

"Rancangan Alat Ukur Bobot Massa Manusia Untuk Laboratorium"

Wahyu Nirbito, Angky F. Setiawan
Departemen Teknik Mesin – Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, Jawa Barat 16424
E-mail: bito@eng.ui.ac.id

ABSTRACT

An apparatus for measuring the size of human mass that is not influenced by gravitation had been designed and made. Data from the results of the implementation trial of the human mass measurement apparatus were processed according to free vibration theories, which gave the values of the human mass measurement results with an indicative mean error of 7.5% that is adequate for a prototype trial.

The measuring devices we have known are the weight force measuring apparatus or the so called "weight scale" which its results are depend on the local gravitation. In a gravitation free environment such as in the outer space laboratory, the weight scale is useless so the mass cannot be measured. However, the size of the human mass is one of the important parameters in biomedical research as well as in human health monitoring.

The understanding of one physics phenomenon that is common in around us, i.e. free vibration, in facts can bring up a solution for the mass measurement problem directly. Theoretically, the natural frequency of the free vibration of mass-spring system with a Coulomb damping is proportional to the oscillating mass. So therefore from the observation of the number of the oscillation of the mass in question, the size of the mass can be determined.

For the accurate measurement of the size of the human mass which independent to the gravitation, the technique and the implementation of such human mass measuring apparatus that is designed and developed in this research can be used, e.g. in a biomedical research.

Key words: Human Mass Measuring Apparatus, Free Vibration, Coulumb Damping, Biomedical Research

ABSTRAK

Satu alat ukur untuk mengetahui besarnya bobot massa manusia tanpa dipengaruhi oleh gravitasi telah dirancang dan dibuat. Data hasil percobaan implementasi alat ukur bobot massa manusia tersebut diatas diolah berdasarkan teori-teori getaran bebas, sehingga massa manusia yang diukur dapat ditentukan dengan kesalahan indikatif yang cukup memadai untuk satu prototype awal yaitu rata-rata 7,5%.

Alat ukur yang kita kenal selama ini adalah alat ukur gaya berat yang hasil pengukurannya tergantung pada besarnya gravitasi bumi setempat, sehingga pada lokasi bebas gravitasi seperti di laboratorium ruang angkasa gaya berat tersebut menjadi tidak dapat diukur. Padahal dalam penelitian biomedikal maupun pemantauan kesehatan terhadap manusia, besarnya massa adalah salah satu parameter terpenting.

Pemahaman terhadap getaran bebas, suatu fenomena fisika yang sering terjadi di sekitar kita ternyata secara langsung dapat memberikan solusi kepada kebutuhan pengukuran tersebut. Secara teoritis, frekuensi pribadi dari getaran bebas suatu sistem massa-pegas dengan peredaman Coulomb berbanding lurus dengan massa yang berosilasi. Dengan demikian dari hasil pengamatan terhadap jumlah osilasi dari massa yang akan diukur, maka besarnya bobot massa tersebut dapat ditentukan.

Untuk pengukuran besarnya bobot massa manusia yang akurat dimana pengaruh perbedaan gravitasi dihindari maka teknik dan implementasi alat ukur yang dikembangkan ini dapat digunakan seperti antara lain pada penelitian penelitian biomedikal.

Kata kunci : Alat Ukur Bobot, Massa Manusia, Getaran Bebas, Peredaman Coulumb, Penelitian Biomedikal

1.

PENDAHULUAN

Massa adalah ukuran bobot suatu benda yang merupakan suatu sifat yang sangat penting dari benda tersebut. Saat ini pengukuran massa biasanya dilakukan dengan menggunakan sebuah timbangan yang kerjanya dipengaruhi oleh gravitasi bumi. Sebenarnya yang diukur oleh alat tersebut adalah gaya berat ($F = m \cdot g$), sementara yang ditampilkan adalah skala massa (kg) melalui mekanisme konversi tertentu. Faktor konversi gravitasi rata-rata telah dimasukkan dalam mekanisme timbangan ke skala penunjuk. Walaupun demikian pada tempat-tempat yang memiliki besar nilai gravitasi berbeda-beda maka pengukuran yang dilakukan dapat menghasilkan nilai yang berbeda-beda pula.

Tujuan dari pengembangan alat ukur bobot massa manusia ini adalah untuk dapat digunakan sebagai suatu alat praktikum getaran mekanis, yang memanfaatkan konsep getaran bebas untuk mengukur massa manusia. Untuk tingkat lanjut dapat digunakan pula dalam penelitian biomedikal dimana pengukuran massa manusia yang

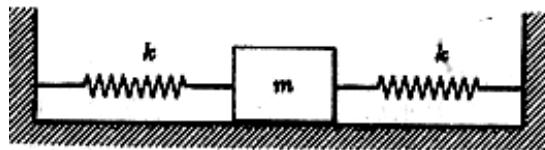
sebenarnya yang akurat sangat penting, apalagi untuk pemantauan kesehatan manusia yang beraktivitas dalam lingkungan tanpa gravitasi.

2. DASAR TEORI

Redaman coulomb diperoleh dari gesekan antara dua permukaan kering. Gaya redaman adalah sama dengan hasil kali gaya normal dengan koefisien gesekan μ dan dianggap tidak tergantung pada kecepatan, bila gerakan telah dimulai [1,2].

$$F = \mu \cdot N \quad (1)$$

Karena tanda gaya redaman selalu berlawanan dengan tanda kecepatan, maka persamaan diferensial gerak untuk tiap tanda hanya benar untuk selang setengah siklus.



Gambar 1. Sistem massa-2 pegas dengan peredaman Coulomb (gesekan)

Bila objek bergerak ke kanan dan dilepas, gaya yang bekerja adalah gaya pegas $k_{ekivalen} \cdot x$ dan gaya gesekan $\mu \cdot mg$. Kemudian $\Sigma F = ma$ menghasilkan:

$$-k_{ekivalen}x + \mu mg = m\ddot{x} \quad (2)$$

dengan penyelesaian,

$$x = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t + \mu mg \quad (3)$$

dari kondisi awal:

$$t = 0, \quad x = x_0,$$

$$t = 0, \quad \dot{x} = 0,$$

$$x_0 = A + \mu mg / k_{ekv}, \quad A = x_0 - \mu mg / k_{ekv}$$

$$\omega_n B = 0$$

Karena ω_n tidak selalu nol, maka $B = 0$. Oleh karena itu bentuk penyelesaiannya berbentuk:

$$x = (x_0 - \mu mg / k_{ekv}) \cos \omega_n t + \mu mg / k_{ekv} \quad (4)$$

Pada $t = \pi / \omega_n$, yakni pada ujung setengah siklus, pada posisi terjauh kiri

$$x = -(x_0 - \mu mg / k_{ekv}) + \mu mg / k_{ekv} = -x_0 + 2\mu mg / k_{ekv} \quad (5)$$

Tetapi akibat adanya peredam dalam sistem, amplitudo gerakan secara kontinu berkurang. Dengan demikian, kedudukan kiri terjauh pada ujung setengah siklus pertama, jarak objek dari pusat kedudukan tanpa tegangan adalah $x_0 - 2(\mu mg / k_{ekv})$. Dari kesamaan soal, dengan menggunakan alasan yang sama terhadap gerakan objek ke arah kanan dengan perpindahan awal $x_0 - 2(\mu mg / k_{ekv})$, dari pusat ke sebelah kiri, keadaan ini bisa disimpulkan objek akan sampai pada posisi kanan terjauh. Jarak dari kedudukan ini ke pusat kedudukan keseimbangan menjadi $x_0 - 4(\mu mg / k_{ekv})$.

Berarti selama setiap setengah siklus, amplitudo getaran berkurang sebesar $2(\mu mg / k_{ekv})$. Akhirnya objek akan berhenti pada salah satu kedudukan terjauh. Ini segera terjadi sesudah amplitudo lebih kecil dari $\mu mg / k_{ekv}$, karena disini gaya gesekan cukup besar untuk mengimbangi gaya pegas yang timbul. Dengan demikian, hal ini benar bahwa gerakan objek tidak harmonis sederhana, melainkan bentuk kurva perpindahan-waktu berubah pada setiap setengah siklus.

Untuk menentukan frekuensi pribadi teredam objek, persamaan gerakan dituliskan sebagai:

$$m\ddot{x} + k_{ekv}(x - \mu mg / k_{ekv}) = 0 \quad (6)$$

Ambillah $x' = x - \mu mg / k_{ekv}$;

lalu karena μmg konstan, $\dot{x}' = \dot{x}$ dan persamaan gerakan menjadi:

$$m\ddot{x}' + k_{ekv}x' = 0, \text{ dari sini diperoleh}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_{ekv}}{m}} \text{ rad/detik} \quad (7)$$

maka,

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{ekv}}} \text{ detik} \quad (8)$$

Jelas terlihat, bahwa frekuensi pribadi teredam objek sama dengan frekuensi pribadi tanpa teredam. Atau dengan kata lain, frekuensi getaran pribadi sistem tidak dipengaruhi oleh konstanta peredam [3,4].

Prinsip kerja-energi yang menyamakan kerja yang dilakukan dengan perubahan energi kinetik diaplikasikan untuk menentukan peluruhan amplitudo. Dengan memilih satu bagian setengah siklus yang dimulai dari posisi ekstrim dengan kecepatan yang sama dengan nol dan amplitudo sama dengan X_1 , maka perubahan energi kinetik adalah nol dan kerja yang dilakukan pada massa (m) adalah juga nol.

$$\frac{1}{2}k(X_1^2 - X_{-1}^2) - F_d(X_1 + X_{-1}) = 0 \quad (9)$$

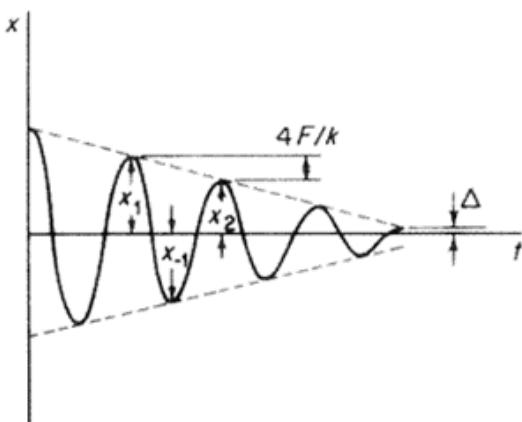
atau

$$\frac{1}{2}k(X_1 - X_{-1}) = F_d \quad (10)$$

Bila prosedur ini diulang untuk setengah siklus berikutnya, maka diperoleh pengurangan amplitudo lagi sebesar $2F_d/k$, sehingga peluruhan amplitudo per siklus adalah konstan dan sama dengan :

$$X_1 - X_2 = \frac{4F_d}{k} \quad (11)$$

Dengan X_1 adalah amplitudo setelah setengah siklus maka peluruhan amplitudo terjadi seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut



Gambar 2. Peluruhan amplitudo getaran bebas dengan peredaman Coulomb

Gerak osilasi akan berhenti, bila amplitudonya adalah lebih kecil dari Δ . Pada posisi itu gaya pegas tidak cukup untuk mengatasi gaya gesek statik yang biasanya lebih besar dari gaya gesek kinetic [5,6].

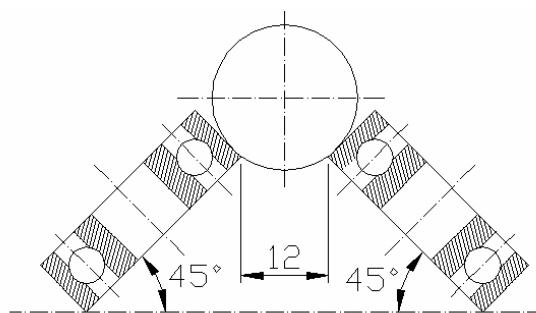
3. PENGEMBANGAN RANCANGAN ALAT

Prinsip kerja alat adalah mengukur massa dengan menggunakan prinsip getaran bebas dengan peredaman Coulomb. Dengan mengetahui konstanta pegas yang dipergunakan serta mengamati dan menghitung jumlah

gerak osilasi dalam satu jangka waktu tertentu maka frekuensi pribadi getaran bebas sistem dapat ditentukan, sehingga kemudian kita dapat menghitung berapa besarnya massa yang berosilasi itu. Alat ini dirancang dengan komponen yang terbagi menjadi lima komponen utama yaitu : 1)Landasan, 2)Kursi (tempat objek), 3)Penahan kursi, 4)Pegas, dan 5)Bantalan (Bearing).

3.1. PERANCANGAN BANTALAN

Bantalan dirancang sebagai tempat tumpuan bagi kursi tempat massa yang akan diukur. Dengan menggunakan bantalan maka kursi dapat bergerak bolak balik sebagai gerak osilasi. Jumlah bantalan yang digunakan adalah sebanyak 12 buah yang akan dipasangkan masing-masing berpasangan pada 6 buah titik. Masing-masing bantalan membentuk sudut 45° terhadap garis normal, sehingga pada dua buah bantalan yang berpasangan akan terbentuk sudut 90° yang berfungsi sebagai alur/rel tempat pipa pejal yang terpasang pada kursi menempuh dan berjalan di atasnya.



Gambar 4. Rancangan Konstruksi Pemasangan Bantalan

Diameter luar, $D = 30 \text{ mm}$

Lebar, $B = 9 \text{ mm}$

Basic load ratings :

- dynamic (C) = 5070 N
- Static (C_0) = 2360 N

Fatigue Load limit (P_u) = 100 N

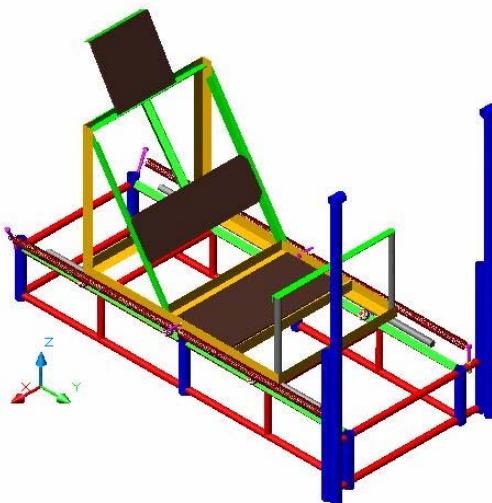
Massa = 0,032 kg

Jenis bantalan yang dipilih berdasarkan perhitungan adalah single row Deep Groove Ball Bearing. Jenis bantalan ini memiliki konstruksi yang sederhana, handal, membutuhkan sedikit perawatan, memiliki koefisien gesek yang kecil, dapat mengakomodasi beban aksial, radial dan juga kombinasinya, selain itu juga biasa digunakan pada berbagai aplikasi [7].

3.2. PERANCANGAN PEGAS

Berdasarkan perhitungan rancangan, pegas yang akan digunakan adalah sebanyak empat buah pegas tarik dimana akan disusun seperti gambar berikut ini, yaitu susunan pegas-massa-pegas dengan di masing-masing sisi terdapat dua pegas yang terpasang secara paralel. Dengan k_1 , k_2 , k_3 dan k_4 adalah konstanta pegas, m adalah massa benda dan x adalah besarnya simpangan. Simpangan massa sebesar x mengakibatkan perpanjangan pada pegas pertama dan kedua sebesar x , sementara pegas ketiga dan keempat tertekan sejauh x . Persamaan geraknya menjadi [8,9,10] :

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -(k_1 + k_2)x - (k_3 + k_4)x \\ &= -(k_1 + k_2 + k_3 + k_4)x \end{aligned} \quad (12)$$



Dengan melakukan perhitungan atas beban yang akan dipikul, menurut pedoman perhitungan dan pemilihan bantalan pada buku katalog bantalan maka pilihan bantalan yang digunakan dan memenuhi persyaratan perhitungan adalah :

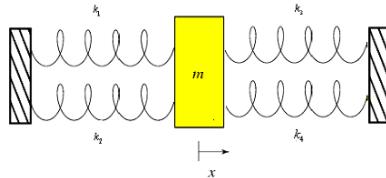
SKF, Deep groove ball bearings, single row, Serie 6200

Diameter dalam, $d = 10 \text{ mm}$

$$\ddot{x} = -\frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{m}x \quad (13)$$

maka konstanta efektif pegas sistem tersebut adalah $k_{eff} = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$, dan frekuensi osilasi massa adalah [11,12] :

$$\omega = \sqrt{\frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{m}} \quad (14)$$

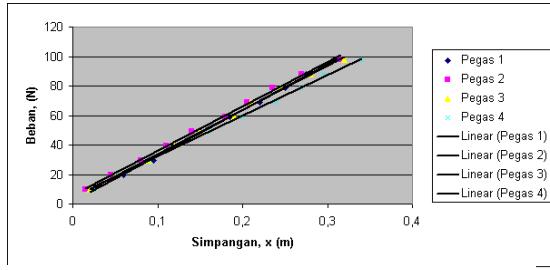


Gambar 5. Rancangan Susunan Pegas

Keempat pegas yang digunakan adalah pegas tarik dengan panjang awal sebesar 35 cm. Untuk dapat menghasilkan gerakan osilasi, pemasangan pegas dirancang sedemikian rupa sehingga pada posisi awal/titik keseimbangan masing-masing pegas akan mengalami perpanjangan awal sebesar ± 29 cm.

	Konstanta Pegas (N/m)	Massa Pegas (kg)	Massa Efektif Pegas $m_{eff} = \frac{1}{3}$ massa pegas
Pegas 1	317.75	0.38297	0.127657
Pegas 2	328.60	0.38652	0.128840
Pegas 3	316.70	0.38396	0.127987
Pegas 4	295.21	0.38566	0.128553
	$k_{eff} = 1258.26$	$\Sigma m = 1.53911$	$\Sigma m_{eff} = 0.513037$

Tabel 1. Nilai Pengukuran Konstanta dan Massa Pegas



Gambar 6. Grafik Linierisasi nilai konstanta pegas

4. PERCOBAAN DAN HASIL

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian penggunaan alat ukur massa manusia adalah sebagai berikut [13,14] :

1. Langkah I: Melakukan langkah-langkah penyetelan awal alat
2. Langkah II: Mempersiapkan alat ukur stopwatch dan alat tulis
3. Langkah III: Mendudukkan objek beban/orang di kursi sesuai dengan rancangan bentuk kursi agar objek yang ditimbang tidak bergerak (tidak terjadi perubahan titik pusat massa objek) yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.
4. Langkah IV: Pengukuran massa dilakukan dengan menarik atau mendorong kursi sejauh jarak tertentu dari posisi keseimbangannya (simpangan awal). Simpangan yang terjadi akan menyebabkan adanya gaya pegas yang berusaha mengembalikannya kembali ke posisi keseimbangan.
5. Langkah V: Melepaskan kursi dan objek yang sebelumnya ditarik/diberi simpangan. Gaya pegas akan menyebabkan kursi dan objek tersebut bergerak osilasi yang mengikuti konsep getaran bebas dengan peredaman coulomb/gesekan [15,16].
6. Langkah VI: Melakukan pengamatan dan pencatatan periode osilasi kursi dan objek yang merupakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu kali osilasi atau siklus getaran. Pencatatan periode dilakukan secara berturut-turut sebanyak delapan periode setiap kali percobaan (dilakukan dengan fasilitas *lap timing* pada stopwatch).

Pengukuran dilakukan sebanyak enam kali untuk masing-masing objek yang berbeda, sehingga untuk masing-masing objek akan didapat 48 buah data periode. Langkah selanjutnya yang akan dilakukan adalah melakukan pengolahan data-data periode tersebut dengan rumusan-rumusan yang telah ada untuk dapat mengetahui massa manusia/ objek.



Gambar 7. Pengujian Pengukuran Massa Manusia

Pengukuran dilakukan sebanyak enam kali untuk masing-masing objek yang berbeda, sehingga untuk masing-masing objek akan didapat 48 buah data periode. Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah melakukan pengolahan data-data periode tersebut dengan dasar teori getaran mekanis yang telah diturunkan untuk mendapatkan nilai-nilai massa manusia/objek yang diukur.

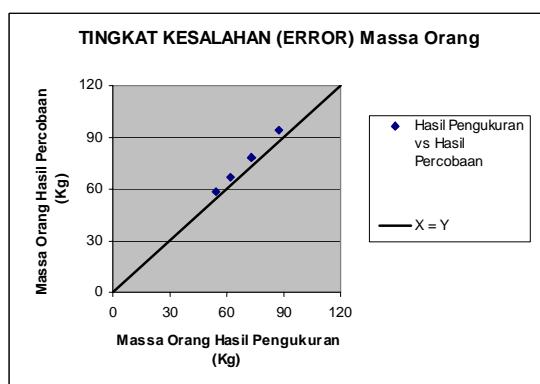
Objek Percobaan	Periode Rata-rata (detik)	X ₁ Massa Objek Hasil Percobaan (kg)	X ₂ Massa Objek Hasil Pengukuran (kg)	Error = $\frac{ X_1 - X_2 }{X_1} \times 100\%$
1	0,6625	13.9886307	14,713037	4,921988
2	1,517021	73.34893955	68,913037	6,436957
3	1,6	81,59257122	76,463037	6,708515
4	1,704167	92,56247454	88,113037	5,049693
5	1,851064	109,207766	102,613037	6,426794

Orang Ke-	X ₁ Massa Orang Hasil Percobaan (kg)	X ₂ Massa Orang Hasil Pengukuran (kg)	Error = $\frac{ X_1 - X_2 }{X_2} \times 100\%$
1	58,63590255	54,2	8,184322052
2	66,87953422	61,75	8,306938007
3	77,84943754	73,4	6,061904003
4	94,49472902	87,9	7,502535855

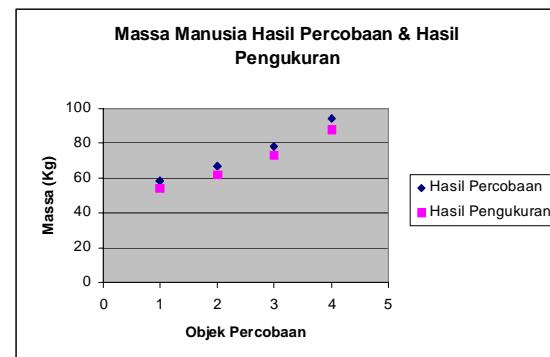
$$\overline{\text{Error}} = 7,513924979 \%$$

Tabel 2. Periode rata-rata, Massa yang diukur, dan penyimpangannya

Tabel 3. Massa orang rata-rata dari percobaan alat



Gambar 8. Grafik Hubungan antara nilai massa manusia dari percobaan terhadap nilai massa orang dari pengukuran



Gambar 9. Grafik Penyimpangan nilai Massa Manusia dari Percobaan dengan dari Pengukura

5. KONKLUSI

Alat ukur pengukur bobot massa manusia yang dikembangkan menggerakkan objek/manusia yang akan dijungi/diukur massanya, serta berosilasi dengan baik. Hal ini disebabkan mekanisme penggerak dirancang dengan menggunakan bantalan gelinding bola sehingga gesekan yang ditimbulkan adalah relatif kecil sekali, dan perancangan jenis serta susunan pegas yang digunakan mampu menghasilkan gerak osilasi yang baik dengan kehilangan energi yang sekecil mungkin [16,17,18,19].

Melalui pengujian alat, pengambilan data, pengolahan data dan perhitungan analisanya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Alat ukur bobot massa manusia beserta tekniknya dapat digunakan untuk melakukan pengukuran massa manusia.
2. Alat ukur bobot massa manusia yang dirancang dan dibuat ini masih memiliki penyimpangan hasil pengukuran/percobaan sekitar 7,51% terhadap nilai massa hasil penimbangan langsung dengan menggunakan alat timbangan biasa.
3. Periode osilasi dari suatu massa objek pada satu sistem massa-pegas dengan peredaman Coulomb hanya tergantung pada massa objek dan konstanta ekivalen pegas. Tidak dipengaruhi oleh besarnya simpangan dan gaya gesek yang ada, sesuai dengan rumusan: $\tau = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k_{ekv}}}$

6. REFERENSI

1. Thomson, William T dan Lea Prasetyo, “*Teori Getaran dengan Penerapan*”. Edisi ke-2, Penerbit Erlangga , Jakarta, 1992
2. Thomson, William T and Dahleh, Marrie Dillon, “*Theory Vibration With Application*”, 5th edition, Prentice Hall, New Jersey, 1998
3. Andrew D. Dimarogonas and Sam Haddad, “*Vibration For Engineers*”, Prentice Hall International Edition
4. William W. Seto dan Ir. Darwin Sebayang, “*Getaran Mekanis*” (Versi S1/ Metrik), Penerbit Erlangga, Jakarta 1992
5. Hamrock, Bernard J., Bo Jacobson and Steven R. Schmid, “*Fundamentals of Machine Elements*”, McGraw-Hill, Singapore, 1999
6. A.H. Church, John Wiley & Sons, Inc, “*Mechanical Vibration*”, Second edition, 1957
7. “*SKF General Catalogue*”, www.skf.com
8. “*M-6 Hooke's LAW*”, <http://www.lhup.edu/~dsimanek/scenario/labman1/hooke.htm>
9. “*Simple Harmonic Motion, Spring-Mass System*”, <http://www.emporia.edu/physics/keithron/college/b2/shm.htm>
10. “*Simple Harmonic Motion of a Spring-Mass System*”, <http://physics.nku.edu/GeneralLab/211%20Simple%20Harmonic%20Spring.html>
11. “*Conservation of Mechanical Energy*”, http://www.rit.edu/~uphysics/SPSP311/07Work_Energy/E105Lab/E105_MechanicalEnergy.htm
12. “*Spring-Two Springs and a Mass*”, http://scienceworld.wolfram.com/physics/SpringsTwoSpringsandaMass_.html
13. “*Measuring Mass In Space*”, http://groups.google.co.id/group/sci.space/browse_thread/thread/3d34c8df65f785bf/baea36e47f9de9b1?lnk=st&q=effective+mass+of+springs&rnum=5&hl=id#baea36e47f9de9b1
14. “*How do we weigh object in space?*” <http://curious.astro.cornell.edu/question.php?number=299>
15. “*Vibratory System*”, www.efunda.com
16. “*Vibrations*”, <http://personal.cityu.edu.hk/~bsapplec/forced.htm>
17. “*Dynamics and Vibrations*”, <http://www.engin.brown.edu/courses/en4/notes/Dampedvibes/Dampedvibes.html>
18. “*Damped Vibrations*”, http://www.plus2physics.com/vibrations/study_material.asp?chapter=2&page=2
19. “*Vibration Types*” http://www.mcasco.com/qa_vtype.html

