

PERANGKAT LUNAK UNTUK SINTESIS SUARA GERAKAN BENDA PADAT

Nanik Suciati, Lalu Muhammad Dzaki

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: nanik@its-sby.edu

ABSTRAK

Dalam grafika komputer, telah dikembangkan suatu teknik untuk membuat frame-frame animasi berdasarkan gerakan benda yang dihitung menggunakan rumus-rumus fisika, yang dikenal dengan istilah Physically Based Motion. Pada perkembangan selanjutnya, teknik ini juga dapat digunakan untuk mensintesis suara.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dibangun suatu aplikasi yang dapat membuat frame-frame animasi gerakan jatuh bebas benda dengan menggunakan teknik Physically Based Motion, sekaligus mensintesis suara yang sesuai dengan gerakan yang dihasilkan. Sistem akan melakukan penghitungan gerakan benda untuk menghasilkan frame-frame animasi. Disamping itu, data suara yang dihasilkan juga digunakan untuk mensintesis suara, sehingga suara yang dihasilkan sesuai dengan gerakan benda.

Setelah dilakukan uji coba terhadap aplikasi yang telah dibuat, dapat diambil kesimpulan bahwa gerakan dan suara yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh material properties dan jumlah iterasi yang digunakan untuk melakukan penghitungan. Sedangkan jumlah titik, face dan element dari objek mempengaruhi waktu yang digunakan untuk melakukan penghitungan.

Kata kunci: *Physically Based Motion, Animasi, Suara Digital, Pemodelan Suara.*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi, dalam hal pembuatan animasi telah dikembangkan suatu metode untuk mensimulasikan perilaku benda (khususnya benda padat), yaitu *Physically Based Motion*. Metode ini menghitung pergerakan benda yang disimulasikan dengan memodelkan benda tersebut sesuai dengan hukum-hukum fisika.

Metode ini telah berhasil digunakan untuk menghasilkan animasi yang cukup realistis. James F. O'Brien, Perry R. Cook dan Georg Essl telah mengembangkan metode ini sehingga selain menghasilkan animasi juga dapat menghasilkan efek suara yang sesuai. Paper ("*Synthesizing Sounds from Physically Based Motion*", [7]) menjelaskan bagaimana metode *Physically Based Motion* digunakan untuk menghasilkan suara.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dibuat suatu aplikasi yang menerapkan metode yang dikembangkan oleh James F. O'Brien dkk untuk mensintesis efek suara dari sebuah animasi sederhana, yaitu simulasi gerakan jatuh bebas suatu benda padat.

2. PHYSICALLY BASED MOTION

Secara garis besar, cara kerja dari teknik ini terdiri dari tiga tahap. Tahap yang pertama adalah menghitung gaya total yang bekerja pada objek. Gaya total didapatkan dengan

mengakumulasikan gaya-gaya yang bekerja pada objek, baik gaya internal maupun gaya eksternal. Tahap yang kedua adalah menghitung pengaruh gaya total terhadap percepatan objek. Percepatan diperoleh dengan menggunakan hukum *Newton II* ($F = m.a$). Tahap yang terakhir adalah menghitung perubahan posisi objek akibat adanya percepatan. Posisi objek diperoleh dengan terlebih dahulu menghitung kecepatan objek dengan mengintegrasikan percepatan. Kemudian kecepatan yang didapatkan diintegrasikan untuk mendapatkan posisi objek.

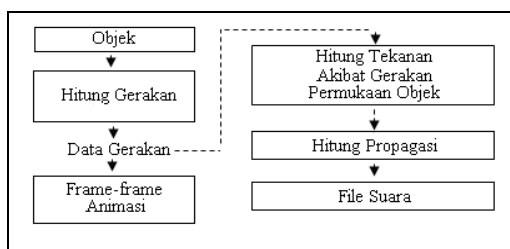
Ketiga tahap tersebut dilakukan pada setiap selang waktu yang ditentukan, sehingga data perubahan posisi dan kecepatan dari objek dapat diperoleh. Selanjutnya, perubahan posisi dari objek tersebut digunakan untuk membuat *frame-frame* animasi yang menunjukkan gerakan benda.

3. SINTESIS SUARA

Sintesis suara yang dimaksudkan disini adalah proses untuk menghasilkan suara (suara digital) dengan menghitung nilai dari setiap sampel suara. Ada berbagai metode yang digunakan dalam mensintesis suara, dalam Tugas Akhir ini, metode yang akan digunakan adalah metode yang dikembangkan oleh James F. O'Brien, Perry R. Cook dan Georg Essl yang dijelaskan dalam paper "*Synthesizing Sound from Physically Based Motion*".

Secara garis besar, untuk mensintesis suara ada tiga tahapan yang dilakukan. Tahap yang pertama adalah menghitung gerakan benda yang akan menyebabkan suara. Penghitungan telah dilakukan sebelumnya untuk membuat animasi gerakan benda. Data yang dihasilkan

berupa data pergerakan benda yaitu perpindahan posisi dan kecepatan benda. Tahap selanjutnya adalah menghitung tekanan yang disebabkan oleh gerakan permukaan benda dengan menggunakan data pergerakan benda, sehingga dapat diketahui perubahan/fluktuasi tekanan yang disebabkan oleh gerakan permukaan benda. Tahap yang terakhir adalah menghitung penyebaran gelombang yang disebabkan oleh fluktuasi tekanan sehingga sampai pada pendengar (*virtual listener*). Hasil dari penghitungan ini berupa data besarnya pengaruh tekanan (yang disebabkan oleh gerakan permukaan benda) yang diterima oleh pendengar. Data inilah yang akan digunakan untuk membuat suara. Untuk lebih jelasnya, gambaran umum proses sintesis suara dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambaran umum proses sintesis suara.

4. UJI COBA

Sistem yang telah dibuat memanfaatkan aplikasi *POV-Ray* untuk mengubah data model menjadi file gambar. Dengan demikian, untuk melakukan uji coba, aplikasi ini harus terdapat pada lingkungan uji coba. Uji coba dilakukan pada sebuah PC (*personal computer*) dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Prosesor : Intel Pentium 4 2.8 GHz (Hyper Threading)
- Memori : 496 MB
- VGA : Intel Extreme Graphics 2
- Sistem Operasi : Windows XP 2002
- OpenGL : OpenGL versi 1.3
- POV-Ray : POV-Ray for Windows 3.6

Dalam melakukan uji coba, ada tiga skenario yang akan digunakan. Masing-masing skenario uji coba, selain memiliki tujuan yang berbeda-beda, model yang digunakan juga berbeda-beda. Untuk semua skenario, akan dilakukan penghitungan gerakan dan suara pada setiap model yang digunakan. Properti simulasi yang digunakan disesuaikan dengan

kebutuhan pada masing-masing skenario. Berikut akan dijelaskan pelaksanaan uji coba untuk masing-masing skenario.

4.1. Uji Coba Skenario 1

Uji coba yang dilakukan dengan skenario ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh jumlah titik, *face*, dan *element* dari model terhadap waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penghitungan gerakan dan suara.

Tabel 1. Data-data dari model yang digunakan dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penghitungan pada uji coba skenario 1

Nama	Titik	Face	Element	Waktu (detik)
<i>tetra1.ply</i>	4	4	1	13.723
<i>tetra10.ply</i>	9	12	12	25.078
<i>kubus.ply</i>	10	16	8	25.759
<i>balok.ply</i>	27	50	35	88.985
<i>lingkaran.ply</i>	63	120	120	353.666

Dari data-data hasil uji coba pada skenario ini (Tabel 1) terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penghitungan gerakan dan suara sangat dipengaruhi oleh jumlah titik, *face* dan *element* dari model yang digunakan. Semakin banyak jumlah titik, *face* dan *element* dari model yang digunakan, waktu untuk melakukan penghitungan akan semakin banyak. Demikian pula sebaliknya, semakin sedikit jumlah titik, *face* dan *element* dari model yang digunakan, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penghitungan juga akan semakin sedikit.

4.2. Uji Coba Skenario 2

Uji coba yang dilakukan dengan menggunakan skenario ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *material properties* yang digunakan terhadap gerakan dan suara yang dihasilkan. *Material properties* yang akan digunakan dalam uji coba ada 3, yaitu material kaca, batu, dan keramik. Nilai dari masing-masing *material properties* akan diubah-ubah pada saat melakukan uji coba untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada gerakan dan suara yang dihasilkan. Uji coba dilakukan terhadap tiga material, yaitu material kaca, batu dan keramik. Data model untuk uji coba material kaca dapat dilihat pada tabel 2, untuk material batu pada Tabel 3 dan untuk material keramik pada Tabel 4.

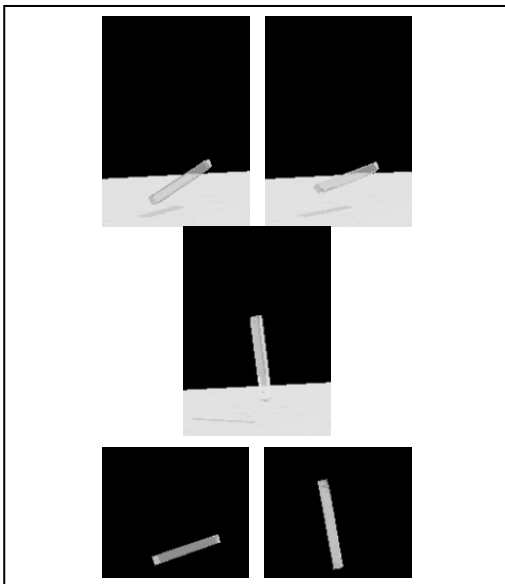
- **Material Kaca**

Tabel 2. Nilai *material properties* yang digunakan untuk uji coba material kaca.

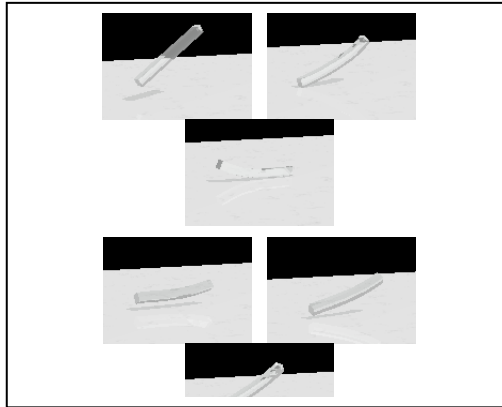
Nama	Material Properties					Waktu (detik)
	Lamda	Mu	Phi	Psi	Density	
<i>balok_kaca.ply</i>	1.04x10 ⁸	1.04x10 ⁸	0	6760	2588	89.245
<i>balok_kaca_mod.ply</i>	1.04x10 ⁶	1.04x10 ⁶	0	67.60	2588	92.073
<i>balok_kaca_mod1.ply</i>	1.04x10 ⁷	1.04x10 ⁷	0	676.0	2588	90.453
<i>balok_kaca_mod2.ply</i>	1.04x10 ⁸	1.04x10 ⁸	0	676.0	2588	91.561
<i>balok_kaca_mod3.ply</i>	1.04x10 ⁸	1.04x10 ⁸	0	67.60	2588	91.738

Gerakan yang dihasilkan dengan model *balok_kaca.ply* terlihat tidak wajar. Balok memantul dengan kecepatan yang sangat tinggi, lebih dari 1 meter yang merupakan posisi awal benda. Disamping gerakan yang dihasilkan terlihat tidak wajar, suara yang dihasilkan juga tidak bisa didengarkan dengan jelas, yang terdengar hanya suara bising (Gambar 2).

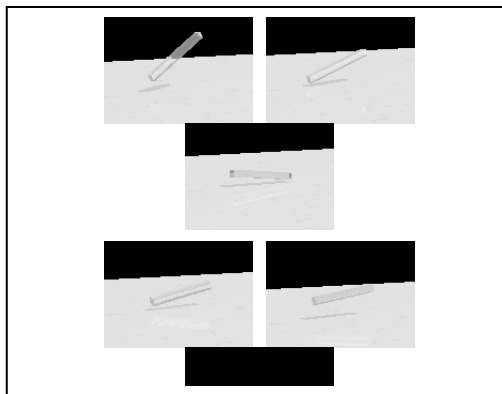
Dari hasil kelima uji coba yang dilakukan, terlihat bahwa semakin kecil nilai *lamda* dan *mu* yang digunakan, model akan terlihat semakin lentur. Demikian pula sebaliknya. Untuk material kaca, dengan nilai *lamda* dan *mu* sebesar 1.04×10^8 , model sudah terlihat keras, akan tetapi meminta nilai *phi* dan *psi* yang lebih kecil untuk menghasilkan gerakan yang wajar. Semakin kecil nilai *phi* dan *psi* yang digunakan, suara yang dihasilkan akan semakin nyaring. Waktu yang digunakan untuk melakukan penghitungan gerakan dan suara untuk semua percobaan tidak berbeda jauh, sehingga bisa dikatakan perubahan yang dilakukan tidak mempengaruhi waktu penghitungan. Gambar 7 menunjukkan hasil uji coba dengan nilai *lamda* dan *mu* yang kecil, balok masih terlihat melengkung. Sedangkan Gambar 8 menunjukkan hasil uji coba dengan nilai *lamda* dan *mu* yang cukup besar, sehingga balok terlihat tidak melengkung.



Gambar 2. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model *balok_kaca.ply*



Gambar 3. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model *balok_kaca_mod.ply*



Gambar 4. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model *balok_kaca_mod3.ply*

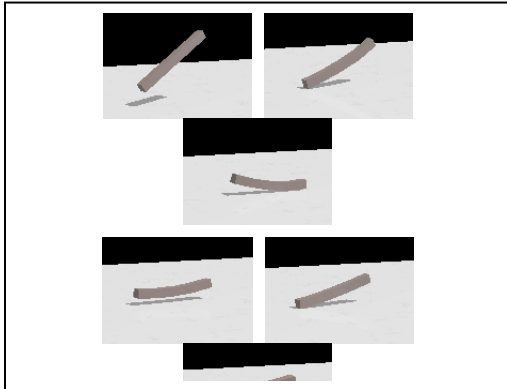
- **Material Batu**

Tabel 3. Nilai *material properties* yang digunakan untuk uji coba material batu

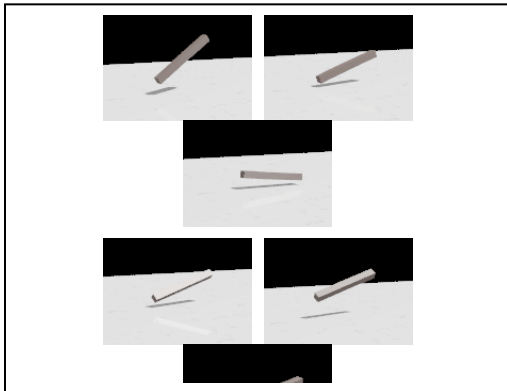
Nama	Material Properties					Waktu (detik)
	Lam-da	Mu	Phi	Psi	Den-sity	
<i>balok_batu.ply</i>	6.03×10^8	1.21×10^8	3015	6030	2309	-
<i>balok_batu_mod.ply</i>	6.03×10^6	1.21×10^6	30.15	60.30	2309	89.080
<i>balok_batu_mod1.ply</i>	6.03×10^7	1.21×10^7	301.5	603.0	2309	88.995
<i>balok_batu_mod2.ply</i>	6.03×10^8	1.21×10^8	301.5	603.0	2309	88.968
<i>balok_batu_mod3.ply</i>	6.03×10^8	1.21×10^8	30.15	60.30	2309	88.953
<i>balok_batu_mod4.ply</i>	6.03×10^8	1.21×10^8	3.015	6.030	2309	90.375

Uji coba dengan menggunakan model *balok_batu.ply* menyebabkan *error* pada saat penghitungan gerakan, sehingga gerakan tidak bisa dihasilkan, demikian juga dengan suaranya. Untuk kelima model yang lain, dilakukan perubahan-perubahan dari model *balok_batu.ply*, seperti yang dilakukan pada uji coba material kaca. Berikut ditampilkan dua dari lima hasil uji coba material batu. Gambar 5 menunjukkan hasil uji coba dengan nilai *lamda* dan *mu* yang cukup kecil, sehingga balok melengkung saat membentur lantai (lentur). Sedangkan Gambar 6 menunjukkan hasil uji coba dengan nilai *lamda* dan *mu* yang cukup besar, sehingga balok

tidak melengkung pada saat membentur lantai (tidak lentur).



Gambar 5. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model *balok_batu_mod.ply*



Gambar 6. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model *balok_batu_mod4.ply*

Hasil dari kelima percobaan yang dilakukan dengan material batu menunjukkan bahwa semakin kecilnya nilai *lamda* dan *mu* menyebabkan model semakin lentur, demikian pula sebaliknya. Dengan *lamda* sebesar 6.03×10^8 dan *mu* sebesar 1.21×10^8 membuat model terlihat keras, akan tetapi membutuhkan nilai *phi* yang lebih kecil dari 3015 dan nilai *psi* yang lebih kecil dari 6030. Semakin kecil nilai *phi* dan *psi* menyebabkan suara yang dihasilkan semakin nyaring. Seperti material kaca, waktu penghitungan tidak begitu dipengaruhi oleh perubahan yang dilakukan terhadap nilai-nilai *material properties*.

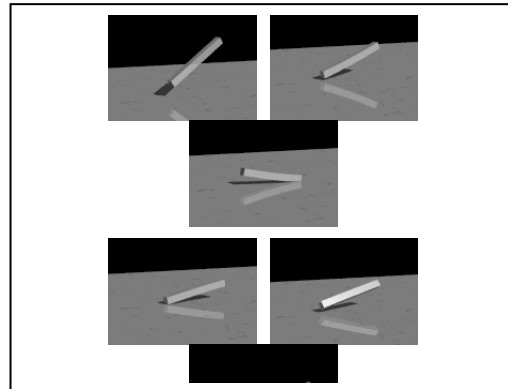
- Material Keramik

Tabel 4. Nilai *material properties* yang digunakan untuk uji coba material keramik

Nama	Material Properties					Waktu (detik)
	Lamda	Mu	Phi	Psi	Density	

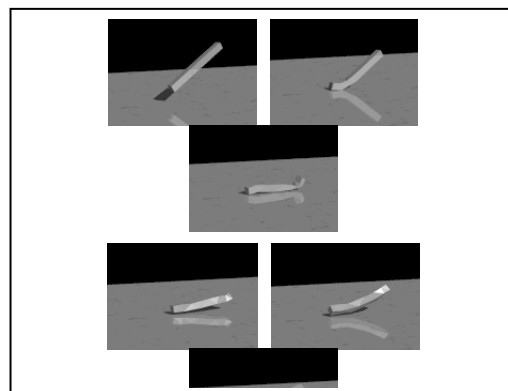
<i>balok_keramik.ply</i>	2.65×10^6	3.97×10^6	264	397	1013	89.026
<i>balok_keramik_mod.ply</i>	2.65×10^4	3.97×10^4	2.64	3.97	1013	88.943
<i>balok_keramik_mod1.ply</i>	2.65×10^5	3.97×10^5	26.4	39.7	1013	88.959
<i>balok_keramik_mod2.ply</i>	2.65×10^6	3.97×10^6	26.4	39.7	1013	89.047
<i>balok_keramik_mod3.ply</i>	2.65×10^6	3.97×10^6	2.64	3.97	1013	91.794
<i>balok_keramik_mod4.ply</i>	2.65×10^7	3.97×10^7	264	397	1013	88.965

Tidak seperti material kaca dan material batu, material keramik tidak menyebabkan *error* pada saat penghitungan, gerakan dan suara yang dihasilkan juga cukup wajar. Walaupun demikian, balok terlihat lentur. Pada saat membentur lantai, balok menjadi bengkok. Sedangkan suara yang dihasilkan terdengar sesuai dengan gerakan benda. Cuplikan gerakan beserta grafik suara yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 7. Nilai *material properties* dari kelima model yang lain diperoleh dengan mengubah-ubah nilai *material properties* dari model *balok_keramik.ply*, seperti yang dilakukan pada uji coba terhadap 2 material sebelumnya.

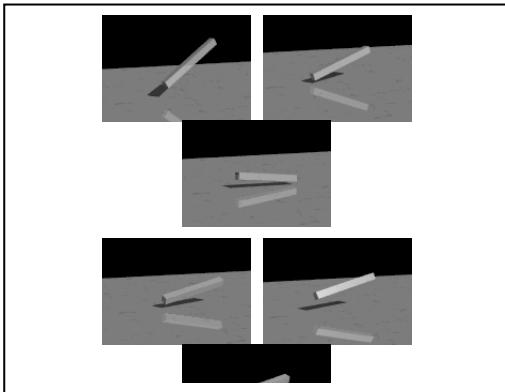


Gambar 7. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model *balok_keramik.ply*.

Dengan menggunakan nilai *lamda* dan *mu* yang cukup kecil, balok menjadi sangat lentur. Balok bukan saja melengkung, akan tetapi bentuknya menjadi aneh (Gambar 8). Dengan memperbesar nilai *lamda* dan *mu*, balok menjadi semakin kaku/keras, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model *balok_keramik_mod.ply*



Gambar 9. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model balok_keramik_mod4.ply

Dari hasil uji coba yang dilakukan terhadap material keramik, sama seperti dua material sebelumnya, semakin kecil nilai *lamda* dan *mu* akan menyebabkan model semakin lentur. Demikian pula halnya dengan nilai *phi* dan *psi*, semakin kecil nilai keduanya, suara yang dihasilkan juga akan semakin nyaring. Material keramik membutuhkan nilai *lamda* sebesar 2.65×10^7 dan *mu* sebesar 3.97×10^7 agar tidak lentur. Waktu penghitungan juga tidak begitu dipengaruhi oleh perubahan nilai material yang dilakukan.

Tabel 5. Data-data dari model dan waktu yang diperlukan untuk melakukan penghitungan gerakan dan suara.

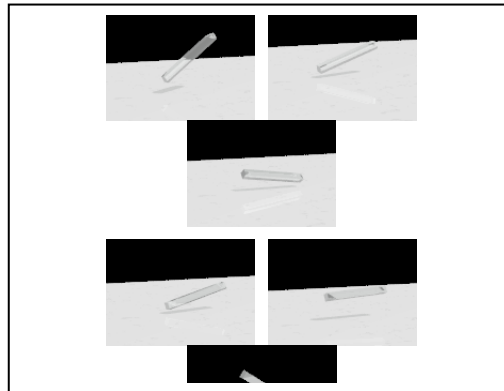
Nama	Jumlah Iterasi	Audi-orate	Waktu (detik)
<i>balok_kaca.ply</i>	1000000	44100	4947.656
<i>balok_batu.ply</i>	1000000	44100	4540.776
<i>balok_keramik.ply</i>	1000000	44100	4957.914
<i>balok_batu_mod4.ply</i>	44100	40000	88.965
<i>balok_batu_mod4.ply</i>	44100	20000	88.965
<i>balok_batu_mod4.ply</i>	44100	10000	91.794
<i>balok_batu_mod4.ply</i>	44100	1000	88.965

4.3. Uji Coba Skenario 3

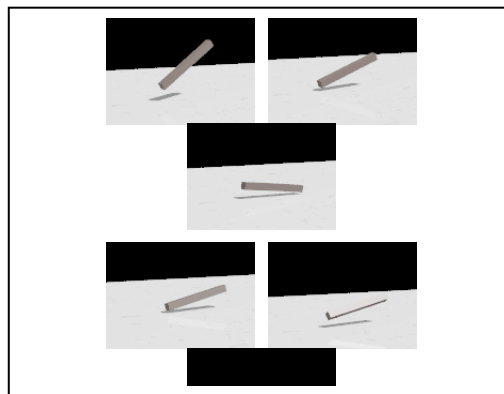
Uji coba yang dilakukan dengan skenario ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah iterasi yang digunakan untuk melakukan perhitungan terhadap gerakan dan suara yang dihasilkan serta waktu yang dibutuhkan untuk melakukan penghitungan. Model-model yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5, yang dilengkapi dengan waktu penghitungan.

Uji coba akan dilakukan terhadap ketiga material sebelumnya menggunakan iterasi yang lebih banyak, yaitu 10^6 untuk satu detik animasi. Model-model yang akan digunakan

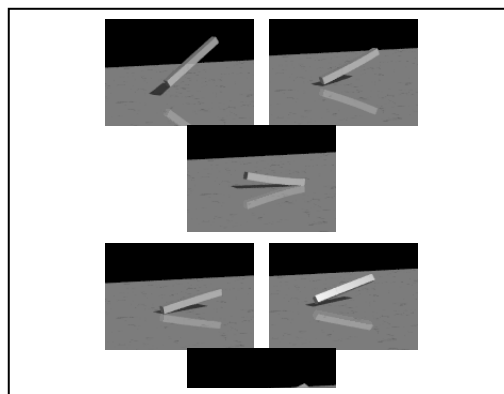
adalah *balok_kaca.ply*, *balok_batu.ply* dan *balok_keramik.ply*. Berikut ditampilkan hasil-hasil uji dari ketiga model tersebut:



Gambar 10. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model balok_kaca.ply



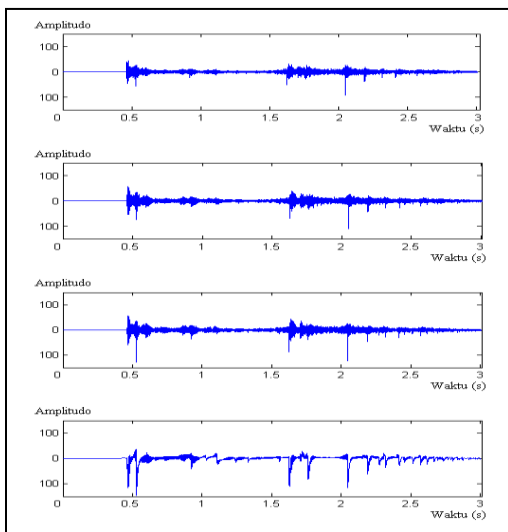
Gambar 11. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model balok_batu.ply



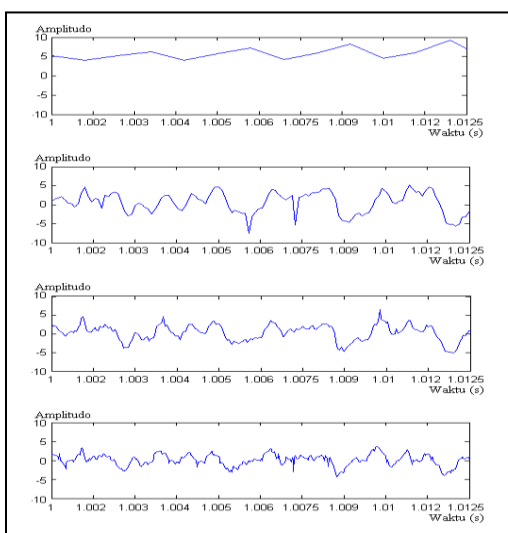
Gambar 12. Cuplikan gerakan (atas) dan grafik suara (bawah) dari model balok_keramik.ply

Untuk mengetahui lebih jelas pengaruh jumlah iterasi terhadap suara yang dihasilkan, dilakukan uji coba terhadap model yang lain, yaitu *balok_batu_mod4.ply*. Pengujian dilakukan dengan jumlah iterasi 44100 untuk 1 detik animasi, dan dilakukan sebanyak 4 kali dengan *audiorate* (jumlah pengambilan sampel dalam 1 detik) yang berbeda-beda, yaitu 40000, 20000, 10000, dan

1000. Berikut ditampilkan hasil dari uji coba berupa grafik suara dari keempat model. Gambar 13 menunjukkan grafik suara secara keseluruhan, sedangkan gambar 14 menunjukkan sebagian saja untuk memperjelas perbedaan, yaitu dari detik ke-1 sampai detik ke-1.0125.



Gambar 13. Grafik suara yang dihasilkan dengan audiorate yang berbeda. (a) menggunakan audiorate 40000, (b) menggunakan audiorate 20000, (c) menggunakan audiorate 10000, (d) menggunakan audiorate 1000.



Gambar 14. Grafik suara yang dihasilkan dengan audiorate yang berbeda pada detik ke 1 sampai detik ke 1.0125 (Lebih detail). (a) menggunakan audiorate 1000, (b) menggunakan audiorate 10000, (c) menggunakan audiorate 20000, (d) menggunakan audiorate 40000

Dari hasil uji coba yang dilakukan pada skenario 3, dapat disimpulkan bahwa jumlah iterasi yang besar tidak menyebabkan terjadinya kesalahan (*error*) pada saat penghitungan (seperti uji coba pada skenario 2), akan tetapi membutuhkan waktu yang jauh lebih banyak. Semakin kecil jumlah iterasi (di bawah 40000 kali) tidak dapat menghasilkan suara yang memiliki frekwensi tinggi. Jadi semakin kecil jumlah iterasi, suara yang dihasilkan akan terdengar semakin rendah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pada pembuatan sistem serta hasil uji coba yang telah dilakukan terhadap sistem, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Jumlah titik, *face*, dan *element* dari model mempengaruhi waktu penghitungan gerakan dan suara. Hal ini disebabkan karena penghitungan dilakukan sebanyak jumlah titik, *face* dan *element* yang terdapat pada model pada setiap iterasi. Semakin banyak jumlah ketiga komponen tersebut, waktu yang diperlukan untuk menghitung gerakan dan suara akan semakin banyak.
2. *Material properties* yang digunakan untuk menghitung gerakan dan suara menentukan gerakan dan suara yang dihasilkan. Nilai *lamda* dan *mu* yang terlalu kecil akan menyebabkan model menjadi lentur. Sebaliknya, semakin besar nilai *lamda* dan *mu*, model akan semakin keras. Semakin kecil nilai *phi* dan *psi* yang digunakan, suara yang dihasilkan semakin nyaring. Demikian pula sebaliknya.
3. Jumlah iterasi yang digunakan untuk melakukan penghitungan berpengaruh terhadap waktu penghitungan, gerakan serta kualitas suara yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah iterasi yang digunakan, gerakan dan suara yang dihasilkan semakin bagus, akan tetapi membutuhkan waktu yang semakin banyak. Jumlah iterasi yang terlalu kecil dapat menyebabkan terjadinya kesalahan dalam penghitungan dan mengurangi kualitas suara yang dihasilkan, tapi mempercepat proses penghitungan. Jumlah iterasi minimal yang dibutuhkan untuk menghasilkan suara dengan frekwensi maksimal, yaitu 20 KHz adalah 40000.

6. SARAN

Saran untuk pengembangan lebih lanjut dari hasil perancangan perangkat lunak dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada Tugas Akhir ini, gerakan benda hanya dibatasi pada gerakan jatuh bebas dari benda untuk mengurangi pendeteksian benturan antar objek. Telah dikembangkan berbagai metode untuk mendeteksi benturan antar objek 3 dimensi. Sistem pada Tugas Akhir ini dapat dikembangkan agar dapat mendeteksi benturan antar objek, sehingga gerakan yang dihasilkan bukan hanya gerakan jatuh bebas benda, dan jumlah benda yang disimulasikan bisa lebih dari 1.

2. Pada Tugas Akhir ini, aplikasi *NETGEN* digunakan untuk membangun model dan aplikasi *POV-Ray* digunakan untuk menghasilkan gambar, sehingga sistem bergantung pada kedua aplikasi tersebut. Sistem dapat dikembangkan menjadi sebuah aplikasi yang dapat membangun model 3 dimensi, melakukan penghitungan gerakan dan suara, serta menghasilkan gambar dan suara hasil simulasi.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Anamateros, Jason, "Digital Sound", <http://uhaweb.hartford.edu/anamatero/page4.htm>, 2004.
2. Gary, "A Basic Introduction to Digital Audio Recording", <http://www.garys.web.st/basicintro.htm>, 2005.
3. Guerin, Robert., "CUBASE SX Power", 2002.
4. Hill, F. S. Jr., "Graphics Using OpenGL", Edisi kedua, Prentice Hall, 1990.
5. Keow, O. Hwee, "Physical Simulation Using FEM and LEM", School of Computer Engineering, Juni 2004.
6. O'Brien, J. F. dan Hodgins, J. K. , "Graphical Modeling and Animation of Brittle Fracture", 1999.
7. O'Brien, J. F. dan Hodgins, J. K. , "Synthesizing Sounds from Physically Based Motion", 2001.
8. Schöberl, Joachim, "NETGEN 4.3", www.sfb013.unilinz.ac.at/~joachim/netgen, Januari 2004.
9. Sutrisno, "Seri Fisika, Fisika Dasar-Mekanika", ITB, Bandung, 1996.
10. Wolf, David A. , "An Implementation of Physical Simulation for Animation of Brittle and Ductile Fracture", 2002.
11. "Data Output", http://magnet.atp.tuwien.ac.at/scholz/projects/_diss/html/node37.html, 2003.
12. "MATLAB Compiler", MATLAB 6.5 Help, 2002.
13. "OpenGL Programming Guide, Second Edition", Addison-Wesley, Kanada, 1997.
14. "POV-Ray for Windows Help", 2004.
15. "What is Animation", http://vseonline.com/animationmaker/gifanimations/animated_gifs/what-is-animation.html, 2005.