



Analisis Vibrasi pada Pompa Motor Air di PT Krakatau Tirta Industri Cilegon

Muhammad Yusuf Habibi^{1*}, Irwanto²

¹⁻² Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

E-mail: muhammadyusufhabibi26@gmail.com¹, irwanto.ir@untirta.ac.id²

*Penulis Korespondensi: muhammadyusufhabibi26@gmail.com

Abstract. *The primary coolant pump is a critical component in ensuring safe and reliable reactor operation. Therefore, early detection of the type and severity of damage affecting its constituent components is essential. Among the main parts of the pump, bearings are components that frequently experience deterioration or failure during operation. Bearing damage is generally indicated by abnormal vibration levels or an increase in bearing temperature. This study aims to identify the symptoms of bearing damage and determine the level of damage through vibration analysis. Early signs of pump malfunction can be detected by continuously monitoring the vibration response using a vibration tester. The measurement process is carried out in three directions, namely radial, axial, and tangential, to obtain a comprehensive description of the vibration behavior of the bearing. The vibration data are then analyzed to identify characteristic peaks associated with possible bearing defects. Through this analysis, the condition of the bearing can be evaluated more accurately, enabling maintenance personnel to recognize developing damage at an early stage. The results are expected to support preventive maintenance activities and reduce the risk of unexpected pump failure during reactor operation.*

Keywords: *Bearing; Early Detection; Main Coolant Pump; Reactor; Vibration Analysis.*

Abstrak. Pompa pendingin utama merupakan salah satu komponen utama yang memiliki peran penting dalam menjaga keselamatan dan keandalan operasi reaktor. Oleh karena itu, diperlukan upaya deteksi dini terhadap jenis serta tingkat kerusakan yang terjadi pada komponen penyusun pompa agar potensi kegagalan dapat diminimalkan. Salah satu komponen utama pompa yang sering mengalami kerusakan adalah bantalan (*bearing*), karena komponen ini bekerja secara terus-menerus dalam kondisi operasional tertentu. Indikasi awal terjadinya kerusakan pada bantalan dapat diketahui melalui perubahan karakteristik getaran maupun peningkatan temperatur pada bantalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gejala kerusakan bantalan serta menentukan tingkat kerusakannya berdasarkan hasil analisis getaran. Salah satu metode yang digunakan untuk mendeteksi gejala awal kerusakan pompa adalah dengan melakukan pemantauan respons getaran menggunakan *vibration tester*. Pengukuran getaran dilakukan pada tiga arah pengamatan, yaitu radial, aksial, dan tangensial. Berdasarkan hasil analisis getaran tersebut, dapat diperoleh puncak-puncak getaran (*cited peaks*) yang menunjukkan karakteristik tertentu sebagai indikator adanya kerusakan pada bantalan. Analisis ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam mendukung pemeliharaan preventif dan meningkatkan keandalan sistem operasi reaktor.

Kata kunci: Analisis Getaran; Bantalan; Deteksi Dini; Pompa Pendingin Utama; Reaktor.

1. LATAR BELAKANG

Pompa adalah salah satu mesin fluida yang digunakan untuk memindahkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain dengan cara menaikkan tekanan fluida tersebut. Pompa sentrifugal mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan dengan pompa yang lain, yaitu: harga murah, konstruksi sederhana, kemudahan pemasangan, kapasitas dan head yang tinggi, kemudahan operasional serta pemeliharaan. Namun dalam pengoperasian di lapangan sering dijumpai kegagalan, salah satu penyebabnya adalah getaran yang ditimbulkan dengan penyambungan kopling sebagai penerus putaran dan daya. Getaran tersebut dapat merusak poros, merusak bearing, menimbulkan *noise*, penurunan *head*, penurunan kapasitas dan penurunan efisiensi pompa. Komponen utama dari pompa yang sering mengalami kerusakan adalah *bearing*. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengetahui gejala kerusakan bearing dan tingkat

kerusakannya berdasarkan analisis vibrasi (Fauziah et al., 2023). Salah satu cara untuk mendeteksi awal gejala kerusakan pada *bearing* pompa adalah dengan menggunakan respon vibrasi. Indikasi kecil getaran yang terjadi pada poros pompa dapat digunakan untuk mengetahui jenis kerusakan dan tingkat kerusakan pada bearing pompa. Dengan menggunakan alat ukur vibrasi maka dapat diketahui jenis kerusakan yang terjadi serta seberapa besar tingkat kerusakan tersebut (Nugraha & Hamid, 2024; Fatahillah, 2022).

PT KTI Water Solution ini berdiri Pada tahun 1978 PT Krakatau Steel(Persero) Tbk mengoperasikan Unit Penjernihan Air, sebuah unit penunjang kegiatan operasional untuk menyediakan air bersih yang merupakan cikal bakal dari PT Krakatau Tirta Industri. Pada 28 Februari 1996, unit penunjang tersebut diotonomikan dan didirikan sebagai perseroan terbatas yang bernama PT Krakatau Tirta Industri dengan PT Krakatau Steel (Persero) dan PT Krakatau Industrial Estate Cilegon sebagai pemegang saham pendirinya.

Badan usaha ini fokus pada penyediaan dan pengolahan air bersih. Produk berupa air bersih yang dihasilkan digunakan untuk kebutuhan masyarakat dan industri di Kota Cilegon dan sekitarnya. Terhitung sejak 30 Juni 2021, pemegang saham PT Krakatau Tirta Industri terdiri dari PT Krakatau Steel (Persero) Tbk yang memiliki 0,01% saham, PT Krakatau Sarana Infrastruktur (dahulu bernama PT Krakatau Industrial Estate Cilegon) memiliki 50,99% saham dan sejak 28 Februari 2023 PT Chandra Daya Investasi (PT CAP Group) memiliki (49%) sahamnya. Air baku untuk kegiatan pengolahan air diambil dari Sungai Cidanau, bersumber dari danau alam Rawa Dano, dan Sungai Cipasauran. Air baku dari Sungai Cidanau dialirkan menggunakan pipa diameter 1,4m sepanjang ± 28 km untuk diolah menjadi air bersih di Instalasi Pengolahan Air Krenceng. Kapasitas terpasang di Instalasi Pengolahan Air Krenceng adalah sebesar 2.000 liter/detik.

2. KAJIAN TEORITIS

Getaran

Getaran adalah suatu gerak bolak-balik di sekitar titik kesetimbangan. Kesetimbangan di sini maksudnya adalah keadaan dimana suatu benda berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran merupakan fenomena yang umum terjadi pada struktur mesin. Setiap struktur mesin yang memiliki massa dan kekakuan merupakan sistem getaran. Kebanyakan mesin dan struktur rekayasa mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.

Getaran atau vibrasi yang terjadi karena rangsangan gaya luar disebut getaran paksa. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi besar yang berbahaya mungkin terjadi. Sumber sumber eksitasi harmonik adalah ketidak seimbangan pada mesin-mesin yang berputar, gaya-gaya yang dihasilkan oleh mesin torak, atau gerak mesin itu sendiri.

Vibrasi atau getaran yang ditimbulkan oleh peralatan yang berputar antara lain: motor, pompa, fan dan sejenisnya akan memberikan petunjuk tentang kondisi dari peralatan tersebut, apakah berada dalam kondisi yang baik ataukah sebaliknya. Sehingga dengan adanya fenomena ini melalui peralatan yang disebut dengan vibrometer maka akan dapat diketahui detail penyebab terjadinya anomali getaran, tentunya setelah dilakukan analisa gelombang pada data yang telah ditangkap oleh vibrometer. Secara umum penyebab terjadinya anomali getaran pada sebuah peralatan yang berputar adalah sebagai berikut :

Unbalance atau *imbalance*: *Unbalance* adalah terjadinya pergeseran titik pusat massa dari titik pusat putarnya sehingga akan menimbulkan getaran yang tinggi. Besarnya amplitudo getaran sebanding dengan besarnya putaran (merupakan kuadrat dari putaranya).

Ketidaksejajaran: Vibrasi yang disebabkan oleh penyambungan poros yang tidak simetris dan besarnya tergantung dari ketidaksimetrisan penyambungannya, semakin tidak simetris penyambungan poros pada sebuah peralatan maka menyebabkan vibrasi akan semakin tinggi. Gejala vibrasi yang diakibatkan oleh ketidaksejajaran hampir sama dengan gejala unbalance akan tetapi dengan menggunakan vibrometer yang memadai akan lebih mudah membedakan antara unbalance dan miskesejajaran yaitu dari analisa sudut fasanya. Terdapat beberapa jenis miskesejajaran seperti miskesejajaran pada sambungan kopling, sabuk, rantai, roda gigi dan lain-lain.

Variasi beban: Beban besar (overload) pada mesin dapat menyebabkan vibrasi yang tinggi. Untuk melakukan analisa dari fenomena ini maka karakteristik pengoperasian mesin harus difahami, sehingga dalam mengukur getaran dasar (baseline vibration) sangat penting untuk memperhatikan variasi getaran terhadap beban, tekanan dan temperatur.

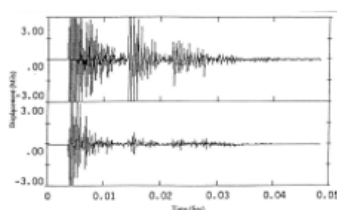
Clearance: Kelonggaran clearance (over clearance) mempunyai karakter penampilan vibrasi yang khusus yaitu ketika dilakukan analisa spectrum akan muncul pada 1 x rpm serta harmonic yang tinggi.

Spektrum vibrasi, dengan satuan amplitudo mm/s (atau inch/s) dan frekuensi cpm (*cycle per minute*) atau Hz, digunakan untuk mendiagnosis (analisa) sumber penyebab dominan vibrasi dari suatu mesin (misalnya vibrasinya cenderung tinggi). Pengukuran spektrum vibrasi ini biasanya dilakukan jika nilai vibrasi *overall* sudah relatif tinggi.

Analisis getaran

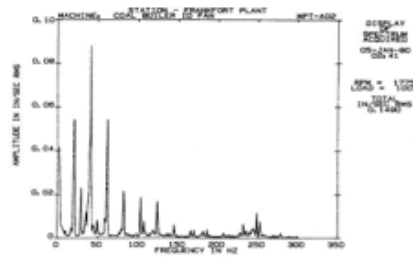
Analisis getaran digunakan untuk menentukan operasi dan kondisi mekanik suatu peralatan. Keuntungan utamanya adalah bahwa analisis getaran dapat mengidentifikasi perkembangan kerusakan sebelum menjadi kerusakan yang serius dan menyebabkan *downtime* tidak terjadwal. Hal ini dapat dicapai dengan melakukan pemantauan rutin pada getaran mesin dengan baik secara terus-menerus atau sesuai jadwal. Semua *rotating equipment* menghasilkan getaran yang merupakan fungsi dari dinamika mesin, seperti sesumbunya dan keseimbangan dari bagian-bagian yang berputar. Mengukur amplitudo getaran pada frekuensi tertentu dapat memberikan informasi berharga tentang kesumbuan dan keseimbangan poros, kondisi bantalan atau roda gigi, dan efek mesin karena resonansi dari *casing*, pipa dan struktur lainnya.

Pengukuran getaran adalah metode efektif untuk memantau kondisi mesin selama *start-up*, *shutdown* dan operasi normal. Analisis getaran digunakan terutama pada *rotating equipment* seperti turbin gas dan uap, pompa, motor, kompresor, gearbox, dan lain-lain. Proses analisis getaran memerlukan pengumpulan data mesin yang kompleks yang kemudian harus diuraikan. Berbeda dengan kurva getaran teoritis sederhana, profil untuk suatu peralatan sangat kompleks. Hal ini benar, karena biasanya ada banyak sumber getaran. Masing-masing sumber menghasilkan kurva sendiri, tetapi pada dasarnya ditambahkan dan ditampilkan sebagai profil campuran. Profil ini dapat ditampilkan dalam dua format, yaitu *time domain* dan *frequency domain*. *Time domain* berguna untuk analisis keseluruhan (*overall analysis*) mesin untuk mempelajari perubahan kondisi operasi mesin. Namun data domain waktu sulit untuk digunakan karena semua data getaran pada jenis plot ini ditambahkan untuk mewakili perpindahan total pada setiap waktu, sulit untuk menentukan kontribusi dari sumber getaran tertentu.



Gambar 1. Contoh Profil Getaran *Time Domain* (R. Ketith Mobley, 1999).

Data domain frekuensi yang diperoleh dengan mengkonversi data domain waktu menggunakan matematika teknik yang disebut sebagai *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT memungkinkan setiap komponen getaran spektrum mesin yang kompleks untuk ditampilkan sebagai pembentukan puncak frekuensi. Menentukan frekuensi ini adalah langkah awal dalam menganalisis kondisi operasi mesin.



Gambar 2. Jenis Getaran *Frequency Domain* (R. Ketith Mobley, 1999)

Mesin adalah struktur yang memiliki massa dan kekakuan, massa mesin tersebut dapat bergetar atau *free vibration*. Analisa getaran dilakukan untuk mengetahui kelainan kondisi mesin. Vibration atau getaran pada mesin secara konseptual terjadi karena eksitasi getaran dari lingkungan luar (*forced vibration*) dan dari dalam mesin itu sendiri. Getaran mesin dari dalam (*free vibration*) diakibatkan oleh komponen mesin yang memiliki sifat elastis (*elastic*), getaran pun terjadi pada saat mesin berputar (*rotation*) atau translation.

Getaran bersifat unik, dengan menganalisa spectrum getaran dapat menentukan karakteristik atau jenis kerusakan. Getaran yang berasal dari dalam mesin antara lain *Unbalance*, keausan poros (*shaft*), cacat pada bantalan (*bearing*), *misalignment*, dan lain-lain. Getaran mesin tersebut dapat dilakukan analisa dengan menggunakan analisa FFT (*Fast Fourier Transformation*). Kelebihan dari cara ini adalah dapat menghemat waktu karena deskripsi kerusakan diketahui tanpa membongkar atau menghentikan suatu mesin.

Para ahli berpendapat bahwa 70 sampai 75 persen getaran yang terjadi disebabkan oleh *misalignment*. Hal ini bisa dipahami terjadinya *misalignment* terdiri dari beberapa kejadian berikut ini:

- a. Ciri *misalignment* yaitu mempunyai komponen getaran pada frekuensi 2x putaran shaft serta menyebabkan getaran dominan pada arah aksial
- b. *Misalignment* berasal dari shaft bengkok atau bearing yang tidak center serta poros pada kopling yang tidak sejajar
- c. *Misalignment* terjadi karena adanya pergerakan atau penyimpangan salah satu bagian mesin dari garis porosnya.
- d. Setiap alat yang berputar memiliki sejumlah *unbalance*, tetapi setiap manufaktur mempunyai batas toleransi terhadap *unbalance* tersebut.
- e. Ketidakseimbangan tersebut kemudian diredam menggunakan bantalan atau bearing yang memiliki *clearance*.
- f. Pada saat mesin mengalami kondisi *misalignment*, elemen-elemennya mengalami tarikan serta tekanan melalui kopling sehingga berakibat terjadinya gesekan yang berlebih pada elemen putar dan race pada bearing yang berujung pada keausan bearing tersebut.

Pengujian kondisi misalignment dilakukan dengan memberikan ketidaksejajaran pada bantalan dan kopling. Rotordinamik yang mengalami kasus misalignment pada rotor dinamik akan menghasilkan suara dengan amplitudo yang besar pada frekuensi $2x$ frekuensi kecepatan motor ($2x rpm$), dan untuk misalignment bantalan/tumpuan dan misalignment kopling akan menghasilkan suara dengan ciri khas frekuensi yang sama yaitu $2x rpm$, spektrum *envelope* mempunyai hasil akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan spektrum untuk mendeteksi cacat bantalan. Melalui penelitian ini akan terlihat karakteristik getaran yang terjadi, kelainan getaran yang akan diteliti yaitu penyimpangan kesejajaran poros kopling (*misalignment*).

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menggunakan pengujian langsung di pabrik, untuk menganalisa permasalahan vibrasi pada motor pompa air di PT. Krakatau Tirta Industri Cilegon dan dimasukkan data yang dibutuhkan kemudian dilakukan analisis keputusan untuk memperbaiki keadaan mesin apakah perlu dilakukan pemeliharaan atau dianggap cukup.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data didapatkan dari hasil analisis, dan observasi secara langsung dengan teknisi dengan cara melakukan vibrasi pada motor pompa air di PT. Krakatau Tirta Industri dan didapatkan nilai vibrasi di masing-masing motor pompa air yang ada di industri tersebut.

Gambar Vibrasi Vertical Pump

Berikut gambar dan tabel kegiatan vibrasi pada motor pompa air di PT. Krakatau Tirta Industri.



Gambar 3. Pengukuran Vibrasi pada Motor Pompa Air.

Pada hari ke lima, dalam rangka pemeliharaan rutin, tim teknisi melaksanakan pengecekan *Vibrasi* menggunakan alat ukur vibrator analyser. Tujuan dari penggunaan alat ini adalah untuk melakukan pengukuran getaran secara akurat pada objek yang terkait, seperti motor, serta menentukan *frekuensi* getaran yang terjadi. Dengan mengidentifikasi nilai getaran

dan *frekuensi* yang tepat, kita dapat memastikan kinerja dan keandalan mesin tetap terjaga. Selain itu, informasi yang diperoleh dari pengecekan ini juga dapat membantu dalam mencegah kerusakan yang mungkin terjadi akibat getaran berlebihan.

Tabel 1. Test Sensor vibrasi.

No	Parameter	Motor				
1		60	61	62	63	64
	Sensor Vibexpert	11	2,8	8,5	0,9	4,8
	Operasi Motor	ON	OFF	ON	OFF	ON
	Nilai Span	1	1	1	1	1

Pada tabel diatas merupakan hasil dari vibrasi pada motor pompa air di PT Krakatau Tirta Industri di ruang PUMP STATION IV dengan menggunakan alat Vibration Meters untuk mendapatkan hasil Vibrasi yang akurat agar mendapatkan hasil yang di inginkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Semua peralatan yang berputar pasti mengalami vibrasi dalam kondisi normal, hal ini juga terjadi pada motor pompa Vertical Pump yang mengalami vibrasi yang cukup besar. Faktor-faktor seperti: variasi beban, clearance, resonansi, masalah roda gigi, masalah kelistrikan, unbalance, ketidaksejajaran, kerusakan bantalan dan mechanical looseness akan dapat menimbulkan vibrasi yang berlebihan. Vibrasi yang berlebihan pada motor pompa Vertical Pump bukan disebabkan oleh faktor variasi beban, *clearance*, resonansi dan masalah roda gigi. Sedangkan faktor yang mungkin menjadi penyebab terjadinya *vibrasi* pada motor pompa tersebut adalah unbalance, ketidaksejajaran, Mechanical looseness dan kerusakan pada bantalan.

Berikut akan dilakukan analisa faktor kemungkinan penyebab terjadinya vibrasi tersebut berdasarkan data pengujian yang telah dilakukan.

- Unbalance* atau *imbalance*: Unbalance adalah terjadinya pergeseran titik pusat massa dari titik pusat putarnya sehingga akan menimbulkan getaran yang tinggi. Besarnya amplitudo getaran sebanding dengan besarnya putaran (merupakan kuadrat dari putarannya).
- Ketidaksejajaran: Vibrasi yang disebabkan oleh penyambungan poros yang tidak simetris dan besarannya tergantung dari ketidaksimetrisan penyambungannya, semakin tidak simetris penyambungan poros pada sebuah peralatan maka menyebabkan vibrasi akan semakin tinggi. Pada rangkaian motor-kopling-pompa, vibrasi yang terjadi pada kondisi ini sebagian besar disebabkan oleh kondisi unbalance.

- c. Kerusakan pada bantalan: Ada dua jenis bantalan yang memungkinkan terjadinya kerusakan yaitu anti friction bantalan dan sleeve bantalan. Keduanya mempunyai karakter vibrasi yang berbeda, dan juga kerusakan yang ditimbulkan berlainan.
- d. *Mechanical looseness*: Disebabkan oleh kerenggangan pada suatu mesin yang terjadi karena kerenggangan baut, kerenggangan bantalan, keretakan di pondasi, kerenggangan antara rotor dengan poros, dan sebagainya.

5. KESIMPULAN

Terjadi vibrasi pada pompa tersebut kemungkinan besar bukan disebabkan oleh kondisi bantalan baik pada motor maupun pada pompa. Kemungkinan terbesar vibrasi yang terjadi disebabkan oleh kondisi baseplate dalam hal ini disebabkan oleh rangka dudukan motor dan pompa. Hal ini didukung oleh beberapa hal, antara lain hasil pengukuran vibrasi yang terbesar terjadi dalam arah tangensial serta hasil pengukuran vibrasi pada baseplate yang hasilnya sangat besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada segenap karyawan dari, PT Krakatau Tirta Industri, Cilegon, Banten yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada pihak-pihak lain yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, atas semua dukungan dan bantuan, baik moral maupun materiil, yang telah diberikan kepada penulis selama penelitian berlangsung dan selama penyiapan jurnal ini.

DAFTAR REFERENSI

- Berry, J. E. (n.d.). *How to implement an effective condition monitoring program using vibration analysis*.
- Budynas, R. G. (2008). *Mechanical engineering design* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Fatahillah, F. (2022). Analisa pemanfaatan motor AC 1Ø sebagai beban pada rancang bangun pembangkit listrik tenaga surya 200 WP. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 1(2). <https://doi.org/10.55606/jurritek.v1i2.174>
- Fauziah, N., Hapis, A., Siswadhi, F., & Lestari, A. A. (2023). Perancangan alat pengendali pompa air berbasis IoT. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*, 1(6). <https://doi.org/10.61132/jupiter.v1i6.171>
- Harjono, R. N., Sukmadi, T., & Karnoto. (n.d.). Pemanfaatan spektrum vibrasi untuk mengindikasikan kerusakan motor induksi di PLTU Indramayu 3 × 330 MW. *E-Journal Universitas Diponegoro*. <https://ejournal3.undip.ac.id>

- Huda, F., Nazaruddin, & Dovani, M. (2015). Analisis suara pada rotordinamik akibat *unbalance, misalignment, dan looseness*. In *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin*. Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat.
- Kamil, B. P., Mulyani, & Sunardi. (2017). Deteksi cacat bantalan bola pada pompa sentrifugal menggunakan spektrum getaran. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*, 20(2), 204–215.
- Mobley, R. K. (1999). *Vibration fundamentals*. Butterworth-Heinemann.
<https://doi.org/10.1016/B978-075067150-7/50040-9>
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. Butterworth-Heinemann.
<https://doi.org/10.1016/B978-075067531-4/50006-3>
- Nugraha, M. R., & Hamid, M. A. (2024). Sistem panel pompa hydrant menggunakan rangkaian star-delta di PT Tiga Kreasi Indonesia. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(4). <https://doi.org/10.61132/venus.v2i4.401>
- Program Perawatan Sistem RSGGAS. (2019). *Program perawatan sistem RSGGAS* (No. Ident: 001.001/RN 00 02/RSG 3).
- Suhendro, J., & Kurniawan Nst., F. A. (2017). *Analisa vibrasi pada pompa sentrifugal kapasitas 360 L/S dengan metode FFT analyzer: Studi kasus PDAM Tirtanadi Instalasi Pengolahan Air Sunggal*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Harapan Medan.
- Sunarko, B. K. (2010). *Analisa getaran pada mesin sepeda motor berbasis LabVIEW*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.
- Thomson, W. T. (1995). *Teori getaran dengan penerapan* (Edisi kedua, L. Prasetyo, Penerjemah). Erlangga.
- Thomson, W. T., & Prasetyo, L. (1995). *Teori getaran dengan penerapan* (Edisi kedua). Erlangga.