



UNIVERSITAS INDONESIA

**SIMULASI PENENTUAN VISKOSITAS FLUIDA MELALUI
OSILASI TEREDAM**

SKRIPSI

**Tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar sarjana fisika dari
Universitas Indonesia**

YULLIE MIRANDA ZED

NPM : 0706196922

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM EKSTENSI FISIKA**

DEPOK

JUNI 2010

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

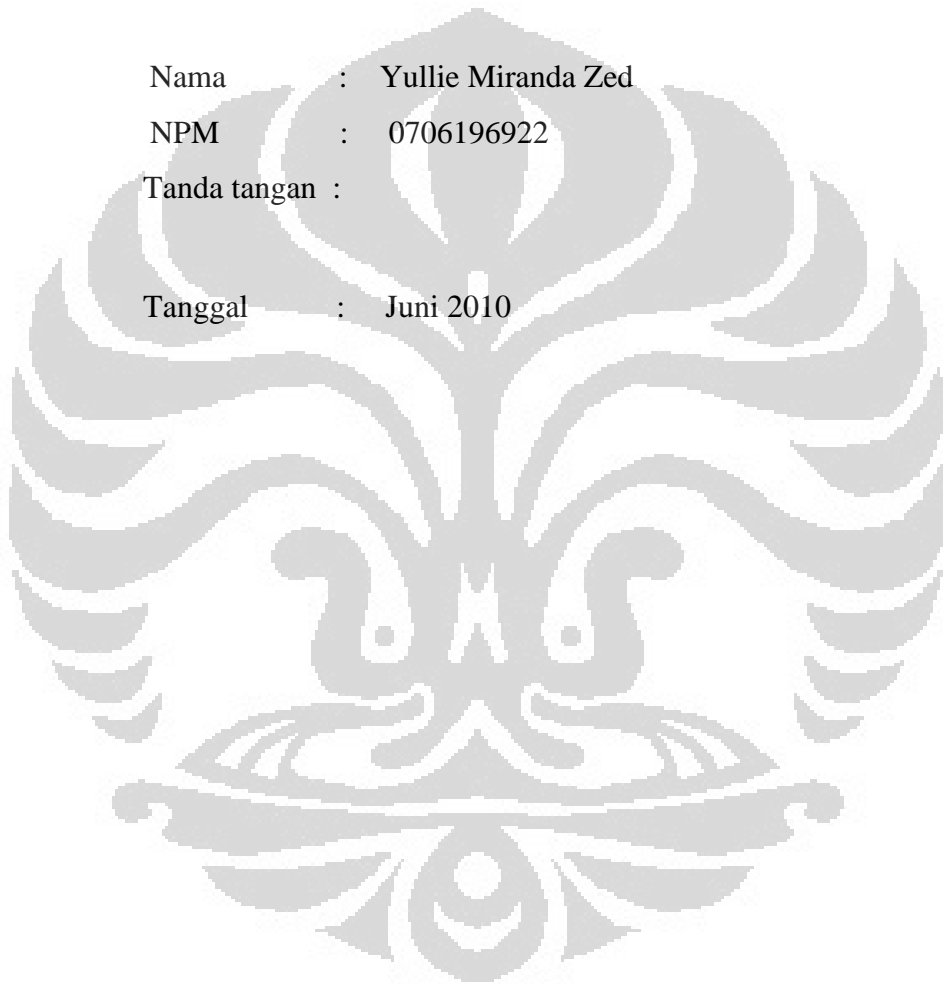
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Yullie Miranda Zed

NPM : 0706196922

Tanda tangan :

Tanggal : Juni 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Nama : **Yullie Miranda Zed**
NPM : **0706196922**
Program studi : **S1 Ekstensi Fisika**
Judul skripsi : **Simulasi Penentuan Viskositas Fluida
Melalui Osilasi Tereadam**
Pembimbing I : **Dr. Agus Salam**
Pembimbing II : **Drs. Arief Sudarmaji, M.T.**

Telah disahkan dan disetujui sebagai laporan tugas akhir pada program Ekstensi S1 Instrumentasi Elektronika dan Industri, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Pembimbing I : Dr. Agus Salam ()
Pembimbing II : Drs. Arief Sudarmaji, M.T. ()
Penguji I : Dr. M. Hikam ()
Penguji II : Dr. Budhy Kurniawan ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 23 juni 2010

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yullie Miranda Zed
NPM : 0706196922
Program Studi : Ekstensi Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

menyatakan bahwa:

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : “**Simulasi Penentuan Viskositas Fluida Melalui Osilasi Teredam**” beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : Juni 2010

Yang menyatakan :

(Yullie Miranda Zed)

ABSTRAK

Simulasi penentuan viskositas fluida melalui osilasi teredam telah dilakukan untuk sistem yang terdiri dari pegas, beban, dan bola yang dicelupkan ke dalam fluida. Observabel yang disimulasikan adalah simpangan, faktor redaman, dan frekuensi getaran sebagai fungsi dari viskositas fluida, jari-jari, dan bahan bola. Gaya redaman diasumsikan sebanding dengan viskositas fluida, kelajuan, dan jari-jari bola. Diperoleh hasil bahwa simpangan dan faktor redaman sensitif terhadap viskositas, sedangkan frekuensi getaran tidak.

Kata kunci: simulasi, viskositas, osilasi.

ABSTRACT

Simulation of determination of viscosity of fluid through damped oscillation has been done for a system which consists of a spring, a load, and a ball that is submerged in fluid. The simulated observables are deflection, damping factor, and frequency which are functions of viscosity, radius, and material of the ball. It is assumed that the damped force depends on viscosity, speed, and radius of the ball. It is found that the deflection and damping factor are sensitive to the viscosity, while frequency not.

Keywords: simulation, viscosity, oscillation.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis haturkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat iman, islam, taufik serta hidayahNya, sehingga penulisan tugas akhir yang berjudul “Penentuan Viskositas Fluida Melalui Osilasi Teredam” ini, dapat diselesaikan pada waktunya. Shalawat dan salam penulis panjatkan pada junjungan kita Nabi ALLAH Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat yang telah membimbing jalan hidup dan aktivitas penulis sehari-hari

Adapun tujuan penulis mengangkat permasalahan ini, berkaitan dengan tugas yang telah dan akan dijalani oleh penulis yaitu sebagai pengajar fisika pada tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Selanjutnya diharapkan penulisan tugas akhir ini bermanfaat sebagai penunjang pengembangan pengajaran fisika.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. ALLAH SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya, memberikan kesehatan, perlindungan dan kemudahan kepada hambanya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.
2. Yang terhormat Dr. Agus Salam, selaku dosen pembimbing I tugas akhir ini yang dengan sepenuh hati dan penuh kesabaran memberikan dorongan dan bimbingan materi yang sangat berarti sehingga terwujudnya tugas akhir ini.
3. Yang terhormat Drs.Arief Sudarmaji,MT selaku pembimbing II yang telah bersedia menjadi pembimbing tugas akhir ini.
4. Yang terhormat Dr.M.Hikam dan Dr.Budhy Kurniawan selaku dosen penguji pada tugas akhir ini
5. Yang terhormat segenap dosen pengajar jurusan Fisika Universitas Indonesia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat selama penulis belajar di Fisika MIPA Universitas Indonesia
6. Yang terhormat Dr. Abdul Haris, selaku sekretariat Fakultas Departemen Fisika, yang terlibat dalam mekanisme kedinasan antara Dinas Dikmenti dengan Universitas Indonesia
7. Yang terhormat Drs.Ratiyono Msi, selaku wakil Kepala Dinas Dikmenti yang telah memberikan izin dan beasiswa kepada penulis untuk menyelesaikan kuliah di Fisika MIPA Universitas Indonesia

8. Rekan-rekan S-1 Ekstensi angkatan 2007 Dikmenti Fisika MIPA Universitas Indonesia, semoga tali silaturahmi kita akan terus berlanjut.
9. Mas Riski, mbak Heri, mbak Ratna, dan seluruh karyawan administrasi Fisika Universitas Indonesia yang telah membantu dalam urusan administrasi.
10. Teman-teman SMA 32 Jakarta yang selalu memberikan dorongan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan kuliah ini walaupun sudah di usia lanjut.
11. Anak-anakku tersayang, Prayoga Sujono ST dan Bayu Satya Graha ST, yang selalu memberikan dorongan moril dan materil kepada ibunya agar dapat menyelesaikan kuliah ini tepat waktu. Ibu sayang kalian.
12. Bundaku tersayang, dan adik-adikku yang selalu memberikan semangat dan dorongan moril yang tak henti-hentinya.
13. Berbagai pihak yang turut membantu penulis, baik secara langsung maupun tidak langsung membantu terwujudnya skripsi ini yang pada kesempatan ini tidak dapat disebutkan satu persatu, semoga ALLAH TA'ALA membalas amal dan kebaikan yang telah diberikan.

Penulis menyadari sepenuhnya, atas keterbatasan ilmu, kemampuan serta pengetahuan yang dimiliki. Untuk itu, saran serta masukan yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan tulisan ini. Semoga karya ini bermanfaat untuk kita semua. Amiin.

Jakarta, 23 Juni 2010

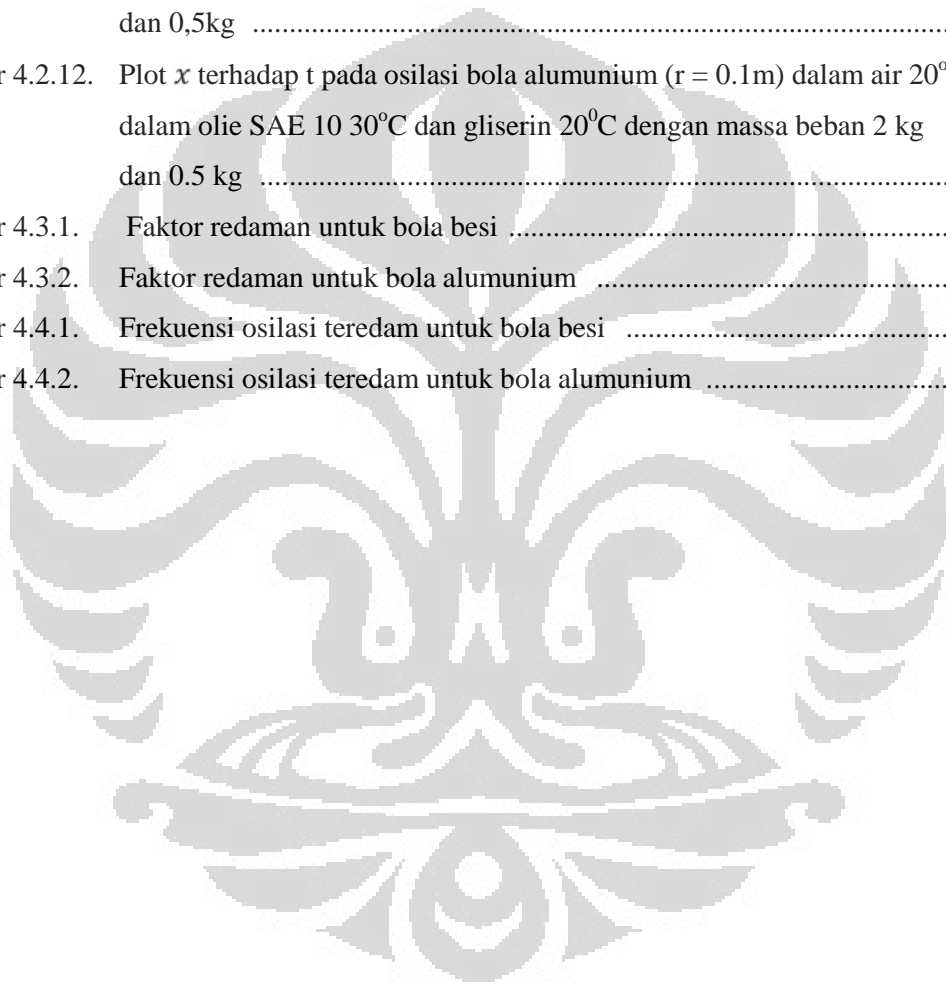
DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB. 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Metode Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB. 2 TEORI DASAR	4
2.1. Osilasi Harmonis Sederhana	4
2.2. Osilasi Tereدام	7
2.3. Viskositas Fluida dan Gaya Stokes	10
BAB. 3 FORMULASI PENENTUAN VISKOSITAS	12
3.1. Penentuan Viskositas Melalui Simpangan	12
3.2. Penentuan Viskositas Melalui Faktor Redaman	12
3.3. Penentuan Viskositas Melalui Frekuensi	13
BAB. 4 HASIL DAN DISKUSI	14
4.1. Sistem Osilasi Redaman	14
4.2. Simulasi Penentuan Viskositas Melalui Pengukuran Simpangan	15
4.3. Simulasi Penentuan Viskositas Melalui Faktor Redaman	33
4.4. Simulasi Penentuan Viskositas Melalui Frekuensi	36
BAB. 5 KESIMPULAN DAN SARAN	40
DAFTAR PUSTAKA	xii

DAFTAR GAMBAR

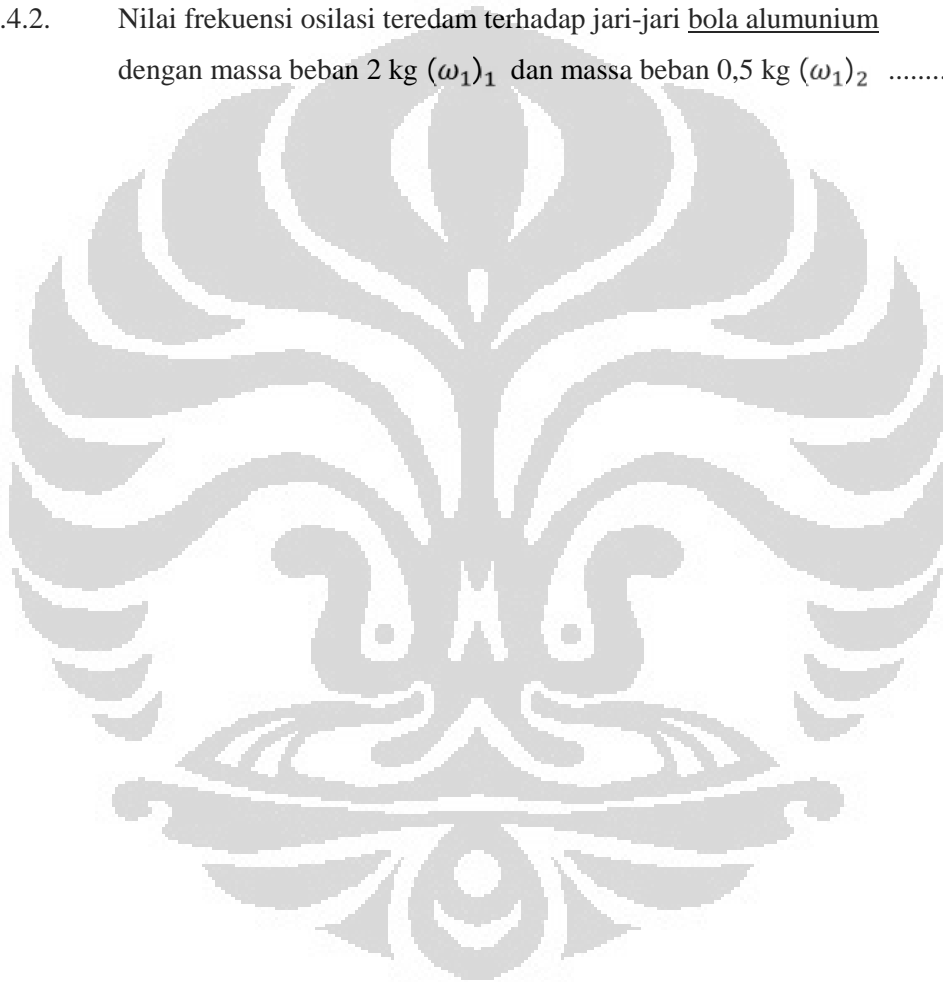
Gambar 2-1.	Massa bergetar di ujung pegas.Halliday-Resnick[6] h.447	4
Gambar 2-2	Simpangan osilasi harmonis sederhana. Giancoli[1] h.371	5
Gambar 2-3.	Grafik simpangan kecepatan dan percepatan. Giancoli[1] hal.373	7
Gambar 2-4.	Osilasi teredam dalam fluida. Halliday-Resnick[6] h.477	7
Gambar 2.5.	Grafik osilasi teredam. Marion[4] h.117	9
Gambar 4.1.1.	Sistem osilasi teredam terdiri dari pegas, beban, dan bola yang dichelupkan ke dalam fluida	14
Gambar 4.2.1.	Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.001\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan 0.5kg (2 panel bawah)	18
Gambar 4.2.2.	Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.01\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan massa beban 0,5 kg (2 panel bawah)	19
Gambar 4.2.3.	Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.05\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan massa beban 0.5 kg (2 panel bawah)	20
Gambar 4.2.4.	Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.06\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0,5 kg	21
Gambar 4.2.5.	Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.08\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0,5kg	22
Gambar 4.2.6.	Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.1\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5 kg	23
Gambar 4.2.7.	Plot x terhadap t pada osilasi bola alumunium ($r = 0.001\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan 0.5kg (2 panel bawah)	27
Gambar 4.2.8.	Plot x terhadap t pada osilasi bola alumunium ($r = 0.01\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan massa beban 0,5 kg (2 panel bawah)	28

Gambar 4.2.9.	Plot x terhadap t pada osilasi bola alumunium ($r = 0.05\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan massa beban 0.5 kg (2 panel bawah)	29
Gambar 4.2.10.	Plot x terhadap t pada osilasi bola alumunium ($r = 0.06\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0,5 kg	30
Gambar 4.2.11.	Plot x terhadap t pada osilasi bola alumunium ($r = 0.08\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0,5kg	31
Gambar 4.2.12.	Plot x terhadap t pada osilasi bola alumunium ($r = 0.1\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5 kg	32
Gambar 4.3.1.	Faktor redaman untuk bola besi	34
Gambar 4.3.2.	Faktor redaman untuk bola alumunium	35
Gambar 4.4.1.	Frekuensi osilasi teredam untuk bola besi	37
Gambar 4.4.2.	Frekuensi osilasi teredam untuk bola alumunium	39



DAFTAR TABEL

Tabel 4.3.1.	Nilai faktor redaman terhadap jari-jari <u>bola besi</u> dengan massa beban 2 kg (β_1) dan massa beban 0.5 kg (β_2)	33
Tabel 4.3.2.	Nilai faktor redaman terhadap jari-jari <u>bola aluminium</u> dengan massa beban 2 kg (β_1) dan massa beban 0.5 kg (β_2)	34
Tabel 4.4.1.	Nilai frekuensi osilasi teredam terhadap jari-jari <u>bola besi</u> massa beban 2 kg (ω_1) ₁ dan massa beban 0,5 kg (ω_1) ₂	36
Tabel 4.4.2.	Nilai frekuensi osilasi teredam terhadap jari-jari <u>bola aluminium</u> dengan massa beban 2 kg (ω_1) ₁ dan massa beban 0,5 kg (ω_1) ₂	37



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Fisika adalah ilmu yang berkaitan dengan cara mempelajari tentang fenomena alam secara sistematis. Ilmu fisika merupakan ilmu yang mendasari perkembangan teknologi maju serta konsep hidup harmonis dengan alam. Bila diamati lebih dalam, kita dapat merasakan betapa fisika itu indah. Pengamatan gejala alam seperti gerhana matahari, gerhana bulan, terjadinya pelangi atau keindahan lain yang tampak oleh ilmuwan seperti struktur kristal dengan difraksi sinar-X, atau pada pembiasan yang terjadi pada zat cair. Keindahan fisika selain terletak pada eksperimennya juga pada cara berfikir kreatif untuk menjelaskan suatu hubungan yang satu dengan yang lainnya. Fisika bukan hanya kumpulan pengetahuan yang berupa fakta-fakta, konsep atau prinsip saja, tapi juga merupakan suatu proses penemuan. Oleh karena itu perlu dilakukan banyak eksperimen untuk mengamati hal tersebut.

Mempelajari fenomena fisika tidak lepas dari kegiatan pengukuran. Dengan pengukuran dan latihan melaporkan pengamatan gejala alam merupakan sarana berlatih dalam menumbuhkan kebiasaan menerapkan metode ilmiah dalam pembelajaran fisika. Pengamatan atas suatu besaran fisika berupa pengamatan kuantitas atau pengukuran. Kumpulan pengukuran yang diperoleh dari berbagai sumber diolah dan disintesis menjadi suatu model atau teori dari suatu gejala alam. Agar berguna maka teori tersebut harus dapat meramalkan berbagai hal atau penemuan baru yang kebenarannya dibuktikan dengan percobaan dan pengukuran baru.

Dalam kehidupan sehari-hari, manusia selalu berinteraksi dengan mesin dan zat cair. Air sebagai pendingin mesin atau zat cair lainnya seperti oli, yang digunakan sebagai cairan yang dapat melindungi mesin supaya tidak cepat aus dan rusak. Maka perlu diketahui viskositas zat cair yang tepat sebagai pelindung mesin. Kondisi kendaraan bermotor sangat ditentukan oleh pemeliharannya. Dengan perawatan yang baik, kendaraan akan dalam kondisi prima. Perawatan yang tergolong sederhana tetapi

sangat vital adalah penggantian secara rutin minyak pelumas. Meski sederhana jenis perawatan ini sering menyisakan persoalan untuk memilih zat pelumas yang tepat. Penggunaan minyak pelumas pada kendaraan bermotor ditujukan untuk mencegah gesekan antara komponen yang bergerak pada mesin. Sehingga diharapkan dapat mencegah keausan logam mesin akibat gesekan langsung. Hasil perumusan osilasi teredam pada fluida dapat digunakan untuk menentukan viskositas suatu fluida atau zat pelumas.

1.2. Tujuan Penelitian

Dengan mempelajari hasil data osilasi teredam dalam fluida, penelitian ini bertujuan:

1. Di bidang Pendidikan : Melalui simulasi dapat dijadikan sebagai bahan ajar di laboratoriaum pada tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA)
2. Di bidang Industri : Dapat digunakan untuk menentukan viskositas zat pelumas.

1.3. Batasan Masalah

Air adalah fluida yang sangat kental hubungannya dengan kehidupan makhluk hidup. Air mempunyai viskositas yang sangat rendah sehingga air mudah mengalir, dan tidak lengket. Air berbeda dengan minyak. Walaupun air dan minyak memiliki nilai kerapatan hampir sama, tetapi memiliki perilaku yang berbeda ketika mengalir. Hal ini disebabkan karena air dan minyak mempunyai viskositas yang berbeda. Viskositas air lebih kecil dari viskositas minyak, air lebih encer dari minyak. Zat cair pada umumnya lebih kental dari gas.

Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi viskositas suatu fluida maka semakin besar kekentalannya. Tingkat kekentalan suatu fluida juga bergantung pada suhu, semakin tinggi suhu zat cair semakin berkurang kekekantalan zat cair tersebut. Misalnya ketika ibu menggoreng ikan di dapur, minyak goreng yang awalnya kental menjadi lebih cair ketika dipanaskan. Sebaliknya semakin tinggi suhu suatu zat gas maka semakin kental zat gas tersebut. Sesuai dengan pemaparan diatas, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah menentukan viskositas zat cair yang mudah didapat, dan memiliki kekentalan lunak, seperti air, oli dan gliserin.

1.4. Metode Penelitian

Penelitian ini adalah menganalisa data yang dihasilkan dari pengukuran osilasi teredam dalam fluida, dan digunakan untuk menentukan viskositas suatu fluida.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini meliputi beberapa bab yang memuat beberapa sub bab yang diharapkan dapat memudahkan membaca dan memahaminya. Maka penulisan tugas akhir ini dibagi dalam 5 bab yaitu :

BAB 1. PENDAHULUAN

Pendahuluan berisi latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2. TEORI DASAR

Membahas tentang osilasi harmonis sederhana, viskositas fluida dan osilasi harmonis teredam dalam fluida.

BAB 3. FORMULASI PERHITUNGAN DAN SIMULASI

Berisi tentang formulasi perhitungan untuk melakukan simulasi osilasi teredam dalam beberapa jenis fluida, dan pengolahan data eksperimen yang sudah ada hingga menghasilkan informasi tentang viskositas fluida yang digunakan.

BAB 4. HASIL DAN DISKUSI

Bab ini berisi hasil diskusi analisis untuk menentukan viskositas suatu zat cair.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

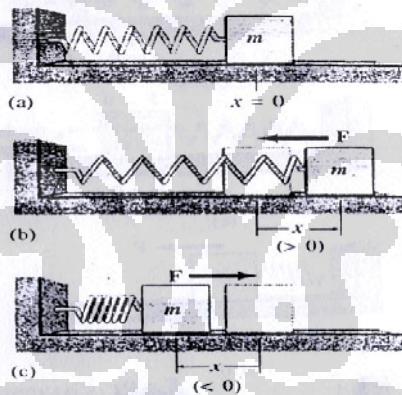
Bab ini adalah penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

BAB 2 TEORI DASAR

2.1. Osilasi Harmonis Sederhana

Setiap gerak yang berulang dalam selang waktu yang sama disebut gerak periodik. Pergeseran partikel yang bergerak periodik selalu dapat dinyatakan dalam fungsi sinus dan cosinus. Karena pernyataan yang memuat fungsi ini diberi istilah “harmonik”, maka gerak periodik sering disebut gerak harmonik.

Benda bermassa m terikat di ujung pegas yang massanya diabaikan yang terpasang horizontal. Pegas digetarkan sehingga benda meluncur tanpa gesekan pada permukaan horizontal.



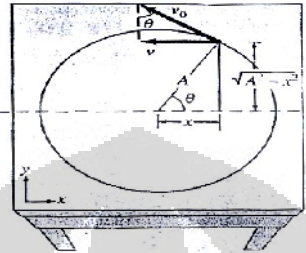
Gambar 2-1. Massa bergetar di ujung pegas.
Halliday-Resnick[6] h.447

Gambar 2-1 a, benda pada posisi setimbang. Gambar 2-1 b, pegas terentang sejauh x dari posisi setimbang. Gambar 2-1 c, pegas tertekan sejauh x dari posisi setimbang. Dalam posisi terentang atau tertekan, pegas memberikan gaya pada massa yang bekerja dalam arah mengembalikan massa ke posisi setimbangnya. Gaya tersebut disebut “gaya pemulih”. Besar gaya pemulih F berbanding lurus dengan simpangan x dari pegas yang terentang atau tertekan dari posisi setimbang.

$$F = - k x \text{ (hukum Hooke) } \dots\dots\dots (2.1)$$

Tanda minus menandakan bahwa gaya pemulih selalu mempunyai arah berlawanan dengan simpangan x . konstanta pembeding k disebut konstanta pegas.

Osilasi Harmonis Sederhana merupakan proyeksi dari gerak melingkar pada garis tengah sumbu x atau sumbu y .



Gambar 2-2 . simpangan osilasi harmonis sederhana
Giancoli[1] h.371

Pada gambar 2-2 terlihat, bahwa $\cos \theta = \frac{x}{A}$, dimana A adalah simpangan terbesar. Sehingga posisi benda pada sumbu x adalah

$$x = A \cos \theta$$

Karena massa berotasi dengan kecepatan ω , maka $\theta = \omega t$, maka persamaan menjadi

$$x = A \cos \omega_0 t = A \cos \left(\frac{2\pi}{T} t \right)$$

Jika massa yang berotasi sudah mempunyai posisi sudut awal sebesar δ , maka

$$x = A \cos (\omega_0 t - \delta)$$

Persamaan simpangan osilasi harmonis sederhana:

$$x = A \cos (\omega_0 t - \delta) \dots\dots\dots (2.2)$$

Persamaan kecepatan osilasi harmonis sederhana

$$\dot{x} = -\omega_0 A (\sin \omega_0 t - \delta) \dots\dots\dots (2.3)$$

Persamaan percepatan osilasi harmonis sederhana

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -\omega_0^2 A \cos (\omega_0 t - \delta) \\ &= -\omega_0^2 x \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

Hukum Newton :

$$\begin{aligned} F &= m a = -k x \\ -k x &= m \ddot{x} \\ \ddot{x} &= -\frac{k}{m} x \dots\dots\dots (2.5) \end{aligned}$$

Dari persamaan (2.4) dan (2.5) didapat $k/m = \omega_0^2$, maka

$$\begin{aligned}
 k &= \omega_0^2 m \\
 F &= -kx \\
 F &= m \\
 -kx &= m \\
 m + kx &= 0 \\
 \ddot{x} + \frac{k}{m}x &= 0 \dots\dots\dots (2.6)
 \end{aligned}$$

Persamaan (2.6) disebut persamaan Osilasi Harmonis Sederhana.

Karena $k = \omega_0^2 m$, maka persamaan (2,8) menjadi : $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$, maka

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Energi kinetik benda yang bergetar adalah :

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 = \frac{1}{2} m \omega_0^2 A^2 \cos^2(\omega_0 t - \delta) = \frac{1}{2} k A^2 \cos^2(\omega_0 t - \delta)$$

Energi potensial getaran adalah :

$$U = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} k A^2 \sin^2(\omega_0 t - \delta)$$

Maka energi total osilasi harmonik sederhana adalah :

$$E = T + U = \frac{1}{2} k A^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Fungsi Lagrange dari suatu partikel yang bergerak adalah :

$$\begin{aligned}
 L &= T - U, \text{ dimana } T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \text{ dan } U = \frac{1}{2} k x^2, \\
 L &= T - U = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 - \frac{1}{2} k x^2,
 \end{aligned}$$

Persamaan Lagrange's : $\frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right] = 0$,

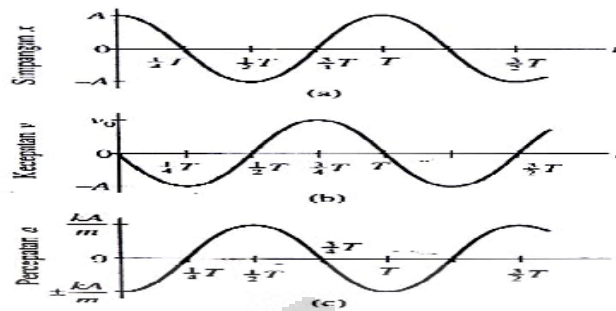
$$\frac{\partial L}{\partial x} = -kx, \text{ dan } \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = m \dot{x},$$

maka : $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = m \ddot{x}$

Persamaan Lagrange's :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{x}} &= 0, \\
 -kx - m \ddot{x} &= 0 \\
 m \ddot{x} + kx &= 0 \dots\dots\dots (2.9)
 \end{aligned}$$

Grafik yang menunjukkan simpangan x sebagai fungsi waktu. Kecepatan sebagai fungsi waktu, dan percepatan sebagai fungsi waktu terlihat pada gambar 2-3 di bawah ini.

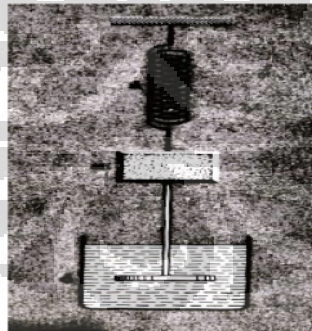


Gambar 2-3. Grafik simpangan kecepatan dan percepatan.

Giancoli[1] hal.373

2.2. Osilasi Teredam

Persamaan (2.5) masih menganggap bahwa tidak ada gaya gesekan yang bekerja pada osilator, berarti bandul atau beban pada pegas akan berosilasi terus menerus. Pada kenyataannya, amplitudo osilasi berkurang sedikit demi sedikit sampai akhirnya menjadi nol (osilasi berhenti). Hal ini disebabkan adanya gaya gesek dalam fluida yang besarnya sebanding dengan kecepatan, tetapi arahnya berlawanan. Dikatakan bahwa geraknya teredam oleh gesekan dan disebut Osilasi Harmonik Teredam. Gambar 2-4 menunjukkan sebuah osilasi teredam dalam fluida.



Gambar 2-4. Osilasi teredam dalam fluida

Halliday-Resnick[6] h.477

Persamaan gerak osilator harmonik sederhana teredam diberikan oleh hukum kedua Newton, $F=ma$, dengan F merupakan jumlah dari gaya pemulih $-kx$ dengan gaya redaman $-b \frac{dx}{dt}$, dimana b adalah konstanta positif. Maka kita peroleh :

$$F = m a$$

$$-k x - b \dot{x} = m \ddot{x}$$

$$\text{Atau} \quad m \ddot{x} + b \dot{x} + k x = 0 \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Persamaan (2.6) disebut persamaan osilasi teredam dimana $-b\dot{x}$ adalah gaya gesek dalam fluida, dan $k = \omega_0^2 m$

$$\text{Maka :} \quad m \ddot{x} + b \dot{x} + k x = 0$$

$$\ddot{x} + \frac{b}{m} \dot{x} + \frac{\omega_0^2 m}{m} x = 0$$

$$\ddot{x} + \frac{b}{m} \dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$$\text{Jika :} \quad \beta = \frac{b}{2m} \implies b = 2\beta m$$

$$\text{maka :} \quad \ddot{x} + \frac{2\beta m}{m} \dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$$\ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$$\text{atau} \quad \frac{d^2}{dt^2} x + 2\beta \frac{d}{dt} x + \omega_0^2 x = 0$$

$$\left(\frac{d}{dt} - A\right) \left(\frac{d}{dt} - B\right) x = 0$$

$$\left(\frac{d^2}{dt^2} - \frac{d}{dt} B - \frac{d}{dt} A - AB\right) x = 0$$

$$\frac{d^2}{dt^2} x - \frac{d}{dt} (A+B)x + ABx = 0$$

$$\ddot{x} - (A+B)\dot{x} + ABx = 0$$

$$\text{Dari persamaan (2.7):} \quad \ddot{x} + 2\beta \dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$

$$\text{maka:} \quad 2\beta = -(A+B)$$

$$\omega_0^2 = AB, \quad A = \frac{\omega_0^2}{B}$$

$$2\beta = -(A+B)$$

$$2\beta = -\left(\frac{\omega_0^2}{B} + B\right)$$

$$2\beta B = -\omega_0^2 + B^2 \quad \text{atau}$$

$$B^2 + 2\beta B + \omega_0^2 = 0$$

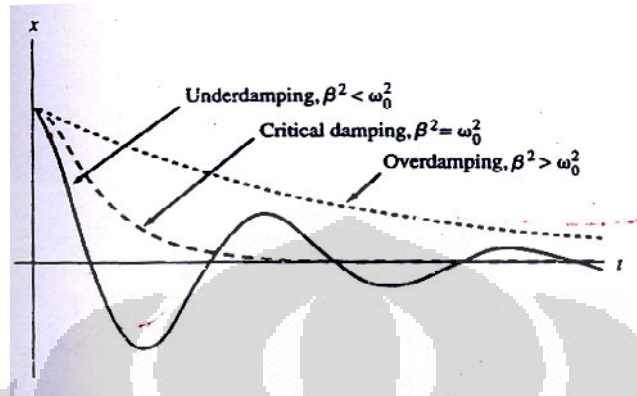
$$B_1 = -\beta + \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}$$

$$B_2 = -\beta - \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}$$

$$x(t) = A_1 \exp B_1 t + A_2 \exp B_2 t$$

$$x(t) = A_1 \exp(-\beta + \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}) t + A_2 \exp(-\beta - \sqrt{\beta^2 - \omega_0^2}) t$$

$$x(t) = e^{-\beta t} [A_1 \exp(\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2} t) + A_2 \exp(-\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2} t)] \dots\dots\dots (2.11)$$



Gambar : 2.5. grafik osilasi teredam.
Marion[4] h.117

- a. Kurva A, menunjukkan situasi **overdamping** ($\omega_0^2 > \beta^2$), dimana peredaman demikian besar sehingga memerlukan waktu lama untuk sampai ke kesetimbangan.
- b. Kurva B, menunjukkan situasi **critical damping** ($\omega_0^2 = \beta^2$), dimana pada kasus ini kesetimbangan dicapai dengan cepat.
- c. Kurva C, menunjukkan situasi **underdamping** ($\omega_0^2 < \beta^2$), dimana sistim melakukan beberapa ayunan sebelum berhenti.

Pada kasus gerak Underdamped, $\omega_1^2 = \omega_0^2 - \beta^2$, dimana $\beta^2 < \omega_0^2$, maka $\omega_1^2 < 0$, maka dapat ditulis:

$$\omega_1^2 = \omega_0^2 - \beta^2$$

$$\omega_1^2 = -(\beta^2 - \omega_0^2)$$

Maka persamaan : $x(t) = e^{-\beta t} [A_1 \exp(\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2} t) + A_2 \exp(-\sqrt{\beta^2 - \omega_0^2} t)]$
dapat ditulis menjadi :

$$x(t) = e^{-\beta t} [A_1 e^{i\omega_1 t} + A_2 e^{-i\omega_1 t}] \dots\dots\dots (2.12)$$

$$x(t) = e^{-\beta t} [A_1 \cos \omega_1 t + i A_2 \sin \omega_1 t + A_1 \cos \omega_1 t - i A_2 \sin \omega_1 t]$$

$$x(t) = e^{-\beta t} [(A_1 + A_2) \cos \omega_1 t + i(A_1 - A_2) \sin \omega_1 t]$$

$$A_1 = A_2 = A,$$

Maka: $x(t) = e^{-\beta t} [2 A' \cos \omega_1 t]$, =====> $2 A' = A$

Persamaan dapat ditulis menjadi :

$$x(t) = Ae^{-\beta t} \cos(\omega_1 t - \delta) \dots\dots\dots (2.13)$$

Persamaan Lagrange untuk sistem dengan gaya redaman adalah

$$\frac{\partial L}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) = Q$$

dengan L adalah Lagrangian dan Q adalah gaya redaman. Lagrangian untuk osilasi teredam diberikan oleh

$$L = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 - \frac{1}{2} k x^2$$

dan gaya redaman diberikan oleh

$$Q = b \dot{x}.$$

Selanjutnya $\frac{\partial L}{\partial x} = -kx$ dan $\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} = m\dot{x}$, sehingga diperoleh

$$-kx - m\ddot{x} = b\dot{x}$$

atau

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$$

seperti persamaan (2.10). Langkah selanjutnya sama seperti langkah-langkah yang mengikuti persamaan (2.10).

2.3. Viskositas dan Gaya Stokes

Di dalam fluida terdapat aktifitas molekuler antara bagian-bagian lapisannya. Salah satu akibat dari adanya aktifitas ini adalah timbulnya gesekan internal antara bagian-bagian tersebut, yang dapat digambarkan sebagai gaya luncur diantara lapisan-lapisan fluida tadi. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan kecepatan bergerak lapisan-lapisan fluida tersebut. Bila pengamatan dilakukan terhadap aliran fluida makin mengecil ditempat-tempat yang jaraknya terhadap dinding pipa semakin kecil, dan praktis tidak bergerak pada tempat di dinding pipa. Sedangkan kecepatan terbesar terdapat ditengah-tengah pipa aliran.

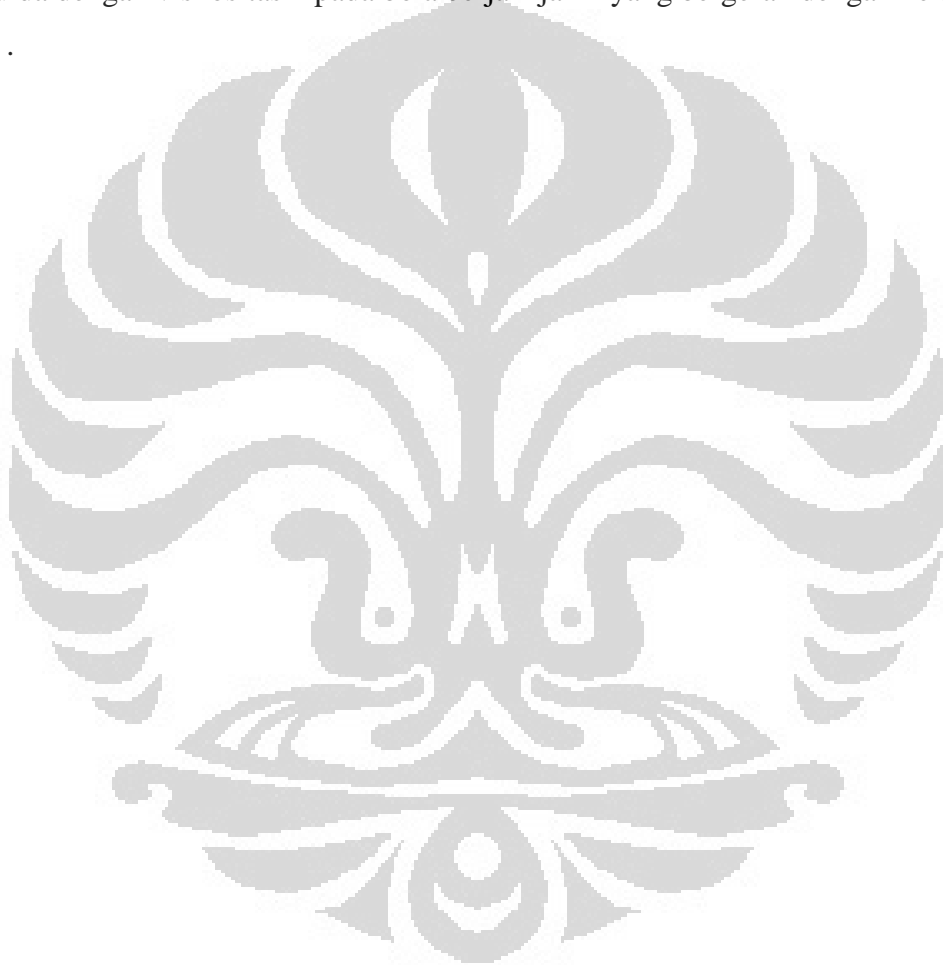
Viskositas suatu fluida adalah sifat yang menunjukkan besar dan kecilnya tahanan dalam fluida terhadap gesekan. Viskositas adalah suatu ukuran penolakan suatu fluida terhadap perubahan bentuk di bawah tekanan shear, dan biasanya disebut "kekentalan". Misalnya air mempunyai tahanan dalam terhadap gesekan yang lebih kecil dibandingkan minyak sayur. Maka air memiliki viskositas rendah dibandingkan minyak sayur yang mempunyai viskositas lebih tinggi. Maka terlihat minyak sayur lebih kental dari air.

Viskositas menggambarkan penolakan dalam fluida terhadap aliran dan dapat dipikir sebagai sebuah cara untuk mengukur gesekan fluida, melalui osilasi teredam.

Dalam skripsi ini hambatan oleh fluida diasumsikan memenuhi rumusan gaya Stokes yang berbentuk

$$F_g = 6\pi\eta r v \dots\dots\dots (2.14)$$

Dengan mengasumsikan aliran fluida memiliki percepatan yang dapat diabaikan sehingga viskositas menjadi dominan, Stokes telah merumuskan gaya penghambat yang diberikan oleh fluida dengan viskositas pada bola berjari-jari r yang bergerak dengan kelajuan v .



BAB 3

FORMULASI PENENTUAN VISKOSITAS

3.1. Penentuan Viskositas Melalui Simpangan

Pada persamaan osilasi teredam $m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0$, $b\dot{x}$ adalah gaya gesek dalam fluida F_g . Solusi dari persamaan osilasi di atas adalah

$$x(t) = A e^{-\beta t} \cos(\omega_1 t - \delta) \dots\dots\dots (3.1)$$

Menurut hukum Stokes, besar gaya gesek dalam fluida adalah $F_g = 6\pi\eta r v$, dengan

r = jari-jari benda (berbentuk bola)

v = kecepatan benda dalam fluida

η = viscositas fluida

Dengan $F_g = b\dot{x} = bv$, maka :

$$b\dot{x} = bv = 6\pi\eta r v, \quad \implies \quad \beta = \frac{b}{2m},$$
$$b = 2m\beta$$

$$2m\beta = 6\pi\eta r$$

$$\beta = \frac{6\pi\eta r}{2m} = \frac{3\pi\eta r}{m} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dari persamaan (3.1), jika data eksperimen $x(t)$ diketahui, maka kita dapat menentukan viskositas fluida melalui pencocokan (*fitting*) persamaan tersebut dengan data eksperimen.

Dari proses pencocokan, nilai parameter A , ω_1 , dan δ dapat diketahui. Karena bergantung pada β , dengan demikian jika β diketahui, maka nilai viskositas fluida dapat dihitung.

3.2. Penentuan Viskositas Melalui Faktor Redaman

Viskositas fluida η juga dapat diketahui melalui pengukuran faktor redaman β .

Pada persamaan (3.2), m adalah massa total sistem, yaitu $m = m_{beban} + m_{bola}$. Massa beban yang digunakan selalu tetap, sementara massa bola adalah

$$m_{bola} = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 \dots\dots\dots (3.3)$$

dengan r adalah jari-jari bola. Dengan demikian faktor redaman menjadi

$$\beta = \frac{3\pi\eta r}{m_{beban} + \frac{4}{3}\pi\rho r^3} \dots\dots\dots (3.4)$$

yang merupakan fungsi jari-jari bola r . Dengan mengukur nilai faktor redaman β yang divariasikan terhadap jari-jari bola r , maka viskositas fluida η dapat ditentukan dengan melakukan pencocokan (3.4) dengan data-data eksperimen.

Nilai maksimum β terhadap r bisa dicari dengan melakukan $\frac{d\beta}{dr} = 0$. Dari diferensial tersebut diperoleh

$$r_{maks} = \left(\frac{3m_{beban}}{8\pi\rho} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (3.5)$$

sebagai jari-jari bola yang memberikan nilai faktor redaman paling besar.

3.3. Penentuan Viskositas Melalui Frekuensi

Frekuensi osilasi teredam diberikan oleh

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

Dengan memasukkan (3.4) pada persamaan di atas, maka diperoleh

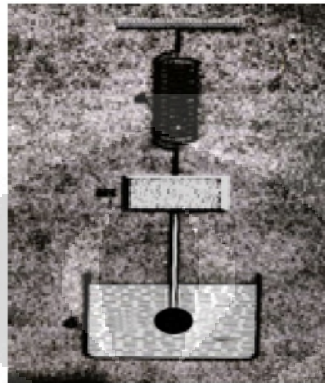
$$\omega_1 = \left| \omega_0^2 - \frac{9\pi^2\eta^2 r^2}{(m_{beban} + \frac{4}{3}\pi\rho r^3)^2} \right| \dots\dots\dots (3.7)$$

Dari persamaan ini terlihat bahwa viskositas fluida bisa ditentukan jika frekuensi osilasi teredam dapat diukur melalui eksperimen dengan variasi terhadap jari-jari bola.

BAB 4

HASIL DAN DISKUSI

4.1. Sistem Osilasi Teredam



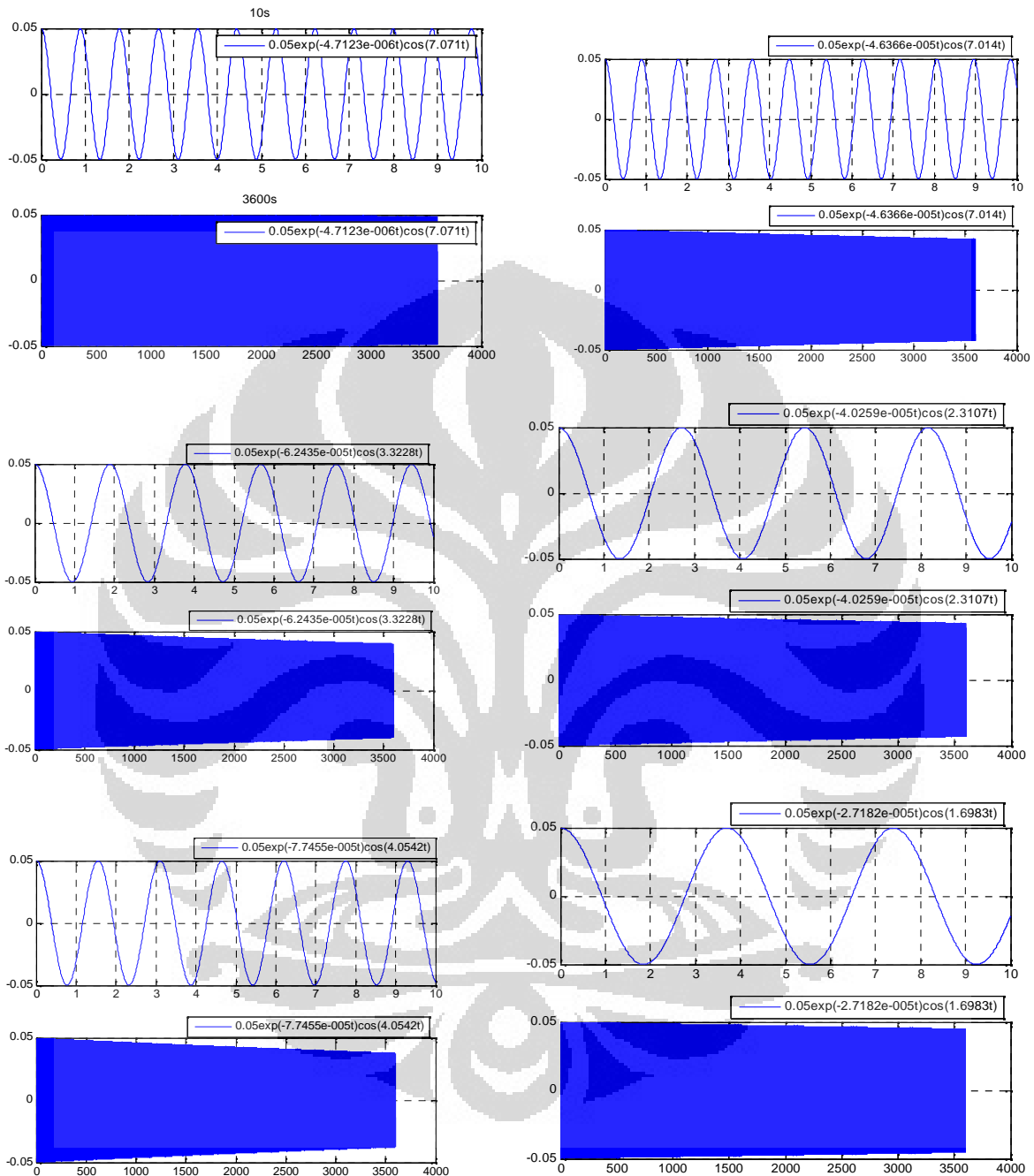
Gambar 4.1.1. Sistem osilasi teredam terdiri dari pegas, beban, dan bola yang dicelupkan ke dalam fluida.

Data-data bahan yang digunakan pada simulasi ini :

- Viskositas olie (SAE 10) pada suhu 30°C : $\eta = 200 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$
- Viskositas gliserin pada suhu 20°C : $\eta = 1500 \times 10^{-3} \text{ pa.s}$
- Viskositas air pada suhu 20°C : $\eta = 1.0 \times 10^{-3} \text{ pa.s}$
- Massa beban : $m = 2 \text{ kg}$
- jari jari bola besi r_1, r_2, r_3 dan r_4 : 1 mm, 1 cm, 5 cm dan 10 cm
- massa jenis bola besi : $\rho = 7,8 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- jari jari bola aluminium r_1, r_2, r_3 : 1 mm, 1cm, 5 cm dan 10 cm
- massa jenis bola aluminium : $\rho = 2,7 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- Konstanta pegas : $k_1 = 100 \text{ N/m}$
 $k_2 = 1000 \text{ N/m}$
- Amplitudo osilasi : $A = 5 \text{ cm}$
- waktu osilasi : $t = 0 \text{ s/d } 10 \text{ s.}$
 $t = 0 \text{ s/d } 3600 \text{ s}$

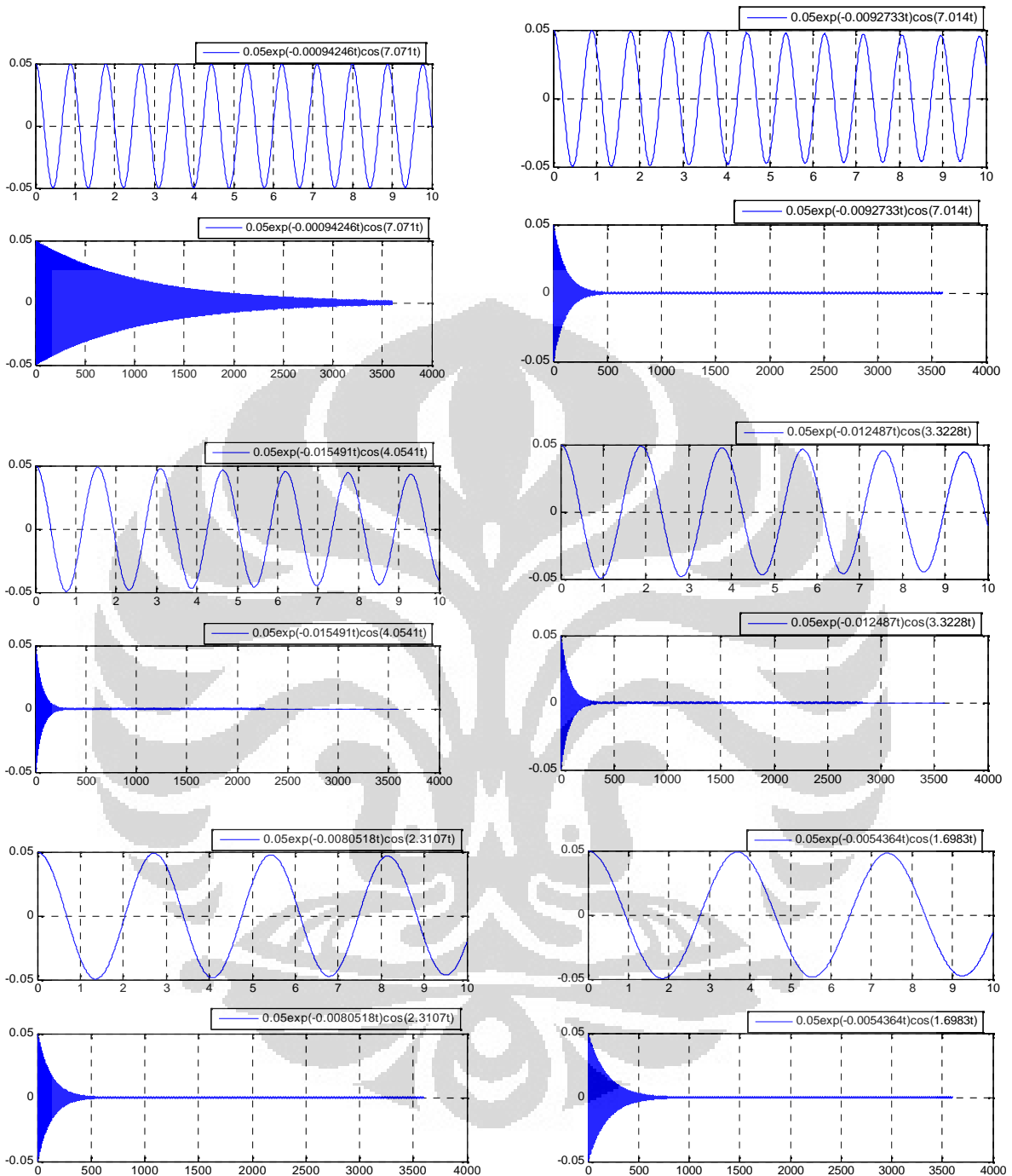
4.2. Simulasi Penentuan Viskositas Melalui Pengukuran Simpangan

Bola besi / air / variasi jari-jari : 0,001 / 0,01 / 0,05 / 0,06 / 0,08 / 0,1 m



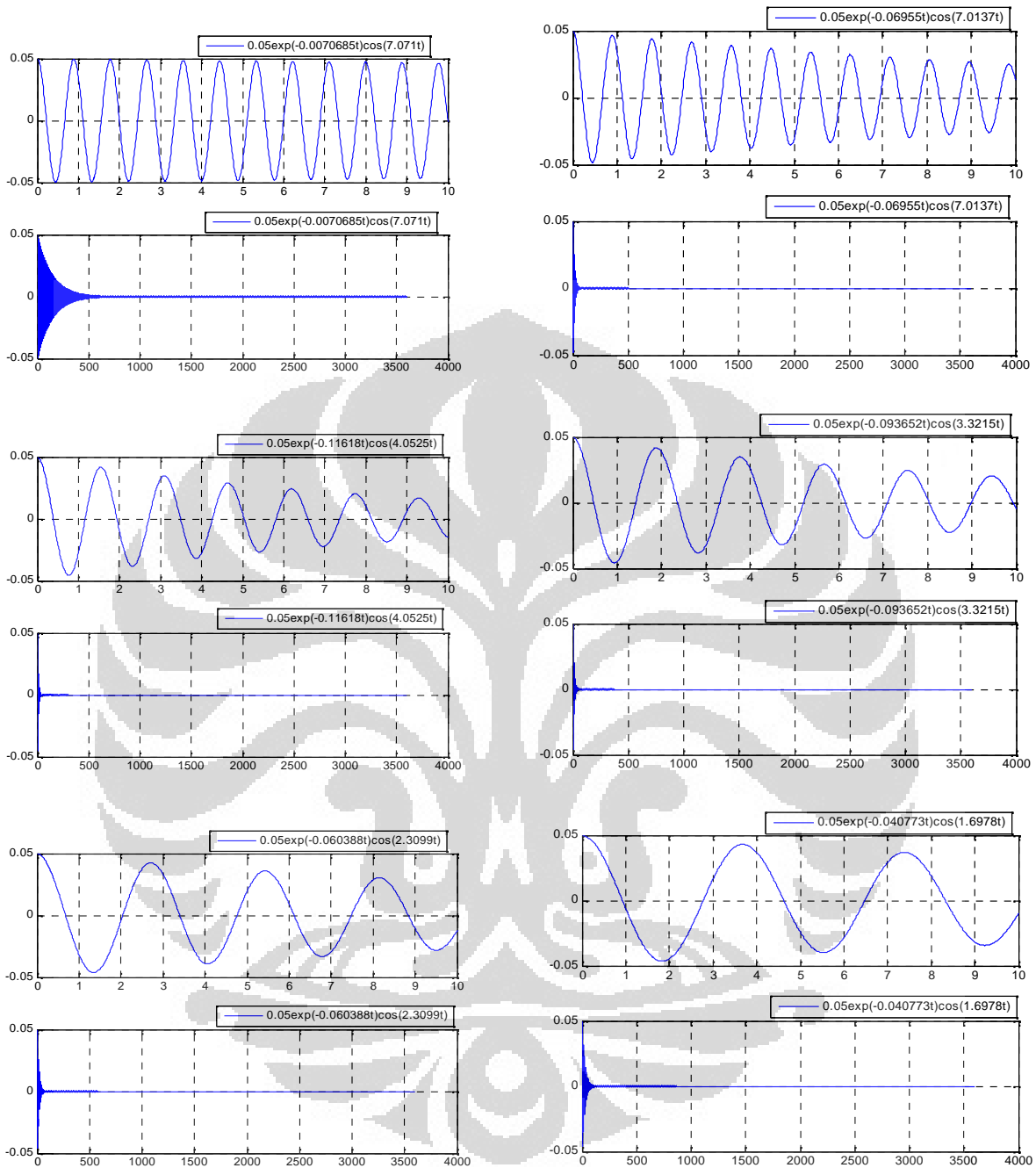
Grafik di atas memperlihatkan simpangan osilasi teredam dengan menggunakan bola besi yang dicelupkan ke dalam air. Untuk masing-masing jari-jari bola, ditunjukkan simpangan untuk interval waktu 10 detik dan 1 jam. Terlihat bahwa pada interval 10 detik, air tidak memberikan redaman yang berarti terhadap bola. Demikian juga untuk interval waktu 1 jam, meskipun redaman terkuat terjadi dengan jari-jari bola 0,08 m.

Bola besi / oli / variasi jari-jari : 0,001 / 0,01 / 0,05 / 0,06 / 0,08 / 0,1 m

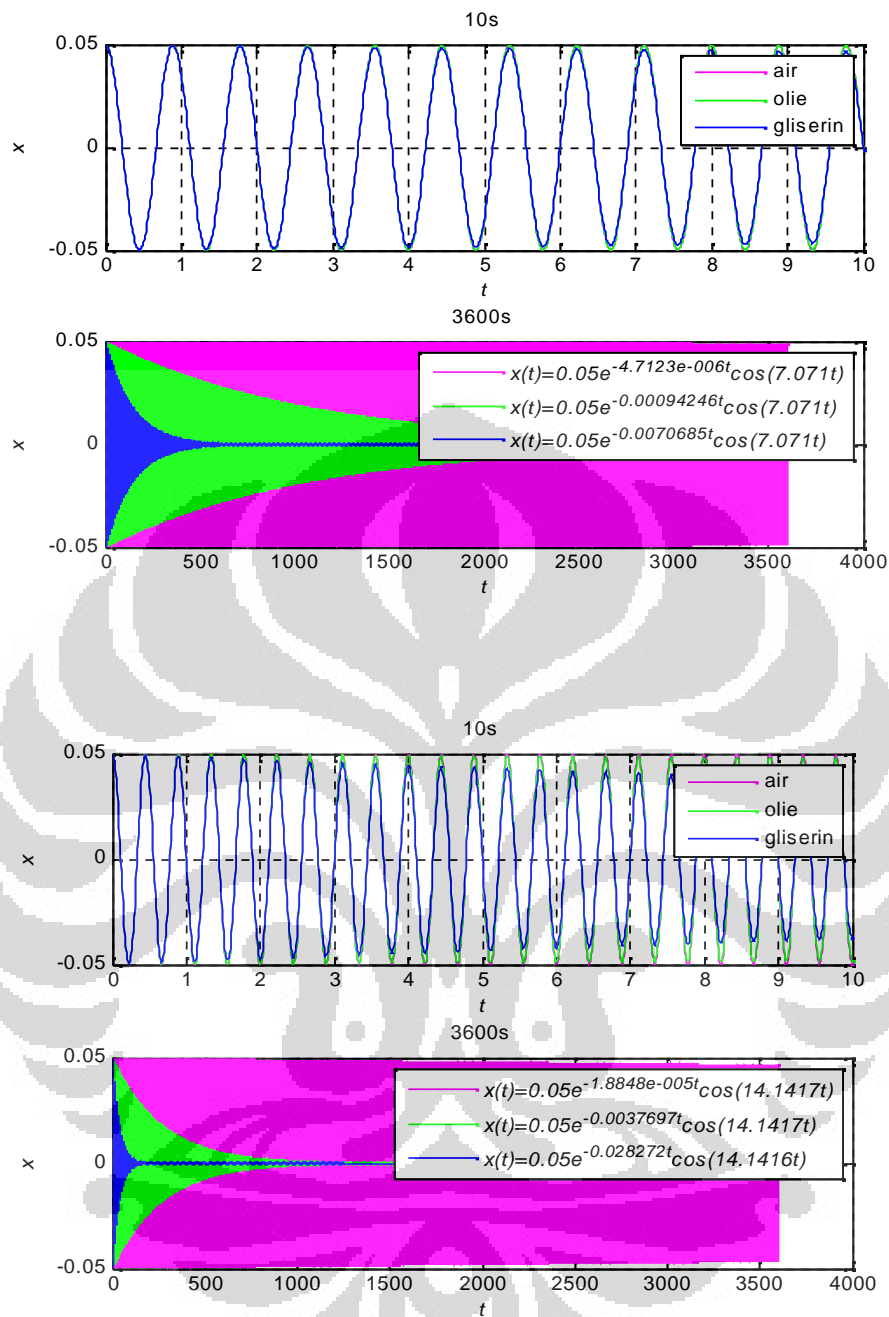


Grafik di atas memperlihatkan simpangan osilasi teredam dengan menggunakan bola besi yang dicelupkan ke dalam oli. Untuk masing-masing jari-jari bola, ditunjukkan simpangan untuk interval waktu 10 detik dan 1 jam. Terlihat bahwa pada interval 10 detik, oli tidak memberikan redaman yang berarti terhadap bola. Tetapi untuk interval 1 jam, oli memperlihatkan redaman yang kuat.

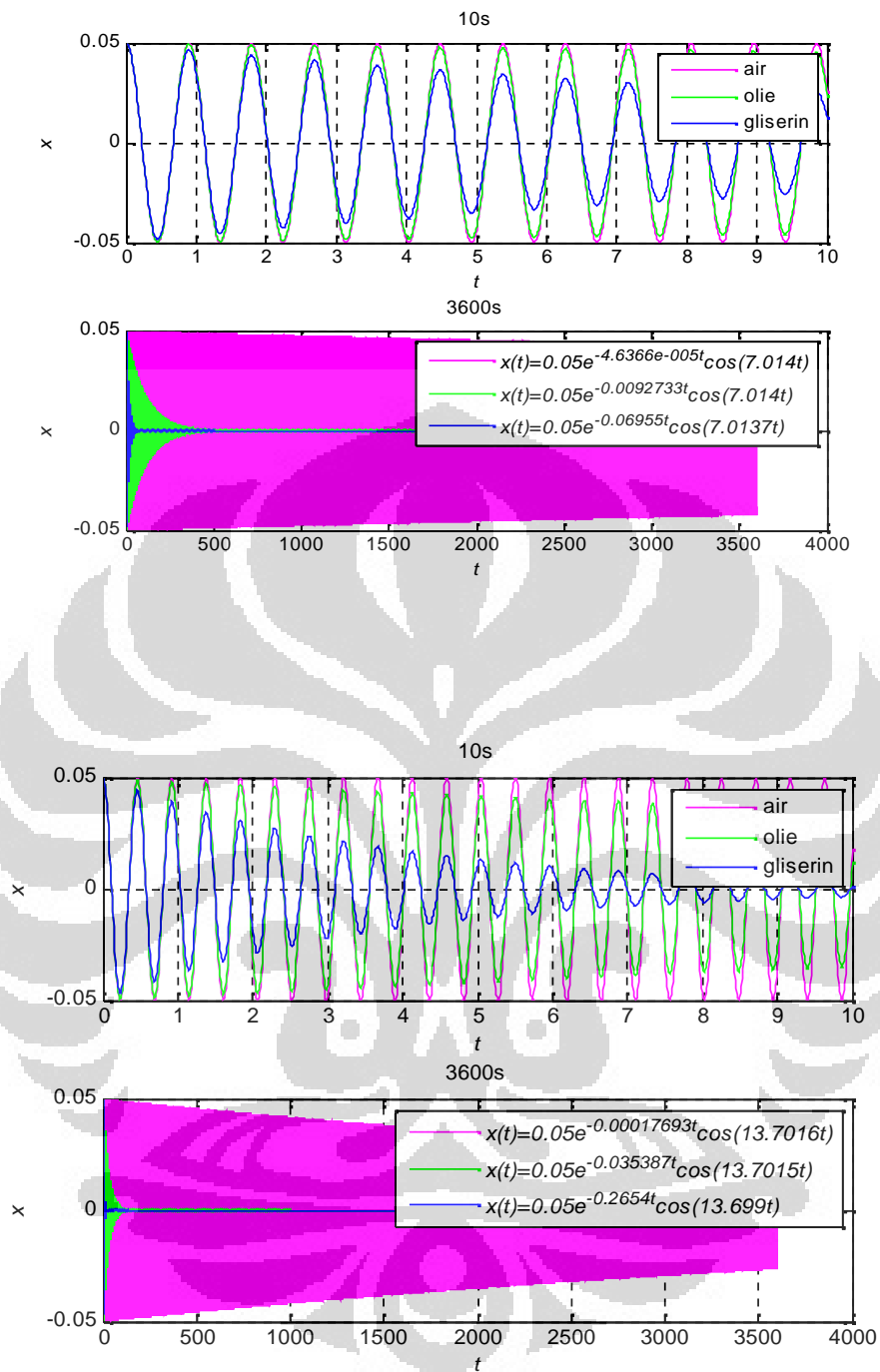
Bola besi / gliserin / variasi jari-jari : 0,001 / 0,01 / 0,05 / 0,06 / 0,08 / 0,1 m



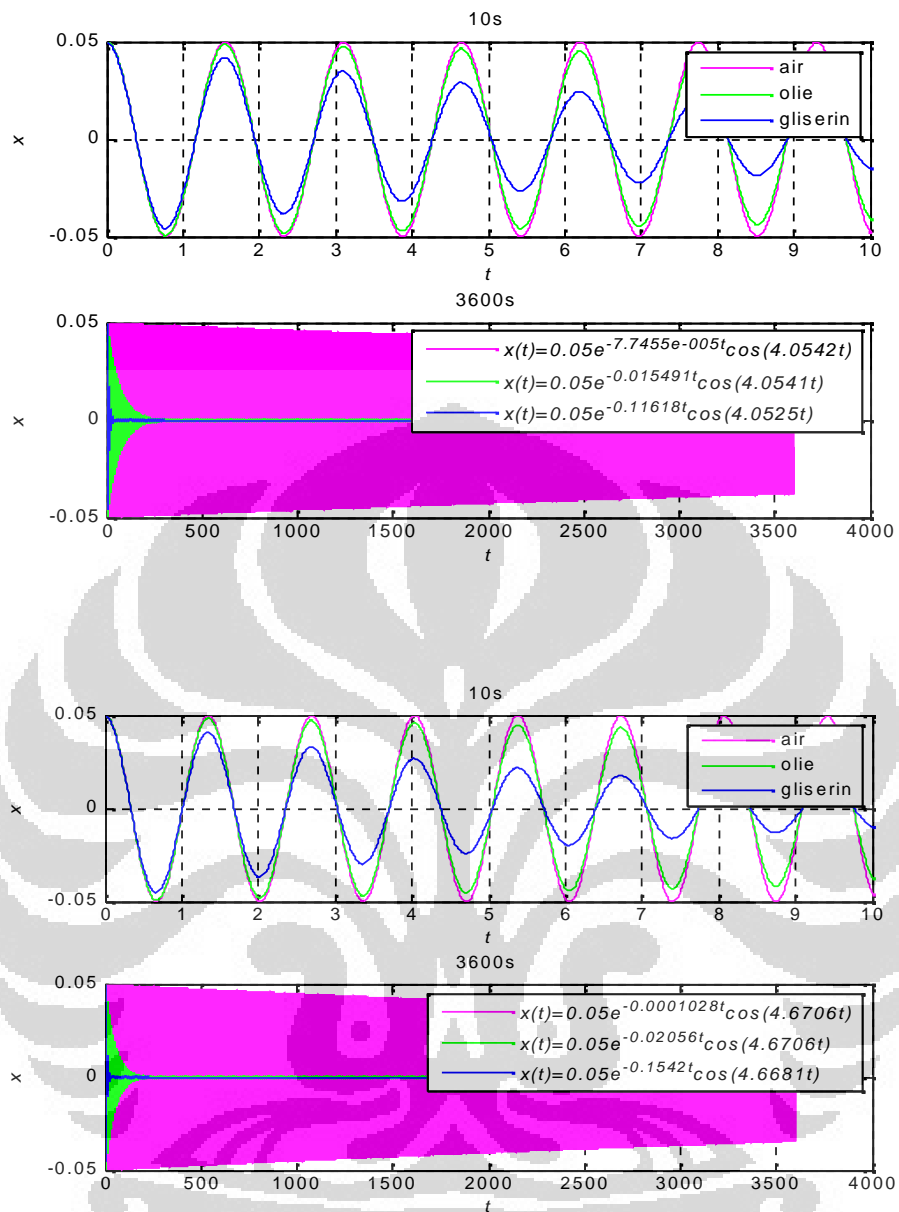
Grafik di atas memperlihatkan simpangan osilasi teredam dengan menggunakan bola besi yang dicelupkan ke dalam gliserin. Untuk masing-masing jari-jari bola, ditunjukkan simpangan untuk interval waktu 10 detik dan 1 jam. Terlihat bahwa pada interval 10 detik, gliserin memberikan redaman yang kuat pada bola. Efek redaman secara visual sangat baik terlihat pada jari-jari 0,005 m. Pada interval 1 jam, gliserin memperlihatkan redaman yang terlalu kuat.



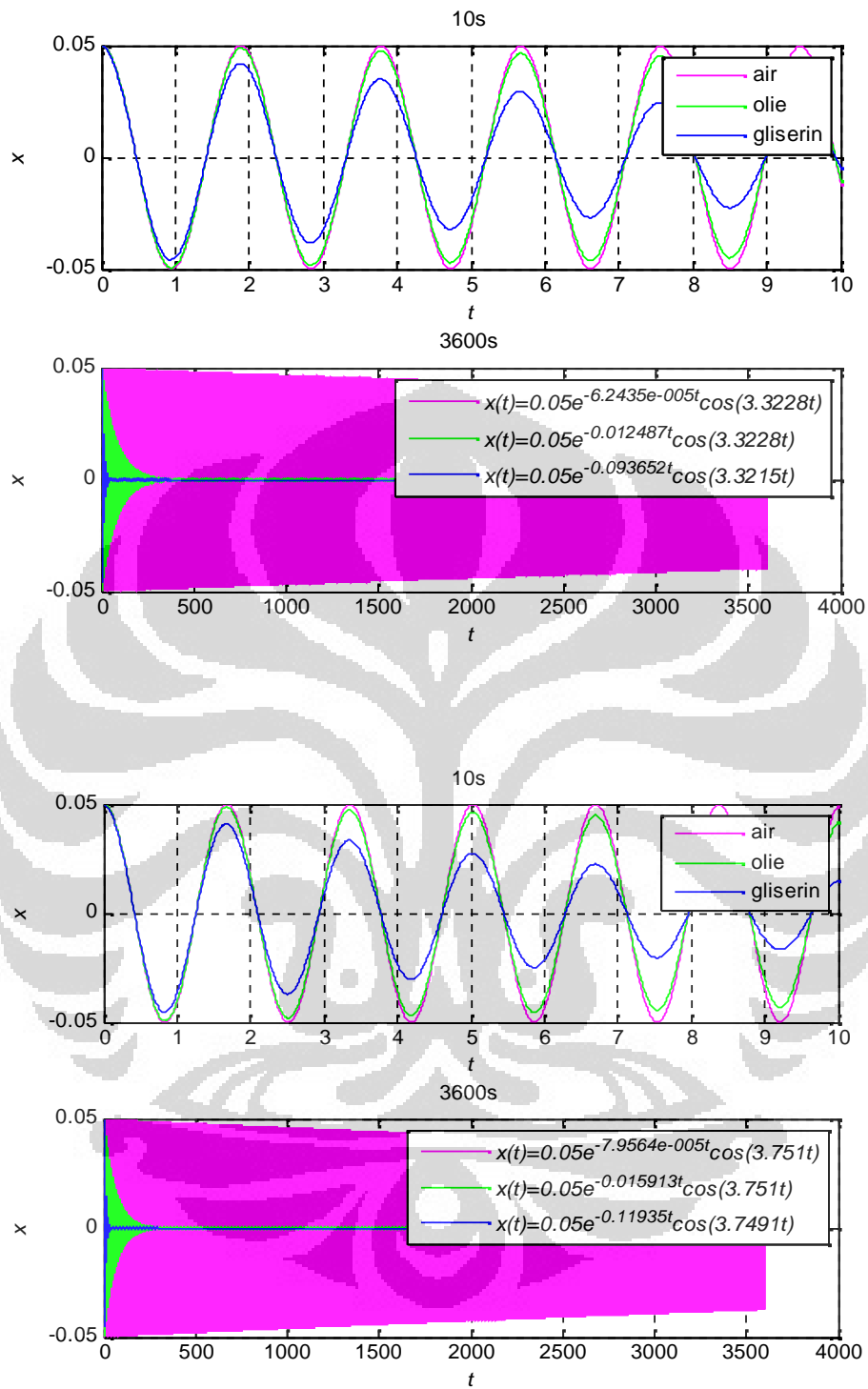
Gambar 4.2.1. Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.001\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan 0.5kg (2 panel bawah).



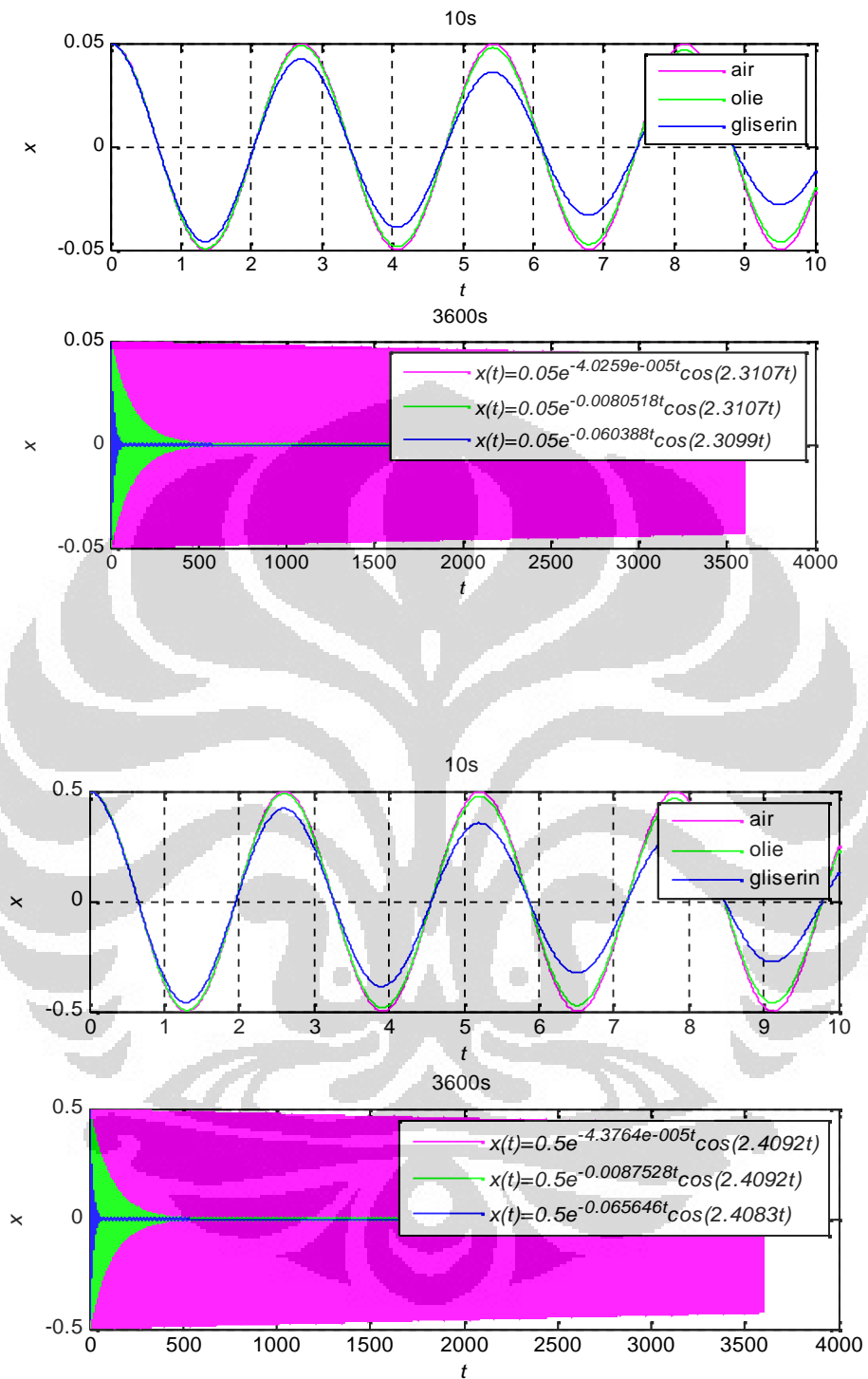
Gambar 4.2.2. Plot x terhadap t pada osilasi **bola besi** ($r = 0.01\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan massa beban 0,5 kg (2 panel bawah).



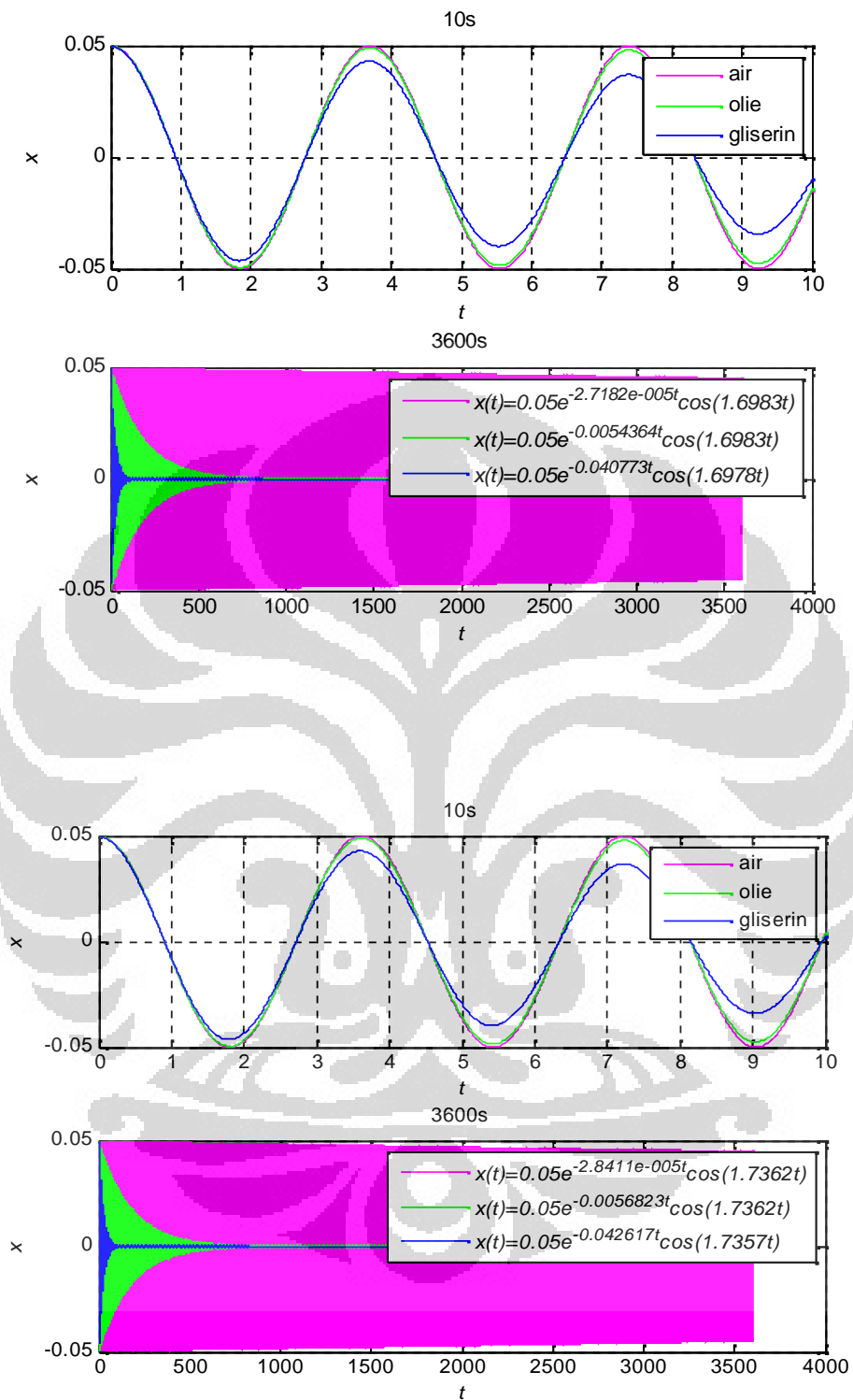
Gambar 4.2.3. Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.05\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg (2 panel atas) dan massa beban 0.5 kg (2 panel bawah).



Gambar 4.2.4. Plot x terhadap t pada osilasi **bola besi** ($r = 0.06\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0,5 kg.

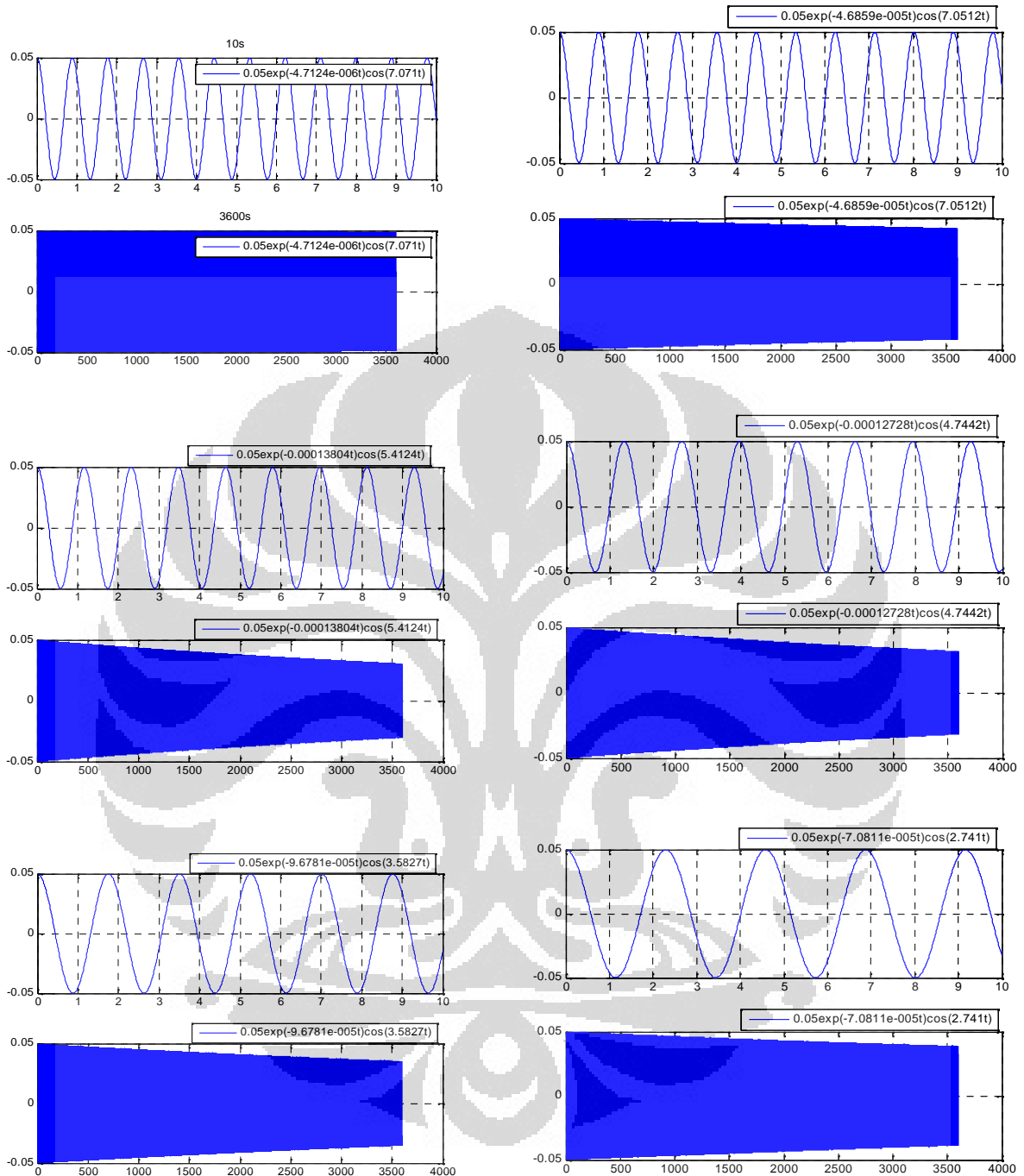


Gambar 4.2.5. Plot x terhadap t pada osilasi **bola besi** ($r = 0.08$ m) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0,5kg.



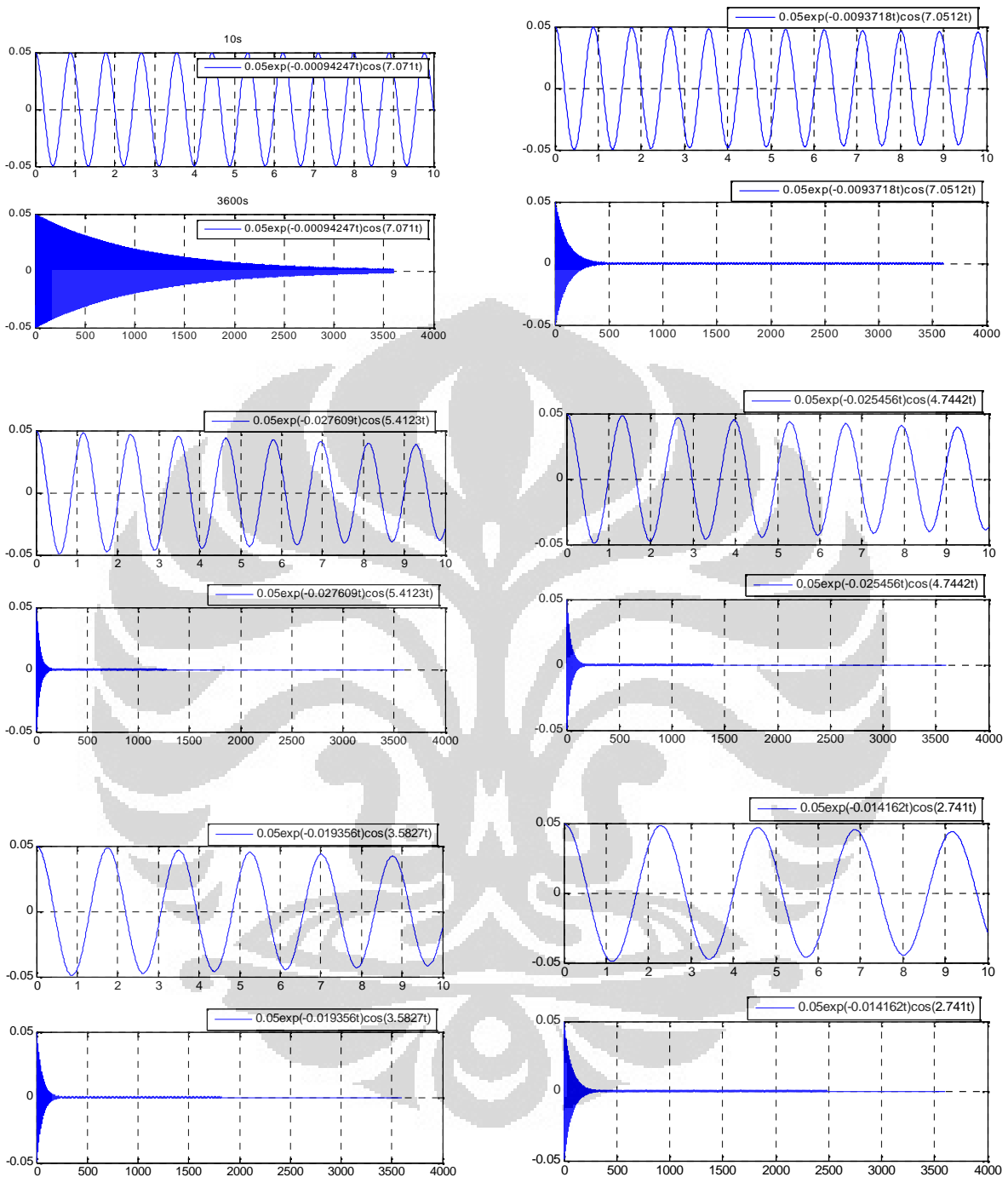
Gambar 4.2.6. Plot x terhadap t pada osilasi bola besi ($r = 0.1\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5 kg.

Bola aluminium / air / variasi jari-jari : 0,001 / 0,01 / 0,05 / 0,06 / 0,08 / 0,1 m



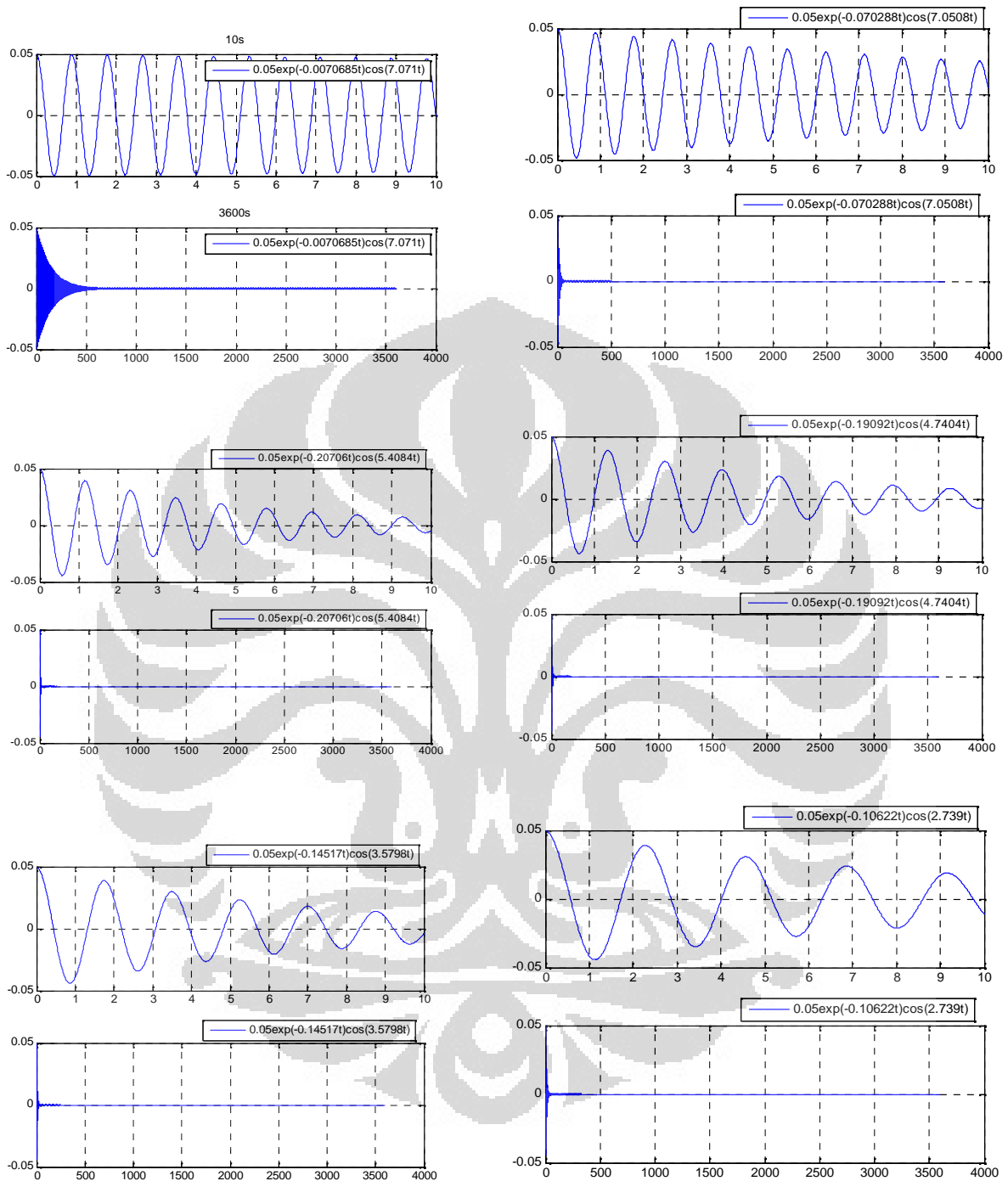
Grafik di atas memperlihatkan simpangan osilasi teredam dengan menggunakan bola aluminium yang dicelupkan ke dalam air. Untuk masing-masing jari-jari bola, ditunjukkan simpangan untuk interval waktu 10 detik dan 1 jam. Terlihat bahwa pada interval 10 detik, air tidak memberikan redaman yang berarti terhadap bola, tetapi relatif kuat untuk interval waktu 1 jam.

Bola aluminium / oli / variasi jari-jari : 0,001 / 0,01 / 0,05 / 0,06 / 0,08 / 0,1 m

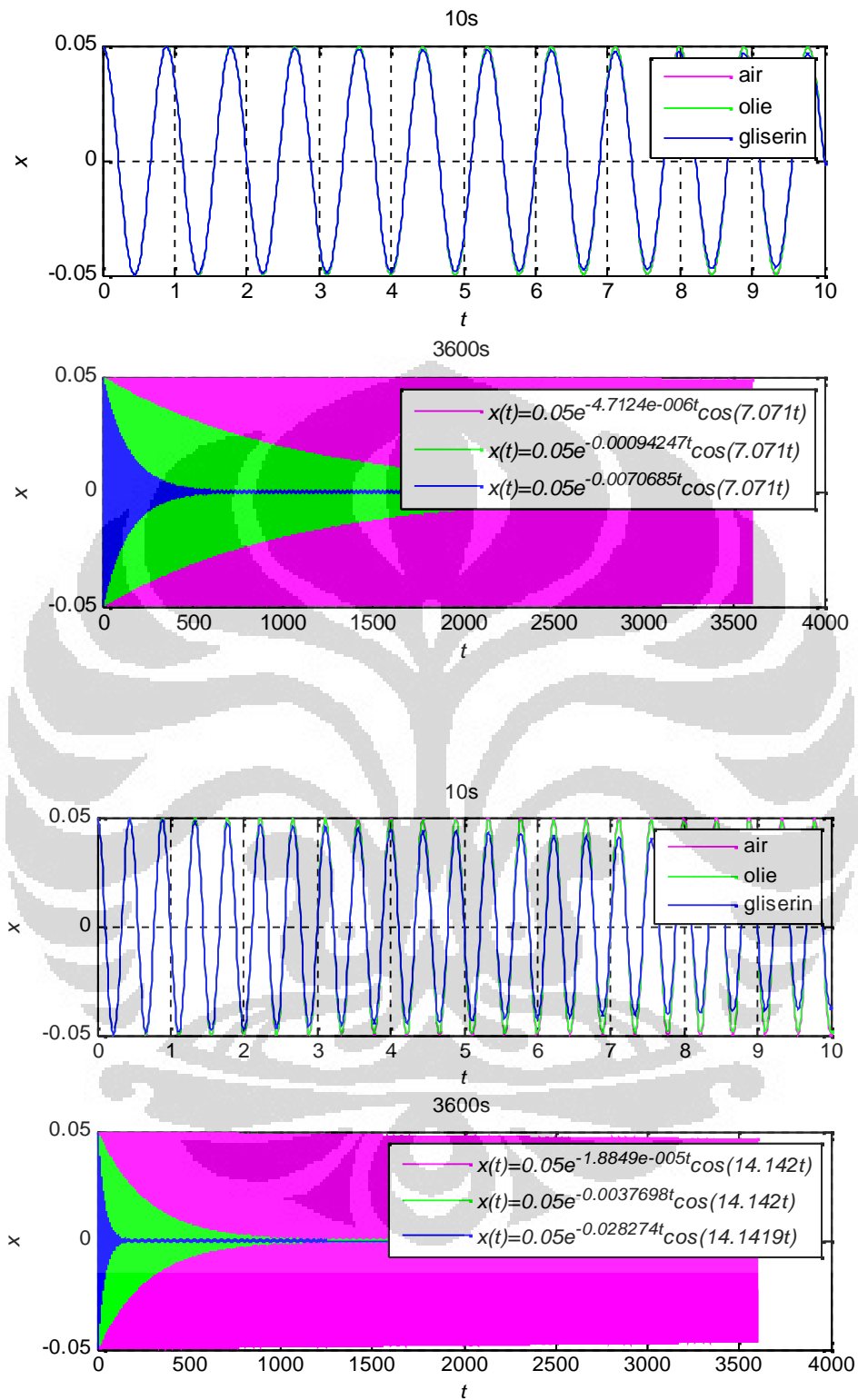


Grafik di atas memperlihatkan simpangan osilasi teredam dengan menggunakan bola aluminium yang dicelupkan ke dalam oli. Untuk masing-masing jari-jari bola, ditunjukkan simpangan untuk interval waktu 10 detik dan 1 jam. Terlihat bahwa pada interval 10 detik, oli tidak memberikan redaman yang berarti terhadap bola. Untuk interval 1 jam, oli memberikan redaman yang kuat.

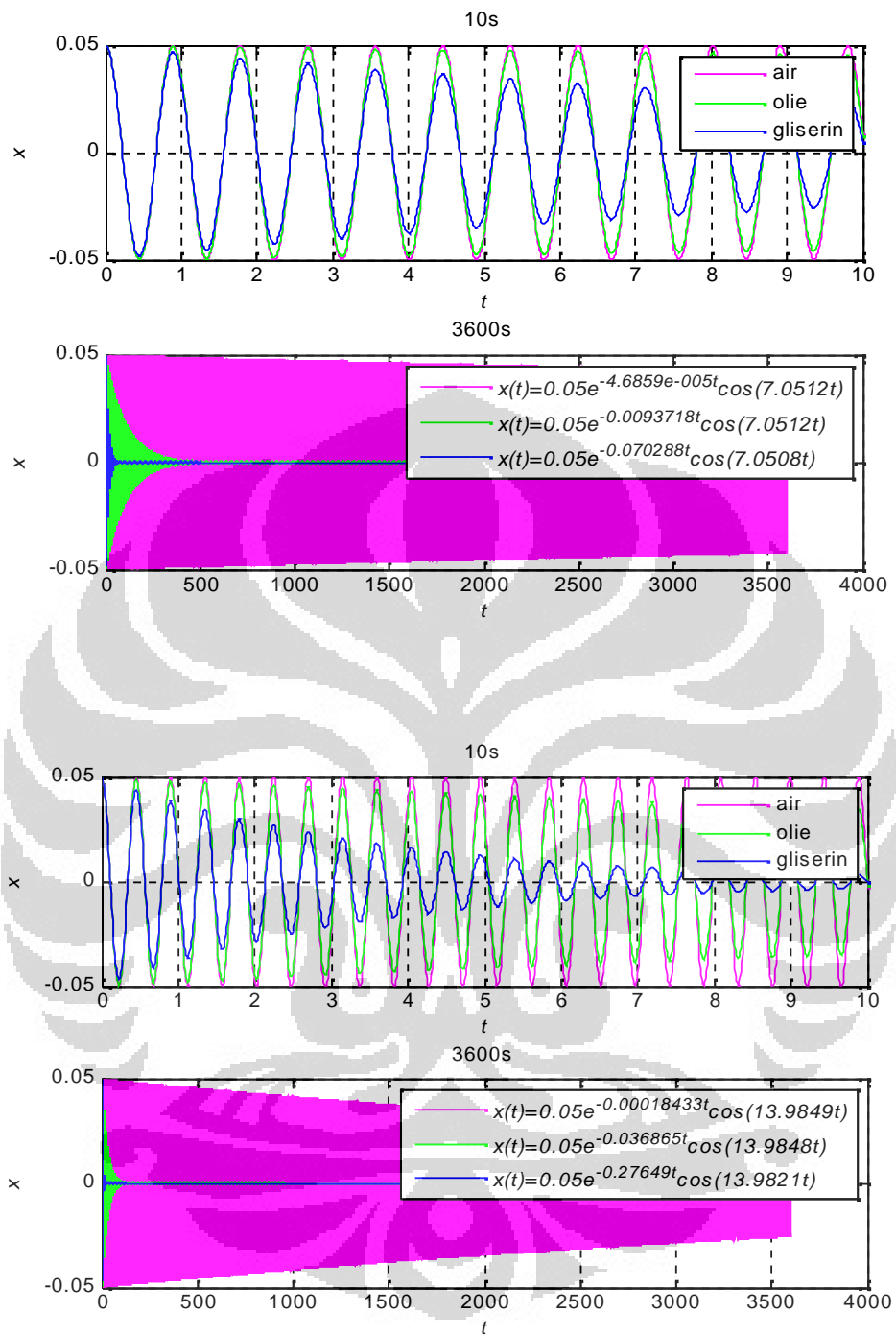
Bola aluminium / gliserin / variasi jari-jari : 0,001 / 0,01 / 0,05 / 0,06 / 0,08 / 0,1 m



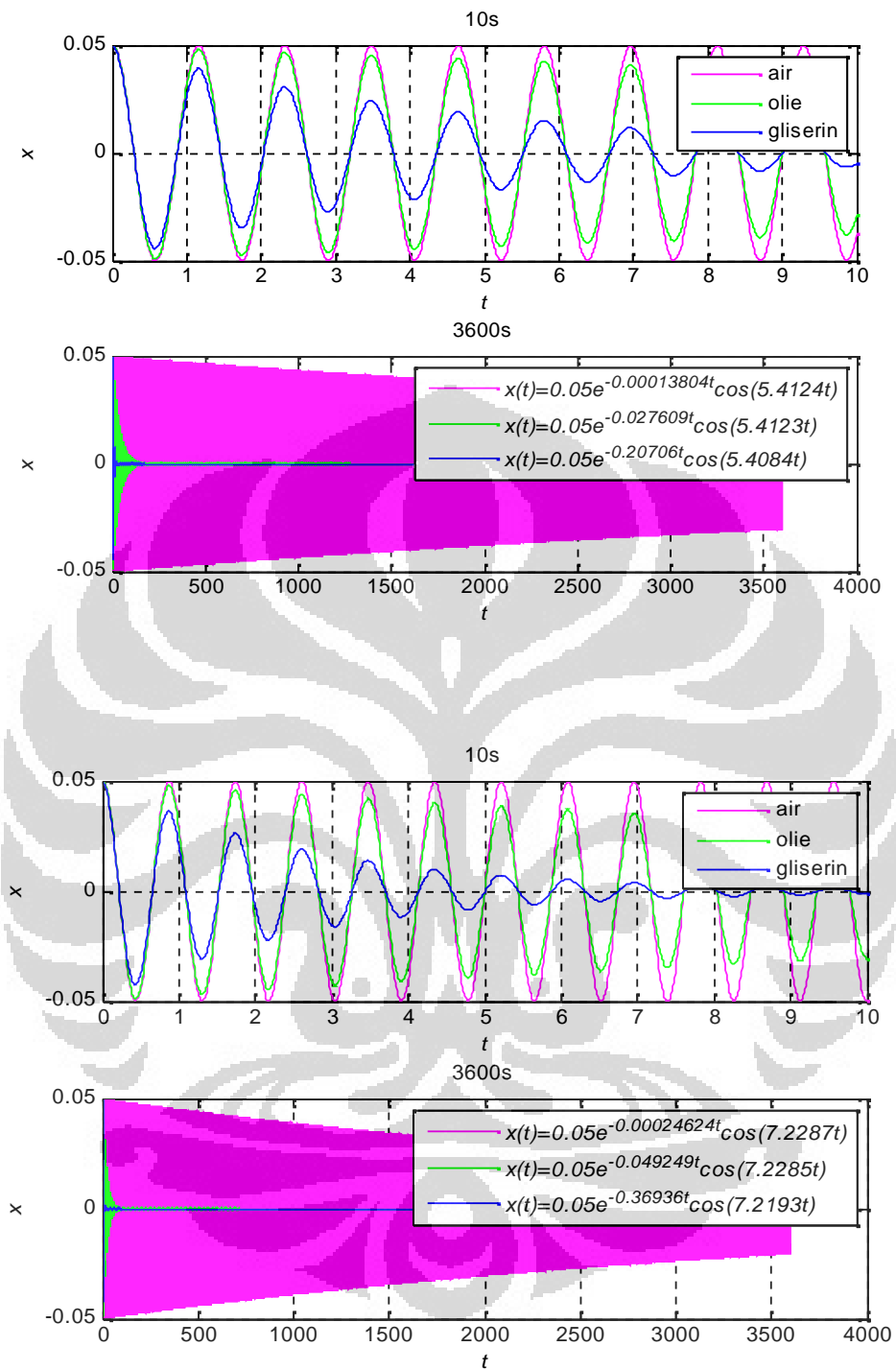
Grafik di atas memperlihatkan simpangan osilasi teredam dengan menggunakan bola aluminium yang dicelupkan ke dalam gliserin. Untuk masing-masing jari-jari bola, ditunjukkan simpangan untuk interval waktu 10 detik dan 1 jam. Terlihat bahwa pada interval 10 detik, gliserin memberikan visual redaman yang baik. Untuk interval 1 jam, gliserin memberikan redaman yang sangat kuat.



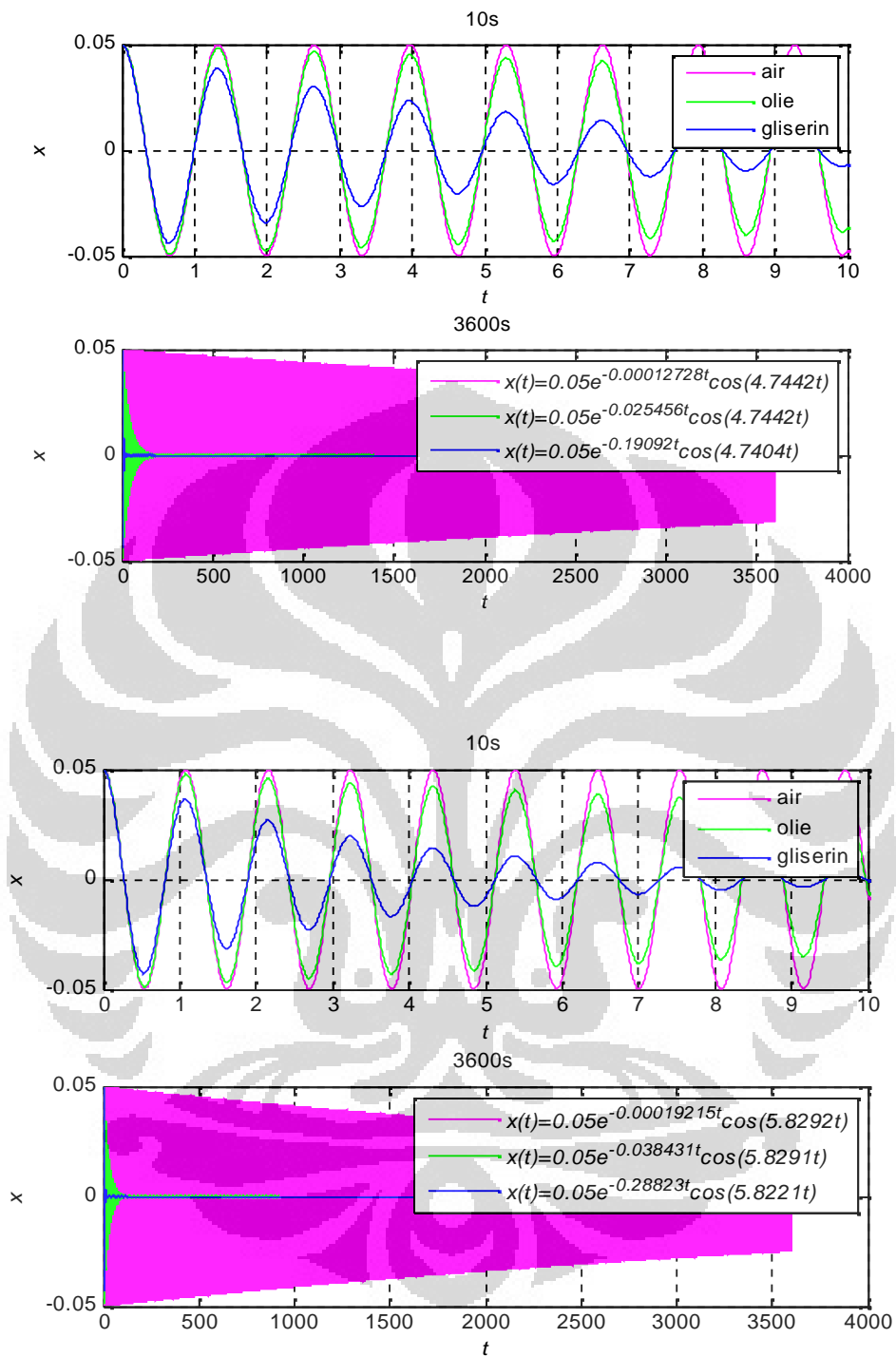
Gambar 4.2.7. Plot x terhadap t pada osilasi bola aluminium ($r = 0.001\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5kg



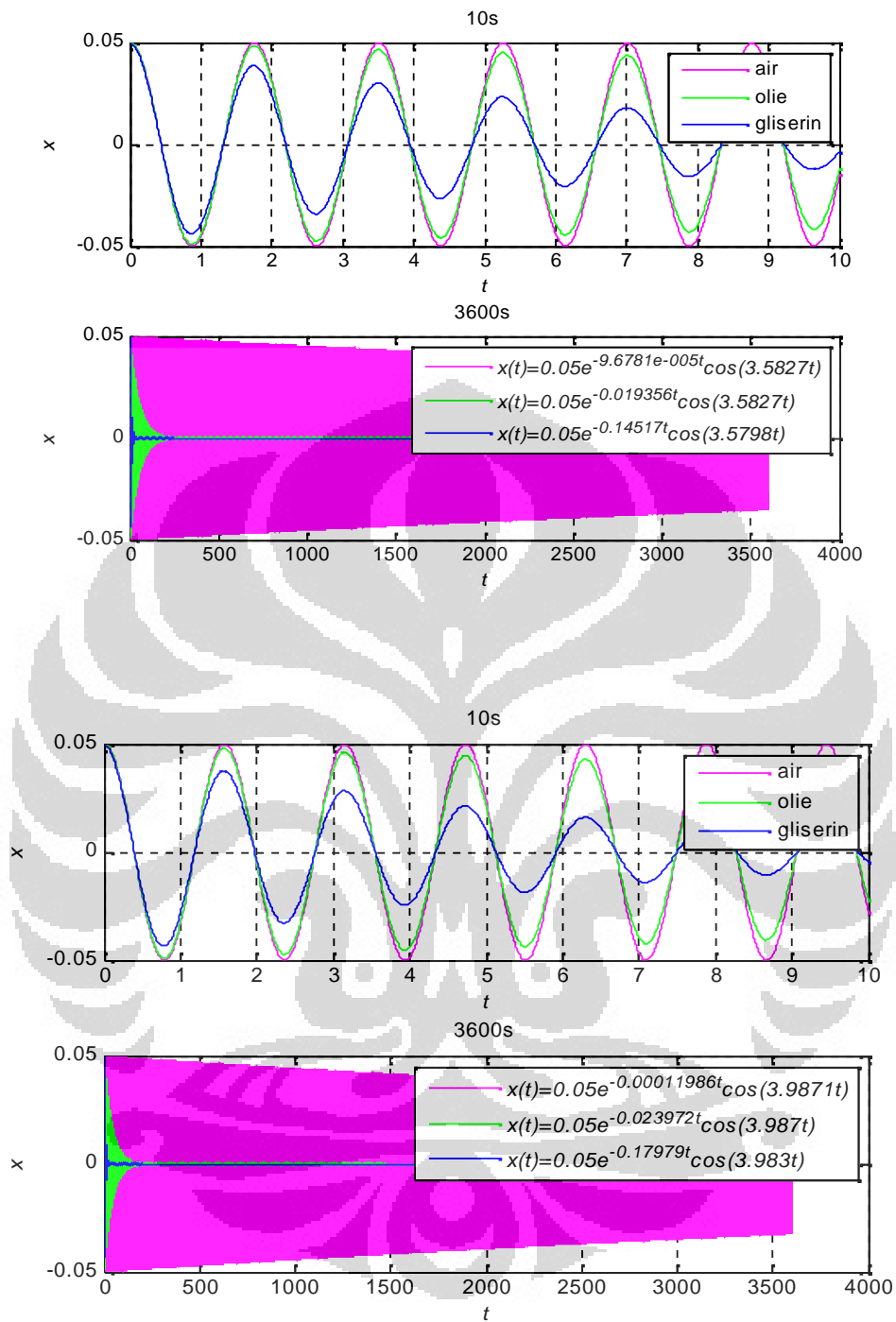
Gambar 4.2.8. Plot x terhadap t pada osilasi bola aluminium ($r = 0.01\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5kg



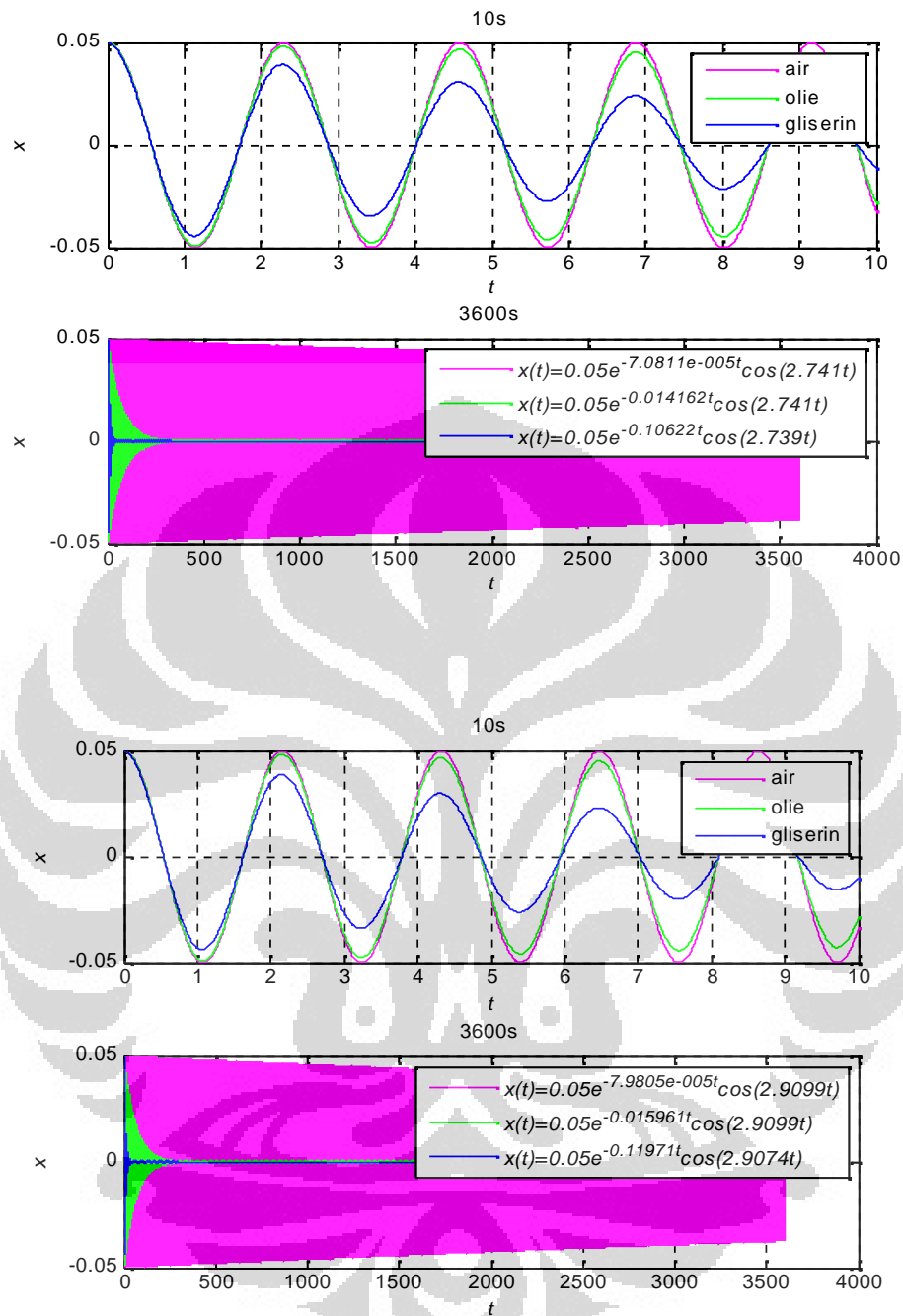
Gambar 4.2.9. Plot x terhadap t pada osilasi **bola aluminium** ($r = 0.05\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5kg



Gambar 4.2.10. Plot x terhadap t pada osilasi bola aluminium ($r = 0.06\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5kg



Gambar 4.2.11. Plot x terhadap t pada osilasi **bola aluminium** ($r = 0.08\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5kg



Gambar 4.2.12. Plot x terhadap t pada osilasi bola aluminium ($r = 0.1\text{m}$) dalam air 20°C , dalam olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg dan 0.5kg

4.3. Simulasi Penentuan Viskositas Fluida Melalui Faktor Redaman

Tabel 4.3.1. Nilai faktor redaman terhadap jari-jari bola besi dengan massa beban 2 kg (β_1) dan massa beban 0.5 kg (β_2).

Fluida: AIR

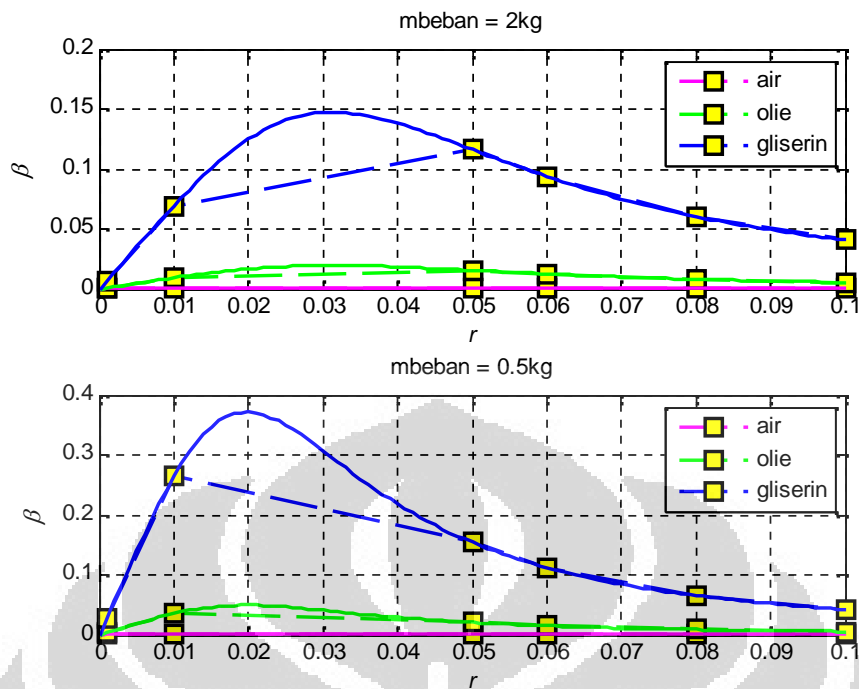
No	jari-jari (r)	β_1	β_2
1	0.001	4.7123e-006	1.8848e-005
2	0.01	4.6366e-005	1.7693e-004
3	0.05	7.7455e-005	1.0280e-004
4	0.06	6.2435e-005	7.4827e-005
5	0.08	4.0259e-005	4.3764e-005
6	0.10	2.7182e-005	2.8411e-005

Fluida: OLI

No	jari-jari (r)	β_1	β_2
1	0.001	9.4246e-004	0.0038
2	0.01	0.0093	0.0354
3	0.05	0.0276	0.0206
4	0.06	0.0125	0.0150
5	0.08	0.0081	0.0088
6	0.10	0.0054	0.0057

Fluida: GLISERIN

No	jari-jari (r)	β_1	β_2
1	0.001	0.0071	0.0283
2	0.01	0.0695	0.2654
3	0.05	0.1162	0.2654
4	0.06	0.0937	0.1122
5	0.08	0.0604	0.1798
6	0.10	0.0408	0.0426



Gambar 4.3.1. Faktor redaman untuk bola besi.

Grafik di atas memperlihatkan nilai faktor redaman β sebagai fungsi jari-jari bola besi yang dicelupkan ke dalam air, oli, dan gliserin. Gambar atas untuk beban 2 kg dan gambar bawah untuk beban 0,5 kg. Grafik di atas menunjukkan bahwa faktor redaman terbedakan untuk fluida yang terbedakan juga. Terlihat bahwa gliserin memberikan faktor redaman yang besar dibandingkan dengan oli dan air. Bahkan untuk massa beban yang lebih kecil, gliserin memberikan faktor redaman yang makin besar. Juga terlihat bahwa masing-masing fluida memberikan efek redaman yang maksimum untuk jari-jari bola tertentu.

Tabel 4.3.2. Nilai faktor redaman terhadap jari-jari bola aluminium dengan massa beban 2 kg (β_1) dan massa beban 0.5 kg (β_2).

Fluida :AIR

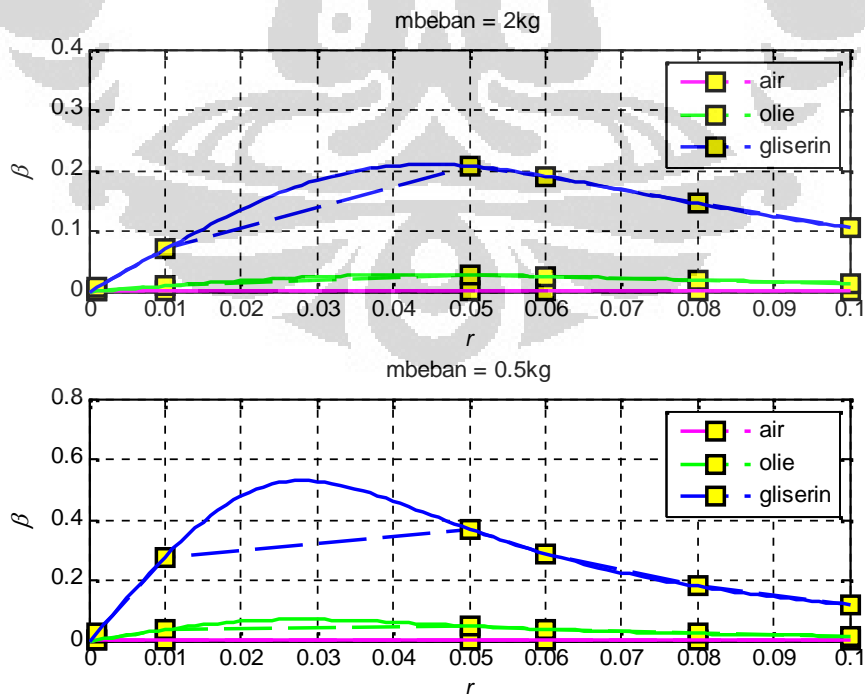
No	jari-jari (r)	β_1	β_2
1	0.001	4.7124e-006	1.8849e-005
2	0.01	4.6859e-005	1.8433e-004
3	0.05	1.3804e-004	2.4624e-004
4	0.06	1.2728e-004	1.9215e-004
5	0.08	9.6781e-005	1.1986e-004
6	0.10	7.0811e-005	7.9805e-005

Fluida: OLI

No	jari-jari (r)	β_1	β_2
1	0.001	9.4247e-004	0.0038
2	0.01	0.0094	0.0369
3	0.05	0.0276	0.0492
4	0.06	0.0255	0.0384
5	0.08	0.0240	0.0240
6	0.10	0.0142	0.0160

Fluida: GLISERIN

No	jari-jari (r)	β_1	β_2
1	0.001	0.0071	0.0283
2	0.01	0.0703	0.2765
3	0.05	0.2071	0.3694
4	0.06	0.1909	0.2882
5	0.08	0.1452	3.9830
6	0.10	0.1062	0.1197



Gambar 4.3.2. Faktor redaman untuk bola aluminium.

Grafik di atas memperlihatkan nilai faktor redaman β sebagai fungsi jari-jari bola aluminium yang dicelupkan ke dalam air, oli, dan gliserin. Gambar atas untuk beban 2 kg dan gambar bawah untuk beban 0,5 kg. Grafik di atas menunjukkan bahwa faktor redaman terbedakan untuk fluida yang terbedakan juga. Terlihat bahwa gliserin memberikan faktor redaman yang besar dibandingkan dengan oli dan air. Bahkan untuk massa beban yang lebih kecil, gliserin memberikan faktor redaman yang makin besar. Juga terlihat bahwa masing-masing fluida memberikan efek redaman yang maksimum untuk jari-jari bola tertentu.

4.4. Simulasi Penentuan Viskositas Fluida Melalui Frekuensi

Tabel 4.4.1. Nilai frekuensi osilasi teredam terhadap jari-jari bola besi massa beban 2 kg $(\omega_1)_1$ dan massa beban 0,5 kg $(\omega_1)_2$.

Fluida: AIR

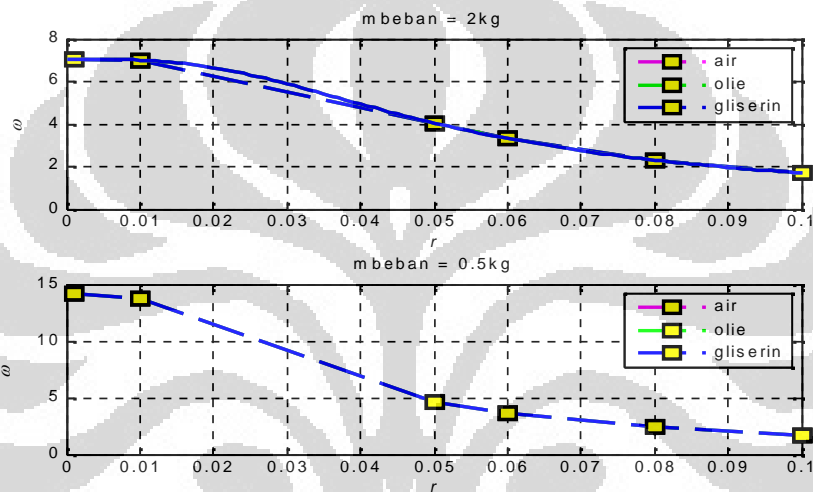
No	jari-jari (r)	$(\omega_1)_1$	$(\omega_1)_2$
1	0.001	7.0710	14.1417
2	0.01	7.0140	13.7016
3	0.05	4.0542	4.6706
4	0.06	3.3228	3.6376
5	0.08	2.3107	2.4092
6	0.10	1.6983	1.7357

Fluida: OLI

No	jari-jari (r)	$(\omega_1)_1$	$(\omega_1)_2$
1	0.001	7.0710	14.1417
2	0.01	7.0140	13.7015
3	0.05	4.0541	4.6706
4	0.06	3.3228	3.6376
5	0.08	2.3107	2.4092
6	0.10	1.6983	1.7362

Fluida: GLISERIN

No	jari-jari (r)	$(\omega_1)_1$	$(\omega_1)_2$
1	0.001	7.0710	14.1416
2	0.01	7.0137	13.6990
3	0.05	4.0525	4.6681
4	0.06	3.3215	3.6359
5	0.08	2.3099	2.4083
6	0.10	1.6978	1.7357



Gambar 4.4.1. Frekuensi osilasi teredam untuk bola besi.

Tabel 4.4.2. Nilai frekuensi osilasi teredam terhadap jari-jari bola aluminium dengan massa beban 2 kg $(\omega_1)_1$ dan massa beban 0,5 kg $(\omega_1)_2$.

Grafik di atas memperlihatkan frekuensi osilasi teredam sebagai fungsi jari-jari bola besi yang dicelupkan ke dalam air, oli, dan gliserin. Gambar atas untuk beban 2 kg dan gambar bawah untuk beban 0,5 kg. Terlihat bahwa frekuensi osilasi teredam tidak sensitif terhadap perbedaan fluida yang digunakan. Frekuensi osilasi teredam menurun dengan membesarnya jari-jari bola. Dengan beban yang lebih kecil, terlihat bahwa frekuensi osilasi teredam membesar untuk jari-jari bola yang kecil. Sementara untuk jari-jari yang makin besar, frekuensi memiliki nilai yang relatif sama untuk beban yang berbeda.

Fluida: AIR

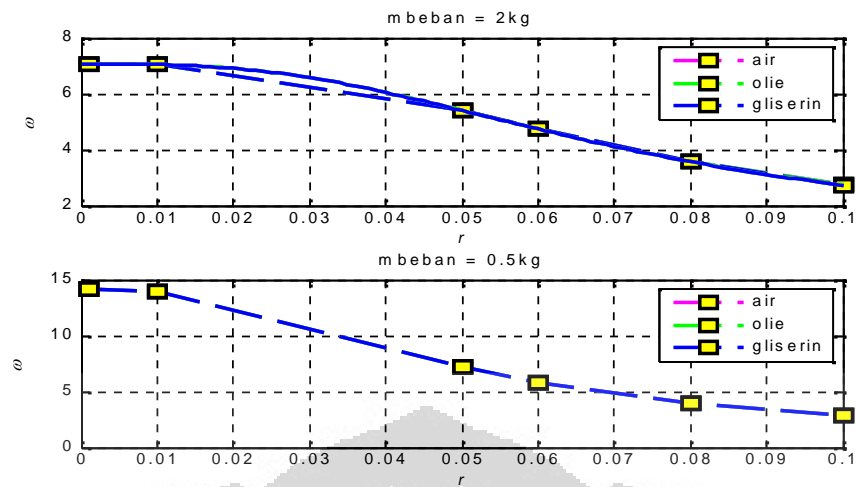
No	jari-jari (r)	$(\omega_1)_1$	$(\omega_1)_2$
1	0.001	7.0710	14.1420
2	0.01	7.0512	13.9849
3	0.05	5.4124	7.2287
4	0.06	4.7442	5.8292
5	0.08	3.5827	3.9871
6	0.10	2.7410	2.9099

Fluida: OLI

No	jari-jari (r)	$(\omega_1)_1$	$(\omega_2)_2$
1	0.001	7.0710	14.1420
2	0.01	7.0512	13.9848
3	0.05	5.4123	7.2285
4	0.06	4.7442	5.8291
5	0.08	3.5827	3.9870
6	0.10	2.7410	2.9099

Fluida: GLISERIN

No	jari-jari (r)	$(\omega_1)_1$	$(\omega_1)_2$
1	0.001	7.0710	14.1419
2	0.01	7.0508	13.9821
3	0.05	5.4084	7.2193
4	0.06	4.7404	5.8221
5	0.08	3.5798	3.9830
6	0.10	2.7390	2.9074



Gambar 4.4.2. Frekuensi osilasi teredam untuk bola aluminium.

Grafik di atas memperlihatkan frekuensi osilasi teredam sebagai fungsi jari-jari bola aluminium yang dicelupkan ke dalam air, oli, dan gliserin. Gambar atas untuk beban 2 kg dan gambar bawah untuk beban 0,5 kg. Terlihat bahwa frekuensi osilasi teredam tidak sensitif terhadap perbedaan fluida yang digunakan. Frekuensi osilasi teredam menurun dengan membesarnya jari-jari bola. Dengan beban yang lebih kecil, terlihat bahwa frekuensi osilasi teredam membesar untuk jari-jari bola yang kecil.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil simulasi yang diperlihatkan pada BAB 4, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Air memberikan faktor redaman yang kecil, baik untuk interval waktu 10 detik pertama, maupun setelah 1 jam, sehingga secara visual kurang baik untuk dijadikan media demonstrasi osilasi teredam di depan kelas. Demikian juga dengan oli yang menggunakan bola besi kurang bagus secara visual untuk dijadikan media demonstrasi osilasi teredam di depan kelas.
2. Gliserin memberikan faktor redaman yang relatif kuat dalam 10 detik pertama, sehingga secara visual dapat dijadikan media demonstrasi osilasi teredam di depan kelas, baik untuk bola besi, maupun bola aluminium, terutama untuk jari-jari bola 0,01-0,05 m.
3. Simpangan osilasi teredam sebagai fungsi waktu cukup sensitif terhadap viskositas fluida, terutama untuk fluida yang lebih kental, massa beban yang lebih ringan, dan jari-jari bola 0,01-0,05 m, sehingga dapat dijadikan observabel terukur dalam eksperimen untuk menentukan viskositas fluida.
4. Faktor redaman sebagai fungsi jari-jari bola sangat sensitif terhadap viskositas fluida, sehingga sangat baik untuk dijadikan observabel terukur dalam eksperimen untuk menentukan viskositas fluida.
5. Frekuensi osilasi teredam sebagai fungsi jari-jari bola tidak sensitif terhadap viskositas fluida, sehingga tidak bagus untuk dijadikan observabel terukur dalam eksperimen untuk menentukan viskositas fluida.
6. Osilasi teredam lebih baik digunakan untuk penentuan viskositas fluida yang jauh lebih kental dari air.

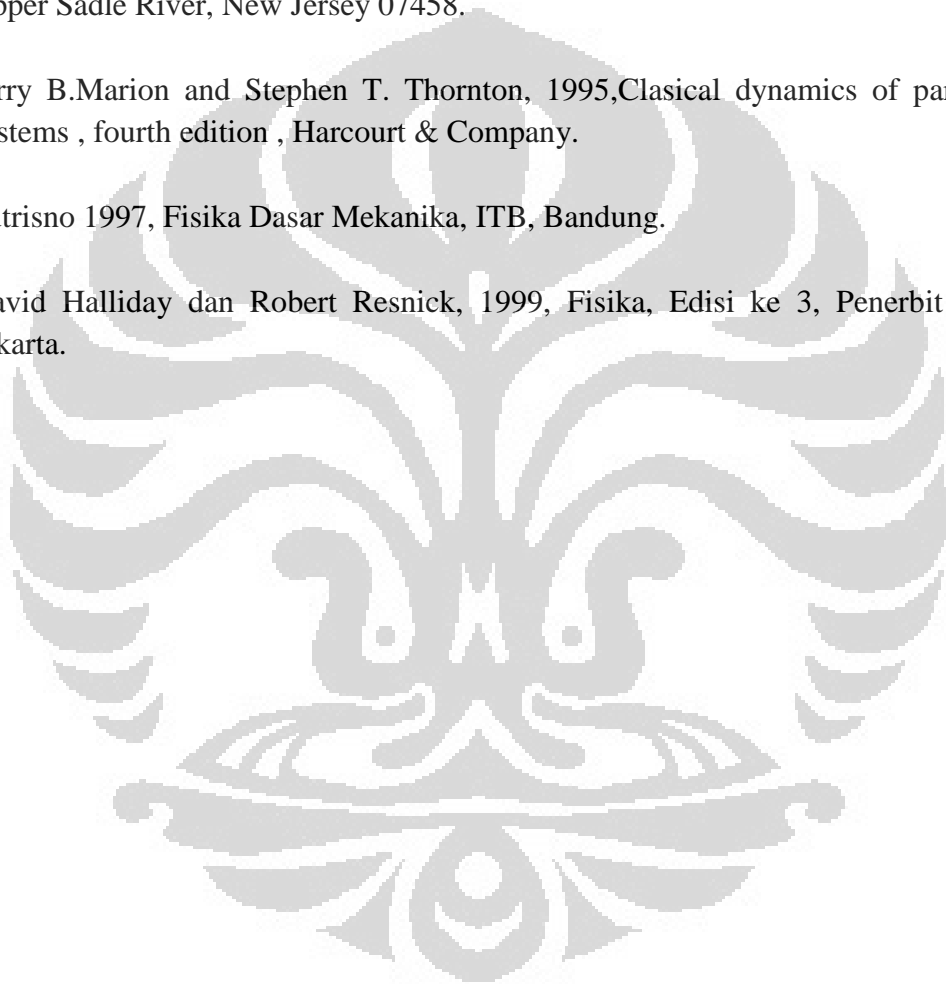
Dari simulasi-simulasi yang telah dilakukan, kemudian diperlihatkan di BAB 4, serta kesimpulan-kesimpulan di atas, dapat disarankan beberapa hal berikut.

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut terhadap butir kesimpulan no.3, 4, dan 5, dengan melakukan pengukuran langsung terhadap observabel-observabel tersebut, agar didapatkan kesimpulan yang makin kuat.
2. Perlu diselidiki lebih lanjut keberlakuan asumsi gaya Stokes sebagai mekanisme redaman yang diterapkan dalam simulasi ini dengan melakukan pengukuran langsung terhadap observabel-observabel butir kesimpulan no.3, 4, dan 5.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dauglas. C. Giancoli, 1998 ,Physics, fifth edition, Prentice – Hall, terjemahan Yuhilza Hanum 2001, Erlangga – Jakarta.
- [2] Pain.Herbert John, 1999, The Physics of Vibrations and Wafes, fifth edition, John Wiley and Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 IUD, England.
- [3] Siniresu S.Rao, 2004, Mechanical Vibrations, fourth edition, Person Prentice-Hall, Upper Sadle River, New Jersey 07458.
- [4] Jerry B.Marion and Stephen T. Thornton, 1995,Clasical dynamics of particles and systems , fourth edition , Harcourt & Company.
- [5] Sutrisno 1997, Fisika Dasar Mekanika, ITB, Bandung.
- [6] David Halliday dan Robert Resnick, 1999, Fisika, Edisi ke 3, Penerbit Erlangga, Jakarta.



LAMPIRAN A MATLAB SIMPANGAN

```

rho = input('Berapa rhonya? (kg/m3) ');
jari2 = input('Berapa jari2nya? (m) ');
k = input('Berapa konstantanya ? (N/m) ');
A = input('Berapa Amplitudo? (m) ');
n = input('Berapa Koef.Viskositas? (N s/m2) ');
mbeban = input('Berapa massa bebannya ? (Kg) ');

t=0:0.01:10;
r = jari2
mbola = rho*(4/3)*pi*r^3
mtotal = mbola + mbeban
beta = 3*pi*n*r/(mtotal)
w0kuadrat = k/mtotal
w1 = sqrt(w0kuadrat - beta^2)
x = A*exp(-beta*t).*cos(w1*t);

beta_str= num2str(beta);
w1_str = num2str(w1);
a_str = num2str(A);
legx=[a_str 'exp(-' beta_str 't)cos(' w1_str 't)'];
subplot(2,1,1);
plot(t,x) , grid on, axis auto;
legend(legx);
title('10s')
t=0:0.01:3600;
y = A*exp(-beta*t).*cos(w1*t);
subplot(2,1,2);
plot(t,y) , grid on, axis auto;
legend(legx);
title('3600s')

```

LAMPIRAN B MATLAB SIMULASI BETA DAN OMEGA

```

rho = input('Berapa massa jenisnya ? (Kg/m3) ');

% Manual input variables
k   = 100;
A   = 0.05;

n_air      = 0.001;
n_olie    = 0.2;
n_gliserin = 1.5;

m_beban1  = 2;
m_beban2  = 0.5;

%Time variables
r_plot = 0:0.001:0.1;
r = [0.001 0.01 0.05 0.06 0.08 0.1];

% Mendefinisikan fungsi bola utk macam2 zat cair
% Perhitungan data
beta_air1 = 3*pi*n_air*r./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r.^3))
w1_air1 = sqrt((k./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r.^3))) - beta_air1.^2)
beta_air2 = 3*pi*n_air*r./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r.^3));
w1_air2 = sqrt((k./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r.^3))) - beta_air2.^2);
beta_olie1 = 3*pi*n_olie*r./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r.^3));
w1_olie1 = sqrt((k./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r.^3))) - beta_olie1.^2);
beta_olie2 = 3*pi*n_olie*r./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r.^3));
w1_olie2 = sqrt((k./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r.^3))) - beta_olie2.^2);
beta_gliserin1 = 3*pi*n_gliserin*r./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r.^3));
w1_gliserin1 = sqrt((k./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r.^3))) -
beta_gliserin1.^2);
beta_gliserin2 = 3*pi*n_gliserin*r./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r.^3));
w1_gliserin2 = sqrt((k./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r.^3))) -
beta_gliserin2.^2);

% Perhitungan Plot
beta_plot_air1 = 3*pi*n_air*r_plot./(m_beban1 +
(rho*(4/3)*pi*r_plot.^3));
w1_plot_air1 = sqrt((k./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r_plot.^3))) -
beta_plot_air1.^2);
beta_plot_air2 = 3*pi*n_air*r_plot./(m_beban2 +
(rho*(4/3)*pi*r_plot.^3));
w1_plot_air2 = sqrt((k./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r_plot.^3))) -
beta_plot_air2.^2);
beta_plot_olie1 = 3*pi*n_olie*r_plot./(m_beban1 +
(rho*(4/3)*pi*r_plot.^3));
w1_plot_olie1 = sqrt((k./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r_plot.^3))) -
beta_plot_olie1.^2);
beta_plot_olie2 = 3*pi*n_olie*r_plot./(m_beban2 +
(rho*(4/3)*pi*r_plot.^3));
w1_plot_olie2 = sqrt((k./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r_plot.^3))) -
beta_plot_olie2.^2);
beta_plot_gliserin1 = 3*pi*n_gliserin*r_plot./(m_beban1 +
(rho*(4/3)*pi*r_plot.^3));

```

```

w1_plot_gliserin1 = sqrt((k./(m_beban1 + (rho*(4/3)*pi*r_plot.^3))) -
beta_plot_gliserin1.^2);
beta_plot_gliserin2 = 3*pi*n_gliserin*r_plot./(m_beban2 +
(rho*(4/3)*pi*r_plot.^3));
w1_plot_gliserin2 = sqrt((k./(m_beban2 + (rho*(4/3)*pi*r_plot.^3))) -
beta_plot_gliserin2.^2);

% Menampilkan grafik beta
figure('name', ['Beta pada osilasi bola dalam zat cair, k=' num2str(k)
', A=' num2str(A) ', r=' num2str(r), 'rho=' num2str(rho)]);
set(0, 'DefaultAxesColorOrder', [1 0 1; 0 1 0; 0 0
1], 'DefaultAxesLineStyleOrder', {'--s|-', '--s|-', '--s|-'})
subplot(2,1,1);

plot(r, beta_air1, r, beta_olie1, r, beta_gliserin1, r_plot, beta_plot_air1, r_pl
ot, beta_plot_olie1, r_plot, beta_plot_gliserin1) , grid on, axis auto;
legend('air', 'olie', 'gliserin');
title(['m_beban = ' num2str(m_beban1) 'kg']);
ylabel('\it\beta');
xlabel('\itr');
subplot(2,1,2);

plot(r, beta_air2, r, beta_olie2, r, beta_gliserin2, r_plot, beta_plot_air2, r_pl
ot, beta_plot_olie2, r_plot, beta_plot_gliserin2) , grid on, axis auto;
legend('air', 'olie', 'gliserin');
title(['m_beban = ' num2str(m_beban2) 'kg']);
ylabel('\it\beta');
xlabel('\itr');

% Menampilkan grafik omega
figure('name', ['Omega pada osilasi bola dalam zat cair, k=' num2str(k)
', A=' num2str(A) ', r=' num2str(r), 'rho=' num2str(rho)]);
set(0, 'DefaultAxesColorOrder', [1 0 1; 0 1 0; 0 0
1], 'DefaultAxesLineStyleOrder', {'--s|-', '--s|-', '--s|-'})
subplot(2,1,1);

plot(r, w1_air1, r, w1_olie1, r, w1_gliserin1, r_plot, w1_plot_air1, r_plot, w1_pl
ot_olie1, r_plot, w1_plot_gliserin1) , grid on, axis auto;
legend('air', 'olie', 'gliserin');
title(['m_beban = ' num2str(m_beban1) 'kg']);
ylabel('\it\omega');
xlabel('\itr');

subplot(2,1,2);
plot(r, w1_air2, r, w1_olie2, r, w1_gliserin2) , grid on, axis auto;
legend('air', 'olie', 'gliserin');
title(['m_beban = ' num2str(m_beban2) 'kg']);
ylabel('\it\omega');
xlabel('\itr');
set(findobj('Type', 'line'), 'LineWidth', 2);
set(findobj('Type', 'line'), 'MarkerFaceColor', 'y');
set(findobj('Type', 'line'), 'MarkerEdgeColor', 'k');
set(findobj('Type', 'line'), 'MarkerSize', 10);

```


LAMPIRAN C MATLAB SIMULASI X-T

```

%User input variables
r = input('Berapa jari2nya? (m) ');
k = input('Berapa konstantanya ? (N/m) ');
A = input('Berapa Amplitudo? (m) ');
mbeban = input('Berapa massa bebannya ? (Kg) ');

n_air      = 0.001;
n_olie     = 0.2;
n_gliserin = 1.5;

rho_fe     = 7800;
rho_al     = 2700;

%Time variables
t1=0:0.01:10;
t2=0:0.01:3600;

% Mendefinisikan fungsi bola besi utk macam2 zat cair
beta_fel_air = 3*pi*n_air*r/(mbeban + (rho_fe*(4/3)*pi*r^3));
w1_fel_air = sqrt((k/(mbeban + (rho_fe*(4/3)*pi*r^3))) -
beta_fel_air^2);
y1_fe_air = A*exp(-beta_fel_air*t1).*cos(w1_fel_air*t1);
y2_fe_air = A*exp(-beta_fel_air*t2).*cos(w1_fel_air*t2);
beta_fel_olie = 3*pi*n_olie*r/(mbeban + (rho_fe*(4/3)*pi*r^3));
w1_fel_olie = sqrt((k/(mbeban + (rho_fe*(4/3)*pi*r^3))) -
beta_fel_olie^2);
y1_fe_olie = A*exp(-beta_fel_olie*t1).*cos(w1_fel_olie*t1);
y2_fe_olie = A*exp(-beta_fel_olie*t2).*cos(w1_fel_olie*t2);
beta_fel_gliserin = 3*pi*n_gliserin*r/(mbeban +
(rho_fe*(4/3)*pi*r^3));
w1_fel_gliserin = sqrt((k/(mbeban + (rho_fe*(4/3)*pi*r^3))) -
beta_fel_gliserin^2);
y1_fe_gliserin = A*exp(-beta_fel_gliserin*t1).*cos(w1_fel_gliserin*t1);
y2_fe_gliserin = A*exp(-beta_fel_gliserin*t2).*cos(w1_fel_gliserin*t2);

% Mendefinisikan fungsi bola aluminium utk macam2 zat cair
beta_all_air = 3*pi*n_air*r/(mbeban + (rho_al*(4/3)*pi*r^3));
w1_all_air = sqrt((k/(mbeban + (rho_al*(4/3)*pi*r^3))) -
beta_all_air^2);
y1_al_air = A*exp(-beta_all_air*t1).*cos(w1_all_air*t1);
y2_al_air = A*exp(-beta_all_air*t2).*cos(w1_all_air*t2);
beta_all_olie = 3*pi*n_olie*r/(mbeban + (rho_al*(4/3)*pi*r^3));
w1_all_olie = sqrt((k/(mbeban + (rho_al*(4/3)*pi*r^3))) -
beta_all_olie^2);
y1_al_olie = A*exp(-beta_all_olie*t1).*cos(w1_all_olie*t1);
y2_al_olie = A*exp(-beta_all_olie*t2).*cos(w1_all_olie*t2);
beta_all_gliserin = 3*pi*n_gliserin*r/(mbeban +
(rho_al*(4/3)*pi*r^3));
w1_all_gliserin = sqrt((k/(mbeban + (rho_al*(4/3)*pi*r^3))) -
beta_all_gliserin^2);
y1_al_gliserin = A*exp(-beta_all_gliserin*t1).*cos(w1_all_gliserin*t1);
y2_al_gliserin = A*exp(-beta_all_gliserin*t2).*cos(w1_all_gliserin*t2);

```

```

% Variable legenda
leg_fe_air = ['\itx(t)= ' num2str(A) 'e^{-' num2str(beta_fe1_air)
't}cos(' num2str(w1_fe1_air) 't)'];
leg_fe_olie = ['\itx(t)= ' num2str(A) 'e^{-' num2str(beta_fe1_olie)
't}cos(' num2str(w1_fe1_olie) 't)'];
leg_fe_gliserin = ['\itx(t)= ' num2str(A) 'e^{-'
num2str(beta_fe1_gliserin) 't}cos(' num2str(w1_fe1_gliserin) 't)'];
leg_al_air = ['\itx(t)= ' num2str(A) 'e^{-' num2str(beta_all_air)
't}cos(' num2str(w1_all_air) 't)'];
leg_al_olie = ['\itx(t)= ' num2str(A) 'e^{-' num2str(beta_all_olie)
't}cos(' num2str(w1_all_olie) 't)'];
leg_al_gliserin = ['\itx(t)= ' num2str(A) 'e^{-'
num2str(beta_all_gliserin) 't}cos(' num2str(w1_all_gliserin) 't)'];

%Menampilkan grafik bola besi
figure('name', ['Osilasi bola besi dalam zat cair, k=' num2str(k) ', A='
num2str(A) ', r=' num2str(r)]);
set(0, 'DefaultAxesColorOrder', [1 0 1; 0 1 0; 0 0
1], 'DefaultAxesLineStyleOrder', {'-|-', '-|-', '-|-'})
subplot(2,1,1);
plot(t1,y1_fe_air,t1,y1_fe_olie,t1,y1_fe_gliserin) , grid on, axis
auto;
legend('air', 'olie', 'gliserin');
title('10s');
ylabel('\itx');
xlabel('\itt');

subplot(2,1,2);
plot(t2,y2_fe_air,t2,y2_fe_olie,t2,y2_fe_gliserin) , grid on, axis
auto;
legend(leg_fe_air,leg_fe_olie,leg_fe_gliserin);
title('3600s');
ylabel('\itx');
xlabel('\itt');
set(findobj('Type', 'line'), 'LineWidth', 1);

%Menampilkan grafik bola aluminium
figure('name', ['Osilasi bola aluminium dalam zat cair, k=' num2str(k)
', A=' num2str(A) ', r=' num2str(r)]);
set(0, 'DefaultAxesColorOrder', [1 0 1; 0 1 0; 0 0
1], 'DefaultAxesLineStyleOrder', {'-|-', '-|-', '-|-'})
subplot(2,1,1);
plot(t1,y1_al_air,t1,y1_al_olie,t1,y1_al_gliserin) , grid on, axis
auto;
legend('air', 'olie', 'gliserin');
title('10s');
ylabel('\itx');
xlabel('\itt');

subplot(2,1,2);
plot(t2,y2_al_air,t2,y2_al_olie,t2,y2_al_gliserin) , grid on, axis
auto;
legend(leg_al_air,leg_al_olie,leg_al_gliserin);
title('3600s');
ylabel('\itx');
xlabel('\itt');
set(findobj('Type', 'line'), 'LineWidth', 1);

```

LAMPIRAN D
CONTOH PERHITUNGAN DAN TABEL SIMULASI PERCOBAAN

Contoh-contoh perhitungan untuk menentukan faktor viskositas (β) dan frekuensi teredam (ω_1)

1. Osilasi bola besi ($r_1 = 0,001 \text{ m}$) $\rho = 7,8 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dalam air pada suhu 20°C ($\eta_{\text{air}} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ pa.s}$), dengan konstanta getaran 100 N/m

Bola besi $r = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$

$$m_{\text{bola}} = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$= (7.8 \times 10^3) \left(\frac{4}{3}\right) (3.14) (10^{-3})^3 = 3.2673 \times 10^{-5}$$

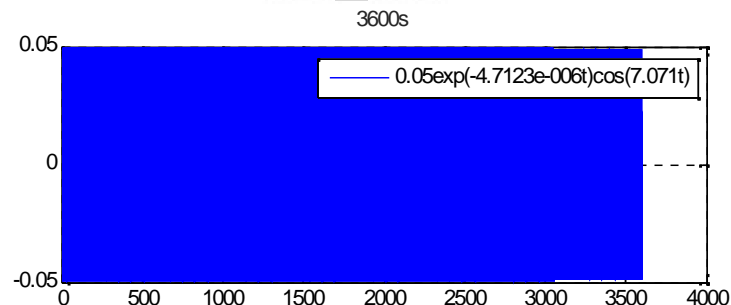
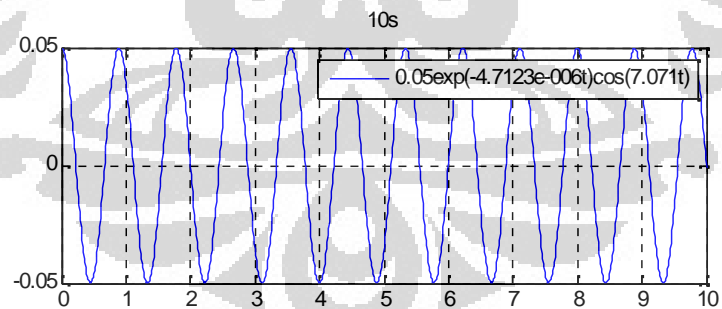
$$m = m_{\text{beban}} + m_{\text{bola}} = 2$$

$$\beta = \frac{3 \pi \eta r}{m} = \frac{3 (3.14) (0.001) (10^{-3})}{2} = 4.7123 \times 10^{-6}$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} = \frac{10^2}{2} = 49.9999$$

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = 7.0710$$

$$x(t) = 0.05 e^{-4.7123e-006t} \cos(7.0711t)$$



2. Osilasi bola aluminium ($r_1 = 0.001\text{m}$) $\rho = 2.7 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dalam air pada suhu 20°C ($\eta_{\text{air}} = 1.0 \times 10^{-3} \text{ pa.s}$), dengan konstanta getaran 100 N/m

Bola aluminium $r = 1 \text{ mm} = 10^{-3}\text{m}$

$$m_{\text{bola}} = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$= (2.7 \times 10^3) \left(\frac{4}{3}\right) (3.14) (10^{-3})^3 = 1.1310 \times 10^{-5}$$

$$m = m_{\text{beban}} + m_{\text{bola}} = 2.00$$

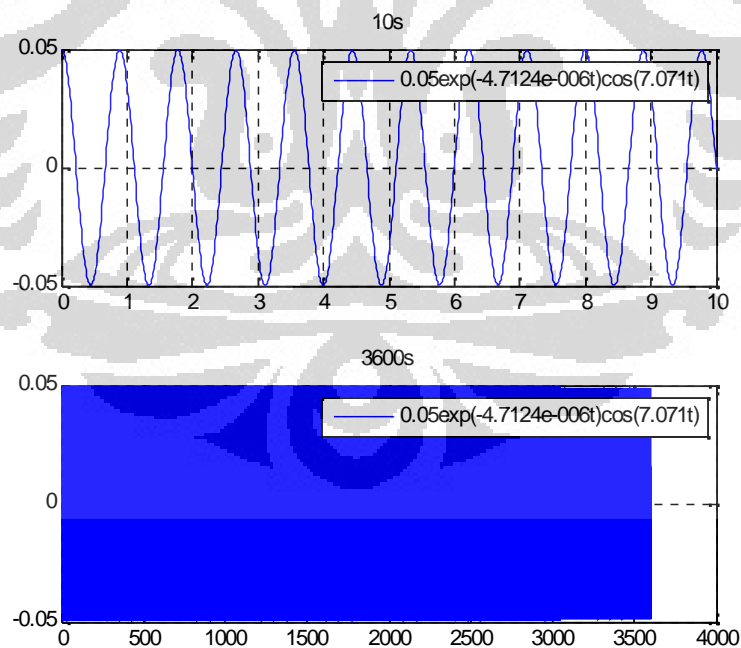
$$\beta = \frac{3 \pi \eta r}{m} = \frac{3 (3.14) (0.001) (10^{-3})}{1.1310 \times 10^{-5}} = 4.7124 \times 10^{-6}$$

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m} = \frac{10^2}{2} = 49.9997$$

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = 7.0710$$

$$x(t) = A e^{-\beta t} \cos(\omega t - \delta)$$

$$x(t) = 0.05 e^{-4.7124t} \cos(7.0710t)$$



Tabel simulasi percobaan osilasi bola besi ($\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$) dan bola aluminium ($\rho=2700 \text{ kg/m}^3$) dalam fluida air 20°C, olie SAE 10 30°C dan gliserin 20°C dengan massa beban 2 kg

No	Jenis bola	r Bola (m)	Jenis fluida	β	ω_1	x(t)
1	besi	0.001	air	4.7123e-006	7.0710	$0.05e^{-4.7123e-006t} \cos(7.0710t)$
2	besi	0.001	olie	9.4246e-004	7.0710	$0.05e^{-9.4246e-004t} \cos(7.0710t)$
3	besi	0.001	gliserin	0.0071	7.0710	$0.05e^{-0.0071t} \cos(7.0710t)$
4	besi	0.01	air	4.6366e-005	7.0140	$0.05e^{-4.6366e-005t} \cos(7.0140t)$
5	besi	0.01	olie	0.0093	7.0140	$0.05e^{-0.0093t} \cos(7.0740t)$
6	besi	0.01	gliserin	0.0695	7.0137	$0.05e^{-0.0071t} \cos(7.0137t)$
7	besi	0.05	air	7.7455e-005	4.0542	$0.05e^{-7.7455e-005t} \cos(4.0542t)$
8	besi	0.05	olie	0.0155	4.0541	$0.05e^{-0.155t} \cos(4.0541t)$
9	besi	0.05	gliserin	0.1162	4.0525	$0.05e^{-0.1162t} \cos(4.0525)$
10	besi	0.06	air	6.2435e-005	3.3228	$0.05e^{-6.2435e-005t} \cos(3.3228t)$
11	besi	0.06	olie	0.0125	3.3228	$0.05e^{-0.0125t} \cos(3.3228t)$
12	besi	0.06	gliserin	0.0937	3.3215	$0.05e^{-0.0937t} \cos(3.3215t)$
13	besi	0.08	air	4.0259e-005	2.3107	$0.05e^{-4.0259e-005t} \cos(2.3107t)$
14	besi	0.08	olie	0.0081	2.3107	$0.05e^{-0.0081t} \cos(2.3107t)$
15	besi	0.08	gliserin	0.0604	2.3099	$0.05e^{-0.0604t} \cos(2.3099t)$
16	besi	0.1	air	2.7182e-005	1.6983	$0.05e^{-2.7182e-005t} \cos(1.6983t)$
17	besi	0.1	olie	0.0054	1.6983	$0.05e^{-0.0054t} \cos(1.6983t)$
18	besi	0.1	gliserin	0.0408	1.6978	$0.05e^{-0.0408t} \cos(1.6978t)$
19	aluminium	0.001	air	4.7124e-006	7.0710	$0.05e^{-4.7124e-006t} \cos(7.0710t)$
20	aluminium	0.001	olie	9.4247e-004	7.0710	$0.05e^{-9.4247e-004t} \cos(7.0710t)$
21	aluminium	0.001	gliserin	0.0071	7.0710	$0.05e^{-0.0071t} \cos(7.0710t)$
22	aluminium	0.01	air	4.6859e-005	7.0512	$0.05e^{-4.6859e-005t} \cos(7.0512t)$
23	aluminium	0.01	olie	0.0094	7.0512	$0.05e^{-0.0094t} \cos(7.0512t)$
24	aluminium	0.01	gliserin	0.0703	7.0508	$0.05e^{-0.0703t} \cos(7.0508t)$

25	aluminium	0.05	air	1.3804e-004	5.4124	$0.05e^{-1.3804e-004t}\cos(5.4124t)$
26	aluminium	0.05	olie	0.0276	5.4123	$0.05e^{-0.0276t}\cos(5.4123t)$
27	aluminium	0.05	gliserin	0.2071	5.4084	$0.05e^{-0.2071t}\cos(5.4084t)$
28	aluminium	0.06	air	1.2728e-004	4.7442	$0.05e^{-1.2728e-004t}\cos(4.7442t)$
29	aluminium	0.06	olie	0.0255	4.7442	$0.05e^{-0.0255t}\cos(4.7442t)$
30	aluminium	0.06	gliserin	0.1909	4.7404	$0.05e^{-0.1909t}\cos(4.7404t)$
31	aluminium	0.08	air	9.6781e-005	3.5827	$0.05e^{-9.6781e-005t}\cos(3.5827t)$
32	aluminium	0.08	olie	0.0194	3.5827	$0.05e^{-0.0194t}\cos(3.5827t)$
33	aluminium	0.08	gliserin	0.1452	3.5798	$0.05e^{-0.1452t}\cos(3.5798t)$
34	aluminium	0.1	air	7.0811e-005	2.7410	$0.05e^{-7.0811e-005t}\cos(2.7410t)$
35	aluminium	0.1	olie	0.0142	2.7410	$0.05e^{-0.0142t}\cos(2.7410t)$
36	aluminium	0.1	gliserin	0.1062	2.7390	$0.05e^{-0.1062t}\cos(2.7390t)$

