

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI

Using Bondgraph in the Electric Circuit Course for Undergraduate Student

Model Penentuan Panjang Periode Ketidakersediaan Fuzzy Untuk Penetapan Tanggal Jatuh Penjadwalan FlowShop

Metode *Time Discontinuous Galerkin* Orde Tinggi Untuk Simulasi Numerik Getaran Paksa Berbasis Pemrograman Berorientasi Obyek

Pembangunan Perangkat Lunak Pencarian Pustaka Berbasis Sistem Rekomendasi Menggunakan Analisis *Cluster*

Analisis Manajemen Resiko Perangkat Lunak dengan Pendekatan *Just-in-Time*: Studi Kasus Optimasi Organisasi dan Dokumentasi pada Organisasi Pengembang Perangkat Lunak

Membangun Utilitas SMS Berbasis Linux

Pembagian Kelas Peserta Kuliah Berdasarkan *Fuzzy Clustering* dan *Partition Coefficient and Exponential Separation (PCAES) Index*

Analisis Penggunaan Antena *Double Ring Base* untuk Pemancaran ke Semua Arah pada FM (Frekuensi Modulasi)

Kombinasi Strategi Distribusi untuk Menurunkan Biaya Logistik

| | | | | | |
|-----|---------|-------|--------------|--------------------------|-------------------|
| JTI | Vol. XI | No. 2 | Hal. 85 -177 | Yogyakarta April 2007 | ISSN 1410-5004 |
|-----|---------|-------|--------------|--------------------------|-------------------|



UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
Fakultas Teknologi Industri

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI
ISSN 1410-5004

AKREDITASI

Keputusan
Direktur Jendral Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional
Nomor: 23a/DIKTI/Kep/2004

DEWAN REDAKSI

Penanggung Jawab
Paulus Mudjihartono

Pemimpin Redaksi
Yashinta S. Setio Wigati

Redaksi Pelaksana
Thomas Suselo

Anggota Redaksi
Alb. Joko Santoso
Benyamin L. Sinaga
Luciana Triani Dewi
V. Darsono

Redaksi Ahli
A.M. Madyana
Universitas Gadjah Mada
B. Kristyanto
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
F. Soesianto
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
I Nyoman Pujawan
Institut Teknologi Surabaya
Inggriani Liem
Institut Teknologi Bandung
Subanar
Universitas Gadjah Mada
Suyoto
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Layanan *online* internet tersedia dengan
alamat: <http://fti.uajy.ac.id/jurnal>

Alamat Redaksi

Tata Usaha Fakultas Teknologi Industri
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jln. Babarsari No. 43, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 487711 Fax. (0274) 485223
E-mail: jti@mail.uajy.ac.id
Home page: <http://fti.uajy.ac.id/jurnal>

Jurnal Teknologi Industri diterbitkan oleh Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta sebagai media untuk menyalurkan pemahaman tentang aspek-aspek teknologi baik teknologi industri maupun teknologi informasi berupa hasil penelitian lapangan atau laboratorium maupun studi pustaka. Jurnal ini terbit empat kali dalam setahun yaitu pada bulan **Januari, April, Juli, dan Oktober**. Redaksi menerima sumbangan naskah dari dosen, peneliti, mahasiswa maupun praktisi dengan ketentuan penulisan seperti tercantum pada halaman dalam sampul belakang.

Distribusi

Pusat Pemasaran Universitas (PPU)
Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Gedung Don Bosko
Jln. Babarsari No. 5, Yogyakarta 55281
Telp. (0274) 487711 Fax. (0274) 487748
E-mail: ppu@mail.uajy.ac.id

Biaya Berlangganan

Langganan Rp 200.000,00/tahun
Eceran Rp 60.000,00/nomor

Biaya Penulisan

Bagi penulis yang naskahnya diterbitkan, penulis diwajibkan membayar biaya sebesar Rp 500.000,00 per naskah (sudah termasuk biaya berlangganan selama 1 tahun).

Rekening (Bank Account)

Bank Lippo Kantor Kas UAJY Babarsari
a.n. Universitas Atma Jaya Yogyakarta
No. Acc. 787-30-00754-2

JURNAL TEKNOLOGI INDUSTRI

Volume XI Nomor 2 April 2007

DAFTAR ISI

- Using Bondgraph in the Electric Circuit Course for Undergraduate Student* 85 - 92
Hany Ferdinando, Emmy Hosea, Johan
- Model Penentuan Panjang Periode Ketidaktersediaan Fuzzy 93 - 102
Untuk Penetapan Tanggal Jatuh Penjadwalan *FlowShop*
Parama Kartika Dewa SP dan Ernawati
- Metode *Time Discontinuous Galerkin* Orde Tinggi Untuk Simulasi Numerik 103 - 112
Getaran Paksa Berbasis Pemrograman Berorientasi Obyek
Pranowo dan Lukito Edi Nugroho
- Pembangunan Perangkat Lunak Pencarian Pustaka Berbasis Sistem 113 - 120
Rekomendasi Menggunakan Analisis *Cluster*
Rokhi Alfausa, F. Sapty Rahayu, Alb. Joko Santoso
- Analisis Manajemen Resiko Perangkat Lunak dengan Pendekatan *Just-in-Time*: Studi Kasus Optimasi Organisasi dan Dokumentasi pada Organisasi Pengembang Perangkat Lunak 121 - 132
Thomas Suselo
- Membangun Utilitas SMS Berbasis Linux 133 - 142
Wagito
- Pembagian Kelas Peserta Kuliah Berdasarkan *Fuzzy Clustering* dan *Partition Coefficient and Exponential Separation (PCAES) Index* 143 - 154
Susanto, S. dan Ernawati
- Analisis Penggunaan Antena *Double Ring Base* untuk Pemancaran ke Semua Arah pada FM (Frekuensi Modulasi) 155 - 166
Nasron
- Kombinasi Strategi Distribusi untuk Menurunkan Biaya Logistik 167 - 177
Josef Hernawan Nudu

Metode Time Discontinuous Galerkin Orde Tinggi Untuk Simulasi Numerik Getaran Paksa Berbasis Pemrograman Berorientasi Obyek

Pranowo¹ dan Lukito Edi Nugroho²

¹ Teknik Informatika Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Jl. Babarsari 43, Yogyakarta 55281

E-mail : pran@mail.uajy.ac.id

² Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281

E-mail : lukito@mti.ugm.ac.id

Abstract

This paper describes with the formulation, implementation and application of time discontinuous galerkin for solving initial value problem. Galerkin weighted residual methods using discontinuous approximations are developed, the formulation of the methods is based on high degree of Lagrange Legendre interpolants in time. The computer programs are written in C++ based on object oriented programming. Numerical simulation of forced vibration systems are presented illustrating the performance of the proposed schemes and confirming the analytical results.

Keywords: Time-Discontinuous Galerkin, object oriented programming, forced vibration

1. Pendahuluan

Model matematika untuk getaran teredam berupa persamaan differensial biasa yang mengandung turunan waktu yang lebih dikenal dengan nama persoalan dengan syarat awal. Pada umumnya penyelesaian numerik untuk persamaan tersebut menggunakan metode beda hingga dan Runge-Kutta. Pengembangan metode beda hingga untuk orde akurasi lebih dari 2 sukar dilakukan. Pengembangan metode ini secara eksplisit maupun implisit untuk berbagai orde akurasi dapat dilihat pada Ghrist (1998). Sedangkan metode Runge-Kutta susah dikembangkan untuk orde akurasi lebih dari 5, karena kompleksitasnya meningkat tajam seiring meningkatnya orde akurasi. Sehingga metode Runge-Kutta dengan orde lebih dari 5 dianggap tidak efisien.

Metode elemen hingga yang penggunaannya hampir menjangkau semua bidang aplikasi, relatif jarang mendapat perhatian untuk dikembangkan untuk penyelesaian persoalan dengan syarat awal karena masih sering dianggap bahwa metode ini hanya untuk permasalahan struktur/konstruksi. Usaha-usaha untuk mengembangkan metode ini untuk persoalan dengan syarat awal telah dilakukan oleh Park (1996) dan Bauer (1995). Park menggunakan berbagai macam polinomial, yaitu: Hermite, Legendre dan Chebyshev sebagai fungsi basis. Park menerapkan metode elemen hingga untuk menyelesaikan permasalahan di bidang sistem kendali. Untuk mendapatkan sistem persamaan aljabar, Park menggunakan prosedur Galerkin. Sedangkan Brauer menggunakan *Discontinuous Galerkin*, tetapi fungsi basis yang digunakan terbatas hanya sampai polinomial biasa orde 3 (kubik).

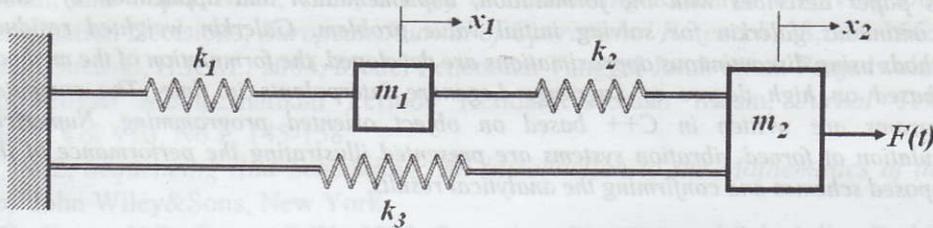
Metode *Discontinuous galerkin* merupakan metode elemen hingga dengan fungsi basis yang diskontinyu pada sisi-sisi elemen. Kontinuitas antar elemen dijaga dengan menambahkan fluks seperti pada metode volume hingga. Metode ini cocok untuk persoalan yang mengandung diskontinuitas.

Paper ini dalam perhitungannya menggunakan metode *Discontinuous galerkin* untuk diskretisasi waktu pada persamaan model getaran paksa, sehingga metode tersebut disebut *Time-Discontinuous Galerkin*. Sedangkan fungsi basis yang digunakan adalah fungsi Lagrange dengan polinomial Legendre orde tinggi. Integrasi persamaan aljabarnya dilakukan dengan kuadratur Gauss Lobatto-Legendre. Pemrograman berorientasi objek digunakan untuk implementasi perhitungan numerik ke dalam program komputer karena mempunyai ekstensibilitas yang tinggi.

2. Formulasi

a. Persamaan Model Sistem Getaran Paksa

Sistem getaran paksa yang ditinjau adalah sistem dengan dua derajat kebebasan seperti berikut (Meirovitch, 1986) :



Gambar 1. Sistem Getaran Paksa

dengan (k_1, k_2, k_3) adalah konstanta kekakuan pegas, (m_1, m_2) adalah massa, (x_1, x_2) adalah peralihan (*displacement*), t adalah waktu dan $F(t)$ adalah gaya paksa. Persamaan model untuk sistem di atas adalah:

$$m_1 \frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} + (k_1 + k_2)x_1(t) - k_2 x_2(t) = 0 \tag{1}$$

$$m_2 \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} - k_2 x_1(t) + (k_2 + k_3)x_2(t) = F(t) \tag{2}$$

Sistem persamaan persamaan di atas agar dapat diselesaikan dengan metode *Time-Discontinuous galerkin* diubah menjadi sistem persamaan diferensial biasa berorde 1 dengan menambahkan variabel kecepatan :

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = v_1(t) \quad \text{dan} \quad \frac{dx_2(t)}{dt} = v_2(t) \tag{3}$$

Sehingga persamaan model di atas menjadi:

$$\mathbf{M}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} = \mathbf{F} \quad (4)$$

dengan

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ v_1(t) \\ v_2(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ (k_1+k_2) & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2+k_3) & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ F(t) \end{bmatrix}$$

b. Metode Time-Discontinuous galerkin Orde Tinggi

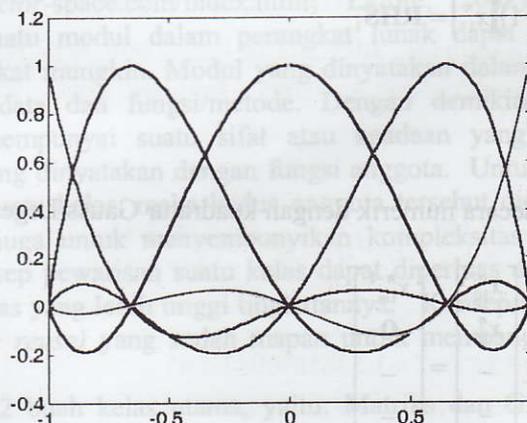
Persamaan (3) diambil sebagai contoh untuk diskretisasi dengan metode *Time-Discontinuous galerkin* (TDG). Domain waktu dibagi menjadi sejumlah interval/elemen, pada setiap elemen waktu ini variabel peralihan dan kecepatan diekspansi menggunakan fungsi Lagrange dengan polinomial Legendre orde tinggi (Sherwin & Karniadakis, 1999):

$$x_1 = \sum_{i=0}^m h_i(t)(x_1)_i = [h][x_1] \quad (5)$$

$$v_1 = \sum_{i=0}^m h_i(t)(v_1)_i = [h][v_1]$$

Fungsi Lagrange dengan polinomial Legendre dengan orde- m

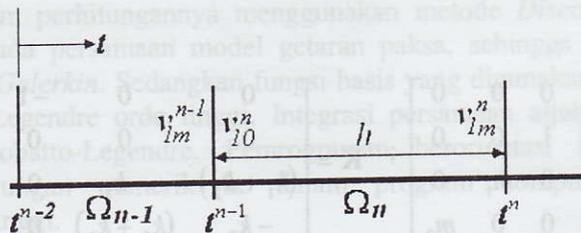
$$h_i(x) = \frac{(x^2 - 1)L'_m(x)}{m(m+1)L_m(x_i)(x - x_i)} \quad (6)$$



Gambar 2. Fungsi Lagrange dengan polinomial Legendre orde-4

Setelah proses ekspansi dilakukan selanjutnya adalah integrasi sesuai dengan Galerkin prosedur dan menambahkan flux untuk menjaga kontinuitas:

$$\int_{\Omega} [h]^T \left(\frac{dx_i}{dt} - v_i \right) dt + (x_{i0}^n - x_{im}^{n-1}) = 0 \quad (7)$$



Gambar 3. Diskretisasi waktu

Koordinat global (t) ditransformasi ke dalam koordinat lokal (ξ), setiap elemen $\Omega_n = [t^{n-1}, t^n]$ ditransformasi ke dalam elemen $\Omega_n = [-1, 1]$.

$$t = \frac{h\xi + t^{n-1} + t^n}{2} \quad (8)$$

$$\frac{dt}{d\xi} = \frac{h}{2}, \quad dt = \frac{dt}{d\xi} d\xi = \frac{h}{2} d\xi$$

Sehingga persamaan (3) menjadi :

$$\int_{-1}^1 [h(\xi)]^T \frac{d}{d\xi} [h(\xi)] [x_1^n] d\xi - \frac{h}{2} \int_{-1}^1 [h(\xi)]^T [h(\xi)] [x_1^n] d\xi + \quad (9)$$

$$[h(\xi = -1)]^T [h(\xi = -1)] [x_1^n] = \mathbf{RHS}_1$$

$$\mathbf{RHS}_1 = [x_{1m}^{n-1} \quad 0 \quad - \quad - \quad 0]^T$$

Integrasi di atas dilakukan secara numerik dengan kuadratur Gauss Legendre-Lobatto.

$$\mathbf{W} \mathbf{D} \begin{bmatrix} x_{10}^n \\ x_{10}^n \\ - \\ - \\ x_{1m}^n \end{bmatrix} - \frac{h}{2} \mathbf{W} \begin{bmatrix} v_{10}^n \\ v_{10}^n \\ - \\ - \\ v_{1m}^n \end{bmatrix} + \mathbf{F}_L \begin{bmatrix} x_{10}^n \\ x_{10}^n \\ - \\ - \\ x_{1m}^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1m}^{n-1} \\ 0 \\ - \\ - \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

\mathbf{W} adalah matriks bobot, \mathbf{D} adalah matriks turunan dan \mathbf{F}_L adalah matriks fluks

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \omega_0 & - & - & - & 0 \\ 0 & \omega_1 & - & - & - \\ - & - & \cdot & - & - \\ - & - & - & \cdot & - \\ 0 & - & - & - & \omega_m \end{bmatrix} \quad \mathbf{D} = \frac{\partial h_j(\xi_i)}{\partial \xi} \begin{cases} L_m(\xi_i) & \text{if } i \neq j \\ L_m(\xi_j)(\xi_i - \xi_j) & \text{if } i = j, i \neq 0, m \\ 0 & \text{if } i = j = 0 \\ -m(m+1) & \text{if } i = j = 0 \\ \frac{4}{m(m+1)} & \text{if } i = j = m \\ \frac{4}{4} & \text{if } i = j = m \end{cases} \quad (11)$$

$$\mathbf{F}_L = \begin{bmatrix} 1 & - & - & - & 0 \\ 0 & 0 & - & - & - \\ - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & 0 \\ 0 & - & - & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Persamaan yang lain dipecah dalam bentuk diskret dengan cara yang sama sehingga diperoleh sistem persamaan linier simultan:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{W}\mathbf{D} + \mathbf{F}_L & 0 & -\mathbf{W} & 0 \\ - & \mathbf{W}\mathbf{D} + \mathbf{F}_L & 0 & -\mathbf{W} \\ \frac{h}{2}(k_1 + k_2)\mathbf{W} & -\frac{h}{2}k_2\mathbf{W} & m_1\mathbf{W}\mathbf{D} + \mathbf{F}_L & 0 \\ -\frac{h}{2}k_2\mathbf{W} & \frac{h}{2}(k_2 + k_3)\mathbf{W} & 0 & m_2\mathbf{W}\mathbf{D} + \mathbf{F}_L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1^n \\ x_2^n \\ v_1^n \\ v_2^n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{RHS}_1 \\ \mathbf{RHS}_2 \\ \mathbf{RHS}_3 \\ \mathbf{RHS}_4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

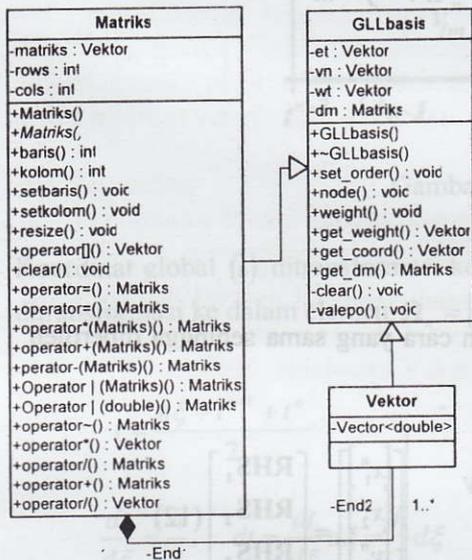
Gambar 6. Peralihan x , vs. Waktu

3. Pemrograman Berorientasi Objek

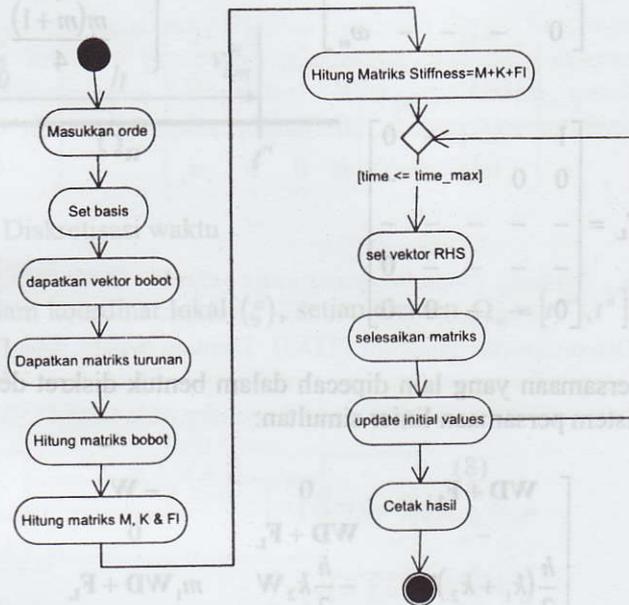
Tema pokok dalam pemrograman berorientasi objek adalah abstraksi data dan pewarisan (*inheritance*) (<http://vector-space.com/index.html>; Lafore, 2002). Dengan menggunakan abstraksi data maka suatu modul dalam perangkat lunak dapat memodelkan suatu objek dalam dunia nyata sedekat mungkin. Modul yang dinyatakan dalam bentuk kelas mempunyai anggota yang berupa data dan fungsi/metode. Dengan demikian kelas yang merupakan *template* dari objek mempunyai suatu sifat atau keadaan yang dinyatakan dengan data anggota dan perilaku yang dinyatakan dengan fungsi anggota. Untuk melindungi anggota data maupun fungsi dalam suatu kelas, maka kedua anggota tersebut dienkapsulasi, selain sebagai pelindung enkapsulasi juga untuk menyembunyikan kompleksitas kelas tersebut dari pihak luar kelas. Dengan konsep pewarisan suatu kelas dapat diperluas dengan cara mewarisi data maupun metode dari kelas yang lebih tinggi tingkatannya. Konsep ini mendukung penggunaan ulang suatu kelas (*code reuse*) yang sudah mapan untuk membangun suatu perangkat lunak yang baru.

Dalam paper ini 2 buah kelas utama, yaitu: Matriks dan GLLbasis dibuat untuk melakukan perhitungan numerik. Kelas Matriks disusun dari *vector Standard Template Library* (STL) bertipe *double* dan berguna untuk melakukan operasi matriks berikut penyelesaiannya. Penggunaan STL ini disebabkan karena STL mempunyai kualitas yang bagus dibanding jika matriks dibuat dengan menggunakan pointer yang rentan terhadap kesalahan. Sedangkan Obyek GLLbasis berguna untuk perhitungan fungsi basis dan

menyediakan vektor koordinat lokal, bobot dan matriks turunan untuk berbagai order. Gambar 4 menunjukkan diagram kelas UML dari perangkat lunak yang dibuat, lengkap dengan data dan metode yang ada. Gambar 5 menunjukkan urutan proses yang terjadi pada perangkat lunak.



Gambar 4. Diagram Kelas



Gambar 5. Diagram Aktifitas

4. Hasil dan Pembahasan

Simulasi getaran paksa dilakukan dengan nilai : $k_1 = k_2 = k_3 = k = 900 \text{ kg}$, $m_1 = 1 \text{ kg}$, $m_2 = 2 \text{ kg}$ dan $F = 10u(t) \text{ N}$, $u(t)$ adalah fungsi unit step. Waktu simulasi mulai dari 0 sampai 1 dengan langkah waktu $h = 0.005$. Jawaban eksak dari simulasi ini adalah (Meirovitch, 1986):

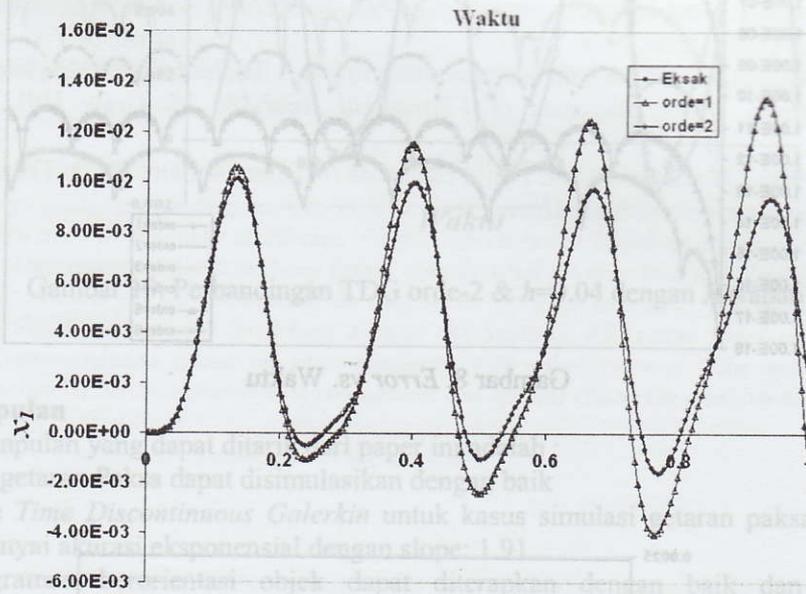
$$x_1(t) = \frac{F_0}{k} \left(d_1 \left(1 - \cos \left(w_1 \sqrt{\frac{k}{m}} t \right) \right) + d_2 \left(1 - \cos \left(w_2 \sqrt{\frac{k}{m}} t \right) \right) \right) \quad (13)$$

$$w_1 = 0.79622521701813 \text{ , } w_2 = 1.53818900132085$$

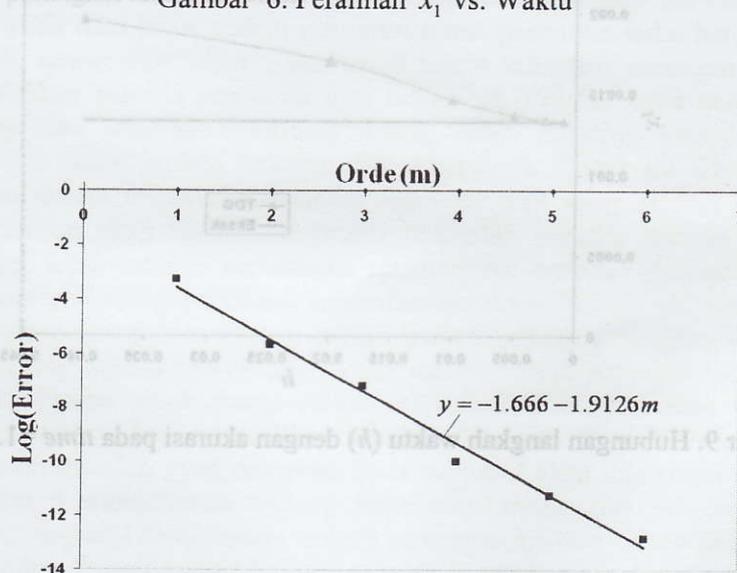
$$d_1 = 0.45534180126148 \text{ , } d_2 = -0.12200846792815$$

Gambar 6 menunjukkan amplitudo peralihan x_1 , dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa metode TDG orde-1 mempunyai galat (error) paling besar. Jika orde dinaikkan maka galat langsung turun drastis, sehingga kurva untuk jawabab eksak dan TDG orde-2 berhimpit

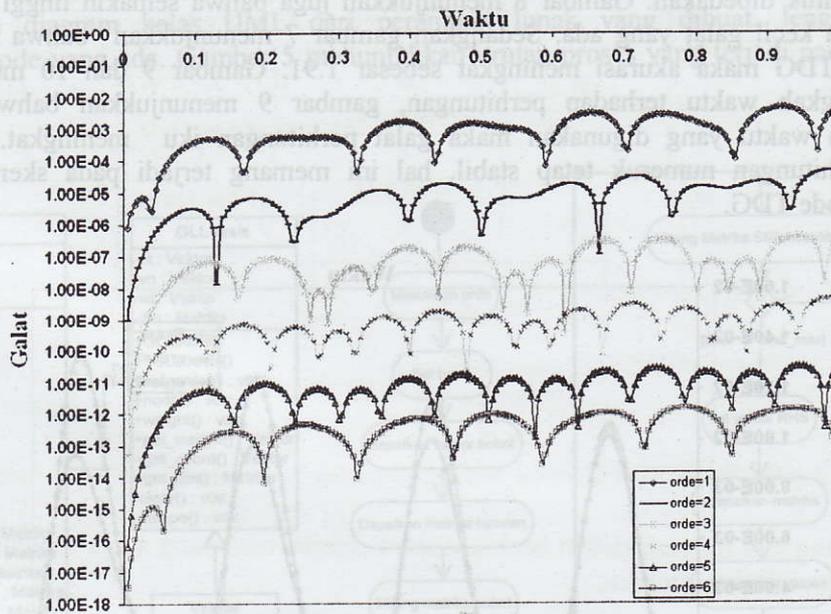
rapat sukar untuk dibedakan. Gambar 8 menunjukkan juga bahwa semakin tinggi orde TDG maka semakin kecil galat yang ada. Sedangkan gambar 7 menunjukkan bahwa kenaikan 1 tingkat orde TDG maka akurasi meningkat sebesar 1.91. Gambar 9 dan 10 menunjukkan pengaruh langkah waktu terhadap perhitungan, gambar 9 menunjukkan bahwa semakin besar langkah waktu yang digunakan maka galat perhitungan iku meningkat. Meskipun demikian perhitungan numeruk tetap stabil, hal ini memang terjadi pada skema implisit termasuk metode TDG.



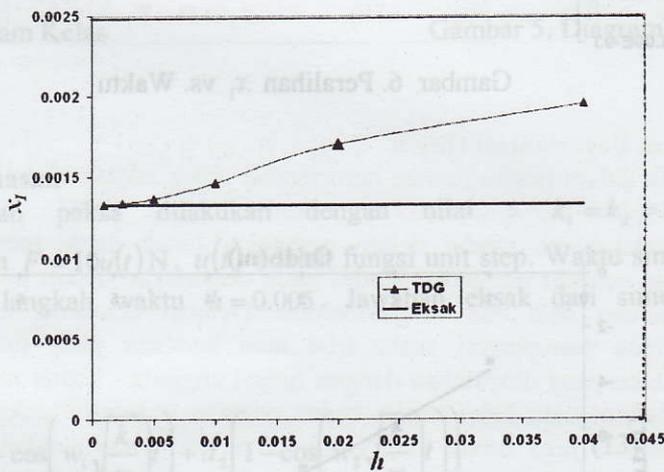
Gambar 6. Peralihan x_1 vs. Waktu



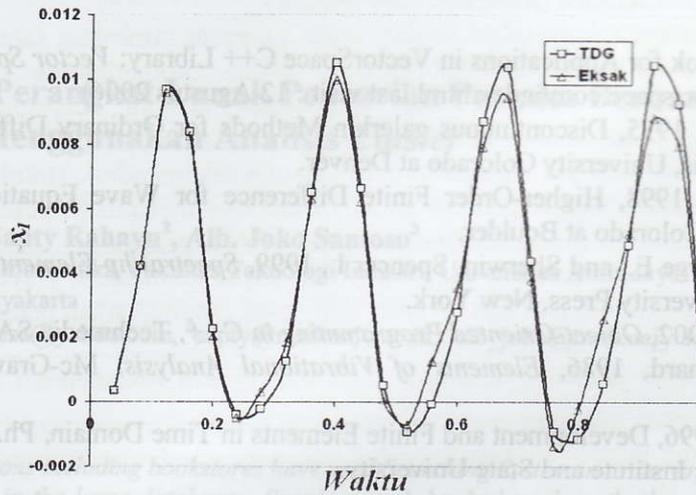
Gambar 7. Orde Akurasi pada $time = 0.115$ s



Gambar 8. Error vs. Waktu



Gambar 9. Hubungan langkah waktu (h) dengan akurasi pada $time = 1.0$ dan orde-2



Gambar 10. Perbandingan TDG orde-2 & $h=0.04$ dengan Jawaban Eksak

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari paper ini adalah :

- a. Sistem getaran Paksa dapat disimulasikan dengan baik
- b. Metode *Time Discontinuous Galerkin* untuk kasus simulasi getaran paksa pada paper ini mempunyai akurasi eksponensial dengan slope: 1.91.
- c. Pemrograman berorientasi objek dapat diterapkan dengan baik dan mempermudah penyusunan perangkat lunak simulasi.

diteliti. Banyak penelitian yang dilakukan oleh sistem informasi tertentu. Misalnya pada toko buku, sistem informasi untuk pencarian buku berdasarkan judul, pengarang, penerbit, sangat diperlukan. Akan tetapi sistem informasi semacam ini yang telah ada, hanya menyediakan fasilitas pencarian data buku saja. Padahal tidak sedikit konsumen yang kurang mengetahui informasi-informasi tentang buku, misalnya kategori buku, buku terlaris saat ini, buku untuk profesi tertentu, dan sebagainya. Untuk itu dibutuhkan sistem tambahan di dalam sistem informasi pencarian buku tersebut yang disebut dengan sistem rekomendasi. Sistem ini akan membantu proses pencarian pustaka dengan menggunakan berbagai metode, salah satunya mekanisme rekomendasi berbasis kolaboratif yang akan membantu pengguna untuk mengidentifikasi kebutuhan mereka.

Tulisan ini akan membahas tentang pembangunan sebuah perangkat lunak bernama *Recommender Searching System (RS-System)*, yaitu sebuah sistem pencarian pustaka berbasis sistem rekomendasi dimana untuk menghasilkan rekomendasi menggunakan teknik analisis *cluster K-Means Clustering*. Tulisan ini dibagi menjadi 7 bagian. Bagian pertama berisi latar belakang dan rumusan masalah yang diangkat. Pada bagian 2 akan dijelaskan tentang sistem rekomendasi. Bagian 3 menjelaskan tentang bagaimana mekanisme rekomendasi berbasis kolaborasi sedangkan bagian 4 menjelaskan tentang penerapan analisis *cluster* pada penyaringan rekomendasi. Kebutuhan fungsionalitas dari sistem yang dibangun akan dipaparkan pada bagian 5. Bagian 6 menguraikan tentang perancangan *RS-System*. Bagian 7 merupakan penutup dari tulisan ini yang berisi kesimpulan dari proses pembangunan sistem dan saran pengembangan selanjutnya.

Daftar Pustaka

Anonim, Workbook for Applications in VectorSpace C++ Library: *Vector Space Programming*. (<http://vector-space.com/index.html> last visit : 12 Agustus 2006)

Bauer, Russel E., 1995, Discontinuous galerkin Methods for Ordinary Differential Equations, M.Sc. Thesis, University Colorado at Denver.

Ghrist, Michelle, 1998, Higher-Order Finite Difference for Wave Equations, Ph.D. Thesis, University Colorado at Boulder.

Karniadakis, George E., and Sherwin, Spencer I., 1999, *Spectral/hp Element Methods for CFD*, Oxford University Press, New York.

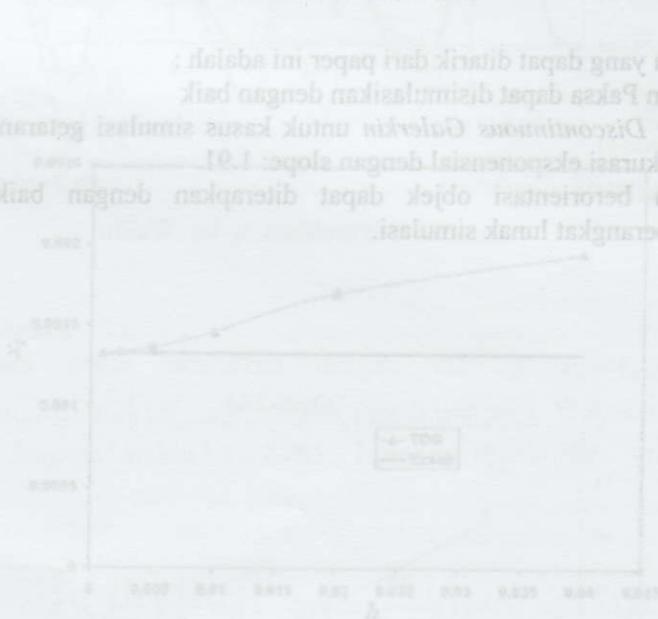
Lafore, Robert, 2002, *Object-Oriented Programming in C++*, Techmedia SAMS, New Delhi.

Meirovitch, Leonard, 1986, *Elements of Vibrational Analysis*, Mc-Graw Hill Book Co., Singapore.

Sungho, Park., 1996, Development and Finite Elements in Time Domain, Ph.D. Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University.

Gambar 8: Perbandingan TDG orde-2 & h=0.04 dengan jawaban Eksak

Gambar 8. Error vs Waktu



Gambar 9. Hubungan langkah waktu (Δt) dengan akurasi pada $time = 1.0$ dan orde-2