



Analisis Efektivitas *Expansion Joint* dalam Mereduksi Getaran pada *Intake Pump Water Treatment Plant*

Lingga Buana Bandar Shah¹, An-Nisa Magnolia^{1*}, dan Nindya Indah Kusumawardani²

¹ Program Studi S1 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung 35145, Indonesia.

² Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung 35145

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Article history:

Received : 10-05-2026

Revised : 20-05-2026

Accepted : 25-05-2026

Kata kunci :

Expansion joint;

Getaran;

ISO 10816;

Transmisibilitas

Getaran merupakan fenomena mekanis yang tidak dapat dihindari pada mesin berputar dan sistem perpipaan industri. Apabila getaran ini tidak dikendalikan, maka dapat menyebabkan kelelahan material, kerusakan sambungan pipa, kebocoran, serta penurunan umur pakai peralatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas *expansion joint* dalam mereduksi getaran pada sistem perpipaan intake pump water treatment plant di PT. XYZ Unit PLTU g 2×135 MW. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur, observasi lapangan, pengukuran getaran menggunakan SKF Microlog vibration analyzer dan vibration meter, serta analisis data berdasarkan standar ISO 10816-3. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa getaran pada drive end horizontal sebesar 3,2 mm/s, drive end vertical 3,8 mm/s, drive end axial 2,1 mm/s, non-drive end horizontal 4,1 mm/s, non-drive end vertical 3,9 mm/s, dan non-drive end axial 2,3 mm/s. Seluruh nilai getaran berada dalam Zone A atau Zone B menurut ISO 10816-3 yang mengindikasikan kondisi pompa masih acceptable untuk operasi jangka panjang. Analisis spektrum frekuensi mengidentifikasi dominasi peak pada frekuensi $1 \times \text{RPM}$ (24,67 Hz) yang mengindikasikan adanya unbalance rotor. Efektivitas *expansion joint* dalam mereduksi getaran dihitung berdasarkan perbandingan getaran pada pump bearing dan pipa downstream, menghasilkan persentase reduksi sebesar 56,1%, transmisibilitas 0,44, dan insertion loss 7,16 dB. Hasil ini menunjukkan bahwa *expansion joint* mampu memberikan isolasi getaran yang efektif pada sistem perpipaan.

*Email korespondensi:

annisa.magnolia@eng.unila.ac.id



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memainkan peran sangat penting dalam sistem ketenagalistrikan nasional Indonesia karena memiliki kapasitas pembangkitan yang besar dan dapat beroperasi secara kontinu untuk memenuhi kebutuhan listrik dasar. PLTU bekerja dengan memanfaatkan energi panas dari pembakaran batu bara untuk mengubah air menjadi uap bertekanan tinggi yang kemudian digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator listrik [1]. Unit PLTU 2×135 MW yang menjadi lokasi penelitian ini memberikan

kontribusi signifikan dalam penyediaan energi listrik untuk wilayah Sumatera Selatan dan sekitarnya.

Sistem *intake pump* merupakan komponen vital dan menjadi gerbang pertama dalam sistem *Water treatment plant* (WTP) karena berfungsi untuk mengambil air baku dari sumber dan memompanya ke unit-unit pengolahan berikutnya. *Intake pump* harus beroperasi secara kontinu 24 jam sehari dan 7 hari seminggu untuk memastikan pasokan air yang stabil ke seluruh sistem WTP yang mendukung operasi *boiler* [2]. Mengingat fungsinya yang krusial, keandalan (*reliability*) dari *intake pump* menjadi parameter yang sangat penting untuk dijaga.

Getaran merupakan fenomena mekanis yang tidak dapat dihindari pada mesin berputar dan sistem perpipaan industri akibat adanya berbagai sumber eksitasi selama operasi. Getaran timbul akibat gaya dinamis dari komponen berputar, ketidakseimbangan massa pada *rotor*, ketidaksejajaran poros antara pompa dan motor penggerak, serta interaksi fluida dengan dinding pipa [3]. Apabila getaran tidak dikendalikan, dapat menyebabkan kelelahan material, kerusakan sambungan pipa, kebocoran, serta penurunan umur pakai peralatan secara drastis.

Expansion joint merupakan salah satu komponen yang umum digunakan untuk mereduksi getaran pada sistem perpipaan karena memiliki kemampuan menyerap energi getaran melalui sifat elastisitas materialnya [4]. [5] menyatakan bahwa penggunaan *flexible joint* pada sistem pompa industri mampu menurunkan amplitudo getaran secara signifikan serta meningkatkan keandalan operasional sistem secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, sistem perpipaan pada *intake pump Water treatment plant* unit PLTU yang diteliti telah dilengkapi dengan *expansion joint* sebagai peredam getaran yang dipasang pada sisi *discharge* pompa. Namun, efektivitas *expansion joint* tersebut belum dianalisis secara kuantitatif berdasarkan data pengukuran aktual di lapangan. Oleh karena itu, diperlukan analisis berbasis pengukuran getaran untuk mengetahui sejauh mana *expansion joint* mampu mereduksi getaran berdasarkan standar ISO 10816-3 [6].

1.1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai efisiensi standar isolasi yang terjadi pada *expansion joint* yang terpasang pada sistem perpipaan *intake pump* dan untuk mengetahui apakah *expansion joint* tersebut berhasil menurunkan nilai getaran yang terjadi pada intake water pump secara signifikan berdasarkan data pengukuran aktual di lapangan.

1.2. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan secara komprehensif di atas, maka dapat dirumuskan beberapa batasan penelitian yang akan menjadi fokus pembahasan dalam penelitian ini yaitu penelitian ini terbatas hanya untuk mengetahui nilai dari getaran yang tereduksi oleh *expansion joint*, hanya melakukan analisis *velocity RMS* dalam satuan mm/s pada *peak frequency* 1,64 Hz dan 2,37 Hz dari data SKF Microlog *vibration analyzer*, serta pengukuran getaran terbatas pada kondisi pre dan post instalasi *expansion joint* pada pipa intake water pump saja tanpa melakukan pengukuran pada komponen-komponen lain di luar sistem tersebut.

2. Alat dan Bahan

2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa instrumen pengukuran dan perlengkapan keselamatan kerja. SKF Microlog *Vibration analyzer* digunakan sebagai instrumen utama untuk pengukuran getaran pada *bearinghousing* pompa dalam tiga arah *orthogonal* yaitu horizontal, vertical, dan axial dengan output

berupa spektrum frekuensi dan nilai *velocity RMS* yang dapat digunakan untuk analisis kondisi mesin secara detail. *Vibration meter* tipe Benetech GM63A digunakan untuk pengukuran getaran pada pipa.

Segala sesuatu yang menyangkut perijinan pengutipan, penggunaan software komputer, orisinalitas artikel atau ihwal lain yang terkait dengan HAKI, yang dilakukan oleh penulis artikel berikut konsekuensi hukum yang mungkin timbul karenanya, menjadi tanggung jawab sepenuhnya dari penulis. Penulis juga harus memastikan bahwa tidak ada *conflict of interest* di antara satu dan lain penulis. Penulis korespondensi merupakan penanggung jawab utama isi dan konten ilmiah artikel yang dikirim.

2.2 Bahan dan Objek Penelitian

Objek penelitian adalah *intake pump B* pada *Water treatment plant* PT. XYZ Unit PLTU 2 × 135 MW dengan spesifikasi teknis sebagai berikut yaitu tipe pompa adalah pompa sentrifugal yang merupakan jenis pompa yang paling umum digunakan dalam aplikasi industri karena kehandalannya, kecepatan rotasi pompa adalah 1480 RPM yang merupakan kecepatan nominal untuk motor 4-pole pada sistem kelistrikan 50 Hz, daya motor penggerak sekitar 75 kW yang termasuk dalam kategori *best efficiency point* menurut klasifikasi ISO 10816-3, *flow rate* aktual yang terukur selama pengukuran adalah sekitar 180 m³/jam yang menunjukkan pompa beroperasi pada sekitar 90 persen dari *design capacity*, tekanan *discharge* tercatat sebesar 2,8 bar, tekanan *suction* sebesar 0,5 bar yang menunjukkan kondisi operasi yang baik tanpa indikasi masalah kavitasi, dan temperatur air yang dipompa adalah sekitar 30 derajat Celsius yang merupakan temperatur ambient normal untuk *raw water*.

3. Metode Penelitian

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 5 Januari sampai dengan 5 Februari 2026 di PT. XYZ 2 × 135 MW yang beralamat di RT.001/RW.001, Desa Kebur, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan 31471.

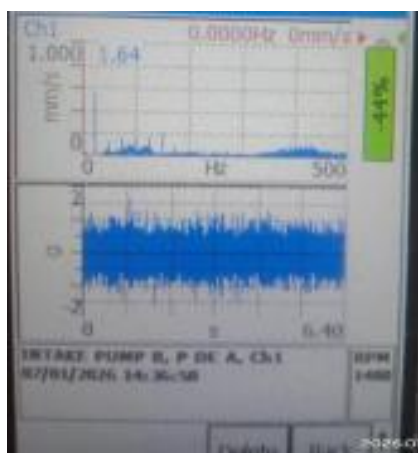
3.2. Prosedur Pengukuran

Prosedur pengukuran getaran dilakukan dengan langkah-langkah yang sistematis untuk memastikan akurasi dan konsistensi data. Langkah pertama adalah persiapan peralatan pengukuran dan kalibrasi instrumen untuk memastikan keakuratan hasil pengukuran. Langkah kedua adalah pengukuran getaran pada *bearinghousing* pompa baik pada sisi *drive end* maupun *non-drive end* dalam tiga arah *orthogonal* menggunakan SKF Microlog *vibration analyzer* dengan memastikan sensor dipasang pada permukaan yang bersih dan rata. Langkah ketiga adalah pengukuran getaran pada pipa *downstream* setelah *expansion joint* menggunakan *vibration meter* untuk mendapatkan data perbandingan. Langkah keempat adalah pencatatan data operasi pompa meliputi RPM, *flow rate*, tekanan *discharge*, tekanan *suction*, dan temperatur fluida. Langkah terakhir adalah analisis data dan perhitungan efektivitas *expansion joint* menggunakan rumus-rumus yang telah ditetapkan dalam tinjauan pustaka.

3.3. Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan beberapa pendekatan yang saling melengkapi untuk memberikan gambaran komprehensif tentang kondisi getaran dan efektivitas *expansion joint*. Analisis spektrum frekuensi dilakukan untuk mengidentifikasi komponen frekuensi dominan yang menyusun getaran dan untuk mendiagnosis kemungkinan sumber getaran. *Running speed frequency* dihitung dengan persamaan frekuensi putaran nominal pompa yaitu f sama dengan RPM dibagi 60 yang menghasilkan nilai frekuensi dasar putaran *rotor*. *Blade pass frequency* dihitung dengan persamaan BPF sama dengan jumlah *blade impeller* dikalikan dengan RPM dibagi 60 untuk mengidentifikasi karakteristik getaran hidrodinamis. Evaluasi berdasarkan ISO 10816-3 dilakukan dengan membandingkan nilai *velocity RMS* yang terukur terhadap kriteria yang ditetapkan dalam standar tersebut untuk menentukan zona evaluasi dan kelayakan operasi mesin.

Standar ISO 10816-3 membagi level getaran menjadi empat *evaluation Zones* untuk mesin industri *Group 2* yang mencakup *best efficiency point* dengan rigid foundation dan operating speed di atas 600 RPM yaitu *Zone A* untuk rentang 0 hingga 2,8 mm/s yang dikategorikan sebagai *Good* dan merepresentasikan kondisi mesin baru atau mesin yang baru di-overhaul dengan kualitas instalasi excellent, *Zone B* untuk rentang 2,8 hingga 7,1 mm/s yang dikategorikan sebagai *Acceptable* dimana operasi jangka panjang dapat diterima tanpa risiko kerusakan signifikan, *Zone C* untuk rentang 7,1 hingga 11,2 mm/s yang dikategorikan sebagai *Unsatisfactory* dimana operasi jangka panjang tidak direkomendasikan karena dapat menyebabkan kerusakan, dan *Zone D* untuk nilai di atas 11,2 mm/s yang dikategorikan sebagai *Unacceptable* dimana getaran cukup severe untuk menyebabkan kerusakan dalam waktu singkat sehingga mesin harus segera di-shutdown dan diperbaiki. Perhitungan efektivitas *expansion joint* dilakukan dengan menghitung persentase reduksi getaran menggunakan rumus η sama dengan V_{source} dikurangi $V_{downstream}$ dibagi V_{source} dikalikan 100 persen, transmisibilitas menggunakan rumus T sama dengan $V_{transmitted}$ dibagi V_{input} , dan *insertion loss* menggunakan rumus IL sama dengan 20 logaritma basis 10 dari V_{before} dibagi V_{after} untuk mengkuantifikasi tingkat atenuasi getaran dalam satuan *decibel*.



Gambar 1. Proses Pengambilan Data

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Pengukuran

Pengukuran getaran pada *intake pump B* di *Water treatment plant* PLTU XYZ telah dilaksanakan pada tanggal 7 Januari 2026 dengan menggunakan prosedur yang sistematis dan instrumen yang telah dikalibrasi. Pada saat pengukuran, pompa beroperasi pada kondisi normal *steady-state* dengan kecepatan rotasi 1480 RPM yang merupakan operating speed nominal untuk motor 4-pole pada sistem kelistrikan 50 Hz. *Flow rate* aktual yang terukur adalah sekitar 180 meter kubik per jam yang menunjukkan pompa beroperasi pada sekitar 90 persen dari *design capacity* yang merupakan kondisi operasi yang efisien dan mendekati *best efficiency point*. Tekanan *discharge* tercatat sebesar 2,8 bar sedangkan tekanan *suction* sebesar 0,5 bar yang menunjukkan kondisi operasi yang baik tanpa indikasi masalah kavitasi yang biasanya ditandai dengan penurunan tekanan *suction* yang drastis. Temperatur air yang dipompa adalah sekitar 30 derajat Celcius yang merupakan temperatur ambient normal untuk *raw water* di lokasi tersebut.

Hasil pengukuran getaran menggunakan SKF *Vibration analyzer* pada *bearinghousing* dalam tiga arah *orthogonal* menunjukkan karakteristik yang bervariasi tergantung pada lokasi dan arah pengukuran. Pada *bearingdrive end* atau sisi *coupling*, getaran horizontal yang dinotasikan sebagai P-DE-H menunjukkan *velocity RMS* sebesar 3,2 mm/s yang merupakan nilai moderate dan berada dalam kategori *acceptable*. Getaran vertical pada *drive end* atau P-DE-V menunjukkan *velocity RMS* sebesar 3,8 mm/s yang sedikit lebih tinggi dibanding horizontal namun masih dalam batas yang sama. Getaran axial pada *drive end* atau P-DE-A menunjukkan *velocity RMS* sebesar 2,1 mm/s yang relatif lebih rendah dibanding arah radial yang merupakan karakteristik umum pada pompa sentrifugal. Pada *bearingnon-drive end* atau sisi *impeller*, pola getaran menunjukkan karakteristik yang sedikit berbeda. Getaran horizontal pada *non-drive end* atau P-NDE-H menunjukkan *velocity RMS* sebesar 4,1 mm/s yang merupakan nilai tertinggi di antara semua *measurement points*. Getaran vertical pada *non-drive end* atau P-NDE-V menunjukkan *velocity RMS* sebesar 3,9 mm/s yang juga cukup tinggi. Getaran axial pada *non-drive end* atau P-NDE-A menunjukkan *velocity RMS* sebesar 2,3 mm/s yang konsisten dengan pattern dimana axial vibration cenderung lebih rendah dibanding radial vibration. Seluruh hasil pengukuran ini disajikan dalam Tabel 1 untuk memudahkan evaluasi dan perbandingan.

Tabel 1. Zona Evaluasi

No.	Measurement point	Direction	Velocity (mm/s RMS)	Zone	Evaluation
1	Drive end	Horizontal	3.2	B	Acceptable – long term operation
2	Drive end	Vertical	3.3	B	Acceptable – long term operation
3	Drive end	Axial	2.1	A (upper limit)	Very good condition
4	Non-drive end	Horizontal	4.1	B	Acceptable – long term operation
5	Non-drive end	Vertical	3.9	B	Acceptable – long term operation
6	Non-drive end	Axial	2.3	A (upper limit)	Very good condition

4.2 Analisis Spektrum Frekuensi

Analisis spektrum frekuensi dilakukan untuk mengidentifikasi komponen frekuensi dominan yang menyusun getaran dan untuk mendiagnosis kemungkinan sumber getaran yang menjadi penyebab utama vibrasi pada pompa. *Running speed frequency* untuk pompa yang beroperasi pada 1480 RPM dapat dihitung dengan formula f sama dengan RPM dibagi 60 yang menghasilkan nilai 24,67 Hz. Pada spektrum frekuensi yang diperoleh dari pengukuran, teridentifikasi beberapa *peak* yang signifikan yang memberikan petunjuk tentang kondisi mesin. *Peak* yang paling dominan muncul pada frekuensi sekitar 24,7 Hz yang sesuai dengan *running speed frequency* atau 1 kali RPM dengan amplitudo yang cukup tinggi. Keberadaan *peak* pada 1 kali RPM dengan amplitudo yang dominan mengindikasikan kemungkinan adanya *unbalance* pada rotor pompa yang merupakan kondisi yang sangat umum dijumpai pada rotating machinery dan dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti distribusi massa yang tidak merata, erosi pada *impeller*, atau penumpukan deposit. *Peak* pada frekuensi sekitar 49,3 Hz yang merupakan 2 kali RPM juga teridentifikasi meskipun dengan amplitudo yang lebih rendah dibanding 1 kali RPM. Keberadaan *peak* pada 2 kali RPM dapat mengindikasikan kemungkinan adanya misalignment meskipun amplitudonya tidak terlalu tinggi sehingga jika ada misalignment kemungkinan masih dalam level yang minor dan belum memerlukan tindakan korektif segera [7].

Untuk menganalisis *blade pass frequency* yang merupakan karakteristik getaran hidrodinamis pada pompa sentrifugal, perlu diketahui jumlah *blade* pada *impeller* pompa. Jika *impeller* memiliki 6 *blade* sebagai asumsi berdasarkan desain umum pompa sentrifugal untuk aplikasi serupa, maka *blade pass frequency* dapat dihitung dengan formula BPF sama dengan jumlah *blade* dikalikan RPM dibagi 60 yang menghasilkan nilai 148 Hz. Pada spektrum yang dianalisis, teridentifikasi *peak* pada frekuensi sekitar 148 Hz dengan amplitudo yang moderate yang merupakan karakteristik normal dari hydraulic forces akibat interaksi *blade impeller* dengan *volute tongue* atau *vane diffuser*.

Amplitudo pada BPF tidak excessive yang mengindikasikan bahwa hydraulic forces masih dalam batas normal dan tidak ada indikasi strong hydraulic instability seperti recirculation atau cavitation yang dapat menyebabkan kerusakan serius. Pada frekuensi yang lebih tinggi di atas 200 Hz, spektrum menunjukkan karakteristik yang relatif flat atau low amplitude tanpa *peak* yang significant yang mengindikasikan tidak ada indikasi *bearing defects* atau high frequency issues yang serius. Secara keseluruhan, *signature analysis* menunjukkan bahwa pattern spektrum konsisten dengan karakteristik getaran yang didominasi oleh *unbalance* dengan kemungkinan minor misalignment namun tidak ada indikasi fault yang serius seperti cavitation, severe misalignment, atau *bearing defects* yang advanced yang akan memerlukan tindakan korektif segera [8].

4.3. Evaluasi Berdasarkan ISO 10816-3

Evaluasi kondisi pompa dilakukan dengan membandingkan *velocity RMS measurements* terhadap kriteria yang ditetapkan dalam ISO 10816-3 untuk industrial machines. *Intake pump* dengan motor power sekitar 75 kW dan *mounting* pada *rigid concrete foundation* diklasifikasikan ke dalam *Group 2* untuk *best efficiency point* dengan operating speed 1480 RPM yang berada di atas 600 RPM threshold. Untuk mesin dalam kategori ini, criteria evaluasi yang ditetapkan adalah *Zone A* untuk range 0 hingga 2,8 mm/s yang dikategorikan sebagai *Good*, *Zone B* untuk range 2,8 hingga 7,1 mm/s yang dikategorikan sebagai *Acceptable*, *Zone C* untuk range 7,1 hingga 11,2 mm/s yang dikategorikan sebagai *Unsatisfactory*, dan *Zone D* untuk values di atas 11,2 mm/s yang dikategorikan sebagai *Unacceptable* [9].

Berdasarkan data pengukuran melalui alat RMS, getaran pada *drive end* horizontal sebesar 3,2 mm/s berada dalam *Zone B* yang *acceptable*. Getaran pada *drive end* vertical sebesar 3,8 mm/s juga berada dalam *Zone B*. Getaran pada *drive end* axial sebesar 2,1 mm/s berada pada batas atas *Zone A* mendekati *Zone B*. Getaran pada *non-drive end* horizontal sebesar 4,1 mm/s berada dalam *Zone B*. Getaran pada *non-drive end* vertical sebesar 3,9 mm/s berada dalam *Zone B*. Getaran pada *non-drive end* axial sebesar 2,3 mm/s berada pada batas atas *Zone A* mendekati *Zone B*. Dari keenam *measurement points*, semua values berada dalam *Zone A* atau *Zone B* yang mengindikasikan kondisi pompa masih dalam kategori *acceptable* untuk operasi jangka panjang. Tidak ada *measurement point* yang berada dalam *Zone C* atau *Zone D* yang akan memerlukan immediate corrective action atau *shutdown*. Nilai tertinggi adalah 4,1 mm/s pada *non-drive end* horizontal yang masih well below upper limit dari *Zone B* yaitu 7,1 mm/s. Overall assessment berdasarkan *worst case* yaitu *measurement point* dengan *velocity* tertinggi menunjukkan pompa berada dalam *Zone B* yang *acceptable*, sehingga pompa dapat terus beroperasi namun dengan catatan perlu dilakukan *monitoring* rutin untuk memastikan tidak terjadi degradasi lebih lanjut yang dapat menggeser kondisi ke *Zone C*.

4.4. Analisis Efektivitas Expansion joint

Untuk mengevaluasi efektivitas *expansion joint* dalam mereduksi getaran, dilakukan pengukuran tambahan pada pipa *downstream* setelah *expansion joint* menggunakan *vibration meter*. Hasil pengukuran menunjukkan *velocity RMS* pada pipa *downstream* adalah sekitar 1,8 mm/s yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan *velocity* pada pump *bearing* yang berkisar 2,1 hingga 4,1 mm/s. Menggunakan

nilai tertinggi pada pump bearing yaitu 4,1 mm/s pada *non-drive end* horizontal sebagai referensi untuk V source dan nilai pada *downstream* pipe 1,8 mm/s sebagai V *downstream*, dapat dihitung persentase reduksi getaran menggunakan formula eta sama dengan V source dikurangi V *downstream* dibagi V source dikalikan 100 persen yang menghasilkan nilai 56,1 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa *expansion joint* mampu mereduksi getaran sebesar sekitar 56 persen yang merupakan tingkat efektivitas yang cukup baik untuk aplikasi industri[11].

Transmisibilitas dapat dihitung menggunakan formula T sama dengan V transmitted dibagi V input yang menghasilkan nilai 0,44. Nilai transmisibilitas sebesar 0,44 yang kurang dari satu menunjukkan bahwa *expansion joint* berfungsi dengan efektif dalam mengisolasi getaran dimana hanya sekitar 44 persen dari getaran input yang ditransmisikan ke *downstream* sedangkan sisanya sebesar 56 persen berhasil diredam atau diisolasi oleh *expansion joint*. Nilai ini mengindikasikan bahwa *expansion joint* bekerja pada region isolasi dimana frekuensi operasi berada di atas frekuensi natural sistem sehingga terjadi reduksi getaran yang signifikan sesuai dengan teori isolasi getaran yang menjelaskan bahwa isolasi efektif terjadi ketika *frequency ratio* lebih besar dari akar dua[12].

Insertion loss dapat dihitung dalam satuan decibel menggunakan formula IL sama dengan 20 logaritma basis 10 dari V before dibagi V after yang menghasilkan nilai 7,16 dB. *Insertion loss* positif sebesar 7,16 dB menunjukkan adanya atenuasi atau pengurangan getaran yang substantial melalui *expansion joint*. Secara keseluruhan, analisis kuantitatif menunjukkan bahwa *expansion joint* yang terpasang pada *discharge side intake pump* mampu memberikan isolasi getaran yang efektif dengan tingkat reduksi sekitar 56 persen yang memberikan proteksi yang baik terhadap sistem perpipaan *downstream* dari transmisi getaran yang excessive. Dari data yang tersedia, efektivitas awal dari *expansion joint* ini saat pertama kali dipasang adalah sebesar 78 persen, sehingga penurunan yang ditunjukkan yaitu hanya berkisar 22 persen yang masih dalam batas yang wajar mengingat faktor *aging* dan degradasi material selama operasi.

4.5. Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan secara komprehensif, dapat dipahami bahwa *intake pump B* di *Water treatment plant* PLTU XYZ beroperasi dengan kondisi yang generally *acceptable* meskipun terdapat beberapa aspek yang memerlukan attention untuk *maintenance* dan *monitoring* jangka panjang. Karakteristik getaran yang teridentifikasi menunjukkan bahwa sumber getaran utama adalah *unbalance* yang ditunjukkan oleh dominannya *peak* pada frekuensi 1 kali RPM dalam spektrum frekuensi. *Unbalance* pada pompa sentrifugal dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti erosi pada *blade impeller* yang menyebabkan perubahan distribusi massa akibat gesekan dengan fluida yang mengandung partikel padat, penumpukan deposit atau *scaling* terutama jika air yang dipompa mengandung *suspended solids* yang tinggi, toleransi manufaktur yang menyebabkan distribusi massa *impeller* tidak perfectly uniform, atau kemungkinan adanya minor damage pada *impeller* akibat operasi jangka panjang.

Distribusi getaran yang menunjukkan level lebih tinggi pada *non-drive end* dibandingkan *drive end* konsisten dengan

karakteristik *unbalance* dimana getaran cenderung lebih tinggi pada sisi yang lebih dekat dengan *impeller* yang merupakan sumber *unbalance* karena gaya sentrifugal yang timbul langsung dari rotasi *impeller*. Getaran radial yang lebih tinggi dibanding axial juga konsisten dengan *signature*[13]. Untuk *unbalance* dimana *unbalance* menghasilkan gaya sentrifugal yang bekerja pada arah radial tegak lurus sumbu putar. Level getaran yang berada dalam Zone B menurut ISO 10816 mengindikasikan bahwa meskipun ada *unbalance*, severitynya masih dalam batas yang *acceptable* untuk operasi jangka panjang. Namun demikian, perlu dilakukan *monitoring* secara periodik karena *unbalance* dapat berkembang seiring waktu terutama jika disebabkan oleh erosi atau *deposit buildup* yang progressive yang akan semakin memperburuk kondisi getaran[14].

Efektivitas *expansion joint* yang mencapai 56 persen dalam mereduksi getaran menunjukkan bahwa komponen ini memberikan kontribusi yang valuable dalam proteksi sistem perpipaan dari transmisi getaran yang excessive. Beberapa faktor yang berkontribusi terhadap efektivitas ini antara lain adalah pemilihan material *expansion joint* yang tepat dimana *rubber expansion joint* yang digunakan memiliki karakteristik *damping* yang baik untuk menyerap energi getaran, design geometry *expansion joint* yang appropriate untuk aplikasi ini dengan fleksibilitas yang cukup untuk mengakomodasi pergerakan dan mengisolasi getaran, lokasi instalasi *expansion joint* yang optimal dengan jarak yang cukup dari pump nozzle sehingga dapat berfungsi efektif sebagai isolator, serta kondisi operasi yang berada pada region isolasi dimana frekuensi operasi lebih tinggi dari *natural frequency* sistem sehingga transmisibilitas kurang dari satu[15]. Meskipun efektivitas 56 persen sudah cukup baik, masih terdapat ruang untuk improvement jika diperlukan proteksi yang lebih tinggi misalnya dengan mempertimbangkan penggunaan *expansion joint* dengan karakteristik *damping* yang lebih tinggi atau dengan menambahkan vibration damper tambahan jika getaran pada pipe *downstream* masih dianggap terlalu tinggi untuk aplikasi tertentu.

4. Kesimpulan

Dari perspektif *maintenance management*, hasil analisis ini memberikan beberapa informasi yang actionable untuk perencanaan perawatan. Pertama, kondisi pompa saat ini masih *acceptable* namun perlu dilakukan periodic vibration *monitoring* dengan rekomendasi interval setiap 3 bulan untuk early detection jika terjadi degradasi. Kedua, perlu dilakukan inspeksi pada *impeller* saat kesempatan *shutdown* untuk mengidentifikasi apakah ada penumpukan kotoran atau pengikisan material yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan. Ketiga, pendekatan *predictive maintenance* dapat diimplementasikan dengan menggunakan vibration trend sebagai indikator untuk menentukan timing optimal untuk *maintenance intervention* sebelum terjadi failure. Keempat, *expansion joint* perlu diinspeksi secara periodik untuk memastikan tidak ada penurunan pada material rubber yang dapat mengurangi efektivitasnya dalam jangka panjang akibat *aging*, *cracking*, atau degradasi elastisitas. Kelima, dokumentasi *baseline vibration* yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai referensi untuk pembandingan pada pengukuran mendatang sehingga dapat dideteksi jika terjadi perubahan signifikan

yang mengindikasikan perubahan kondisi mesin dari waktu ke waktu.

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan secara komprehensif terhadap *intake pump* B di *Water treatment plant* PLTU XYZ, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut. Dari keenam *measurement points* yang telah diukur, semua nilai getaran berada dalam *Zone A* atau *Zone B* menurut standar ISO 10816-3 yang mengindikasikan kondisi pompa masih dalam kategori *acceptable* untuk operasi jangka panjang. Nilai tertinggi adalah 4,1 mm/s pada *non-drive end* horizontal yang masih well below upper limit dari *Zone B* yaitu 7,1 mm/s. Overall assessment berdasarkan *worst case* yaitu *measurement point* dengan *velocity* tertinggi menunjukkan pompa berada dalam *Zone B* yang *acceptable*, sehingga pompa dapat terus beroperasi namun dengan catatan perlu dilakukan *monitoring* rutin untuk memastikan tidak terjadi degradasi lebih lanjut. Analisis spektrum frekuensi mengidentifikasi dominasi *peak* pada frekuensi 1 kali RPM yaitu 24,67 Hz yang mengindikasikan adanya *unbalance rotor* sebagai sumber getaran utama, dengan kemungkinan minor misalignment yang ditunjukkan oleh *peak* pada 2 kali RPM namun dengan severity yang masih dalam batas wajar. *Expansion joint* yang terpasang pada *discharge side intake pump* menunjukkan efektivitas yang baik dalam menjalankan fungsinya sebagai vibration isolator dengan mampu mereduksi getaran sebesar 56,1 persen dari level getaran pada pump *bearing* ke level getaran pada pipa *downstream*, yang ditunjukkan oleh nilai transmisibilitas sebesar 0,44 yang kurang dari satu dan *insertion loss* sebesar 7,16 dB yang mengindikasikan atenuasi getaran yang substantial dan proteksi yang memadai terhadap sistem perpipaan *downstream*.

Daftar Pustaka

- [1] M. Satria, A. Nuramal, A. K. Mainil, dan Helmizar, "Perawatan Preventif pada Turbin Pompa Air Pendinginan Tertutup," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 79–86, 2025, <https://ejournal.unib.ac.id/rekayasamekanika>
- [2] A. R. P. Ismael dan Y. W. Helmizar, "Preventive Maintenance pada Coal Mill (Pulverizer)," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 47–54, 2025.
- [3] Q. Ma, K. Wang, H. Liu, dan Z. Cheng, "Influence of Shaft Combined Misalignment on Vibration and Noise Characteristics in a Marine Centrifugal Pump," *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, vol. 41, no. 4, pp. 1286–1306, 2022, <https://doi.org/10.1177/14613484221104627>
- [4] T. Chu, T. Nguyen, H. Yoo, dan J. Wang, "A Review of Vibration Analysis and Its Applications," *Heliyon*, vol. 10, no. 5, e26282, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26282>
- [5] H. Guan, P. Wang, Q. Xiong, H. Ma, S. Zhou, Q. Mu, Y. Zeng, dan Y. Chen, "Modeling of Misaligned Bearing Induced by Coupling Misalignment and Assembly Errors and Vibration Analysis in Dual-Rotor System," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 230, 112656, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2025.112656>
- [6] International Organization for Standardization, ISO 10816-3: Mechanical Vibration — Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts — Part 3: Industrial Machines with Nominal Power Above 15 kW and Nominal Speeds Between 120 r/min and 15000 r/min. Geneva: ISO, 2009.
- [7] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 6th ed. Hoboken, NJ: Pearson Education, 2017.
- [8] C. M. Harris dan A. G. Piersol, *Harris's Shock and Vibration Handbook*, 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2002.
- [9] D. Romahadi, A. Luthfie, dan D. D. Likoundayenda Bakoutas, "Detecting Classifier-Coal Mill Damage Using a Signal Vibration Analysis," *Sinergi*, vol. 23, pp. 175–182, 2019, <https://doi.org/10.22441/sinergi.2019.3.001>
- [10] A. B. Fitriani dan Kundori, "Analisis Kondisi Pompa Sentrifugal Berdasarkan Getaran untuk Mencegah Kegagalan Pompa di Kilang Migas Cepu," *Jurnal Maritim Polimarin*, vol. 11, no. 1, pp. 1–5, 2025, <https://doi.org/10.52492/jmp.v11i1.127>
- [11] N. Carnegie et al., "Analisa Level Getaran Cooling Water Pump 1," *Rekayasa Mekanik*, vol. 4, no. 1, pp. 25–32, 2020.
- [12] A. Husen, N. Cholis, dan A. N. Setiadi, "Analisis Tegangan Pipa pada Sistem Instalasi Perpipaan Geothermal di Proyek X," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 14, pp. 63–77, 2018.
- [13] R. Subagyo dan B. R. Hendratno, "Analisa Performance Pompa Sentrifugal di Unit 2 PT. Pupuk Kalimantan Timur," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, no. 1, pp. 30–38, 2021.
- [14] W. Zhang et al., "Adjustment Method and Energy Consumption of Centrifugal Pump Based on Intelligent Optimization Algorithm," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 1–10, 2022.
- [15] S. Pramono, R. Wibowo, dan D. Prayoga, "Analisa Penentuan Tipe dan Ukuran Impeller Pompa Sentrifugal Single Stage Berdaya 15 kW 30 A," *Marine Science and Technology Journal*, vol. 6, no. 2, 2025, <https://doi.org/10.31331/maristec.v2i2.4051>