

**INTERPRETASI MODEL MATEMATIKA
VIBRASI DAWAI *FLYING FOX***

SKRIPSI

**OLEH
MILADIA KHOLILAH
NIM. 16610113**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**INTERPRETASI MODEL MATEMATIKA
VIBRASI DAWAI *FLYING FOX***

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Miladia Kholilah
NIM. 16610113**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**INTERPRETASI MODEL MATEMATIKA
VIBRASI DAWAI *FLYING FOX***

SKRIPSI

**Oleh
Miladia Kholilah
NIM. 16610113**

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji
Tanggal 30 April 2020

Pembimbing I,



Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si
NIP. 19770521 200501 2 004

Pembimbing II,



Juhari, M.Si
NIP. 19840209 20160801 1 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

**INTERPRETASI MODEL MATEMATIKA
VIBRASI DAWAI *FLYING FOX***

SKRIPSI

**Oleh
Miladia Kholilah
NIM. 16610113**

Telah Dipertahankan di Depan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 5 Juni 2020

Penguji Utama : Mohammad Jamhuri, M.Si

Ketua Penguji : Heni Widayani, M.Si

Sekretaris Penguji : Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si

Anggota Penguji : Juhari, M.Si

.....
.....
.....
.....

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika



Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Miladia Kholilah

NIM : 16610113

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Interpretasi Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying Fox*

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan, atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan pemikiran saya sendiri, kecuali dengan mencamumkan sumber cuplikan pada daftar rujukan. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 30 April 2020
Yang membuat pernyataan,



Miladia Kholilah
NIM. 16610113

MOTO

“Prasangka adalah Do’a”. Jangan pernah berprasangka tidak bisa, tidak mampu, tidak mungkin, tidak mudah. Yakinkan bahwa dirimu bisa melakukan apapun dan menjadi apapun karena itu adalah Do’a yang akan dikabulkan oleh Allah SWT.



PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Kedua orang tua tercinta, bapak Ahmad Achwanuri dan ibu Siti Sholihah, segenap keluarga penulis yang senantiasa memberikan doa, semangat dan motivasi kepada penulis, serta sahabat-sahabat yang senantiasa mendukung, menyemangati penulis di kala suka duka dalam penulisan skripsi ini.

Ibu Ari Kusumastuti dan bapak Juhari atas bimbingannya, terima kasih.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, puji syukur kepada Allah Swt. yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Interpretasi Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying Fox*”. Sholawat serta salam selalu terlimpahkan kepada nabi Muhammad Saw. yang telah membimbing manusia ke jalan keselamatan.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu secara dalam penyelesaian skripsi ini, yakni kepada:

1. Prof. Dr. Abd. Haris, M.Ag, selaku rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Usman Pagalay, M.Si, selaku ketua Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan arahan, nasihat, dan pengalaman yang berharga kepada penulis.
5. Juhari, M.Si, selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan dan pengalaman yang berharga kepada penulis.
6. Mohammad Jamhuri, M.Si, selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan arahan yang berharga dalam penyelesaian penelitian ini.

7. Heni Widayani, M.Si, selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang membantu dalam penyelesaian penelitian ini.
8. Kedua Orangtua yang selalu memberi dukungan, motivasi dan do'anya atas kelancaran dalam menyelesaikan penelitian ini.
9. Saudara dan teman-teman penulis yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik berupa moril maupun materiil.

Semoga Allah Swt. melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca, khususnya bagi penulis secara pribadi.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Malang, 30 April 2020

Penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PENGESAHAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
HALAMAN MOTO	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SIMBOL.....	xiv
ABSTRAK.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian.....	6
1.6 Metode Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	9
2.1 Model Matematika Vibrasi Dawai <i>Flying Fox</i>	9
2.2 Hukum Fisika yang Bekerja di Sepanjang Dawai.....	13
2.2.1 Hukum Newton.....	13
2.2.2 Hukum Amontons.....	16
2.2.3 Hukum Stokes.....	18
2.2.4 Hukum Hooke.....	19
2.3 Variabel dan Parameter.....	21
2.3.1 Amplitudo.....	23
2.3.2 Frekuensi.....	24
2.3.3 Modulus Elastisitas dan Konstanta Pegas Dawai.....	24
2.3.4 Kecepatan Benda Meluncur.....	26

2.3.5 Momen Inersia	26
2.4 Kajian Validasi Model	29
2.5 Kajian Keagamaan	30
BAB III PEMBAHASAN.....	33
3.1 Nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada Kondisi Riil.....	33
3.2 Nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada Konstruksi Model berdasarkan Variasi Prameter	38
3.3 Interpretasi Model Matematika Vibrasi Dawai <i>Flying Fox</i>	42
BAB IV PENUTUP	47
4.1 Kesimpulan.....	47
4.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
Lampiran.....	51
RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Gesekan	18
Tabel 2.2	Kekentalan Zat Alir	19
Tabel 2.3	Modulus Elastisitas dari Beberapa Bahan	25
Tabel 2.4	Momen Inersia Berbagai Bentuk Benda Tagar	27
Tabel 3.1	Nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada Kondisi Riil	35
Tabel 3.2	Nilai $y(t)$ pada Persamaan Model.....	39
Tabel 3.3	Nilai $\theta(t)$ pada Persamaan Model.....	41
Tabel 3.4	Perbandingan Nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$ Model Matematika Vibrasi Dawai <i>Flying Fox</i>	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ilustrasi Dawai <i>Flying Fox</i>	10
Gambar 2.2	Gaya Aksi Reaksi Tegangan Dawai <i>Flying Fox</i>	15
Gambar 2.3	Benda Meluncur pada Bidang Miring dengan sudut α	26
Gambar 3.1	Ilustrasi <i>Flying Fox</i> pada saat benda meluncur	33
Gambar 3.2	Ilustrasi Kondisi Kemiringan Dawai <i>Flying Fox</i>	34
Gambar 3.3	Ilustrasi Sudut Dawai Media <i>Flying Fox</i>	36
Gambar 3.4	Profil Grafik Nilai $y(t)$ pada Kondisi Riil	37
Gambar 3.5	Profil Grafik Nilai $\theta(t)$ pada Kondisi Riil	37
Gambar 3.6	Profil Grafik Lendutan $y(t)$ pada persamaan <i>Flying Fox</i>	40
Gambar 3.7	Profil Grafik Sudut $\theta(t)$ pada persamaan <i>Flying Fox</i>	42
Gambar 3.8	Perbandingan Profil Grafik $y(t)$ Kondisi Riil terhadap Solusi Numerik Model pada saatt $\in [0 \ 1.5]$	43
Gambar 3.9	Perbandingan Profil Grafik $\theta(t)$ Kondisi Riil terhadap Solusi Numerik Model pada saatt $\in [0 \ 1.5]$	44
Gambar 3.10	Grafik Selisih Nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$	46

DAFTAR SIMBOL

$y(t)$	:	Lendutan atau simpangan dawai bergantung pada variabel t
$\frac{dy(t)}{dt}$	:	Kecepatan vibrasi dawai bergantung pada variabel t
$\frac{d^2y(t)}{dt^2}$	:	Percepatan vibrasi dawai bergantung pada variabel t
$\theta(t)$	:	Sudut dawai bergantung pada variabel t
$\frac{d\theta(t)}{dt}$	:	Kecepatan sudut dawai bergantung pada variabel t
$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2}$	:	Percepatan sudut dawai bergantung pada variabel t
t	:	Variabel bebas (waktu)
l	:	Panjang dawai <i>flying fox</i>
m_b	:	Massa benda yang meluncur pada dawai <i>flying fox</i>
m_d	:	Massa dawai <i>flying fox</i>
E	:	Modulus elastisitas dawai <i>flying fox</i>
μ_k	:	Koefisien gaya gesek dawai <i>flying fox</i> dengan <i>slings</i> baja
b	:	Konstanta yang mewakili bentuk benda yang meluncur pada dawai <i>flying fox</i>
d	:	Konstanta yang mewakili bentuk dawai <i>flying fox</i>
η	:	Koefisien kekentalan (viskositas) dinamis zat alir
g	:	Percepatan gravitasi
f	:	Frekuensi gerak dawai <i>flying fox</i>
λ	:	Panjang gelombang dawai <i>flying fox</i>
v	:	Kecepatan benda meluncur pada dawai <i>flying fox</i>

A	:	Luas penampang dawai <i>flying fox</i>
N	:	Gaya normal benda
F_w	:	Gaya berat yang diakibatkan oleh benda
F_k	:	Gaya gesek kinetis antara dawai <i>flying fox</i> dengan <i>sling</i> baja
F_{ub}	:	Gaya gesek antara benda dengan udara
F_{ud}	:	Gaya gesek antara dawai <i>flying fox</i> dengan udara



ABSTRAK

Kholilah, Miladia. 2020. **Interpretasi Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying Fox***. Skripsi. Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Ari Kusumastuti, M.Pd, M.Si. (II) Juhari, M.Si.

Kata Kunci : Interpretasi, Vibrasi Dawai, Persamaan *Flying Fox*, Profil Grafik.

Penelitian ini difokuskan pada interpretasi model matematika vibrasi dawai *flying fox*. Model matematika vibrasi dawai *Flying Fox* merujuk pada jurnal penelitian Kusumastuti, dkk (2017). Interpretasi model dilakukan dengan membandingkan profil grafik riil model matematika vibrasi dawai *flying fox* terhadap persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*. Profil grafik riil diperoleh dari hasil pengukuran nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada percobaan media *flying fox* sesungguhnya. Sedangkan pada persamaan pembandingnya, yaitu persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*, dilakukan perhitungan nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ dengan variasi parameter yang sama pada percobaan media *flying fox*. Hasil profil grafik nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ kondisi riil dan persamaan model diperoleh grafik dari $t = 0$ sampai dengan $t = 1,5$. Berdasarkan analisis kedua profil grafik tersebut, baik secara grafis maupun numeris menunjukkan bahwa model matematika vibrasi dawai *flying fox* belum menggambarkan keadaan dawai yang sesungguhnya. Sehingga bagi penelitian selanjutnya, perlu dilakukan perbaikan kembali dan memformulasi ulang model.

ABSTRACT

Kholilah, Miladia. 2020. **Interpretation of Mathematical Modelling of *Flying Fox String Vibration***. Thesis. Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisors: (I) Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si. (II) Juhari, M.Si.

Keywords : Interpretation, String Vibration, *Flying Fox* Equation, Graphic Profile.

This research is focused on interpretation of the mathematical modelling of *flying fox* string vibration. The mathematical modelling of *flying fox* string vibration refers to the research journal Kusumastuti, et al (2017). Interpretation of model is done by comparing the real graph profile of the flying fox string to the mathematical model of flying fox string vibration equation. The real graph profile is obtained from the measurement results of the values of $y(t)$ and $\theta(t)$ in the actual flying fox media experiment. Whereas in the comparison equation, namely the equation of the flying fox string mathematical vibration model, the values of $y(t)$ and $\theta(t)$ were calculated with the same parameter variations in the flying fox media experiment. The results of the profile graph values of $y(t)$ and $\theta(t)$ real conditions and model equations obtained graphs from $t = 0$ to $t = 1.5$. Based on the analysis of the two graph profiles, both graphically and numerically it shows that the mathematical model of the flying fox string vibration does not yet reflect the actual state of the string. So for further research, it is necessary to revise and reformulate the model.

ملخص

خليلة، ميلادية. ٢٠٢٠. ترجمة من صحة النموذج الرياضي لاحتزاز سلسلة من *Flying Fox*. بحث جامعي. شعبة الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (1) أري كوسوماستوتي الماجستير، (2) جوهاري الماجستير.

الكلمات الرئيسية: ترجمة ، اهتزاز السلسلة، معادلات الثعلب الطائر (*Flying Fox*)، لمحات الرسم البياني.

يركز هذا البحث على ترجمة من صحة نموذج الاهتزاز الرياضي لسلسلة الثعلب الطائر. يرجع نموذج اهتزاز سلسلة من *Flying Fox* إلى مجلة البحوث . كتب إحدى منها كوسوماستوتي والآخر (2017). يتم ترجمة من الصحة من خلال مقارنة ملف الرسم البياني الحقيقي بنموذج الرياضي لاهتزاز سلسلة الثعلب الطائر بمعادلة نموذج الرياضي لاهتزاز سلسلة الثعلب الطائر. إن ملف الرسم البياني محصول من قياس قيمة $y(t)$ و $\theta(t)$ في تجربة وسيلة الثعلب الطائر الحقيقية. بينما المعادلة المقارنة وهي معادلة النموذج الرياضي لاهتزاز سلسلة الثعلب الطائر. يقام بالحساب على قيم $y(t)$ و $\theta(t)$ بنوع القياس المماثلة على تجربة وسيلة الثعلب الطائر.

نتيجة ملف تعريف الرسم البياني بقيمة $y(t)$ و $\theta(t)$ في حالتها الحقيقية ومعادلة النموذج هي الرسم البياني من $t = 0$ إلى $t = 1,5$ بناء على تحليل ملفي التعريف للرسم البياني. بيانيا ورقميا، يظهر أن النموذج الرياضي لاهتزاز سلسلة الثعلب الطائر لايعكس حتى الآن الحالة الفعلية للسلسلة. لذلك لمزيد من البحث ، من الضروري مراجعة النموذج وإعادة صياغته.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Model matematika vibrasi dawai pada *flying fox* merupakan salah satu model matematika yang menggambarkan getaran pada dawai *flying fox*. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Kusumastuti, dkk (2017) dengan judul analisis konstruksi model matematika vibrasi dawai pada *flying fox*. Terdapat beberapa langkah atau tahapan yang dilakukan peneliti sebelumnya dalam membentuk model matematika *flying fox*, yaitu dengan cara merumuskan asumsi yang bekerja di sepanjang dawai *flying fox* berdasarkan hukum-hukum fisika yang terlibat, seperti Hukum Newton, Hukum Amonton, Hukum Stoke dan Hukum Hooke. Selanjutnya model matematika dikembangkan dengan mempertimbangkan keberadaan persamaan *Lagrange*. Dari persamaan *Lagrange* diturunkan terhadap waktu sehingga diperoleh model matematika *flying fox*.

Model matematika vibrasi dawai pada *flying fox* dikonstruksi dan disajikan dalam persamaan diferensial biasa bergantung waktu orde dua. Persamaan tersebut menggunakan dua variabel berupa $y(t)$ sebagai lendutan dawai *flying fox* dan $\theta(t)$ sebagai sudutnya. Model matematika vibrasi dawai pada *flying fox* juga memuat beberapa parameter yang terlibat, yaitu: panjang dawai l , massa benda m_b , massa dawai m_d , modulus elastisitas dawai E , koefisien gaya gesek μ_k , konstanta benda b , konstanta dawai d , koefisien viskositas η , percepatan gravitasi g , frekuensi gerak dawai f , panjang gelombang λ , kecepatan benda v , luas penampang dawai A .

Sebelum diimplementasikan, suatu model harus dilakukan uji validasi untuk memverifikasi atas keabsahan model. Menurut Sudarmawan (1998:26) suatu model dikatakan valid jika hasil dari model tersebut dapat diterima oleh pengguna dan mampu menjelaskan aktualitas implementasi. Validasi model dilakukan dengan cara memeriksa kesesuaian keluaran model dengan sistem nyata berdasarkan konsistensi internal, korespondensi dan representasi. Jika model tidak memenuhi syarat validasi, maka model tersebut dikatakan belum valid dan perlu dilakukan perbaikan dan diformulasi ulang.

Uji validasi model pada penelitian Kusumastuti, dkk (2017) adalah dengan membandingkan profil grafik model matematika vibrasi dawai pada *flying fox* dengan profil grafik model matematika *Tacoma Narrow bridge* yang dikerjakan oleh McKenna pada tahun 1999. Uji validasi model matematika vibrasi dawai pada *flying fox* juga pernah dilakukan oleh Dian Maulidia Sari (2018) dengan membandingkan solusi analitik dan solusi numeriknya. Namun, uji validasi yang sudah dilakukan masih belum cukup untuk menunjukkan kevalidan model. Sebab uji validasi hanya dilakukan dengan mengamati perilaku grafik secara grafis berdasarkan kemiripan grafiknya. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan analisis interpretasi model matematika vibrasi dawai pada *flying fox*.

Interpretasi model matematika vibrasi dawai pada *flying fox* pada penelitian ini dilakukan dengan cara menampilkan profil grafik vibrasi dawai *flying fox* pada kondisi riil. Urgensi dari profil grafik riil vibrasi dawai *flying fox* sebagai validator tersebut adalah untuk mengetahui grafik vibrasi $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada kondisi nyata. Sehingga harapannya dapat digunakan sebagai acuan untuk

menentukan kevalidan model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang telah dikonstruksi.

Profil grafik vibrasi dawai *flying fox* pada kondisi riil diperoleh dengan melakukan percobaan pada dawai *flying fox*. Percobaan pada dawai *flying fox* tersebut akan menghasilkan nilai dan profil grafik *flying fox* pada kondisi sesungguhnya. Selanjutnya dilakukan perbandingan grafik vibrasi riil terhadap grafik model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang telah dikonstruksi. Apabila hasil perbandingannya cocok atau hampir sama, maka model dapat dikatakan valid. Apabila hasil perbandingannya tidak cocok, maka model belum bisa dikatakan valid dan diharapkan untuk penelitian selanjutnya melakukan perbaikan model dengan menganalisis kembali ketertinggalan hukum-hukum fisika yang berkerja di sepanjang dawai *flying fox* serta kesamaan satuannya.

Fokus pada penelitian ini adalah melakukan interpretasi pada model matematika vibrasi dawai *flying fox*, yaitu membandingkan profil grafik vibrasi pada kondisi riil terhadap profil grafik model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang telah dikonstruksi. Manfaat umum dari penelitian ini adalah untuk mengetahui interpretasi hasil konstruksi model matematika vibrasi dawai pada *flying fox*. Sehingga dengan hasil interpretasi yang diperoleh, model tersebut dapat digunakan pada kehidupan sehari-hari, seperti untuk perancangan suatu dawai dalam proyek pengerjaan gedung-gedung tinggi.

Dalam ajaran agama islam manusia dianjurkan untuk merenungkan atau menelaah kembali amal perbuatan yang telah mereka kerjakan. Hal ini karena setiap tahun umur manusia semakin berkurang sedangkan ajal atau kematian semakin mendekat. Oleh karena itu, mereka yang menginginkan keselamatan akan

berusaha mempersiapkan diri mereka dengan cara terus berupaya memperbaiki diri dan menyempurnakan kesalahan maupun kekurangan. Sebagaimana dijelaskan dalam QS. Al-Hasyr/59:18, yaitu:

“Hai orang-orang yang beriman, bertakwalah kepada Allah dan hendaklah setiap diri memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok (akhirat); dan bertakwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan” (QS. Al-Hasyr/59:18).

Ayat tersebut dalam tafsir Ibnu Katsir dijelaskan tentang adanya perintah untuk bertakwa kepada Allah Swt. yang pengertiannya mencakup mengerjakan apa yang diperintahkan oleh-Nya dan meninggalkan apa yang dilarang oleh-Nya. Dan hendaklah setiap diri memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok (akhirat), yakni hitung-hitunglah diri kalian sebelum kalian dimintai pertanggung jawaban, dan perhatikanlah apa yang kamu tabung buat diri kalian berupa amal-amal saleh untuk bekal hari kalian dikembalikan atau dihadapkan kepada Tuhan kalian. dan bertakwalah kepada Allah. Sesungguhnya ketahuilah bahwa Allah mengetahui semua amal perbuatan dan keadaan kalian, tiada sesuatu pun dari kalian yang tersembunyi bagi-Nya dan tiada sesuatu pun, baik yang besar maupun yang kecil, dari urusan mereka yang luput dari pengetahuan-Nya.

Berdasarkan penjelasan di atas, ayat tersebut menekankan manusia untuk bertakwa kepada Allah Swt dengan senantiasa memperhatikan segala perbuatan telah kita lakukan. Meneliti kembali amal-amal yang kita perbuat sebagai bekal persiapan di hari mendatang ketika dihadapkan kembali kepada Allah Swt. Oleh karenanya proses introspeksi diri itu penting, supaya dapat melakukan perbaikan atas perbuatan-perbuatan manusia yang mungkin masih salah atau khilaf.

Demikian pula pada ilmu matematika, berdasarkan landasan QS. Al-Hasyr ayat 18 tersebut maka setiap perhitungan, analisis dan pengkonstruksian suatu

model matematika yang telah diperoleh sebelumnya perlu ditelaah kembali dengan pertimbangan yang logis. Model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang telah dikonstruksi oleh Kusumastuti, dkk (2017) merupakan upaya penggambaran fenomena fisis yang telah diciptakan Allah dalam bentuk simbol dan aturan matematis. Oleh karena itu, merujuk pada QS. Al-Hasyr ayat 18 maka model tersebut perlu ditelaah kembali sebagai pengkoreksian model dengan melihat kesesuaian dengan kondisi sesungguhnya sehingga ke depannya dapat disempurnakan kembali apabila diketahui model tersebut masih kurang tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana interpretasi model matematika vibrasi dawai *flying fox*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian yang diambil adalah mengetahui interpretasi model matematika vibrasi dawai *flying fox*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah dengan mengetahui interpretasi model matematika vibrasi dawai *flying fox* maka dapat diketahui kesesuaian model tersebut dengan keadaan sesungguhnya. Sehingga model dapat digunakan untuk perancangan suatu dawai dalam proyek pengerjaan gedung-gedung tinggi.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian interpretasi model matematika vibrasi dawai *flying fox* adalah sebagai berikut:

1. Model yang diteliti adalah model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang telah dikonstruksi oleh Kusumastuti, dkk (2017), yaitu:

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} = -\delta_1 \frac{dy(t)}{dt} - \frac{(\mu_k N + b\eta v - 2EA)y(t)}{m_d \sqrt{y^2 + \frac{1}{4}l^2}} + \frac{m_b g}{m_d}$$

$$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = -\delta_2 \frac{d\theta(t)}{dt} - \frac{6k}{m_d} \left(\frac{\sin\theta(t)}{\cos^3\theta(t)} \right)$$

2. Interpretasi model dilakukan dengan melakukan perbandingan profil grafik riil model matematika vibrasi dawai *flying fox* terhadap profil grafik model matematika vibrasi dawai *flying fox*.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Penelitian eksperimen yang dilakukan dengan pengumpulan data dan penafsiran data berupa angka.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan peneliti dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada kondisi riil dengan mengamati keadaan perubahan dawai pada kondisi sesungguhnya.

2. Menghitung nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox* dengan menggunakan nilai-nilai parameter yang sama pada poin (1).
3. Interpretasi model dilakukan dengan cara menganalisis hasil perbandingan profil grafik riil model matematika vibrasi dawai pada *flying fox* terhadap profil grafik persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*.

1.7 Sistematika Penulisan

Hasil penelitian ini akan disusun dalam empat bab, sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini berisi tentang dasar-dasar untuk pembahasan pada bab selanjutnya, yaitu: latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian Pustaka

Pada bab ini membahas tentang kajian pustaka yang akan menjadi landasan masalah yang ada dalam pembahasan. Kajian pustaka berisikan tentang model matematika vibrasi dawai *flying fox*, hukum yang berlaku pada dawai *flying fox*, variabel dan parameter model matematika vibrasi dawai *flying fox*, kajian validasi model dan kajian keagamaan.

Bab III Pembahasan

Pada bab ini akan menguraikan keseluruhan langkah-langkah yang disebutkan dalam metode penelitian dan menjelaskan hasil dari penelitian yang diperoleh.

Bab IV Penutup

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan dan saran-saran guna pengembangan penelitian selanjutnya.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying Fox*

Menurut Zill dan Wright (2013), model matematika adalah deskripsi matematis sistem fenomena untuk menggambarkan perilaku beberapa sistem kehidupan nyata, baik secara fisik, sosiologi maupun ekonomi dalam istilah matematika. Secara umum, model matematika ditulis ke dalam bentuk persamaan diferensial. Persamaan diferensial adalah suatu persamaan yang memuat suatu fungsi yang tak diketahui derivatif-derivatifnya (Zill dan Wright, 2013). Persamaan diferensial terbagi menjadi dua macam, yaitu persamaan diferensial biasa dan persamaan diferensial parsial. Persamaan diferensial biasa hanya memiliki satu variabel bebas, sedangkan persamaan diferensial parsial memiliki dua atau lebih variabel bebas.

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), dawai adalah kawat yang memiliki permukaan halus. Menurut Sugiyono (2010), dawai dapat didefinisikan sebagai senar yang diikat pada dua ujung yang berbeda. Dalam wahana permainan *flying fox*, dawai memiliki peranan yang penting, yaitu sebagai jembatan untuk meluncur dari satu menara ke menara lain yang lebih rendah. Dawai *flying fox* berupa kabel dikaitkan kedua ujungnya pada suatu penyangga dengan kemiringan tertentu. Hal ini bertujuan untuk memungkinkan beban didorong oleh gravitasi ke penyangga yang lebih rendah (Rosyid, dkk, 2014).

Model matematika yang menggambarkan perilaku dawai *flying fox* telah dilakukan oleh Kusumastuti, dkk (2017) dengan judul penelitian analisis konstruksi model matematika vibrasi dawai pada *flying fox*. Konstruksi model

matematika vibrasi dawai *flying fox* dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

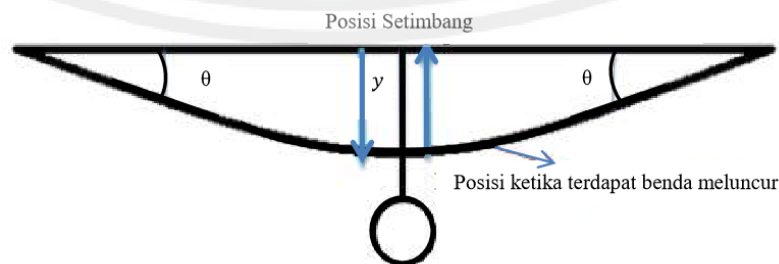
- (1) Identifikasi masalah meliputi: variabel, parameter, gaya, dan energi. (2) Merumuskan asumsi yang bekerja di sepanjang dawai *flying fox* dengan mempertimbangkan hukum Newton I, hukum Newton II, hukum Newton III, hukum Amonton untuk masalah gesekan, hukum Stokes untuk masalah interaksi dengan cairan, dan hukum Hooke untuk kinerja Musim Semi. (3) Mengembangkan model matematika dengan mempertimbangkan keberadaan Persamaan Lagrangian.

Hasil model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang dikonstruksi oleh Kusumastuti, dkk (2017) berupa persamaan diferensial biasa orde dua bergantung waktu, sebagai berikut:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} = -\delta_1 \frac{dy(t)}{dt} - \frac{(\mu_k N + b\eta v - 2EA)y(t)}{m_d \sqrt{y^2 + \frac{1}{4}l^2}} + \frac{m_b g}{m_d} \quad (2.1)$$

$$\frac{d^2 \theta(t)}{dt^2} = -\delta_2 \frac{d\theta(t)}{dt} - \frac{6k}{m_d} \left(\frac{\sin \theta(t)}{\cos^3 \theta(t)} \right) \quad (2.2)$$

Persamaan pertama menyatakan percepatan gerak simpangan dawai atau lendutan dawai ketika benda meluncur sehingga mengakibatkan gerak osilasi. Sedangkan persamaan kedua menyatakan percepatan sudut dawai ketika beban meluncur. Perhatikan ilustrasi gambar berikut.



Gambar 2.1 Ilustrasi Dawai *Flying Fox*

Berdasarkan Gambar 2.1 dapat dilihat bahwa yang dimaksud y adalah simpangan dawai dari posisi setimbang atau ketika tidak ada benda meluncur. Sedangkan θ adalah sudut dawai *flying fox* yang terbentuk pada saat benda meluncur pada dawai *flying fox* dari posisi setimbangnya. Selanjutnya dapat dilihat pula bahwa benda menarik dawai *flying fox* ke bawah searah dengan sumbu- Y . Artinya, dalam rentang waktu awal t_0 menuju waktu akhir t_1 , benda menarik dawai *flying fox* sehingga dawai mengalami perpindahan dari posisi awal y_0 menuju posisi akhir y_1 . Dengan demikian mengakibatkan terjadinya perubahan nilai lendutan atau simpangan dawai dan perubahan besar sudut dawai pada saat benda bergerak meluncur.

Dalam mengkonstruksi model matematika vibrasi dawai *flying fox*, terdapat asumsi dasar yang berlaku pada gerak dawai *flying fox*, yaitu (Hidayahningrum, 2017):

1. Dawai *flying fox* merupakan dawai kaku dan memiliki lendutan pada posisi setimbang di sepanjang sumbu- X .
2. Getaran yang dihasilkan oleh dawai *flying fox* mengalami perpindahan secara vertikal searah sumbu- Y dan merambat secara horizontal searah sumbu- X .
3. Ketika benda berada pada dawai *flying fox*, maka terjadi gaya pembebanan ke bawah.
4. Terjadi gelombang bolak balik dikarenakan kedua ujung dawai *flying fox* terikat pada penyangga.
5. Berlaku hukum I Newton pada saat benda berada di tengah dawai *flying fox* dan sesaat diam. Sedangkan hukum II Newton berlaku pada saat benda meluncur atau melakukan perpindahan posisi pada dawai *flying fox*.

6. Berlaku hukum III Newton antara gaya tarik benda pada dawai *flying fox* dengan tegangan pada *sling* baja yang menghubungkan benda dengan dawai *flying fox*.
7. Massa jenis dawai *flying fox* berbahan kawat baja adalah homogen. Bersifat elastis tetapi cenderung kaku dikarenakan modulus elastisitasnya sebesar $200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$.
8. Dawai *flying fox* mengalami gerak stasioner secara vertikal. Dengan kata lain, partikel-partikel dawai *flying fox* tersebut bergerak secara vertikal dengan defleksi dan nilai mutlak kemiringan di setiap titik dawai sangat kecil. Dengan demikian, benda meluncur pada dawai secara alamiah berdasarkan gaya gravitasi, gaya gesek dan gaya-gaya fisika lainnya akibat kemiringan dawai.
9. Gaya gesek antara benda dengan udara mengakibatkan perlambatan benda saat meluncur pada dawai *flying fox* (Kusumastuti, 2016).

Kemudian energi-energi yang bekerja pada dawai adalah sebagai berikut:

1. Energi potensial (*EP*), energi yang terdapat pada saat benda diam di tengah dawai *flying fox*. Satuan energi potensial adalah *Joule* atau setara dengan $\text{Kg m}^2/\text{s}^2$.
2. Energi kinetik (*EK*), energi yang terdapat pada saat benda meluncur dari titik awal hingga tengah dawai *flying fox*. Satuan energi kinetik adalah *Joule* atau setara dengan $\text{Kg m}^2/\text{s}^2$.

2.2 Hukum Fisika yang Bekerja di Sepanjang Dawai

2.2.1 Hukum Newton

1. Hukum I Newton

Secara umum suatu benda memiliki kecenderungan dalam mempertahankan geraknya, sehingga benda tersebut dikatakan mempunyai inersia atau kelembaman (Rosyid, dkk, 2014). Konsep inersia tersebut memberikan pandangan baru bagi Isaac Newton. Pandangan tersebut dinyatakan dalam hukum pertama Newton tentang gerak, yaitu *“Setiap benda akan terus berada pada keadaan diam atau bergerak dengan kelajuan tetap sepanjang garis lurus jika tidak dipaksa untuk merubah keadaan geraknya itu oleh gaya-gaya yang bekerja padanya”*.

Pada kasus dawai, hukum I Newton berlaku ketika benda berjalan dengan kecepatan konstan atau diam. Ketika benda terletak di tengah dawai dan dalam keadaan berjalan dengan kecepatan konstan, maka gaya yang bekerja pada benda memenuhi hukum I Newton, yaitu resultan gayanya sama dengan nol. Hal ini dapat dituliskan sebagai

$$\Sigma F = 0 \quad (2.3)$$

Hukum I Newton hanya berlaku pada kerangka acuan khusus, yaitu kerangka acuan yang benda bersifat inersial. Sama halnya benda yang meluncur pada dawai *flying fox* bersifat inersial dikarenakan tidak terjadi perubahan massa ketika benda bergerak, maka hukum I Newton berlaku pada benda tersebut (Rosyid, dkk, 2014).

2. Hukum II Newton

Secara umum hukum II Newton membahas tentang besar perubahan gerak. Artinya benda bergerak dengan kecepatan yang tidak tetap, sehingga dapat diketahui besar percepatan benda tersebut. Perubahan gerakan bukan hanya sebatas perubahan kecepatan, melainkan perubahan momentum, yakni perkalian kecepatan benda dengan massa inersianya (Rosyid, dkk, 2014). Dengan demikian, hukum II Newton tentang gerak menyatakan bahwa resultan gaya yang bekerja pada suatu benda sama dengan laju perubahan momentum benda tersebut. Secara umum, hukum II Newton dapat dituliskan sebagai

$$\Sigma F = m \cdot a \quad (2.4)$$

dengan

ΣF : resultan gaya (N)

m : massa benda (Kg)

a : percepatan benda (m/s^2).

Jika melihat pada kasus dawai *flying fox*, maka hukum II Newton berlaku ketika terjadi perubahan kecepatan benda saat meluncur pada dawai. Selain itu, adanya hukum II Newton juga terjadi karena benda bergerak mengikuti gerakan angin, sehingga terjadi gerak bolak-balik yang menyerupai kasus gelombang pada bandul atau pendulum (Rosyid, dkk, 2014).

3. Hukum III Newton

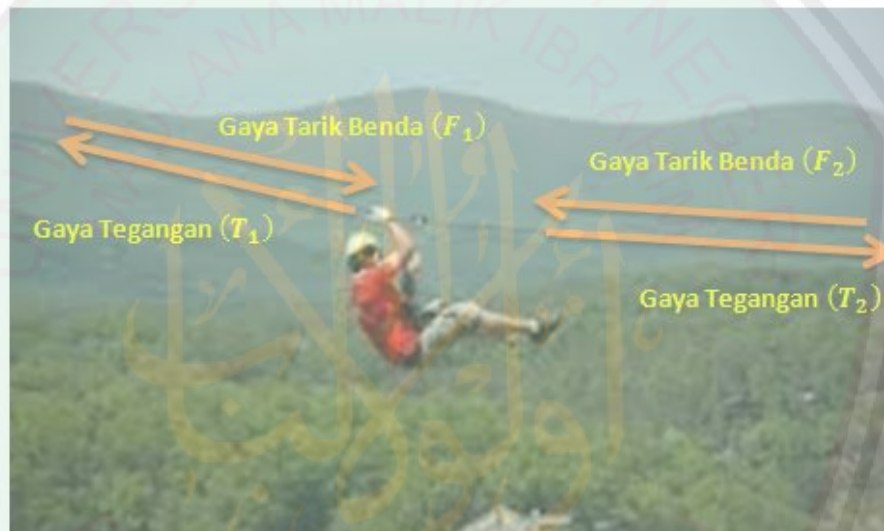
Hukum III Newton menjelaskan tentang hubungan aksi reaksi dari suatu benda dengan benda lainnya. Secara umum, setiap gaya yang dikerjakan akan mendapatkan reaksi (Rosyid, dkk, 2014). Hukum III Newton menggambarkan

sifat penting yang dimiliki oleh gaya, yaitu gaya selalu berpasangan. Hukum III Newton dapat dituliskan sebagai

$$F_{aksi} = -F_{reaksi} \quad (2.5)$$

Tanda minus menyatakan bahwa gaya reaksi memiliki arah yang berlawanan dengan gaya aksinya (Rosyid, dkk, 2014).

Pada dawai *flying fox*, hukum III Newton berlaku dikarenakan benda yang berada tepat di tengah dawai secara tidak langsung menarik dawai *flying fox* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Gaya Aksi Reaksi Tegangan pada Dawai *Flying Fox* (Wicker, 2016)

Berdasarkan Gambar 2.2, dapat diketahui bahwa gaya aksi yang terjadi adalah gaya tarikan benda di kedua sisi dawai yang mengarah ke benda. Gaya tarik benda disimbolkan dengan (F_1) dan (F_2) yang masing-masing mewakili sisi kiri dan sisi kanan dawai. Sebagai bentuk reaksi dari gaya tarik benda, maka terdapat gaya tegangan yang mengarah ke kedua penyangga agar benda tidak menarik dawai hingga putus. Gaya tegangan yang diberikan dawai disimbolkan dengan (T_1) dan (T_2) yang masing-masing mewakili sisi kiri dan sisi kanan dawai (Rosyid, dkk, 2014).

2.2.2 Hukum Amontons

Gaya gesek terjadi karena adanya gaya ikat antara molekul-molekul yang berada di permukaan satu benda dengan molekul-molekul pada permukaan benda yang lain ketika keduanya saling bersentuhan. Jika kedua permukaan berada dalam keadaan yang memungkinkan terjadi ikatan molekul dengan baik, maka gaya gesek akan semakin kuat. Keadaan yang dimaksud adalah keadaan diam, saling menekan, atau keadaan yang terkait dengan geometri dan sifat fisis permukaan tersebut. Keadaan saling mengikat inilah tercermin pada parameter yang disebut koefisien gesek (μ) (Rosyid, dkk, 2014). Pada dawai terdapat tiga macam gaya gesek, yaitu gaya gesek dawai dengan benda, gaya gesek dawai dengan fluida, dan gaya gesek benda dengan fluida. Akan tetapi, gaya gesek yang terjadi antara dawai dengan fluida dan yang terjadi antara benda dengan fluida mengikuti hukum Stokes. Dengan demikian hanya terdapat satu koefisien gaya gesek, yaitu koefisien gaya gesek yang terjadi antara benda dengan dawai (Rosyid, dkk, 2014).

Hukum yang mengemukakan tentang gaya gesek pada dawai adalah hukum Amontons. Hukum Amontons terbagi menjadi dua, yaitu:

1. Hukum I Amontons menyatakan gaya gesek dawai sebanding dengan gaya sentuhan normal. Koefisien gaya gesek dawai tidak bergantung pada luas permukaan yang bersentuhan dan gaya normal benda. Koefisien gaya gesek dawai mendekati tetapan yang bernilai selalu kurang dari satu.
2. Hukum II Amontons atau hukum Coulomb gesekan menyatakan koefisien gaya gesek dawai tidak bergantung pada kecepatan relatif saat dawai dan benda yang bersentuhan (Rosyid, dkk, 2014).

Koefisien gaya gesek dawai terbagi menjadi dua macam, yaitu koefisien gesek statis dawai (μ_s) dan koefisien gesek kinetis dawai (μ_k) (Rosyid, dkk, 2014). Koefisien gesek statis dawai merupakan perbandingan antara gaya gesek statis dawai dan gaya normal, dapat dituliskan

$$\mu_s = \frac{\vec{f}_s}{N} \quad (2.6)$$

dengan

μ_s : koefisien gesek statis

$\vec{f}_s$: gaya gesek statis benda dengan dawai (N) atau ($Kg \ m/s^2$)

N : gaya normal (N) atau ($Kg \ m/s^2$)

Dengan demikian koefisien gesek statis tidak memiliki satuan. Gaya gesek statis pada dawai berlaku ketika benda berinteraksi dengan dawai dalam keadaan diam atau tidak bergerak (Young dan Friedman, 2002).

Sama halnya dengan koefisien gesek statis, koefisien gesek kinetis dawai merupakan perbandingan gaya gesek kinetis dawai dan gaya normal, dapat dituliskan

$$\mu_k = \frac{\vec{f}_k}{N} \quad (2.7)$$

dengan

μ_k : koefisien gesek kinetis

$\vec{f}_k$: gaya gesek kinetis benda dengan dawai (N) atau ($Kg \ m/s^2$)

N : gaya normal (N) atau ($Kg \ m/s^2$)

Sehingga koefisien gesek kinetis juga tidak memiliki satuan. Gaya gesek kinetis pada dawai berlaku ketika benda berinteraksi dengan dawai ketika terjadi

perpindahan posisi benda dari posisi awal x_0 (Young dan Friedman, 2002).

Koefisien gaya gesek dari beberapa jenis benda dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Koefisien Gesekan

Bahan	Statis (μ_s)	Kinetis (μ_k)
Baja pada baja	0,74	0,57
Aluminium pada baja	0,61	0,47
Tembaga pada baja	0,53	0,36
Kuningan pada baja	0,51	0,44
Seng pada besi cor	0,85	0,21
Tembaga pada besi cor	1,05	0,29
Kaca pada kaca	0,94	0,40
Tembaga pada kaca	0,68	0,53
Teflon pada teflon	0,04	0,04
Teflon pada baja	0,04	0,04
Karet pada beton (kering)	1,0	0,8
Karet pada beton (basah)	0,30	0,25

(Young dan Friedman, 2002)

2.2.3 Hukum Stokes

Jika suatu benda bergerak di dalam suatu zat alir atau fluida, maka benda itu akan mengalami gaya hambat oleh zat alir tersebut. Ada dua kemungkinan jenis gaya hambat oleh zat alir, pertama, gaya gesekan karena zat alir yang kental (*viscous*) dengan permukaan benda. Kedua, gaya pengereman (*drag force*) oleh zat alir. Hukum Stokes berlaku ketika ada suatu gaya yang diakibatkan oleh gesekan antara fluida dan permukaan benda (Rosyid, dkk, 2014). Besaran gaya Stokes dapat dituliskan sebagai

$$F_s = k\eta v \quad (2.8)$$

dengan

F_s : gaya gesek antara fluida dengan benda (N) atau ($Kg\ m/s^2$)

- k : konstanta yang mewakili bentuk benda (m)
 η : kekentalan (viskositas) dinamis zat alir (Ns/m^2)
 v : kecepatan relatif benda terhadap zat alir (m/s)

Ketika benda meluncur pada suatu dawai, terjadi gaya gesek antara benda dengan udara. Udara berperan sebagai penghambat perpindahan benda sehingga terjadi perlambatan pada kecepatan benda saat meluncur (Arifudin, 2007). Daftar kekentalan dari beberapa zat alir dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kekentalan Zat Alir

No.	Bahan	Kekentalan Dinamik (Ns/m^2)
1.	Air	0,010
2.	Udara	0,000018
3.	Alkohol	0,018
4.	Gliserin	8,5
5.	Air Raksa	0,0156

(Arifudin, 2007)

2.2.4 Hukum Hooke

Secara umum, gaya dari suatu pegas (F_s) sebanding dengan perpindahan (d) ujung bebas pegas dari posisinya (ketika pegas dalam keadaan relaks) (Halliday, dkk, 2010). Gaya pegas bekerja untuk memulihkan pegas ke keadaan relaks, sehingga biasa dikenal sebagai gaya pemulih dan dinyatakan sebagai

$$F = -kx \quad (2.9)$$

dengan

- F : gaya pegas dawai (N) atau ($Kg \ m/s^2$)
 k : konstanta pegas atau ukuran kekakuan pegas (N/m)
 x : pertambahan panjang dawai (m)

Tanda minus pada persamaan (2.9) mengindikasikan bahwa gaya pemulih selalu berlawanan arah dengan perpindahan (Bueche dan Hecht, 2006).

Pada kasus dawai yang ditarik di tengah-tengahnya, maka dapat dipartisi menjadi dua sisi pegas, yaitu pegas pada sisi kiri dan pegas pada sisi kanan (Bueche dan Hecht, 2006). Kemudian berdasarkan penjelasan tersebut, pada dawai *flying fox* ketika benda meluncur, benda akan menarik dawai ke tengah-tengah posisi dawai tersebut. Dengan demikian, untuk menghitung keseluruhan gaya pegas yang bekerja disepanjang dawai *flying fox* maka perlu dihitung gaya pegas di sisi kiri dan kanan dawai *flying fox*.

Pada sisi kiri dawai dapat dituliskan sebagai

$$F^- = -kx^- \quad (2.10)$$

dengan

F^- : gaya pegas yang bekerja pada sisi kiri dawai (N) atau ($Kg\ m/s^2$)

k : konstanta pegas dawai (N/m)

x^- : pertambahan panjang dawai di sisi kiri (m)

Sedangkan gaya pegas yang terjadi di sisi kanan dawai dapat dituliskan sebagai,

$$F^+ = -kx^+ \quad (2.11)$$

dengan

F^+ : gaya pegas yang bekerja pada sisi kanan dawai (N) atau ($Kg\ m/s^2$)

k : konstanta pegas dawai (N/m)

x^+ : pertambahan panjang dawai di sisi kanan (m)

Dikarenakan dawai ditarik tepat di bagian tengahnya, maka besar pertambahan panjang di sisi kiri dawai sama dengan pertambahan panjang di sisi kanan dawai dan dimisalkan sama dengan x , atau dapat dituliskan

$$x^- = x^+ = x \quad (2.12)$$

Dengan demikian, total gaya pegas yang terjadi pada dawai yang ditarik pada bagian tengahnya sama dengan jumlah gaya pegas di sebelah kiri dan gaya pegas di sebelah kanan. Hal ini dapat dituliskan sebagai

$$\begin{aligned} F &= F^- + F^+ \\ &= -kx^- - kx^+ \\ &= -kx - kx \\ &= -2kx \end{aligned} \quad (2.13)$$

2.3 Variabel dan Parameter

Terdapat beberapa variabel dan parameter yang digunakan dalam penelitian konstruksi model matematika vibrasi dawai *flying fox* sebelumnya. Parameter yang diberikan oleh Kusumastuti, dkk (2017) pada persamaan tersebut adalah:

1. Panjang dawai *flying fox* (l), merupakan jarak antara dua buah penyangga dan dihubungkan oleh dawai *flying fox*.
2. Massa benda (m_b), merupakan besaran massa dari objek yang meluncur pada dawai *flying fox*.
3. Massa dawai *flying fox* (m_d), merupakan besaran massa dawai yang berbahan kawat baja.
4. Modulus elastisitas dawai *flying fox* (E), merupakan konstanta yang menyatakan ukuran kelenturan dawai *flying fox* berbahan kawat baja.

5. Koefisien gaya gesek dawai *flying fox* dengan *sling* baja (μ_k), merupakan konstanta yang menyatakan besaran interaksi dawai *flying fox* dengan *sling* baja.
6. Konstanta (b), merupakan besaran yang mewakili bentuk benda yang bergesekan dengan udara.
7. Konstanta (d), merupakan besaran yang mewakili bentuk dawai yang bergesekan dengan udara.
8. Koefisien viskositas (η), merupakan besaran yang menunjukkan tingkat kekentalan fluida atau zat alir.
9. Percepatan gravitasi (g), merupakan percepatan yang diakibatkan oleh gaya tarik bumi.
10. Frekuensi gerak dawai *flying fox* (f), merupakan jumlah kompresi yang melewati titik dawai *flying fox*.
11. Panjang gelombang dawai *flying fox* (λ), merupakan jarak antara satuan berulang dari pola gelombang dawai *flying fox* yang tersusun atas satu lembah dan satu bukit.
12. Kecepatan benda meluncur pada dawai *flying fox* (v) dengan satuan m/s .
13. Luas penampang dawai *flying fox* (A) dengan satuan m^2 .

Selanjutnya variabel-variabel yang terlibat pada dawai *flying fox* terdiri dari dua macam, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Model matematika vibrasi dawai *flying fox* dikonstruksi dengan variabel bebas t yang menyatakan waktu. Sedangkan untuk variabel terikatnya adalah sebagai berikut:

1. Lendutan dawai *flying fox* (y), merupakan besar simpangan gerak osilasi yang terjadi ketika benda meluncur pada dawai *flying fox*. Satuan lendutan adalah meter (m).
2. Kecepatan gerak dawai *flying fox* pada saat berosilasi $\left(\frac{dy}{dt}\right)$ dengan satuan m/s .
3. Percepatan gerak dawai *flying fox* pada saat berosilasi $\left(\frac{d^2y}{dt^2}\right)$ dengan satuan m/s^2 .
4. Besar sudut (θ), merupakan sudut dawai *flying fox* yang terbentuk pada saat benda meluncur pada dawai *flying fox* dari posisi setimbangnya.
5. Kecepatan sudut dawai *flying fox* yang terbentuk pada saat benda meluncur pada dawai *flying fox* $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$ dengan satuan $m \text{ rad}/s$.
6. Percepatan sudut dawai *flying fox* yang terbentuk pada saat benda meluncur pada dawai *flying fox* $\left(\frac{d^2\theta}{dt^2}\right)$ dengan satuan $m \text{ rad}/s^2$.

Dengan demikian, dalam membuat percobaan *flying fox* perlu diamati juga keserasian variabel dan parameternya. Maka perlu dipelajari kembali mengenai kajian variabel dan parameter pada model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang sudah terbentuk.

2.3.1 Amplitudo

Amplitudo (A) adalah jarak maksimum dawai dari posisi setimbangnya. Objek dawai dalam gerak harmonik sederhana berosilasi antara posisi $y = -A$ dan $y = +A$ (Serway dan Vuille, 2012). Dikarenakan besar amplitudo berkaitan dengan jarak, maka satuan yang digunakan adalah meter (m).

2.3.2 Frekuensi

Frekuensi (f) adalah jumlah kompresi yang melewati suatu titik dawai tertentu setiap detiknya (Giancoli, 2014). Serway dan Vuille (2012) mendefinisikan frekuensi sebagai jumlah siklus lengkap atau banyaknya getaran yang terjadi pada dawai per satuan waktu, dan berbanding terbalik dengan periode T , dapat dituliskan

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.14)$$

dengan satuan frekuensi (f) adalah Hz (Giancoli, 2014). Jika dihubungkan dengan besarnya periode gelombang dengan satuan sekon (s) seperti pada persamaan (2.14), maka satuannya menjadi $1/s$.

2.3.3 Modulus Elastisitas dan Konstanta Pegas Dawai

Modulus elastisitas dawai (E) adalah besaran yang menggambarkan tingkat elastisitas bahan dawai. Modulus elastisitas pada dawai didefinisikan sebagai perbandingan tegangan dan regangan pada dawai (Kanginan, 2006). Jika semakin besar modulus elastisitas dawai, maka semakin besar pula tegangan yang diperlukan untuk regangan dawai tersebut. Secara matematis, modulus elastisitas dapat dituliskan

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad (2.15)$$

dengan

E : modulus elastisitas dawai (N/m^2)

σ : tegangan dawai (N/m^2)

e : regangan dawai

Regangan (e) dawai dapat diperoleh melalui rumus

$$e = \frac{\Delta X}{X} \quad (2.16)$$

dengan

ΔX : besar pertambahan panjang dawai (m)

X : panjang awal dawai (m)

Modulus elastisitas dari beberapa bahan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Modulus Elastisitas dari Beberapa Bahan

Bahan	Modulus Elastisitas (E) dalam satuan (N/m^2)
Besi	100×10^9
Baja	200×10^9
Perunggu	100×10^9
Aluminium	70×10^9
Beton	20×10^9
Batu bara	14×10^9
Marmer	50×10^9
Granit	45×10^9
Kayu (Pinus)	10×10^9
Nilon	5×10^9
Tulang muda	15×10^9

(Kanginan, 2006)

Selanjutnya, pada dawai terdapat konstanta pegas yang merupakan ukuran kekakuan dari dawai tersebut (Bueche dan Hecht, 2006). Konstanta pegas dapat dicari dengan menggunakan rumus

$$k = \frac{EA}{l} \quad (2.17)$$

dengan

k : konstanta pegas dawai (N/m)

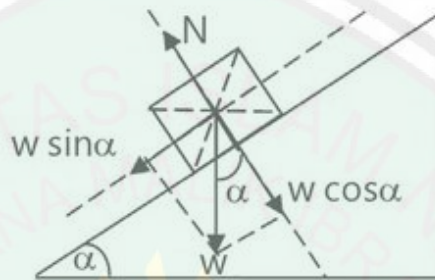
E : modulus elastisitas dawai (N/m^2)

A : luas penampang dawai (m^2)

l : panjang dawai (m)

2.3.4 Kecepatan Benda Meluncur

Ketika benda meluncur pada suatu dawai yang diasumsikan sebagai sistem bidang miring, maka terdapat suatu kecepatan benda meluncur v . Hal ini dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Benda Meluncur pada Bidang Miring dengan Sudut α (Hartanto, 2015)

Menurut Hartanto (2015), kecepatan dari benda meluncur pada bidang miring dapat diperoleh melalui

$$v = \sqrt{2g(h - \mu_k \cos \alpha)} \quad (2.18)$$

dengan

v : kecepatan benda meluncur (m/s)

g : percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/s}^2$)

h : tinggi dawai (m)

μ_k : koefisien gesek kinetis benda dengan dawai

α : sudut dawai dalam derajat

2.3.5 Momen Inersia

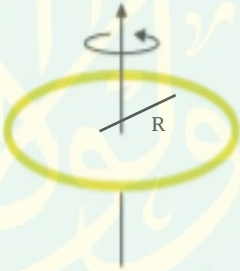
Momen inersia adalah momen kelembaman dari suatu benda terhadap sumbu putar porosnya atau bisa didefinisikan S (Rosyid, dkk., 2014). Momen inersia bekerja pada benda-benda tagar. Benda-benda tagar merupakan benda-

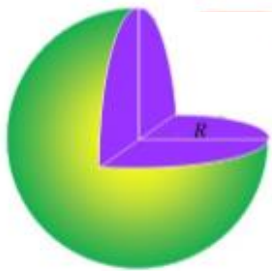
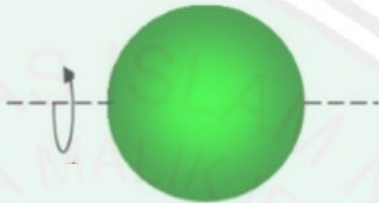
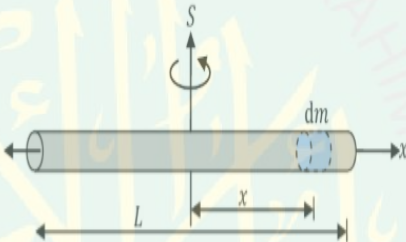
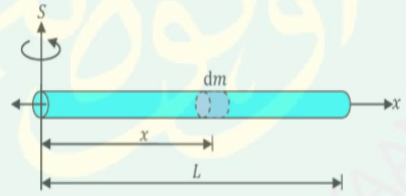
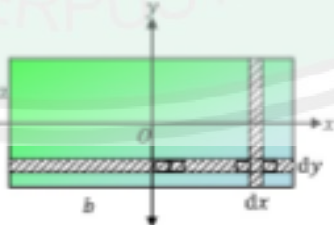
benda yang dalam keadaan apapun tidak mengalami perubahan bentuk maupun ukuran. Dengan kata lain, jarak antar titik-titik di dalamnya tetap. Momen inersia sebuah benda bergantung pada rapat massa benda itu, sumbu rotasi yang dipilih dan bentuk serta ukuran benda tersebut. Secara umum, benda tegar kontinyu perhitungan momen inersia dilakukan dengan menggunakan teknik integral dengan persamaan

$$I = \int r^2 dm \quad (2.19)$$

dengan r merupakan jari-jari benda dengan satuan m . Momen inersia benda memiliki satuan internasional $Kg\ m^2$. Momen inersia berbagai bentuk benda tegar berdasarkan sumbu rotasinya dituliskan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Momen Inersia Berbagai Bentuk Benda Tegar

Bentuk Benda Tegar	Gambar	Momen Inersia
Cincin Homogen Berongga		$I = mR^2$
Silinder Tipis Berongga berjari-jari R		$I = mR^2$
Silinder Pejal Homogen		$I = \frac{1}{2}mR^2$

Bola Berongga		$I = \frac{2}{3}mR^2$
Bola Pejal		$I = \frac{2}{5}mR^2$
Batang Tegar Homogen dengan poros melalui tengah-tengah batang		$I = \frac{1}{12}mL^2$
Batang Tegar Homogen dengan poros melalui salah satu ujungnya		$I = \frac{1}{3}mL^2$
Lempeng Tegar Homogen dengan panjang b dan lebar a		$I = \frac{1}{12}m(a^2 + b^2)$

(Rosyid, dkk. , 2014)

Kemudian, untuk kasus dawai pada dawai *flying fox* yang di tengahnya digantungkan suatu benda bermassa, perhitungan momen inersianya mengikuti momen inersia yang bekerja pada batang silinder dengan poros melalui pusat. Dengan demikian momen inersia dawai *flying fox* adalah

$$I = \frac{1}{12} ml^2 \quad (2.20)$$

dengan

I : momen inersia yang bekerja pada batang silinder ($Kg\ m^2$)

m : massa benda (Kg)

l^2 : panjang batang silinder (m^2)

2.4 Kajian Validasi Model

Validasi model adalah salah satu tahapan akhir dalam pengkonstruksian suatu model. Menurut Pagalay (2009), tahapan-tahapan dalam mengkonstruksi suatu model meliputi: identifikasi masalah, membangun asumsi-asumsi, membuat konstruksi model, membangun model menginterpretasi model dan validasi model. Model matematika yang diperoleh dari suatu masalah dalam dunia nyata harus bersifat *reliable* artinya dapat mewakili keadaan riilnya dalam dunia nyata, sehingga model matematika yang diperoleh dapat diyakini kebenarannya.

Tahapan validasi model merupakan tahap penguatan model yang telah dikonstruksi. Validasi terhadap model ini dilakukan dengan mengecek apakah model tersebut memberikan hasil sesuai dengan kenyataan (Meksianis Zadrak, 2018). Apakah hasil dari model tersebut sudah sesuai dengan asumsi-asumsi yang

telah dibuat. Apakah model tersebut dapat menangkap data yang ada. Jika tidak, maka model perlu diperiksa kembali asumsi-asumsi yang telah dibuat.

Menurut Pagalay (2009), tahapan validasi model meliputi tiga tahapan. Tahapan pertama adalah simulasi model, yaitu menggambarkan model matematika yang telah diperoleh dengan tujuan melihat perilaku dari model matematika tersebut. Tahapan kedua adalah simulasi masalah yang dimodelkan, yaitu menggambarkan perilaku dari masalah yang dimodelkan dalam dunia nyata dengan memanfaatkan *hard system* seperti komputer atau alat bantu lainnya. Tahapan ketiga adalah verifikasi, yaitu membandingkan perilaku dari model yang diperoleh dan perilaku dari masalah yang dimodelkan dengan tujuan melihat apakah perilaku model sudah mendekati kesesuaian dengan perilaku dari masalah yang dimodelkan. Jika hasil perbandingan perilaku model sesuai, maka model dapat dikatakan valid. Jika belum, maka model perlu dikonstruksi ulang.

2.5 Kajian Keagamaan

Merujuk pada firman Allah Swt. dalam QS. Al-Hasyr/59:18, yaitu:

“Hai orang-orang yang beriman, bertakwalah kepada Allah dan hendaklah setiap diri memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok (akhirat); dan bertakwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan” (QS. Al-Hasyr/59:18).

Ayat tersebut dalam tafsir Ibnu Katsir dijelaskan tentang adanya perintah untuk bertakwa kepada Allah Swt. yang pengertiannya mencakup mengerjakan apa yang diperintahkan oleh-Nya dan meninggalkan apa yang dilarang oleh-Nya. Dan hendaklah setiap diri memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok (akhirat), yakni hitung-hitunglah diri kalian sebelum kalian dimintai

pertanggung jawaban, dan perhatikanlah apa yang kamu tabung buat diri kalian berupa amal-amal saleh untuk bekal hari kalian dikembalikan atau dihadapkan kepada Tuhan kalian. dan bertakwalah kepada Allah. Sesungguhnya ketahuilah bahwa Allah mengetahui semua amal perbuatan dan keadaan kalian, tiada sesuatu pun dari kalian yang tersembunyi bagi-Nya dan tiada sesuatu pun, baik yang besar maupun yang kecil, dari urusan mereka yang luput dari pengetahuan-Nya.

Menurut Syaikh Muhammad bin Shalih asy-Syawi dalam kitabnya yang berjudul *an-Nafahat al-Makkiyah*, beliau menjelaskan bahwa tafsir dari QS. Al Hasyr ayat 18 ini adalah pangkal dalam hal muhasabah diri. Setiap orang harus selalu mengintrospeksi diri. Jika melihat adanya kekeliruan segera menyelesaikannya dengan cara melepaskan diri darinya, bertaubat secara sungguh-sungguh dan berpaling dari berbagai hal yang menghantarkan pada kekeliruan tersebut. Jika menilai dirinya bersikap sekenanya dalam menunaikan perintah-perintah Allah, ia akan mengerahkan segala kemampuannya dengan meminta pertolongan pada RabbNya untuk mengembangkan, dan menyempurnakannya, serta membandingkan antara karunia dan kebaikan Allah yang diberikan padanya dengan kemalasannya. Karena hal itu mengharuskannya merasa malu.

Berdasarkan penjelasan di atas, jelas sekali bahwa sebagai manusia kita diperintahkan untuk selalu meningkatkan ketaqwaan kepada Allah. Salah satu caranya adalah dengan memperhatikan kembali apa yang telah diperbuat dan memperbaiki amal perbuatannya. Memperhatikan kembali apa yang dapat memberikan manfaat pada dirinya dan memperhitungkan amal baik atau buruk

yang dilakukan untuk kelak di masa mendatang. Sebab, hidup di dunia ini sementara. Sedangkan hidup di akhirat itu abadi.



BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada Kondisi Riil

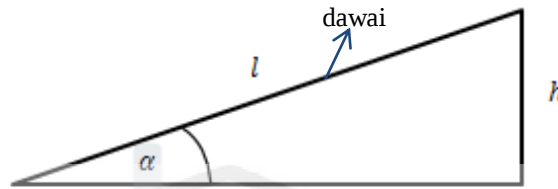
Model yang digunakan pada skripsi ini adalah sistem persamaan diferensial biasa dengan dua variabel terikat y dan θ dan variabel bebas t . Dengan demikian, maka dibutuhkan nilai y dan θ sebagai pembandingnya. Pengukuran nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada kondisi sesungguhnya dilakukan dengan membuat media *Flying Fox* yang kemudian diamati perilaku dawainya ketika benda sedang meluncur. Selanjutnya diukur nilai y dan θ pada kondisi riil di setiap detiknya. Secara umum, *Flying Fox* dapat ditunjukkan seperti gambar berikut:



Gambar 3.1 Ilustrasi *Flying Fox* pada saat benda meluncur

Media penelitian *flying fox* pada penelitian ini menggunakan dawai yang memiliki jenis bahan kawat baja. Kawat baja tersebut memiliki panjang 0,806 m yang didefinisikan sebagai panjang dawai *flying fox*. Kemudian dawai tersebut diikat pada dua kayu penyangga dengan selisih ketinggian antar ujung dawai yang didefinisikan sebagai h sebesar 0,10 m. Dengan demikian, keadaan tersebut

mengakibatkan kemiringan pada dawai dan diperoleh nilai sudut kemiringan (α) sebesar 7° .



Gambar 3.2 Ilustrasi Kondisi Kemiringan Dawai *Flying Fox*

Selanjutnya parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Massa dawai *flying fox*, $m_d = 3 \times 10^{-3} \text{ Kg}$.
2. Massa benda yang menggantung pada dawai *flying fox*, $m_b = 75 \times 10^{-3} \text{ Kg}$.
3. Jari-jari dawai *flying fox*, $r = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$.
4. Luas penampang dawai *flying fox*, $A = \pi r^2 = (3,14)(0,001)^2 = 0,00000314 \text{ m}^2$.
5. Modulus elastisitas dawai *flying fox* berbahan dasar kabel baja, $E = 10^7 \text{ N/m}^2$.
6. Percepatan gravitasi, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.
7. Panjang dawai *flying fox*, $l = 0,8062 \text{ m}$.
8. Koefisien gaya gesek dawai *flying fox* dengan *sling* aluminium, $\mu_k = 0,47$.
9. Besar gaya normal, $N = m_b g = (75 \times 10^{-3} \text{ Kg})(9,8 \text{ m/s}^2) = 0,735 \text{ N}$.
10. Kecepatan benda meluncur pada dawai *flying fox*, $v = 0,14 \text{ m/s}$.
11. Koefisien kekentalan fluida (udara), $\eta = 0,018 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$.

12. Konstanta yang menyatakan bentuk benda. Media penelitian *flying fox* pada penelitian ini menggunakan benda berupa bola pejal, sehingga diperoleh $b = 6\pi r = 6(3,14)(0,03 \text{ m}) = 0,5652 \text{ m}$.

13. Frekuensi gerak osilasi yang diakibatkan oleh simpangan dawai *flying fox* ketika benda meluncur, $\delta_1 = 0,01 \text{ s}^{-1}$.

14. Frekuensi gerak yang diakibatkan oleh sudut yang terbentuk pada dawai *flying fox* ketika benda meluncur, $\delta_2 = 0,01 \text{ s}^{-1}$.

15. Konstanta pegas dawai *flying fox* yang berbahan dasar kabel baja, $k =$

$$EA/l = \frac{(10^7 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})(0,00000314 \text{ m}^2)}{0,8062 \text{ m}} = 38,96 \text{ N/m}.$$

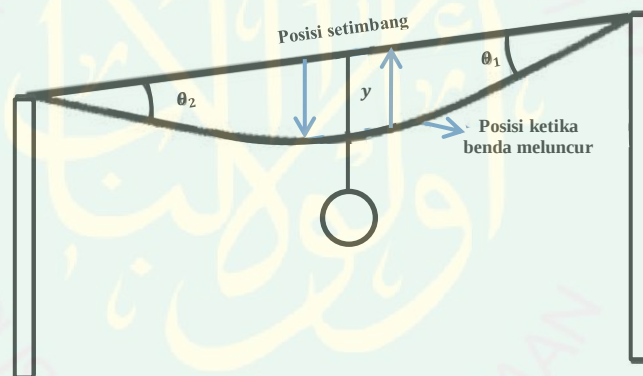
Dengan menggunakan nilai paramater sebagaimana yang telah disebutkan di atas pada media percobaan, maka dapat di amati perilaku dawai pada kondisi sesungguhnya. Percobaan *flying fox* dilakukan sebanyak 10x perulangan, kemudian dihitung rata-ratanya. Sehingga diperoleh hasil nilai $y(t)$ dalam satuan meter dan $\theta(t)$ dalam satuan radian. Berikut adalah hasil perolehan rata-rata nilai y dan θ pada kondisi riil dawai *flying fox* dalam waktu 1,5 detik pertama.

Tabel 3.1 Nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada Kondisi Riil

Waktu t	Nilai y	Nilai θ
0	0,0000	0
0,1	0,1268	0,3639
0,2	0,1711	0,3552
0,3	0,2739	0,3168
0,4	0,3287	0,2688
0,5	0,3855	0,2086
0,6	0,4794	0,2029
0,7	0,4820	0,1662
0,8	0,5341	0,1440
0,9	0,5141	0,1203

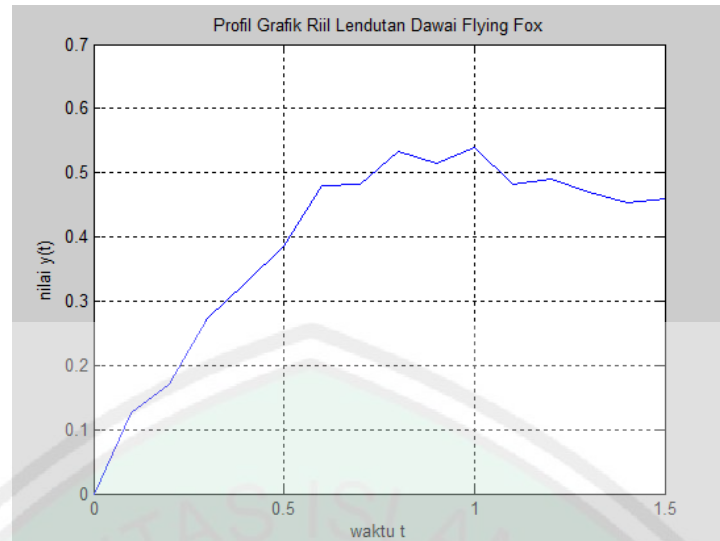
1,0	0,5385	0,1112
1,1	0,4813	0,0960
1,2	0,4898	0,0877
1,3	0,4697	0,0803
1,4	0,4529	0,0755
1,5	0,4601	0,0742

Perhitungan nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ yang diperoleh dibulatkan hingga 4 angka dibelakang koma. Nilai θ yang diukur pada penelitian ini yaitu nilai besar sudut dawai yang terletak pada tiang penyangga yang posisinya lebih tinggi. Atau jika digambarkan pada Gambar 3.3, nilai $\theta(t)$ yang dihitung sebagai pembanding hanya pada θ_1 saja.



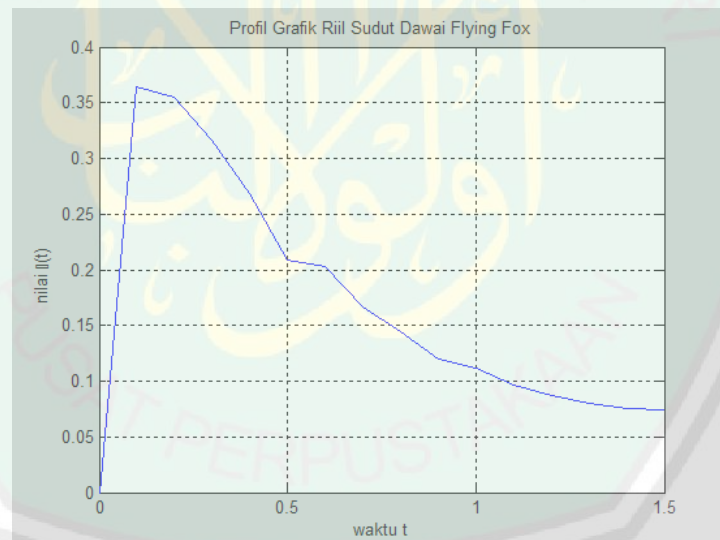
Gambar 3.3 Ilustrasi Sudut Dawai pada Media *Flying Fox*

Kemudian hasil nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ yang diperoleh sebagaimana pada Tabel 3.1, digambarkan dalam bentuk grafik atau plot. Berikut adalah gambar profil grafik nilai $y(t)$ pada kondisi sesungguhnya.



Gambar 3.4 Profil Grafik Nilai $y(t)$ pada Kondisi Riil

Selanjutnya profil grafik riil sudut dawai *flying fox* digambarkan sebagaimana berikut.



Gambar 3.5 Profil Grafik Nilai $\theta(t)$ pada Kondisi Riil

Dari Gambar 3.4 ditunjukkan bahwa perilaku grafik $y(t)$ pada kondisi riil semakin lama grafik lendutannya berangsur-angsur semakin naik atau besar kemudian mengecil kembali hingga mendekati keadaan setimbang. Sedangkan pada Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa perilaku grafik $\theta(t)$ pada kondisi riil

menunjukkan terjadinya kenaikan grafik pada saat $t = 0$ sampai 0,2 detik. Kemudian pada saat $t = 0,3$ sampai 1,5 detik grafik berangsur-angsur turun atau mengecil menuju ke keadaan setimbang kembali. Yaitu keadaan dawai ketika tidak dikenai beban meluncur.

3.2 Nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada Konstruksi Model berdasarkan Variasi Prameter

Model matematika vibrasi dawai *flying fox* terbentuk berupa sistem persamaan diferensial biasa orde dua. Bentuk persamaan model oleh Kusumastuti,dkk adalah sebagai berikut:

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2} = -\delta_1 \frac{dy(t)}{dt} - \frac{(\mu_k N + b\eta v - 2EA)y(t)}{m_d \sqrt{y(t)^2 + \frac{1}{4}l^2}} + \frac{m_b g}{m_d} \quad (3.1)$$

$$\frac{d^2\theta(t)}{dt^2} = -\delta_2 \frac{d\theta(t)}{dt} - \frac{6k}{m_d} \left(\frac{\sin\theta(t)}{\cos^3\theta(t)} \right) \quad (3.2)$$

Persamaan pertama dari persamaan (3.1) menyatakan percepatan gerak simpangan dawai ketika benda meluncur sehingga mengakibatkan gerak osilasi. Sedangkan persamaan kedua menyatakan percepatan sudut dawai ketika beban meluncur. Kemudian untuk melakukan perbandingan dengan kondisi sesungguhnya, pada persamaan (3.1) dan (3.2) diberikan nilai-nilai parameter yang sama dengan nilai parameter pada percobaan *flying fox*.

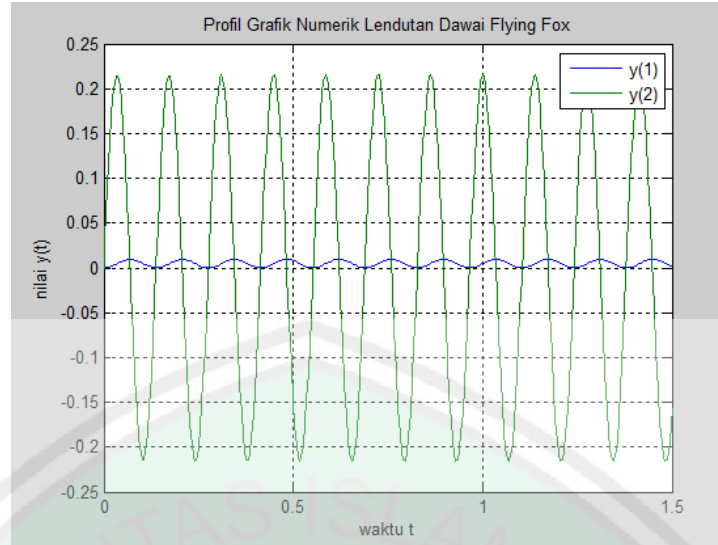
Pada persamaan (3.1), diberikan kondisi awal $y_1(0) = 0$ dan $y_2(0) = 0$ sebagaimana syarat khusus persamaan diferensial orde dua. Simbol $y_1(0) = 0$ mendefinisikan keadaan posisi awal dawai *flying fox* sebelum adanya benda yang meluncur di bawahnya dan $y_2(0) = 0$ mendefinisikan besar kecepatan vibrasi

dawai *flying fox* sebelum adanya benda yang meluncur di bawahnya. Hal tersebut dikarenakan kondisi awalnya dawai ketika belum ada benda yang meluncur di dawai *flying fox*, yaitu kondisi dawai *flying fox* masih dalam keadaan setimbang, tidak ada beban yang menarik.

Selanjutnya seperti pada percobaan media *flying fox* yang telah dilakukan, nilai $y(t)$ yang akan dihitung adalah ketika dawai *flying fox* mengalami perubahan dalam rentang waktu 1,5 menit pertama atau ketika $t \in [0, 1.5]$ dalam detik. Hasil numerik nilai $y(t)$ dan profil grafik $y(t)$ yang diperoleh dengan menggunakan fungsi *ode45* pada aplikasi *Matlab*. Berikut adalah tabel hasil perhitungan numerik model matematika vibrasi dawai *flying fox*.

Tabel 3.2 Nilai $y(t)$ pada Konstruksi Model

Waktu t	Nilai y_1	Nilai y_2
0	0	0
0,1	0.0055	-0.2124
0,2	0.0092	0.0668
0,3	0.0026	0.1911
0,4	0.0009	-0.1269
0,5	0.0081	-0.1508
0,6	0.0075	0.1743
0,7	0.0005	0.0958
0,8	0.0033	-0.2042
0,9	0.0094	-0.0314
1,0	0.0047	0.2139
1,1	0.0001	-0.0360
1,2	0.0062	-0.2023
1,3	0.0089	0.0997
1,4	0.0019	0.1707
1,5	0.0015	-0.1533



Gambar 3.6 Profil Grafik Lendutan $y(t)$ Flying Fox

Selanjutnya, pada penelitian terdahulu, yakni pada saat konstruksi model, diberikan suatu gaya luar yang mempengaruhi percepatan gerak sudut dawai *flying fox* yaitu gaya berupa fungsi $f(t) = 0,05 \sin 1,3t$ seperti halnya pada model matematika jembatan Tacoma Narrow yang dikonstruksi oleh McKenna dan Moore (1999). Selanjutnya, pada persamaan $\theta(t)$ dapat dimisalkan juga bahwa $\theta = \theta_1$ dan $\frac{d\theta_1}{dt} = \theta_2$, sehingga diperoleh sistem persamaan baru yang menyatakan besar sudut dari dawai *flying fox* seperti berikut

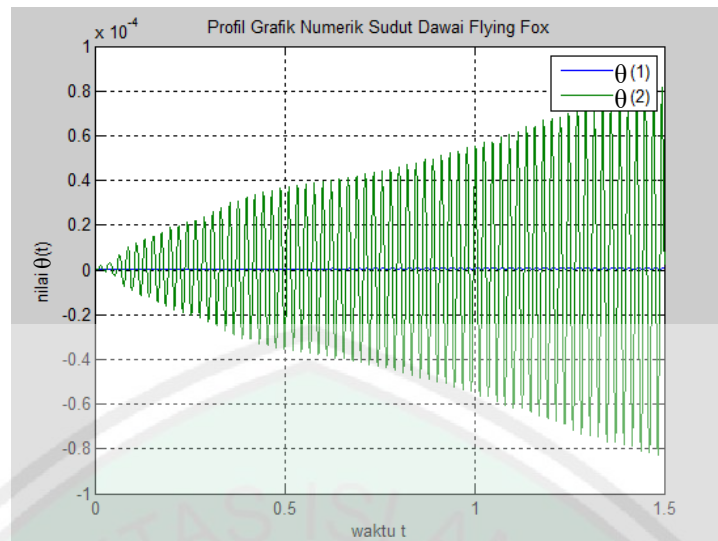
$$\begin{aligned} \frac{d\theta_1}{dt} &= \theta_2 \\ \frac{d\theta_2}{dt} &= -0,01 \theta_2 - 1,0386 \left(\frac{\sin \theta_1}{(\cos \theta_1)^3} \right) + 0,05 \sin 1,3t \end{aligned} \quad (3.3)$$

Sebelum menggambarkan grafik persamaan (3.3), diberikan kondisi awal $\theta_1(0) = 0$ dan $\theta_2(0) = 0$ sebagai syarat khusus persamaan diferensial orde dua. Simbol $\theta_1(0) = 0$ menyatakan besar sudut awal dawai *flying fox* sebelum adanya benda yang meluncur di bawahnya dan $\theta_2(0) = 0$ menyatakan besar kecepatan sudut awal dawai *flying fox* sebelum adanya benda yang meluncur di bawahnya.

Sehingga bentuk dawai *flying fox* masih dalam keadaan setimbang, tidak ada beban yang menarik dawai *flying fox*. Dengan demikian terdapat sudut sebesar 0 radian pada dawai *flying fox* dan kecepatan sudutnya konstan dan sama dengan nol. Sama halnya pada percobaan pada media *flying fox*, nilai $\theta(t)$ yang akan dihitung adalah ketika dawai *flying fox* bervibrasi di waktu 1.5 menit pertama atau ketika $t \in [0, 1.5]$ dalam detik. Nilai dan profil grafik $\theta(t)$ yang diperoleh dengan menggunakan fungsi *ode45* pada aplikasi *Matlab* adalah sebagai berikut.

Tabel 3.3 Nilai $\theta(t)$ pada Konstruksi Model

Waktu t	Nilai $\theta_1 (\times 10^{-3})$	Nilai θ_2
0	0	0
0,1	0.0000	-0.0045
0,2	0.0002	0.0113
0,3	0.0002	-0.0163
0,4	0.0004	0.0252
0,5	0.0003	-0.0311
0,6	0.0005	0.0378
0,7	0.0005	-0.0405
0,8	0.0005	0.0430
0,9	0.0007	-0.0426
1,0	0.0005	0.0410
1,1	0.0008	-0.0357
1,2	0.0004	0.0273
1,3	0.0009	-0.0154
1,4	0.0004	-0.0011
1,5	0.0009	0.2024



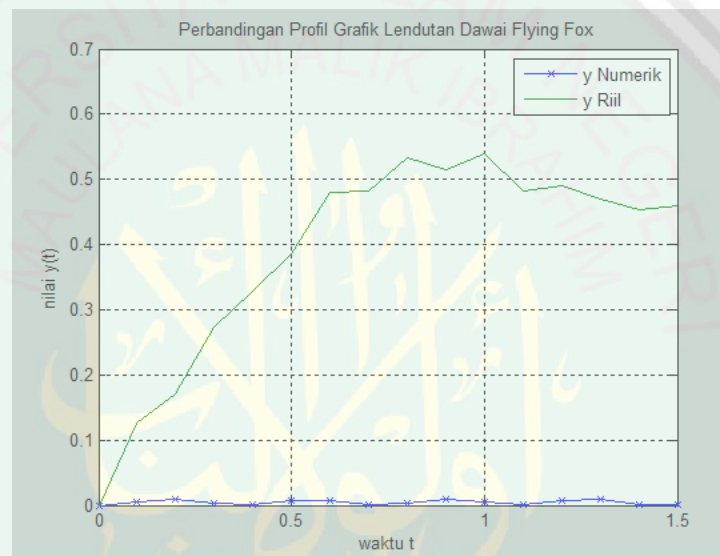
Gambar 3.7 Profil Grafik Sudut $\theta(t)$ *Flying Fox*

3.3 Interpretasi Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying Fox*

Tahap selanjutnya akan dilakukan interpretasi model matematika vibrasi dawai *flying fox* dengan mengamati dan membandingkan beberapa hal berdasarkan profil grafik yang telah diperoleh. Model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang dikonstruksi adalah ketika benda meluncur pada dawai hingga benda berada di posisi tengah dawai saja. Oleh karenanya, pada percobaan *flying fox* juga di ukur nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ ketika benda pertama kali meluncur hingga benda berada pada posisi tengah dawai, yaitu pada waktu nol sampai 1,5 detik pertama.

Perbandingan profil grafik persamaan $y(t)$ pada penelitian ini, dilakukan dengan membandingkan nilai y pada kondisi riil terhadap nilai y_1 pada persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*. Seperti yang sudah dijelaskan pada saat perhitungan numerik, grafik y_1 menyatakan besar lendutan dawai *flying fox* dimulai dari keadaan setimbang sampai ketika terdapat benda meluncur pada

dawai. Kemudian y_2 menyatakan besar kecepatan vibrasi lendutan atau simpangan dawai dimulai ketika dalam kondisi setimbang sampai ketika terdapat benda yang meluncur pada dawai. Oleh karenanya, hasil grafik nilai $y(t)$ pada kondisi riil dibandingkan terhadap hasil numerik nilai y_1 pada persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*. Berikut adalah gambar perbandingan nilai $y(t)$ pada kondisi riil terhadap nilai numerik $y(t)$ pada persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*.

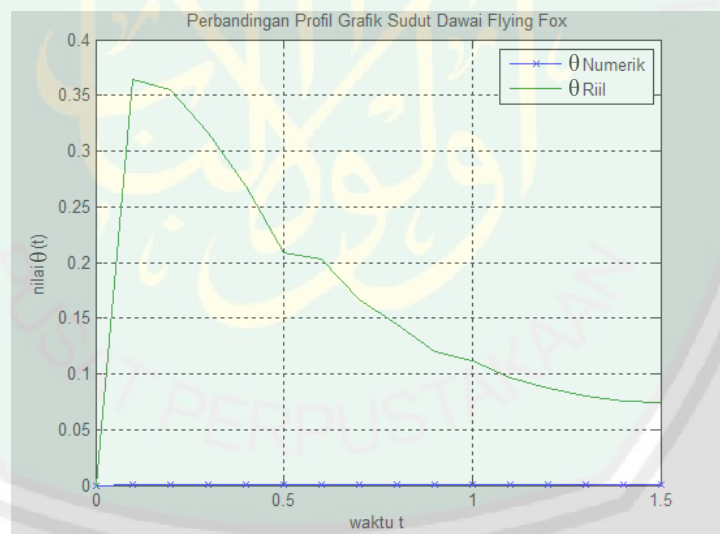


Gambar 3.8 Perbandingan Profil Grafik $y(t)$ Kondisi Riil terhadap Solusi Numerik Model pada saat $t \in [0, 1.5]$

Pada Gambar 3.8 dapat terlihat jelas bahwa terdapat perbedaan nilai y dalam waktu yang sama. Pada profil grafik riil lendutan dawai *flying fox* dapat dilihat bahwa semakin lama grafik lendutannya berangsur-angsur semakin naik atau semakin besar kemudian pada saat $t = 1$ detik sampai $t = 1.5$ detik nilai grafiknya mengecil kembali hingga mendekati keadaan setimbang. Sedangkan pada profil grafik numerik lendutan dawai *flying fox*, dapat diketahui bahwa kondisi grafik lendutan dawai *flying fox* mengalami vibrasi naik turun berulang-

ulang dengan periode yang hampir sama mulai dari $t = 0$ detik sampai $t = 1.5$ detik.

Selanjutnya untuk $\theta(t)$, sama halnya dengan $y(t)$ grafik numerik nilai θ_1 menyatakan besar sudut dawai *flying fox* dimulai dari keadaan setimbang sampai ketika terdapat benda meluncur pada dawai. Kemudian θ_2 menyatakan besar kecepatan vibrasi sudut dawai *flying fox* dimulai ketika dalam kondisi setimbang sampai ketika terdapat benda yang meluncur pada dawai. Oleh karenanya, hasil grafik nilai $\theta(t)$ pada kondisi riil dibandingkan terhadap hasil numerik nilai θ_1 pada persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*. Berikut adalah gambar perbandingan nilai $\theta(t)$ pada kondisi riil terhadap nilai numerik $\theta(t)$ pada persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox*.



Gambar 3.9 Perbandingan Profil Grafik $\theta(t)$ Kondisi Riil terhadap Solusi Numerik Model pada saat $t \in [0, 1.5]$

Pada Gambar 3.9 juga terlihat bahwa profil grafik sudut dawai *flying fox* yang dihasilkan pada kondisi riil berbeda dengan profil grafik sudut model matematika vibrasi dawai *flying fox*. Profil grafik riil sudut dawai *flying fox* menunjukkan bahwa terjadinya kenaikan grafik pada saat $t = 0$ sampai 0,2 detik. Kemudian

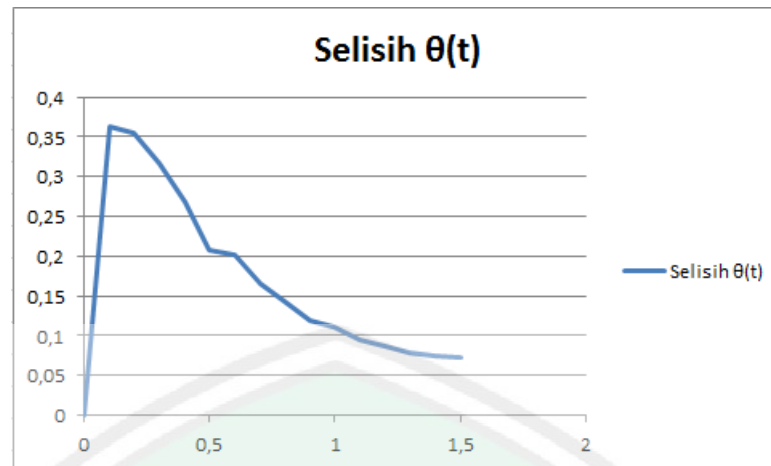
pada saat $t = 0,3$ sampai 1,5 detik grafik berangsur-angsur turun atau mengecil menuju ke keadaan setimbang kembali. Selanjutnya, pada profil grafik sudut model matematika vibrasi dawai *flying fox* dapat diketahui bahwa pada saat $t = 0$ sampai 1,5 detik pertama, grafik mengalami naik turun yang semakin lama nilai $\theta(t)$ nya akan berangsur-angsur semakin besar.

Selanjutnya dilakukan analisis perbandingan hasil nilai $\overline{\theta(t)}$ kondisi riil dawai *flying fox* terhadap nilai $\theta(t)$ model matematika vibrasi dawai *flying fox* pada saat $t \in [0 \text{ } 1.5]$ detik. Data hasil penelitian nilai $\theta(t)$ disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 3.4 Perbandingan Nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$ Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying fox*

Waktu t	Nilai $\overline{\theta}$	Nilai $\theta_1 (\times 10^{-3})$	Selisih
0	0	0	0
0,1	0,3639	0,0000	0,3639
0,2	0,3552	0,0002	0,3550
0,3	0,3168	0,0002	0,3166
0,4	0,2688	0,0004	0,2684
0,5	0,2086	0,0003	0,2083
0,6	0,2029	0,0005	0,2024
0,7	0,1662	0,0005	0,1657
0,8	0,1440	0,0005	0,1435
0,9	0,1203	0,0007	0,1196
1,0	0,1112	0,0005	0,1107
1,1	0,0960	0,0008	0,0952
1,2	0,0877	0,0004	0,0873
1,3	0,0803	0,0009	0,0794
1,4	0,0755	0,0004	0,0751
1,5	0,0742	0,0009	0,0733

Selisih nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$ disajikan dalam diagram garis sebagai berikut:



Gambar 3.10 Grafik Selisih Nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$

Berdasarkan Gambar 3.10 diperoleh hasil bahwa selisih nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$ yang paling besar adalah pada saat $t = 0,1$ detik. Meskipun hasil selisih perbandingan nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$ nol koma sekian, namun dikarenakan besar data variabel percobaan dan perhitungan nilai numerik pada persamaan memang kecil. Maka dengan selisih nilai sebagaimana pada Tabel 3.4 termasuk besar galatnya. Dengan demikian, berdasarkan selisih nilai $\overline{\theta(t)}$ dan $\theta(t)$ dan juga perbandingan profil grafiknya yang berbeda, maka model matematika vibrasi dawai *flying fox* yang telah dikonstruksi masih belum menggambarkan kondisi dawai *flying fox* yang sesungguhnya. Sehingga model belum bisa dikatakan valid. Hal ini mungkin dikarenakan masih ada kekeliruan dalam merumuskan asumsi yang berlaku pada dawai *flying fox*. Mungkin masih ada hukum-hukum fisika pada dawai yang masih tertinggal atau masih ada beberapa satuan yang belum sama dan sesuai. Oleh karenanya, diharapkan pada penelitian lanjutan melakukan perbaikan ulang model matematika vibrasi dawai *flying fox* dengan menganalisis kembali asumsi yang berlaku dan hukum-hukum fisika yang mungkin tertinggal.

BAB IV

PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut; yaitu hasil pengukuran nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada kondisi riil diperoleh pada saat $t = 0$ sampai dengan $t = 1,5$ detik dengan kondisi awal $y(0) = 0$ dan $\theta(0) = 0$. Kemudian berdasarkan grafik nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada kondisi riil menunjukkan bahwa grafik pertumbuhan $y(t)$ bergerak berangsur-angsur membesar dimulai dari $t = 0$ sampai dengan $t = 1$ kemudian bergerak mengecil kembali menuju kondisi setimbang sampai $t = 1,5$ detik. Sedangkan untuk grafik $\theta(t)$ profil grafiknya menunjukkan terjadinya kenaikan grafik pada saat t nol sampai 0,2 detik. Kemudian pada saat t 0,3 sampai 1,5 detik grafik berangsur-angsur turun atau mengecil menuju ke keadaan setimbang kembali.

Hasil perhitungan nilai $y(t)$ dan $\theta(t)$ pada persamaan model matematika vibrasi dawai *flying fox* berdasarkan variasi parameter yang sama seperti pada poin (1), juga diperoleh pada saat $t = 0$ sampai dengan $t = 1,5$ detik dengan kondisi awal $y(0) = 0$ dan $\theta(0) = 0$. Berdasarkan profil grafik $y(t)$ persamaan model menunjukkan bahwa kondisi dawai *flying fox* mengalami vibrasi naik turun berulang-ulang dengan periode yang hampir sama dimulai dari $t = 0$ sampai dengan $t = 1,5$. Sedangkan pada profil grafik nilai $\theta(t)$ menunjukkan bahwa pada saat $t = 0$ sampai dengan $t = 1,5$ detik pertama, grafik mengalami

perubahan naik turun yang semakin lama nilai $\theta(t)$ nya akan berangsur-angsur semakin besar.

Hasil interpretasi model matematika vibrasi dawai *flying fox* diperoleh berdasarkan hasil perbandingan profil grafik kondisi riil terhadap persamaan model. Berdasarkan analisis kedua profil grafiknya, baik secara grafis maupun numerik model matematika vibrasi dawai *flying fox* masih belum menunjukkan kesesuaian perilaku dawai pada percobaan sesungguhnya.

4.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, maka untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan perbaikan model dengan menganalisis kembali ketertinggalan hukum-hukum fisika yang bekerja di sepanjang dawai *flying fox* berdasarkan kondisi alamiah dawai *flying fox*.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 1*. Bogor: Pustaka Imam asy-Syafi'i.
- Arifudin, A.M. 2007. *Fisika untuk SMA*. Jakarta: Interplus.
- Asy-Syuyuthi, J., dan Al-Mahalliy, J.M. 2010. *Tafsir Jalalain*. Tasikmalaya: Pesantren Persatuan Islam 91.
- Bueche, J.F dan Hecht, E. 2006. *Fisika Universitas (Terjemahan), Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.
- Finizio, N. Dan Ladas, G. 1988. *Persamaan Diferensial Biasa dengan Penerapan Modern Edisi Kedua*. Terjemahan WidiatiSantoso. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, D.C. 2014. *Fisika: Prinsip dan Aplikasi (Terjemahan), Edisi Ketujuh, Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- Hartanto, H. 2015. *Smart Pocket Book Fisika SMA Kelas X, XI, & XII*. Yogyakarta: Indonesia Tera.
- Hidayaningrum, Syafitri. 2017. *Konstruksi Model Matematika Vibrasi Dawai Flying Fox*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Kanginan, M. 2006. *Fisika untuk SMA Kelas XI*. Jakarta: Erlangga.
- Kusumastuti, A. 2017. Analysis Construction of Mathematical Modeling Flying Fox String Vibration. *Jurnal Tegnologi*.
- McKenna, P.J dan Moore, K.S. 1999. The Global Structure of Periodic Solutions to a Suspension Bridge Mechanical Model. *IMA Journal Aplied Math*, 67 (5): 459-478.
- Munif, Abdul dan Hidayatullah, Prastyoko Aries. 2003. *Cara Praktis Penguasaan dan Penggunaan Metode Numerik*. Surabaya: Prima Printing.
- Ndii, Meksianis Zadrak. 2018. *Pemodelan Matematika Dinamika Populasi dan Penyebaran Penyakit*. Yogyakarta: Deepublish.
- Pagalay, Usman. 2009. *Mathematical Modelling*. Malang: UIN Maliki Press.
- Prayudi. 2006. *Matematika Teknik*. Bandung: Graha Ilmu.
- Ross, Shepley L. 1984. *Differential Equations*. Third Edition. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Rosyid, M.F., Prabowo, Y.D., dan Firmansyah, E. 2014. *Fisika Dasar Mekanika, Jilid I*. Yogyakarta: Periuk.

Serway, R.A & Vuille, C. 2012. *College Physics, Volume 1, Ninth Edition, International Edition*. Boston: Brooks/Cole.

Sugiyono, V. 2010. *Trik Supercepat Menyelesaikan Fisika SMA*. Jakarta: PT. Kawan Pustaka.

Young, H.D dan Friedman, R.A. 2002. *Fisika Universitas (Terjemahan), Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

Zill, D.G. & Wright, W.S. 2013. *Differential Equations with Boundary-Value Problem, Eight Edition, International Edition*. Boston: Brooks/Cole.



Lampiran 1: Program *Matlab* untuk Lendutan $y(t)$ Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying Fox* berdasarkan Variasi Parameter

```
function dydt=lendutanflyingfox(t,y)

rd=0.001;
rb=0.03;
A=0.00000314;
E=10^7;
l=0.803;
k=E*A/l;
v=0.14;
mu=0.47;
mb=0.075;
md=0.003;
g=9.8;
eta=-0.000018;
b=6*pi*rb;
N=mb*g;
delta1=0.01;
delta2=delta1;

u=(mu*N+b*eta*v-2*E*A)*y(1);
v=mb*sqrt((y(1)^2)+(0.25*(l^2)));

dydt(1,1)=y(2);
dydt(2,1)=-delta1*y(2)+u/v+9.8;

clc,clear

[t,y]=ode45(@lendutanflyingfox,[0 1.5],[0;0]);

plot(t,y(:,1),'-',t,y(:,2),'-')
title('Profil Grafik Numerik Lendutan Flying Fox')
xlabel('Waktu t'); ylabel('Nilai y(t)');
legend('y(1)', 'y(2)')
```

Lampiran 2: Program Matlab untuk Sudut $\theta(t)$ Model Matematika Vibrasi Dawai Flying Fox dengan Variasi Parameter

```
function dxdt=sudutflyingfox(t,θ)

rd=0.001;
rb=0.03;
A=0.00000314;
E=10^7;
l=0.803;
k=E*A/l;
v=0.14;
mu=0.47;
mb=0.075;
md=0.003;
g=9.8;
eta=-0.000018;
b=6*pi*rb;
N=mb*g;
delta1=0.01;
delta2=delta1;

dθdt(1,1)=x(2);
dθdt(2,1)=-delta1*θ(2)-
(6*k*sin(θ(1)))/(md*(cos(θ(1)))^3)+0.05*sin(1.3*t);

clc,clear

[t,θ]=ode45(@sudutflyingfox,[0 1.5],[0;0]);

plot(t,θ(:,1),'-',t,θ(:,2),'-')
title('Profil Grafik Sudut Flying Fox')
xlabel('Waktu t'); ylabel('Nilai θ(t)');
legend('θ(1)', 'θ(2)')
```

RIWAYAT HIDUP



Miladia Kholilah, lahir di Kota Malang pada tanggal 22 Juli 1997, merupakan anak ketiga dari pasangan Ahmad Achwanuri dan Siti Sholihah. Pendidikan dasar diselesaikan di SDNU Bahrul Ulum, Mergosono Kota Malang, yang ditamatkan pada tahun 2009. Pada tahun yang sama, ia melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Darul Qur'an Singosari dan diselesaikan pada tahun 2012. Kemudian ia melanjutkan pendidikan menengah atas di MA Nurul Ulum Kota Malang dan menamatkan pendidikan tersebut pada tahun 2015. Selanjutnya pada tahun 2016 jenjang pendidikan berikutnya ditempuh di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang melalui jalur Mandiri Tulis dengan mengambil Jurusan Matematika di Fakultas Sains dan Teknologi.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang Telp./Fax.(0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Miladia Kholilah
NIM : 16610113
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Matematika
Judul Skripsi : Interpretasi Model Matematika Vibrasi Dawai *Flying Fox*
Pembimbing I : Ari Kusumastuti, M.Pd., M.Si
Pembimbing II : Juhari, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan	
1	03 November 2019	Konsultasi Bab I	1.	
2	05 November 2019	Konsultasi Bab I, Bab II		2.
3	19 November 2019	Konsultasi Bab I	3.	
4	27 November 2019	Konsultasi Bab II, Bab III		4.
5	28 Maret 2020	Konsultasi Bab I, Bab II, Bab III	5.	
6	28 Maret 2020	Konsultasi Bab I, Bab II		6.
7	29 Maret 2020	Konsultasi Bab III dan Kajian Keagamaan	7.	
8	28 April 2020	Konsultasi Kajian Keagamaan Bab I & Bab II		8.
9	28 April 2020	Konsultasi Bab III	9.	
10	29 April 2020	Konsultasi Bab III		10.
11	30 April 2020	Konsultasi Bab I, Bab II, dan Bab III	11.	

Malang, 30 April 2020
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Dr. Usman Pagalay, M.Si
NIP. 19650414 200312 1 001