

PENGARUH ROTASI BUMI TERHADAP GERAK BANDUL MATEMATIS: KAJIAN TEORETIS DAN PERANCANGAN MEDIA PEMBELAJARAN *ONLINE* DENGAN WEB BUILDER

Praramadini Sari¹⁾, Raden Oktova²⁾

¹⁾ Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

¹⁾ E-mail: pradis_me@yahoo.co.id

²⁾ Program Magister Pendidikan Fisika, Program Pascasarjana

Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

²⁾ E-mail: r.oktova@uad.ac.id

Kampus II, Jl. Pramuka 42 Lt 3, Telp. (0274) 563515 ext 2302, Yogyakarta 55161

INTISARI

Telah dilakukan kajian teoretis untuk menjabarkan secara lengkap percepatan sentrifugal dan percepatan Coriolis dalam sistem koordinat bumi yang berrotasi serta pengaruhnya terhadap gerak bandul matematis. Bahan kajian tersebut diolah dalam bentuk *website* pembelajaran *online* dengan menggunakan perangkat lunak Web Builder tentang pengaruh rotasi bumi terhadap gerak bandul matematis sebagai pelengkap pembelajaran fisika untuk mata kuliah Mekanika pada program studi S1 Pendidikan Fisika. Pengembangan *website* menggunakan model pendekatan ADDIE (*Analyze-Design-Develop-Implement-Evaluate*). Selain Web Builder, perangkat lunak yang digunakan antara lain Adobe Flash, Ulead Editing Video, dan Corel Photo Paint. Kelayakan *website* sebagai media pembelajaran fisika diuji oleh pakar fisika, pakar multimedia serta mahasiswa pengguna dengan menggunakan angket. Dari uji multimedia diperoleh tingkat kelayakan sebesar 85,83%, pada uji materi fisika diperoleh tingkat kelayakan sebesar 81,25%, dan dari uji penggunaan diperoleh tingkat kelayakan sebesar 83,25%. Dapat disimpulkan bahwa program yang dirancang layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika dan dapat digunakan sebagai bahan pengayaan pada mata kuliah Mekanika untuk mahasiswa S1 Pendidikan Fisika.

Kata Kunci : pengaruh rotasi bumi, pembelajaran *online*, Web Builder.

I. PENDAHULUAN

Sistem koordinat yang berrotasi sebagai kerangka acuan noninersial, misalnya bumi kita, merupakan salah satu pokok bahasan dalam mata kuliah mekanika untuk mahasiswa S1 Pendidikan Fisika atau S1 Fisika. Pada program studi S1 Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta, pokok bahasan ini dipelajari dalam subbab tentang koordinat berrotasi (Tim Penyusun, 2010). Dalam kerangka acuan bumi yang berrotasi dapat dijabarkan kemunculan percepatan sentrifugal dan percepatan Coriolis. Pengaruh percepatan sentrifugal antara lain dapat mengurangi besar percepatan gravitasi bumi dan mengubah arah percepatan gravitasi bumi di suatu tempat di permukaan bumi. Adapun efek Coriolis antara lain dapat dilihat dengan mengamati adanya presesi bidang getar bandul matematis, dan dalam bidang meteorologi dapat menjelaskan putaran angin puting beliung. Sebelum dijabarkan secara teoretis oleh Coriolis pada tahun 1835, gagasan adanya efek tersebut sebetulnya sudah dimunculkan oleh Laplace pada tahun 1778, bahkan lebih dini lagi oleh Riccioli pada tahun 1651 (Graney, 2011).

Pada bandul matematis, percepatan Coriolis menimbulkan gerak presesi bidang getar ayunan sedangkan pengaruh percepatan sentrifugal adalah memperkecil percepatan gravitasi bumi dan memperkecil periode ayunan bandul. Dalam pembelajaran mata kuliah Mekanika tentang bandul Coriolis, peragaan langsung dengan eksperimen di laboratorium sulit dilakukan di Indonesia karena posisinya berada di dekat garis Khatulistiwa. Selain itu, media pembelajaran *online* di internet seperti *website* tentang materi ini juga masih sedikit dan itupun dalam bahasa asing. Berdasarkan latar belakang ini, peneliti mencoba melakukan kajian teoretis dari buku-buku teks fisika (Alonso dan Finn, 1980, Arya, 1990, Fowles, 1985, dan Spiegel, 1967) dan merancang sebuah media pembelajaran *online* berbahasa Indonesia berbasis web dengan menggunakan perangkat lunak Web Builder untuk pembelajaran bahan pengayaan untuk mahasiswa S1 Pendidikan Fisika agar dapat dipelajari secara mandiri.

II. KAJIAN PUSTAKA

a. Konsep *e-learning*

Terdapat lima aplikasi standar internet yang digunakan untuk keperluan pendidikan (*e-learning*), yaitu *e-mail*, *mailing list* (milis), *news group*, *File Transfer Protocol* (FTP), dan *World Wide Web* (WWW).

Pembelajaran berbasis *website* merupakan pembelajaran yang menggunakan teknologi informasi seperti internet. Penggunaan internet dalam pembelajaran memungkinkan proses pembelajaran menjadi lebih luas, interaktif dan fleksibel, kelebihan dari jaringan komputer memungkinkan mahasiswa, siswa, atau pengguna dapat saling melakukan interaksi, melalui fasilitas ini juga dapat berkomunikasi dengan siapa saja yang dapat mengakses informasi dan pengetahuan dalam bentuk teks, suara, gambar, maupun video (Arsyad, 2011).

Perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan sebuah *website* antara lain Web Builder, yang merupakan sebuah perangkat lunak yang berfungsi untuk mendesain halaman *website*, Adobe Flash yaitu sebuah program yang didesain khusus oleh Adobe dan program aplikasi standar *authoring tool* profesional yang digunakan untuk membuat animasi dan *bitmap* yang sangat menarik untuk keperluan pembangunan situs web yang interaktif dan dinamis, Ulead Editing Video untuk editing video dan editing audio serta untuk pembuatan animasi singkat dalam bentuk video dan juga dapat diubah ke SWF, dan Corel Photo Paint merupakan perangkat lunak pendukung dalam pembuatan media pembelajaran di dunia grafis, *lay out* dan gambar dua dimensi yang dikhususkan untuk pengeditan foto atau gambar dan pembuatan efek-efek (Anonim, 2010, Syarif, 2003).

b. Penelitian Terdahulu

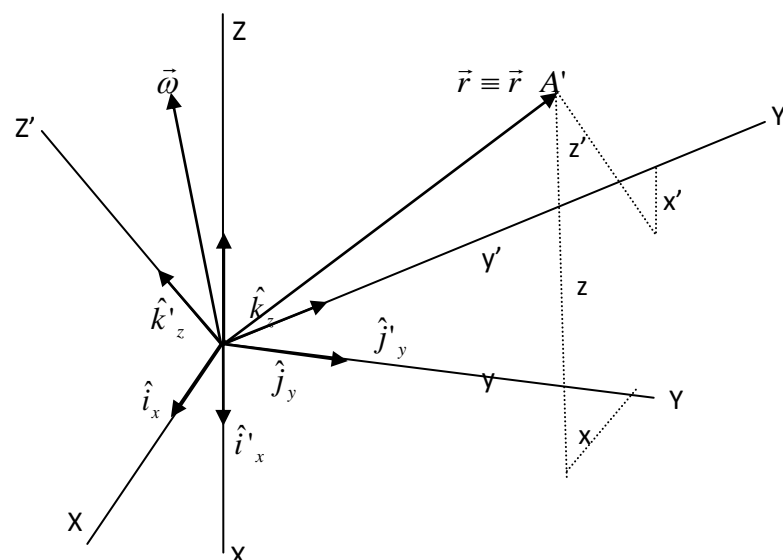
Walaupun efek Coriolis dijabarkan hampir dua abad yang lalu, namun efek Coriolis dan peragaannya dengan bandul Foucault masih saja menarik untuk dikaji ulang hingga saat ini. Persson (1998) misalnya, mengkaji bagaimana cara menjelaskan dan memahami gaya semu Coriolis. Salah satu upaya terkini untuk membuat media pembelajaran tentang efek Coriolis dilakukan oleh Secco (1999), yaitu dengan melalui media *overhead projector* (OHP), kemudian Johns (2003) memperagakan gaya Coriolis dengan percobaan sederhana tangan yang terjulur keluar dengan tubuh kita berrotasi.

Sebelum ini, belum dijumpai *website* lengkap tentang pengaruh rotasi bumi terhadap gerak bandul matematis dalam bahasa Indonesia. Yang sudah ada adalah beberapa media *online* tentang pokok bahasan lain, misalnya yang dibuat pada Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang (Purnomo, 2006).

c. Pengaruh Rotasi Bumi terhadap Gerak Bandul Matematis

c.1. Sistem koordinat yang berrotasi

Jika pada sebuah sistem koordinat Cartesius terdapat pengamat O di kerangka XYZ yang pusatnya berimpit dengan pusat bumi maka pengamat O akan melihat pengamat lain dengan pusat yang sama (misal O') berputar terhadapnya dengan kecepatan angular $\vec{\omega}$ dan sebaliknya, pengamat O' mengamati bahwa kerangka XYZ berrotasi dengan kecepatan sudut $-\vec{\omega}$. Pengamat yang berada di permukaan bumi selalu menggunakan sistem koordinat O', dan merasakan semua efek fisis yang terjadi di dalam sistem koordinat ini. Dengan demikian pengamat O' adalah sistem yang dipercepat karena harus berputar terhadap O, sedangkan O' juga merupakan sistem yang non-inersial, seperti yang terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Kerangka acuan dalam gerak relatif rotasi.

Misalkan terdapat seorang pengamat O pada kerangka acuan XYZ dalam keadaan diam dan O' pada kerangka acuan $X'Y'Z'$ berrotasi bersama bumi, maka laju perubahan $\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$ terhadap waktu adalah

$$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_{O'} = \frac{dA_x}{dt} \hat{i} + \frac{dA_y}{dt} \hat{j} + \frac{dA_z}{dt} \hat{k}. \quad (1)$$

Perubahan terhadap waktu relatif terhadap sistem XYZ dinyatakan dengan

$$\left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_O = \left. \frac{d\vec{A}}{dt} \right|_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{A}, \quad (2)$$

dengan $\vec{\omega}$ adalah kecepatan sudut sistem $X'Y'Z'$ yang mengikuti sistem XYZ . Pada gambar 1, vektor \vec{A} dinyatakan dengan vektor posisi $\vec{r} \equiv \vec{r}'$ sehingga

$$\hat{i}x + \hat{j}y + \hat{k}z = \hat{i}'x' + \hat{j}'y' + \hat{k}'z', \quad \hat{i}x + \hat{j}y + \hat{k}z = \hat{i}'x' + \hat{j}'y' + \hat{k}'z'$$

Selanjutnya kecepatan linier dalam sebuah sistem yang berrotasi dapat dinyatakan dalam bentuk

$$\left. \frac{d\vec{r}}{dt} \right|_O = \left. \frac{d\vec{r}}{dt} \right|_{O'} + \vec{\omega} \times \vec{r} \quad (3)$$

atau

$$V = V' + \omega \times r. \quad (4)$$

Jika

$$D^2_O = \left. \frac{d^2 \hat{r}}{dt^2} \right|_O,$$

$$D^2_{O'} = \left. \frac{d^2 \hat{r}}{dt^2} \right|_{O'}$$

berturut-turut adalah turunan kedua vector posisi menurut O dan O', maka percepatan dalam sebuah sistem yang diam dan dalam system yang berrotasi mempunyai kaitan

$$D^2_O \vec{r} = D^2_{O'} \vec{r} + (D_{O'} \vec{\omega}) \times \vec{r} + 2\vec{\omega} \times D_{O'} \vec{r} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}). \quad (5)$$

Dengan mengabaikan percepatan $(D_{O'} \vec{\omega}) \times \vec{r}$, maka

$$\vec{a}_O = \vec{a}_{O'} + 2\vec{\omega} \times \vec{v}_{O'} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}), \quad (6)$$

atau

$$\vec{a}_{O'} = \vec{a}_O - 2\vec{\omega} \times \vec{v}_{O'} - \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}). \quad (7)$$

Dari pers. (7), dua suku terakhir pada ruas kanan berturut-turut dinamakan percepatan Coriolis dan percepatan sentrifugal.

$$a_{Cor} = -2\vec{\omega} \times D_{O'} \vec{r} = -2\vec{\omega} \times \vec{v}_{O'} \quad (8)$$

$$a_{sf} = -\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}). \quad (9)$$

c.2. Percepatan sentrifugal

Percepatan sentrifugal merupakan efek inersial yang timbul sehubungan dengan rotasi dan bersifat menjauhi pusat lingkaran. Percepatan ini menyebabkan massa benda menjadi seakan-akan lebih "ringan". Pengaruh percepatan sentrifugal pada benda yang jatuh bebas menyebabkan benda tersebut akan sedikit bergeser ke selatan di belahan bumi sebelah utara dan sedikit bergeser ke utara di daerah belahan selatan bumi. Namun, di Khatulistiwa arahnya vertikal menuju ke pusat bumi, tetapi besarnya lebih kecil daripada nilai percepatan gravitasi yang sebenarnya. Percepatan gravitasi yang terukur di Khatulistiwa sekitar $9,78 \text{ m/s}^2$, sedangkan di kutub utara sekitar $9,83 \text{ m/s}^2$. Percepatan sentrifugal dapat memperkecil percepatan gravitasi bumi dan memperkecil periode ayunan bandul. Besar percepatan sentrifugal dapat dihitung dari

$$|-\omega \times (\omega \times r)| \approx \omega^2 r = 3,39 \times 10^{-2} \text{ m/s}^2. \quad (10)$$

Seandainya bumi tidak berrotasi, maka percepatan gravitasi yang terukur adalah g_0 atau $a = g_0$, sehingga percepatan yang diukur oleh pengamat yang berrotasi dengan bumi

$$\vec{a}_{O'} = \vec{g}_0 - 2\vec{\omega} \times \vec{v}_{O'} - \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}). \quad (11)$$

Untuk suatu benda yang awalnya diam atau bergerak sangat lamban terhadap permukaan bumi, percepatan Coriolis adalah nol. Percepatan yang dialami hanyalah percepatan gravitasi yang arahnya menuju pusat bumi (menurut pengamat O) sehingga $a_{O'} = g$, yaitu sama dengan percepatan gravitasi efektif

$$\vec{g} = \vec{g}_0 - \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}). \quad (12)$$

c.3. Percepatan Coriolis

Percepatan Coriolis mengakibatkan gejala defleksi (pembelokan arah) gerak sebuah benda pada sebuah kerangka acuan yang berrotasi, yaitu di permukaan bumi. Intinya adalah sebuah benda yang bergerak lurus dalam kerangka yang berputar, akan terlihat berbelok oleh pengamat yang diam di dalam kerangka tersebut. Hukum II Newton tentang gerak hanya dapat digunakan pada sistem inersial, namun hukum ini dapat dianggap berlaku pada sistem non-inersial dengan menganggap adanya gaya-gaya semu, sehingga persamaan (5) menjadi

$$mD^2_{O'} \vec{r} = \vec{F} - m(D_{O'} \vec{\omega}) \times \vec{r} - 2m(\vec{\omega} \times D_{O'} \vec{r}) - m\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}), \quad (13)$$

di mana \vec{F} dihasilkan dari semua gaya aksi pada partikel seperti yang terlihat oleh pengamat pada sistem inersial, sehingga

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F} - m(\vec{\omega} \times \vec{r}) - 2m(\vec{\omega} \times \vec{v}) - m[\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})] \quad (14)$$

Pada kasus bumi berrotasi dengan $\vec{\omega}$ konstan terhadap sumbu bumi, $\dot{\vec{\omega}} = 0$ sehingga

$$m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \vec{F} - 2m(\vec{\omega} \times \vec{v}) - m[\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})] \quad (15)$$

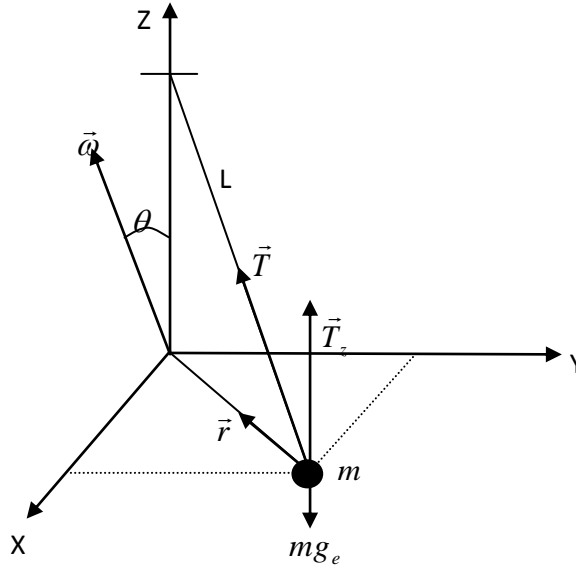
Dari pers. (15) diperoleh gaya semu Coriolis

$$2m(\vec{\omega} \times \vec{v}) = 2m(\vec{\omega} \times \vec{v}) \quad (16)$$

dan gaya semu sentrifugal

$$-m[\vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})] \quad (17)$$

Pada tahun 1851, Jean Leon Foucault di Paris mendemonstrasikan dengan eksperimen bahwa bumi adalah sebuah sistem non-inersial dengan menggunakan bandul matematis, yang menunjukkan adanya percepatan Coriolis karena rotasi bumi. Pengaruh percepatan Coriolis pada bandul matematis adalah menimbulkan gerak precesi bidang ayunan yang periodenya tergantung pada garis lintang tempat bandul tersebut berada.



Gambar 2. Analisis preresi gerak bandul pada bidang koordinat XY.

Persamaan (15) dapat digunakan untuk menganalisis gerak dari suatu bandul matematis yang berayun pada bidang berrotasi seperti terlihat pada gambar 2. Persamaan untuk gerak ayunan bandul matematis

$$m\ddot{\vec{r}} = \vec{T} + m\vec{g}_e - 2m\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}} \tag{18}$$

Komponen dalam factor $\vec{\omega} \times \dot{\vec{r}}$ pada suku ketiga pers. (18) dapat dihitung dari

$$\begin{aligned} \vec{\omega} \times \dot{\vec{r}} &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 0 & \omega \cos \lambda & \omega \sin \lambda \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} \\ &= \hat{i}(\omega \dot{z} \cos \lambda - \omega \dot{y} \sin \lambda) + \hat{j}(\omega \dot{x} \sin \lambda) + \hat{k}(-\omega \dot{x} \cos \lambda) \end{aligned} \tag{19}$$

Komponen-komponen gaya gaya tegangan tali adalah

$$T_x = -T \cos \alpha = -\frac{x}{L} T, \tag{20}$$

$$T_y = -T \cos \beta = -\frac{y}{L} T, \tag{21}$$

$$T_z = T \cos \gamma = \frac{z}{L} T, \tag{22}$$

Sehingga diperoleh system persamaan diferensial

$$m\ddot{x} = -\frac{x}{L} T - 2m\omega(\dot{z} \cos \lambda - \dot{y} \sin \lambda), \tag{23}$$

$$m\ddot{y} = -\frac{y}{L} T - 2m\omega \dot{x} \sin \lambda, \tag{24}$$

$$m\ddot{z} = T_z - mg + 2m\omega \dot{x} \cos \lambda. \tag{25}$$

Di sini simpangan bandul pada bidang vertikal sangat kecil sehingga boleh dianggap $\dot{z} \ \& \ \ddot{z} = 0$, sehingga pers. (23) dan (24) menjadi

$$m\ddot{x} = -\frac{x}{L}mg + 2m\omega\dot{y}\sin\lambda, \quad (26)$$

$$m\ddot{y} = -\frac{y}{L}mg - 2m\omega\dot{x}\sin\lambda. \quad (27)$$

Dengan $\omega' = \omega\sin\lambda$ dapat ditulis

$$\ddot{x} = -\frac{g}{L}x + 2\omega'\dot{y}, \quad (28)$$

$$\ddot{y} = -\frac{g}{L}y + 2\omega'\dot{x}. \quad (29)$$

Gerak yang ditunjukkan dengan persamaan (28) dan (29) dapat ditransformasikan ke suatu sumbu koordinat baru $O'X'Y'$ yang berrotasi pada bidang XY dengan kecepatan sudut konstan, sehingga diperoleh sistem persamaan

$$x = x'\cos\omega't + y'\sin\omega't, \quad (30)$$

$$y = -x'\sin\omega't + y'\cos\omega't. \quad (31)$$

Dengan menggunakan nilai $x, \dot{y}, \&\ddot{x}$, maka didapat

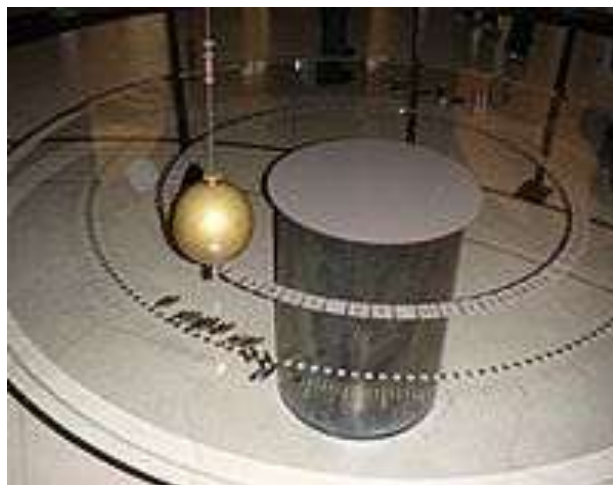
$$\ddot{x}' + \frac{g}{L}x' = 0, \quad (32)$$

$$\ddot{y}' + \frac{g}{L}y' = 0. \quad (33)$$

Pada koordinat $O'X'Y'$, sumbu utama yang berbentuk elips memiliki arah tetap, tetapi tidak ketika sumbu utama ini dilihat dari sistem koordinat $O'XY$, karena $O'X'Y'$ berrotasi terhadap OXY dengan kecepatan sudut $-\omega'$. Oleh karena itu, ketika dilihat dari sistem kordinat OXY , sumbu utama mengalami suatu presesi terus-menerus. yang searah jarum jam di belahan bumi bagian utara dengan kecepatan sudut $\omega' = \omega\sin\lambda$, sehingga diperoleh periode ayunan

$$T_p = \frac{2\pi}{\omega'} = \frac{2\pi}{\omega\sin\lambda} = \frac{T_0}{\sin\lambda} = \frac{24\text{ jam}}{\sin\lambda} \quad (34)$$

Aplikasi teori ini dapat dilihat pada eksperimen bandul Foucault. Bandul Foucault mempunyai massa relatif besar yang tergantung disebuah kabel sebagai talinya, seperti yang disajikan pada gambar 3.



Gambar 3. Bandul Foucault di Paris.

Ketika bandul Foucault berayun bolak-balik pada bidang, bumi berrotasi di bawahnya, sehingga terdapat gerak relatif di antara keduanya. Gerakan relatif tersebut jika dilihat dari atas bidang suspensi bandul berlawanan dengan rotasi bumi dengan periode 24 jam (lebih tepatnya, 23 jam 56 menit 4 detik). Akibat rotasi bumi pada porosnya, bidang ayunan bandul akan berpresesi secara perlahan di sekitar sumbu vertikal. Pada belahan bumi utara presesi ini searah dengan arah jarum jam dan semakin lambat jika lokasi bandul tersebut mendekati Khatulistiwa. Sebaliknya pada belahan bumi selatan arahnya berlawanan arah dengan arah jarum jam. Pada lokasi bandul Foucault di Paris, presesi terjadi searah jarum jam dengan kelajuan presesi lebih dari 11° per jam, atau dengan jangka waktu sekitar 32 jam per rotasi penuh. Kelajuan presesi bergantung pada sudut lintang, dan di Khatulistiwa atau 0° lintang, bandul Foucault akan diam atau tidak mengalami presesi (Persson, 1998).

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta. Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model ADDIE (*Analyze-Design-Develop-Implement-Evaluate*, Molenda, 2003, Strickland, 2006). Salah satu fungsi ADDIE yaitu menjadi pedoman dalam membangun perangkat dan infrastruktur program pelatihan yang efektif, dinamis dan mendukung kinerja pelatihan itu sendiri, sehingga dapat membantu instruktur pelatihan dalam pengelolaan pelatihan dan pembelajaran.

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka dan jajak pendapat (*polling*) dengan angket. Menurut Arikunto (2007), kuesioner atau angket adalah sebuah daftar pertanyaan yang harus diisi oleh orang yang akan diukur (responden). Metode ini dilakukan untuk menguji kinerja program apakah layak digunakan sebagai media pembelajaran. Uji program menggunakan metode *black box test* yaitu uji sistem yang dilakukan dengan mengamati keluaran dari berbagai masukan. Uji ini dilakukan oleh pihak yang mengerti tentang fisika dan media yaitu dosen-dosen pendidikan fisika, fisika, dan teknik informatika. Untuk uji pengguna dilakukan dengan metode *alpha test* yaitu uji pada mahasiswa semester lima yang telah mengambil dan lulus mata kuliah mekanika. Angket yang digunakan menggunakan model skala Likert (Gingery, 2009). Skala ini disusun dalam bentuk suatu pernyataan dan diikuti oleh empat respon yang menunjukkan tingkatan, dimana alternatif responnya adalah Sangat Setuju (SS), Setuju (ST), Kurang Setuju (KS), Tidak Setuju (TS), sedangkan penentuan jumlah skor untuk jawaban pertanyaan dalam angket adalah skor 4 untuk jawaban Sangat Setuju (SS), skor 3 untuk Setuju (ST), skor 2 untuk Kurang Setuju (KS), skor 1 untuk Tidak Setuju (TS).

Untuk mengetahui tingkat kelayakan program yang telah dibuat, digunakan tiga jenis angket yaitu angket uji multimedia, angket uji materi, dan angket uji penggunaan. Untuk menganalisis data dari angket dilakukan langkah-langkah sebagai berikut. (i) Angket yang telah diisi oleh responden diperiksa kelengkapan jawabannya, kemudian disusun sesuai dengan kode responden. (ii) Jawaban setiap pernyataan dikuantifikasikan dengan memberikan skor sesuai dengan bobot yang telah ditentukan sebelumnya. (iii) Tabulasi data. (iv) Dihitung jumlah skor tiap butir pernyataan. Adapun tingkat kelayakan program secara keseluruhan dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P = \frac{S}{S_m} \times 100\%, \quad (35)$$

dengan P tingkat kelayakan program (%), S jumlah skor total yang diperoleh, dan S_m jumlah skor total maksimum.

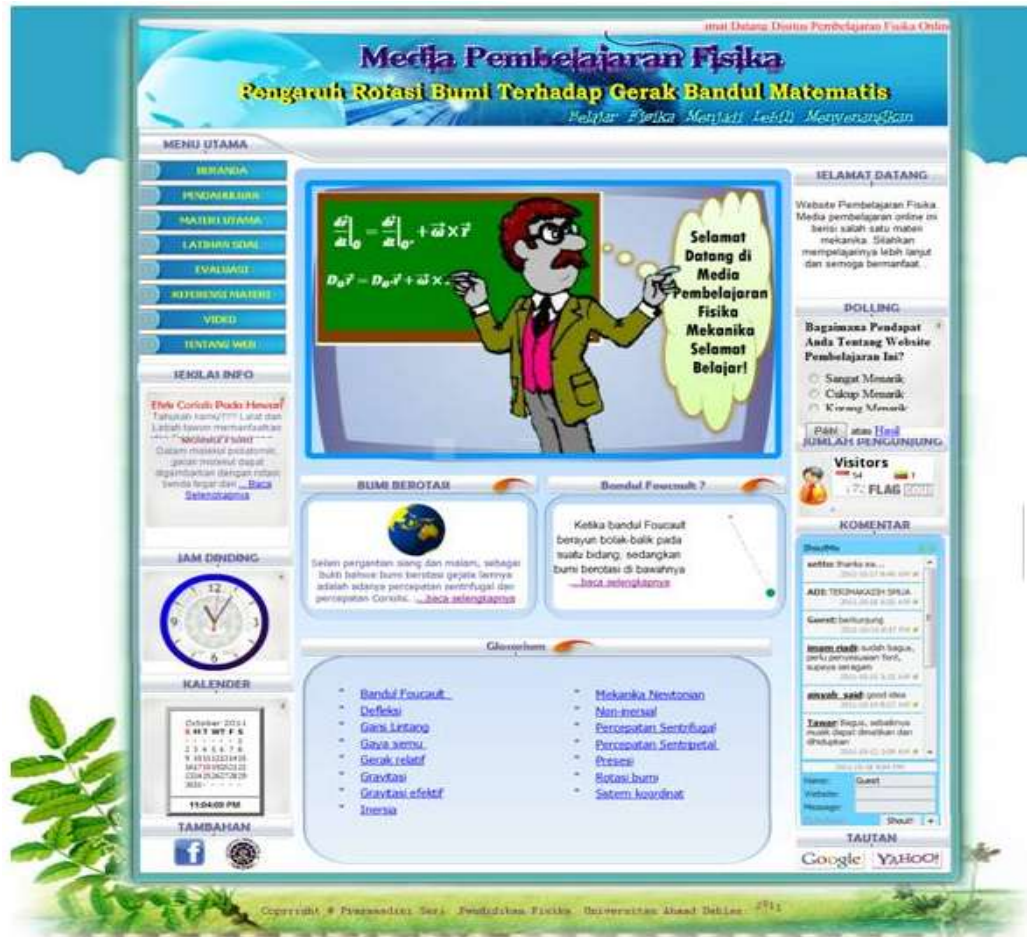
Persentase yang diperoleh dari pers. (35) ditransformasikan ke dalam kalimat yang bersifat kualitatif. Untuk menentukan kriteria kualitatif dilakukan sebagai berikut (Wibowo dalam Purnomo, 2006): (i) menentukan persentase skor ideal (skor maksimal) = 100 %, (ii) menentukan persentase skor terendah (skor minimal) = 0 %, (iii) menentukan range $100 - 0 = 100$, (iv) menentukan interval yang dikehendaki 4 kriteria (sangat layak, layak, kurang layak, tidak layak), dan (v) menentukan lebar interval $100/4 = 25$ dengan kriteria seperti disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Interval nilai untuk tingkat kelayakan media pembelajaran

No.	Interval Nilai (P)	Kriteria tingkat kelayakan
1.	100-76 %	Sangat layak
2.	75-51 %	Layak
3.	50-26 %	Kurang layak
4.	25-0 %	Tidak layak

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Website pembelajaran fisika yang dihasilkan dapat digunakan secara *online* melalui alamat www.skripsi.student.uad.ac.id/07007006/. Program ini sudah dicoba pada sistem operasi Microsoft Windows (XP, 7, Vista) dan Linux. Untuk dapat menjalankan media ini dapat digunakan komputer pribadi atau *laptop* dengan spesifikasi standar untuk *browsing* web, sedangkan perangkat lunak yang diperlukan sebagai pendukung adalah Adobe Flash Player.



Gambar 4. Tampilan awal *website*.

Tampilan awal atau beranda merupakan tampilan yang pertama kali muncul saat program dijalankan, dan terdiri atas menu utama dan menu pendukung (gambar 4). Menu utama yang disajikan dalam *website* ini adalah pendahuluan, materi utama, latihan soal, evaluasi, referensi materi, video, dan informasi tentang web, sedangkan menu pendukung antara lain *polling*, komentar dan glosarium. Tampilan akan muncul jika kita klik tombol pada menu utama dan menu Uji kelayakan program dilakukan melalui angket untuk uji multimedia (dosen), uji materi fisika (dosen), dan uji penggunaan (mahasiswa). Pengambilan data dilakukan pada 24 orang responden yang terdiri atas dua orang dosen sebagai penguji multimedia, dua orang dosen lain sebagai penguji materi, dan 20 orang mahasiswa sebagai penguji penggunaan. Adapun hasil uji adalah sebagai berikut.

Uji multimedia dilakukan dengan menggunakan angket untuk menguji media yang berisi pernyataan-pernyataan tentang uji fungsi-fungsi dan tampilan *website* sebagai sebuah program multimedia. Uji ini termasuk dalam metode *black box test*. Dosen-dosen yang menjadi penguji dalam hal ini adalah dosen dari fakultas teknik informatika dan sistem informatika yang telah memiliki gelar S2 dalam bidangnya dan mampu mata kuliah tentang pemrograman komputer. Berdasarkan analisis angket, diperoleh tingkat kelayakan sebesar 85,83% dan termasuk dalam katagori baik atau layak sebagai media pembelajaran.

Uji materi fisika dilakukan dengan menggunakan angket untuk menguji materi (isi) fisika yang berisi pernyataan-pernyataan tentang kesesuaian materi pada *website* dengan bahan atau silabus mata kuliah Mekanika. Uji ini termasuk dalam metode *black box test*. Dosen-dosen yang menjadi penguji adalah dosen dari program studi Pendidikan Fisika dan Fisika yang telah memiliki gelar S2 dalam bidang fisika dan telah

mengampu mata kuliah Mekanika lebih dari dua tahun. Berdasarkan analisis angket, diperoleh persentase kelayakan sebesar 81,25% dan termasuk dalam katagori baik atau layak sebagai media pembelajaran.

Uji penggunaan dilakukan dengan menggunakan angket untuk penggunaan yang berisi pernyataan-pernyataan tentang penggunaan *website* sebagai sebuah media pembelajaran fisika. Uji ini termasuk dalam metode *alpha test*. Mahasiswa yang menjadi responden adalah mahasiswa semester V yang telah menempuh dan lulus dalam mata kuliah Mekanika. Berdasarkan analisis angket, diperoleh nilai persentase kelayakan sebesar 83,25% dan termasuk dalam katagori baik atau layak sebagai media pembelajaran.

Selain dilakukan analisis hasil angket dari uji multimedia, uji materi dan uji penggunaan terdapat juga data sekunder berupa pendapat dan saran-saran terhadap media pembelajaran yang telah dikembangkan. Lembar pendapat dan saran para responden yang terkumpul sebanyak 24 buah, di antaranya 17 responden atau 70,83% responden berpendapat media yang telah dirancang sudah baik dan penggunaan media pembelajaran ini termasuk mudah dan menarik karena berbagai alasan, misalnya karena *website* pada materi ini memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan *website* lain dengan materi yang sama (salah satunya adalah *website* ini disajikan dalam bahasa Indonesia), dilengkapi dengan soal latihan dan soal evaluasi, serta dilengkapi animasi dan video untuk memvisualisasikan suatu peristiwa agar dapat membantu pengguna dalam memahami materi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan di atas dapat disimpulkan, media pembelajaran yang dibuat dinyatakan layak sebagai media pembelajaran fisika *online* dengan tingkat kelayakan 85,83% dari uji multimedia, 81,25% dari uji materi fisika dan 83,25% dari uji penggunaan. Berdasarkan data sekunder yang berisi pendapat dan saran dari uji multimedia, uji materi, dan uji penggunaan, sebagian besar menyatakan media pembelajaran *online* ini menarik dan termasuk mudah untuk digunakan sebagai media pembelajaran.

Media pembelajaran *online* yang telah dirancang masih mempunyai kekurangan, yaitu dalam hal efek suara dan simulasi. Diharapkan untuk pengembangan selanjutnya dapat ditambahkan efek suara agar tampilan yang disajikan lebih menarik dan lebih interaktif.

Penelitian ini hanya menghasilkan perangkat lunak media pembelajaran *online* pada satu pokok bahasan, sehingga diharapkan untuk penelitian media selanjutnya dapat dibuat media serupa untuk pokok bahasan fisika lainnya pada mata kuliah yang sama atau mata kuliah lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, M. dan Finn, E. J., 1980, "Fundamental University Physics 2nd Edition", Washington D.C.: Addison-Wesley, 86-95.
- Anonim, 2010, "Pablo 2010 WYSIWYG Web Builder 7", <http://www.wysiwygwebbuilder.com/>, diakses pada tanggal 30 juni 2011.
- Arikunto, S., 2007, "Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan", Jakarta: Bumi Aksara.
- Arsyad, A., 2011, "Media Pembelajaran", Jakarta: Rajawali Press, hal. 12.
- Arya, A. P., 1990, "Introduction to Classical Mechanics", Prentice Hall: New Jersey, hal. 407-433.
- Fowles, G. R., 1985, "Analytical Mechanics Fourth Edition", New York: Saunder College, hal. 112-131.
- Gingery, T. 2009, "Forced Choice Survey Questions", <http://survey.cvent.com/blog/market-research-design-tips-2/forced-choice-survey-questions>, diambil pada tanggal 1 November 2011.
- Graney, C. M., 2011, "Coriolis effect, two centuries before Coriolis". *Physics Today* **64**, 8.
- Johns, R., 2003, "Coriolis Force on Your Arms", *The Physics Teacher* **41** (9), 516.
- Molenda, M., 2003, "In Search of the Elusive ADDIE Model", *Performance Improvement* **42** (5), 34-37.
- Strickland, A.W (2006), "ADDIE", Idaho State University College of Education, Science, Math & Technology Education, arsip dari aslinya 9 Juli 2006, diakses 29 Juni 2006.
- Persson, A., 1998, "How Do We Understand the Coriolis Force?", *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 1373-1385.
- Purnomo, A., 2006, "Pengembangan Bahan Pembelajaran Mandiri Komputasi Fisika dengan Menggunakan Moodle secara *Online* di Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang", Semarang: UNNES.

- Secco, R. A., 1999, "Coriolis-Effect Demonstration on an Overhead Projector", *The Physics Teacher* **37**, 244-245.
- Spiegel, M. R., 1967, "Schaum's Outline of Theory and Problems of Theoretical Mechanics: with a Introduction to Lagrange's Equations and Hamiltonian Theory", New York: McGraw-Hill, hal. 144-156.
- Syarif, A. M., 2003, "Panduan Belajar Animasi", Yogyakarta: Andi.
- Tim Penyusun, 2010, "Pedoman Akademik 2010/2011 Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan", Yogyakarta: Universitas Ahmad Dahlan.