

SKRIPSI

SIMULASI PERCOBAAN BANDUL FISIS UNTUK MENENTUKAN PERIODE BATANG SILINDER PEJAL MENGGUNAKAN MACROMEDIA FLASH MX

Banu Tri Nugroho

M0299021

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh derajat Sarjana Sains
pada Jurusan Fisika



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA**

2006

SKRIPSI
SIMULASI PERCOBAAN BANDUL FISIS UNTUK
MENENTUKAN PERIODE BATANG SILINDER PEJAL
MENGUNAKAN MACROMEDIA FLASH MX

Banu Tri Nugroho

M0299021

Dinyatakan lulus ujian skripsi oleh tim penguji
pada hari Jum'at tanggal 3 Nopember 2006

Tim Penguji

- | | |
|---|--------|
| 1. <u>Dra. Suparmi, M.A., Ph.D</u>
NIP. 130 529 713 | 1..... |
| 2. <u>Artono Dwijo Sutomo, M.Si</u>
NIP. 132 240 483 | 2..... |
| 3. <u>Drs. Hery Purwanto, M.Sc</u>
NIP. 131 693 687 | 3..... |
| 4. <u>Drs. Iwan Yahya, M.Si</u>
NIP. 132 046 015 | 4..... |

Skripsi in telah diterima sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar
sarjana sains

Dekan

Ketua Jurusan Fisika

Drs. H. Marsusi, M.S

NIP.130 906 776

Drs. Harjana, M.Si., Ph.D

NIP. 131 570 309

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual skripsi ini adalah hasil kerja saya dan sepengetahuan saya hingga saat ini isi skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya kecuali telah dituliskan di daftar pustaka skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terima kasih.

Surakarta, 13 Oktober 2006

Penulis

Banu Tri Nugroho

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan limpahan rahmat dan hidayah dari Allah
Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang
kupersembahkan karya ini untuk :

- Y Bapak dan Ibu yang senantiasa mendidikku sejak
kecil hingga dewasa dengan cinta dan kasih
sayangnya.
- Y Civitas akademika Fisika FMIPA UNS
- Y Umat manusia yang merindukan hadirnya intelektual-
intelektual muslim sebagai *rahmatal lil 'alamin*.

Halaman Motto

- ❁ *“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah nasib suatu kaum, hingga kaum tersebut mengubah nasib mereka dengan kemampuan mereka sendiri.” (QS Ar-Ra’du:11))*
- ❁ *“Allah tidak akan menguji seorang hamba, melainkan sesuai dengan kemampuannya.” (QS Al-Baqarah:286)*
- ❁ *“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan.” (QS Alam Nasyrah:5)*
- ❁ *“Apabila Allah menghendaki kebaikan kepada seseorang, maka Dia akan memberikan kepahaman agama kepadanya.” (HR. Bukhari dan Muslim)*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah menciptakan, menjaga dan yang telah memberi rizki seluruh alam dan seisinya. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rasulullah SAW, keluarga, serta orang-orang yang senantiasa istiqomah mengikuti risalahnya sampai hari kiamat.

Atas berkat rahmat Allah penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul **”Simulasi Percobaan Bandul Fisis untuk Menentukan Periode Batang Pejal dengan Menggunakan Macromedia Flash MX”**. Skripsi yang disusun ini merupakan syarat untuk melengkapi kurikulum dalam menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret.

Terselesaikannya tugas skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Suparmi, MA, Ph.D selaku pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan pengarahan penulis.
2. Bapak Artono Dwijo Sutomo, M.Si selaku pembimbing II yang juga telah ikut meluangkan banyak waktunya untuk membimbing penulis.
3. Drs. Harjana, M.Sc. Ph.D, Selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret.
4. Drs. Marsusi, MS, selaku Dekan Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret.
5. Ibu, Bapak, mbak Anna & Mbak Ika yang telah memberikan motivasinya.

6. My Support System: Ust. Fathul Arifin (UNY), Pak Amin Supodo (Rumah Sehat Asy-Syifa'), Pak Agus Widodo (CV Ziyad Visi Media), Mas Sahid Praptomo (Herba Penawar Al-Wahida / HPA), Akh Santo (Yayasan Solo Peduli), Pak Husni Malik (SDIT Nur Hidayah), Akh Fitra (SMPIT Al-Firdaus), Akh Tunjung (Kepanduan PKS), Akh Winanto (Kantor Pelayanan Pajak Solo), Akh Tamrin Kurniawan (Kebijakan Publik DPD PKS Solo), Akh Didik Lasito (LPR Kriya Mandiri).
7. Keluarga Besar Azzam; Pak Eko, Pak Udin, Mba Echa, Mba Esti, Mba Fitri, Mba Siska, Mas Aris, Pak Supri, Mas Bogi, Akh Ihsan, Fahrurozi, Erma, Mavitra, Dini, Muti', Ijal, Fahrudin, Riza, Rahmat, Intan, Setyorini, dan yang lain, maaf tidak bisa disebut satu persatu.
8. Kawan-kawan seperjuangan di Partai Keadilan Sejahtera yang senantiasa mengabdikan diri untuk bangsa dan negara dengan segenap jiwa raga dan tulus ikhlas hanya mengharap Ridho Allah.
9. Robithoh Moslem Community: Bu Parmi (ibu kost), Digon, Kasirin, Triyono, Heru, Eko, Sutrisno, Topix, Oki, Fendi, Doni, Mas Id, Mas Mangku, Mas Mul, Mas Edi, Agung, kapan ngumpul bareng lagi.
10. Saudara-saudaraku di Forum Mahasiswa Muslim Asal Temanggung (FORMMAT) : Ahmad Taufiq, Mbak Ida, Ida, Antoni, Widodo, Arif, Ivan, Harjo, Anis, Mujinah, dan yang lain. Semoga dakwah di Temanggung lebih semarak lagi.
11. Serta pihak lain yang telah ikut mendukung penulis.

Akhirnya semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dapat memberikan sumbangan kebaikan pada perkembangan ilmu pengetahuan.

Surakarta, 13 Oktober 2005

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
ABSTRAK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	5
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Bandul Sederhana.....	6
2.3. Bandul Fisis.....	9
2.4. Torsi dan Momen Inersia	10
2.5. Teorema Sumbu Sejajar	17
2.6. Macromedia Flash MX	20
2.7. Macromedia Flash MX dan Animasi	23
2.8. Actionscript.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Percobaan Bandul Fisis di Laboratorium.....	26
a. Alat dan Bahan	26
b. Prosedur Percobaan.....	26
3.2 Simulasi Percobaan Bandul Fisis dengan Komputer	28
a. Alat dan Bahan	28
b. Prosedur Pembuatan Simulasi Bandul Fisis.....	29
3.3 Konversi Variabel dan Rumus Bandul Fisis	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Percobaan Bandul Fisis di Laboratorium.....	35
4.2. Simulasi Bandul Fisis Menggunakan Macromedia Flash MX	37
A. Penjelasan Simulasi.....	37
B. Pengujian Simulasi.....	40
4.3. Perbandingan Hasil Percobaan dan Simulasi.....	47

4.4. Kelebihan dan Kelemahan Simulasi	50
A. Kelebihan simulasi	50
B. Kelemahan simulasi.....	50
BAB V PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi elemen gaya yang bekerja pada bandul sederhana.....	6
Gambar 2.2. Ilustrasi elemen gaya yang bekerja pada bandul fisis	9
Gambar 2.3. Ilustrasi garis kerja gaya.....	11
Gambar 2.4. Ilustrasi torsi.....	11
Gambar 2.5. Momen Inersia pada Batang Silinder Pejal.....	16
Gambar 2.6. Teorema Sumbu Sejajar	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Percobaan Bandul Fisis di Laboratorium	28
Gambar 3.2.a Diagram Alir Tahap Pemberian Masukan pada Simulasi Bandul Fisis	30
Gambar 3.2.b Diagram Alir Tahap Proses Simulasi Bandul Fisis	31
Gambar 4.1. Timeline Simulasi Bandul Fisis pada Macromedia Flash MX	37
Gambar 4.2 Tampilan area masukan (<i>input area</i>) pada simulasi.....	38
Gambar 4.3 Tampilan hasil perhitungan (<i>output area</i>) pada simulasi.....	39
Gambar 4.4 Tampilan animasi bandul fisis batang silinder pejal	39
Gambar 4.5 Grafik hubungan jumlah ayunan dengan sudut akhir ayunana untuk panjang batang 1 meter	42
Gambar 4.6 Grafik hubungan jumlah ayunan dengan sudut akhir ayunana untuk panjang batang 0.9 meter	42
Gambar 4.7 Grafik hubungan sudut awal dan sudut akhir ayunan untuk panjang batang 1 meter dan beresilasi selama 10 kali ayunan	45
Gambar 4.8 Grafik hubungan sudut awal dan sudut akhir ayunan untuk panjang batang 0,9 meter dan beresilasi selama 10 kali ayunan	45
Gambar 4.9 Perbandingan hasil nilai periode percobaan laboratorium dengan simulasi bandul fisis untuk panjang batang 1 meter	48
Gambar 4.10 Perbandingan hasil nilai periode percobaan laboratorium dengan simulasi bandul fisis untuk panjang batang 0,9 meter	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 : Tabel Konversi Variabel dan Rumus Teori ke dalam Listing Program.....	32
Tabel 4.1 : Tabel Pergeseran Frame Saat Simulasi Berjalan	43

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Listing Program
- Lampiran 2 : Tampilan Antarmuka (Interface) Simulasi Bandul Fisis Menggunakan Macromedia Flash MX
- Lampiran 3 : Perhitungan Kesalahan Relatif Percobaan Bandul Fisis di Laboratorium
- Lampiran 4 : Tabel Pendekatan $\sin \phi \approx \phi$
- Lampiran 5 : Petunjuk Penggunaan Simulasi Bandul Fisis Batang Silinder Pejal

SIMULASI PERCOBAAN BANDUL FISIS UNTUK MENENTUKAN PERIODE BATANG SILINDER PEJAL MENGUNAKAN MACROMEDIA FLASH MX

Banu Tri Nugroho
M0299021

Jurusan Fisika FMIPA UNS

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan simulasi bandul fisis untuk menentukan periode batang silinder pejal dengan menggunakan Macromedia Flash MX. Simulasi bandul fisis dibagi menjadi dua bagian, yaitu simulasi bandul fisis berdasarkan penjabaran rumus teori dan simulasi bandul fisis berdasarkan percobaan dengan jumlah ayunan sebagai masukan simulasi. Hasil simulasi dibandingkan dengan percobaan bandul fisis yang dilakukan di laboratorium.

Hasil percobaan bandul fisis di laboratorium diperoleh besarnya periode batang silinder pejal untuk panjang batang 1 meter, massa batang 2,25 kg adalah $1,672 \pm 4,723 \times 10^{-3}$ sekon. Sedangkan untuk panjang batang silinder 0,9 meter dan massa 2 kg adalah $1,562 \pm 1,254 \times 10^{-2}$ sekon. Pada simulasi percobaan bandul fisis menggunakan Macromedia Flash MX diperoleh hasil untuk panjang batang silinder 1 meter dan massa batang 2,25 kg, periode osilasi sebesar 1,64 sekon. Sedangkan untuk panjang batang 0,9 meter, massa batang 2 kg, percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$ dan besar sudut awal simpangan 15° , diperoleh data periode osilasi sebesar 1,55 sekon. Berdasarkan hasil tersebut, Macromedia Flash MX dapat digunakan sebagai alternatif untuk memvisualisasikan percobaan bandul fisis.

Kata kunci : Bandul fisis, Flash MX, periode, ActionScript, simulasi.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. LATAR BELAKANG

Fenomena-fenomena alam maupun hal-hal yang terjadi dalam kehidupan manusia sehari-hari sangat erat kaitannya dengan bidang fisika. Untuk membuktikan hakikat tentang segala fenomena alam yang terjadi, ilmu Fisika memakai teori dan kesesuaian eksperimen sebagai patokan untuk hasil pengetahuan yang diperoleh. Dengan menggunakan metode ilmiah, fenomena di alam melalui proses percobaan yang kemudian menghasilkan teori. Teori ini selanjutnya masih diuji lagi melalui percobaan-percobaan selanjutnya. Dalam melakukan pengujian terhadap kebenaran teori, percobaan fisika yang dilakukan di laboratorium dipengaruhi oleh keadaan sekelilingnya. Sehingga tidak mudah bagi seseorang yang melakukan percobaan di laboratorium atau di lapangan untuk mendapatkan data yang diharapkan benar-benar sesuai dengan teori. Berbagai faktor mempengaruhi percobaan yang dilakukan seperti ; gaya gravitasi, gaya gesek, suhu ruang, kelembaban, kebisingan, dan sebagainya. Disamping itu, ada keterbatasan finansial, ruang dan waktu menjadi hambatan dalam melakukan sebuah percobaan fisika.

Diperlukan cara lain dalam melakukan percobaan fisika untuk mengatasi keterbatasan-keterbatasan tersebut. Sejak dahulu ilmuwan telah melakukan berbagai cara, semisal membuat ruang kedap suara, membuat

vakum ruangan disekitar percobaan, mengisolasi, dan cara-cara lain yang tentu saja memerlukan tenaga dan biaya yang tidak sedikit.

Simulasi dengan menggunakan program komputer adalah salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan-keterbatasan pada saat melakukan percobaan fisika. Dengan menggunakan simulasi komputer, dapat dibuat analogi-analogi yang mendekati percobaan fisika sesungguhnya. Sebagai contoh, percobaan bandul sederhana pada komputer dengan simulasi dapat dilakukan dengan panjang batang 20 meter atau lebih yang hal tersebut tidak mungkin dilakukan di lapangan. Selain itu, simulasi dengan program komputer dapat memformulasikan rumusan matematisnya dari prinsip hukum fisika tanpa melalui percobaan untuk bahan, alat maupun metode yang lain untuk mencapai tujuan yang sama.

Penelitian ini mengambil kasus pada percobaan bandul fisis dengan bahan batang silinder pejal dimana percobaan ini dilakukan dengan cara menggantungkan salah satu ujung silinder pejal pada pengait di dinding, kemudian diayunkan dengan sudut simpangan tertentu. Sebagai visualisasinya, penulis membuat sebuah simulasi percobaan bandul fisis dengan bahan silinder silinder pejal menggunakan program animasi Macromedia Flash MX.

I.2. RUMUSAN MASALAH

Penelitian kali ini akan menggunakan *software Macromedia Flash MX* untuk pembuatan simulasi bandul fisis. Simulasi bandul fisis ini hanya

mengkhususkan pada bahan batang silinder pejal. Pada simulasi tersebut akan ditunjukkan animasi dari percobaan bandul fisis dengan bahan batang silinder pejal bila diberikan variabel masukan panjang batang, massa batang, percepatan gravitasi, sudut awal ayunan dan jumlah ayunan.

I.3. BATASAN MASALAH

Karena keterbatasan waktu, data-data, pengetahuan serta kemampuan dan agar permasalahan lebih terfokus, maka perlu adanya pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Pengamatan percobaan bandul fisis dengan bahan silinder silinder pejal di laboratorium.
2. Pembuatan animasi terprogram percobaan fisika bandul fisis untuk bahan silinder silinder pejal dengan menerjemahkan rumus-rumus yang berhubungan dengan percobaan ke dalam bahasa pemrograman animasi yaitu *actionscripts*.
3. Melakukan pengujian simulasi bandul fisis dengan cara memvariasikan sudut simpangan sebelum ayunan dan membandingkan dengan sudut simpangan sesudah ayunan pada jumlah ayunan tertentu.

I.4. TUJUAN

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memberikan visualisasi dari percobaan fisika bandul fisis dengan bahan batang silinder pejal melalui simulasi dengan menggunakan program Macromedia Flash MX.

I.5. MANFAAT

Dari pembahasan masalah pada tugas akhir ini, diharapkan dapat memperoleh manfaat sebagai berikut :

1. Dapat memberikan gambaran tentang percobaan bandul fisis.
2. Dapat memformulasikan rumusan matematisnya dari prinsip hukum fisika tanpa melalui percobaan dengan bahan, alat maupun metode yang lain untuk mencapai tujuan yang sama.

I.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan ini terdiri dari lima bab. Untuk BAB I berisi pendahuluan yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penulisan dan sistematika penulisan. BAB II berisi mengenai dasar teori yang digunakan dalam penelitian. Dasar teori ini terdiri dari delapan sub bab, yaitu Pendahuluan, Bandul sederhana, Bandul fisis, Torsi dan momen inersia, Teorema Sumbu Sejajar, Macromedia Flash MX, Macromedia Flash MX dan Animasi, serta Actionscript. BAB III berisi metodologi penelitian yang terdiri dari tiga sub bab yaitu : Percobaan bandul fisis di laboratorium, Simulasi percobaan bandul fisis dengan komputer, dan Konversi variabel dan rumus bandul fisis. BAB IV berisi hasil dan pembahasan. BAB V berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

LANDASAN TEORI

II.1. PENDAHULUAN

Sains merupakan suatu cara untuk mengetahui, yang merupakan perpaduan antara logika dan perhitungan. Banyak bidang sains dasar atau sains murni yang dipelajari dan berhubungan dengan kehidupan manusia, di mana salah satunya adalah bidang fisika. Fenomena-fenomena alam maupun hal-hal yang terjadi dalam kehidupan manusia sehari-hari sangat erat kaitannya dengan bidang fisika. Untuk membuktikan hakikat tentang segala fenomena alam yang terjadi, ilmu Fisika memakai teori dan kesesuaian eksperimen sebagai patokan untuk hasil pengetahuan yang diperoleh (Nurmayasari, 2003).

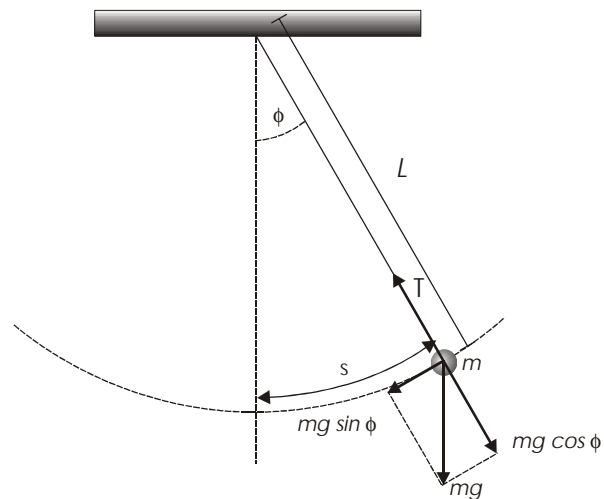
Oleh karena ilmu Fisika mempelajari fenomena alam, maka terdapat banyak sekali bagian-bagian dalam mempelajari ilmu Fisika, salah satunya adalah Osilasi dan Gelombang. Dalam buku "*Fisika, Untuk Sains dan Teknik*", Tipler (1998) menempatkan Osilasi dan Gelombang pada bagian kedua setelah Mekanika.

Osilasi terjadi bila sebuah sistem diganggu dari posisi kesetimbangan stabilnya. Karakteristik gerak osilasi yang paling dikenal adalah gerak tersebut bersifat periodik, yaitu berulang-ulang (Tipler, 1998). Adapun penelitian yang dilakukan yaitu tentang Bandul Fisis merupakan bagian dari Osilasi dan Gelombang. Karena mempunyai sifat

gerak yang periodik, bandul dapat dipergunakan sebagai alat pengukur gravitasi, maupun sebagai penggerak jam mekanis.

II.2. BANDUL SEDERHANA

Gerak bandul merupakan gerak harmonik sederhana hanya jika amplitudo geraknya kecil. Gambar dibawah ini memperlihatkan bandul sederhana yang terdiri dari tali dengan panjang L dan beban bermassa m . gaya yang bekerja pada beban adalah beratnya mg dan tegangan T pada tali.



Gambar 2.1 Ilustrasi elemen gaya yang bekerja pada bandul sederhana

Bila tali membuat sudut f terhadap vertikal, berat memiliki komponen-komponen $mg \cos f$ sepanjang tali dan $mg \sin f$ tegak lurus tali dalam arah berkurangnya f . Misalkan s sebagai panjang busur diukur dari dasar lingkaran, maka panjang busur dihubungkan ke sudut f oleh

$$s = L f \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Komponen tangensial percepatan benda adalah d^2s/dt^2 . komponen tangensial hukum kedua Newton adalah

$$\sum Ft = -mg \sin f = m \frac{d^2s}{dt^2}$$

atau

$$\frac{d^2s}{dt^2} = g \sin f = -g \sin \frac{s}{L} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

jika s jauh lebih kecil daripada s/L , sudut $f=s/L$ adalah kecil, dan kita dapat mendekati $\sin f$ dengan sudut f . Dengan menggunakan $\sin (s/L) = s/L$ dalam persamaan 2.2, diperoleh :

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\frac{g}{L} s \quad \dots\dots\dots (2.3a)$$

Dengan melihat bahwa untuk sudut cukup kecil sehingga $\sin f = f$ berlaku, percepatan berbanding lurus dengan simpangan. Gerak bandul dengan demikian mendekati gerak harmonik sederhana untuk simpangan kecil. Persamaan 2-3a dapat ditulis

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -w^2 s \quad \dots\dots\dots (2.3b)$$

dengan

$$w^2 = \frac{g}{L} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

penyelesaian persamaan 2.3a adalah $s = s_o \cos (\omega t + d)$ dengan s_o adalah simpangan maksimum diukur sepanjang busur lingkaran. Periode gerak harmonik tersebut adalah

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Menurut persamaan 2.5 makin panjang tali, makin besar periode, yang konsisten dengan pengamatan eksperimen. Dari rumus diatas terlihat bahwa periode tidak bergantung pada massa. Hal ini berlaku karena gaya pemulih berbanding lurus dengan massa. Begitu pula dengan frekuensi dan periode tidak bergantung pada amplitudo osilasi, segi umum gerak harmonik sederhana.

Seringkali gerak bandul sederhana lebih mudah dinyatakan dalam bentuk simpangan sudutnya f . Dengan menggunakan $s = Lf$ dalam persamaan 2.2 akan memperoleh

$$\frac{d^2(Lf)}{dt^2} = -g \sin f$$

atau

$$\frac{d^2(f)}{dt^2} = -\frac{g}{L} \sin f \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

yang untuk f kecil menjadi

$$\frac{d^2(f)}{dt^2} = -\frac{g}{L} f = -\omega^2 f \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

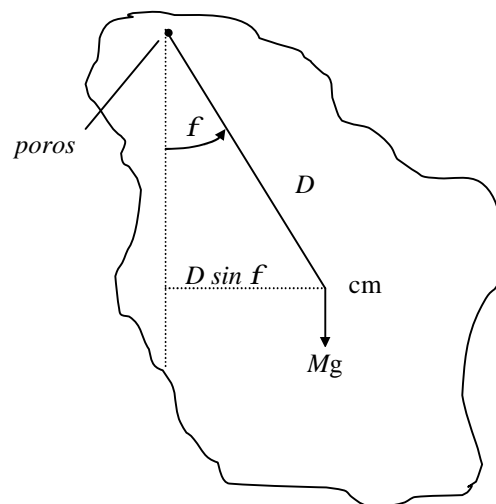
Penyelesaian persamaan 2.7 adalah

$$f = f_o \cos (\omega t + d) \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan $f_0 = s_0/L$ sebagai simpangan sudut maksimum. Kriteria gerak harmonik sederhana yang dinyatakan dalam besaran-besaran sudut ini adalah bahwa percepatan sudut harus berbanding lurus dengan simpangan sudut dan berlawanan arah seperti dalam persamaan 2.7 (Tipler, 1998)

II.3. BANDUL FISIS

Sebuah benda tegar yang digantung dari suatu titik yang bukan merupakan pusat massanya akan berosilasi ketika disimpangkan dari posisi kesetimbangannya. Sistem seperti ini disebut **bandul fisis**. Bila ditinjau sebuah bangun datar yang digantung pada sebuah titik berjarak D dari pusat massanya dan disimpangkan dari kesetimbangan sebesar sudut f seperti ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Ilustrasi elemen gaya yang bekerja pada bandul fisis

Torsi terhadap titik gantung bernilai $MgD \sin f$ dan cenderung mengurangi f . Percepatan sudut a dihubungkan dengan torsi oleh

$$\tau = I\alpha = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

dengan I momen inersia di sekitar titik gantung. Dengan mensubstitusikan

$-MgD \sin \theta$ untuk torsi total, diperoleh

$$-MgD \sin \theta = I \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

atau

$$-\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{MgD}{I} \sin \theta \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Untuk bandul sederhana, $I = ML^2$ dan $D = L$, sehingga persamaan 2.9 sama seperti persamaan 2.7. Gerak mendekati gerak harmonik sederhana bila simpangan sudutnya kecil sehingga berlaku aproksimasi $\sin \theta \approx \theta$. Dalam kasus ini diperoleh

$$-\frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{MgD}{I} \theta = -\omega^2 \theta \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

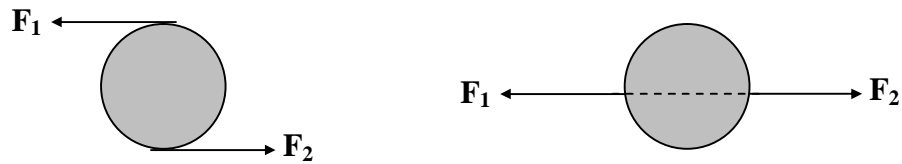
dengan $\omega^2 = MgD/I$. Periodenya adalah

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{I}{MgD}} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

(Tipler, 1998)

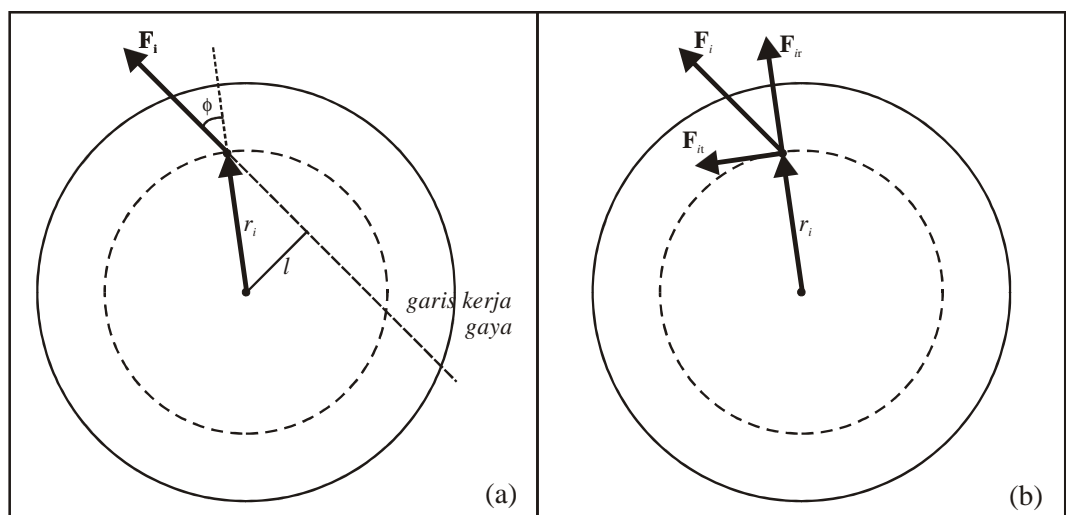
II.4. TORSI DAN MOMEN INERSIA

Sebuah cakram yang diam mendatar pada permukaan horizontal dibuat berputar oleh gaya \mathbf{F}_1 dan \mathbf{F}_2 yang bekerja pada tepi cakram.



Gambar 2.3 Ilustrasi garis kerja gaya

Kedua gaya yang sama itu bila dikerjakan sedemikian rupa hingga garis kerjanya melalui pusat cakram, seperti pada gambar 2.3, tidak akan menyebabkan cakram berputar. (Garis kerja sebuah gaya adalah garis perpanjangan vektor gaya). Jarak tegak lurus antara garis kerja sebuah gaya dan sumbu rotasi dinamakan **lengan** (l) gaya tersebut. Hasil kali sebuah gaya dengan lengannya dinamakan **torsi** (t). Torsi yang diberikan pada sebuah benda oleh sebuah gaya adalah besaran yang mempengaruhi kecepatan angular benda tersebut (Tipler, 1998).



Gambar 2.4 Ilustrasi torsi

Gambar 2.4 menunjukkan sebuah gaya F_i yang bekerja pada partikel ke i dari sebuah cakram. Lengan gaya ini adalah $l = r_i \sin f$, dengan f

adalah sudut antara gaya \mathbf{F}_i dan vektor posisi \mathbf{r}_i ke titik tangkap gaya. Jadi, besarnya torsi yang diberikan oleh gaya ini adalah

$$t_i = F_i l = F_i r_i \sin f \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

Pada gambar 2.4b gaya \mathbf{F}_i diuraikan menjadi dua komponen, $\mathbf{F}_{ix} = \mathbf{F}_i \cos f$, sepanjang garis radial \mathbf{r}_i dan $\mathbf{F}_{it} = \mathbf{F}_i \sin f$ tegak lurus garis radial. Komponen \mathbf{F}_{ix} tidak mempunyai pengaruh pada rotasi cakram karena garis kerja gaya berhimpit dengan sumbu rotasi. Torsi yang diberikan oleh \mathbf{F}_i dapat dinyatakan dalam \mathbf{F}_{it} . Dari persamaan (2.12) dapat diperoleh

$$t_i = F_i l = F_i \cdot r_i \cdot \sin f = f_{it} \cdot r_i \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

Torsi merupakan besaran vektor. Karena bila arah gaya diubah, arah rotasi benda berubah. Bila arah rotasi benda berubah maka arah torsi juga berubah.

Bila diasumsikan bahwa \mathbf{F}_i adalah gaya eksternal neto yang bekerja pada partikel ke- i , maka percepatan tangensial partikel ke- i dari hukum kedua Newton, adalah

$$F_{it} = m_i a_{it} = m_i r_i a \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

yang mana digunakan hubungan $a_{it} = r_i a$ antara percepatan tangensial partikel ke- i dan percepatan angular benda. Jika tiap ruas dikalikan dengan r_i , kita dapatkan

$$r_i F_{it} = m_i r_i^2 a \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

ruas kiri persamaan 8-15 adalah torsi $t_i = r_i F_{it}$ yang dilakukan gaya F_i terhadap sumbu O. Jadi akan diperoleh

$$t_i = m_i r_i^2 a \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

jika sekarang dijumlahkan untuk semua partikel dalam benda, maka akan didapatkan

$$\sum_i t_i = \sum_i m_i r_i^2 a \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

besaran $\sum t_i$ adalah torsi neto yang bekerja pada benda, yang akan dinyatakan dengan τ_{neto} . Untuk benda tegar, percepatan angular adalah sama untuk semua partikel benda, dan karena itu dapat dikeluarkan dari penjumlahan. Besaran $\sum m_i r_i^2$ adalah sifat benda dan sumbu rotasi yang dinamakan momen inersia I :

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

Dalam persamaan ini, jarak r_i adalah jarak dari partikel ke- i ke sumbu rotasi. Biasanya, jarak ini tidak sama dengan jarak dari partikel ke- i ke titik asal, walaupun untuk sebuah cakram dengan titik asalnya di pusat sumbu, jarak-jarak ini adalah sama. Momen inersia adalah ukuran resistansi/kelembaman sebuah benda terhadap perubahan dalam gerak rotasi. Momen inersia ini tergantung pada distribusi massa benda relatif terhadap sumbu rotasi benda. Momen inersia adalah sifat benda (dan sumbu rotasi), seperti massa m yang merupakan sifat benda yang mengukur kelembamannya terhadap perubahan dalam gerak translasi (Tipler, 1998).

Untuk sistem yang terdiri dari sejumlah kecil partikel-partikel diskrit, dapat dihitung momen inersia terhadap sumbu tertentu langsung dari persamaan 2.16.

Persamaan 2.15 dapat dinyatakan dalam momen inersia menjadi

$$t_{neto} = I\mathbf{a} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

persamaan 8-18 adalah analogi rotasional tentang hukum kedua Newton untuk gerakan linear :

$$\mathbf{F}_{neto} = m\mathbf{a}$$

Torsi neto analog dengan gaya neto, momen inersia analog dengan massa, dan percepatan angular analog dengan percepatan linear.

Gaya neto yang bekerja pada suatu sistem partikel adalah sama dengan gaya eksternal neto yang bekerja pada sistem. Karena, menurut hukum ketiga Newton gaya-gaya internal yang dikerjakan oleh partikel-partikel di dalam sistem satu terhadap yang lain saling meniadakan secara berpasang-pasangan. Dengan mengasumsikan bahwa ini berlaku untuk semua gaya internal, kita dapatkan bahwa torsi neto yang bekerja pada suatu sistem juga sama dengan torsi eksternal neto yang bekerja pada sistem (Tipler, 1998).

Ketika benda pejal tidak dapat didefinisikan oleh beberapa titik masa tetapi didefinisikan sebagai distribusi massa kontinyu, maka jumlahan massa dan jarak pada definisi momen inersia pada persamaan di atas diubah menjadi bentuk integral.

$$I = \int r^2 dm \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

Untuk mengevaluasi integral, harus menampilkan r dan dm dalam bentuk variabel integral yang sama. Pada benda 1 dimensi seperti silinder pejal dapat digunakan sumbu x sepanjang batang silinder dan mencari hubungan dm sebagai pertambahan dx . Untuk benda tiga dimensi, dm dihubungkan dengan elemen volume dV dan massa jenis benda ρ . Massa jenis adalah masa per satuan volume, $\rho = dm/dV$, jadi persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut :

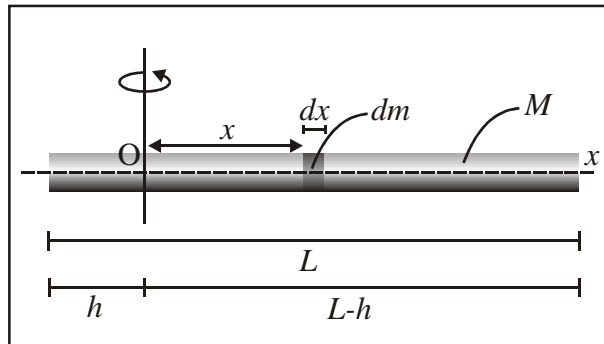
$$I = \int r^2 r dV$$

Bila benda mempunyai massa jenis yang seragam, maka ρ dapat dikeluarkan dari integral :

$$I = \rho \int r^3 dV \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

Untuk menggunakan persamaan ini, harus menjabarkan elemen volume dV menjadi variabel integral yang lebih sederhana seperti $dV = dx \cdot dy \cdot dz$. Elemen dV harus selalu dipilih sedemikian rupa sehingga semua titik pada benda tersebut mempunyai jarak yang sama dari sumbu rotasi. Batas integral ditentukan dengan bentuk dan dimensi benda. Untuk bentuk benda yang biasa pengintegralan ini mudah ditentukan (Young *et al*, 1985).

Momen inersia dari batang silinder pejal bermassa M dan panjang L dengan sumbu rotasi berada pada jarak h dari ujung batang dan tegak lurus panjang batang, dapat dihitung sebagai berikut :



Gambar 2.5 Momen inersia pada batang silinder pejal dengan sumbu rotasi tegak lurus panjang batang

Elemen massa dipilih sebagai sebuah potongan kecil dengan panjang dx pada jarak x dari titik O . Perbandingan massa dm pada elemen ini dengan massa M sebanding dengan perbandingan panjang dx dengan total panjang batang silinder L .

$$\frac{dm}{M} = \frac{dx}{L}$$

dengan demikian, dm dapat disubstitusikan pada persamaan 2.18 dan menambahkan batas integral pada x untuk mendapatkan

$$\begin{aligned} I &= \int x^2 dm = \frac{M}{L} \int_{-h}^{L-h} x^2 dx \\ &= \left[\frac{M}{L} \left(\frac{x^3}{3} \right) \right]_{-h}^{L-h} \\ &= \frac{1}{3} M (L^2 - 3Lh + 3h^2) \end{aligned}$$

dari persamaan umum ini dapat dicari momen inersia sekitar sumbu melewati setiap titik pada batang. Sebagai contoh jika sumbu rotasi berada pada ujung kiri batang, $h=0$ dan

$$I = \frac{1}{3} ML^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

jika sumbu rotasi berada di ujung kanan, akan diperoleh hasil yang sama.

Dengan memberikan $h=L$, akan didapat $I = \frac{1}{3} ML^2$ juga.

Jika sumbu rotasi tepat melewati tengah-tengah batang, $h = L/2$ sehingga didapatkan

$$\begin{aligned} I &= \int x^2 dm = \frac{M}{L} \int_{-\frac{1}{2}L}^{\frac{1}{2}L} x^2 dx \\ &= \left[\frac{M}{L} \left(\frac{x^3}{3} \right) \right]_{-\frac{1}{2}L}^{\frac{1}{2}L} \\ &= \frac{1}{3} \frac{M}{L} \left[\frac{L^3}{8} - \left(-\frac{L^3}{8} \right) \right] = \frac{1}{3} \frac{M}{L} \left[\frac{2L^3}{8} \right] \\ I &= \frac{1}{12} ML^2 \end{aligned}$$

(Young *et al*, 1985).

II.5. TEOREMA SUMBU SEJAJAR

Perhitungan untuk menentukan momen inersia kadang lebih mudah dengan menggunakan teorema umum yang menghubungkan momen inersia terhadap satu sumbu benda dengan momen inersia terhadap sumbu yang lain. Teorema sumbu sejajar menghubungkan momen inersia terhadap sumbu yang melalui pusat massa benda dengan momen inersia terhadap sumbu kedua yang sejajar (Tipler, 1998).

Misalkan I_{cm} adalah momen inersia terhadap sebuah sumbu yang lewat pusat massa benda dan I adalah momen inersia terhadap sumbu yang sejajar pada jarak h . teorema sumbu sejajar menyatakan bahwa

$$I = I_{cm} + Mh^2$$

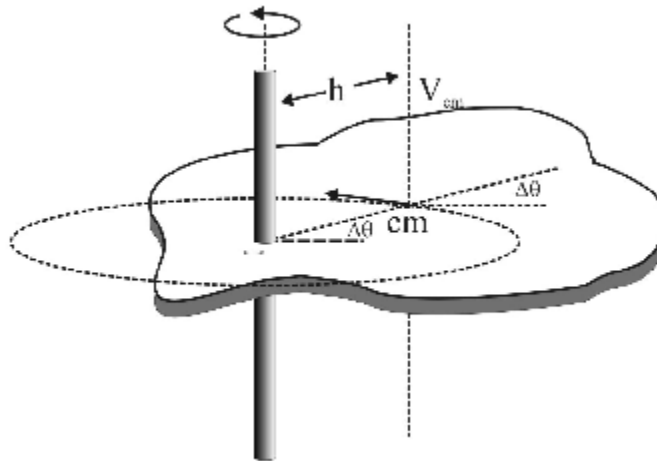
Dengan M adalah massa total benda.

Teorema ini dapat dibuktikan dengan menggunakan konsep bahwa energi kinetik suatu sistem partikel adalah jumlah energi kinetik gerakan pusat massa ditambah energi kinetik relatif terhadap pusat massa:

$$K = \frac{1}{2}MV_{cm}^2 + K_{rel} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

Sebuah benda tegar yang berputar dengan kecepatan angular ω terhadap sumbu yang berjarak h dari sumbu sejajar yang melalui pusat massa seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6. Bila benda berputar menempuh sudut $\Delta\theta$ diukur terhadap sumbu rotasi, maka benda tersebut berputar menempuh sudut yang sama $\Delta\theta$ diukur terhadap setiap sumbu sejajar lain. Jadi, gerakan benda relatif terhadap pusat massa adalah rotasi terhadap sumbu pusat massa dengan kecepatan angular yang sama ω . Dengan demikian, energi kinetik gerakan relatif terhadap pusat massa adalah

$$K_{rel} = \frac{1}{2} I_{cm} \omega^2$$



Gambar 2.6 Teorema sumbu sejajar

Kecepatan pusat massa relatif terhadap setiap titik pada sumbu putar adalah

$$V_{cm} = h \omega$$

Jadi, energi kinetik pusat massa adalah

$$\frac{1}{2} M V_{cm}^2 = \frac{1}{2} M (h\omega)^2 = \frac{1}{2} M \omega^2 h^2$$

Bila energi kinetik total benda ditulis sebagai $\frac{1}{2} I \omega^2$, persamaan 2.20 menjadi

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} M \omega^2 h^2 + \frac{1}{2} I_{cm} \omega^2 = \frac{1}{2} (M h^2 + I_{cm}) \omega^2$$

Jadi,

$$I = M h^2 + I_{cm}$$

Untuk batang silinder pejal, telah diketahui bahwa momen inersia terhadap sumbu yang melalui ujung batang silinder adalah $\frac{1}{3} M L^2$. Karena sumbu ini berada pada jarak $h = \frac{1}{2} L$ dari pusat massa batang, teorema sumbu sejajar menghasilkan

$$I = I_{\text{cm}} + M \left(\frac{1}{2} L\right)^2 = \frac{1}{3} ML^2$$

Atau

$$I_{\text{cm}} = \frac{1}{3} ML^2 - \frac{1}{4} ML^2 = \frac{1}{12} ML^2 ,$$

untuk sumbu melewati tengah batang (Tipler, 1998).

II.6. MACROMEDIA FLASH MX

Flash digunakan dalam pembuatan grafis berbasis vektor dan animasi dengan kecepatan dan kualitas tinggi untuk mendesain halaman web (Mortier, 2001). Macromedia Flash MX adalah sebuah aplikasi grafis standar profesional untuk memproduksi desain "high-impact web". Macromedia Flash MX dapat digunakan untuk menciptakan animasi logo, kontrol navigasi website, animasi bentuk panjang, pintu gerbang website, atau aplikasi web. Macromedia Flash MX sangat fleksibel dan mudah digunakan untuk menciptakan animasi-animasi sesuai keinginan pengguna (www.macromedia.com).

Penelitian ini menggunakan macromedia Flash MX karena aplikasi ini belum banyak dikembangkan khususnya untuk manfaat dalam bidang fisika. Dengan menggunakan Macromedia Flash MX, rumus-rumus fisika dapat divisualisasikan dalam bentuk animasi sederhana dan dengan kapasitas penyimpanan file yang relatif kecil jika dibanding program lain. Disamping itu pula, Flash dapat dipublikasikan lewat media internet sehingga memungkinkan orang lain untuk belajar via internet dan

mengetahui visualisasi dari topik-topik bahasan fisika dengan menggunakan simulasi flash.

Adapun kelebihan Macromedia Flash dengan beberapa aplikasi pemrograman seperti Borland Delphi, Visual Basic, PHP Script, Java Script dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Dengan Borland Delphi dan Visual Basic

Kedua aplikasi pemrograman ini adalah yang sering dipakai oleh para programmer untuk mendesain sebuah program baru yang dapat berdiri sendiri. Hanya saja, Delphi mempunyai ukuran yang relatif besar karena setiap pembuatan program. Delphi selalu menyertakan fungsi-fungsi pendukung dalam program yang telah jadi. Sementara Visual Basic menggunakan fungsi-fungsi yang sudah ada pada Microsoft Windows sehingga bila program Visual Basic memerlukan fungsi-fungsi tertentu, cukup memanggil fungsi tersebut dari direktori Windows. Kapasitas penyimpanan untuk hasil program yang dibuat dengan menggunakan Delphi atau Visual Basic relatif lebih besar terutama untuk pemrograman berbasis animasi dan gambar.

Jika dibandingkan dengan kedua aplikasi pemrograman di atas, Macromedia Flash mempunyai kapasitas penyimpanan file yang lebih kecil terutama untuk pemrograman berbasis animasi dan gambar.

b. PHP Script dan Java Script

Kedua bahasa pemrograman ini sering dipakai dalam pembuatan situs-situs web dan aplikasi *web-programming* seperti pembuatan buku tamu, forum diskusi, polling online, dan pembuatan web *e-commerce*. Namun pembuatan desain program dengan menggunakan PHP Script dan Java Script terlebih dahulu harus menuliskan listing-listing programnya menggunakan pengolah kata seperti notepad (Windows) atau vi (Linux). Sehingga pengeditan tampilan tidak dapat dilakukan secara langsung dengan menampilkan *preview* dari program yang telah jadi. Bila ingin melihat program yang telah jadi, harus di-*upload* ke komputer Server yang mendukung bahasa pemrograman PHP dan Java. Hal ini akan menyulitkan bagi para pengguna yang masih awam untuk belajar pemrograman.

Macromedia Flash bersifat *Client-side programming*. Artinya, program ini dapat dijalankan pada komputer *stand-alone* tanpa harus terhubung ke jaringan maupun komputer server. Proses pengeditan program langsung ditampilkan sehingga pengguna dapat mengatur dengan leluasa tampilan programnya. Di samping itu, Macromedia Flash juga mendukung bahasa pemrograman PHP dan Java dengan perantara perintah *fscommand*.

II.7. MACROMEDIA FLASH MX DAN ANIMASI

Animasi adalah simulasi pergerakan yang diciptakan dengan mempertunjukkan rangkaian gambar. Salah satu contoh animasi adalah film kartun di televisi. Animasi pada komputer merupakan salah satu sarana penunjang penting dalam presentasi-presentasi multimedia. Adapun perbedaan antara animasi dengan video adalah video mengambil gambar bergerak secara langsung dan menjadikannya dalam bentuk frame-frame yang diskrit, sedangkan animasi dimulai dari gambar-gambar yang bebas dan menempatkan mereka bersama-sama ke bentuk ilusi gerak langsung (<http://www.webopedia.com>).

Sedangkan menurut Fitrini (2002), animasi adalah gambar yang dibuat dengan menggunakan teknik tertentu sehingga gambar tersebut menjadi seakan-akan bergerak apabila dilihat oleh mata. Bila animasi ditambahkan dengan efek suara, maka animasi ini akan menjadi suatu elemen yang *powerfull* untuk digunakan dalam suatu aplikasi multimedia.

Ada tiga cara membuat animasi di Macromedia Flash, yaitu :

1. *Frame by Frame Animation*

Animasi ini dibentuk dengan cara menggabungkan frame-frame berisi gambar / obyek dalam sebuah timeline kemudian dijalankan secara berurutan. Cara ini cocok untuk membuat animasi yang rumit dan kompleks. Animasi ini mempunyai ukuran file yang besar dibandingkan *tweened animation*. Oleh karena itu disarankan bila

animasi yang dibuat tidak terlalu rumit, lebih baik menggunakan *tweened animation* untuk mengurangi ukuran file flash.

2. *Tweened Animation*

Animasi ini dibentuk dengan cara membuat titik pangkal animasi dan titik ujung pergerakan. Kemudian kedua titik objek tersebut dihubungkan dengan perintah *tweening*. Ada dua jenis *tweened animation*. Pertama adalah *motion tweening*, yang harus dilakukan adalah menentukan property seperti posisi, ukuran dan rotasi untuk sebuah objek. Dan pada saat yang bersamaan juga mengubah properti yang sama di frame berikutnya. Kedua adalah *shape tweening*. Cara ini adalah menggambar shape pada satu *keyframe*, dan sekaligus juga mengubah bentuk shape tersebut di *keyframe* berikutnya. Berdasarkan informasi perubahan nilai atau shape tersebut, Flash membuat beberapa frame di antara *keyframe* tersebut (*frames in between*) untuk membuat animasi.

3. Programming Animation

Animasi ini dibentuk dengan cara membuat script-script pemrograman pada objek yang akan dijalankan.

II.8. ACTIONSCRIPT

ActionScript merupakan bahasa pemrograman yang modular. Artinya adalah script-script merupakan modul-modul kecil untuk melakukan hal yang luar biasa, seperti memainkan atau menghentikan

suatu film. Setiap modul berdiri sendiri tetapi digabungkan bersama-sama menjadi animasi film Flash. Pada ActionScript, script dapat bersifat tidak sederhana dan kompleks.

ActionScript menggunakan pemrograman berorientasi objek (*Object Oriented Programming / OOP*). Pendekatan yang dilakukan pada ActionScript adalah menganggap semua elemen dalam suatu program sebagai objek. Semua objek mempunyai atribut-atribut yang dapat diubah oleh ActionScript, dan setiap objek mempunyai ID yang unik yang dapat direferensi ActionScript. Objek-objek tersebut juga dapat dibentuk menjadi suatu hirarki. Suatu objek dapat dibentuk dari beberapa objek (Sanders, 2001).

ActionScript atau Action dibagi menjadi dua, yaitu :

- a. **Action Frame** adalah action yang diberikan pada frame. Frame yang berisi Action terdapat tanda **a** pada framenya.
- b. **Action Objek** adalah Action yang diberikan pada obyek, baik berupa tombol maupun movie clip. (Hakim, 2003)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dibagi dalam dua tahap. Tahap pertama, yaitu mengamati percobaan bandul fisis di laboratorium. Tahap kedua, pembuatan simulasi percobaan bandul fisis dengan menggunakan komputer.

III.1. PERCOBAAN BANDUL FISIS DI LABORATORIUM

a. Alat dan Bahan

Percobaan bandul fisis di laboratorium menggunakan alat dan bahan sebagai berikut :

- 1) Batang silinder pejal dengan ukuran sebagai berikut :
 - a. Silinder 1, panjang 0,9 m, diameter $1,912 \times 10^{-2}$ m dan massa 2 kg
 - b. Silinder 2, panjang 1,0 m, diameter $1,912 \times 10^{-2}$ m dan massa 2.25 kg.
- 2) Stopwatch
- 3) Busur derajat

b. Prosedur Percobaan

Pada percobaan bandul fisis untuk menentukan periode batang silinder pejal, diberikan prosedur sebagai berikut :

- 1) Memasang batang silinder pejal pada sumbu rotasi yang telah terpasang di dinding.

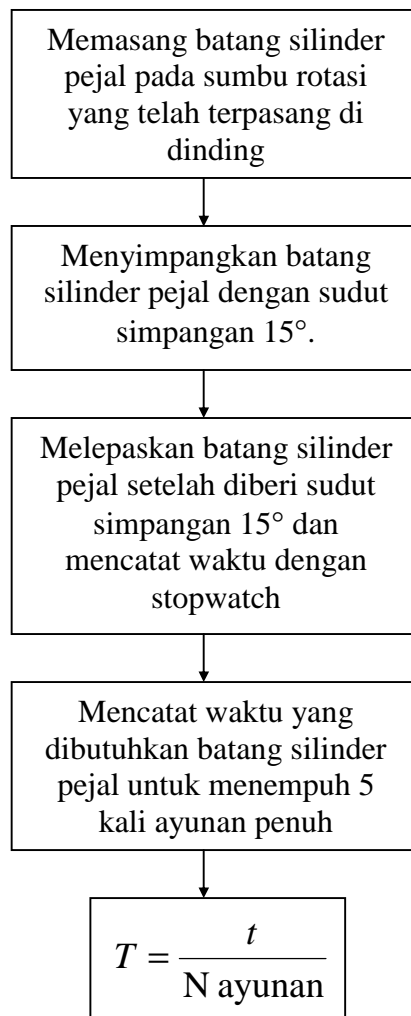
- 2) Menyimpangkan batang silinder pejal dengan sudut simpangan 15° .
- 3) Melepaskan batang silinder pejal setelah diberi sudut simpangan 15° . Batang silinder pejal akan berayun secara periodik. Pada waktu yang bersamaan dengan saat melepaskan batang silinder untuk berayun, waktu mulai dihitung dengan stopwatch.
- 4) Mencatat waktu yang dibutuhkan batang silinder pejal untuk menempuh 5 kali ayunan penuh.
- 5) Periode diperoleh dengan cara membagi waktu tercatat dengan jumlah ayunan yaitu 5 kali.

$$T = \frac{t}{N \text{ ayunan}}$$

- 6) Mengulangi percobaan sebanyak 10 kali.

Prosedur percobaan tersebut di atas diterapkan untuk masing-masing batang silinder pejal. Satu kali ayunan didefinisikan sebagai pergerakan batang silinder pejal dari titik asal saat dilepaskan kemudian berayun dan kembali ke posisi titik asalnya.

Percobaan bandul fisis di laboratorium dapat dijelaskan dengan menggunakan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram alir percobaan bandul fisis di Laboratorium

III.2. SIMULASI PERCOBAAN BANDUL FISIS DENGAN KOMPUTER

a. Alat dan Bahan

1) Perangkat keras (*hardware*)

Seperangkat komputer multimedia Intel Pentium III 667 MHz,
Memori SDRAM 128 MB, kapasitas penyimpanan (Hard Disk) 40
GB

2) Perangkat lunak (*software*)

§ Sistem Operasi (Operating System) Windows XP Professional

§ Macromedia Flash MX

b. Prosedur Pembuatan Simulasi Bandul Fisis

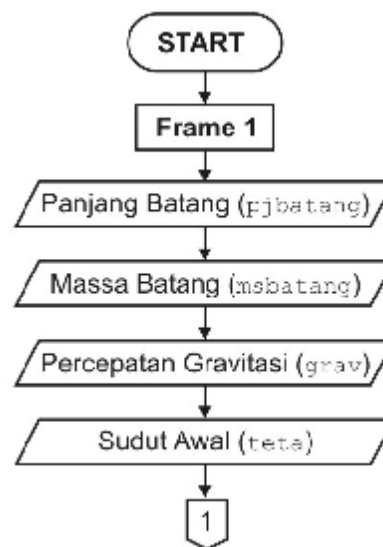
Tahapan yang harus dilakukan pertama kali adalah membuat beberapa objek sebagai tampilan antarmuka dengan pengguna seperti kotak teks masukan (*input text*), kotak teks keluaran (*dynamic text*), tombol perintah, serta objek animasi yaitu bandul fisis. Obyek-obyek flash yang dimasukkan diberi nama untuk memudahkan pemanggilan dalam program.

Tahapan selanjutnya adalah memberikan listing program pada objek flash. Pada Macromedia Flash MX, metode pemrograman menggunakan program berorientasi objek (*Object Oriented Programming – OOP*). Sehingga perintah / pemrograman untuk objek tertentu dapat diberikan tanpa harus menggunakan urutan tertentu. Selain dengan memberikan program pada objek, program dapat dimasukkan pada *frame* di *timeline*. Hal ini dapat dilakukan karena Macromedia Flash MX bukan semata-mata sebagai aplikasi pemrograman namun juga aplikasi untuk pembuatan animasi.

Simulasi bandul fisis menggunakan Macromedia Flash MX ini dibagi menjadi 2 bagian yaitu; tahap pemberian nilai masukan (*input*) dan tahap proses.

a. Pemberian nilai masukan (*input*)

Pada tahap pertama ini, variabel yang dimasukkan adalah panjang batang (*pjbatang*), massa batang (*msbatang*), percepatan gravitasi (*grav*) dan sudut awal (*teta*). Semua objek yang terkait dengan tahap pemberian masukan ini diletakkan pada Frame 1 sebagaimana tampak dalam diagram alir berikut.

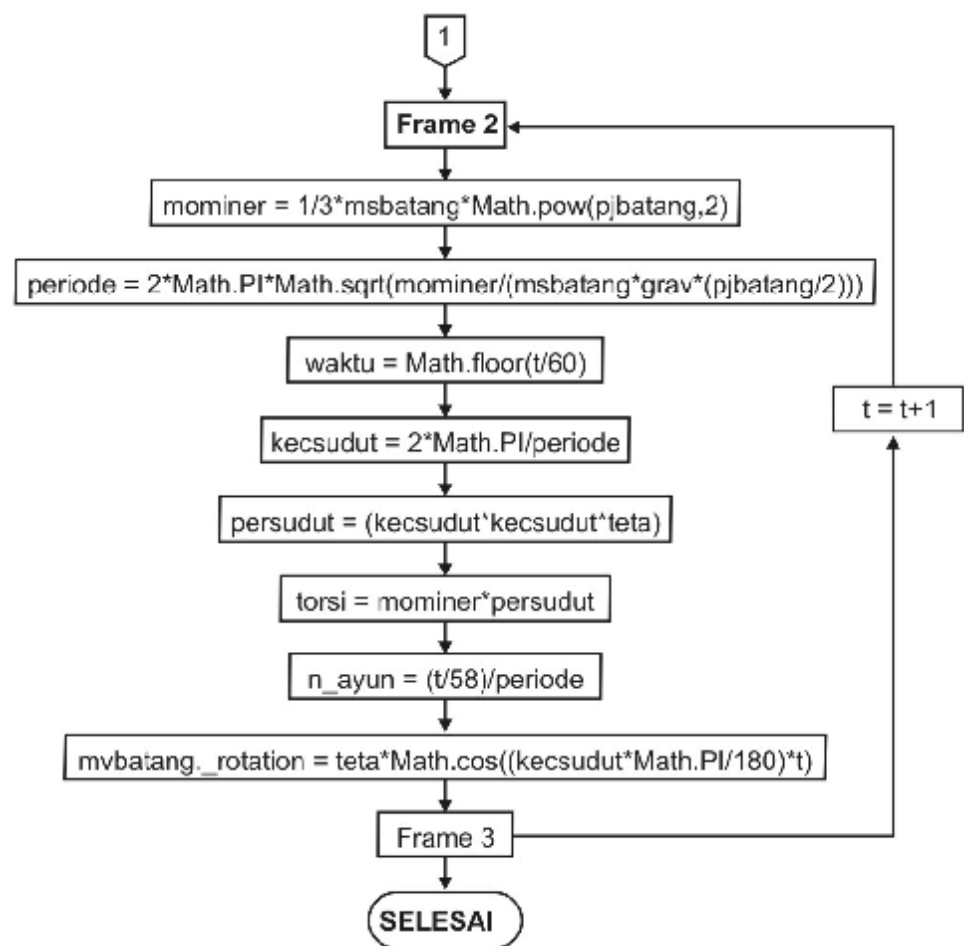


Gambar 3.2a Diagram alir tahap pemberian masukan simulasi bandul fisis

b. Tahap proses

Variabel-variabel yang telah dimasukkan dalam tahap pemberian masukan tersebut diolah pada frame 2 untuk mendapatkan nilai momen inersia (*mominer*), periode (*periode*), kecepatan sudut (*kecsudut*), dan posisi sudut akhir. Hasil dari

perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk keluaran berupa nilai dari masing-masing perhitungan. Variabel `mvbatang._rotation` digunakan untuk menggerakkan batang untuk berotasi sesuai dengan perhitungan periode yang telah diperoleh. Diagram alir untuk tahap proses digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3.2b Diagram alir tahap proses simulasi bandul fisis

Pada simulasi percobaan bandul fisis ini mempunyai tiga tombol kontrol yaitu Play, Stop dan Reset. Tombol Play digunakan untuk menjalankan animasi sekaligus melakukan proses penghitungan nilai momen inersia, periode, kecepatan sudut,

percepatan sudut dan torsi. Tombol Stop digunakan untuk menghentikan animasi yang berjalan dan melakukan penghentian pencatatan waktu. Tombol Reset digunakan untuk menseset kembali semua nilai variabel menjadi 0.

III.3. KONVERSI VARIABEL DAN RUMUS BANDUL FISIS

Simulasi bandul fisis ini memerlukan beberapa perintah (*command*) untuk membuat animasi dalam bentuk ActionScript. Perintah dalam bentuk ActionScript tersebut diambil dari rumus-rumus bandul fisis di atas. Berikut ini adalah konversi rumus-rumus yang ditampilkan dalam simulasi bandul fisis :

1. Variabel

Berikut ini adalah variabel yang digunakan dalam rumus bandul fisis dan pendefinisianannya dalam simulasi bandul fisis :

Tabel 3.1 Konversi Variabel dan Rumus Teori ke dalam listing Program

Rumus		Variabel dalam program
Nama Variabel	Simbol	
Massa batang	m	msbatang
Panjang batang	l	pjbatang
Percepatan gravitasi	g	grav
Momen Inersia	I	mominer
Periode	T	periode
Kecepatan Sudut	w	kecsudut
Percepatan Sudut	a	persudut
Torsi	t	torsi
Jumlah ayunan	n	n_ayun
Sudut	q	teta

2. Momen Inersia

Rumus momen inersia untuk batang silinder pejal berdasarkan referensi adalah seperti persamaan 2.20 di atas yaitu :

$$I = \frac{1}{3} ML^2 \dots\dots\dots (2.20)$$

Konversi ke bentuk ActionScriptnya sebagai berikut :

```
mominer = (1/3)*msbatang*math.pow(pjbatang,2);
```

3. Periode

Periode untuk batang silinder pejal dirumuskan seperti persamaan 2.11 yaitu :

$$T = \frac{2p}{w} = 2p \sqrt{\frac{I}{MgD}}$$

Konversi dalam bentuk ActionScript dituliskan sebagai berikut :

```
periode=
2*Math.PI*Math.sqrt(mominer/(msbatang*grav*(pjbatang/2))
);
```

4. Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut dirumuskan sebagai berikut :

$$w = \frac{2p}{T}$$

Sehingga konversi ke dalam bentuk ActionScript sebagai berikut :

```
kecsudut = 2*Math.PI/periode;
```

5. Percepatan Sudut

Percepatan sudut dirumuskan seperti persamaan 2.7 sebagai berikut :

$$\frac{d^2(f)}{dt^2} = -\frac{g}{L}f = -\omega^2 f$$

Konversi dalam bentuk ActionScript sebagai berikut :

```
persudut = (kecsudut*kecsudut*teta);
```

6. Torsi

Sesuai persamaan 2.17 di atas, konversi rumus torsi $t_{neto} = I\alpha$ ke

dalam ActionScript adalah sebagai berikut :

```
torsi = mominer*persudut;
```

7. Kedudukan batang

Pada simulasi bandul fisis ini, kedudukan batang diambil dari persamaan 2.8 yaitu :

$$f = f_o \cos(\omega t + d)$$

Persamaan tersebut dapat dikonversikan dalam bentuk ActionScript sebagai berikut :

```
mvsbatang._rotation =  
teta*Math.cos((kecsudut*Math.PI/180)*t);
```


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. PERCOBAAN BANDUL FISIS DI LABORATORIUM

Percobaan bandul fisis untuk menentukan periode batang silinder pejal yang dilakukan di laboratorium dilakukan dengan cara menggantungkan ujung batang silinder pejal pada sebuah sumbu yang permanen di dinding. Batang silinder pejal kemudian diayunkan hingga 5 kali ayunan. Batang silinder pejal disimpangkan dengan sudut 15° . Sudut 15° diambil sebagai sebuah pendekatan dari rumus periode bandul fisis dimana bila sudut simpangan kecil (f kecil), berlaku pendekatan $\sin f \approx f$, dengan sudut f dalam radian. Periode dari percobaan bandul fisis di laboratorium diperoleh dengan cara membagi waktu yang ditempuh untuk 5 kali ayunan dibagi dengan jumlah ayunan.

Percobaan bandul fisis yang dilakukan di Laboratorium, memperoleh data periode untuk panjang batang silinder 1 meter dan massa 2,25 kg adalah $1,672 \pm 4,723 \times 10^{-3}$ sekon. Sedangkan untuk panjang batang silinder 0,9 meter dan massa 2 kg adalah $1,562 \pm 1,254 \times 10^{-2}$ sekon.

Pada percobaan bandul fisis di laboratorium dilakukan hanya memvariasikan panjang batang yaitu 1 meter dan 0,9 meter. Sedangkan sudut simpangan dibuat tetap yaitu 15° . Dalam percobaan ini ada beberapa

faktor yang mempengaruhi proses berjalannya osilasi bandul fisis yang kemudian mempengaruhi perhitungan.

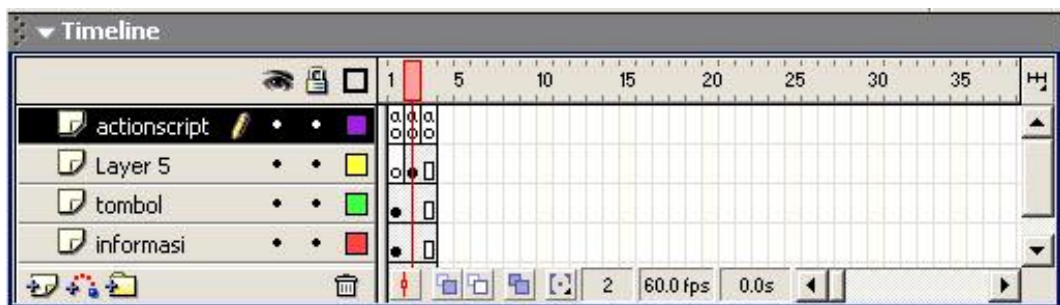
- 1) Poros kurang licin sehingga ada kemungkinan timbul gaya gesek pada poros yang disebabkan antara poros dengan beban (batang pejal).
- 2) Dalam proses pembuatan alat bandul fisis, antara batang dan poros tidak benar-benar tegak lurus sehingga kemungkinan batang pejal tidak berayun dengan bebas.
- 3) Titik rotasi dibuat dengan cara melubangi batang pejal yang akan diayunkan. Namun titik rotasi yang dibuat tidak benar-benar di ujung batang pejal, tetapi pada jarak kurang lebih 0,01 m dari ujung batang pejal. Hal tersebut dilakukan karena secara teknis sulit untuk melubangi batang pejal tepat di ujung batang yang akan menimbulkan keretakan / pecah.
- 4) Pada penentuan sudut ayunan awal, digunakan busur dengan pengamatan menggunakan mata telanjang. Ada kemungkinan terjadi pergeseran pengamatan sudut.
- 5) Tidak ada sensor yang bisa menentukan simpangan maksimum ketika batang pejal diayunkan. Satu-satunya cara menentukan simpangan maksimum adalah dengan melakukan pengamatan dengan mata biasa.
- 6) Bila lebih dari 5 kali osilasi, pergeseran sudut simpangan terlihat sekali daripada sudut awal sebelum osilasi.
- 7) Untuk pengambilan sudut simpangan kurang dari 15° , proses ayunan tidak dapat diamati dengan jelas.

IV.2. SIMULASI BANDUL FISIS MENGGUNAKAN MACROMEDIA FLASH MX

A. Penjelasan simulasi

Pembuatan simulasi bandul fisis ini terdiri dari dua macam file, yaitu file dokumen flash (*flash documents*) berekstensi fla, dan file shockwave flash berekstensi swf. File dokumen flash digunakan untuk membuat dan mengedit simulasi, sedangkan file shockwave flash adalah file yang bisa dijalankan tanpa membuka program Macromedia Flash MX.

Simulasi ini terdiri dari 3 frame yang berjalan secara berurutan. Maksudnya bahwa *movie* akan berjalan dari frame 1 terlebih dahulu kemudian baru frame berikutnya. Dalam setiap frame terdapat objek dan actionscript yang harus dijalankan ketika *movie timeline* berada pada frame yang ditunjuk.



Gambar 4.1 Timeline simulasi bandul fisis pada Macromedia Flash MX

Saat *movie* dijalankan, *timeline* akan berhenti pada frame 1. Hal ini dikarenakan adanya *actionscript stop* pada frame 1 yang menyebabkan *movie* terhenti. Pada frame 1, dilakukan pemberian nilai untuk variabel panjang batang (*pjbatang*), massa batang (*msbatang*),

percepatan gravitasi (g_{rav}) dan sudut awal simpangan (t_{eta}). Nilai variabel ini nantinya diproses pada frame 2. Movie hanya akan berjalan kembali ketika pengguna menekan tombol Start. Pada tombol Start terdapat actionscript `on release { goto and play (2); }`, yang memerintahkan timeline movie untuk menuju frame 2. Tampilan simulasi untuk proses pemberian nilai variabel adalah sebagai berikut :

Panjang Batang	<input type="text"/>	m
Massa Batang	<input type="text"/>	kg
Percepatan Gravitasi	<input type="text"/>	m/s ²
Sudut Awal	<input type="text"/>	°
Jmlh ayunan	<input type="text"/>	kali

Gambar 4.2 Tampilan area masukan (*input area*) pada simulasi

Pada frame 2, nilai variabel masukan panjang batang (p_{jabatang}), massa batang (m_{sbatang}), percepatan gravitasi (g_{rav}) dan sudut awal simpangan (t_{eta}) diproses. Pada frame ini pula, dilakukan pengecekan apakah pengguna sudah memasukkan semua nilai variabel masukan. Bila belum, akan muncul pesan *error* namun movie tetap berjalan. Perhitungan yang dilakukan pada frame 2 ini antara lain :

- § menjalankan waktu (t_{imer}) yang akan ditampilkan saat simulasi dijalankan.
- § Menghitung momen inersia (m_{ominer}) batang silinder pejal.
- § Menghitung kecepatan sudut (k_{ecsudut}).
- § Menghitung torsi batang silinder pejal (t_{orsi}).

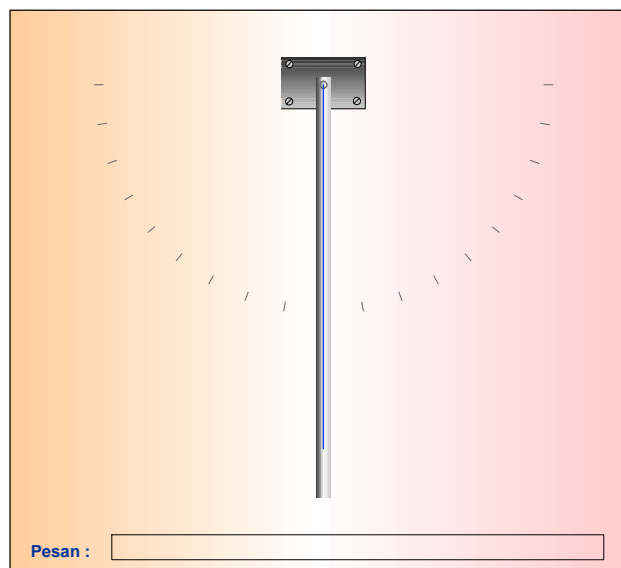
- § Menghitung jumlah ayunan (n_{ayun}) yang telah dilakukan selama simulasi berjalan.
- § Menentukan posisi / kedudukan batang silinder setiap waktu ($m\text{vbatang}_{\text{rotation}}$).

Hasil dari perhitungan di frame 2 tersebut langsung ditampilkan di layar dalam bentuk animasi batang silinder pejal yang berayun dan disertai nilai dari variabel yang dihitung. Berikut ini adalah tampilan nilai dari perhitungan di frame 2 :

Waktu	<input type="text"/>	s
sudut	<input type="text"/>	°
kecepatan sudut	<input type="text"/>	°/s
Periode	<input type="text"/>	s

Gambar 4.3 Tampilan hasil perhitungan (*output area*) pada simulasi

Sedangkan untuk tampilan animasinya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Tampilan animasi bandul fisis batang silinder pejal

Tombol Stop pada simulasi ini berfungsi untuk menghentikan berjalannya waktu dan animasi dari bandul fisis batang silinder pejal. Sedangkan tombol Reset berfungsi untuk mengembalikan nilai variabel perhitungan dan masukan pada nilai 0 dan mengembalikan kedudukan batang silinder pada posisi setimbang ($f = 0^\circ$). Bila tombol Play ditekan, maka simulasi akan menjalankan waktu (*timer*), menjalankan animasi batang silinder dan mengeluarkan nilai dari tiap variabel yang dihitung.

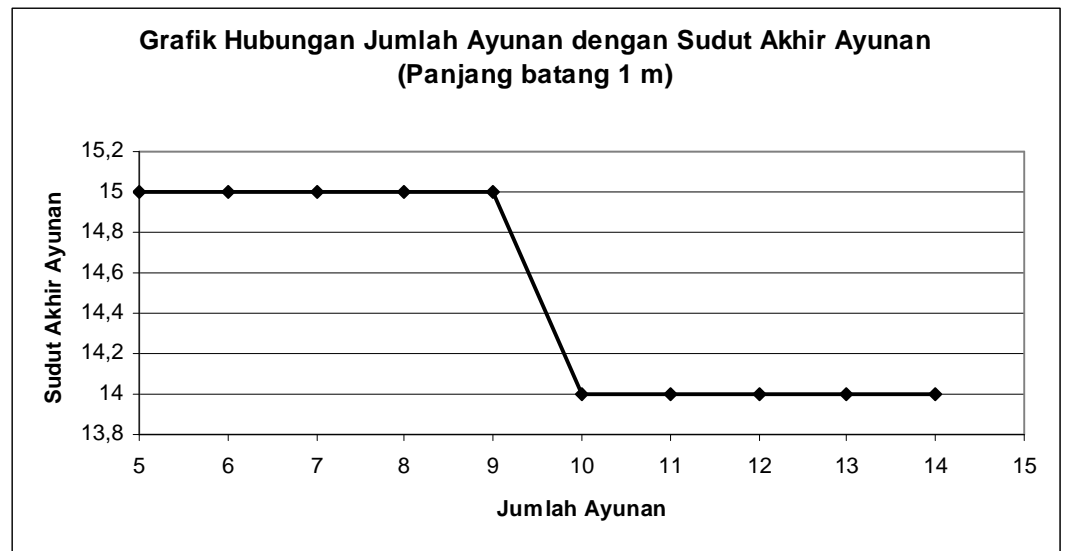
B. Pengujian Simulasi

Pengujian simulasi dilakukan dengan cara memberikan nilai variabel panjang batang, massa batang, percepatan gravitasi, sudut awal ayunan dan jumlah ayunan yang diinginkan. Nilai yang dimasukkan sama dengan nilai variabel yang terukur dalam percobaan bandul fisis di Laboratorium. Dalam listing program simulasi bandul fisis ini, rumus yang dipakai adalah rumus pendekatan dari kondisi ideal.

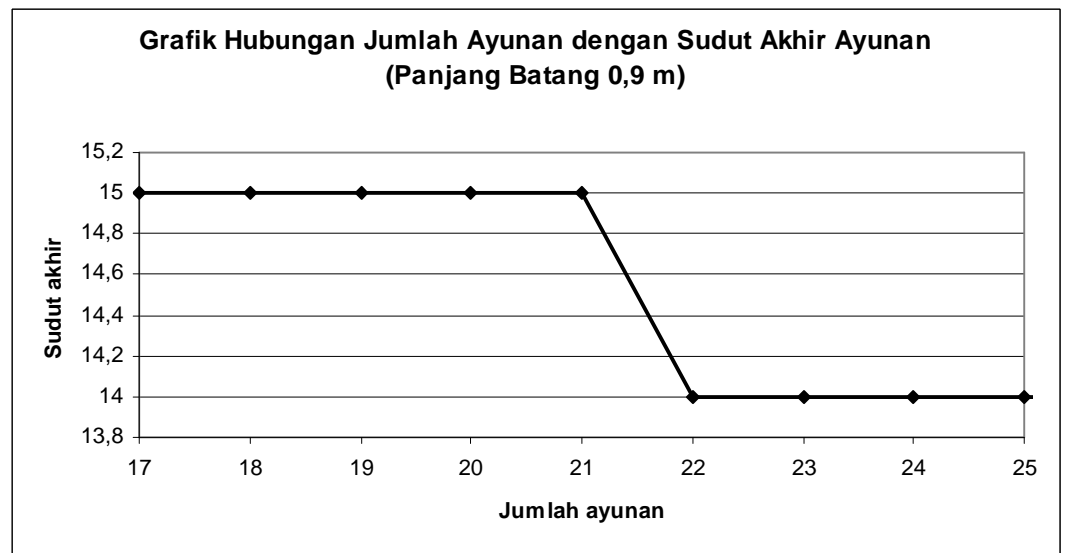
Dari simulasi bandul fisis ini, diperoleh nilai periode dari batang silinder pejal dengan panjang batang (*pjbatang*) 1 meter, massa batang (*msbatang*) 2,25 kg, percepatan gravitasi (*g*) $9,8 \text{ m/s}^2$ dan besar sudut awal simpangan (*teta*) 15° , adalah sebesar 1,64 sekon. Sedangkan untuk nilai variabel panjang batang (*pjbatang*) 0,9 meter, massa batang (*msbatang*) 2 kg, percepatan gravitasi (*g*) $9,8 \text{ m/s}^2$ dan besar

sudut awal simpangan (*teta*) 15° , penulis mendapatkan data periode osilasi dari batang silinder pejal berdasar simulasi adalah sebesar 1,55 sekon.

Pengujian simulasi ini juga dilakukan dengan cara mengubah variabel jumlah ayunan yang diinginkan. Hal ini untuk menguji apabila dimasukkan permintaan jumlah ayunan, apakah batang silinder akan berhenti tepat pada titik semula setelah berosilasi sebanyak jumlah ayunan yang dimasukkan. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa simulasi dengan masukan nilai panjang batang 1 m dan massa batang 2,25 kg, percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$ dan sudut awal 15° , simulasi menunjukkan hasil yang tepat sampai 9 kali ayunan. Sedangkan untuk masukan nilai panjang batang 0,9 m dan massa batang 2 kg, percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$ dan sudut awal 15° , simulasi menunjukkan hasil yang tepat sampai 21 kali ayunan. Berikut ini adalah grafik hubungan jumlah ayunan dengan sudut akhir ayunan untuk melihat ketepatan batang silinder saat berhenti setelah berosilasi beberapa kali ayunan :



Gambar 4.5 Grafik hubungan jumlah ayunan dengan sudut akhir ayunan untuk panjang batang 1 meter



Gambar 4.6 Grafik hubungan jumlah ayunan dengan sudut akhir ayunan untuk panjang batang 0,9 meter

Adanya kekurangtepatan pada saat ayunan berhenti di mana batang tidak kembali ke posisi semula disebabkan oleh perhitungan frame yang digunakan sebagai penghitung ulangan (*looping*) pada program. Pada program simulasi bandul fisis ini digunakan kecepatan

movie sebesar 60 *frame per second* (fps), dengan kata lain dibutuhkan 60 frame untuk membuat waktu 1 sekon dalam tampilan program. Sedangkan program simulasi ini sendiri terdiri dari 3 frame. Frame 1 berupa pemasukan nilai variabel yang akan dihitung, dan kemudian disimulasikan / dijalankan di frame ke-2 dan 3. Pada simulasi ini terdapat variabel t yang digunakan untuk menghitung persamaan posisi batang setiap saat, dan nilainya berubah sesuai dengan penambahan nilai t di frame 3. Perintah pengulangan dilakukan di frame 3 yang memerintahkan untuk kembali ke frame 2 setelah nilai t ditambah satu. Sehingga dapat dilihat perubahan nilai t ini seperti tabel berikut :

Posisi Frame	Frame ke-	Nilai t
1	1	0 (Movie terhenti)
2	2	0
3	3	1
2	4	2
3	5	3
2	6	4
3	7	5
2	8	6
3	9	7
2	10	8
...
3	51	49
2	52	50
3	53	51
2	54	52
3	55	53
2	56	54
3	57	55
2	58	56
3	59	57
2	60	58

Tabel 4.1 Perhitungan timer dengan menggunakan konsep frame

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa secara perhitungan untuk menempuh 1 sekon diperlukan 60 frame, sedangkan pada tabel terlihat pada frame ke-60 nilai t adalah 58. Agar batang silinder dapat kembali ke posisi semula pada jumlah ayunan berapa pun, maka seharusnya nilai t sama dengan hitungan frame, misalnya saat frame ke-60 maka t juga harus sama dengan 60. Batang silinder akan berhenti sesuai dengan jumlah ayunan yang dimasukkan. Perintah berhenti ini dinyatakan dengan syarat x dengan rumusan x adalah :

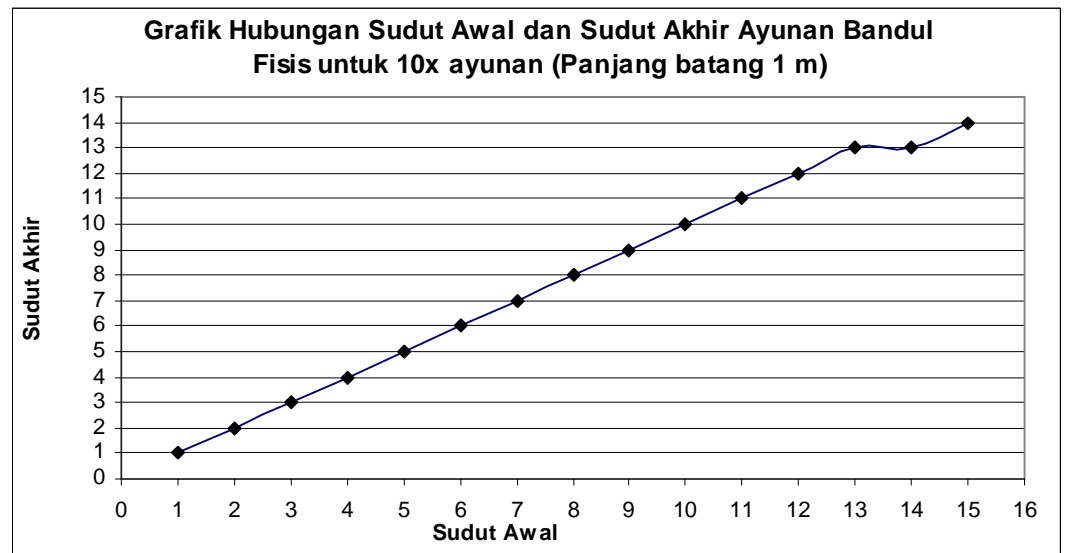
$$x = \text{jumlah ayunan} \times \text{periode} \times \text{kecepatan frame}$$

Sehingga bila $t = x$ maka ayunan akan berhenti di titik asal.

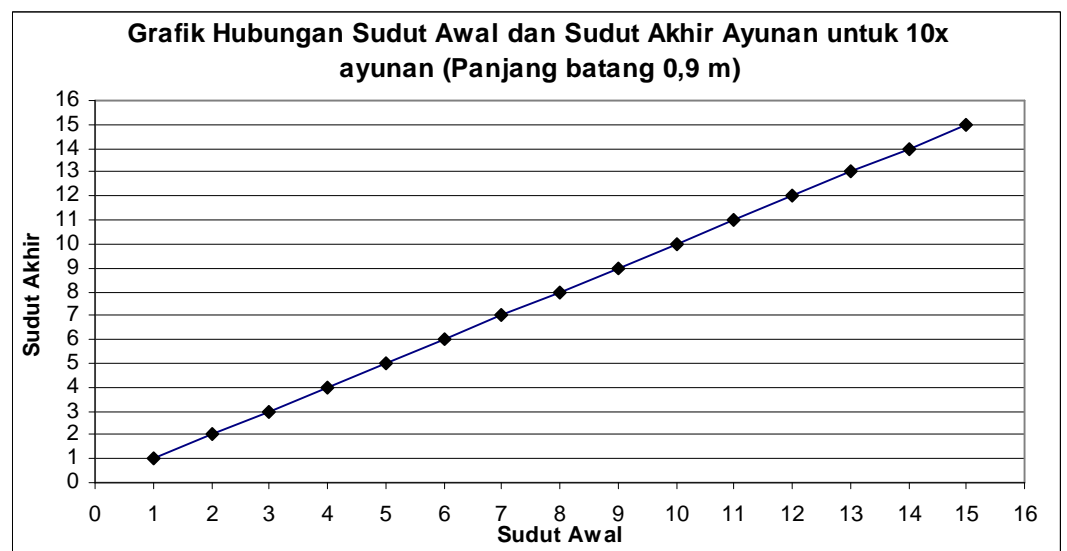
Agar batang silinder berhenti tepat pada posisi semula sesuai dengan jumlah ayunan yang dimasukkan, maka penulis memberikan tambahan rumusan $-(n_{\text{ayun}}*4)$, sehingga syarat berhenti pada program (x) menjadi :

$$X = \text{math.floor}(n_{\text{ayun}}*\text{periode}*60)-(n_{\text{ayun}}*4)$$

Pada percobaan bandul fisis, sudut yang diuji untuk melakukan osilasi adalah dibawah 15° . Oleh karena itu dalam simulasi bandul fisis ini juga menguji besarnya sudut osilasi. Untuk pengujian ini, diberikan masukan jumlah ayunan sebanyak 10 kali ayunan, kemudian memvariasikan besarnya sudut dari 1° hingga 15° . Pengujian sudut osilasi menggunakan simulasi memperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik hubungan sudut awal dan sudut akhir ayunan untuk panjang batang 1 meter dan beresilasi selama 10 kali ayunan.



Gambar 4.8 Grafik hubungan sudut awal dan sudut akhir ayunan untuk panjang batang 0,9 meter dan beresilasi selama 10 kali ayunan.

Pada grafik gambar 4.7 di atas, dapat dijelaskan sebagai berikut.

Simulasi bandul fisis dengan panjang batang 1 meter, massa batang 2,25 kg, kecepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$ dan masukan jumlah ayunan 10

kali menghasilkan kesesuaian data antara sudut awal dan sudut akhir yaitu antara 1° sampai 13° . Ketika dimasukkan sudut awal adalah 14° dan program dijalankan, sudut akhir setelah ayunan berhenti adalah 13° . Begitu pula ketika sudut awal ayunan dimasukkan nilai 15° , setelah program dijalankan menghasilkan sudut akhir ayunan 14° . Bila simulasi bandul fisis ini mengambil pendekatan keadaan yang ideal, seharusnya antara sudut awal ayunan dan sudut akhir ayunan nilainya sama karena tidak ada faktor redaman dan efek lain yang ditambahkan dalam rumusan simulasi bandul fisis ini.

Selanjutnya, pada grafik gambar 4.8, penulis membuat simulasi percobaan bandul fisis dengan memvariasikan sudut awal untuk mengetahui sudut akhir ayunan ketika diberikan masukan jumlah ayunan 10 kali dengan data panjang batang 0,9 meter, massa batang 2 kg dan percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian antara sudut awal ayunan dengan sudut akhir ayunan untuk data sudut antara 1° sampai dengan 15° .

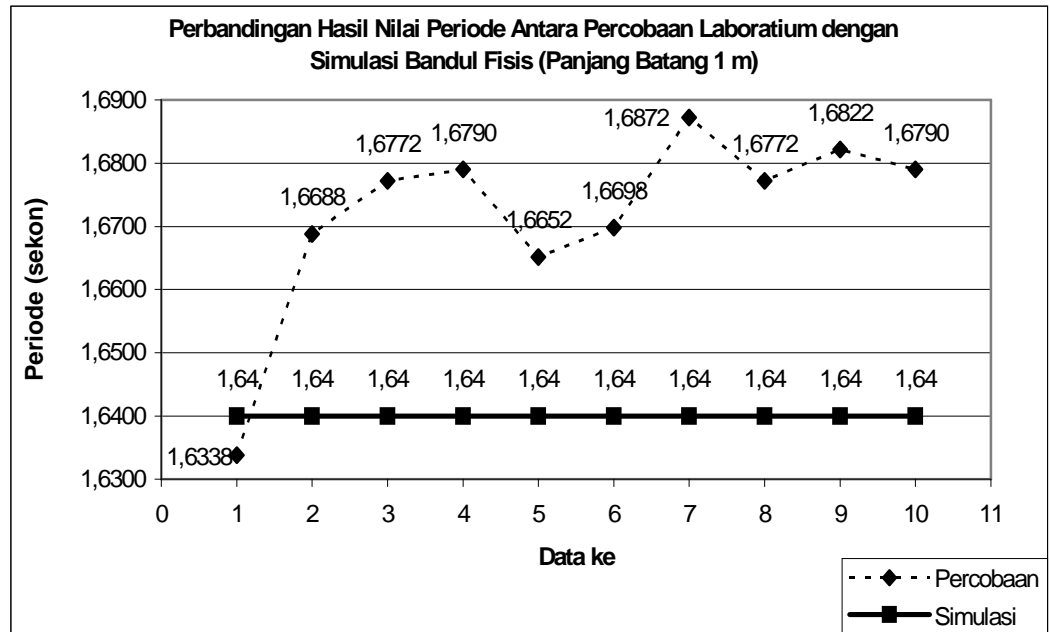
Dua grafik hubungan sudut awal ayunan dan sudut akhir ayunan tersebut dapat dianalisa sebagai berikut. Ketidaksesuaian antara sudut awal ayunan dan sudut akhir ayunan pada grafik gambar 4.9 untuk sudut 14° dan 15° disebabkan karena perhitungan posisi batang diperoleh setelah perhitungan kecepatan sudut. Sedangkan kecepatan sudut sendiri diperoleh dari perhitungan periode, dan perhitungan

periode memerlukan variabel panjang batang (p_{batang}). Kemungkinan ketidaksesuaian data berasal dari nilai panjang batang yang dimasukkan. Karena variabel massa batang tidak digunakan dalam perhitungan, dan percepatan gravitasi untuk dua simulasi digunakan nilai yang sama yaitu $9,8 \text{ m/s}^2$.

Dari perbandingan grafik hubungan sudut awal dan sudut akhir ayunan dapat diperoleh kesimpulan bahwa untuk masukan jumlah ayunan 10 kali dan percepatan gravitasi $9,8 \text{ m/s}^2$, menghasilkan data sudut awal ayunan sama dengan sudut akhir ayunan untuk interval sudut $1^\circ - 13^\circ$, untuk kasus panjang batang 1 m dan 0,9 m.

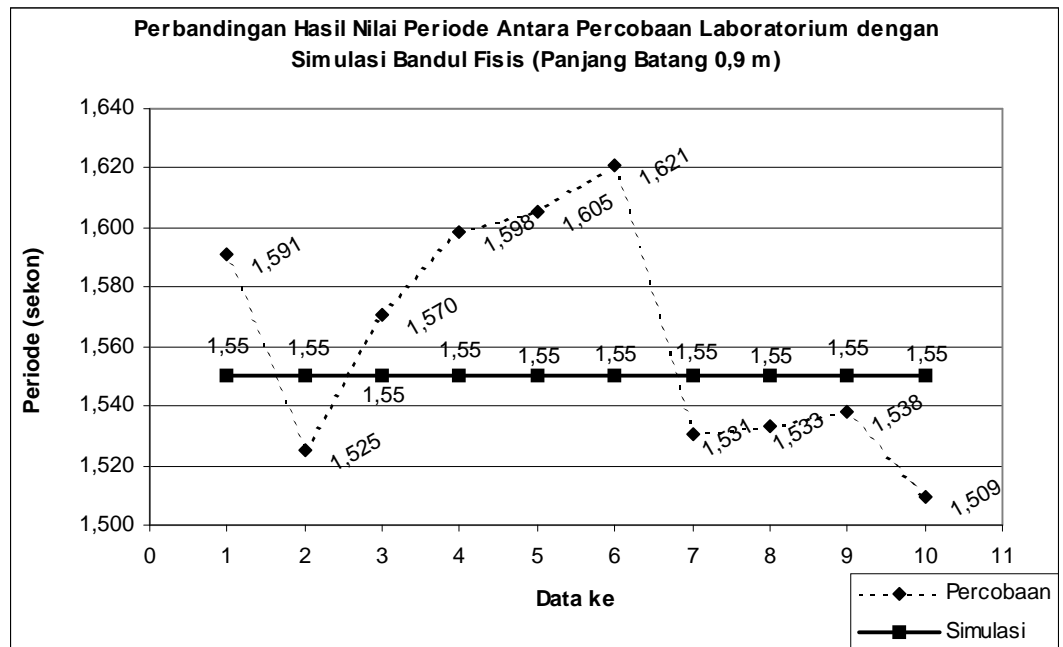
IV.3. PERBANDINGAN HASIL PERCOBAAN DAN SIMULASI

Setelah melakukan percobaan bandul fisis di laboratorium dan membuat simulasi percobaan bandul fisis menggunakan Macromedia Flash MX, penulis membandingkan hasil percobaan dan simulasi. Hasil perbandingan untuk panjang batang 1 meter antara percobaan laboratorium dengan simulasi ditampilkan sebagai berikut :



Gambar 4.9 Perbandingan hasil nilai periode percobaan laboratorium dengan simulasi bandul fisis untuk panjang batang 1 meter.

Sedangkan untuk panjang batang 0,9 m, hasil perbandingan antara percobaan laboratorium dengan simulasi bandul fisis adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10 Perbandingan hasil nilai periode percobaan laboratorium dengan simulasi bandul fisis untuk panjang batang 1 meter.

Dari Gambar 4.9 dan 4.10 dapat dianalisa simulasi bandul fisis untuk menentukan periode batang silinder pejal menunjukkan hasil yang tidak terlalu jauh dengan hasil percobaan bandul fisis dengan menggunakan batang silinder pejal yang dilakukan di laboratorium. Perbedaan nilai periode antara percobaan di laboratorium dengan hasil simulasi dalam orde 10^{-2} sekon. Sehingga simulasi ini dapat dijadikan alternatif untuk pengujian bandul fisis batang silinder pejal.

IV.4. KELEBIHAN DAN KELEMAHAN SIMULASI

A. Kelebihan simulasi

Simulasi bandul fisis ini mempunyai kelebihan sebagai berikut :

- a. Tampilan program yang akrab pengguna (*user friendly*) sehingga mudah dioperasikan oleh semua orang karena hanya terdiri dari kotak masukan dan kotak keluaran serta tiga tombol kontrol. Visualisasi dari data yang dimasukkan langsung tampil begitu tombol Play ditekan.
- b. Program simulasi bandul fisis ini mempunyai ukuran kapasitas file yang kecil jika dibandingkan dengan pembuatan program simulasi menggunakan Delphi maupun Visual Basic.

B. Kelemahan simulasi

Pembuatan simulasi bandul fisis ini mempunyai kelemahan antara lain :

- a. Rumus yang dipakai dalam simulasi masih bersifat rumus ideal. Artinya, bahwa penulis belum mencantumkan efek redaman, gaya gesek dan osilasi multidimensi dalam simulasi ini. Jadi simulasi ini masih sangat sederhana.
- b. Pada simulasi bandul fisis dengan jumlah ayunan sebagai masukan, untuk panjang batang 1 meter, massa batang 2,25 kg dan sudut ayunan 15° , hasil osilasi dengan jumlah ayunan lebih dari 9 ($n_{\text{ayun}} = 9$) sudah tidak tepat. Sedangkan untuk panjang batang 0,9 meter, massa batang 2 kg dan sudut ayunan 15° , osilasi

menunjukkan ketidaktepatan setelah ayunan ke-21. Hal ini dikarenakan waktu yang digunakan sebagai timer dalam simulasi bukanlah waktu yang sebenarnya (*realtime*) tetapi waktu yang dibuat sendiri dengan cara membagi jumlah frame dengan kecepatan frame, $t = \Sigma \text{frame} / \text{fps}$. Pada simulasi ini, penulis mengatur kecepatan simulasi pada 60 *frame per second* (fps).

- c. Tampilan program simulasi berupa *vector based image*. Atau dengan kata lain, tampilan simulasi lebih menyerupai film kartun (vektor) daripada gambar asli (bitmap image).
- d. *Error handle* belum sempurna. Sehingga bila pengguna salah memberikan nilai masukan ada kemungkinan animasi tidak dapat berjalan tetapi tidak muncul pesan apapun yang dapat dibaca pengguna. Sehingga ada kemungkinan pengguna tidak mengetahui apa kesalahannya.

BAB V

PENUTUP

V.1. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian berjudul “Simulasi Bandul Fisis untuk Menentukan Periode Batang Silinder Pejal Menggunakan Macromedia Flash MX” ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Macromedia Flash MX dapat digunakan untuk membuat simulasi bandul fisis dan dapat memberikan alternatif visualisasi dari percobaan bandul fisis di laboratorium.
- b. Simulasi bandul fisis yang dibuat pada penelitian ini dikhususkan untuk menghitung periode batang silinder pejal.
- c. Baik pada percobaan bandul fisis di Laboratorium maupun simulasi bandul fisis dengan memvariasikan panjang batang diperoleh periode bandul fisis yang berbeda. Semakin kecil nilai panjang batang silinder pejal, maka semakin kecil nilai periodenya. Dan sebaliknya, semakin besar nilai panjang batang silinder pejal, maka semakin besar nilai periodenya.
- d. Ketepatan animasi bandul fisis dipengaruhi oleh panjang batang. Semakin kecil nilai panjang batang, maka semakin banyak jumlah ayunan yang dihasilkan dengan tepat dengan sudut ayunan akhir sama dengan sudut awal ayunan.

V.2. SARAN

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Memodifikasi program simulasi untuk kasus ayunan teredam.
2. Memperbanyak jenis dan ukuran bandul fisis yang disimulasikan, seperti : batang silinder berongga, cincin, balok, dan sebagainya.
3. Melengkapi simulasi dengan error handle yang lebih sempurna sehingga simulasi menjadi akrab pengguna (*user friendly*). Pengguna dapat mengetahui di mana letak kesalahan apabila simulasi tidak berhasil.
4. Menggabungkan program simulasi flash ini dengan teknologi internet sehingga memungkinkan pengguna internet dari jarak jauh dapat mengakses program simulasi ini.

LAMPIRAN 1 :

LISTING PROGRAM

A. Simulasi Bandul Fisis berdasarkan Teori

Frame 1

```
fscommand("fullscreen", "true");
var t = 0;
periode = 0;
pesan = "";
waktu = t;
teta = 0;
pjbatang = 0;
msbatang = 0;
grav = 0;
kecsudut = 0;
persudut = 0;
mominer = 0;
torsis = 0;
stop();
```

Frame 2

```
mominer = (1/3)*msbatang*math.pow(pjbatang,2);
mvgrs._rotation = teta;
periode =
2*Math.PI*Math.sqrt(mominer/(msbatang*grav*(pjbatang/2)));
if (pjbatang == 0) {
    pesan = "Anda belum memasukkan nilai untuk panjang batang";
}
if (msbatang == 0) {
    pesan = "Anda belum memasukkan nilai untuk massa batang";
}
if (g == 0) {
    pesan = "Anda belum memasukkan nilai untuk percepatan
gravitasi";
}
if (teta == 0) {
    pesan = "Sudut awal 0. Batang tidak bergerak";
}
waktu = Math.floor(t/60);
kecsudut = 2*Math.PI/periode;
persudut = (kecsudut*kecsudut*teta);
torsis = mominer*persudut;
n_ayun = (t/58)/periode;
mvbatang._rotation = teta*Math.cos((kecsudut*Math.PI/180)*t);
mominer = math.round(100*mominer)/100;
kecsudut = math.round(100*kecsudut)/100;
persudut = math.round(100*persudut)/100;
```

```
periode = math.round(100*periode)/100;
n_ayun = math.floor(n_ayun);
```

Frame 3

```
t = t+1;
gotoAndPlay(2);
```

Tombol Play

```
on (release, keyPress "p") {
    gotoAndPlay(2);
    t = 0;
}
```

Tombol Stop

```
on (release, keyPress "s") {
    stop();
}
```

Tombol Reset

```
on (release, keyPress "r") {
    mvbatang._rotation = 0;
    periode = 0;
    pesan = "";
    waktu = 0;
    teta = 0;
    pjbatang = 0;
    msbatang = 0;
    grav = 0;
    kecsudut = 0;
    persudut = 0;
    mominer = 0;
    torsis = 0;
}
```

B. Simulasi Bandul Fisis dengan Jumlah Ayunan Sebagai Masukan

Frame 1

```
fscommand("fullscreen", "true");
var t = 0;
periode = 0;
pesan = "";
waktu = t;
teta = 0;
tetat = 0;
pjbatang = 0;
msbatang = 0;
grav = 0;
kecsudut = 0;
persudut = 0;
mominer = 0;
torsis = 0;
n_ayun = 0;
stop();
```

Frame 2

```
mvgrs._rotation = teta;
mominer = (1/3)*msbatang*math.pow(pjbatang,2);
periode =
2*Math.PI*Math.sqrt(mominer/(msbatang*grav*(pjbatang/2)));
waktu = Math.floor(100*t/60)/100;
kecsudut = 2*math.pi/periode;
mvbatang._rotation = teta*Math.cos((kecsudut*(Math.PI/180))*t);
x1 = math.round(teta*Math.cos((kecsudut*(Math.PI/180))*t));
x = math.floor(n_ayun*periode*60)-(n_ayun*4);
periode = math.round(1000*periode)/1000;
if (t==x) {
    stop();
}
```

Frame 3

```
t = t+1;
gotoAndPlay(2);
```

Tombol Play

```
on (release) {
    gotoAndPlay(2);
    t = 0;
    pesan = "Animasi sukses";
}
```

Tombol Stop

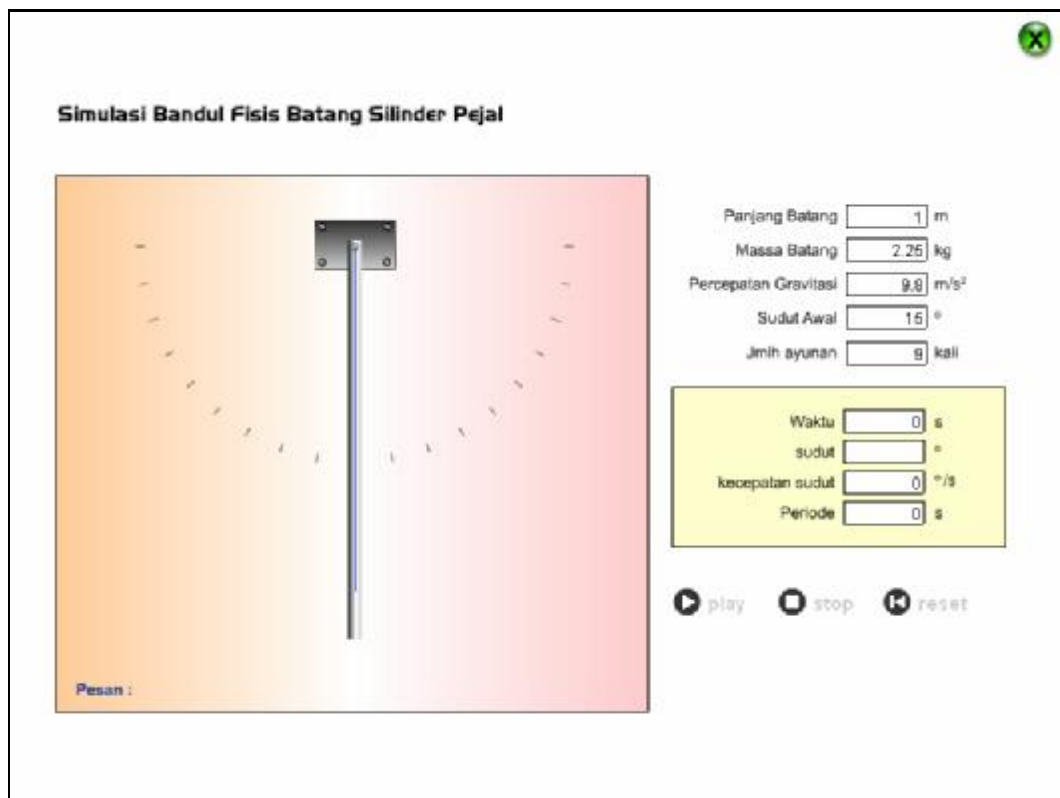
```
on (release) {
    stop();
}
```

Tombol Reset

```
on (release) {
    mvbatang._rotation = 0;
    mvgrs._rotation = 0;
    periode = 0;
    pesan = "";
    waktu = 0;
    teta = 0;
    pjbatang = 0;
    msbatang = 0;
    grav = 0;
    kecsudut = 0;
    persudut = 0;
    mominer = 0;
    torsis = 0;
}
```

LAMPIRAN 2 :

Antarmuka (Interface) Simulasi Percobaan Bandul Fisis untuk Menentukan Periode Batang Silinder Pejal Menggunakan Macromedia Flash MX



LAMPIRAN 3 :

Kesalahan Relatif Perhitungan Periode pada Percobaan Bandul Fisis di Laboratorium

Percobaan I (dengan panjang batang 1 meter)

No	t	T	T ²
1	8,169 s	1,6338 s	2,6693 s ²
2	8,344 s	1,6688 s	2,7849 s ²
3	8,386 s	1,6772 s	2,8130 s ²
4	8,395 s	1,6790 s	2,8190 s ²
5	8,326 s	1,6652 s	2,7729 s ²
6	8,349 s	1,6698 s	2,7882 s ²
7	8,436 s	1,6872 s	2,8466 s ²
8	8,386 s	1,6772 s	2,8130 s ²
9	8,411 s	1,6822 s	2,8298 s ²
10	8,395 s	1,6790 s	2,8190 s ²
	Σ	16.7194 s	27,9558 s ²

$$T = \bar{T} \pm \Delta T$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i}{10} = \frac{16,7194}{10} = 1,6719 \text{ s}$$

$$\Delta T = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum T^2 - (\sum T)^2}{n-1}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{10 \cdot 27,9558 - (16,7194)^2}{9}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{279,558 - 279,538}{9}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{0,0201}{9}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{0,002231}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \cdot 0,047231$$

$$\Delta T = 0,004723 \text{ s} = 4,723 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$\therefore T = 1,6719 \pm 4,723 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Percobaan II (dengan panjang batang 0,9 meter)

No	t	T	T ²
1	7,955 s	1,5910 s	2,5313 s ²
2	7,625 s	1,5250 s	2,3256 s ²
3	7,852 s	1,5704 s	2,4662 s ²
4	7,992 s	1,5984 s	2,5549 s ²
5	8,026 s	1,6052 s	2,5767 s ²
6	8,106 s	1,6212 s	2,6283 s ²
7	7,654 s	1,5308 s	2,3433 s ²
8	7,665 s	1,5330 s	2,3501 s ²
9	7,691 s	1,5382 s	2,3661 s ²
10	7,546 s	1,5092 s	2,2777 s ²
	Σ	15,6224 s	24,4201 s ²

$$T = \bar{T} \pm \Delta T$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{10} T_i}{10} = \frac{15,6224}{10} = 1,5622 \text{ s}$$

$$\Delta T = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum T^2 - (\sum T)^2}{n-1}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{10 \cdot 24,4201 - (15,6224)^2}{9}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{244,201 - 244,0594}{9}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{0,1414}{9}}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \sqrt{0,015716}$$

$$\Delta T = \frac{1}{10} \cdot 0,125564$$

$$\Delta T = 0,012536 \text{ s} = 1,254 \times 10^{-2} \text{ s}$$

$$\therefore T = 1,5622 \pm 1,254 \times 10^{-2} \text{ s}$$

LAMPIRAN 4 :

TABEL PEMBUKTIAN $\sin f \approx f$ (UNTUK SUDUT KECIL)

f°	f (rad)	$\sin f$	selisih
	$f/180^\circ\pi$		ϕ (rad) - $\sin \phi$
0	0	0	0.000
1	0.01745	0.01745	0.000
2	0.03491	0.03490	0.000
3	0.05236	0.05234	0.000
4	0.06981	0.06976	0.000
5	0.08727	0.08716	0.000
6	0.10472	0.10453	0.000
7	0.12217	0.12187	0.000
8	0.13963	0.13917	0.000
9	0.15708	0.15643	0.001
10	0.17453	0.17365	0.001
11	0.19199	0.19081	0.001
12	0.20944	0.20791	0.002
13	0.22689	0.22495	0.002
14	0.24435	0.24192	0.002
15	0.26180	0.25882	0.003
16	0.27925	0.27564	0.004
17	0.29671	0.29237	0.004
18	0.31416	0.30902	0.005
19	0.33161	0.32557	0.006
20	0.34907	0.34202	0.007
21	0.36652	0.35837	0.008
22	0.38397	0.37461	0.009
23	0.40143	0.39073	0.011
24	0.41888	0.40674	0.012
25	0.43633	0.42262	0.014
26	0.45379	0.43837	0.015
27	0.47124	0.45399	0.017
28	0.48869	0.46947	0.019
29	0.50615	0.48481	0.021
30	0.52360	0.5	0.024
31	0.54105	0.51504	0.026
32	0.55851	0.52992	0.029
33	0.57596	0.54464	0.031
34	0.59341	0.55919	0.034
35	0.61087	0.57358	0.037
36	0.62832	0.58779	0.041
37	0.64577	0.60182	0.044
38	0.66323	0.61566	0.048
39	0.68068	0.62932	0.051
40	0.69813	0.64279	0.055
41	0.71558	0.65606	0.060
42	0.73304	0.66913	0.064
43	0.75049	0.68200	0.068
44	0.76794	0.69466	0.073
45	0.78540	0.70711	0.078

f°	f (rad)	$\sin f$	selisih
	$f/180^\circ\pi$		ϕ (rad) - $\sin \phi$
46	0.80285	0.71934	0.084
47	0.82030	0.73135	0.089
48	0.83776	0.74314	0.095
49	0.85521	0.75471	0.101
50	0.87266	0.76604	0.107
51	0.89012	0.77715	0.113
52	0.90757	0.78801	0.120
53	0.92502	0.79864	0.126
54	0.94248	0.80902	0.133
55	0.95993	0.81915	0.141
56	0.97738	0.82904	0.148
57	0.99484	0.83867	0.156
58	1.01229	0.84805	0.164
59	1.02974	0.85717	0.173
60	1.04720	0.86603	0.181
61	1.06465	0.87462	0.190
62	1.08210	0.88295	0.199
63	1.09956	0.89101	0.209
64	1.11701	0.89879	0.218
65	1.13446	0.90631	0.228
66	1.15192	0.91355	0.238
67	1.16937	0.92050	0.249
68	1.18682	0.92718	0.260
69	1.20428	0.93358	0.271
70	1.22173	0.93969	0.282
71	1.23918	0.94552	0.294
72	1.25664	0.95106	0.306
73	1.27409	0.95630	0.318
74	1.29154	0.96126	0.330
75	1.30900	0.96593	0.343
76	1.32645	0.97030	0.356
77	1.34390	0.97437	0.370
78	1.36136	0.97815	0.383
79	1.37881	0.98163	0.397
80	1.39626	0.98481	0.411
81	1.41372	0.98769	0.426
82	1.43117	0.99027	0.441
83	1.44862	0.99255	0.456
84	1.46608	0.99452	0.472
85	1.48353	0.99619	0.487
86	1.50098	0.99756	0.503
87	1.51844	0.99863	0.520
88	1.53589	0.99939	0.536
89	1.55334	0.99985	0.553
90	1.57080	1	0.571

LAMPIRAN 5 :

PETUNJUK PENGGUNAAN SIMULASI BANDUL FISIS BATANG SILINDER PEJAL

Penjelasan Umum

Simulasi Bandul Fisis ini hanya dibuat untuk menghitung besarnya periode dari batang silinder pejal. Adapun untuk bentuk benda lain seperti bola berongga, batang berongga maupun bangun-bangun geometri lain dapat dihitung dengan cara mengubah rumus momen inersia pada actionscript dan mengubah gambar batang pada tampilan simulasi. Simulasi ini menggunakan rumus pendekatan bandul fisis yang ideal. Simulasi bandul fisis ini dapat bekerja dengan baik pada komputer dengan spesifikasi minimal : Prosesor Intel Pentium III keatas, VGA 16MB, memori 128MB dan kapasitas penyimpanan hard disk 4,3GB.

Menggunakan Simulasi

1. Buka program simulasi Bandul Fisis
2. Masukkan nilai panjang batang, massa batang, percepatan gravitasi, sudut awal ayunan dan jumlah ayunan yang diinginkan. Nilai yang dimasukkan haruslah angka. Bila menggunakan koma untuk desimal, maka karakter koma (,) diganti dengan titik (.).
3. Setelah semua nilai variabel dimasukkan, tekan tombol **Play**, maka simulasi akan menghitung besarnya periode dan menampilkan animasi dari bandul fisis dengan data-data yang telah dimasukkan.
4. Untuk menghentikan simulasi tekan tombol **Stop**.
5. Untuk menghapus nilai variabel masukan dan keluaran perhitungan, tekan tombol **Reset**.