancang menggunakan perangkat lunak SolidWorks, dengan desain yang memungkinkan penyesuaian posisi (adjustable) sehingga dial indicator dapat dipasang pada berbagai sudut sesuai kebutuhan pengukuran.

Secara keseluruhan, bracket berperan penting dalam menjaga stabilitas,

ketelitian, dan keandalan hasil pengukuran pada metode *Face and Rim*, serta mendukung keberhasilan pengujian kondisi *alignment* dan *misalignment angular* pada simulator shaft alignment.

3.2.2. Alat Pengujian Simulator Shaft Alignment

1. *Shim*

Shim adalah komponen penting dalam proses pengujian dan penyesuaian *shaft alignment*. *Shim* digunakan untuk mengatur ketinggian dan posisi mesin agar poros (*shaft*) dapat sejajar dengan tepat, sehingga menghindari masalah *misalignment* yang dapat menyebabkan kerusakan pada mesin (Anonim, 2023).



Gambar 3. 20 Shim
(Sumber: <https://id.shp.cc/Tta7jpu>)

2. *Feeler Gauge*

Feeler gauge adalah alat ukur berupa bilah-bilah baja tipis dengan ketebalan berbeda, digabungkan pada satu ujung dan dapat digerakkan pada sumbunya. Panjang bilah umumnya 10–12,5 cm dengan ketebalan 0,0015–0,025 inci. Beberapa bilah bisa digunakan sekaligus untuk memperoleh ukuran celah yang tepat. Penggunaan harus hati-hati: bilah jangan ditekan saat dimasukkan, sebaiknya ditarik, serta bilah tipis dikembalikan bersama bilah lain agar tidak rusak. (Arkareserch, 2021).

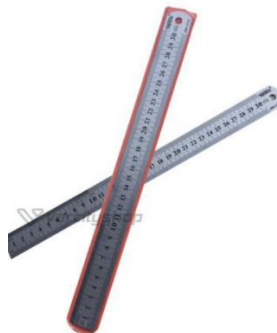


Gambar 3. 21 *Feeler Gauge*

(Sumber: <https://www.ubuy.co.id/id/product/2PURR7IW-stainless-steel-feeler-gauge-dual-marked-metric-and-imperial-gap-measuring-tool-0-0015-0-04-0-025-0-?srsltid=AfmBOorm0QVwAtNjsTQF7IE771z7cxEtNv99QB0QDIh7umYWuSeROA>)

3. Penggaris

Penggaris adalah alat ukur linear yang metrologi penggaris dianggap sebagai referensi garis lurus (*straight-edge*) yang sederhana dan dipakai untuk pengukuran dimensi linear serta sebagai alat pembanding/straight reference dalam inspeksi dan *alignment*. penggaris ditempatkan melintang pada *flange* atau permukaan coupling. (N. V. Raghavendra & L. Krishnamurthy, 2013).



Gambar 3. 22 Penggaris

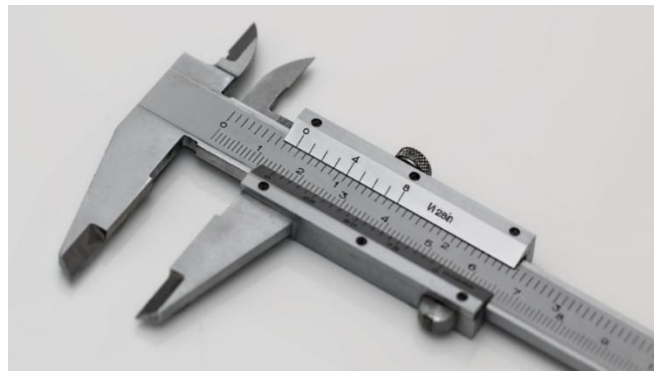
(Sumber: https://www.tokopedia.com/levitaams/penggaris-besi-penggaris-3-cm-penggaris-panjang?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=pdp)

4. Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur presisi yang memiliki dua bagian utama, yaitu skala utama dan skala vernier. Skala utama terukir pada rangka berbentuk L yang kokoh, berfungsi juga sebagai rahang tetap (*fixed jaw*). Skala ini diberi gradasi

dalam milimeter dengan ketelitian 1 mm.

Skala *vernier* terdapat pada rahang geser (*movable jaw*) yang dapat bergerak sepanjang skala utama. Skala ini bisa berupa vernier maju (*forward vernier*) atau vernier mundur (*backward vernier*). Untuk melakukan pengukuran, buka kedua rahang, menempatkan alat pada benda kerja, lalu menggeser rahang geser hingga menutup rapat. Posisi rahang dapat dikunci dengan sekrup pengunci (*clamping screw*) agar tidak bergeser saat pembacaan. Selain itu, tersedia sekrup penyetel halus (*fine adjustment screw*) untuk mengatur tekanan penjepitan sehingga hasil lebih akurat. (N. V. Raghavendra & L. Krishnamurthy, 2013).



Gambar 3. 23 Jangka Sorong

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

5. Heater

Heater berfungsi untuk meningkatkan suhu suatu sistem atau bahan agar mencapai kondisi tertentu yang diperlukan untuk analisis atau pengujian (Said Sadad, 2016).



Gambar 3. 24 Heater
(Sumber: <https://id.shp.cc/1AV3Ndi>)

6. Lutron DW-6093

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



Gambar 3. 25 Lutron DW-6093
(Sumber: <https://darmasaktigroup.com/p/lutron-dw-6093-3-phase-power-analyzer>)

7. Chauvin Arnoux PEL103

Chauvin Arnoux PEL 103 adalah *Power & Energy Logger* yang dirancang untuk memantau dan merekam parameter listrik dalam instalasi listrik. PEL 103

dapat mengukur berbagai parameter seperti tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, energi, faktor daya, harmonisa, dan frekuensi. Alat ini dilengkapi dengan sensor arus dan input tegangan, serta menyediakan fungsi komunikasi melalui USB, Bluetooth, dan Ethernet. PEL 103 cocok digunakan untuk pemantauan konsumsi energi secara real-time maupun analisis historis dalam berbagai aplikasi. (Chauvinarnoux, 2008).



Gambar 3. 26 Chauvin Arnoux PEL 103

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

8. Obeng *Tespen*

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



Gambar 3. 27 Obeng menganalisa
(Sumber: <https://sl.bing.net/hyeo3SDtMi>)

9. SKF *Vibration* Meter

SKF Machine Condition Advisor CMAS 100-SL adalah alat portabel yang dirancang untuk memantau kondisi mesin secara cepat dan akurat. Alat ini mengukur getaran dan suhu pada mesin berputar, memberikan indikasi awal mengenai kesehatan mesin atau kerusakan pada bantalan. Dengan desain ergonomis dan antarmuka pengguna yang sederhana, CMAS 100-SL cocok digunakan oleh teknisi pemula maupun berpengalaman untuk pemeliharaan prediktif dan inspeksi rutin. (SKF, 2010)



Gambar 3. 28 SKF *vibration* meter
(Sumber: https://www.kucari.com/product/skf-cmas100-sl-machine-condition-advisor/?srsltid=AfmBOoqELDwXmzzTmfQPT5w_Scwu_bJyEmcbQJ8-tlQV1yoeVALn4ziH)

10. *Tachometer*

Tachometer adalah alat ukur genggam yang digunakan untuk mengukur kecepatan benda yang berputar seperti operasi mesin, dalam satuan RPM.

Tachometer dirancang untuk mengukur kecepatan putaran poros atau piringan saat mesin sedang bergerak. Dari beberapa jeni *tachometer*, kami menggunakan jenis *non-contact type tachometer* yaitu *tachometer* non kontak (*laser photo tachometer*) yang digunakan untuk mengukur dari jarak jauh menggunakan berkas cahaya inframerah atau laser. Jenis *tachometer* ini lebih efisien, tahan lama, akurat dan ringkas.

Cara kerjanya yaitu ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan di dalam *tachometer*. Jika komponen berputar dengan baik, *tachometer* akan menghitung berapa kali alat ini menerima sinyal pantul yang memberikan pembacaan dalam RPM.



Gambar 3. 29 *Tachometer*

11. *Temperature Machine*

Thermal imager adalah suatu alat instrument untuk memvisualisasikan dan mendeteksi suhu pada suatu objek yang ditangkap dan ditampilkan ke sebuah display dengan teknologi inframerah. Pada beberapa *thermal imager* masih ada yang belum mempunyai kemampuan otomatis untuk pengaturan emisivitasnya. Maka dari itu, dilakukan percobaan menggunakan *thermal imager* Flir TG-165 dengan beberapa emisivitas dan jarak pengukuran yang berbeda, yang dimana untuk menganalisa emisivitas yang akan digunakan serta kemampuan jarak ukur yang dapat dilakukan. Adapun alat yang digunakan yaitu *thermal imager* flir TG-

165 sebagai alat yang diuji performanya, lalu *thermal imager* keysight U5850 sebagai alat kalibrasi, dan clamp meter kyoritsu key snap sebagai pengukur arus yang mengalir. (Muhadzib Raihan, 2022).



Gambar 3. 30 *Temperature Machine*

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

3.2.3. Bahan Pengujian Simulator Shaft Alignment

1. Kabel Listrik eterna NYM 2X25

Kabel listrik Eterna NYM 2×2,5 mm² merupakan jenis kabel berinti tembaga dengan isolasi PVC dan selubung luar tambahan yang dirancang untuk instalasi bangunan, baik pada ruangan kering maupun lembap (Wijaya Elektrik, 2023; Sinar Monas, 2023). Kabel ini terdiri dari dua inti konduktor dengan luas penampang masing-masing 2,5 mm², sehingga umum digunakan untuk stop kontak maupun instalasi pencahayaan rumah tangga (LKPP, 2023; STP, 2023). Spesifikasi teknisnya mencakup tegangan nominal sebesar 300/500 V dengan suhu operasional maksimum +70 °C serta batas suhu pemasangan hingga –30 °C sampai –40 °C, bergantung pada produsen (Wilson Cables, 2023; ZW Cable,



Gambar 3. 33 Stop kontak 220 V
(Sumber: <https://wijayaelektrik.com/saklar-stop-kontak/27-stop-kontak-3-lubang-uticon.html>)

3. Terminal Block 100A

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



Gambar 3. 34 Terminal Block 100A
(Sumber: <https://www.amazon.com/uxcell-Positions-Barrier-Block-Terminal/dp/B07DLZ361K>)

3.3.Dasar Perancangan, Perhitungan dan Spesifikasi Komponen

Tahap perancangan simulator shaft alignment dilakukan dengan mempertimbangkan aspek teknis dan fungsional agar alat yang dibuat dapat bekerja sesuai tujuan pengujian. Dasar perancangan meliputi pemilihan komponen utama seperti motor listrik, generator, poros, dan kopling yang disesuaikan dengan

kebutuhan daya serta kecepatan putaran sistem. Perhitungan dilakukan untuk menentukan nilai torsi, diameter poros, kekuatan material, serta kapasitas daya yang sesuai agar seluruh komponen mampu menahan beban operasional saat pengujian *alignment* dan *misalignment*.

Selain perhitungan teknis, dilakukan pula penetapan spesifikasi komponen berdasarkan hasil perhitungan dan ketersediaan di pasaran. Spesifikasi ini mencakup data teknis dari motor listrik tiga fasa 1,1 kW (frame 80M), generator DC Forza BG 2200 L, kopling fleksibel FCL-90, serta material poros dari baja AISI 1045 yang digunakan pada sistem transmisi daya. Dalam rancangan simulator ini, motor listrik diposisikan sebagai komponen *move* (dapat digeser) untuk memungkinkan proses penyetelan saat melakukan *alignment* maupun *misalignment*, sedangkan generator ditempatkan sebagai komponen *fixed* (tetap) yang berfungsi sebagai titik acuan utama sistem. Hasil perancangan ini menjadi acuan dalam proses pembuatan dan pengujian simulator shaft alignment secara keseluruhan.

3.3.1. Perhitungan dan Spesifikasi Motor Listrik

Motor listrik tiga fasa banyak digunakan dalam dunia industri karena memiliki beberapa keuntungan. Penggunaan motor listrik dipilih karena memiliki sifat mudah dioperasikan, efisiensi tinggi, dan tidak menimbulkan polusi suara dibandingkan dengan penggunaan motor diesel atau motor bakar. Motor listrik umum digunakan untuk menggerakkan beban atau sebagai penggerak sistem transmisi daya (Surya Hadi Prawira, 2022). Pada simulator shaft alignment ini, motor listrik berperan sebagai komponen *move* (dapat digeser) yang berfungsi untuk melakukan penyetelan posisi poros saat proses *alignment* maupun *misalignment*, sehingga memungkinkan pengujian dilakukan secara lebih fleksibel

dan presisi terhadap poros penggerak dan generator.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Motor Listrik 3 Phase

No	Parameter	
1	Daya	1.5 HP / 1.1 kW
2	Putaran	2840 rpm
3	Daya Output	1100 Watt
4	Arus	2.61 Ampere
5	Frame	80
6	Kelas Isolasi	F (High Class)
7	Tegangan	380 (3 phasa) Volt
8	Frekuensi	50/60 Hz
9	Diameter Poros (As)	19 mm
10	Lilitan	100% Tembaga Murni
11	Metode Instalasi	B3 (Foot Mounting)
12	Proteksi & Spesifikasi	IP55, Insulation Class F, Temp. Rise
13	Bodi	Aluminium Cast
14	Negara Asal	Italy
15	Berat	11 Kg



Gambar 3. 35 Spesifikasi motor listrik 3 phase

- Torsi Motor Listrik

$$T = \frac{9550 P (kW)}{n (rpm)} \quad (3.1)$$

$$= \frac{9550 \times 1,1}{2850} = 3,69 \text{ Nm}$$

Diketahui;

T = torsi (Nm)

P = daya motor (kW)

n = putaran motor (rpm)

3.3.2. Perhitungan dan Spesifikasi Generator

Generator DC berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh motor listrik menjadi energi listrik arus searah (DC). Prinsip kerjanya didasarkan pada proses induksi elektromagnetik, di mana putaran poros yang digerakkan oleh motor menyebabkan timbulnya gaya gerak listrik pada kumparan jangkar generator. Pada simulator shaft alignment ini, generator berperan sebagai komponen *fixed* (tetap) yang dijadikan titik acuan utama selama proses penyetelan *alignment* maupun *misalignment*. Posisi generator yang tetap bertujuan untuk menjaga kestabilan sistem dan memastikan bahwa setiap perubahan posisi atau sudut yang terjadi berasal dari pergerakan motor listrik sebagai penggerak utama, sehingga hasil pengukuran deviasi poros dapat diperoleh secara akurat dan terkontrol.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Generator DC

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

- Torsi Generator

$$T = \frac{9550 P (kW)}{n (rpm)} \quad (3.2)$$
$$= \frac{9550 \times 1}{2850} = 3,3 \text{ Nm}$$

Diketahui;

T = torsi (Nm)

P = daya motor (kW)

n = putaran motor (rpm)

3.3.3. Perhitungan dan Spesifikasi *Shaft* (Poros)

Diameter poros generator dimodifikasi menjadi 19 mm agar sesuai dengan poros motor listrik yang juga berdiameter 19 mm. Penyesuaian ini dilakukan untuk memastikan kesesuaian sambungan pada kopling FCL 90, sehingga dapat meminimalkan risiko misalignment. Pemilihan ukuran ini sesuai dengan standar *IEC 60072* untuk motor listrik *frame size* 80, di mana diameter poros ditetapkan sebesar 19 mm, serta didukung literatur perancangan poros (Shigley, 2015; Khurmi & Gupta, 2005) yang menyebutkan bahwa poros dengan daya ± 1 kW umumnya menggunakan diameter 18–22 mm.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot FS \cdot T}{\pi \cdot S}} \quad (3.3)$$

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

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

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

$$d_{\text{real}} \approx 19 \text{ mm}$$

Dimana;

d = diameter poros minimum (mm)

FS = faktor keamanan (safety factor)

T = torsi yang ditransmisikan (N-mm)

π = konstanta pi (3,1416)

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

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

Secara teori, diameter poros minimum yang dibutuhkan hanya sekitar 8–10 mm. Namun, dalam praktik ukuran poros ditentukan tidak hanya oleh kekuatan, tetapi juga oleh standar internasional *IEC 60072* untuk motor listrik *frame size* 80, yang menetapkan diameter poros sebesar 19 mm. Selain itu, kopling FCL 90 yang digunakan memiliki *bore* standar 19 mm, sehingga pemilihan diameter poros 19 mm selain memenuhi standar juga memastikan kesesuaian dengan komponen kopling. Dengan demikian, penggunaan poros 19 mm adalah hasil dari pertimbangan teknis, standar, serta kompatibilitas transmisi daya.

3.3.4. Perhitungan Kopling FCL 90

Kopling fleksibel tipe FCL-90 berfungsi sebagai penghubung antara poros motor listrik dan poros generator untuk mentransmisikan daya putar secara efisien. Kopling ini termasuk jenis elastomeric coupling, di mana elemen penghubungnya menggunakan bahan elastis yang mampu meredam getaran dan menyerap ketidaksejajaran kecil antar poros. Material utama kopling FCL-90 adalah besi tuang (cast iron) dengan bantalan elastomer berbahan karet sintesis (rubber element) yang dipasang di antara dua flange.

Pemilihan kopling fleksibel tipe ini bertujuan untuk mengurangi dampak getaran dan beban kejutan akibat perubahan posisi poros selama pengujian *alignment* dan *misalignment*. Selain itu, struktur FCL-90 memungkinkan pemasangan dan pelepasan yang mudah tanpa perlu memindahkan posisi motor maupun generator. Dengan karakteristik tersebut, kopling FCL-90 menjadi komponen kunci dalam menjaga kestabilan transmisi torsi antara motor sebagai penggerak (*move*) dan generator sebagai beban tetap (*fixed*) pada simulator shaft alignment.

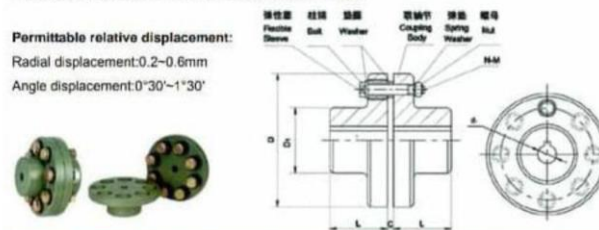
Dengan daya motor 1,1 kW dan putaran 2850 rpm, torsi nominal motor listrik 3,69 Nm dan generator sebesar 3,3 Nm. Nilai torsi tersebut masih jauh lebih kecil dibandingkan kapasitas torsi maksimum kopling FCL 90 (sekitar 40 N·m,

sesuai katalog pabrikan), sehingga pemilihan kopling tipe FCL 90 dinilai aman dan sesuai secara teknis. Kopling FCL 90 juga memiliki batas *runout* sebesar 0,14 mm, yang masih memenuhi syarat penggunaan pada simulasi *shaft alignment* ini.

FCL Couplings

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

Permittable relative displacement:
Radial displacement: 0.2~0.6mm
Angle displacement: 0°30'~1°30'



Type	Max torque N.m	Max speed r/min	D	D ₁	d ₁	L	C	n-M	Weight kg
FCL90	4	4000	90	35.5	11	28	3	4-M8×50	1.7
FCL100	10	4000	100	40	11	35.5	3	4-M10×56	2.3
FCL112	16	4000	112	45	13	40	3	4-M10×56	2.8
FCL125	25	4000	125	50	13	45	3	4-M12×64	4.0
FCL140	50	4000	140	63	13	50	3	6-M12×64	5.4
FCL160	110	4000	160	80	15	56	3	8-M12×64	8.0
FCL180	157	3500	180	90	15	63	3	8-M12×64	10.5
FCL200	245	3200	200	100	21	71	4	8-M20×85	16.2
FCL224	392	2850	224	112	21	80	4	8-M20×85	21.3
FCL226	618	2550	250	125	25	90	4	8-M24×110	31.8
FCL280	980	2300	280	140	34	100	4	8-M24×116	44.0
FCL315	1568	2050	315	160	41	112	4	10-M24×116	57.7
FCL355	2450	1800	355	180	60	125	5	8-M30×50	89.5
FCL400	3920	1600	400	200	60	125	5	10-M30×150	113
FCL450	6174	1400	450	224	65	140	5	12-M30×150	145
FCL560	9800	1150	560	250	85	160	5	14-M30×150	229
FCL630	15680	1000	630	280	95	180	5	18-M30×150	296

Gambar 3. 36 Katalog FCL kopling

(Sumber:

chromeextension://efaidnbmnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://icdn.tradew.com/file/202003/1574364/pdf/7405030.pdf?utm_)

Tabel 3. 3 Spesifikasi Flexible Coupling 90 (FCL Coupling)

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

Pemilihan ukuran kopling berdasarkan besar diameter *shaft* yang digunakan. Ukuran kopling FCL yang kami gunakan harus disesuaikan ukuran diameter *shaft* yang digunakan yaitu 19 mm dan yang kami pilih untuk digunakan yaitu ukuran FCL-90 untuk dapat mengakomodasi dimensi *shaft* yang ada.

Kopling FCL-90 memiliki batas *runout* sebesar 0.14 mm.

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

Gambar 3. 37 Batas Toleransi *runout* (satuan: mm)

(Sumber: https://www.nbk1560.com/en/products/coupling/powertransmission/FCL/FCL-90/?srsltid=AfmBOoputKyyZjBUENnz1KPI-60r8BzKBEqMK8sbGuEt0tK6qdCmhx7t&utm_)

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

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

Gambar 3. 38 Toleransi *Alignment*

(Sumber: https://www.nbk1560.com/en/products/coupling/powertransmission/FCL/FCL-90/?srsltid=AfmBOoputKyyZjBUENnz1KPI-60r8BzKBEqMK8sbGuEt0tK6qdCmhx7t&utm_)

3.3.5. Spesifikasi *Baseplate*

Baseplate merupakan komponen utama yang berfungsi sebagaiudukan dan penopang seluruh bagian simulator shaft alignment, seperti motor listrik, generator, dan kopling. Baseplate berperan penting dalam menjaga posisi serta kesejajaran poros agar tetap stabil selama proses pengujian *alignment* maupun *misalignment*. Material yang digunakan pada baseplate adalah plat besi Mild Steel (MS) ST 37 dengan ketebalan 10 cm, yang dipilih karena memiliki kekuatan tarik yang baik, mudah dikerjakan (cutting dan welding), serta mampu menahan getaran

dan beban dinamis dari sistem rotasi.

Pada simulator ini, baseplate dirancang dengan slot memanjang pada sisi motor listrik untuk memungkinkan pergerakan (*move*) saat proses penyetelan poros, sedangkan sisi generator dibuat tetap (*fixed*) sebagai titik acuan utama. Desain baseplate dimodelkan menggunakan perangkat lunak SolidWorks, dengan dimensi dan lubang baut disesuaikan dengan ukuran *foot mount* motor dan generator. Dengan rancangan tersebut, baseplate tidak hanya berfungsi sebagai struktur penopang, tetapi juga sebagai media penyelarasan mekanis yang memastikan ketepatan dan kestabilan sistem selama proses pengujian berlangsung.

3.3.6. Spesifikasi Bracket dan Dial Indicator

Bracket merupakan komponen pendukung yang berfungsi sebagaiudukan untuk memasang dial indicator pada simulator shaft alignment. Bracket ini memastikan posisi dial indicator tetap stabil dan sejajar dengan permukaan kopling saat proses pengukuran *face* maupun *rim* dilakukan. Material yang digunakan adalah plat besi Mild Steel (MS) ST 37 dengan ketebalan 5 cm, karena memiliki kekuatan cukup untuk menahan getaran serta mudah dibentuk dan dilas. Desain bracket dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks agar posisi dan jarak antar lengan pengikat sesuai dengan titik pengukuran pada kopling. Bracket ini dilengkapi dengan slot baut pengatur posisi (*adjustable slot*), sehingga dial indicator dapat disesuaikan dengan sudut pengukuran yang berbeda. Dengan konstruksi tersebut, bracket berfungsi penting dalam menjaga akurasi dan kestabilan pembacaan dial indicator selama pengujian *alignment* dan *misalignment*.

Dial indicator merupakan alat ukur utama pada simulator shaft alignment yang digunakan untuk mendeteksi ketidaksejajaran (*misalignment*) antara poros motor dan generator. Pada simulator ini digunakan dua buah dial indicator dengan

tipe berbeda, yaitu dial indicator analog Mitutoyo dengan ketelitian 0,01 mm dan range 10 mm untuk pengukuran pada permukaan rim (radial misalignment), serta dial indicator digital Insize dengan ketelitian 0,001 mm dan range 12,7 mm untuk pengukuran pada permukaan face (angular misalignment).

Kedua dial indicator dipasang menggunakan bracket penyangga dari plat Mild Steel (MS) ST 37, yang dirancang agar posisi pengukuran sejajar dengan bidang kopling FCL-90. Dial analog digunakan untuk memantau perubahan linier secara visual, sedangkan dial digital memberikan hasil pembacaan yang lebih presisi dan mudah dibaca saat penyetelan *alignment*. Kedua alat ini dipasang pada batang penyangga stainless steel agar tetap stabil dari getaran selama poros berputar. Dengan kombinasi dua tipe dial indicator tersebut, proses pengukuran *face* dan *rim* dapat dilakukan secara simultan dan akurat, sehingga hasil penyetelan *alignment* maupun *misalignment* dapat diperoleh dengan presisi tinggi.

Tabel 3. 4 Spesifikasi Dial Indicator

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Merk	Dial Indicator Mini
2	Resolusi	0.01 mm
3	Range	0 – 5 mm

Tabel 3. 5 Spesifikasi Dial indikator *analog*

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Seri	Dial Indikator 513-404-10E
2	Model	Analog
3	Range	0.8 mm
4	Resolusi	0.01
5	Scale	0-40-0

3.3.7. Spesifikasi Heater

Heater berfungsi sebagai beban keluaran (output load) pada simulator shaft alignment. Komponen ini digunakan untuk memberikan variasi pembebanan pada generator, sehingga dapat dianalisis pengaruh beban terhadap parameter pengujian seperti getaran, suhu, dan efisiensi sistem. Pada simulator ini digunakan tiga variasi beban, yaitu 350 W, 600 W, dan 1000 W, yang diatur dengan cara mengaktifkan kombinasi heater sesuai daya yang diinginkan.

Elemen pemanasnya terbuat dari nikrom (NiCr) yang memiliki daya tahan tinggi terhadap suhu, dan dibungkus selongsong stainless steel untuk mencegah korosi serta menjaga kestabilan daya selama pengujian. Heater dipilih karena memiliki respon pemanasan cepat, kestabilan daya baik, serta kemudahan dalam pengaturan dan pemasangan.

Heater tubular ini dihubungkan ke keluaran generator melalui terminal block dan saklar selektor daya, sehingga beban dapat disesuaikan sesuai skenario pengujian. Dengan penggunaan heater sebagai beban keluaran, simulator mampu mensimulasikan kondisi kerja nyata sistem motor-generator secara terukur dan memberikan data performa yang akurat terhadap perubahan beban operasi.

Tabel 3. 6 Spesifikasi Heater

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Diameter pipa	11 mm (Stainless steel + Fin Sirip)
2	Panjang Total U	300 mm
3	Jarak Terminal	65 mm
4	Bahan	Nepel Drat Kuningan Standart
5	Voltage	220 V (1 phase)
6	Watt	350, 600, 1000

3.4.Simulasi FEM

3.4.1. Pre-Processing

Pada simulasi *static structural* di SolidWorks, tahap *pre-processing*

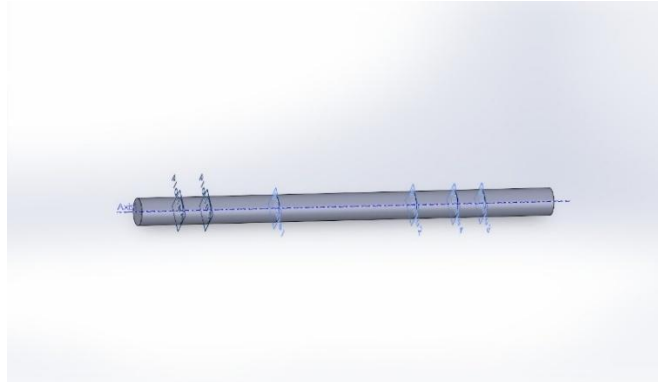
merupakan proses persiapan sebelum analisis dijalankan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi *static structural* terhadap poros menggunakan SolidWorks *Simulation* dengan kondisi beban berasal dari generator sebagai elemen penerima daya. Tahap *pre-processing* meliputi beberapa langkah penting, yaitu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

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

1. Model Geometri

Model geometri poros dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks berdasarkan hasil perhitungan dimensi pada tahap perancangan. Poros dirancang dengan diameter nominal 19 mm sesuai hasil analisis torsi dan faktor keamanan pada rumus (3.1), serta panjang total yang disesuaikan dengan jarak antar kopling motor dan generator.

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



Gambar 3. 39 Model geometri poros

2. Material Poros

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

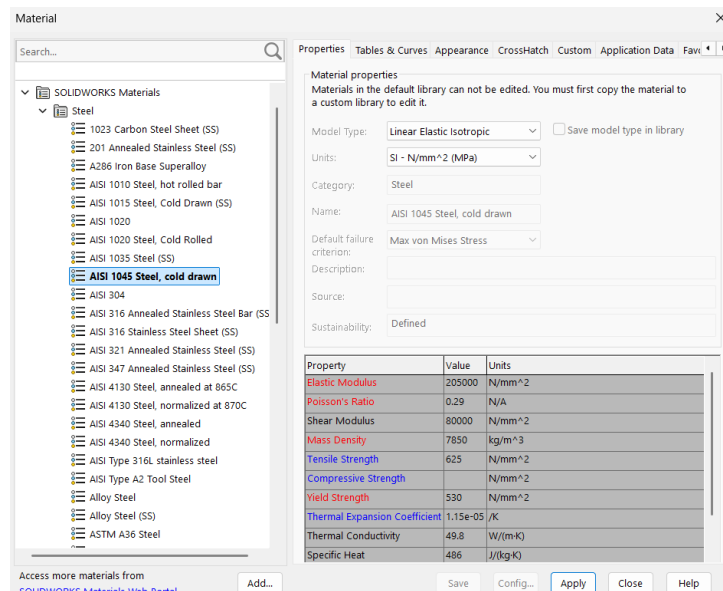
Data mekanik material yang dimasukkan ke dalam simulasi mencakup modulus elastisitas 210 GPa, tegangan luluh 310–370 MPa, rasio poisson 0,30, dan densitas 7850 kg/m³.

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

Tabel 3. 7 Sifat Mekanik AISI 1045

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

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



Gambar 3. 40 Material Poros

3. Meshing

Tahap meshing merupakan proses pemecahan model geometri poros

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

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

Kriteria *meshing* yang diterapkan adalah sebagai berikut:

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

Keakuratan hasil simulasi sangat dipengaruhi oleh kualitas *mesh* yang digunakan. Oleh karena itu, dilakukan pengaturan *mesh* hingga didapatkan model dengan jumlah elemen cukup banyak namun tetap efisien secara komputasi. Dengan penerapan *meshing* yang tepat, hasil simulasi berupa displacement, stress, strain, dan factor of safety pada poros dapat dianalisis secara lebih representatif (Cook et al., 2002; Moaveni, 2015).

4. *Boundary Condition*

Boundary condition atau kondisi batas merupakan salah satu tahap penting

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

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

1. *Fixed Support* (Tumpuan Tetap)

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

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

Ujung poros yang lain, yaitu yang terhubung dengan generator, diberikan beban berupa torsi nominal hasil perhitungan dari daya keluaran generator. Nilai torsi dihitung dengan persamaan:

- Torsi Generator

$$\begin{aligned} T &= \frac{9550 P \text{ (kW)}}{n \text{ (rpm)}} \\ &= \frac{9550 \times 1}{2850} = 3,3 \text{ Nm} \end{aligned} \tag{3.4}$$

Beban torsi ini diaplikasikan pada permukaan silinder ujung poros yang masuk ke hub generator, sesuai kondisi operasional nyata.

3. Asumsi Pembatasan

Beban dianggap statis (tidak berubah terhadap waktu). Distribusi beban torsi dianggap merata pada permukaan ujung poros. Pengaruh gaya dinamis

akibat getaran, ketidaksempurnaan *alignment*, dan gesekan tidak dimodelkan dalam simulasi, tetapi dianalisis melalui pengujian eksperimen.

Dengan kondisi batas tersebut, simulasi dapat memberikan gambaran distribusi tegangan, displacement, serta faktor keamanan poros akibat beban torsi dari generator, sekaligus memverifikasi hasil perhitungan teoritis yang dilakukan pada (3.1) (Budynas & Nisbett, 2015; Moaveni, 2015).

4. Pembebanan (*Loading*)

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

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

1. Jenis Beban

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

2. Besarnya Beban

Nilai torsi dihitung berdasarkan daya keluaran generator yang telah dikoreksi dengan efisiensi, menggunakan persamaan:

Rumus dr generator

- Torsi Generator

$$T = \frac{9550 P (kW)}{n (rpm)} \quad (3.5)$$

$$= \frac{9550 \times 1}{2850} = 3,3 \text{ Nm}$$

Nilai torsi sebesar 3,3 Nm ini kemudian dimasukkan ke dalam simulasi sebagai *torque load* pada permukaan silinder ujung poros yang terhubung dengan generator.

3. Asumsi Pembebanan

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

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

3.4.2. *Solving*

Tahap *solving* merupakan proses penyelesaian numerik dari model simulasi static structural yang telah disiapkan pada tahap *pre-processing*. Pada tahap ini, perangkat lunak SolidWorks *simulation* menyelesaikan persamaan matematis berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*) yang telah dibentuk dari pemodelan geometri, pemilihan material, *meshing*, serta *boundary condition* dan pembebanan.

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

1. Formulasi Persamaan FEM

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

2. Penerapan *Boundary Condition* dan *Loading*

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

3. Proses Penyelesaian Numerik

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

Selama proses solving, perangkat lunak memastikan bahwa hasil simulasi stabil (konvergen). Jika diperlukan, *mesh refinement* dilakukan kembali agar hasil lebih akurat pada daerah kritis.

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

3.4.3. *Post-Processing*

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

Adapun hasil yang diamati dalam simulasi poros ini meliputi:

1. *Displacement* (Perpindahan Maksimum)

Menunjukkan besarnya deformasi poros akibat beban torsi. Nilai *displacement* biasanya kecil (dalam orde μm hingga mm) karena poros relatif kaku. Distribusi perpindahan divisualisasikan dengan kontur warna, di mana bagian ujung poros yang menerima beban memiliki nilai deformasi paling besar.

2. *Stress* (Tegangan *Von Mises*)

Digunakan untuk menentukan tegangan maksimum yang dialami poros akibat torsi. Tegangan *Von Mises* dibandingkan dengan tegangan luluh material untuk menentukan keamanan desain. Kontur warna menampilkan distribusi tegangan, dengan konsentrasi tegangan biasanya muncul di shoulder atau keyway poros.

3. *Strain* (Regangan)

Menunjukkan perubahan bentuk relatif akibat tegangan yang bekerja.

Regangan membantu mengevaluasi respon elastis poros terhadap pembebanan.

4. *Factor of Safety* (FoS)

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

5. Visualisasi Hasil

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

Tahap post-processing ini sangat penting karena dari sinilah dilakukan interpretasi teknis mengenai apakah poros yang dirancang mampu menahan beban torsi dari generator. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan perhitungan teoritis pada sub-bab 3.2 untuk memvalidasi desain (Budynas & Nisbett, 2015; Moaveni, 2015).

3.5. Hasil Fabrikasi Mesin

Simulator shaft alignment dirancang sebagai media pembelajaran bagi mahasiswa dalam melakukan proses alignment secara riil, yang mencakup pengukuran *soft foot*, pemeriksaan *bar sag*, *rough alignment* awal, pemasangan *bracket dial*, pemeriksaan *runout* kopling, hingga proses *alignment* utama. Tahapan pembuatan simulator diawali dengan perancangan desain menggunakan perangkat lunak SolidWorks, kemudian dilakukan simulasi pada bagian poros untuk mengevaluasi faktor keamanannya. Setelah itu, dilanjutkan dengan proses fabrikasi hingga perangkat siap digunakan. Berikut merupakan hasil fabrikasi simulator *shaft alignment* ditunjukkan pada **Gambar 3.41**.



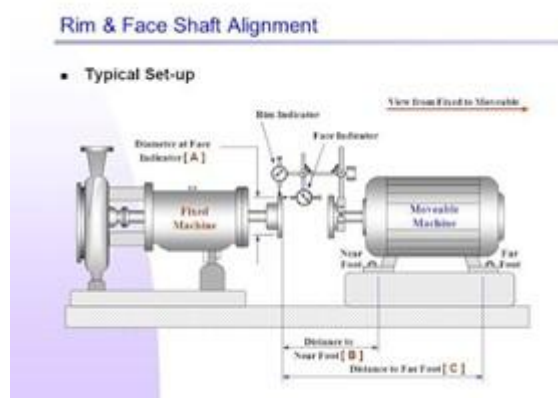
Gambar 3. 41 Fabrikasi simulator shaft alignment

3.6. Metode Pengambilan Data

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

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

Sebelum dilakukan proses *alignment*, ditetapkan acuan pembacaan nilai pergeseran pada arah vertikal dan horizontal. Acuan ini diperlukan agar terdapat keseragaman persepsi dalam interpretasi data antara penulis dan pembaca.



Gambar 3. 42 Acuan pembacaan pergeseran

(Sumber: <https://www.mechanical-knowledge.com/2020/07/shaft-alignment-rim-and-face-method.html>)

Langkah-langkah dalam pengambilan data pada penelitian ini adalah

sebagai berikut:

3.6.1. Variabel Penelitian dan Parameter Pengujian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tiga jenis variabel, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah jenis kondisi poros (alignment dan misalignment angular) serta variasi pembebanan generator sebesar 350 W, 600 W, dan 1000 W.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi nilai getaran (mm/s), suhu kerja ($^{\circ}\text{C}$), sudut misalignment angular ($^{\circ}$), dan efisiensi sistem (%), yang diukur untuk menilai pengaruh perubahan kondisi alignment terhadap performa motor-generator.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini mencakup spesifikasi komponen utama simulator, yaitu motor listrik 3 fasa 1,1 kW (2850 rpm), generator DC Forza BG 2200 L (2,2 kW), kopling FCL-90, serta rangka Mild Steel ST 37. Kecepatan putaran motor dijaga konstan pada 2850 rpm, dan lingkungan pengujian dilakukan pada suhu ruang normal agar hasil pengukuran lebih akurat dan dapat dibandingkan.

3.6.2. Proses *Alignment* Poros Motor Listrik dan Generator

Setelah mempersiapkan semua alat alat yang diperlukan kemudian dilakukan *alignment* (meluruskan) antar kedua poros, yang bertujuan untuk meluruskan kedua poros dengan harapan pada saat poros tersebut lurus maka getaran yang akan terjadi pada mesin tersebut merupakan getaran minimum. Dalam proses meluruskan poros motor listrik kali ini menggunakan metode *face and rim*,

3.6.3. Tahap Pra - *Alignment* dengan Metode *Face and Rim*

➤ *Bar Sag*

Langkah – Langkah:

1. Pasang *dial indicator* pada *bracket*/bar yang dipasang di poros atau kopling.
2. Posisikan *dial indicator* pada arah jam 12 (atas) dan nolkan (*zero*) jarum indikator.
3. Putar bar ke arah jam 6 (bawah) secara perlahan.
4. Catat pembacaan *dial indicator* pada posisi bawah.
5. Hitung selisih antara pembacaan posisi atas (nol) dengan posisi bawah sebagai nilai *bar sag*.
6. Ulangi pengukuran beberapa kali untuk memastikan konsistensi hasil.
7. Gunakan nilai *bar sag* sebagai koreksi pada setiap pembacaan *dial indicator* saat melakukan *alignment*.

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

Langkah pengecekan *soft foot*:

1. Kencangkan semua baut pondasi
2. Pasang *dial indicator* di sudut kaki dekat baut pengikat “*setting* pada penunjukkan 0” lalu kendorkan baut dengan hati hati sampai bisa diputar

menggunakan tangan. Catat hasil.

3. Kencangkan kembali baut tersebut lalu pindah ke baut yang lain.
4. Ulangi langkah tersebut pada kaki kaki yang lain dan catat semua hasil pengukurannya.
5. Setelah mendapat data, tentukan penambahan *shim* terhadap kaki kaki yang mengalami *soft foot*.

Langkah pengecekan *run out* kopling :

1. Pasang *bracket dial indicator* dengan posisi tegak lurus terhadap permukaan hub kopling generator (*driven*).
2. Arahkan jarum dial indikator hingga menyentuh permukaan hub kopling generator dengan tekanan yang sesuai.
3. Bagi hub kopling menjadi empat titik pada kelilingnya, lalu beri tanda pada posisi jam 12, 3, 6, dan 9 sebagai acuan pengukuran.
4. Set jarum dial indikator pada posisi jam 12 sehingga menunjukkan angka 0.00 mm sebagai titik awal.
5. Putar hub kopling generator secara perlahan, sementara hub kopling motor (*driver*) dibiarkan tetap atau tidak diputar.
6. Lakukan pembacaan pada setiap posisi jam 3, 6, dan 9 secara berurutan, lalu catat hasil pengukuran pergeseran jarum dial pada keempat titik tersebut.

Kembalikan posisi hub ke jam 12. Jarum dial indikator seharusnya kembali ke posisi 0.00 mm. Jika tidak kembali ke nol, kemungkinan terdapat kesalahan saat pemutaran hub atau ketidakakuratan pada dial indicator.

Pengukuran dilakukan dengan memasang dial indikator pada sisi kopling

motor dan generator. Poros diputar bersamaan sehingga dial indikator memberikan nilai pergeseran pada posisi jam 12, 3, 6, dan 9. Data tersebut menjadi dasar perhitungan *angular misalignment* dengan metode face and rim.

3.6.4. Langkah Pelaksanaan *Alignment* dan *Misalignment* dengan Metode *Face and Rim*

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

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

Lakukan 4x pengambilan data kemudian ambil rata rata untuk hasil akhir.

3.6.5. Langkah Pelaksanaan Putaran Mesin

1. Siapkan alat pengukur putaran mesin yaitu *tachometer*
2. Tempelkan bahan reflektif pada komponen yang berputar
3. Pencet tombol hingga *tachometer* memancarkan cahaya inframerah yang diarahkan ke target reflektif

4. Ketika sinar cahaya mengenai target, sinar dipantulkan kembali ke sensor cahaya yang ditempatkan dalam *tachometer* sehingga putaran mesin dapat terbaca
5. Melakukan pencatatan hasil

3.6.6. Langkah Pelaksanaan Pengukuran

- Langkah Pelaksanaan Pengukuran Daya *input-output*
 1. Menyiapkan alat ukur daya *input* (Chauvin Arnoux PEL-103) dan daya *output* (Lutron DW-6093).
 2. Membuat jalur pengukuran *input* dengan memodifikasi kabel yang menuju saklar. Kabel diputus di bagian tengah dan dipasang terminal *block*, sehingga:
 3. Sensor arus (*current clamp*) PEL-103 dapat dijepit pada kabel menuju motor.
 - Probe tegangan PEL-103 dijepit (*capit*) pada panel listrik (sumber input motor).
 - Membuat jalur pengukuran output dengan menjepit *probe* tegangan Lutron DW 6093 pada terminal *block* keluaran generator, serta menjepit *clamp* arus pada kabel keluaran generator.
 4. Mengatur parameter pengukuran pada masing-masing alat (tegangan, arus, daya aktif, daya semu, faktor daya).
 5. Menyalakan sistem motor dan generator hingga mencapai kondisi operasi stabil.
 6. Membiarkan kedua alat merekam data secara otomatis sesuai interval yang telah diset sebelumnya.
 7. Setelah pengujian selesai, mematikan sistem motor dan generator, melepas sensor/*probe*, dan mengambil *memory card* dari masing-masing alat untuk menyalin data hasil pengukuran ke laptop.
- Langkah Pelaksanaan Pengukuran Getaran
 1. Siapkan alat pengukur getaran yaitu *vibration meter* atur satuan ukur menjadi m/s

atau mm/s

2. Tempelkan sensor maupun *base* perangkat ke permukaan objek yang akan diukur
3. Tempel pada posisi axial dan radial (vertikal , horizontal)
4. Tahan selama beberapa detik hingga muncul angka di layar perangkat
5. Lakukan pencatatan angka hasil getaran
6. Lepas dan matikan kembali perangkat *vibration meter*

➤ Langkah Pelaksanaan Pengukuran *Temperature*

1. Siapkan alat ukur temperatur FLIR TG165 dalam kondisi siap pakai.
2. Nyalakan motor listrik dan generator dan biarkan beroperasi selama ± 20 menit agar mencapai kondisi kerja normal.
3. Atur nilai *emissivity* pada perangkat sesuai objek yang diukur:
 - Motor listrik (DE, NDE, dan bagian tengah): 0.95
 - Kopling: 0.30
 - Generator (DE, NDE, dan bagian tengah): 0.95
4. Arahkan sensor FLIR TG165 ke titik ukur yang ditentukan (DE, NDE, bagian tengah motor, kopling, dan DE–NDE–tengah generator) dengan jarak sesuai spesifikasi alat.
5. Tahan beberapa detik hingga layar menampilkan citra termal dan nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$).
6. Catat nilai temperatur setiap titik ukur secara berurutan sesuai parameter.
7. Lakukan dokumentasi hasil berupa foto atau citra termal dari layar perangkat untuk setiap titik pengukuran.
8. Ulangi langkah pengukuran sesuai jadwal pencatatan yang telah ditentukan.

Setelah selesai, matikan perangkat dan simpan dengan aman.

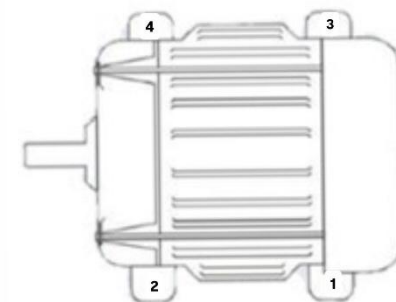
Dengan metode ini, dapat ditentukan besarnya sudut ketidaksejajaran antara poros penggerak dan poros yang digerakkan. Hasil pengukuran kemudian dianalisis untuk menganalisa pengaruh *misalignment angular* terhadap kinerja sistem, terutama pada efisiensi daya *input–output*, getaran, dan temperatur.

3.7. Pelaksanaan Metode *Pra-Alignment*

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

3.7.1. Pembahasan Data, Hasil Pengukuran Hasil *SoftFoot*

Langkah pengecekan *soft foot* dapat dilihat pada **Gambar 3.43**. Cek gap kaki kaki pada posisi 1, 2, 3, 4 terhadap pondasi/unp dengan menggunakan dial indikator dan catat hasil penyimpangan tersebut.



Gambar 3. 43 *Softfoot* motor listrik

4. Hasil Pengukuran *SoftFoot* Motor Listrik

Tabel 3. 8 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 3.8**. 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 diesel dikarenakan masih dalam batas toleransi.

3.7.2. Pengujian *Bar Sag*

Pengujian *bar sag* dilakukan untuk menganalisa besar lendutan batang *dial indicator (bracket)* 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 3. 44 Posisi jam 12 pengujian *bar sag*



Gambar 3. 45 Posisi jam 6 pengujian *bar sag*

Tabel 3. 9 Pengujian bar sag

Posisi Dial Indikator	Pembacaan (mm)
Jam 12 (atas)	0
Jam 6 (bawah)	0
Nilai bar sag	0

Pada **Tabel 3.9** Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa pembacaan pada posisi jam 12 (atas) sebesar 0 mm dan pada posisi jam 6 (bawah) juga sebesar 0 mm. Dengan demikian, nilai bar sag = 0 mm, yang menunjukkan bahwa batang *bracket dial indikator* tidak mengalami lendutan.

Hal ini berarti *bracket* yang digunakan bersifat cukup kaku (*rigid*) dan tidak memberikan error tambahan dalam pengukuran. Dengan kondisi *bar sag* = 0, proses *alignment* dapat dilakukan dengan hasil yang lebih akurat karena nilai dial indikator sepenuhnya merepresentasikan kondisi poros dan kopling, bukan dipengaruhi oleh lendutan *bracket*.

3.7.3. Pemeriksaan *Rough Alignment* Awal

Rough alignment dilakukan untuk menyamakan posisi awal kopling Motor Listrik dan kopling *Dynamo Alternator* menggunakan penggaris secara visual dan

manual, dengan tujuan meminimalkan kesalahan awal sebelum dilakukan *fine alignment* menggunakan metode *face and rim*.



Gambar 3. 46 Pemeriksaan *rough alignment* awal

3.7.4. Pemasangan *Bracket Dial Indicator*

Setelah pengecekan *soft foot* 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 generator sebagai poros gerak. Fokus utama pengukuran berada pada sisi *face* kopling untuk mendeteksi *misalignment angular*, sesuai dengan tujuan khusus pengujian.

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



Gambar 3. 47 Pemasangan *bracket dial indicator*

3.7.5. Pembahasan Data, Hasil *RunOut* Kopling Motor

1. Hasil Pengukuran *Run Out* kopling *Dynamo Altenator*

Tabel 3. 10 *Run Out Kopling Dynamo Altenator*

No	Posisi Pengambilan Data Runout (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
1	0	0.01	0	-0.01
2	0	0.01	-0.01	-0.02
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 3.10**. 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 menganalisa masalah penyimpangan pada kopling kemudian lakukan metode kesejajaran kopling (*alignment*). Berikut merupakan perhitungan *offset* pada kopling:

$$\text{➤ Kopling Offset Vertikal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0 - (-0.01)}{2} = 0 \quad (3.6)$$

$$\text{➤ Kopling Offset Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0.01 - 0.01}{2} = 0 \quad (3.7)$$

2. Hasil Pengukuran *Run Out* Kopling Motor Generator

Tabel 3. 11 *Run Out Kopling Motor Listrik*

No	Posisi Pengambilan Data <i>runout</i> (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
1	0	0	0.02	0.01
2	0	0	0.02	0
3	0	0.01	0.02	0
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 3.11**. Untuk arah jam 12 = 0 mm, jam 9 = 0.005 mm, jam 6 = 0.02 mm dan jam 3 = 0.005 mm. Pengecekan *run out* ini sebagai acuan untuk *pra-alignment* supaya *alignment* mendapat hasil yang terbaik. Jika sudah menganalisa masalah penyimpangan pada kopling kemudian lakukan metode kesejajaran kopling (*alignment*). Berikut merupakan perhitungan offset pada kopling:

$$\text{➤ Kopling Offset Vertikal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0-0.02}{2} = 0.01 \quad (3.8)$$

$$\text{➤ Kopling Offset Horizontal} = \frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{0.005-0.02}{2} = 0 \quad (3.9)$$

3.8. Pengujian Angular, Getaran, Temperatur, dan Efisiensi pada Kondisi

Alignment dan Misalignment

3.8.1. Pengukuran *Alignment Angular*, Getaran, Temperatur, dan Efisiensi Motor–Generator

Pengukuran *alignment* menggunakan metode *face and rim* pada empat titik (posisi pukul 12, 3, 6, dan 9) dilakukan untuk memastikan bahwa poros motor listrik dan *dynamo alternator* berada dalam kondisi sejajar sesuai batas toleransi standar

Selanjutnya, dilakukan pengujian getaran pada motor untuk menilai

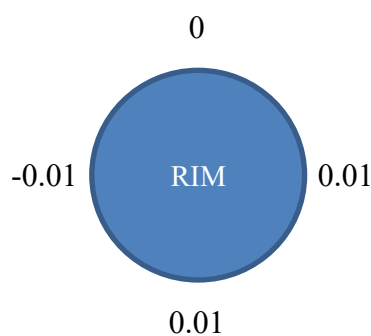
kestabilan sistem saat kondisi *alignment*. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data perbandingan terhadap kondisi *misalignment*.

Pengukuran daya *input* dan *output* motor listrik juga dilakukan guna mengevaluasi tingkat efisiensi sistem pada kondisi *alignment*. Data yang diperoleh nantinya akan digunakan sebagai pembanding terhadap pengujian pada kondisi *misalignment*.

Selain itu, dilakukan pengukuran temperatur pada motor listrik, generator, serta area kopling menggunakan *thermal camera* FLIR TG-165. Pengukuran temperatur ini bertujuan untuk menganalisa distribusi panas pada kondisi *alignment*, sehingga dapat dibandingkan dengan kondisi *misalignment angular*.

Tabel 3. 12 Arah Radial kondisi *Alignment* Pembebanan 350, 600, 1000 W

No	Posisi Pengukuran <i>Rim</i> kondisi <i>Alignment</i> Searah Jarum Jam (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah jam 9
1	0	0.01	-0.01	-0.01
2	0	0.01	0.01	-0.01
3	0	0	0.02	-0.01
4	0	0.01	0.01	-0.01
Rata-Rata	0	0.01	0.01	-0.01



➤ Vertikal (3.10)

$$O_V = \frac{Rim Dial (DIR)TIR}{2}$$

$$O_V = \frac{Dir 12 - Dir 6}{2}$$

$$O_V = \frac{0 - 0.01}{2}$$

$$= 0 mm$$

➤ Horizontal (3.11)

$$O_H = \frac{Rim Dial (DIR)TIR}{2}$$

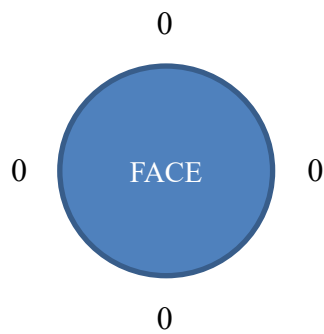
$$O_H = \frac{Dir 3 - Dir 9}{2}$$

$$O_H = \frac{0.01 - 0.01}{2}$$

$$O_H = 0 mm$$

Tabel 3. 13 Arah *Axial* kondisi *Alignment* Pembebanan 350,600,1000 W

No	Posisi Pengukuran <i>Face</i> kondisi <i>Alignment</i> Searah Jarum Jam (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
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



➤ Vertikal (3.12)

$$A_V = \frac{Face Dial (DIF)TIR}{A}$$

$$A_V = \frac{Dif 12 - Dif 6}{A}$$

$$A_V = \frac{0 - 0}{89mm}$$

➤ Horizontal (3.13)

$$A_H = \frac{Face Dial (DIF)TIR}{A}$$

$$A_H = \frac{Dif 3 - Dif 9}{A}$$

$$A_H = \frac{0 - 0}{89mm}$$

$$A_V = 0 \text{ mm}$$

$$A_H = 0 \text{ mm}$$

3.8.2. 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 sistem motor dan generator. Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan daya keluar terhadap daya masuk.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.14)$$

- Pembebanan 350W

$$n = \frac{346}{649} \times 100\% \quad (3.15)$$

$$n = 53,3\%$$

- Pembebanan 600W

$$n = \frac{647}{1112} \times 100\% \quad (3.16)$$

$$n = 58,3\%$$

- Pembebanan 1000W

$$n = \frac{804}{1441} \times 100\% \quad (3.17)$$

$$n = 55,8\%$$

- Beban 350 W menghasilkan daya *input* sebesar 649 W dan daya *output* 346 W dengan efisiensi 53,3 %. Efisiensi masih rendah karena pada beban kecil rugi-rugi listrik dan mekanis lebih dominan dibanding daya keluaran.
- Beban 600 W menunjukkan peningkatan efisiensi hingga 58,3 %, dengan daya input 1112 W dan *output* 647 W. Hal ini menandakan sistem bekerja lebih optimal pada beban menengah.
- Beban 1000 W menghasilkan efisiensi 55,8 %, 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 55–58 %, dengan kinerja paling optimal pada beban menengah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem motor dan generator dalam kondisi sejajar bekerja lebih stabil dan memiliki kerugian daya yang lebih kecil.

3.9. Pengukuran *Misalignment Offset*, Getaran, Temperatur, dan Efisiensi Motor–Generator

Pengukuran *misalignment offset* 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 Menganalisa tingkat ketidaksejajaran sudut antara poros motor listrik dan *dynamo alternator*.

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

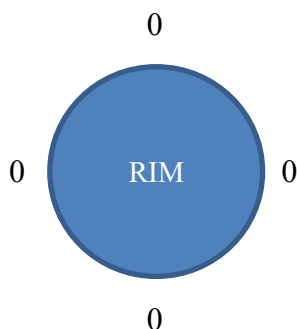
Pengukuran daya *input* dan *output* motor listrik juga dilakukan guna mengevaluasi efisiensi kerja sistem ketika terjadi *misalignment*. Data hasil pencatatan dari alat ukur digunakan untuk Menganalisa perbandingan daya masuk dengan daya yang dihasilkan generator.

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 offset*, sehingga dapat diketahui kecenderungan peningkatan suhu pada komponen-komponen kritis yang berpotensi mempengaruhi kinerja sistem.

3.9.1. Pengukuran *Misalignment Offset*

Tabel 3. 14 Pengujian posisi *Rim misalignment* dengan beban 350, 600, 1000W

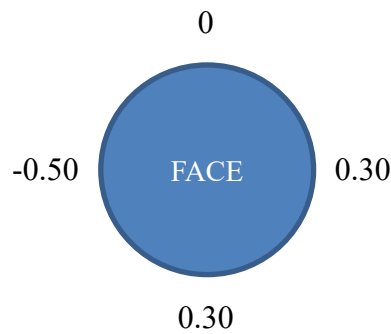
No	Posisi Pengukuran <i>Rim</i> kondisi Alignment Searah Jarum Jam (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Rata-Rata	0	0	0	0



Tabel 3. 15 Pengujian posisi *Face misalignment* dengan beban 350, 600, 1000W

No	Posisi Pengukuran <i>Face</i> kondisi Alignment Searah Jarum Jam (mm)			
	Arah Jam 12	Arah Jam 3	Arah Jam 6	Arah Jam 9
1	0	0.30	0.30	-0.50

2	0	0.30	0.30	-0.50
3	0	0.30	0.30	-0.50
4	0	0.30	0.30	-0.50
Rata-Rata	0	0.30	0.30	-0.50



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*).

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*.

➤ Vertikal

(3.18)

$$O_V = \frac{\text{Face Dial (DIF) TIR}}{2}$$

$$O_V = \frac{\text{Dif 12} - \text{Dif 6}}{2}$$

$$O_V = \frac{0 - 0.30}{2}$$

$$O_V = -0.15 \text{ mm}$$

➤ Horizontal

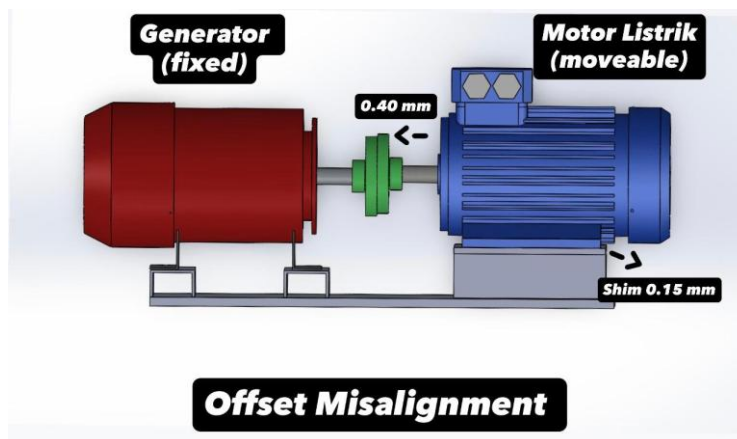
(3.19)

$$O_H = \frac{\text{Face Dial (DIF) TIR}}{2}$$

$$O_H = \frac{\text{Dif 3} - \text{Dif 9}}{2}$$

$$O_H = \frac{0.30 - (-0.50)}{2}$$

$$O_H = 0.40 \text{ mm}$$

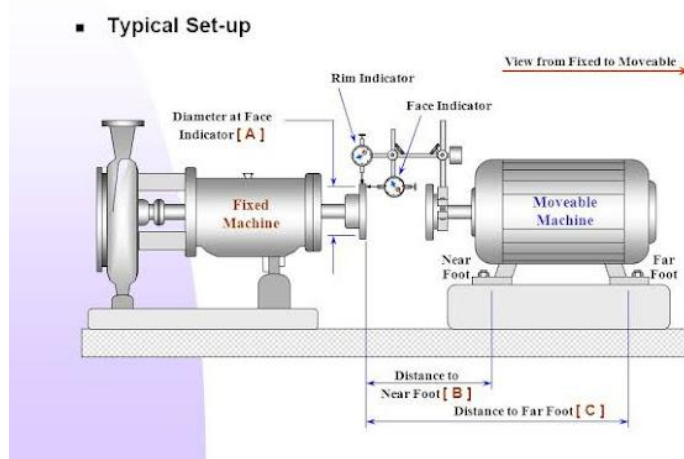


Gambar 3. 48 Visualisasi hasil *offset misalignment*

Gambar 3.48 menunjukkan kondisi offset misalignment antara poros generator dan motor listrik. Generator ditetapkan sebagai acuan tetap (fixed), sedangkan motor listrik dapat digeser (moveable) untuk dilakukan penyetelan. Pada gambar terlihat adanya jarak sebesar 0,40 mm pada kopling, yang menandakan bahwa poros motor dan generator tidak berada pada satu garis lurus, melainkan bergeser secara paralel. Untuk mengoreksi ketidaksejajaran ini, digunakan shim dengan ketebalan 0,15 mm yang ditempatkan di bawah kaki motor listrik sehingga posisi poros motor dapat disesuaikan agar lebih sejajar dengan poros generator. Kondisi ini menggambarkan secara jelas bagaimana offset misalignment terjadi serta cara penyesuaiannya melalui penambahan shim.

- **PERHITUNGAN**

Rim & Face Shaft Alignment



Gambar 3. 49 Perhitungan pengambilan data *face and rim*

A	=	89 mm
B	=	99,8 mm
C	=	195 mm
RIM TIR Vertikal (O_V)	=	-0.15 mm
RIM TIR Horizontal (O_H)	=	0.40 mm
FACE TIR	=	0 mm

- **Perhitungan matematis *offset misalignment***

➤ **Kopling *Offset* Vertikal**

$$\frac{\text{Rim Dial (DIR)TIR}}{2} = \frac{\text{Arah jam 12} - \text{Arah Jam 6}}{2} = \frac{0 - 0.30}{2} = -0.15 \text{ mm} \quad (3.20)$$

➤ **Kopling *Offset* Horizontal**

$$\frac{\text{Rim Dial (DIF)TIR}}{A \text{ Dimension}} = \frac{\text{Arah Jam 3} - \text{Arah Jam 9}}{A \text{ Dimension}} = \frac{0.30 - (-0.50)}{2} = 0.40 \text{ mm} \quad (3.21)$$

- **Reposisi dengan perhitungan matematis**

1. Perhitungan Vertikal

➤ Kaki depan (*Front Foot*)

$$\Delta F_V = \left(\frac{Face\ TIR}{A} \times B \right) + \frac{1}{2} Rim\ TIR \quad (3.22)$$

$$\Delta F_V = \left(\frac{0}{89} \times 99,8 \right) + \frac{1}{2} (-0.15)$$

$$\Delta F_V = -0.75\ mm$$

➤ Kaki belakang (*Rear Foot*)

$$\Delta R_V = \left(\frac{Face\ TIR}{A} \times (B + C) \right) + \frac{1}{2} Rim\ TIR \quad (3.23)$$

$$\Delta R_V = \left(\frac{0}{89} \times (99,8 + 195) \right) + \frac{1}{2} (-0.15)$$

$$\Delta R_V = -0,75\ mm$$

2. Perhitungan Horizontal

➤ Kaki depan (*Front Foot*)

$$\Delta F_H = \left(\frac{Face\ TIR}{A} \times B \right) + \frac{1}{2} Rim\ TIR \quad (3.24)$$

$$\Delta F_H = \left(\frac{0}{89} \times 99,8 \right) + \frac{1}{2} (0.40)$$

$$\Delta F_H = 0.2\ mm$$

➤ Kaki belakang (*Rear Foot*)

$$\Delta R_H = \left(\frac{Face\ TIR}{A} \times (B + C) \right) + \frac{1}{2} Rim\ TIR \quad (3.25)$$

$$\Delta R_H = \left(\frac{0}{89} \times (99,8 + 195) \right) + \frac{1}{2} (0.40)$$

$$\Delta R_H = 0,2\ mm$$

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 merepresentasikan besarnya penambahan shim pada kaki depan dan belakang mesin untuk mengoreksi *offset misalignment* pada bidang vertikal. Sementara itu, ΔF_H dan ΔR_H menunjukkan besar pergeseran pada kaki depan dan

belakang mesin untuk mengoreksi *offset misalignment* pada bidang horizontal.

Dari data pengukuran, diperoleh kebutuhan koreksi sebesar -0.75 mm pada kaki depan dan -0.75 mm pada kaki belakang untuk arah vertikal. Pada bidang horizontal, mesin perlu digeser sebesar 0,2 mm pada kaki depan dan 0,2 mm pada kaki belakang ke arah jam 9. Dengan melakukan koreksi tersebut, sumbu poros motor dan generator dapat kembali berada pada posisi segaris, sehingga kondisi *misalignment offset* dapat dihilangkan dan kinerja sistem dapat lebih stabil serta efisien.

3.9.2. Pengukuran Daya *Input* dan *Output* serta Efisiensi Motor-Generator kondisi *Misalignment Offset*

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.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3.26)$$

- Pembebanan 350W

$$n = \frac{349}{704} \times 100\% \quad (3.27)$$

$$n = 49,5\%$$

- Pembebanan 600W

$$n = \frac{712}{1234} \times 100\% \quad (3.28)$$

$$n = 57,7\%$$

- Pembebanan 1000W

$$n = \frac{802}{1438} \times 100\% \quad (3.29)$$

102

$$n = 55,7\%$$

- Beban 350 W menghasilkan daya input sebesar 704 W dan daya output 349 W dengan efisiensi 49,5%. 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 1234 W dan output 712 W. Hal ini menandakan sistem bekerja lebih optimal pada beban menengah.
- Beban 1000 W menghasilkan efisiensi 55,7% sedikit menurun dibanding beban menengah. Penurunan ini disebabkan adanya rugi panas yang meningkat pada motor dan generator.

Secara umum, kondisi *misalignment* memberikan efisiensi rata-rata sekitar 53-57%, 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