

## Kaji Teoritik Dan Eksperimental Bandul

**Akhyar, Amir Zaki Mubarak**

Depertemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala  
Kampus Darussalam Banda Aceh 23111  
E-mail : [akhyar\\_st@yahoo.com](mailto:akhyar_st@yahoo.com)

### Abstrak

*Semua sistem yang memiliki massa dan kekakuan dapat mengalami getaran bebas. Hal yang sangat menarik dari sistem ini adalah frekuensi pribadinya. Dalam prakteknya getaran yang terjadi adalah gerak harmonik sederhana dengan frekuensi yang berbeda. Dengan alat uji bandul kita juga dapat menganalisis gravitasi bumi dengan menggunakan persamaan getaran. Pada penelitian ini tiga jenis bandul yang digunakan antara lain yaitu bandul sederhana, bandul kawat besi dan bandul balok kayu. Metode yang dilakukan adalah dengan menganalisis teoritik dan eksperimental bandul juga membuktikan bahwa untuk sudut simpangan kecil, yang terjadi adalah gerak harmonik sederhana, massa tidak mempengaruhi perioda. Perioda hanya dipengaruhi oleh panjang batang, yaitu jarak antara titik tetap dengan pusat massa dan gravitasi, serta hasil analisis teoritik dan eksperimental bandul saling mendekati.*

*Kata kunci: frekuensi pribadi, gerak harmonik, perioda, gravitasi.*

### Pendahuluan

#### Latar Belakang

Semua sistem yang mempunyai massa dan kekakuan dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan dari luar. Hal yang menarik untuk sistem semacam itu adalah frekuensi naturalnya, Thamson,1995.

Getaran ditandai dengan perubahan secara periodik dari suatu perubahan besaran. Getaran dapat dilihat dimana-mana, misalnya pada ayunan, piston motor bakar yang bergerak naik turun dan sebagainya. Dilihat dari derajat kebebasan, getaran dapat dibagi menjadi, getaran satu derajat kebebasan, getaran dua derajat kebebasan dan getaran kontinyu Sujiatmo,1990. Derajat kebebasan adalah banyaknya koordinat yang diperlukan untuk menyatakan gerak getaran. Dilihat dari gangguan yang bekerja, getaran dapat berupa getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas adalah getaran yang tidak mempunyai gangguan, sedangkan getaran paksa adalah getaran yang mendapat gangguan secara terus menerus.

Dilihat dari bentuk persamaan differensial yang menyatakan gerak getaran, getaran dapat berupa getaran linier dan getaran nonlinear. Ada dua getaran yang umum, getaran bebas dan getaran paksa, getaran bebas terjadi pada sistem berosilasi karena bekerja gaya yang ada dalam sistem itu sendiri (*inherent*) dan tidak ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergetar pada satu atau lebih frekuensi pribadi (frekuensi natural) yang merupakan sifat sistem dinamik yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekakuannya Thamson,1995.

Getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar yang disebut getaran paksa. Jadi getaran itu berosilasi, maka sistem dapat dipaksa untuk bergerak pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan frekuensi natural (frekuensi pribadi) sistem, maka akan terjadi resonansi dan osilasi yang besar.

Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu kerana energi didisipasi oleh gesekan dan tahanan lainnya, biasanya sistem dimodelkan atas dasar tidak adanya redaman. Sebaliknya redaman adalah penting sekali untuk membatasi amplitudo osilasi pada waktu resonansi.

Getaran bebas merupakan getaran periodik yang diamati sebagai sistem yang berpindah dari kedudukan kesetimbangan statis, gaya yang bekerja adalah gaya pegas, gesekan dan berat massa. Dalam pelaksanaan getaran-getaran yang terjadi adalah periodik dan bukan gerak harmonik sederhana dengan frekuensi yang berbeda Titherington, 1984. Karena itu, maka analisa gerak harmonik sederhana sangat penting dalam teknik getaran.

#### Tujuan Penulisan

Percobaan gerak harmonik sederhana ini dilakukan dengan tujuan:

1. Menganalisis pengaruh massa terhadap perioda dari gerak harmonik sederhana.
2. Menganalisa pengaruh panjang batang yaitu jarak antara titik diam dengan pusat massa terhadap perioda bandul.
3. Menentukan harga percepatan gravitasi dengan menggunakan prinsip persamaan getaran.

#### Batasan Masalah

Dalam penelitian ini analisis sistem getaran bandul dilakukan dengan teoritik dan eksperimental (pengukuran). Bandul sederhana atau ayunan sederhana, terdiri dari tali yang ringan (tidak bermassa), tidak dapat merenggang dan diberi beban yang terpusat pada salah satu ujungnya, sedang ujung yang lainnya didikat pada titik tetap.

Bandul kawat besi atau ayunan kawat besi, suatu beban yang digantung pada sebatang kawat besi, yang merupakan ayunan yang massanya terpusat pada suatu titik yaitu gabungan titik pusat massa bandul.

Bandul yang digunakan pada bandul balok kayu atau ayunan balok kayu ini berupa balok kayu yang telah dibentuk dan memiliki massa  $m$ , kemudian ditambahkan dengan beban tambahan dengan massa ( $M$ ). Balok kayu dan beban tersebut kemudian digantung pada suatu titik tetap. Massa yang ditambahkan pada balok kayu dapat dipindah-pindahkan sepanjang ( $L$ ) satuan. Massa bandul terpusat pada suatu titik pusat massa beban.

Semua jenis bandul diatas pada kaji eksperimental (percobaan) gaya gesek bantalan serta gesek udara diabaikan. Material bandul dianggap homogen dengan batangnya.

#### Metode Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan dua bentuk analisis (kaji) yaitu secara teoritik dan eksperimental

##### Kaji Teoritik

Kaji teoritik dilakukan dengan cara menganalisis persamaan-persamaan gerak yang diperoleh dengan pemodelan sistem ayunan (bandul).

1. Membuat pemodelan sistem (diagram benda bebas)
2. Tinjauan gaya-gaya yang bekerja pada sistem tersebut
3. Gunakan hukum alam tentang kesetimbangan (hukum newton)

Dengan demikian akan didapat persamaan gerak (persamaan diferensial) atau persamaan matematik sistem, kemudian masukkan spesifikasi materi bandul kedalam persamaan gerak tersebut. dari sini barulah akan diperoleh besarnya frekuensi pribadi dari simpangan yang diberikan. Pengolahan data dengan menggunakan program computer (*Microsoft Excel*).

##### Kaji Eksperimental

Untuk melakukan analisis (kaji) eksperimental, maka terlebih dahulu dibuat kerangka alat uji bandul, massa (pemberat) serta batang atau batang bandul. Kerangka alat uji bandul tersebut terbuat dari kayu yang kokoh yang mampu menahan beban bandul.

Pemberat bandul terbuat dari bahan kuningan yang dibentuk dengan proses permesianan (CNC TU-2A) yang berbentuk bola pejal dan silinder pipih. Massa bandul yang berbentuk bola pejal terdiri dari massa yang kecil dan massa yang besar. Sedangkan untuk massa bandul pipih terdiri dari massa yang kecil dan massa yang besar.

### Bandul Sederhana.

Bandul sederhana terdiri dari:

- Benang

Dalam percobaan ini benang yang digunakan adalah jenis prusik, benang tersebut diasumsikan tidak bermasa dan tidak merenggang (supaya tidak merubah persamaan-persamaan). Panjang benang ( $l$ ) bervariasi, yaitu: 300, 400, 500 dan 600 mm.

- Bandul (pemberat)

Bandul yang digunakan berbentuk bulat dengan dua diameter, antara lain yaitu 38,15 mm dan 51,26 mm. Massanya juga berbeda antara lain adalah 748,0122 gram dan 15,9949 gram.

dimensi bandul sederhana:

- Massa  $M_1$  : 748,0122 gram = 0,0074 Kg
- Massa  $M_2$  : 15,9949 gram = 0,0159 Kg
- Panjang:
  - $L_1$  : 300 mm = 0,3 m
  - $L_2$  : 400 mm = 0,4 m
  - $L_3$  : 500 mm = 0,5 m
  - $L_4$  : 600 mm = 0,6 m
- sudut ( $\theta$ ) : 10 derajat
- Gravitasi ( $g$ ) : 9,81 m/s<sup>2</sup>

### Bandul Kawat Besi

Bandul kawat besi terdiri dari:

- Kawat besi/poros

Kawat besi yang digunakan dari jenis poros *stainless steel* dengan panjang kawat ( $l$ ) bervariasi, yaitu: 300, 400, 500 dan 600 mm.

- Bandul (pemberat)

Bandul yang digunakan berbentuk bulat pejal dengan dua diameter, antara lain yaitu 38,15 mm dan 51,26 mm. massanya juga berbeda antara lain adalah 748,0122 gram dan 15,9949 gram.

dimensi bandul kawat besi/poros:

- Sudut ( $\theta$ ) : 10 derajat
- Gravitasi ( $g$ ) : 9,81 m/s<sup>2</sup>
- Panjang dan massa batang dapat dilihat pada table berikut:

| L (m) | Massa (kg) |
|-------|------------|
| 0,3   | 0,0028     |
| 0,4   | 0,0037     |
| 0,5   | 0,0048     |
| 0,6   | 0,0058     |

- Massa  $M_1$  : 748,0122 gram 0,0074 Kg
- Massa  $M_2$  : 15,9949 gram 0,0159 Kg

### Bandul Balok Kayu

Massa bandul balok kayu ( $m$ ), 30,7869 gram dan diberikan dua beban massa ( $m$ ), sebesar 133,49 gram dan 253,27 gram yang dapat dipindah-pindahkan dari jarak 300, 400, 500, dan 600 mm pada balok kayu tersebut. Dimensi balok kayu dan beban dapat dilihat pada gambar 3-1.

dimensi balok kayu:

- Massa balok kayu ( $m$ ) : 30,7869 gram 0,0308 Kg
- Lebar (a) : 80 mm 0,08 m
- Tebal (c) : 12 mm 0,012 m
- Panjang (b) : 630 mm 0,63 m
- Panjang dalam (e) : 300 mm 0,3 m
- Lebar dalam (f) : 10 mm 0,01 m

dimensi Beban:

|   |                         |           |
|---|-------------------------|-----------|
| - Massa ( $M_1$ )                             | : 13,5525 mm            | 0,0135 Kg |
| - Massa ( $M_2$ )                             | : 25,7625 mm            | 0,0258 Kg |
| - Diameter ( $d_1$ )                          | : 38,15 mm              | 0,03815 m |
| - Diameter ( $d_1$ )                          | : 51,26 mm              | 0,05126 m |
| - Tebal (c)                                   | : 15 mm                 | 0,015 m   |
| - Sudut ( $\theta$ )                          | : 10 derajat            |           |
| - Gravitasi (g)                               | : 9,81 m/s <sup>2</sup> |           |
| - Jarak pusat massa dan titik pusat tetap (h) |                         |           |

Peralatan Bantu

Peralatan pendukung dalam eksperimen ini antara lain menggunakan:

1. Stop watch  
Digunakan untuk mencatat waktu ayunan
2. Jangka sorong  
Alat ukur jarak, yang digunakan untuk mengukur diameter dan ketebalan.
3. Timbangan elektrik  
Digunakan untuk mengukur berat (W) dari meteri uji (untuk  $m = W/g$ )
4. Rangka kayu  
Alat Bantu yang digunakan sebagai tempat menggantung ayunan percobaan (gambar rangka kayu dapat dilihat pada lampiran).

Prosedur percobaan.

Untuk semua jenis bandul percobaan dilakukan pengerjaan yang sama, yaitu:

1. Catat seluruh parameter dari materi uji
2. Ikatkan massa pada panjang batang yang akan diuji.
3. Gantungkan ujung yang lain pada titik tetap pada rangka kayu
4. Dari posisi kesetimbangan statis ayunan diberikan simpangan sudut sebesar 10 derajat.
5. Lepas dan catat perioda ayunan untuk 10 siklus.
6. Ulang lagi untuk panjang, massa yang lain dan jenis ayunan yang lain.

## Hasil Dan Pembahasan

### Kajian Teoritik Bandul

Hasil kaji (perhitungan) teoritis yaitu dengan cara memasukkan parameter spesifikasi meteri bandul kedalam persamaan pada dasar teori. Data hasil kaji teoritik telah dirangkumkan untuk semua jenis bandul dan hasilnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4-1 Hasil analisis teoritik bandul  $M_1$

| Jenis Bandul      | L (m) | Teoritik             |           |           |
|-------------------|-------|----------------------|-----------|-----------|
|                   |       | $\omega_n$ (rad/det) | T (detik) | f (Hertz) |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 5.7184               | 1.0982    | 0.9105    |
|                   | 0.4   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    |
|                   | 0.5   | 4.4294               | 1.4178    | 0.7053    |
|                   | 0.6   | 4.0435               | 1.5531    | 0.6439    |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 7.0036               | 0.8967    | 1.1152    |
|                   | 0.4   | 6.0653               | 1.0353    | 0.9658    |
|                   | 0.5   | 5.4249               | 1.1576    | 0.8638    |
|                   | 0.6   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 4.6639               | 1.3465    | 0.7427    |
|                   | 0.4   | 4.5718               | 1.3736    | 0.7279    |
|                   | 0.5   | 4.4281               | 1.4182    | 0.7051    |
|                   | 0.6   | 4.2567               | 1.4753    | 0.6778    |

Tabel 4-2 Hasil analisis teoritik bandul  $M_2$ 

| Jenis Bandul      | L (m) | Teoritik             |           |           |
|-------------------|-------|----------------------|-----------|-----------|
|                   |       | $\omega_n$ (rad/det) | T (detik) | f (Hertz) |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 5.7184               | 1.0982    | 0.9105    |
|                   | 0.4   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    |
|                   | 0.5   | 4.4294               | 1.4178    | 0.7053    |
|                   | 0.6   | 4.0435               | 1.5531    | 0.6439    |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 7.0036               | 0.8967    | 1.1152    |
|                   | 0.4   | 6.0653               | 1.0353    | 0.9658    |
|                   | 0.5   | 5.4249               | 1.1576    | 0.8638    |
|                   | 0.6   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 4.6639               | 1.3465    | 0.7427    |
|                   | 0.4   | 4.5718               | 1.3736    | 0.7279    |
|                   | 0.5   | 4.4281               | 1.4182    | 0.7051    |
|                   | 0.6   | 4.2567               | 1.4753    | 0.6778    |

## Kaji Eksperimental Bandul

Hasil kaji (perhitungan) eksperimental yaitu dengan memasukkan parameter spesifikasi materi bandul serta data hasil percobaan ke dalam persamaan yang telah ditentukan. Data hasil kaji eksperimental tersebut telah dirangkumkan untuk semua jenis bandul yang hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4-3 Data hasil percobaan bandul  $M_1$ 

| Jenis Bandul      | L (m) | Waktu getar dalam 10 siklus |       |       |       |       | T (s)  | $T^2S^2$ |
|-------------------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
|                   |       | $T_1$                       | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | $T_5$ |        |          |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 11.12                       | 11.06 | 11.05 | 11.04 | 11    | 11.054 | 122.1909 |
|                   | 0.4   | 12.72                       | 12.72 | 12.72 | 12.75 | 12.74 | 12.73  | 162.0529 |
|                   | 0.5   | 14.15                       | 14.2  | 14.05 | 14.18 | 14.18 | 14.152 | 200.2791 |
|                   | 0.6   | 15.32                       | 15.28 | 15.3  | 15.31 | 15.32 | 15.306 | 234.2736 |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 11.02                       | 10.99 | 11    | 11.05 | 11.04 | 11.02  | 121.4404 |
|                   | 0.4   | 12.34                       | 12.26 | 12.29 | 12.31 | 12.29 | 12.298 | 151.2408 |
|                   | 0.5   | 13.58                       | 13.52 | 13.6  | 13.54 | 13.57 | 13.562 | 183.9278 |
|                   | 0.6   | 15.06                       | 15.14 | 15.18 | 15.2  | 15.06 | 15.128 | 228.8564 |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 12.24                       | 12.16 | 12.07 | 12.29 | 12.19 | 12.19  | 148.5961 |
|                   | 0.4   | 12.91                       | 12.37 | 12.91 | 12.45 | 12.61 | 12.65  | 160.0225 |
|                   | 0.5   | 13.53                       | 13.54 | 13.77 | 13.61 | 13.6  | 13.61  | 185.2327 |
|                   | 0.6   | 14.38                       | 14.27 | 14.42 | 14.29 | 14.38 | 14.348 | 205.8651 |

Tabel 4-4 Data hasil percobaan bandul  $M_2$ 

| Jenis Bandul      | L (m) | Waktu getar dalam 10 siklus |       |       |       |       | T (s)  | $T^2S^2$ |
|-------------------|-------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|
|                   |       | $T_1$                       | $T_2$ | $T_3$ | $T_4$ | $T_5$ |        |          |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 11.15                       | 11.04 | 11.2  | 11.12 | 11.08 | 11.118 | 123.6099 |
|                   | 0.4   | 12.9                        | 12.93 | 12.83 | 12.86 | 12.87 | 12.878 | 165.8429 |
|                   | 0.5   | 14.27                       | 14    | 14.09 | 14.06 | 14.15 | 14.114 | 199.205  |
|                   | 0.6   | 15.31                       | 15.34 | 15.3  | 15.31 | 15.3  | 15.312 | 234.4573 |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 11.07                       | 11.03 | 11.05 | 11.04 | 11.04 | 11.046 | 122.0141 |
|                   | 0.4   | 12.58                       | 12.55 | 12.54 | 12.55 | 12.57 | 12.558 | 157.7034 |
|                   | 0.5   | 14                          | 14.03 | 13.27 | 13.19 | 14    | 13.698 | 187.6352 |
|                   | 0.6   | 15.21                       | 15.21 | 15.17 | 15.18 | 15.19 | 15.192 | 230.7969 |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 12.11                       | 12.03 | 12.03 | 12.1  | 12.09 | 12.072 | 145.7332 |
|                   | 0.4   | 12.59                       | 12.86 | 12.8  | 12.81 | 12.84 | 12.78  | 163.3284 |
|                   | 0.5   | 13.81                       | 13.75 | 13.73 | 13.8  | 13.8  | 13.778 | 189.8333 |
|                   | 0.6   | 14.56                       | 14.47 | 14.41 | 14.69 | 14.53 | 14.532 | 211.179  |

Data primer yang diperoleh dari percobaan ini adalah perioda (T), data yang diperoleh dari lima kali pengulangan ayunan masing-masing 10 siklus bagi variasi ukuran panjang dari ketiga jenis bandul dapat dilihat pada tabel diatas.

Data yang telah dikumpulkan dalam bentuk tabel kemudian dianalisis dengan menggunakan statistik sederhana untuk memperoleh rata-rata kuadrat dari tiap-tiap pengerjaan.

$$T = \frac{T_{percobaan}}{10}$$

$$f = \frac{10}{T_{percobaan}}$$

Sehingga untuk keseluruhan analisis hasil percobaan untuk tiap-tiap massa beban serta semua jenis bandul dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4-5 Data analisis hasil percobaan bandul M<sub>1</sub>

| Jenis Bandul      | L (m) | Eksperimental          |           |           |                      |                               |
|-------------------|-------|------------------------|-----------|-----------|----------------------|-------------------------------|
|                   |       | $\omega_n$ (rad/detik) | T (detik) | f (Hertz) | g(m/s <sup>2</sup> ) | $\bar{g}$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 5.6812                 | 1.1054    | 0.90464   | 9.6828               | 9.8409                        |
|                   | 0.4   | 4.9332                 | 1.273     | 0.7855    | 9.7347               |                               |
|                   | 0.5   | 4.4375                 | 1.4152    | 0.7066    | 9.8458               |                               |
|                   | 0.6   | 4.1029                 | 1.5306    | 0.6533    | 10.1006              |                               |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 5.6987                 | 1.102     | 0.9074    | 9.7427               | 9.9029                        |
|                   | 0.4   | 4.9849                 | 1.2598    | 0.7938    | 9.9398               |                               |
|                   | 0.5   | 4.4979                 | 1.3962    | 0.7162    | 10.1156              |                               |
|                   | 0.6   | 4.0443                 | 1.5528    | 0.6439    | 9.8138               |                               |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 5.6679                 | 1.108     | 0.9025    | 9.6374               | 9.8258                        |
|                   | 0.4   | 4.9644                 | 1.265     | 0.7905    | 9.8582               |                               |
|                   | 0.5   | 4.4507                 | 1.411     | 0.7087    | 9.9047               |                               |
|                   | 0.6   | 4.0626                 | 1.558     | 0.6469    | 9.9029               |                               |

Tabel 4-6 Data analisis hasil percobaan bandul M<sub>2</sub>

| Jenis Bandul      | L (m) | Eksperimental          |           |           |                      |                               |
|-------------------|-------|------------------------|-----------|-----------|----------------------|-------------------------------|
|                   |       | $\omega_n$ (rad/detik) | T (detik) | f (Hertz) | g(m/s <sup>2</sup> ) | $\bar{g}$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 5.6485                 | 1.1118    | 0.8994    | 9.5717               | 9.7689                        |
|                   | 0.4   | 4.8765                 | 1.2878    | 0.7765    | 9.5122               |                               |
|                   | 0.5   | 4.4495                 | 1.4114    | 0.7085    | 9.8989               |                               |
|                   | 0.6   | 4.1014                 | 1.5312    | 0.6531    | 10.0927              |                               |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 5.6853                 | 1.1046    | 0.9053    | 9.5717               | 9.8702                        |
|                   | 0.4   | 5.0008                 | 1.2558    | 0.7963    | 9.5122               |                               |
|                   | 0.5   | 4.4545                 | 1.4098    | 0.7093    | 9.8989               |                               |
|                   | 0.6   | 4.0537                 | 1.5492    | 0.6455    | 10.0927              |                               |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 5.2021                 | 1.2072    | 0.8284    | 9.9365               | 9.8543                        |
|                   | 0.4   | 4.9139                 | 1.278     | 0.7825    | 9.6587               |                               |
|                   | 0.5   | 4.4609                 | 1.4078    | 0.7103    | 9.9496               |                               |
|                   | 0.6   | 4.0563                 | 1.5482    | 0.6459    | 9.8723               |                               |

### Perbandingan Kaji Teoritik dan Eksperimental Bandul

Perbandingan kaji hasil teoritik dengan eksperimental untuk setiap bandul dengan massa yang berbeda telah dikumpulkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4-7 Hasil kaji teoritik dan eksperimental bandul  $M_1$ 

| Jenis Bandul      | L (m) | Teoritik             |           |           | Eksperimental        |           |           |
|-------------------|-------|----------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
|                   |       | $\omega_n$ (rad/det) | T (detik) | f (Hertz) | $\omega_n$ (rad/det) | T (detik) | f (Hertz) |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 5.7184               | 1.0982    | 0.9105    | 5.6812               | 1.1054    | 0.90464   |
|                   | 0.4   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    | 4.9332               | 1.273     | 0.7855    |
|                   | 0.5   | 4.4294               | 1.4178    | 0.7053    | 4.4375               | 1.4152    | 0.7066    |
|                   | 0.6   | 4.0435               | 1.5531    | 0.6439    | 4.1029               | 1.5306    | 0.6533    |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 7.0036               | 0.8967    | 1.1152    | 5.6987               | 1.102     | 0.9074    |
|                   | 0.4   | 6.0653               | 1.0354    | 0.9658    | 4.9846               | 1.2598    | 0.7938    |
|                   | 0.5   | 5.4249               | 1.1576    | 0.8638    | 4.4979               | 1.3962    | 0.7162    |
|                   | 0.6   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    | 4.0443               | 1.5528    | 0.6439    |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 4.6639               | 1.3465    | 0.7427    | 5.6679               | 1.108     | 0.9025    |
|                   | 0.4   | 4.5718               | 1.3736    | 0.7279    | 4.9644               | 1.265     | 0.7905    |
|                   | 0.5   | 4.4281               | 1.4182    | 0.7051    | 4.4507               | 1.411     | 0.7087    |
|                   | 0.6   | 4.2567               | 1.4753    | 0.6778    | 4.0626               | 1.5458    | 0.6469    |

Tabel 4-8 Hasil kaji teoritik dan eksperimental bandul  $M_2$ 

| Jenis Bandul      | L (m) | Teoritik             |           |           | Eksperimental        |           |           |
|-------------------|-------|----------------------|-----------|-----------|----------------------|-----------|-----------|
|                   |       | $\omega_n$ (rad/det) | T (detik) | f (Hertz) | $\omega_n$ (rad/det) | T (detik) | f (Hertz) |
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 5.7184               | 1.0982    | 0.9106    | 5.6485               | 1.1118    | 0.8994    |
|                   | 0.4   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    | 4.8765               | 1.2878    | 0.7765    |
|                   | 0.5   | 4.4294               | 1.4178    | 0.7053    | 4.4495               | 1.4114    | 0.7085    |
|                   | 0.6   | 4.0435               | 1.5531    | 0.6439    | 4.1014               | 1.5312    | 0.6531    |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 7.0036               | 0.8967    | 1.1152    | 5.6853               | 1.1046    | 0.9053    |
|                   | 0.4   | 6.0653               | 1.0354    | 0.9658    | 5.0008               | 1.2558    | 0.7963    |
|                   | 0.5   | 5.4249               | 1.1576    | 0.8638    | 4.4545               | 1.4098    | 0.7093    |
|                   | 0.6   | 4.9523               | 1.2681    | 0.7886    | 4.0537               | 1.5492    | 0.6455    |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 4.6639               | 1.3465    | 0.7427    | 5.2021               | 1.2072    | 0.8284    |
|                   | 0.4   | 4.5718               | 1.3736    | 0.7279    | 4.9139               | 1.278     | 0.7825    |
|                   | 0.5   | 4.4281               | 1.4182    | 0.7051    | 4.4609               | 1.4078    | 0.7103    |
|                   | 0.6   | 4.2567               | 1.4753    | 0.6778    | 4.0563               | 1.5482    | 0.6453    |

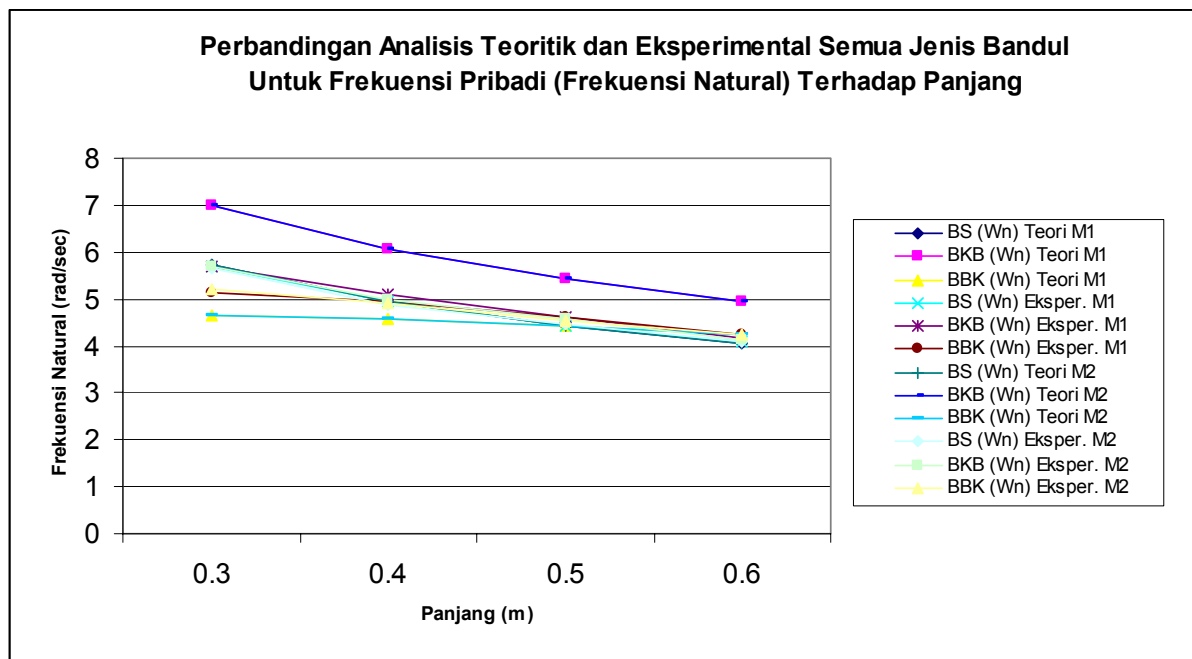
Tabel 4-9 Frekuensi Pribadi  $\omega_n$  Teoritik dan Eksperimental

| Jenis Bandul      | L (m) | Teoritik $M_1$ | Eksperimen $M_1$ | Toleransi Error (%) | Total (%) | Teoritik $M_2$ | Eksperimen $M_2$ | Toleransi Error (%) | Total (%) |
|-------------------|-------|----------------|------------------|---------------------|-----------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| Bandul Sederhana  | 0.3   | 5.7184         | 5.6812           | 0.6505              | 0.666     | 5.7184         | 5.6485           | 1.2224              | 1.152     |
|                   | 0.4   | 4.9523         | 4.9332           | 0.3857              |           | 4.9523         | 4.8765           | 1.5306              |           |
|                   | 0.5   | 4.4294         | 4.4375           | 0.1825              |           | 4.4294         | 4.4494           | 0.4495              |           |
|                   | 0.6   | 4.0435         | 4.1029           | 1.4478              |           | 4.0435         | 4.1014           | 1.4093              |           |
| Bandul Kawat Besi | 0.3   | 7.0036         | 5.6987           | 18.6318             | 16.31     | 7.0036         | 5.6853           | 18.8232             | 17.09     |
|                   | 0.4   | 6.0653         | 5.1065           | 15.8079             |           | 6.0653         | 5.0008           | 17.5507             |           |
|                   | 0.5   | 5.4249         | 4.6306           | 14.6417             |           | 5.4249         | 4.5846           | 15.4897             |           |
|                   | 0.6   | 4.9523         | 4.1512           | 16.1763             |           | 4.9523         | 4.1337           | 16.5297             |           |
| Bandul Balok Kayu | 0.3   | 4.6639         | 5.1518           | 9.4705              | 5.361     | 4.6639         | 5.2021           | 10.3459             | 5.087     |
|                   | 0.4   | 4.5718         | 4.9644           | 7.9083              |           | 4.5718         | 4.9139           | 6.9619              |           |
|                   | 0.5   | 4.4281         | 4.6142           | 4.0332              |           | 4.4281         | 4.5579           | 2.8478              |           |
|                   | 0.6   | 4.2567         | 4.2553           | 0.0329              |           | 4.2567         | 4.2484           | 0.1949              |           |

### Pembahasan

Dalam percobaan atau eksperimen ini dilakukan pada ruang yang tenang tanpa ada udara yang bergerak (angin) yaitu tepatnya pada laboratorium Perancangan Teknik Mesin Universitas Syiah Kuala. Pada kajian eksperimen sulit didapat hasil yang harganya benar-benar sama dengan hasil kaji

teoritik. Hal ini dikarenakan pada kaji teoritik gesekan udara dan gesekan bantalan diabaikan, sedangkan pada ekperimental bandul gesekan bantalan tetap mempengaruhi kerja system.



Gambar 4-1 Hasil perbandingan analisis teoritik dan eksperimental.

### Kesimpulan

Dari hasil analisa bandul, baik secara teoritik maupun secara eksperimental dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Frekuensi pribadi ( $\omega_n$ ) bandul tidak tergantung pada massa akan tetapi hanya dipengaruhi oleh panjang batang, dapat dilihat seperti pada table 4-7 salah satu hasil kaji teoritik bandul sederhana yang hasilnya diperoleh antara lain yaitu sebesar 5,7184 rad/det dan eksperimental sebesar 5,6812 rad/det terhadap panjang batang 0.3 meter.
2. Hasil analisis membuktikan bahwa kaji teoritik dan eksperimental ayunan harganya saling mendekati, ditandai dengan selisih persentase rata-rata hasil perbandingan teoritik dan eksperimental antara lain 7,6135 %.
3. Alat uji bandul, merupakan salah satu metode yang dapat membuktikan harga gravitasi bumi dengan menggunakan persamaan-persamaan getaran bandul.
4. Dengan bertambah panjang batang bandul maka pengaruhnya dapat diperhatikan bahwa perioda (T) semakin besar (lama), frekuensi sudut dan frekuensi (f) semakin kecil seperti terlihat pada table 4-7 dan table 4-8.

### Daftar Notasi:

| Simbol         | Besaran                            | Satuan                |
|----------------|------------------------------------|-----------------------|
| A              | Amplitudo, Luas                    | m, m <sup>2</sup>     |
| a <sub>g</sub> | Percepatan tangensial              | m/det <sup>2</sup>    |
| a <sub>r</sub> | Percepatan radial                  | m/det <sup>2</sup>    |
| b              | Panjang                            | m                     |
| c              | Tebal                              | m                     |
| d              | Jarak antara dua titik pusat massa | m                     |
| F <sub>I</sub> | Gaya inersia                       | kg.m/det <sup>2</sup> |
| F <sub>R</sub> | Gaya radial                        | kg.m/det <sup>2</sup> |
| F              | Frekuensi                          | hertz                 |



|                 |  |          |              |
|-----------------|--|----------|--------------|
| $g$             | Gravitasi                              |          | $m/det^2$    |
| $h$             | Jarak antara dua sumbu sejajar         | $m$      |              |
| $J$             | Momen inersia polar                    |          | $kg/m^2$     |
| $J_g$           | Momen inersia pada sumbu putar (polar) | $kg/m^2$ |              |
| $k_g$           | Jari-jari girasi                       |          | $m$          |
| $l$             | Panjang bantang                        |          | $m$          |
| $M_1$           | Massa untuk pemberat bandul yang kecil |          | $kg$         |
| $M_2$           | Massa untuk pemberat bandul yang besar |          | $kg$         |
| $m$             | Massa                                  |          | $kg$         |
| $r$             | Jari-jari                              | $m$      |              |
| $T$             | Perioda                                | $detik$  |              |
| $t$             | Waktu                                  |          | $detik$      |
| $W$             | Gaya berat                             |          | $kg.m/det^2$ |
| $x$             | Perubahan simpangan                    |          | $m$          |
| $\dot{x}$       | Kecepatan                              |          | $m/det^2$    |
| $\ddot{x}$      | Percepatan                             |          | $m/det^2$    |
| $\omega_n$      | Frekuensi pribadi, frekuensi sudut     |          | $rad/sec$    |
| $\pi$           | Kostanta                               |          | $22/7$       |
| $\theta$        | Sudut sembarang                        |          | $derajat$    |
| $\ddot{\theta}$ | Percepatan sudut                       |          | $rad/det^2$  |

### Daftar Pustaka

- Alonso, M dan Finn, E. J., *“Fundamental University Physics”* ed.2 Vol.1, Addison Wesley Publishing Co, Massachusetts, 1980
- Beards, C. F. dan Johnston, E. R., Jr., *“Mekanika Untuk Insinyur, Statika”*, Terjemahan The Houw Liong, dan H. Nainggolan, ed.4, Erlangga, Jakarta, 1996
- Foegil, M., *“The Physics Problem Solver”*, Research and Education, New York, 1984
- Popov, E.P., *“Mekanika Teknik”*, Terjemahan Zainul Astamar Tanisan, Erlangga Jakarta, 1996
- Rac, J. S and Gupta, K., *“Theory and Practice of Mechanical Vibration”*., John Willey & Sons, Massachuset, 1983
- Seto, W. W., *“Getaran Mekanis”*, Terjemahan Darwin Sebayang, Schaum Series, Erlangga, Jakarta, 1985
- Shigley, J.E dan Mitchell, L. D., *“Perencanaan Teknik Mesin”*, Jilid 1 Terjemahan Gandhi Harahap, ed.4 Erlangga, 1986
- Sujiatmo, B., *“Dasar-dasar Analisis Getaran Linear”*, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 1990
- Thamson, WT, *“Teori Getaran Dengan Penerapan”*, Erlangga, Jakarta, 1995
- Titherington, D dan Rimmer J G., *“Mekanika Terapan”*, Terjemahan Lea Prasetio, ed.2, Erlangga, Jakarta, 1984