

Bantuan Sistem Komputasi Aljabar Bagi Pembelajaran Fisika Terapan di Politeknik

Sardjito
Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir Bandung
E-mail : sardjito@s-s-net.com

Abstrak

Pembelajaran fisika terapan di Politeknik sebagai bagian pendidikan profesional sangat berorientasi pada masalah aplikasi praktis. Penyelesaian persoalan aplikasi praktis biasanya agak sulit dipecahkan dengan perhitungan analitik sederhana. Untuk mengatasi hal tersebut, maka proses pembelajaran fisika dibantu oleh Sistem Komputasi Aljabar dengan menggunakan beberapa program aplikasi.

Sistem Komputasi Aljabar yang diperkenalkan di Politeknik adalah *Derive for Windows*. Keuntungan program ini adalah pengerjaannya dapat dilakukan secara aljabar maupun numerik. Selain itu visualisasi pernyataan matematikanya mudah dilakukan, baik dengan grafik dua dimensi maupun tiga dimensi. Proses perhitungan yang biasanya memakan waktu cukup lama bila dilakukan secara analitik-manual, dapat dikerjakan dengan program ini hanya dalam waktu beberapa detik saja. Pernyataan matematika, khususnya dari solusi yang diperoleh, yang diberikan dalam bentuk visual (grafik) sangat memudahkan proses interpretasi fisis. Dalam makalah ini dibahas dua contoh kasus yakni gerak parabola dan getaran teredam.

Kata kunci : Aljabar komputasi, Fisika terapan.

Abstract

Applied Physics Teaching in Polytechnics as a part of professional education should have orientation towards daily practical problems. Usually such problems need more complicated calculations for solving than ideal problems. We can not use simple analytical calculations to solve the problems. The aid of a Computational Algebra System in those cases will be helpful.

One kind computational algebra system which is used in Polytechnics is an application software called *Derive for Windows*. *Derive* is a mathematical computer program, which can do both symbolic and numeric computations. These can also be visualized with graphics capabilities. This program eliminates the drudgery of long mathematical calculations thus giving students the chance of interpreting and analyzing the problems more intensively. The examples about parabolic motion and damped vibration are described in this paper

Keywords : computational algebra, applied physics.

1. Pendahuluan

Proses pendidikan pada lembaga pendidikan tinggi profesional (seperti Politeknik) agak berbeda dengan proses pendidikan pada lembaga pendidikan tinggi akademik seperti universitas dan institut. Pendidikan profesional lebih berorientasi pada masalah-masalah aplikasi praktis yang sering dijumpai dalam dunia kerja sehari-hari. Begitu pula halnya dengan proses pembelajaran Fisika Terapan di Politeknik.

Berkenaan dengan masalah aplikasi praktis yang harus menjadi contoh penerapan konsep yang diajarkan, muncul kendala dalam proses pembelajaran Fisika Terapan, khususnya dalam hal pendekatan proses. Umumnya masalah aplikasi praktis agak sulit dipecahkan menggunakan perhitungan analitik. Bila dapat diselesaikan dengan perhitungan analitik ataupun numerik, biasanya dituntut kemampuan matematis yang lebih tinggi dari pengetahuan matematika yang dimiliki oleh siswa tingkat pertama Perguruan Tinggi Teknik. Suatu solusi untuk mengatasi kendala tersebut adalah dengan memanfaatkan Sistem Komputasi Aljabar dalam proses penyelesaian perhitungan yang rumit.

Di Politeknik, mata kuliah Fisika dan Matematika berfungsi sebagai pendukung mata kuliah keahlian di

setiap Program Studi. Dengan demikian penekanan pengajaran Fisika dan Matematika di Politeknik adalah untuk menggunakan atau menerapkan konsep-konsep fisis serta matematis untuk memecahkan masalah praktis. Diharapkan dalam pembelajaran Fisika dan Matematika, operasi-operasi matematis untuk mencari solusi bagi model matematika suatu gejala fisis dapat dipersingkat, sehingga waktu dan tenaga dapat lebih dikonsentrasikan pada masalah pemodelannya sendiri serta interpretasi fisis solusi yang diperoleh. Dengan demikian proses pembelajaran diharapkan dapat berlangsung secara lebih efisien. Pengajaran berbantuan Komputasi Aljabar sudah dipraktekkan di Politeknik Negeri Malang dan Politeknik Negeri Bandung, dan hasilnya (secara statistik) lebih efektif bila dibandingkan dengan pengajaran konvensional¹⁾.

Sistem Komputasi Aljabar yang diperkenalkan di Politeknik adalah *Derive for Windows*. Keuntungan program ini adalah pengerjaannya dapat dilakukan secara aljabar maupun numerik. Selain itu visualisasi pernyataan matematikanya mudah dilakukan, baik dengan grafik dua dimensi maupun tiga dimensi. Proses perhitungan yang biasanya memakan waktu cukup lama bila dilakukan secara analitik-manual dapat dikerjakan dengan program ini hanya dalam waktu beberapa detik saja. Pernyataan

matematika, khususnya bagi solusi yang diperoleh, yang diberikan dalam bentuk visual (grafik) sangat memudahkan proses interpretasi fisis, yang tentu saja akan sangat bermanfaat bagi rata-rata siswa yang kemampuan abstraksinya tidak terlampau tinggi.

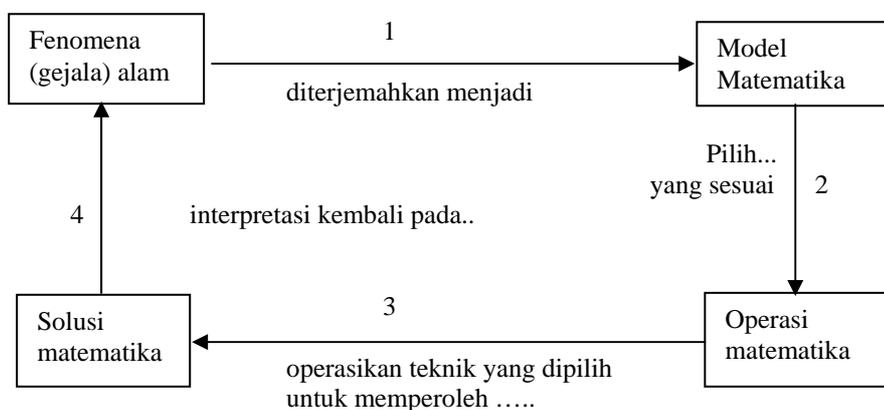
Makalah ini dilengkapi dengan contoh kasus yang cukup populer yaitu gerak parabola, mulai dari yang sederhana dan ideal hingga yang nyata dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu diberikan juga contoh kasus yang jika dikerjakan secara manual memerlukan perhitungan yang rumit, yaitu tentang getaran teredam.

2. Peran matematika dalam pengajaran fisika terapan

Dalam proses pembelajaran fisika terapan, matematika berperan sebagai satu dari “alat komunikasi dan informasi”. Matematika dapat digunakan untuk menyederhanakan, serta menjelaskan gejala-gejala alam (proses pemodelan matematika); sehingga dengan

perumusan tersebut dan melalui operasi-operasi matematika, dapat dicari solusi berbagai persoalan gejala alam tersebut. Ada pandangan umum yang menyatakan bahwa penerapan matematika adalah untuk menghitung saja. Sesungguhnya pandangan tersebut tidaklah tepat (apalagi dengan perkembangan berbagai perangkat lunak komputer), karena yang lebih penting adalah mempelajari aturan logis berbagai gejala secara matematis. Selanjutnya melalui matematika, dapat dikembangkan kemampuan abstraksi, implementasi, induksi-deduksi, analogi, untuk memahami bahkan mengendalikan masalah sehari-hari²⁾. Jadi apabila proses perhitungan matematika dapat dipersingkat, maka peran lain matematika justru akan lebih berdayaguna.

Secara ringkas, kaitan antara persoalan fisika dengan matematika dapat digambarkan pada bagan berikut (Gambar 1).



Gambar 1. Peran matematika dalam pengajaran fisika terapan

Selama ini proses 2 dan 3 (memilih operasi yang sesuai dan mengoperasikannya pada model yang ada untuk memperoleh solusi, atau secara sederhana dikatakan sebagai “menghitung”) sering menjadi bagian yang memerlukan waktu cukup banyak dalam keseluruhan proses pengajaran fisika terapan. Namun dengan bantuan Sistem Komputasi Aljabar, bagian ini dapat dipersingkat. Dengan demikian maka tersedia waktu yang lebih banyak untuk proses pemodelan serta interpretasi fisis, yang notabene lebih banyak porsi fisiknya.

3. Sistem komputasi aljabar

Sistem komputasi aljabar mulai diperkenalkan dalam Sistem Pendidikan Politeknik Indonesia pada tahun 1999. Perangkat lunak yang digunakan di sebagian besar Politeknik adalah *Derive for Windows* dan *MAPLE*. Pengenalan perangkat lunak ini kepada mahasiswa merupakan bagian awal sebagian perkuliahan Matematika Terapan. Dengan demikian tidak diperlukan waktu khusus untuk mengajarkan penggunaan perangkat ini pada perkuliahan Fisika Terapan.

Sistem komputasi aljabar telah diperkenalkan pada seluruh pengajar Matematika dan Fisika Politeknik Negeri se Indonesia. Namun pembelajarannya kepada mahasiswa baru dipraktekkan di Politeknik Negeri Bandung dan Politeknik Negeri Malang. Hasil penelitian pada mahasiswa Politeknik Negeri Malang¹⁾ tentang kontribusi pembelajarannya pada hasil belajar mata kuliah Matematika Terapan menunjukkan bahwa rata-rata peningkatan kemampuan kelompok eksperimen (yakni yang mendapatkan pembelajaran komputasi aljabar) lebih besar dari rata-rata peningkatan kemampuan kelompok pembandingan (yang mendapatkan pembelajaran konvensional tanpa berbantuan komputasi aljabar). Selain itu waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pembelajaran materi yang sama dalam satu semester pada kelompok eksperimen lebih sedikit daripada yang diperlukan oleh kelompok pembandingan. Sementara itu untuk mata kuliah Fisika Terapan, sistem ini baru diujicobakan tahun ini; sehingga belum diperoleh perbandingan hasilnya dengan metoda yang sebelumnya.

Sistem komputasi aljabar merupakan program komputer, yang agak berbeda dengan kalkulator ilmiah. Jika kalkulator ilmiah hanya digunakan untuk operasi

numerik saja, maka komputasi aljabar selain digunakan untuk perhitungan numerik dapat pula digunakan untuk operasi-operasi aljabar, persamaan trigonometri, vektor, matriks serta kalkulus³⁻⁶. Operasi komputasinya dapat digunakan secara simbolik maupun numerik. Hasilnya pun dapat digambarkan pada grafik dua dimensi ataupun tiga dimensi.

Dengan sistem ini, diharapkan proses perhitungan yang bertele-tele dapat dipersingkat, sehingga tersedia waktu yang lebih banyak untuk melakukan berbagai pendekatan serta interpretasi pada persoalan yang dihadapi. Interpretasinya pun dapat dilakukan secara lebih luas karena tersedianya visualisasi solusi. Sistem ini pun dapat digunakan untuk melakukan pemeriksaan terhadap berbagai hasil operasi yang dilakukan secara manual analitik.

Bagi keperluan pengajaran fisika terapan, sistem ini dapat juga dimanfaatkan untuk melakukan simulasi berbagai fenomena fisis terutama dengan kemampuan visualisasi yang mudah dan cepat. Selain itu, berbagai perhitungan yang menuntut kemampuan matematika agak tinggi (yang biasanya baru diperoleh siswa pada tahun kedua atau ketiga di perguruan tinggi) dapat diselesaikan dengan sederhana oleh siswa tahun pertama sekalipun asalkan model fenomenanya sudah terumuskan. Berikut akan diberikan beberapa contoh persoalan fisika terapan yang diselesaikan dengan bantuan perangkat lunak *Derive for Windows*.

4. Gerak parabola

Persoalan gerak benda yang menempuh lintasan parabola banyak dijumpai pada kehidupan sehari-hari. Beberapa contoh gerak semacam ini antara lain : gerak bola yang ditendang atau dilempar, gerak peluru atau lembing (atletik), gerak peluru senapan, meriam atau bom (militer), gerak elektron dalam tabung katoda (osiloskop), gerak tinta (*ink jet printer*), gerak pipa air dari pipa semprot (pemadam kebakaran, penyiram tanaman, penyemprot anti hama), dan lain sebagainya.

Gerak parabola merupakan gerak benda secara dua dimensi yang dapat dianggap sebagai perpaduan dua gerak yang saling tegak lurus (sebutlah arah x dan y). Misalnya yang paling sederhana adalah perpaduan antara gerak lurus beraturan (arah mendatar) dengan gerak lurus berubah beraturan (arah vertikal, karena pengaruh percepatan gravitasi). Sering muncul masalah yang dihadapi siswa, seperti :

1. Betulkah lintasannya berupa parabola? Bagaimana cara membuktikannya?
2. Betulkah sudut elevasi yang menghasilkan jarak mendatar terjauh besarnya 45° ?
3. Adakah cara selain pembuktian analitis untuk meyakinkan hal tersebut?
4. Berapa sudut elevasi yang menghasilkan jarak mendatar terjauh jika benda dilemparkan/ditembakkan dari ketinggian tertentu (bukan dari permukaan tanah) yang justru sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari?

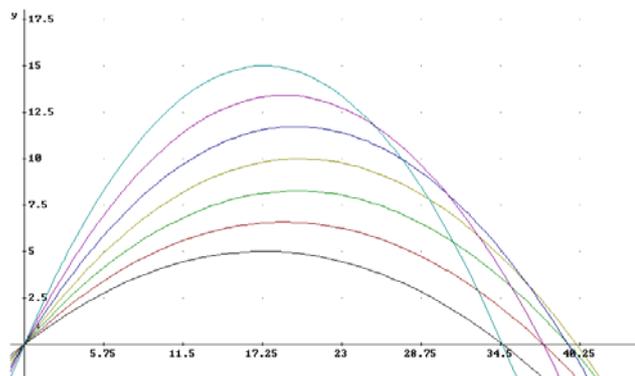
Persamaan gerak dua dimensi untuk gerak parabola yang memiliki percepatan vertikal konstan (percepatan gravitasi) serta percepatan mendatar nol, dan kecepatan awal v membentuk sudut elevasi z terhadap bidang datar, berbentuk :

$$x = v t \cos (z)$$

dan

$$y = v t \sin (z) - \frac{1}{2} g t^2 \quad (1)$$

Dengan menggunakan komputasi aljabar, bentuk lintasan yang memenuhi persamaan gerak (1) dapat langsung digambar untuk berbagai nilai sudut z (Gambar 2), baik dengan perintah *plot parameter* maupun dengan membentuk persamaan eksplisit antara x dengan y terlebih dahulu. Dengan simulasi melalui gambar ini, siswa dapat membandingkan hasil perhitungan analitik yang biasa ia lakukan dengan hasil visual. Dengan moda *trace*, siswa pun dapat menelusuri setiap posisi benda yang ia inginkan.



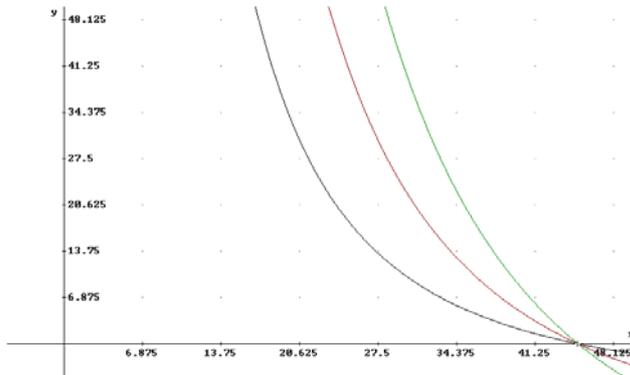
Gambar 2. Bentuk lintasan gerak proyektil dengan sudut elevasi : 30° , 35° , 40° , 45° , 50° , 55° , 60°

Dalam kondisi nyata, seringkali dijumpai bahwa ketinggian pada saat awal bukanlah nol (misalkan sebesar h), sementara itu diinginkan menentukan sudut elevasi z yang akan menghasilkan jarak mendatar di permukaan tanah yang terbesar. Bila h sama dengan nol, memang sudut elevasi yang menghasilkan jarak mendatar terbesar adalah 45 derajat. Namun jika h tidak sama dengan nol, ternyata perhitungannya cukup rumit bila harus diselesaikan secara analitik. Namun dengan komputasi aljabar didapat beberapa kemudahan perhitungan antara lain:

1. saat menghitung nilai t dari $y=-h$ (dengan perintah *solve algebraically*)
2. saat mensubstitusikan nilai t pada persamaan x (dengan perintah *substitute*)
3. saat menggunakan syarat nilai ekstrem, yaitu menurunkan fungsi x terhadap peubah z (dengan perintah ∂ atau *calculus*), lalu menyamakannya dengan nol untuk menentukan nilai z (dengan perintah $=$ atau \approx)

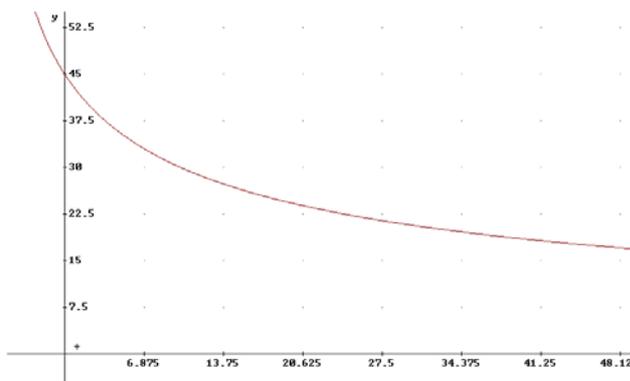
Dengan bantuan komputasi aljabar, diperoleh grafik antara sudut elevasi z dengan ketinggian awal h untuk berbagai nilai kecepatan awal v (Gambar 3). Dari grafik tersebut terlihat bahwa semua kurva (untuk

berbagai nilai v) akan bertemu pada satu titik yaitu saat $h = 0$, dan $z = 45^\circ$. Dari kurva yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa pada suatu ketinggian awal tertentu, makin besar nilai kecepatan awal maka semakin besar pula sudut elevasi yang diperlukan.



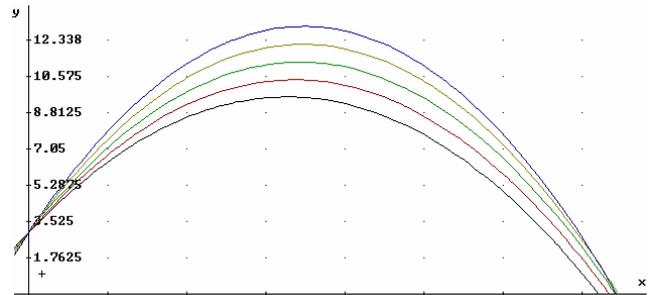
Gambar 3. Grafik antara ketinggian awal (y) terhadap sudut elevasi (x) yang menghasilkan jarak mendatar maksimum pada berbagai nilai kecepatan awal

Begitu pula halnya dengan penentuan sudut elevasi yang menghasilkan jarak mendatar maksimum bagi berbagai nilai ketinggian awal namun pada satu nilai kecepatan awal tertentu (Gambar 4). Dari Gambar 4 terlihat bahwa jika ketinggian awalnya nol, maka sudut elevasi yang menghasilkan jarak mendatar maksimum adalah 45° .

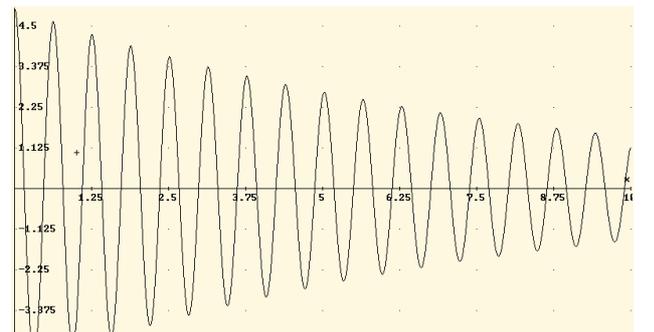


Gambar 4. Grafik antara sudut elevasi (y) yang menghasilkan jarak mendatar maksimum terhadap ketinggian awal (x) untuk satu nilai kecepatan awal (ternyata jika $x = 0$, maka sudut elevasinya $y = 45^\circ$)

Untuk lebih meyakinkan hasil sudut elevasi yang diperoleh, dilakukan pula simulasi untuk menggambarkan bentuk lintasan yang ditempuh benda dengan berbagai nilai sudut elevasi (Gambar 5). Kemudian hasilnya dapat disesuaikan dengan perhitungan untuk memeriksa kebenaran nilai sudut elevasi yang menghasilkan x terbesar.



Gambar 5. Bentuk lintasan gerak proyektil yang mempunyai ketinggian awal ($y=3$) Pada berbagai sudut elevasi : $35^\circ, 37.5^\circ, 40^\circ, 42.5^\circ, 45^\circ$ pada $v = 20$



Gambar 6. Penyelesaian persamaan getaran teredam

Proses-proses pembuatan grafik berlangsung sangat singkat bila pernyataan matematis fungsi yang bersangkutan telah terdefinisi (kurang dari satu detik). Dengan demikian maka akan lebih banyak waktu yang tersedia untuk proses analisis dan interpretasi fisis.

5. Gerak Getaran

Sistem komputasi aljabar tidak hanya bermanfaat untuk perhitungan analitik sederhana saja. Perhitungan-perhitungan rumit tingkat tinggi seperti penyelesaian persamaan diferensial, transformasi Fourier, transformasi Laplace, dan yang sejenisnya, dapat pula diselesaikan dengan menggunakan bantuan sistem ini. Disini akan diberikan contoh masalah yang pasti dijumpai oleh mahasiswa jurusan keteknikan tingkat pertama, namun memerlukan perhitungan persamaan diferensial, yakni tentang getaran teredam.

Misalkan ada sebuah beban bermassa m yang melekat pada pegas dengan tetapan k , lalu digetarkan secara bebas (tanpa gaya paksa) dalam fluida kental dengan koefisien redaman c . Persamaan gaya bagi sistem ini adalah :

$$F = -kx - cv$$

atau

$$m(d^2x/dt^2) = -kx - c(dx/dt) \tag{2}$$

Persamaan (2) dapat diselesaikan dengan cepat menggunakan komputasi aljabar, asalkan nilai-nilai m, k, c , serta syarat awalnya (posisi dan kecepatan pada suatu waktu tertentu) diketahui. Begitu pula kurva solusinya dapat dengan cepat digambarkan. Contoh kasus persoalan ini beserta kurva hasil penyelesaiannya diperlihatkan an 6

(dengan $m = 4$ kg, $k = 400$ N/m, $c=1$ Ns/m, $x_0 = 5$ m, dan $v_0 = 0$)

6. Penutup

Pembelajaran fisika terapan yang lebih berorientasi pada aplikasi praktis akan menjadi lebih berhasil guna dan berdaya guna dengan bantuan sistem komputasi aljabar. Proses perhitungan yang biasanya memerlukan waktu lama dapat lebih dipersingkat. Selain itu visualisasi dan juga sekaligus merupakan simulasi fenomena fisis yang dapat dilakukan secara cepat oleh sistem ini diharapkan dapat lebih mempermudah proses pemahaman konsep-konsep fisika.

Pustaka Acuan

1. Arif Rahman Hakim, *et.al.*, *Efektivitas pengajaran berbantuan komputer program DFW di Politeknik*, Penelitian P5D, 2000

2. Lilik Hendrajaya, *Tridharma, wawasan teknologi dan dinamika masyarakat dalam reformasi diri Perguruan Tinggi*, Penerbit ITB, hal. 15, 1997.
3. Kutzler B., *Introduction to Derive for Windows*. 2nd Eds. Gutenberg-Werbering GmbH, Linz, Austria, hal. 5-6, 1997.
4. Arney D.C., *Differential equations with Derive*, Mathware, Urbana II, USA, hal. 4, 1993.
5. Glynn J., *Exploring Math from Algebra to Calculus with Derive*, Mathware, Urbana II, USA, hal. 1-20, 1992.
6. Sardjito, *et.al.*, *Modul pelatihan Pusat Pengembangan Politeknik dan Pendidikan Program Diploma*, 1999.