

## STUDI UJI UNJUK KERJA ALAT PENGUJIAN *VIBRATION TRAINING SYSTEM* TM 150: EKSPERIMEN BANDUL DAN *TWO MASS ABSORBER SYSTEM*

\*Muhammad Arif Rayhan<sup>1</sup>, Ojo Kurdi<sup>2</sup>, Djoeli Satrijo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [muhammadarifray@gmail.com](mailto:muhammadarifray@gmail.com)

### Abstrak

Getaran disebabkan oleh berbagai macam hal yang berada di sekitar kita. Pengukuran serta analisis getaran dinilai sangat penting karena hal tersebut merupakan salah satu faktor utama dalam perancangan dan pengoptimalan kinerja sistem mekanik. Unit TM 150 digunakan untuk melakukan berbagai macam eksperimen fenomena getaran. Pada makalah ini dilakukan eksperimen bandul yang meliputi bandul sederhana, bandul fisik, bandul gabungan, bandul reversible dan bandul bifilar, serta eksperimen *two mass absorber system*. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas setiap jenis eksperimen yang dilakukan pada alat uji terhadap perhitungan teoritisnya. Dari hasil perbandingan data eksperimen dengan perhitungan teoritis pada seluruh eksperimen bandul, ditemukan bahwa terdapat error pada jarak 0% hingga 8%, sehingga performa alat sangat baik dalam segi keakuratan data dan juga fenomena yang terjadi. Sedangkan pada eksperimen *two mass absorber system* tidak dapat membandingkan data hasil eksperimen dan teoritis karena keterbatasan alat, sehingga hanya dapat dibandingkan grafik fenomena resonansinya saja.

**Kata Kunci:** absorber; bandul; *flexible beam*; getaran mekanis; resonansi; *two mass absorber*

### Abstract

Vibrations are caused by various factors in our surroundings. Measurement and analysis of vibrations are considered highly important because they are a primary factor in the design and optimization of mechanical systems' performance. The TM 150 unit is used to conduct various experiments on vibration phenomena. In this paper, experiments were performed on pendulum systems, including simple pendulums, physical pendulums, combined pendulums, reversible pendulums, and bifilar pendulums, as well as experiments on a two-mass absorber system. This research evaluates the effectiveness of each type of experiment conducted with the test equipment in comparison to their theoretical calculations. The results of the comparison between experimental data and theoretical calculations for all pendulum experiments show errors ranging from 0% to 4.8%. However, for the two-mass absorber system experiment, a comparison between experimental and theoretical data couldn't be made due to equipment limitations.

**Keywords:** absorber; *flexible beam*; mechanical vibration; pendulum, resonance; *two mass absorber*

### 1. Pendahuluan

Pada dunia industri, hampir semua aktivitas melibatkan getaran. Secara definisi, getaran merupakan suatu gerakan yang terjadi secara berulang pada waktu tertentu. Getaran mekanis merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi performa dari suatu mesin. Getaran ini dapat sangat berpengaruh pada kemulusan dari sistem mekanik dan dapat mengurangi jangka waktu hidup dari komponen dari sistem mekanik serta juga dapat menghasilkan suara yang mengganggu [1], [2]. Pada awalnya, para ilmuwan di bidang getaran memfokuskan ilmunya pada pemahaman mengenai fenomena alami dan pengembangan teori matematis untuk mendefinisikan getaran pada sistem fisika. Namun, pada zaman modern, banyak penelitian yang lebih didasarkan kepada aplikasi getaran pada bidang keteknikan, seperti perancangan dari suatu mesin, motor, pondasi, struktur, sistem kontrol, dan turbin. Kebanyakan penggerak utama memiliki masalah getaran diakibatkan oleh ketidakseimbangan dari mesinnya. Hal tersebut dapat diakibatkan karena kesalahan desain atau manufaktur yang tidak sesuai. Sebagai contoh, roda pada kereta lokomotif dapat terlontar sampai lebih dari 1 cm keluar dari jalurnya pada kecepatan tinggi akibat ketidakseimbangan. Selain itu, getaran juga dapat mempercepat keausan pada bagian mesin seperti bantalan dan gigi dan juga dapat mempercepat pengenduran mur. Pada pemotongan logam, getaran dapat menyebabkan *finishing* permukaan yang tidak halus dan rata [3].

Getaran eksternal yang terjadi pada suatu mesin atau bangunan apabila memiliki frekuensi yang sama dengan frekuensi alami dari mesin atau bangunan tersebut akan terjadi resonansi yang dapat mengakibatkan defleksi yang melampaui batas hingga dapat mengakibatkan kegagalan. Frekuensi natural dari mesin atau struktur dapat ditentukan dari respon getaran akibat eksitasi frekuensi variabel. Ada peningkatan amplitudo getaran pada saat frekuensi eksitasi mendekati frekuensi natural [4], [5]. Salah satu contoh dari bahaya resonansi adalah getaran pada rangka kendaraan, selain harus menyesuaikan dengan getaran pada mesin kendaraan, frekuensi alami dari rangka kendaraan harus jauh lebih tinggi dari frekuensi eksitasi dari jalan. Hal tersebut bertujuan untuk menghindari masalah dinamis yang disebabkan oleh resonansi dari kerangka [6]. Salah satu contoh lain adalah getaran yang terjadi pada struktur jembatan *crane* dan ayunan dari bebannya. Hal tersebut dapat

mengakibatkan beban kelelahan pada struktur jembatan serta mempersulit keakuratan dalam penempatan beban [7]. Getaran yang terjadi secara terus menerus pada frekuensi resonansi menyebabkan tegangan dan deformasi yang berlebihan dan dapat menyebabkan kelelahan, retak, atau bahkan keruntuhan struktural. Efek yang bersifat sangat merusak dari getaran terhadap mesin dan bangunan tersebut membuat uji getaran menjadi prosedur dasar perancangan dan pengembangan pada sebagian besar bidang keteknikan [8].

Pengujian getaran adalah suatu proses penting dalam pengembangan dan perawatan berbagai jenis produk, mulai dari kendaraan dan pesawat terbang hingga peralatan elektronik dan mesin industri [9]. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur dan mengevaluasi dampak getaran pada komponen dan struktur produk, serta memastikan keandalan, kinerja, dan keselamatan mereka. Sekecil apapun probabilitas terjadinya kegagalan dalam suatu rangka, tetap perlu dilakukan adanya pengujian getaran [10]. Pada penelitian ini, dilakukan eksperimen untuk mengetahui beberapa fenomena getaran sederhana yang dilakukan pada alat pengujian dari Gunt, yaitu Vibration Training System TM 150. Pengujian meliputi fenomena bandul, getaran paksa, dan sistem *two-mass absorber*. Penelitian ini diharapkan dapat serta dapat mengetahui seberapa baik kinerja dari alat uji getaran TM 150 guna meningkatkan pemahaman pada topik yang disampaikan dari prosedur praktikum Fenomena Dasar Mesin dan Getaran yang dilaksanakan pada Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

## 2. Metode Penelitian

Metode pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Langkah-langkah penelitian merupakan suatu tahapan kegiatan yang dilakukan dalam penelitian yang tersusun urut dan sistematis. Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut.

### 1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka dilakukan mempelajari teori yang dijadikan referensi sebagai pendukung tercapainya solusi dari masalah yang ada. Referensi berupa buku dan jurnal yang berkaitan dengan topik permasalahan dalam penelitian.

### 2. Observasi

Melakukan pembelajaran mengenai cara kerja alat Vibration Training System TM 150 melalui instruction manual book bawaan dan modul praktikum fenomena dasar mesin.

### 3. Perumusan Masalah

Tahapan perumusan masalah merupakan hasil dari tahap identifikasi masalah. Topik identifikasi masalah yang telah diperoleh digunakan sebagai acuan untuk menentukan rumusan masalah yang menjadi fokus penelitian.

### 4. Penentuan Tujuan Penelitian

Tahap selanjutnya adalah menentukan tujuan penelitian yang dilakukan. Hal ini sangat penting dilakukan untuk mendapatkan acuan dalam menentukan tingkat keberhasilan suatu penelitian.

### 5. Pengambilan Data

Pengumpulan data yang dilakukan yaitu data hasil eksperimen yang dilakukan pada Vibration Training System TM 150 dan berkaitan dengan topik penelitian. Data yang diambil berupa eksperimen, Forced Oscillation, dan Two Mass System Experiment.

### 6. Perhitungan dan Analisis Data

Pengolahan data yang dilakukan yaitu menghitung data teoritis dari eksperimen bandul and two mass absorber system. Dari hasil tersebut kemudian dianalisa dan dibandingkan dengan data eksperimen yang telah diambil sebelumnya.

### 7. Kesimpulan dan Saran

Tahap akhir dari penelitian adalah memberikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan pada Studi Uji Unjuk Kerja Alat Pengujian Vibration Training System TM 150: Eksperimen Bandul and Two Mass Absorber System.

## 3. Hasil dan pembahasan

### 3.1 Bandul Sederhana

Dari eksperimen dapat dilihat, periode selalu meningkat sesuai dengan meningkatnya panjang tali. Error yang paling kecil adalah bandul bola baja dengan panjang 0,761 yang memiliki error sebesar 0%. Sedangkan error terbesar adalah bandul bola baja juga dengan panjang 0,140 dengan error sebesar 8%. Error dapat terjadi akibat ketidakteelitian pengujian dalam mengukur panjang tali serta massa tali yang kecil juga dapat mempengaruhi perbedaan periode eksperimen dari periode teoritis. Selain itu, pada setiap variasi panjang tali, bandul bola baja cenderung memiliki periode lebih besar daripada bandul bola kayu. Hal ini disebabkan karena pada pemasangan tali di dudukan bandul terdapat sedikit gesekan yang terjadi. Bandul bola baja memiliki massa yang lebih besar dibanding bandul bola kayu, sehingga hal tersebut menjadikan periode bandul bola baja lebih lama.

### 3.2 Bandul Fisik

Periode bandul fisik jauh lebih tinggi bila dibandingkan dengan bandul sederhana dengan panjang tali yang sama dengan titik pusat massanya (0,4 m). Sedangkan periode bandul fisik hanya selisih sedikit dengan periode bandul sederhana yang memiliki panjang tali sama dengan 2/3 panjang bandul fisik (0,533 m). Hal ini diakibatkan karena 2/3 L merupakan titik perkusi dari bandul fisik. Titik perkusi merupakan titik yang memiliki sifat sebagai massa terpusat walaupun dalam bandul fisik ini distribusi massanya tersebar secara seimbang.

Dari eksperimen juga dapat dilihat pada setiap bandul memiliki error yang tidak besar dengan error terkecil terdapat pada bandul sederhana 0,533 m yaitu 0,2% dan error terbesar terdapat pada bandul sederhana 0,4 m yaitu 2,4%. Tingkat error tersebut diakibatkan dari ketidakteelitian pengujian dalam mengukur panjang tali dan waktu periode serta diakibatkan karena gesekan yang terjadi pada tumpuan vee dengan dudukan bandul saat bandul beresilasi.

### 3.3 Bandul Gabungan

Jarak massa semakin jauh dari titik porosnya membuat periode juga semakin lama. Hal ini menunjukkan sifat bandul gabungan yang hampir sama dengan bandul sederhana yang memiliki masa terpusat. Selain itu, pada jarak massa 0,533 m periode bandul gabungan dengan bandul sederhana memiliki selisih yang sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa titik perkusi pada bandul gabungan adalah pada jarak massa 0,533 m.

Dari segi error, bandul dengan jarak titik massa 0,25 memiliki error terbesar yaitu sebesar 4,8% sedangkan error terkecil pada jarak massa 0,55 dan 0,533 m dengan 0,2%. Error dapat terjadi akibat gesekan antara tumpuan vee dengan dudukan bandul saat berosilasi. Selain itu juga dapat terjadi akibat ketidakteelitian pengujian dalam mengukur jarak massa, ataupun pada batang bandul yang tidak sepenuhnya homogen sehingga mempengaruhi perhitungan teoritis.

### 3.4 Bandul Reversible

Dari hasil modul dan eksperimen bandul reversible, kedua periode sama-sama memiliki selisih terkecil pada jarak  $x = 530$  mm. Namun, dengan perbedaan pada periodenya sekitar 0,30 s. Hal tersebut berpengaruh pada perhitungan percepatan gravitasi. Pada modul, percepatan gravitasi yang didapat memiliki error 0,7% dibandingkan dengan percepatan gravitasi pada umumnya (9,81 m/s<sup>2</sup>). Sedangkan pada eksperimen yang dilakukan terjadi error 1%. Perbedaan ini dapat terjadi akibat ketidaktepatan dalam mengukur waktu periode, serta gesekan yang terjadi pada tumpuan vee dengan dudukan bandulnya.

### 3.5 Bandul Bifilar

Terdapat 3 variasi panjang pada eksperimen bandul bifilar, terlihat momen inersia pada panjang tali sebesar 0,6 m merupakan momen inersia yang memiliki error terkecil 2%. Sedangkan tali dengan panjang 0,8 m memiliki error paling besar yaitu sebesar 4%. Hal ini disebabkan karena pada panjang 0,8 m, tali sangat panjang sehingga menyebabkan osilasi dari bandul tidak lebih stabil dari bandul yang lebih pendek talinya. Sedangkan pada panjang tali 0,4 m, tali cukup pendek sehingga osilasi terkadang mengenai dudukan bandul.

### 3.6 Two Mass Absorber System

Pada hasil eksperimen, data amplitudo yang dihasilkan berupa volt, pada perhitungan amplitudo tersebut tidak dapat diubah dikarenakan posisi dari vibration sensor yang berada di dekat tumpuan dan tidak memungkinkan untuk diletakkan di tengah beam. Sehingga data yang diambil hanya akan dilakukan perbandingan fenomena resonansi tanpa membandingkan bilangan pasti dari amplitudo eksperimen dalam satuan meter. Pada eksperimen tanpa *absorber*, terjadi resonansi pada frekuensi 8,6 Hz. Sedangkan pada perhitungan teoritisnya, resonansi terjadi pada titik 9,46 Hz. Perbedaan ini terjadi akibat pada perhitungan teoritis, didapat frekuensi alami dari flexible beam sebesar 9,69 Hz, sehingga terjadi resonansi ketika motor exciter berosilasi mendekati frekuensi tersebut. Sedangkan pada eksperimen dengan *absorber*, terjadi pergeseran resonansi yang mulanya sebelum dipasang absorber, resonansi berada pada frekuensi 8,6 Hz dan 9,46 Hz, kemudian setelah diberi absorber pada frekuensi tersebut, hanya terjadi getaran yang sangat kecil. Akibatnya, resonansi menjadi bergeser ke 2 titik frekuensi, yaitu 5,96 Hz pada eksperimen dan 6,51 Hz pada teoritis, serta 10,93 Hz pada eksperimen dan 12,6 Hz pada teoritis. Perbedaan ini terjadi akibat perbedaan frekuensi alami pada two mass absorber dan flexible beam.

## 4. Kesimpulan

1. Pada eksperimen bandul, sederhana periode bola baja yang didapat cenderung selalu lebih besar pada tiap variasinya dibandingkan dengan bola kayu, hal ini disebabkan karena terjadinya gesekan pada tali pada saat bandul berosilasi. Dengan massa yang lebih besar, bola baja berosilasi dengan periode yang lebih lama juga. Data periode yang diambil memiliki *error* paling besar pada bandul bola baja dengan panjang tali 0,140 m dan *error* paling kecil sebesar 0% pada bandul bola baja dengan panjang tali 0,761 m. Dari nilai *error* tersebut, ditunjukkan bahwa performa dari *Universal Vibration Training* TM 150 cukup baik dan layak untuk dapat digunakan dalam eksperimen berikutnya.
2. Pada eksperimen bandul fisik, data periode yang diambil memiliki *error* sebesar 2% sehingga menunjukkan bahwa perbedaan dari periode eksperimen dan teoritis cukup kecil yang berarti performa dari *Universal Vibration Training* TM 150 baik dan dapat digunakan dalam eksperimen berikutnya.
3. Pada eksperimen bandul gabungan, data periode yang diambil memiliki *error* terbesar pada jarak massa 0,25 m sebesar 4,8%, sedangkan *error* terkecil terdapat pada jarak massa 0,55 m sebesar 0,2%. Dari nilai *error* tersebut, ditunjukkan bahwa performa dari *Universal Vibration Training* TM 150 cukup baik dan layak untuk dapat digunakan dalam eksperimen berikutnya.
4. Pada eksperimen bandul reversibel, dari hasil perhitungan percepatan gravitasi, didapat nilai *error* sebesar 1,0% bila dibandingkan dengan nilai percepatan gravitasi standar atau rata-rata 9,81 m/s<sup>2</sup>. Dari nilai *error* tersebut, ditunjukkan bahwa performa dari *Universal Vibration Training* TM 150 cukup baik dan layak untuk dapat digunakan dalam eksperimen berikutnya.
5. Pada eksperimen bandul *bifilar*, dari hasil perhitungan momen inersia dari teoritis maupun eksperimen, didapat nilai *error* terbesar terjadi pada panjang tali 0,8 m. yaitu sebesar 4%, sedangkan *error* terkecil sebesar 2% terjadi pada tali sepanjang 0,6 m. Dari nilai *error* tersebut, ditunjukkan bahwa performa dari *Universal Vibration Training* TM 150 cukup baik dan layak untuk dapat digunakan dalam eksperimen berikutnya.
6. Pada eksperimen *two mass absorber system*, dapat dilihat bahwa nilai amplitudo eksperimen masih dalam satuan volt karena titik pengambilan data amplitudo yang memungkinkan terdapat pada ujung dekat tumpuannya, sedangkan peningkatan nilai amplitudo pada batang tidak linear sehingga cukup rumit dalam mengkonversikannya dalam bentuk

meter. Oleh karena itu, pada eksperimen ini hanya dapat membandingkan fenomena yang terjadi, yaitu titik resonansinya saja tanpa perbandingan *error*.

## 5. Daftar Pustaka

- [1] Jr. Robert F. Steidel, *An Introduction to Mechanical Vibrations*. 1991.
- [2] C. Feng and C. Pang, "Research on Vibration of Mechanical System Based on MATLAB," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Feb. 2022. doi: 10.1088/1742-6596/2195/1/012050.
- [3] Rao S. S., *Mechanical vibrations (5th ed.)*. Prentice Hall, 2011.
- [4] L. Yao, Y. Wang, Z. Zeng, and J. Kan, "Vibration analysis and optimization of a vertical disc stump grinder," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 2, Feb. 2018, doi: 10.1177/1687814018758577.
- [5] R. Markert and M. Seidler, "Analytically based estimation of the maximum amplitude during passage through resonance," *Int J Solids Struct*, vol. 38, pp. 1975–1992, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S0020-7683\(00\)00147-5](https://doi.org/10.1016/S0020-7683(00)00147-5).
- [6] W. Shang and Q. Wang, "Design of a Submarine Vehicle for Higher Natural Frequency Using U - Index Theory Approach," *Shock and Vibration*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/9496026.
- [7] Y. G. Z. Liu, C. Liu, Z. He and B. Li, "Analysis of Coupled Vibration and Swing Characteristics of Bridge Crane Analysis of Coupled Vibration and Swing Characteristics of Bridge Crane," 2021, doi: 10.1088/1742-6596/2012/1/012016.
- [8] K. Bi and H. Hao, "Numerical simulation on the effectiveness of using viscoelastic materials to mitigate seismic induced vibrations of above-ground pipelines," *Eng Struct*, vol. 123, pp. 1–14, 2016, doi: 10.1016/j.engstruct.2016.05.022.
- [9] V. Y. Myasnikov and I. I. Ivanov, "Method of engine structural frame vibrations analysis during fan blade-out," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 489, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/489/1/012040.
- [10] R. Abbate, M. Caterino, M. Fera, and F. Caputo, "Maintenance Digital Twin using vibration data," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 546–555. doi: 10.1016/j.procs.2022.01.252.