

**ANALISIS PENGARUH *MISALIGNMENT FLANGE* PIPA TERHADAP
NOZZLE POMPA SENTRIFUGAL PADA *WELLHEAD PLATFORM***

Skripsi:

*Diajukan untuk memenuhi persyaratan penyelesaian program S-1 Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta*



Oleh :

JOHN PERRY PANDIANGAN
2410017211127

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA
2026**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS BUNG HATTA

EXECUTIVE SUMMARY

Reg No : 01/SKRIPSI/TM/FTI/III-2026

Nama : **John Perry Pandiangan**
Npm : **2410017211127**
Bagian : **Teknik Mesin**
Judul Skripsi : **Analisis Pengaruh *Misalignment Flange* Pipa Terhadap
Nozzle Pompa Sentrifugal Pada *Wellhead Platform***

Telah dikonsultasikan dan disetujui oleh pembimbing untuk di upload ke *website*.

Ir. Kaidir, M.Eng., IPM. (Pembimbing) _____

Analisis Pengaruh *Misalignment Flange* Pipa Terhadap *Nozzle* Pompa Sentrifugal Pada *Wellhead Platform*

John Perry Pandiangan
Mahasiswa RPL Universitas Bung Hatta
John.Pandianganm@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini membahas dampak misalignment antara *flange* pipa dan *nozzle* pompa sentrifugal pada *Wellhead Platform (WHP)*, dengan fokus pada dua unit pompa, 118-P7903 (*alignment* baik) dan 119-P7903 (*alignment* buruk). Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan teori *misalignment* dan efeknya pada kinerja pompa, serta membandingkan parameter vibrasi, temperatur bearing, dan level kebisingan dari kedua unit. Analisis dilakukan berdasarkan standar API RP 686 dan API 610, mengidentifikasi bahwa *misalignment* dapat meningkatkan beban tambahan ke unit pompa, yang dapat menyebabkan kegagalan komponen pompa, termasuk *bearing* dan *mechanical seal*. Metode penelitian kuantitatif dan simulasi numerik digunakan agar dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai pengaruh *misalignment* terhadap kinerja komponen pompa selama pengujian operasional selama 240 menit. Hasil menunjukkan pompa dengan *alignment* baik memiliki tingkat vibrasi dan temperatur yang lebih rendah dibandingkan pompa dengan *misalignment*, mendukung pentingnya instalasi pipa sesuai standar internasional untuk menjaga kinerja optimal sistem. Rekomendasi teknis dihasilkan untuk memperbaiki prosedur instalasi.

Kata Kunci: *Misalignment*; Dampak terhadap pompa; Menjaga *alignment flange* sesuai standar API 686.

ABSTRACT

This study examines the impact of misalignment between the pipe flange and nozzle of a centrifugal pump in a Wellhead Platform (WHP), focusing on two pump units, 118-P7903 (well-aligned) and 119-P7903 (badly aligned). This study aims to explain the theory of misalignment and its effects on pump performance, as well as to compare the vibration parameters, bearing temperatures, and noise levels of the two units. Analysis, conducted based on API RP 686 and API 610 standards, identified that misalignment can increase additional loads, which can lead to failure of pump components, including bearings and mechanical seals. Quantitative research methods and numerical simulations were used to provide a comprehensive overview of the effect of misalignment on pump performance during a 240-minute operational test. Results showed that well-aligned pumps had lower vibration and temperature levels than misaligned pumps, supporting the importance of piping installation in accordance with international standards to maintain optimal system performance. Technical recommendations were generated to improve installation procedures.

Keywords: Misalignment; Impact on Pumps; Maintain flange alignment according to API 686 standards.

PENDAHULUAN

Offshore wellhead platform (WHP) adalah struktur anjungan lepas pantai yang didesain khusus untuk menampung komponen *wellhead* (kepala sumur) dan sistem peralatan-peralatan serta kontrol produksi minyak atau gas dari satu atau beberapa sumur di dasar laut. Platform ini biasanya berukuran kecil hingga menengah, seringkali dioperasikan secara *remote* (jarak jauh), dan berfungsi sebagai *interface* produksi utama untuk mengalirkan hasil tambang ke fasilitas pemrosesan. Pada *Wellhead platform* terdapat banyak jenis *equipment* yang digunakan untuk mendukung proses sistem penyaluran minyak dan gas dan kontrol keamanan, keselamatan manusia, lingkungan dan fasilitas. Salah satunya adalah Pompa sentrifugal *Pig Launcher Open Drain Pump* dimana *equipment* ini berfungsi untuk Mengeluarkan cairan sisa (chemical, air, kondensat) yang tertinggal di dalam *barrel* (tabung) launcher setelah pigging, agar barrel benar-benar kosong dan juga memompa kotoran, *sludge*, atau sedimen padat hasil pembersihan pipa yang tersisa di dalam *trap*.

Keandalan pompa sentrifugal tidak hanya ditentukan oleh kualitas desain dan material, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kualitas instalasi pipa yang terhubung ke nozzle pompa. Salah satu kasus pada *Wellhead Platform* WHP-19 ditemukan instalasi pemipaan yang bermasalah dari *Pig Launcher* ke *Open Drain Pump* dimana telah terjadi *misalignment* antara *Flange* pipa dengan *Nozzle* pompa. Tentunya hal tersebut sangat dihindari karena dapat mengakibatkan terganggunya sistem pendukung pada proses di fasilitas *Wellhead Platform*. Dari kasus *misalignment* tersebut penulis melakukan kajian analisa bagaimana dampaknya terhadap komponen pompa seperti vibrasi, temperatur *bearing* dan tingkat kebisingan pompa pada saat pengujian operasional. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa sentrifugal pada sistem *pig launcher open drain pumps* di *Wellhead Platform*. Lokasi penelitian difokuskan pada dua unit Pompa 119-P7903 kondisi pemipaan *misalign (out of tolerances)* dan unit Pompa 118-P7903 kondisi pemipaan yang *align (within range tolerances)* sebagai unit pembanding.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjelaskan teori *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa serta dampaknya terhadap kondisi kinerja komponen pompa sentrifugal. Membandingkan hasil analisis pengaruh *misalignment* pada dua unit pompa *good alignment* 118-P7903 dan *poor alignment* 119-P7903 sebagai data pembanding. Memberikan verifikasi terhadap rekomendasi standart API RP 686 akan toleransi *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa pada fase konstruksi. Adapun manfaat dari penelitian ini adalah Memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai pengaruh *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa serta pengaruh terhadap performa pompa sentrifugal saat pengujian operasional. Menjadi acuan teknis bagi perusahaan EPCI dalam melakukan instalasi pipa agar sesuai standar internasional, seperti standar API RP 686. Memberikan rekomendasi praktis dalam menjaga kualitas konstruksi sistem *pig launcher-open drain pump*.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi kasus berbasis simulasi numerik. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada analisis

data numerik berupa data pengukuran *misalignment* dan data hasil pengujian pompa. Studi kasus dilakukan pada sistem *Pig Launcher Open Drain Pump* 118-P7903 dan 119-P7903 pada *Offshore Wellhead Platform*.

Hasil analisis dibandingkan dengan standar industri yang relevan, seperti:

- API 610 – *Centrifugal Pumps*, digunakan sebagai acuan dan panduan dalam *design* dan pembuatan (*manufacturing*) pompa sentrifugal.
- API RP 686 – *Recommended Practice for Machinery Installation*, untuk panduan instalasi *flange-nozzle* agar bebas dari *misalignment*.

Dengan pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai pengaruh *misalignment flange* pipa terhadap poros pompa sentrifugal, sekaligus menghasilkan rekomendasi teknis untuk memperbaiki prosedur instalasi pada proyek *Wellhead Platform* di industri migas lepas pantai. Alur dari penelitian ini adalah mulai dari: Pengumpulan data teknis dan spesifikasi flange dan pompa → Pengambilan data pengukuran *misalignment flange* dengan nozzle pompa → Pengujian operasional Pompa dan mengambil data parameter kinerja pompa → Membuat analisa *misalignment* terhadap Vibrasi, Temperatur dan Noise level selama operasional 240 menit.

2. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah *Open Drain Pump* unit 118-P7903 dan 119-P7903 yang terhubung dengan pipa *Pig Launcher* pada *Wellhead Platform* yang difabrikasi di salah satu perusahaan EPCI di Batam.

Fokus penelitian diarahkan pada pengaruh *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa sentrifugal terhadap Vibrasi (di ukur pada sisi luar *bearing house DE* dan *NDE* pada sumbu x, y dan z), Temperatur *Bearing* (di ukur pada sisi luar *bearing house DE* dan *NDE*) dan *Noise level* (diukur dari jaran 1 meter dari Pompa dan Motor pada *bearing house DE* dan *NDE*)

Analisis dilakukan pada kondisi berikut:

1. Unit Pompa sentrifugal *Pig Luncher Open Drain Pump* 118-P7903 dengan kondisi alignment yang masih dalam batas toleransi yang diizinkan merujuk ke standar API RP 686.
2. Unit Pompa sentrifugal *Pig Luncher Open Drain Pump* 119-P7903 dengan kondisi alignment diluar batas toleransi yang diizinkan merujuk ke standar API RP 686.
3. Analisa dampak *misalignment* terhadap kondisi bearing (Vibrasi, Temperatur dan Tingkat kebisingan) pompa setelah diuji operasional selama 4 jam, data diambil pada setiap interval 15 menit operasional.

Dengan penetapan objek ini, penelitian lebih terfokus untuk mengidentifikasi dampak langsung *misalignment* pipa terhadap pompa, sehingga hasil analisis dapat digunakan sebagai acuan teknis instalasi sesuai standar industri API RP 686.

3. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di salah satu perusahaan EPCI di Batam pada periode Maret – September 2025 dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data Teknis

Mengumpulkan data teknis dan spesifikasi flange pipa dan nozzle pompa dari dokumen engineering.

2. Analisis Pengaruh Misalignment

Mengevaluasi pengaruh misalignment terhadap kondisi bearing (Vibrasi, Temperatur dan Tingkat kebisingan) pompa setelah uji opearional.

Menyusun interpretasi hasil simulasi, kesimpulan, dan rekomendasi teknis untuk instalasi pipa yang sesuai standar.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian (*Time Schedule*)

Tahapan Penelitian	Mei 2025	Juni 2025	Juli 2025	Agustus 2025	September 2025
Pengumpulan data teknis					
Studi literatur					
Analisis pengaruh misalignment					
Penyusunan kesimpulan & rekomendasi					

4. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas (*Independent Variable*)

Misalignment flange pipa ke *nozzle* pompa Variasi jenis misalignment yang dianalisis meliputi:

- Parallel misalignment* (sumbu pipa bergeser sejajar terhadap sumbu nozzle).
 - Angular misalignment* (sumbu pipa membentuk sudut terhadap sumbu nozzle).
- ### 2. Variabel Kontrol (*Controlled Variable*)
- Material pipa dan pompa sesuai dengan spesifikasi desain proyek.
 - Konfigurasi sistem pig launcher–open drain pump mengikuti kondisi desain asli tanpa modifikasi.
 - Standar desain dan konstruksi mengacu pada API RP 686 (2009), API 610 (2021).

5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dengan tahapan:

- Pengumpulan data teknis: Material dan ukuran *Flange* pipa dan material dan data operasional Pompa
- Analisa data kondisi bearing terhadap Vibrasi, Temperatur dan Tingkat Kebisingan dengan perbandingan antara *good alignment* 118-P7903 dengan *poor alignment* 119-P7903 berdasarkan data uji operasional
- Validasi hasil simulasi: Membandingkan dengan perhitungan analitis dan standar API 686 dan API 610
- Penyusunan laporan: Menyimpulkan pengaruh variasi misalignment pipa terhadap pompa.

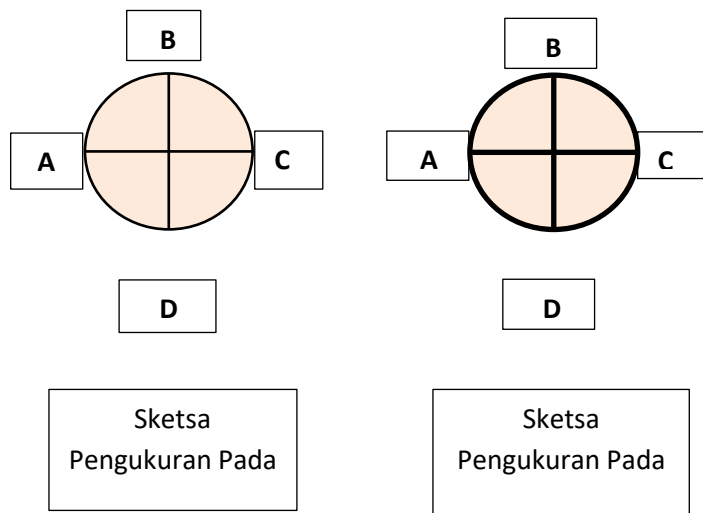
6. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan melalui analisis kualitatif. Menganalisis pengaruh distribusi beban tambahan pada pompa dengan perbandingan data operasional dari pompa 118-P7903 (*good alignment*) dengan pompa 119-P7903 (*Poor alignment*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengukuran *Misalignment Flange* Pipa terhadap *Nozzle* Pompa

1. Pompa 118-P7903



Tabel 4.1 Nilai Pengukuran *Misalignment* Pompa 118-P7903

<i>Flange</i> Pipa /Pompa	Sisi – A (mm)	Sisi – B (mm)	Sisi – C (mm)	Sisi – D (mm)
<i>Suction</i>	5.25	5.40	5.30	5.25
<i>Discharge</i>	4.90	4.80	5.00	4.95

Nilai *angular misalignment*:

- *Suction*: 0,15 mm
- *Discharge*: 0,20 mm

Nilai *offset misalignment*:

- *Suction*: 0,30 mm
- *Discharge*: 0,20 mm

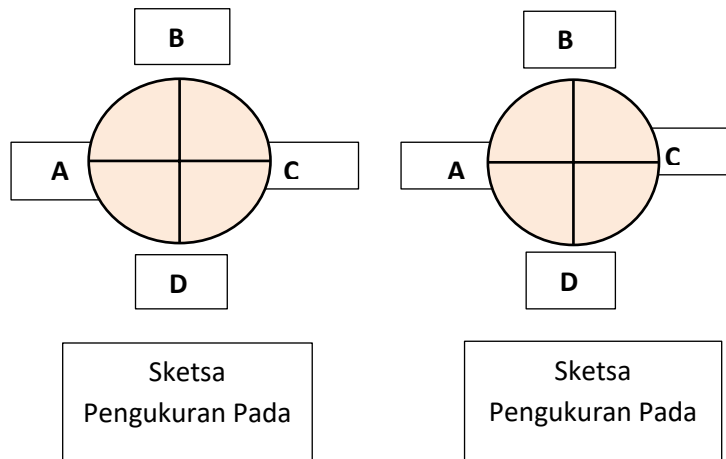
Nilai distorsi (*Pipe strain*) setelah baut *flange* pipa dan *nozzle* Pompa diikat sesuai standar pengikatan baut *flange* (*Flange Management*):

- *Axial*: 0,025 mm
- *Radial*: 0,05 mm

Metode Pengukuran:

- *Angular misalignment*: Pengukuran dilakukan pada celah bagian dalam raised face antara kedua flange menggunakan feeler gauge pada 4 titik di setiap 90 derajat lingkaran luar flange.
- *Offset misalignment*: Pengukuran dilakukan pada sisi luar flange, mengukur kesegarisannya antara kedua sisi luar flange di setiap 90 derajat lingkaran luar flange

2. Pompa 119-P7903



Tabel 4.2 Nilai Pengukuran *Misalignment* Pompa 119-P7903

<i>Flange Pipa /Pompa</i>	Sisi – A (mm)	Sisi – B (mm)	Sisi – C (mm)	Sisi – D (mm)
<i>Suction</i>	5.10	5.20	4.95	4.90
<i>Discharge</i>	4.80	4.65	4.75	4.90

Nilai *angular misalignment*:

- *Suction*: 0,30 mm
- *Discharge*: 0,25 mm

Nilai *offset misalignment*:

- *Suction*: 0,35 mm
- *Discharge*: 0,35 mm

Nilai distorsi (*Pipe strain*) setelah baut flange pipa dan nozzle Pompa diikat sesuai standar pengikatan baut flange (*Flange Management*):

- Axial: 0,10 mm
- Radial: 0,10 mm

Metode Pengukuran:

- *Angular misalignment*: Pengukuran dilakukan pada celah bagian dalam raised face antara kedua flange menggunakan feeler gauge pada 4 titik di setiap 90 derajat lingkaran luar flange.
- *Offset misalignment*: Pengukuran dilakukan pada sisi luar flange, mengukur kesegarisannya antara kedua sisi luar flange di setiap 90 derajat lingkaran luar flange

Gambaran Umum *Mechanical Running Test (MRT)*

Mechanical Running Test (MRT) merupakan salah satu tahapan penting dalam rangkaian kegiatan ***pre-commissioning*** dan ***commissioning*** pada pompa sentrifugal, khususnya pada sistem drain pump yang terhubung dengan Pig Launcher di fasilitas *Wellhead Platform*. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa pompa dan motor penggerakannya mampu beroperasi secara kontinu dalam kondisi dinamis dengan performa yang stabil serta memenuhi batas penerimaan sesuai standar industri.

Menurut **API Standard 610 (2021)**, *Mechanical Running Test* bertujuan untuk memverifikasi bahwa pompa sentrifugal telah memenuhi persyaratan minimum terkait:

- Kestabilan operasi,
- Batas vibrasi yang diizinkan,
- Temperatur bearing yang aman,
- Performa hidrolik sesuai desain,
- Serta tidak adanya indikasi abnormal seperti *noise* berlebih atau *mechanical looseness*.

Dengan kata lain, MRT merupakan bentuk validasi bahwa unit pompa siap digunakan sebelum masuk tahap operasi penuh pada sistem offshore yang memiliki tingkat risiko tinggi.

Parameter yang Diamati dalam *Mechanical Running Test*

Dalam pelaksanaan MRT, beberapa parameter utama dicatat secara periodik mulai dari menit ke-0 hingga menit ke-240. Parameter tersebut mencakup aspek elektrik, hidrolik, dan mekanikal. Adapun parameter yang diamati adalah sebagai berikut:

1. **Vibrasi Motor dan Pompa (*mm/s RMS*)**

Vibrasi merupakan parameter paling sensitif dalam mendeteksi misalignment dan piping-induced load. Menurut ISO 10816, vibrasi pada rotating equipment dikategorikan:

- 1) <1 mm/s : sangat baik
- 2) 1–3 mm/s : masih dapat diterima
- 3) 3 mm/s : tidak memenuhi standar API 610

2. **Temperatur *Bearing* ($^{\circ}\text{C}$)**

Bearing temperature mencerminkan distribusi beban pada poros. Jika terjadi misalignment, beban bearing menjadi tidak merata sehingga temperatur meningkat.

3. Noise Level (dB(A))

Noise level digunakan untuk mendeteksi adanya *abnormal sound* akibat vibrasi tinggi, *looseness*, atau *mechanical defect*.

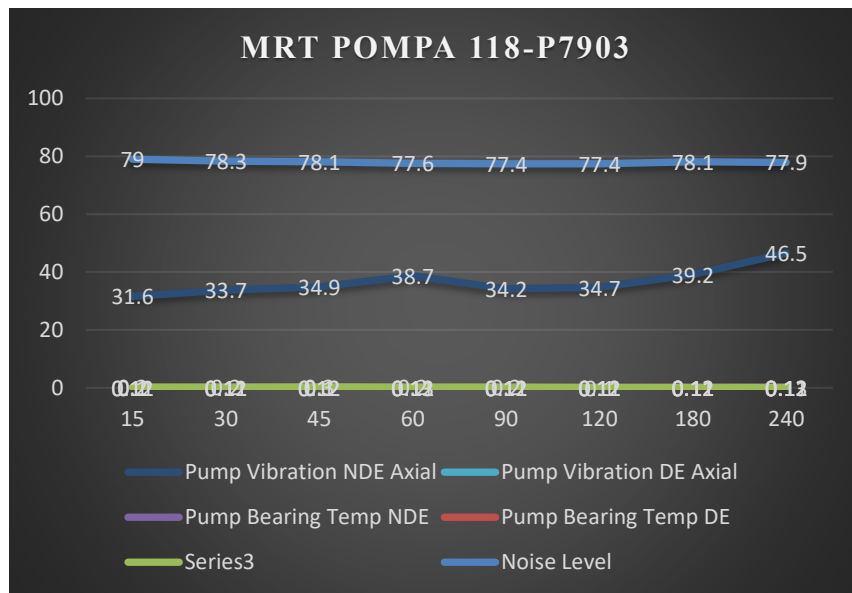
Data Mechanical Run Test dalam Penelitian

Pengujian dilakukan dengan interval pembacaan parameter pada menit: 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180, hingga 240 menit. Kedua unit digunakan sebagai pembandingan antara pompa dengan *alignment flange* yang bagus (*Acceptable*) dengan *flange* pompa dengan *alignment flange* yang buruk (*Unacceptable*) untuk melihat apakah terdapat perbedaan karakteristik vibrasi, temperatur bearing dan noise level dapat dikaitkan dengan kondisi *misalignment flange* pada instalasi perpipaan.

1. Data MRT Pompa 118-P7903 (Good Alignment)

MECHANICAL RUN TEST RECORD FOR PUMP 118-P7903											
PARAMETERS RECORDED	UNITS	Acceptance Criteria	Operation Time (Minutes)								
			0	15	30	45	60	90	120	180	240
Motor Volts	V	400	411	411	411	411	411	411	411	411	411
Motor Current	A	< 13.2	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9	9.9
Motor Speed	rpm	≤ 2907	2942	2938	2941	2941	2940	2939	2939	2940	2940
Pump Suction Pressure	Barg	> 0	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.75	0.74
Pump Discharge Pressure	barg	3.7	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.3
Motor Vibration NDE Vert.	mm/sec	< 3	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	0.12
Motor Vibration NDE Horz	mm/sec	< 3	0.14	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.3	0.1	0.2
Motor Vibration NDE Axial	mm/sec	< 3	0.12	0.12	0.12	0.1	0.12	0.12	0.11	0.11	0.12
Motor Vibration DE Vert.	mm/sec	< 3	0.11	0.1	0.1	0.2	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11
Motor Vibration DE Horz	mm/sec	< 3	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
Motor Vibration DE Axial	mm/sec	< 3	0.2	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Motor Bearing Temp NDE	°C	< 80	31.7	33.4	34.1	35.3	36.6	29.6	29.5	36.2	36.7
Motor Bearing Temp DE	°C	< 80	33.7	33.9	37.3	39	41.5	30.5	30.8	38.6	42.6
Pump Vibration NDE Vert.	mm/sec	< 3	0.1	0.1	0.2	0.11	0.11	0.1	0.11	0.12	0.12
Pump Vibration NDE Horz.	mm/sec	< 3	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11
Pump Vibration NDE Axial	mm/sec	< 3	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.11	0.12	0.12	0.13
Pump Vibration DE Vert.	mm/sec	< 3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.12	0.12
Pump Vibration DE Horz.	mm/sec	< 3	0.11	0.11	0.11	0.1	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11
Pump Vibration DE Axial	mm/sec	< 3	0.1	0.1	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12
Pump Bearing Temp NDE	°C	< 80	30.1	30.7	30.5	30.4	30.4	28.1	29.6	30.1	30.3
Pump Bearing Temp DE	°C	< 80	30.6	31.6	33.7	34.9	38.7	34.2	34.7	39.2	46.5
Noise Level	dB(A)	< 80	79.4	79	78.3	78.1	77.6	77.4	77.4	78.1	77.9

Gambar 4. 1 Lembar Mechanical Running Test Pump 118-P7903
(Sumber: Function Testing Record Sheet, McDermott, 2025)

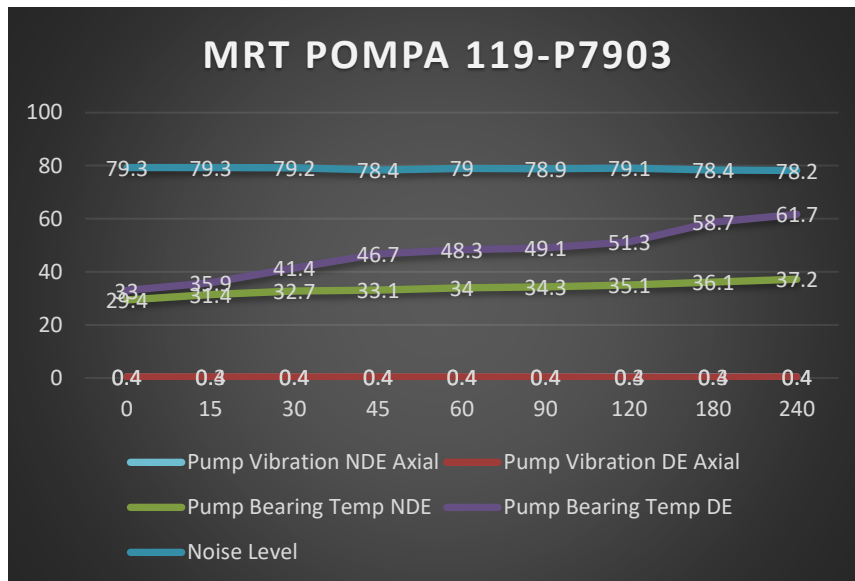


Grafik 4. 2 Karakteristik Vibrasi, Temperatur dan Noise Pada MRT Pump 118-P7903
(Sumber: Function Testing Record Sheet, McDermott, 2025)

2. Data MRT Pompa 119-P7903 (Poor Alignment)

MECHANICAL RUN TEST RECORD FOR PUMP 119-P7903												
PARAMETERS RECORDED	UNITS	Acceptance Criteria	Operation Time (Minutes)									
			0	15	30	45	60	90	120	180	240	
Motor Volts	V	400	404	404	404	404	404	404	404	406	406	
Motor Current	A	< 13.2	0.7	10.5	10.3	10.4	10.3	10.3	10.9	10.4	0.4	
Motor Speed	rpm	≤ 2907	2938	2935	2938	2938	2938	2938	2938	2938	2938	
Pump Suction Pressure	Barg	> 0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	
Pump Discharge Pressure	barg	3.7	2.4	2.5	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
Motor Vibration NDE Vert.	mm/sec	< 3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Motor Vibration NDE Horz	mm/sec	< 3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	
Motor Vibration NDE Axial	mm/sec	< 3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	
Motor Vibration DE Vert.	mm/sec	< 3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	
Motor Vibration DE Horz	mm/sec	< 3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	
Motor Vibration DE Axial	mm/sec	< 3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	
Motor Bearing Temp NDE	°C	< 80	30.6	31.8	32.2	33.1	34.4	35.1	36.2	38.9	39.6	
Motor Bearing Temp DE	°C	< 80	30	31.9	32.7	34.9	36.7	37.5	41.3	44.8	45.5	
Pump Vibration NDE Vert.	mm/sec	< 3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	
Pump Vibration NDE Horz.	mm/sec	< 3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	
Pump Vibration NDE Axial	mm/sec	< 3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
Pump Vibration DE Vert.	mm/sec	< 3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	
Pump Vibration DE Horz.	mm/sec	< 3	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	
Pump Vibration DE Axial	mm/sec	< 3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	
Pump Bearing Temp NDE	°C	< 80	29.4	31.4	32.7	33.1	34	34.3	35.1	36.1	37.2	
Pump Bearing Temp DE	°C	< 80	33	35.9	41.4	46.7	48.3	49.1	51.3	58.7	61.7	
Noise Level	dB(A)	< 80	79.3	79.3	79.2	78.4	79	78.9	79.1	78.4	78.2	

Gambar 4. 3 Lembar *Mechanical Running Test Pump 119-P7903*
(Sumber: *Function Testing Record Sheet, McDermott, 2025*)



Grafik 4. 2 Karakteristik Vibrasi, Temperatur dan *Noise* Pada *MRT Pump 119-P7903*
(Sumber: *Function Testing Record Sheet, McDermott, 2025*)

Berdasarkan uraian data di atas, *Mechanical Running Test* tidak hanya berfungsi sebagai prosedur commissioning standar, tetapi juga dapat digunakan sebagai pendekatan analisis untuk mendeteksi indikasi awal pengaruh *misalignment flange* terhadap kondisi komponen utama pompa dari hasil pengukuran Vibrasi *bearing*, Temperatur *bearing* dan *Noise* yang dihasilkan oleh pompa.

Hasil *Mechanical Running Test Pump 118-P7903*

Data yang diperoleh selama MRT menjadi dasar evaluasi kondisi operasional pompa, terutama untuk melihat terdapat indikasi beban tambahan akibat instalasi piping yang tidak sempurna, seperti *misalignment flange* terhadap nozzle pompa.

Secara umum, hasil MRT Pump 118 menunjukkan performa yang stabil dan memenuhi acceptance criteria API 610 dan API RP 686. Parameter yang diamati mencakup kondisi elektrik motor, performa tekanan suction dan discharge, **vibrasi** unit, **temperatur** bearing dan **noise level** selama pompa beroperasi.

1. Ealuasi Vibrasi sebagai Indikator *Misalignment*

Vibrasi merupakan parameter paling sensitif dalam mendeteksi adanya *misalignment* maupun beban eksternal dari sistem perpipaan. Nilai vibrasi yang tercatat pada Pump 118 berada pada rentang sangat rendah, yaitu:

- Vibrasi motor maksimum sekitar 0,4 mm/s
- Vibrasi pompa maksimum sekitar 0,2 mm/s

Nilai ini jauh di bawah batas vibrasi maksimum API 610 yaitu 3 mm/s, sehingga unit dapat dikategorikan dalam kondisi sangat baik.

Beberapa penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa *misalignment flange* pipa dapat meningkatkan gaya radial pada shaft pompa, yang kemudian tercermin dalam kenaikan vibrasi

bearing housing. Oleh karena itu, vibrasi yang sangat rendah pada Pump 118 menunjukkan bahwa efek misalignment flange terhadap unit ini berada pada level minimal.



Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengukuran Vibrasi Pump
(Sumber: Dokumentasi John Perry Pandiangan, 2025)

2. Temperatur Bearing dan Indikasi Distribusi Beban

Temperatur bearing selama *MRT* juga diamati karena bearing merupakan komponen yang sangat sensitif terhadap beban tambahan akibat ketidaksejajaran instalasi.



Gambar 4. 4 Dokumentasi Pengukuran Temperature Pump

(Sumber: Dokumentasi John Perry Pandiangan, 2025)

Hasil pengukuran menunjukkan temperatur maksimum:

- 1) Motor bearing DE hingga **42°C**
- 2) Pump bearing DE sekitar **32°C**

Nilai ini masih jauh di bawah batas maksimum yang diizinkan API 610 ($<80^{\circ}\text{C}$). Temperatur bearing yang stabil menunjukkan bahwa distribusi beban pada shaft masih normal dan tidak terdapat gaya radial berlebih yang signifikan.

Jika *misalignment flange* cukup besar, umumnya *bearing* akan mengalami peningkatan temperatur lebih cepat akibat friksi dan beban tidak merata. Namun pada *Pump* 118-P7903, temperatur tetap rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa instalasi *nozzle-flange* tidak menghasilkan stress tambahan yang berarti.

3. Noise Level dan Kondisi Operasi Keseluruhan

Noise level selama running test berada pada kisaran 77–79 dB(A) dan masih memenuhi batas penerimaan (<80 dB(A)). Tidak ditemukan indikasi abnormal noise seperti suara gesekan atau mechanical looseness.

Secara keseluruhan, kombinasi vibrasi rendah, temperatur *bearing* stabil, serta tekanan discharge yang konsisten menunjukkan bahwa *Pump* 118-P7903 bekerja dalam kondisi operasional yang baik.

Berdasarkan hasil *Mechanical Running Test*, *Pump* 118-P7903 memenuhi seluruh acceptance criteria API 610 dengan performa yang sangat stabil. Vibrasi dan temperatur bearing yang rendah mengindikasikan bahwa unit ini tidak mengalami piping-induced stress yang signifikan akibat misalignment flange.

Hasil Mechanical Running Test Pump 119-P7903

Data *MRT Pump* 119-P7903 menjadi penting dalam penelitian ini karena unit ini digunakan sebagai pembandingan untuk melihat apakah terdapat perbedaan performa operasional yang mungkin dipengaruhi oleh kondisi instalasi piping, khususnya misalignment flange terhadap nozzle pompa.

Berdasarkan lembar *MRT Pump* 119-P7903, unit pompa secara umum masih memenuhi acceptance criteria API 610, namun terdapat beberapa parameter yang sedikit lebih tinggi dibanding *Pump* 118-P7903, terutama pada vibrasi dan temperatur *bearing*. Hal ini menjadi poin pembahasan utama dalam kaitannya dengan potensi *piping-induced stress*.

1. Vibrasi Pump 119-P7903

Vibrasi merupakan parameter paling sensitif dalam mendeteksi adanya misalignment maupun beban eksternal dari sistem piping.

Hasil pengukuran vibrasi menunjukkan:

- 1) Pump vibration NDE Vert: 0,2 – 0,3 mm/s
- 2) Pump vibration DE Vert: hingga 0,5 mm/s

Nilai ini masih jauh di bawah batas maksimum API 610 (<3 mm/s). Namun jika dibandingkan dengan *Pump* 118-P7903, vibrasi *Pump* 119-P7903 lebih tinggi.

Penelitian Liu dkk. (2024) menegaskan bahwa *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa dapat meningkatkan gaya radial pada *shaft* dan *bearing housing*, yang kemudian tercermin dalam kenaikan vibrasi meskipun masih dalam batas standar.

Dengan demikian, vibrasi *Pump* 119-P7903 yang lebih tinggi dapat menjadi indikasi adanya *piping-induced load* yang sedikit lebih besar dibanding *Pump* 118-P7903

2. Temperatur *Bearing* dan Distribusi Beban pada *Shaft*

Temperatur *bearing Pump* 119-P7903 menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibanding *Pump* 118-P7903. Temperatur maksimum tercatat *Pump bearing DE* hingga 48–49°C. Nilai ini masih jauh di bawah batas maksimum API 610 ($<80^{\circ}\text{C}$). Namun *bearing* merupakan komponen yang sangat sensitif terhadap beban radial tambahan.

Menurut Zhang dkk. (2022), *piping-induced stress* akibat *misalignment flange* dapat menyebabkan distribusi beban tidak merata pada *shaft*, sehingga meningkatkan friksi *bearing* dan menghasilkan temperatur yang lebih tinggi dibanding unit dengan *alignment* lebih baik. Dengan demikian, temperatur *bearing Pump* 119-P7903 yang lebih besar dapat menjadi indikasi awal adanya tambahan beban eksternal dari sistem *piping*, walaupun belum bersifat kritis.

3. Noise Level dan Kondisi Operasi Keseluruhan

Noise level *Pump* 119-P7903 berada pada kisaran 78–79 dB(A). Nilai ini masih memenuhi batas penerimaan (<80 dB(A)) dan tidak menunjukkan adanya abnormal noise. Berdasarkan hasil Mechanical Running Test, *Pump* 119-P7903 memenuhi seluruh acceptance criteria API 610, dengan performa operasi yang stabil selama durasi pengujian. Namun, dibandingkan *Pump* 118-P7903, *Pump* 119-P7903 menunjukkan:

- 1) vibrasi lebih tinggi (hingga 0,5 mm/s),
- 2) temperatur *bearing* lebih besar (hingga 49°C),
- 3) serta tekanan discharge sedikit lebih tinggi.

Perbedaan ini dapat mengindikasikan bahwa *Pump* 119-P7903 menerima *piping-induced load* yang lebih besar akibat variasi instalasi *flange–nozzle* yang berbeda.

Perbandingan Hasil Mechanical Running Test *Pump* 118-P7903 dan *Pump* 119-P7903

Setelah dilakukan Mechanical Running Test (MRT) pada kedua unit pompa, yaitu *Pump* 118-P7903 dan *Pump* 119-P7903, diperoleh hasil bahwa keduanya memenuhi acceptance criteria sesuai API 610. Namun demikian, terdapat beberapa perbedaan nilai pada parameter

tertentu, khususnya vibrasi dan temperatur *bearing*, yang menjadi fokus penting dalam penelitian ini.

Perbandingan kedua unit pompa diperlukan untuk melihat apakah terdapat indikasi perbedaan kondisi instalasi piping, terutama terkait kemungkinan *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa. Dalam sistem offshore, perbedaan kecil pada pemasangan *flange* dapat menyebabkan variasi *nozzle load* yang diteruskan ke Pompa.

Menurut API RP 686 (2009), salah satu penyebab utama kegagalan dini pompa sentrifugal bukan berasal dari desain pompa itu sendiri, tetapi dari beban eksternal perpipaan yang tidak terkendali akibat misalignment flange atau *forced fit* saat instalasi. Secara garis besar pada Tabel 4.1 ditampilkan perbandingan hasil uji operasi antara kedua unit Pompa, silahkan lihat pada Tabel berikut.

Parameter Utama	Pump 118-P7903	Pump 119-P7903	Perbedaan
Vibrasi Maksimum (mm/s)	~0,2	~0,5	119 > 0,3 mm/s
Temperatur <i>Bearing</i> Maks (°C)	~42°C	~49°C	119 > 7°C
Noise Level (dB(A))	77–79	78–79	Relatif sama

Tabel 4. 1 Perbandingan Parameter *MRT Pump 118-P7903 vs Pump 119-P7903*

(Sumber: Hasil Olahan Penulis berdasarkan Data *MRT*, 2025)

Implikasi terhadap Misalignment Flange dalam Penelitian

Berdasarkan hasil perbandingan *MRT*, kedua unit pompa masih berada dalam kondisi operasi yang baik dan memenuhi acceptance criteria. Namun, *Pump 119-P7903* menunjukkan kecenderungan nilai vibrasi dan temperatur *bearing* yang lebih tinggi. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh variasi minor pada:

- 1) *Alignment flange* pipa terhadap nozzle,
- 2) Konfigurasi support pipa,
- 3) Distribusi piping load pada sistem discharge.

API RP 686 menegaskan bahwa flange tidak boleh dipasang dengan cara dipaksa karena beban *nozzle* yang timbul dapat mempercepat kerusakan bearing dan mechanical seal dalam jangka panjang.

Dengan demikian, meskipun kedua pompa lolos *MRT*, *Pump 119-P7903* memiliki indikasi awal *piping-induced stress* yang lebih besar, sehingga pemeriksaan *alignment flange* dan evaluasi *nozzle load* menjadi penting untuk mencegah kegagalan dini selama operasional di *offshore*.

Relevansi Hasil *MRT* terhadap Hipotesis Penelitian

Berdasarkan hasil *MRT* dan pembahasan akademik, dapat disimpulkan bahwa kedua unit pompa berada dalam kondisi operasional yang baik. Namun, *Pump 119-P7903* menunjukkan kecenderungan vibrasi dan temperatur bearing lebih tinggi dibanding *Pump 118-P7903*. Perbedaan ini mendukung hipotesis penelitian bahwa misalignment flange pipa dapat mempengaruhi kondisi operasional pompa melalui peningkatan nozzle load dan piping-induced stress.

Dengan demikian, Mechanical Running Test dapat digunakan sebagai metode evaluasi awal untuk mendeteksi indikasi beban eksternal akibat instalasi flange–nozzle yang kurang optimal. Hasil *MRT* pada *Pump 118-P7903* dan *Pump 119-P7903* tidak hanya menunjukkan bahwa kedua unit memenuhi acceptance criteria API 610, tetapi juga memberikan gambaran awal mengenai pengaruh kondisi instalasi perpipaan terhadap performa operasional pompa.

Perbedaan nilai vibrasi dan temperatur bearing yang lebih tinggi pada *Pump 119-P7903* dibanding *Pump 118-P7903* dapat dikaitkan dengan kemungkinan adanya *piping-induced stress* yang lebih besar akibat variasi minor pada *alignment flange* atau distribusi beban perpipaan. Walaupun kondisi tersebut belum bersifat kritis pada tahap *commissioning*, beban eksternal yang terus bekerja dalam jangka panjang berpotensi mempercepat degradasi komponen seperti bearing, mechanical seal, dan shaft fatigue. Oleh karena itu, kontrol misalignment flange sesuai standar API RP 686 menjadi langkah penting untuk menjaga keandalan pompa sentrifugal dalam sistem *Pig Launcher Open Drain Pump* serta meminimalkan risiko kerusakan prematur pada unit Pompa selama operasi *offshore*.

Implikasi Hasil *MRT* terhadap Standar API dan Evaluasi Toleransi Misalignment Flange

Hasil *Mechanical Running Test* pada *Pump 118-P7903* dan *Pump 119-P7903* menunjukkan bahwa kedua unit pompa drain pig launcher mampu beroperasi secara stabil dan memenuhi acceptance criteria sesuai API Standard 610.

Namun demikian, penelitian ini menekankan bahwa kelulusan *MRT* tidak selalu berarti bahwa sistem instalasi flange–nozzle sepenuhnya bebas dari pengaruh *piping-induced stress*. Perbedaan nilai vibrasi dan temperatur bearing yang lebih tinggi pada *Pump 119-P7903* dibanding *Pump 118-P7903* memberikan indikasi bahwa variasi minor dalam *alignment flange* atau distribusi beban perpipaan tetap dapat mempengaruhi kondisi operasional pompa, meskipun belum melewati batas standar yang diperbolehkan.

API RP 686 menegaskan bahwa salah satu prinsip utama dalam instalasi *rotating equipment* adalah mencegah adanya *forced fit* pada sambungan flange pipa ke nozzle pompa. Flange harus dapat dipasang secara natural tanpa paksaan, karena misalignment sekecil apa pun dapat menghasilkan gaya radial, gaya aksial, maupun bending moment yang diteruskan ke casing dan shaft pompa. Beban eksternal ini seringkali tidak langsung menyebabkan kegagalan

pada tahap commissioning, tetapi dapat menurunkan *reliability* pompa dalam jangka panjang melalui peningkatan vibrasi, kenaikan temperatur *bearing*, serta percepatan umur penggantian komponen Pompa.

Dalam konteks ini, hasil *MRT* dapat dipandang sebagai metode evaluasi awal untuk mendeteksi apakah terdapat indikasi beban eksternal yang bekerja pada pompa akibat kondisi instalasi perpipaan. *Pump* 118-P7903 menunjukkan performa yang lebih stabil dengan vibrasi dan temperatur *bearing* lebih rendah, sehingga dapat dianggap sebagai unit dengan kondisi *alignment flange* yang lebih optimal.

Dengan demikian, pengendalian *misalignment flange* sesuai toleransi API RP 686 menjadi langkah penting dalam fase konstruksi dan instalasi, terutama pada fasilitas *Offshore Wellhead Platfotm* yang memiliki sistem perpipaan kompleks dan terbatas ruang. Pemeriksaan *alignment flange*, evaluasi *nozzle load*, serta penggunaan support pipa yang tepat harus dilakukan untuk memastikan bahwa pompa tidak menerima beban eksternal berlebih yang dapat memicu kegagalan dini selama masa operasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil *Mechanical Running Test (MRT)* yang telah dilakukan pada *Pump* 118-P7903 dan *Pump* 119-P7903 serta pembahasan mengenai pengaruh *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa sentrifugal pada sistem *Pig Launcher Open Drain Pump*, dapat disimpulkan bahwa kedua unit pompa. Seluruh parameter utama seperti tegangan motor, arus motor, tekanan suction dan discharge, vibrasi, temperatur bearing, serta noise level masih berada dalam batas *acceptance criteria* Operasional Standard API 610. Akan tetapi Parameter utama dari Pompa dengan kondisi *good alignment* (lihat data pada tabel dibawah) menunjukkan bahwa dampak utama terhadap operasioanal pompa akan jauh lebih aman dan *reliable*.

Parameter Utama	<i>Pump</i> 118-P7903	API 610
Vibrasi Maksimum (mm/s)	~0,2	<i>Acceptable</i>
Temperatur <i>Bearing</i> Maks (°C)	~42°C	<i>Acceptable</i>
Noise Level (dB(A))	77–79	<i>Acceptable</i>

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa *misalignment flange* pipa terhadap *nozzle* pompa dapat mempengaruhi kondisi *operasional rotating equipment*, terutama melalui peningkatan vibrasi dan temperatur bearing. Beban eksternal dari sistem piping yang tidak terkontrol berpotensi diteruskan ke *shaft* dan *bearing* sehingga dapat menurunkan *reliability* pompa dalam jangka panjang. Oleh karena itu, *Mechanical Running Test* dapat digunakan sebagai metode evaluasi awal untuk mendeteksi indikasi adanya beban eksternal akibat instalasi *flange–nozzle* yang kurang optimal, meskipun tidak secara langsung mengukur besar *misalignment*. Selain itu, penerapan standar instalasi API RP 686 menjadi langkah penting untuk mencegah *forced fit* pada sambungan *flange* serta meminimalkan *nozzle load*.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

- a) Perusahaan atau pihak kontraktor EPCI disarankan untuk melakukan pemeriksaan *alignment flange–nozzle* secara lebih ketat sebelum tahap *commissioning*, sesuai toleransi yang ditetapkan dalam API RP 686. *Flange* pipa harus dapat dipasang tanpa paksaan untuk mencegah timbulnya *piping-induced stress* pada *nozzle* pompa.
- b) *Monitoring* vibrasi dan temperatur *bearing* perlu dilakukan secara berkala selama operasi pompa. Parameter ini sangat penting sebagai *early warning* terhadap peningkatan beban eksternal yang dapat mempercepat degradasi komponen Pompa.
- c) Penelitian lanjutan juga dapat mengembangkan kajian mengenai pengaruh *misalignment flange* terhadap umur *fatigue shaft* pompa, sehingga dampak jangka panjang terhadap *reliability rotating equipment* dapat dianalisis lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. (2021). *API Standard 610: Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries* (12th ed.). Washington, DC: API Publishing.
- American Petroleum Institute. (2021). *API Recommended Practice 686: Machinery Installation and Installation Design*. Washington, DC: API Publishing.
- American Society of Mechanical Engineers. (2023). *ASME B31.3: Process Piping Code*. New York: ASME.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Garg, P., Sharma, R., & Kumar, A. (2022). Effect of piping loads on centrifugal pump reliability. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 165, 108348.
- Hameed, S., Ali, K., & Hassan, M. (2021). Influence of pipe misalignment on vibration response of centrifugal pumps. *Journal of Fluids Engineering*, 143(12), 121205.
- International Organization for Standardization. (2019). *ISO 10816: Mechanical Vibration – Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts*. Geneva: ISO.
- Liu, Y., Zhang, W., & Xu, L. (2024). Stress concentration in pump nozzles due to misaligned piping loads. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 205, 104854.
- Norton, R. L. (2020). *Machine Design: An Integrated Approach* (6th ed.). Boston: Pearson.
- Perry, R. H., & Green, D. W. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8th ed.). New York: McGraw-Hill.

- Timoshenko, S., & Gere, J. M. (2009). *Theory of Elastic Stability*. New York: McGraw-Hill.
- Wu, X. (2024). Piping induced stresses on rotating equipment in offshore platforms. *Journal of Offshore Engineering*, 39(3), 211–229.
- Zhang, T., & Xu, L. (2020). A study on pump shaft failure due to piping-induced stresses. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 34(9), 3785–3797.