

PENGARUH REDAMAN OLI GETARAN PAKSA DENGAN MASSA *UNBALANCE* SISTEM SATU DERAJAT KEBEBASAN

Ahmad Kholil, Sirojuddin, Moch Banu Harjana

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik

Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Jakarta Timur, Indonesia, 13220

e-mail: ach_cholil@yahoo.com

Abstrak

Vibration apparatus sistem satu derajat kebebasan teredam merupakan salah satu alat simulasi uji getaran yang dapat mensimulasikan fenomena getaran sistem massa-pegas-redaman dengan pemaksa unbalance. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui frekuensi pribadi sistem dan efek redaman pada beberapa massa unbalance terhadap perubahan frekuensi eksitasi. Oli redaman yang digunakan adalah SAE 20 dan 30. Dari hasil pengujian bahwa semakin kental viskositas redaman, semakin besar efek redaman untuk menurunkan amplitudo pada sistem yang bergetar. Dalam pengujian tersebut, diperoleh rasio redaman 0.2435 untuk oli SAE 20 dan 0.4331 untuk oli SAE 30.

Kata kunci: redaman, oli, getaran.

1. Pendahuluan

Salah satu masalah dari suatu mesin adalah getaran yang di hasilkan oleh mesin itu sendiri. Getaraan sangat berpengaruh terhadap struktur dan kontruksi mesin. Getaran yang melebihi getaran yang diijinkan akan menyebabkan patah atau lelah pada komponen mesin tersebut. Untuk menghindari dan mencegah terjadi hal-hal tersebut, maka harus dilakukan pengukuran getaran pada mesin. Hasil pengukuran getaran dapat dijadikan patokan untuk memperoleh sumber getaran dan kemudian dilakukan identifikasi komponen mesin yang mengalami kerusakan untuk melakukan penggantian komponen mesin yang baru.

Getaran memiliki banyak definisi, secara luas diartikan sebagai gerakan bolak-balik komponen mekanik suatu mesin sebagai reaksi dari adanya gaya dalam (gaya yang dihasilkan dari mesin tersebut) maupun gaya luar (gaya yang berasal dari luar atau sekitar mesin). Pada dasarnya, getaran yang berlebihan disebabkan oleh gaya eksitasi getaran

yang berasal dari mesin tersebut yang berkaitan dengan:

1. Kondisi yang tidak seimbang baik statis maupun dinamis yang berasal dari mesin tersebut;
2. *Crash* atau cacat yang terjadi pada elemen rotasi seperti pada bearing rusak, impeller macet;
3. Ketidak sempurnaan bagian atau fungsi mesin tersebut.

Getaran terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu *massa*, pegas, peredam, dan gaya eksitasi. Energi dapat disimpan didalam *massa* dan pegas, sedangkan peredam hanya menyerap energi dalam wujud panas. Energi masuk ke dalam sistem melalui penerapan gaya eksitasi yang dikenakan pada *massa* tersebut. Mesin yang ideal tidak akan bergetar melebihi getaran yang diijinkan karena energi diterima sepenuhnya untuk fungsi mesin itu sendiri. Dalam kenyataannya, mesin dirancang sebaik-baiknya agar getaran yang dihasilkan relatif rendah tetapi, dalam jangka waktu yang relatif lama akan terjadi kenaikan level getaran. Hal tersebut disebabkan oleh: Keausan pada elemen mesin; Proses pemantapan pondasi (*base plante*) sedemikian rupa sehingga terjadi deformasi

dan mengakibatkan misalignment pada poros;Perubahan perilaku dinamik pada mesin sehingga terjadi perubahan frekuensi.

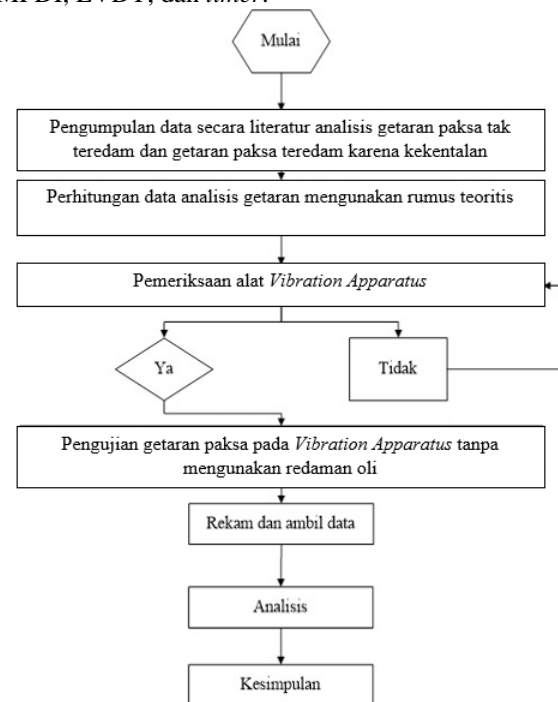
Analisis ciri mekanik memungkinkan pemanfaatan sinyal getaran untuk mengetahui kondisi mesin tersebut tanpa membongkar mesin tersebut, sehingga dapat dimanfaatkan untuk analisis lebih lanjut dalam perbaikan pada kerusakan yang terjadi. Dengan melakukan analisis getaran secara berkala, maka sesuatu yang tidak normal pada mesin dapat dideteksi sebelum kerusakan yang lebih besar.

Dalam menganalisis suatu getaran yang kompleks, maka memerlukan alat simulasi uji getaran yang terdiri dari pegas, massa, peredam dan gaya eksitasi. Dalam hal ini, alat *vibration apparatus* dijadikan sebuah alat simulasi untuk menguji getaran dengan massa *unbalance* sistem satu derajat kebebasan. Derajat kebebasan sistem adalah jumlah koordinat bebas yang digunakan untuk menggambarkan gerak suatu sistem. Getaran yang terjadi karena adanya gaya rangsang dari luardisebutgetaran paksa. Jika rangsangan itu beresilasi atau bergetar, maka sistem dipaksa bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi yang besar akan membahayakan sistem tersebut mungkin terjadi. Jika getaran yang terjadi sama atau lebu lebih besar dari frekuensi pribadi sistem, getaran tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada sistem. Untuk menghindari terjadinya resonansi yang berlebihan pada sistem, maka harus dibuat peredam yang dapat membatasi amplitudo osilasi pada waktu resonansi.

2. Metode Penelitian

Pengujian *massa* tidak seimbang dengan metode eksperimen yang dilakukan oleh penguji untuk menganalisis besaran getaran pada mesin yang sedang berputar dengan massa tidak seimbang menggunakan alat simulasi *vibration apparatus* sistem satu derajat kebebasan teredam dengan oli SAE 20 dan 30 sebagai media

redamannya. Selanjutnya penguji melakukan analisis alat simulasi getaran paksa tak teredam dengan menggunakan perhitungan matematis untuk mengetahui pendekatan alat simulasi yang dibuat dengan rumus getaran yang sudah baku. Setelah selesai menganalisis alat uji, peneliti menguji alat simulasi getaran paksa takteredam untuk mengetahui seberapa efektifkah efek redaman terhadap getaran sistem. Kemudian peneliti menguji getaran paksa teredam dengan redaman oli SAE 20 dan 30 pada interval kecepatan putaran 0 sampai dengan putaran 400 RPM dengan selisi 10 RPM dan menggunakan massa unbalance 10 gram, 15 gram, 20 gram dan 25 gram sebagai gaya pengekstiasinya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan MPDI, LVDT, dan *timer*.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

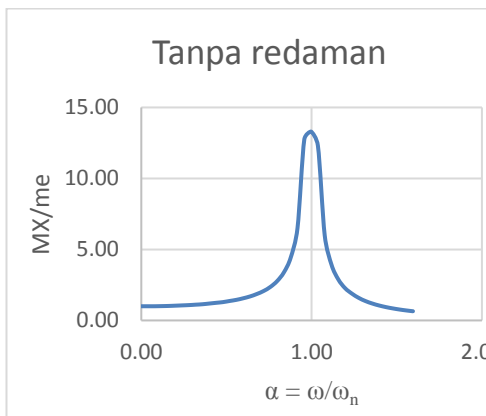
3. Hasil Penelitian

3.1 Pengujian getaran tanpa redaman massa unbalance 10 gram.

$$\frac{MX}{me} = \frac{1}{\sqrt{(1-\alpha^2)^2}}$$

Tabel 1 Hasil pengujian getaran tanpa redaman unbalance 10 gram.

| No | RPM | $\alpha = \frac{\omega}{\omega_n}$ | MX mg | Tanpa Redaman | | t (detik) | Keterangan |
|----|-----|------------------------------------|----------|---------------|----------|--------------|------------|
| | | | | A + (mm) | A - (mm) | | |
| 1 | 0 | 0.00 | 1.00 | - | - | 10 | Tidak ber |
| 2 | 10 | 0.04 | 1.00 | - | - | 10 | Tidak ber |
| 3 | 20 | 0.08 | 1.00 | - | - | 10 | Tidak ber |
| 4 | 30 | 0.12 | 1.01 | - | - | 10 | Tidak ada |
| 5 | 40 | 0.16 | 1.02 | - | - | 10 | Tidak ada |
| 6 | 50 | 0.20 | 1.04 | - | - | 10 | Tidak ada |
| 7 | 60 | 0.24 | 1.06 | 0.10 | 0,1 | 10 | Osilasi |
| 8 | 70 | 0.28 | 1.08 | 0.10 | 0,1 | 10 | Osilasi |
| 9 | 80 | 0.32 | 1.11 | 0,1 | 0,1 | 10 | Osilasi |
| 10 | 90 | 0.36 | 1.14 | 0.10 | 0,1 | 10 | Osilasi |
| 11 | 100 | 0.40 | 1.19 | 0.10 | 0,1 | 10 | Osilasi |
| 12 | 110 | 0.44 | 1.24 | 0.10 | 0,1 | 10 | Osilasi |
| 13 | 120 | 0.48 | 1.29 | 0.10 | 0,1 | 10 | Osilasi |
| 14 | 130 | 0.52 | 1.37 | 0.10 | 0,2 | 10 | Osilasi |
| 15 | 140 | 0.56 | 1.45 | 0.10 | 0,2 | 10 | Osilasi |
| 16 | 150 | 0.60 | 1.56 | 0.10 | 0,2 | 10 | Osilasi |
| 17 | 160 | 0.64 | 1.69 | 0.20 | 0,2 | 10 | Osilasi |
| 18 | 170 | 0.68 | 1.86 | 0.20 | 0,3 | 10 | Osilasi |
| 19 | 180 | 0.72 | 2.07 | 0.10 | 0,2 | 10 | Osilasi |
| 20 | 190 | 0.76 | 2.36 | 0.10 | 0,3 | 10 | Osilasi |
| 21 | 200 | 0.80 | 2.77 | 0.70 | 0,6 | 10 | Osilasi |
| 22 | 210 | 0.84 | 3.39 | 13.70 | 18,7 | 10 | Osilasi |
| 23 | 220 | 0.88 | 4.43 | 27.30 | 3,59 | 10 | Osilasi |
| 24 | 230 | 0.92 | 6.51 | 29.90 | 32,7 | 10 | Osilasi |
| 25 | 240 | 0.96 | 12.75 | 26.60 | 36,2 | 10 | Osilasi |
| 26 | 250 | 1.00 | - | 49.70 | 47,1 | 10 | Resona |
| 27 | 260 | 1.04 | 12.31 | 13.10 | 28,8 | 10 | Osilasi |
| 28 | 270 | 1.08 | 6.01 | 12.50 | 13,7 | 10 | Osilasi |
| 29 | 280 | 1.12 | 3.93 | 13.00 | 18,9 | 10 | Osilasi |
| 30 | 290 | 1.16 | 2.89 | 7.50 | 15,0 | 10 | Osilasi |
| 31 | 300 | 1.20 | 2.27 | 9.90 | 12,1 | 10 | Osilasi |
| 32 | 310 | 1.24 | 1.89 | 9.54 | 10,23 | 10 | Osilasi |
| 33 | 320 | 1.28 | 1.59 | 9.23 | 9,43 | 10 | Osilasi |
| 34 | 330 | 1.32 | 1.37 | 8.23 | 9,27 | 10 | Osilasi |
| 35 | 340 | 1.36 | 1.19 | 6.63 | 7,22 | 10 | Osilasi |
| 36 | 350 | 1.40 | 1.05 | 6.61 | 7,10 | 10 | Osilasi |
| 37 | 360 | 1.44 | 0.94 | 5.45 | 5,27 | 10 | Osilasi |
| 38 | 370 | 1.48 | 0.85 | 5.21 | 4,13 | 10 | Osilasi |
| 39 | 380 | 1.52 | 0.77 | 4.43 | 3,22 | 10 | Osilasi |
| 40 | 390 | 1.56 | 0.70 | 3.12 | 3,26 | 10 | Osilasi |
| 41 | 400 | 1.60 | 0.65 | 2.56 | 2,46 | 10 | Osilasi |



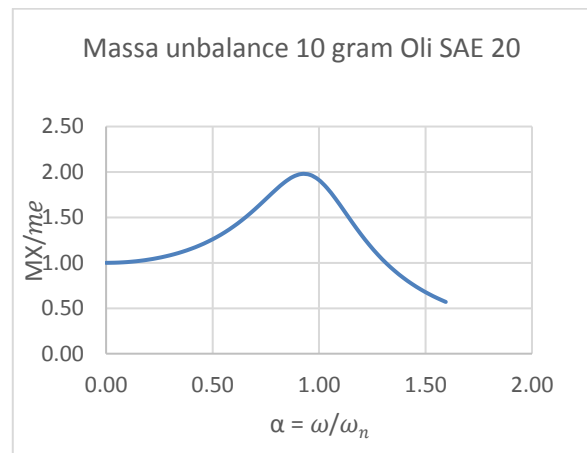
Gambar 2. Grafik rasio amplitudo tanpa redaman.

3.2 Pengujian getaran teredam massa unbalance 10 gram (SAE 20).

$$\frac{MX}{me} = \frac{1}{\sqrt{(1-\alpha^2)^2 + 4 \cdot \zeta^2 \cdot \alpha^2}}$$

Tabel 2 Hasil pengujian getaran teredam oli SAE 20 pada unbalance 10 gram.

| No | RPM | $\alpha = \frac{\omega}{\omega_n}$ | MX me | Oli SAE 20 | | $\delta = \ln \frac{X1}{X2}$ (mm) | $\zeta = \frac{\delta}{2\pi}$ | t (detik) | Keterangan |
|----|-----|------------------------------------|----------|------------|------------|--------------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|
| | | | | X1 (mm) | X2 (mm) | | | | |
| 1 | 0 | 0.00 | 1.00 | - | - | - | - | 10 | Tidak berputar |
| 2 | 10 | 0.04 | 1.00 | - | - | - | - | 10 | Tidak berputar |
| 3 | 20 | 0.08 | 1.01 | - | - | - | - | 10 | Tidak berputar |
| 4 | 30 | 0.12 | 1.01 | - | - | - | - | 10 | Tidak berputar |
| 5 | 40 | 0.16 | 1.02 | - | - | - | - | 10 | Tidak berputar |
| 6 | 50 | 0.20 | 1.04 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 7 | 60 | 0.24 | 1.05 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 8 | 70 | 0.28 | 1.07 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 9 | 80 | 0.32 | 1.09 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 10 | 90 | 0.36 | 1.12 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 11 | 100 | 0.40 | 1.15 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 12 | 110 | 0.44 | 1.19 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 13 | 120 | 0.48 | 1.23 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 14 | 130 | 0.52 | 1.28 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 15 | 140 | 0.56 | 1.34 | - | - | - | - | 10 | Tidak ada osilasi |
| 16 | 150 | 0.60 | 1.40 | 3.3 | 0.6 | 1.7047 | 0.2715 | 10 | Osilasi |
| 17 | 160 | 0.64 | 1.47 | 3.5 | 0.7 | 1.6094 | 0.2563 | 10 | Osilasi |
| 18 | 170 | 0.68 | 1.55 | 3.6 | 0.7 | 1.6376 | 0.2608 | 10 | Osilasi |
| 19 | 180 | 0.72 | 1.63 | 4.0 | 0.8 | 1.6044 | 0.2555 | 10 | Osilasi |
| 20 | 190 | 0.76 | 1.72 | 4.5 | 0.9 | 1.6094 | 0.2563 | 10 | Osilasi |
| 21 | 200 | 0.80 | 1.81 | 4.7 | 1.0 | 1.5412 | 0.2454 | 10 | Osilasi |
| 22 | 210 | 0.84 | 1.89 | 4.8 | 0.9 | 1.6719 | 0.2662 | 10 | Osilasi |
| 23 | 220 | 0.88 | 1.95 | 5.0 | 0.9 | 1.7168 | 0.2734 | 10 | Osilasi |
| 24 | 230 | 0.92 | 1.98 | 5.2 | 1.1 | 1.5533 | 0.2473 | 10 | Osilasi |
| 25 | 240 | 0.96 | 1.97 | 5.3 | 1.0 | 1.6752 | 0.2668 | 10 | Osilasi |
| 26 | 250 | 1.00 | 1.92 | 5.5 | 1.0 | 1.6956 | 0.2700 | 10 | Osilasi |
| 27 | 260 | 1.04 | 1.83 | 5.5 | 1.1 | 1.6058 | 0.2557 | 10 | Osilasi |
| 28 | 270 | 1.08 | 1.71 | 5.7 | 1.2 | 1.5564 | 0.2478 | 10 | Osilasi |
| 29 | 280 | 1.12 | 1.58 | 6.3 | 1.2 | 1.6646 | 0.2651 | 10 | Osilasi |
| 30 | 290 | 1.16 | 1.44 | 7.2 | 1.3 | 1.7131 | 0.2728 | 10 | Osilasi |
| 31 | 300 | 1.20 | 1.32 | 7.7 | 1.4 | 1.6982 | 0.2704 | 10 | Osilasi |
| 32 | 310 | 1.24 | 1.20 | 7.9 | 1.6 | 1.5956 | 0.2541 | 10 | Osilasi |
| 33 | 320 | 1.28 | 1.09 | 8.8 | 1.8 | 1.5892 | 0.2531 | 10 | Osilasi |
| 34 | 330 | 1.32 | 1.00 | 9.1 | 2.0 | 1.5096 | 0.2404 | 10 | Osilasi |
| 35 | 340 | 1.36 | 0.91 | 9.8 | 1.9 | 1.6446 | 0.2619 | 10 | Resonansi |
| 36 | 350 | 1.40 | 0.84 | 9.2 | 2.0 | 1.5271 | 0.2432 | 10 | Osilasi |
| 37 | 360 | 1.44 | 0.77 | 8.6 | 1.5 | 1.7416 | 0.2773 | 10 | Osilasi |
| 38 | 370 | 1.48 | 0.71 | 8.3 | 1.5 | 1.7156 | 0.2732 | 10 | Osilasi |
| 39 | 380 | 1.52 | 0.66 | 8.2 | 1.6 | 1.6353 | 0.2604 | 10 | Osilasi |
| 40 | 390 | 1.56 | 0.61 | 7.4 | 1.3 | 1.7432 | 0.2776 | 10 | Osilasi |
| 41 | 400 | 1.60 | 0.57 | 7.0 | 1.2 | 1.7664 | 0.2813 | 10 | Osilasi |

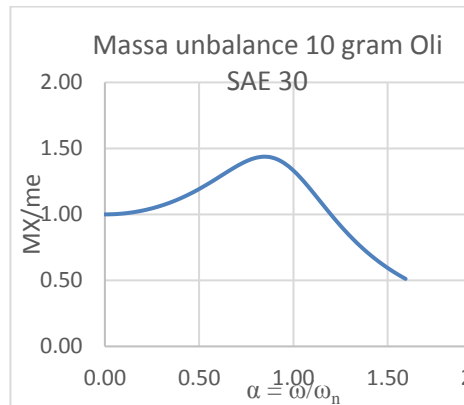


Gambar 3. Grafik rasio amplitudodengan redaman oli SAE 20 pada massa unbalance 10 gram.

Grafik diatas memiliki nilai rasio redaman 0.2617 menandakan bahwa redaman masih memiliki efek untuk menyerap getaran yang dihasilkan oleh vibration apparatus. Dalam hal

ini, redaman tersebut dapat dikatakan kondisi *underdamped* karena masih bisa meredam getaran pada *vibration apparatus*.

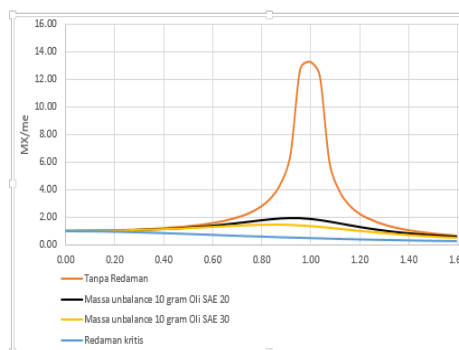
3.3 Pengujian getaran teredam massa unbalance 10 gram (SAE 30).



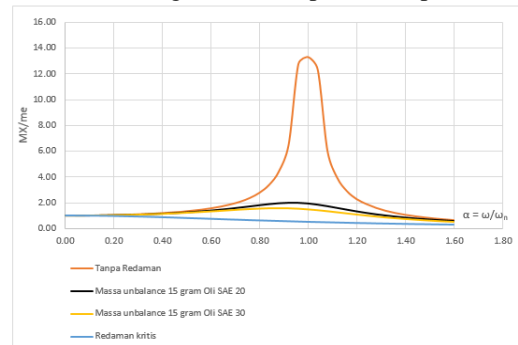
Gambar 4. Grafik rasio amplitudo dengan redaman oli SAE 30 pada massa unbalance 10 gram.

Grafik diatas memiliki nilai rasio redaman 0.3753 menandakan bahwa redaman masih memiliki efek untuk menyerap getaran yang dihasilkan oleh *vibration apparatus*. Dalam hal ini, redaman tersebut dapat dikatakan kondisi *underdamped* karena masih bisa meredam getaran pada *vibration apparatus*.

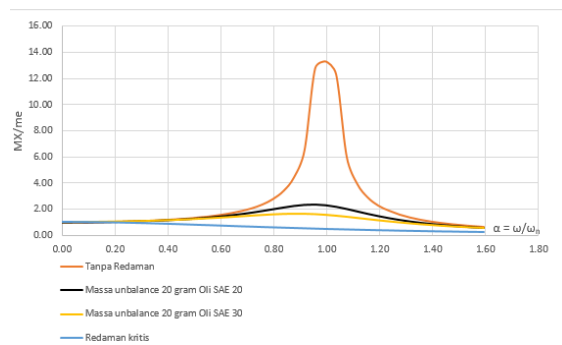
Efek redaman oli SAE 20 dan 30 massa unbalance 15 gram, 20 gram, 25 gram metodenya sama dengan pengujian sebelumnya. Berikut adalah hasil dari pengujian beberapa redaman terhadap massa unbalance pada beberapa frekuensi eksitasi.



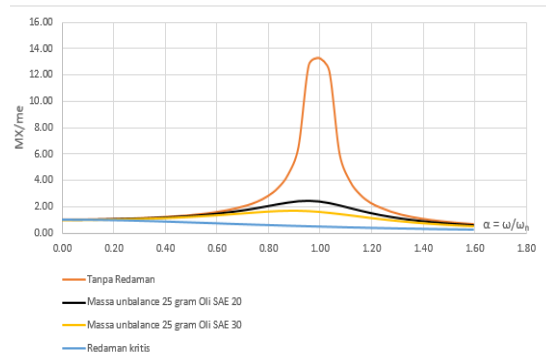
Gambar 5. Grafik pengaruh efek redaman massa unbalance 10 gram terhadap rasio amplitudo.



Gambar 6 Grafik pengaruh efek redaman massa unbalance 15 gram terhadap rasio amplitudo.



Gambar 7 Grafik pengaruh efek redaman massa unbalance 20 gram terhadap rasio amplitudo.



Gambar 8 Grafik pengaruh efek redaman massa unbalance 25 gram terhadap rasio amplitudo.

Tabel 3. Rasio redaman dan frekuensi

| SAE | m (gram) | ζ | | Resonansi (RPM) | Amplitudo (mm) |
|-----|-------------|---------|----------|--------------------|-------------------|
| | | Teori | Uji coba | | |
| 20 | 10 | 0.2439 | 0.2617 | 340 | 9.8 |
| | 15 | 0.2436 | 0.2542 | 330 | 10.1 |
| | 20 | 0.2433 | 0.2204 | 320 | 10.5 |
| | 25 | 0.2431 | 0.2115 | 300 | 10.7 |
| 30 | 10 | 0.4338 | 0.3753 | 360 | 8.8 |
| | 15 | 0.4333 | 0.3424 | 350 | 7.3 |
| | 20 | 0.4328 | 0.3237 | 340 | 9.5 |
| | 25 | 0.4324 | 0.3137 | 330 | 10.2 |

Tabel 4. Frekuensi natural dan resonansi

| No | m (gram) | ω_n (RPM) | |
|----|-------------|------------------|-----------|
| | | Teori | Pengujian |
| 1 | 10 | 250.76 | 250 |
| 2 | 15 | 250.48 | 250 |
| 3 | 20 | 250.20 | 240 |
| 4 | 25 | 249.93 | 240 |

4. Kesimpulan

Efek redaman oli SAE 20 dan SAE 30 sangat berpengaruh terhadap penurunan rasio amplitudo dan memperlambat sistem beresonansi sehingga bisa mencegah kerusakan pada sistem yang bergetar.

- a. Hasil dari pengujian dan analisis getaran paksa tak teredam didapatkan frekuensi natural berdasarkan perhitungan teoritis untuk massa 10 gram yaitu 250.76 RPM sedangkan fenomena resonansi menurut eksperimen yaitu pada putaran 250 RPM. Massa 15 gram frekuensi natural pada putaran 250.48 RPM dan resonansi getaran pada pengujian terjadi pada putaran 250 RPM. Massa 20 gram memiliki frekuensi natural sebesar 250.20 RPM sedangkan pada pengujian mengalami resonansi pada putaran 240 RPM. Massa 25 gram memiliki frekuensi pribadi 249.93 RPM sedangkan dalam pengujian mengalami resonansi pada putaran 240 RPM. Data hasil pengujian alat simulasi getaran paksa *vibration apparatus* adanya perbedaan disebabkan oleh banyak faktor yaitu kurangnya tingkat ketelitian pada saat pengukuran, adanya gesekan antar rangka *vibration*

apparatus yang menyebabkan pengukuran LVDT tidak maksimal. Dengan adanya faktor penghambat tersebut, maka akan berpengaruh dalam pengujian alat.

- b. Hasil pengujian getaran paksa teredam karena efek redaman oli SAE 20 dengan nilai rasio redaman 0.2435 yaitu pada pengujian getaran massa *unbalance* 10 gram mulai beresonansi pada putaran 150 RPM dan beresonansi pada putaran 340 RPM di amplitudo maksimum 9.8 mm, pada pengujian getaran massa *unbalance* 15 gram mulai beresonansi pada putaran 140 RPM dan beresonansi pada putaran 330 RPM di amplitudo maksimum 10.1 mm, sedangkan pada pengujian getaran massa *unbalance* 20 gram mulai beresonansi pada putaran 120 RPM dan beresonansi pada putaran 320 RPM di amplitudo maksimum 10.4 mm, massa 25 gram mulai beresonansi pada putaran 110 RPM dan beresonansi pada putaran 300 RPM pada amplitudo maksimal 10.7 mm.
- c. Hasil pengujian getaran paksa teredam karena efek redaman oli SAE 30 yang memiliki rasio redaman 0.4331 (*underdamped*) yaitu pada pengujian getaran massa *unbalance* 10 gram mulai beresonansi pada putaran 160 RPM dan beresonansi pada putaran 360 RPM di amplitudo maksimum 8.8 mm, pada pengujian getaran massa *unbalance* 15 gram mulai beresonansi pada putaran 160 RPM dan beresonansi pada putaran 360 RPM di amplitudo maksimum 7.3 mm, sedangkan pada pengujian getaran massa *unbalance* 20 gram mulai beresonansi pada putaran 140 RPM dan beresonansi pada putaran 340 RPM di amplitudo maksimum 9.5 mm, dan pengujian massa *unbalance* 25 gram mulai beresonansi pada putaran 130 RPM sedangkan beresonansi pada putaran 330 RPM di amplitudo maksimum 10.2 mm.
- d. Semakin kental viskositas peredam, semakin besar efek redaman untuk menurunkan amplitudo pada sistem yang bergetar. Dalam pengujian tersebut, maka diperoleh hasil rasio redaman 0.2435 untuk oli SAE 20 dan 0.4331 untuk oli SAE 30. Dari data tersebut, efek redaman terbesar pada oli SAE 30.

Daftar Pustaka

- [1] S.G. Kelly. 1996. *Theory and Problems of Mechanical Vibration*. Schaum's Outline Series. McGraw-Hill, New York.
- [2] S. Rao Singiresu. 1995. *Mechanical Vibration*. Third Edition, United States Of America: Addison weasley publishing company.
- [3] Thomson T. William. 1986. *Teori Getaran dengan Penerapan*, terj. Lea Prasetyo. Erlangga: Jakarta.
- [4] Bolton, W. 2008. *Sistem Instrumentasi dan Sistem Kontrol*. Erlangga: Jakarta.
- [5] Hutahaean, Ramses. 2012. *Getaran Mekani*. Penerbit Andi: Yogyakarta.
- [6] Karyasa, Tungga Bhimadi. 2011. *Dasar-dasar Getaran Mekanik*. Andi: Yogyakarta.
- [7] Meirovites, L. *Element of Vibration*. McGraw-Hill, Inc. 1975