

STUDI EKSPERIMENTAL ALAT UJI SISTEM PELATIHAN GETARAN TM 150: PERCOBAAN GETARAN PAKSA

Djoeli Satrijo¹, Ojo Kurdi¹, Toni Prahasto¹ dan Mikhael Dixon Darmawan¹

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia
Jl. Prof. Sudarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
Email: ojokurdi@ft.undip.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi eksperimental terhadap alat uji sistem pelatihan getaran TM 150 dengan melakukan percobaan getaran paksa. Kami membandingkan nilai teoritis yang dihitung dengan metode analitik dengan hasil eksperimental yang diperoleh dari pengujian. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan parameter tingkat redaman yang dialami oleh sistem untuk mengevaluasi kinerja dan respons dari sistem terhadap suatu getaran yang dihasilkan dari motor exciter. Metodologi eksperimental melibatkan pengukuran frekuensi, dan tinggi amplitudo dari sistem, serta analisis data untuk menentukan sejauh mana nilai teoritis sesuai dengan hasil eksperimental. Hasil penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang keakuratan, sekaligus memvalidasi model teoritis yang digunakan dalam perancangan alat uji getaran. Temuan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan, serta dapat menjadi landasan bagi pengguna alat uji serupa dalam konteks yang lebih luas.

Kata kunci: alat uji getaran tm 150, nilai eksperimental, nilai teoritis, percobaan getaran paksa, studi eksperimental

Pendahuluan

Analisa getaran merupakan bagian penting dalam dunia teknik mesin, studi tentang gerakan osilasi sudah ada sejak berabad-abad lalu, tetapi penelitian tentang studi ini masih aktif dilakukan hingga saat ini. Studi awal tentang getaran difokuskan kepada pemahaman mengenai fenomena getaran tersebut, dan juga pengembangan model matematika yang menggambarkan getaran dalam sistem fisik. Pada saat sistem bergetar, terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi potensial. Setiap struktur mekanis memiliki kemungkinan untuk bergetar, baik yang berasal dari lingkungannya atau tereksitasi di dalam struktur oleh inersia dari bagian-bagian yang bergerak. Getaran dapat menyebabkan kerusakan mekanis yang spektakuler. Pada investigasi terbaru didapatkan bahwa sebagian masalah getaran disebabkan oleh ketidakseimbangan pada mesin. Ketidakseimbangan ini dapat disebabkan oleh kesalahan dalam desain atau manufaktur. Getaran mesin yang berlebihan dapat menyebabkan bergetarnya juga struktur yang ada disekitarnya. Hal ini dapat menyebabkan banyak kerugian seperti pengoperasian mesin yang tidak efisien, dan juga kebisingan yang dihasilkan dari getaran tersebut dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada manusia. Hal tersebut berkontribusi pada kelelahan operator mesin, dan menyebabkan peningkatan risiko kesalahan kontrol, yang akhirnya mengurangi kinerja seluruh konstruksi.

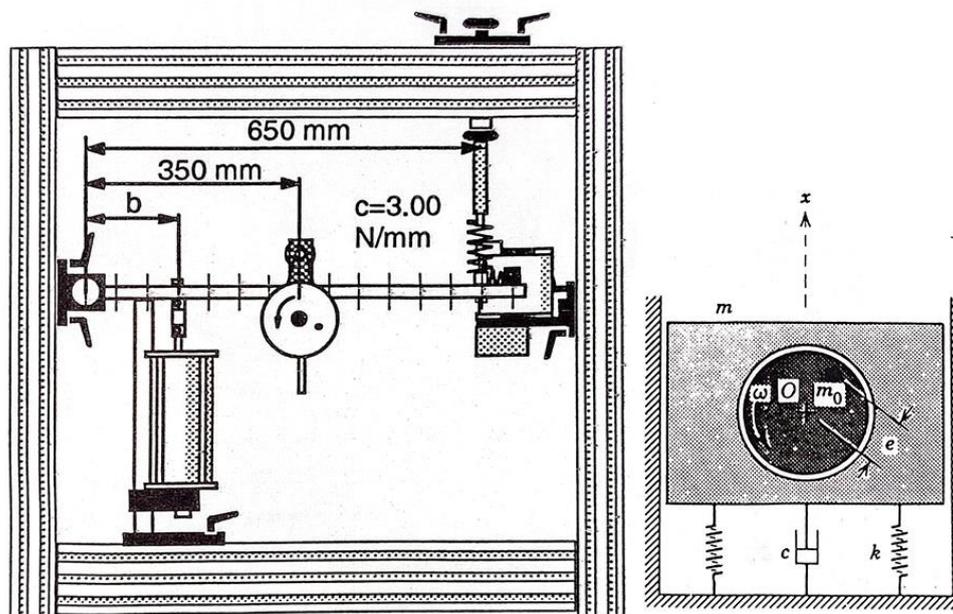
Pada Eksperimen ini, dilakukan sebuah percobaan getaran paksa pada *rigid beam*. Eksperimen ini bertujuan untuk menunjukkan fenomena resonansi pada sebuah sistem jika diberikan frekuensi eksitasi dari *motor exciter*. Sebuah penelitian dilakukan pada sasis bus, dan ditemukan bahwa getaran mesin dapat menyebabkan kegagalan pada sasis, jika frekuensi eksitasi eksternal sama dengan frekuensi alami sasis, Getaran juga dapat menyebabkan komponen mesin seperti bantalan dan roda gigi lebih cepat aus dan juga menyebabkan kebisingan yang berlebihan. Penelitian terus dilakukan untuk mengatasi efek negatif dari getaran mekanis, sebuah eksperimen dilakukan dimana pegas diintegrasikan ke dalam mesin rotor dengan tujuan untuk mengurangi getaran mekanis ketika sistem mencapai frekuensi alami, tanpa bergantung pada sumber daya eksternal, dan didapatkan bahwa penurunan ketidakstabilan dihasilkan dari peningkatan distribusi gaya getaran di dalam perangkat, serta peningkatan kemampuan redaman bahan pegas. Konstanta pegas adalah variabel karakteristik pegas yang mencerminkan hubungan antara gaya pegas dan defleksi pegas. Salah satu cara untuk meredam getaran mekanis adalah dengan menggunakan absorber. Sebuah penelitian dilakukan dimana absorber dihubungkan ke motor listrik melalui sambungan universal, dan menghasilkan osilasi torsional orde dua. Data getaran tersebut kemudian dikumpulkan dan dibandingkan dengan dan tanpa absorber yang beroperasi, dan didapatkan bahwa absorber menunjukkan pengurangan getaran yang baik, termasuk difrekuensi yang dekat dengan frekuensi resonansi. Beberapa contoh penelitian yang relevan untuk getaran mekanis adalah, getaran kecil sistem mekanis dalam kasus nilai eigen yang merosot oleh Pozhalostin, A., (Pozhalostin *et al*, 2020)

osilasi lambat pada sistem dengan eksitasi getaran inersia oleh Yaroshevich (Yaroshevich, 2020) , mendefinisikan osilasi teredam bebas pada sistem teknologi oleh Ershov (Ershov ,2019), osilasi teredam bebas pada sistem teknologi oleh Ershov, D., dan tren terkini getaran mekanis dan aplikasinya di bidang teknik oleh Garus. (Garus, 2020) yang menampilkan jumlah penelitian yang telah dilakukan dalam 5 tahun terakhir terkait getaran mekanis. Penelitian dilakukan mengenai teori getaran melalui analisis eksperimental, serta simulasi virtual, dan didapatkan bahwa teori getaran mekanis, jika disertai dengan analisis eksperimental dapat meningkatkan wawasan dan pandangan kita mengenai konsep-konsep penting dalam teori getaran mekanis seperti resonansi, efek redaman, mode-mode getaran, dan lain-lain.

Pelatih getaran TM 150 berfungsi sebagai alat yang serbaguna untuk mendalami berbagai aspek dari teori getaran melalui eksperimen langsung. Hal ini mencakup berbagai topik, mulai dari eksplorasi getaran paksa sederhana pada bandul dengan resonansi hingga pemeriksaan penyerapan getaran. Pada intinya, alat uji sistem pelatihan getaran ini dilengkapi dengan bingkai profil yang kokoh, memudahkan pemasangan berbagai setup eksperimental. Meja laboratorium bergerak dengan laci-laci menampung berbagai peralatan tambahan. Selain getaran spontan, sistem ini juga dapat mensimulasikan getaran paksa menggunakan motor listrik dengan pemacu tak seimbang, di mana frekuensi eksitasi dapat diatur dan ditampilkan melalui panel kontrol. Untuk penyelidikan mengenai getaran yang teredam dengan rasio redaman yang dapat disesuaikan, digunakan penahan minyak. Selain itu, konsep penyerapan getaran dijelaskan dengan jelas melalui osilator lentur yang dapat disesuaikan. Sistem Pelatihan Getaran TM 150 memberikan perlakuan eksperimental dari berbagai topik terkait osilasi seperti: osilasi pendulum, sistem massa pegas, osilasi alami dan paksa, osilasi teredam, osilasi balok, 2-massa efek sistem dan penyerap.

Diagram Benda Bebas

Percobaan getaran paksa yang dilakukan pada Alat Pelatihan Getaran TM 150 dianalisa secara teoritis, dan digambarkan diagram benda bebasnya, untuk mengetahui variabel-variabel yang berperan dalam terjadinya getaran tersebut.

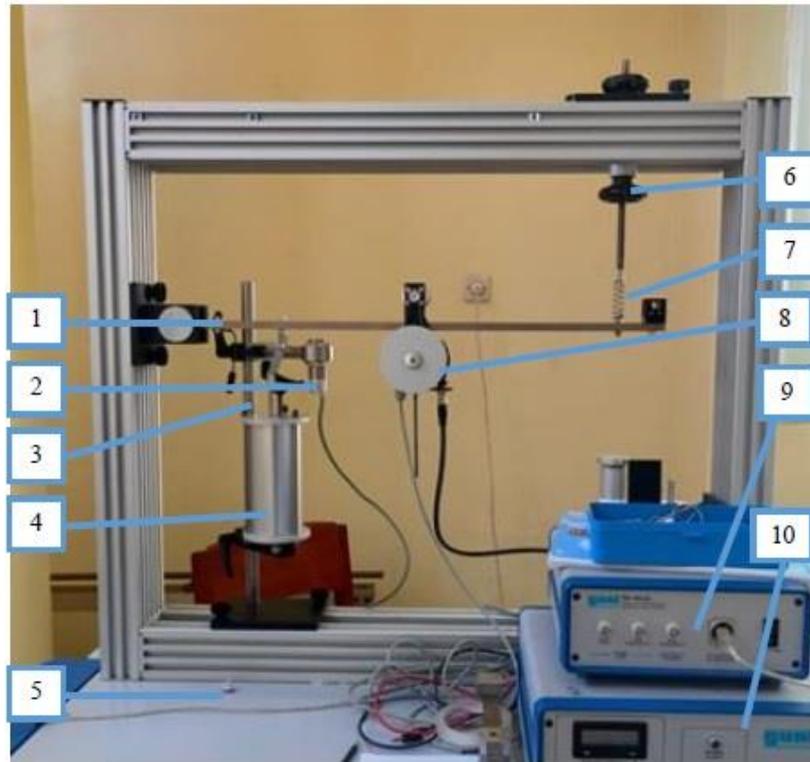


Gambar 1. Diagram Benda Bebas dari Percobaan Getaran Paksa

$$X = \frac{m_0 \omega^2 \varepsilon}{k \sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2\right]^2 + \left[2 \zeta \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)\right]^2}}$$

Pengaturan Eksperimen

Alat Uji Getaran TM 150 kemudian disetel sesuai dengan pengujian yang akan dilakukan, penyetelan dari alat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyetelan TM 150 Untuk Percobaan Getaran Paksa

Terdapat 10 komponen yang berperan dalam eksperimen getaran paksa ini. Masing-masing komponen yang diberikan angka untuk menandakan komponen tersebut. Keterangan untuk kegunaan dari masing-masing komponen yang terdapat pada eksperimen dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Keterangan TM 150 Untuk Percobaan Getaran Paksa

Keterangan		
No	Komponen	Penjelasan
1	<i>Rigid Bar with Fixing Holes</i>	Spesimen yang diosilasikan.
2	<i>Vibration Sensor</i>	Berfungsi untuk menunjukkan kontak antara sensor dengan <i>bar</i> , untuk menentukan simpangan.
3	<i>Holder Beam</i>	Batang yang menopang <i>damper</i> , dan sensor vibrasi.
4	<i>Damper</i>	Komponen yang berfungsi meredam getaran dari spesimen yang dipasangkan.
5	<i>Workbench</i>	Meja yang menopang alat-alat pengujian.
6	<i>Clamp Fixture</i>	Untuk mengkonfigurasi <i>bar</i> atau <i>beam</i> agar tegak lurus.
7	<i>Steel Spring</i>	Memungkinkan <i>bar</i> untuk berosilasi, terdapat 3 tipe pegas dengan konstanta berbeda.
8	<i>Motor Exciter</i>	Sebuah motor yang berfungsi untuk menimbulkan eksitasi pada frekuensi tertentu.
9	<i>TM 150.20 Data Acquisition</i>	Sebuah perangkat yang berfungsi untuk mengakuisisi data melalui aplikasi PC.
10	<i>TM 150 Controller</i>	Sebuah perangkat yang berfungsi untuk menunjukkan kontak pada vibration sensor, dan untuk memutar <i>plotter</i> saat terjadi osilasi.

Variasi Eksperimen

Dalam eksperimen getaran paksa, sistem beresilasi dengan cara diberikannya eksitasi eksternal. Jika eksitasi dan frekuensi alami dari sistem bertepatan, maka akan terjadi fenomena yang disebut dengan resonansi. Pada saat terjadi resonansi, osilasi menjadi sangat jelas, dan dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin. Perhitungan dan penghindaran resonansi adalah salah satu tugas yang paling penting dalam bidang teknik. Metode-metode seperti penambahan redaman, penggeseran frekuensi alami (*biasing*), dan pemasangan *absorber* dapat digunakan untuk menghindari atau mengurangi resonansi. Tabel dibawah berisi variasi dari eksperimen yang akan diuji, komponen yang divariasikan terdiri dari *posisi needle valve*, dan panjang *lever arm b (damper)*.

Tabel 2. Variasi Eksperimen Getaran Paksa

<i>Experiment Variation</i>			
<i>Experiment</i>	<i>Jenis</i>	<i>Needle valve position</i>	<i>Lever arm b in mm</i>
1	<i>No damping</i>	-	-
2	<i>Slight damping</i>	<i>open</i>	150
3	<i>Moderate damping</i>	<i>close</i>	150
4	<i>Considerate damping</i>	<i>open</i>	550

Hasil Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan variasi-variasi yang dapat dilihat pada Tabel 2. Dari pelaksanaan eksperimen, didapatkan frekuensi dan tinggi amplitude dari masing-masing variasi, nilai-nilai tersebut dapat dilihat pada tabel-tabel dibawah ini.

Tabel 3. Perbandingan Data Ekperimen dan Teoritis Eksperimen 1 *No Damping*

Eksperimen		Teoritis	
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)
3.93	0.0002	3,93	0,000257
4.52	0.0003	4,52	0,000373
4.98	0.0004	4,98	0,000494
5.5	0.0005	5,5	0,000679
5.99	0.0007	5,99	0,000927
6.46	0.0009	6,46	0,001280
7.06	0.0014	7,06	0,002063
7.5	0.0020	7,5	0,003217
7.97	0.0031	7,97	0,006409
8.65	0.0074	8,5	0,088128
8.72	0.0158	8,72	0,024326
9.02	0.0124	9,02	0,009386
9.44	0.0075	9,44	0,005322
9.95	0.0038	9,95	0,003661
10.47	0.0028	10,47	0,002877
11.05	0.0022	11,05	0,002389
11.52	0.0019	11,52	0,002135
12.01	0.0017	12,01	0,001945
12.46	0.0015	12,46	0,001813
13.01	0.0014	13,01	0,001689
13.46	0.0013	13,46	0,001609
13.99	0.0012	13,99	0,001532
14.51	0.0012	14,51	0,001470
15.02	0.0011	15,02	0,001420
15.57	0.0011	15,57	0,001374
16.01	0.0011	16,01	0,001343
16.51	0.0010	16,51	0,001312
17.1	0.0010	17,1	0,001280

Tabel 3 memberikan perbandingan antara data hasil eksperimen dan data perhitungan teoritis untuk eksperimen 1 tanpa damping. Dari hasil eksperimen, sistem menunjukkan respon resonansi pada frekuensi 8,72 Hz dengan amplitudo sebesar 0,0158 m. Sementara itu, perhitungan teoritis mengindikasikan bahwa sistem seharusnya beresonansi pada frekuensi 8,5 Hz dengan amplitudo mencapai 0,088128 m. Terdapat perbedaan yang mencolok antara hasil eksperimen dan perhitungan teoritis ini, menyoroti potensi adanya faktor-faktor yang mempengaruhi respons sistem.

Tabel 4. Perbandingan Data Ekperimen dan Teoritis Eksperimen 2 *Slight Damping*

Eksperimen		Teoritis	
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)
4.07	0.00003	4,07	0,00029
4.52	0.00004	4,52	0,00038
4.97	0.00007	4,97	0,00050
5.47	0.00012	5,47	0,00069
5.98	0.00036	5,98	0,00096
6.54	0.00057	6,54	0,00144
7	0.00087	7	0,00213
7.51	0.00115	7,51	0,00371
8.02	0.00176	7,9	0,00679
8.47	0.00318	8,6	0,01142
8.81	0.00578	8,81	0,00799
9.01	0.00958	9,01	0,00612
9.51	0.00529	9,51	0,00393
10.04	0.00312	10,04	0,00295
10.6	0.00245	10,6	0,00241
10.98	0.00229	10,98	0,00217
11.48	0.00201	11,48	0,00195
11.94	0.00181	11,94	0,00179
12.5	0.00162	12,5	0,00166
13.06	0.00149	13,06	0,00155
13.53	0.00139	13,53	0,00148
13.85	0.00134	13,85	0,00144
14.56	0.00124	14,56	0,00137
15.02	0.00118	15,02	0,00133
15.5	0.00115	15,5	0,00129
15.96	0.00113	15,96	0,00126
16.5	0.00109	16,5	0,00123
17.02	0.00105	17,02	0,00121

Tabel 4 menunjukkan perbandingan data yang didapatkan melalui eksperimen, dengan data yang didapatkan melalui perhitungan teoritis untuk eksperimen 2 *slight damping*. Terlihat bahwa pada eksperimen, sistem beresonansi pada frekuensi 9,01 Hz dengan tinggi amplitudo 0.00958 m, dan pada perhitungan teoritis, didapatkan bahwa sistem beresonansi pada 8,6 Hz, dengan tinggi amplitudo 0.01142 m. Terdapat perbedaan yang mencolok antara hasil eksperimen dan perhitungan teoritis ini, menyoroti potensi adanya faktor-faktor yang mempengaruhi respons sistem.

Tabel 5. Perbandingan Data Ekperimen dan Teoritis Eksperimen 3 *Moderate Damping*

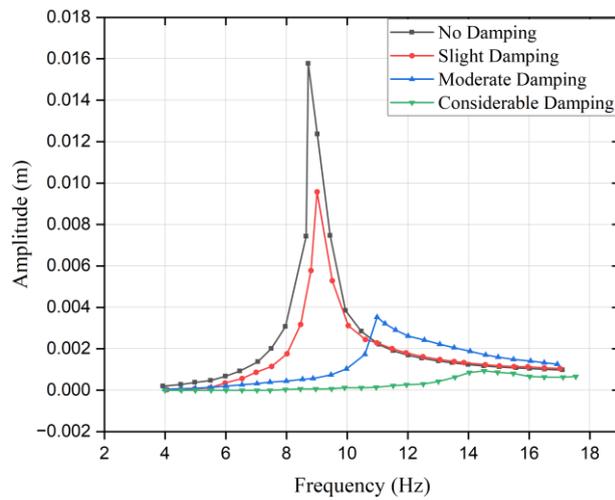
Eksperimen		Teoritis	
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)
4	0.00005	4	0,000272
4.54	0.00008	4,54	0,000383
5	0.00010	5	0,000509
5.52	0.00014	5,52	0,000704
6.01	0.00020	6,01	0,000968
6.54	0.00027	6,54	0,001409
7.03	0.00033	7,03	0,002099
7.46	0.00040	7,46	0,003183
8	0.00045	8	0,005915
8.53	0.00053	8,7	0,006624
8.88	0.00057	8,88	0,005722
9.47	0.00074	9,47	0,003747
9.98	0.00103	9,98	0,002915
10.59	0.00174	10,59	0,002362
10.99	0.00353	10,99	0,002129
11.25	0.00322	11,25	0,002011
11.6	0.00290	11,6	0,001880
12.01	0.00262	12,01	0,001758
12.55	0.00242	12,55	0,001634
13.06	0.00222	13,06	0,001543
13.53	0.00206	13,53	0,001475
14.06	0.00188	14,06	0,001412
14.57	0.00171	14,57	0,001362
14.98	0.00160	14,98	0,001327
15.49	0.00149	15,49	0,001290
16.05	0.00141	16,05	0,001256
16.5	0.00133	16,5	0,001231
16.93	0.00126	16,93	0,001211

Tabel 5 menunjukkan perbandingan data yang didapatkan melalui eksperimen, dengan data yang didapatkan melalui perhitungan teoritis untuk eksperimen 3 *moderate damping*. Terlihat bahwa pada eksperimen, sistem beresonansi pada frekuensi 10,99 Hz dengan tinggi amplitudo 0.00353 m, dan pada perhitungan teoritis, didapatkan bahwa sistem beresonansi pada 8,7 Hz, dengan tinggi amplitudo 0.006624 m. Terdapat perbedaan yang mencolok antara hasil eksperimen dan perhitungan teoritis ini, menyoroti potensi adanya faktor-faktor yang mempengaruhi respons sistem.

Tabel 6. Perbandingan Data Ekperimen dan Teoritis Eksperimen 4 *Considerate Damping*

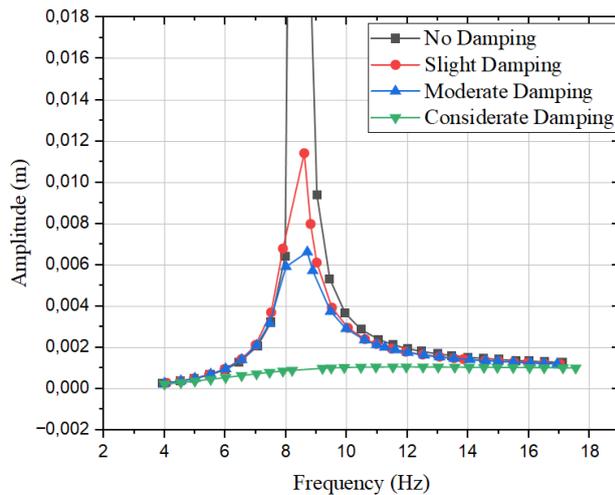
Eksperimen		Teoritis	
Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)	Frekuensi (Hz)	Amplitudo (m)
4	0.00000	4	0,0002318
4.54	0.00000	4,54	0,0003045
5	0.00000	5	0,0003745
5.52	0.00000	5,52	0,0004613
6.01	0.00000	6,01	0,0005482
6.54	0.00000	6,54	0,0006439
7.03	0.00000	7,03	0,0007296
7.46	0.00000	7,46	0,0007992
7.97	0.00004	7,9	0,0008626
8.46	0.00007	8,2	0,0009004
8.97	0.00006	9,2	0,0009927
9.49	0.00007	9,49	0,0010105
9.92	0.00013	9,92	0,0010306
10.47	0.00012	10,47	0,0010474
10.96	0.00015	10,96	0,0010558
11.52	0.00022	11,52	0,0010600
11.96	0.00027	11,96	0,0010604
12.51	0.00031	12,51	0,0010585
13.01	0.00043	13,01	0,0010551
13.56	0.00063	13,56	0,0010504
14.03	0.00086	14,03	0,0010459
14.52	0.00094	14,52	0,0010409
14.96	0.00087	14,96	0,0010364
15.48	0.00081	15,48	0,0010310
16.02	0.00066	16,02	0,0010256
16.5	0.00064	16,5	0,0010209
17.12	0.00063	17,12	0,0010152
17.54	0.00066	17,54	0,0010114

Tabel 6 menunjukkan perbandingan data yang didapatkan melalui eksperimen, dengan data yang didapatkan melalui perhitungan teoritis untuk eksperimen 4 *considerate damping*. Terlihat bahwa pada eksperimen, sistem beresonansi pada frekuensi 14,52 Hz dengan tinggi amplitudo 0.00094 m, dan pada perhitungan teoritis, didapatkan bahwa sistem beresonansi pada 11,96 Hz, dengan tinggi amplitudo 0.0010604 m. Terdapat perbedaan yang mencolok antara hasil eksperimen dan perhitungan teoritis ini, menyoroti potensi adanya faktor-faktor yang mempengaruhi respons sistem.



Gambar 3. Grafik Eksperimen Getaran Paksa

Gambar 3 menunjukkan hasil dari eksperimen *forced oscillation*, masing-masing variasi dapat dilihat pada garis plot yang berbeda. Didapatkan bahwa terjadinya fenomena resonansi pada setiap variasi percobaan, pada frekuensi yang berbeda-beda. Pada variasi *no damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 8.72 Hz, dengan tinggi amplitudo 0.0158 m. Pada variasi *slight damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 9.01 Hz, dengan tinggi amplitudo 0.00958 m. Pada variasi *moderate damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 10.99 Hz, dengan tinggi amplitudo 0.00353 m. Pada variasi *considerate damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 9.49 Hz, dengan ketinggian amplitudo 0.064 m. Hasil data yang dijadikan sebuah grafik, menunjukkan pengaruh dari variasi peredaman yang dilakukan terhadap sistem getaran paksa, dan memberikan bayangan visual bagaimana sebuah redaman dapat mempengaruhi sistem tersebut.



Gambar 4. Grafik Teoritis Getaran Paksa

Gambar 4 menunjukkan hasil teoritis *forced oscillation*, masing-masing variasi dapat dilihat pada garis plot yang berbeda. Pada variasi *no damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 8.5 Hz, dengan tinggi amplitudo 0,088 m. Pada variasi *slight damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 8.6 Hz, dengan tinggi amplitudo 0,0114 m. Pada variasi *moderate damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 8.7 Hz, dengan tinggi amplitudo 0,0066 m. Pada variasi *considerate damping*, didapatkan bahwa resonansi terjadi pada frekuensi 11.96 Hz, dengan ketinggian amplitudo 0,0011 m. Hasil data yang dijadikan sebuah grafik, menunjukkan pengaruh dari variasi peredaman yang dilakukan terhadap sistem getaran paksa, dan memberikan bayangan visual bagaimana sebuah redaman dapat mempengaruhi sistem tersebut.

Kesimpulan

Perbandingan hasil eksperimen forced oscillation dengan hasil teoritis dari eksperimen didapatkan bahwa:

Tabel 7. Perbandingan Hasil Eksperimen dengan Teoritis Secara Keseluruhan

Perbandingan Resonansi Forced Oscillation				
<i>Experiment No.</i>	<i>Experiment Resonance Frequency in Hz</i>	<i>Experiment Resonance Amplitude in m</i>	<i>Theoretical Resonance Frequency in Hz</i>	<i>Theoretical Resonance Amplitude in m</i>
1	8.72	0.0158	8.53	0.0881
2	9.01	0.0096	8.60	0.0114
3	10.99	0.0035	8.70	0.0066
4	14.52	0.0009	11.96	0.0011

Tabel 7 menunjukkan perbandingan dari nilai hasil eksperimen dengan nilai hasil perhitungan teoritis. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa didapaknya frekuensi resonansi pada keempat eksperimen yang terjadi pada frekuensi 8.72 Hz, 9.01 Hz, 10.99 Hz, dan 14.52 Hz, sedangkan pada hasil teoritis didapatkan bahwa resonansi pada keempat percobaan terjadi pada frekuensi 8.53 Hz, 8.60 Hz, 8.70 Hz, dan 11.96 Hz. Terdapat juga perbedaan nilai pada ukuran amplitudo resonansi keempat eksperimen, yang dimana amplitudo eksperimen lebih kecil jika dibandingkan dengan amplitudo teoritis, hal ini masuk akal mengingat terdapat faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi osilasi yang terjadi seperti simplifikasi dan asumsi pada model teoritis, pengaturan peralatan eksperimen yang tidak sempurna, pengukuran yang tidak sempurna, redaman berupa gesekan udara, kondisi lingkungan, dan *human error*.

Daftar Pustaka

- Garus, S., (2022), "Mechanical vibrations: recent trends and engineering applications", *Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences, Technical Sciences*, Vol. 70 (1) pp. e140351.
- Pozhalostin, A., A. (2020), "Small vibrations of mechanical systems in the case of degenerate eigenvalues", *J. Phys.: Conf. Ser.* 1679 022014.
- Yaroshevich, N., (2020), "Slow oscillations in systems with inertial vibration excitors", *Vibroengineering Procedia*, Vol. 32.
- Ershov, D., Y., (2019), "Defining free damped oscillation in technological systems", *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 537 032035.