



Modul Praktikum Fisika Komputasi

Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Jakarta, Rabi'ul-Awal 1442 / Oktober 2020

Kata Pengantar

Bismillahirrahmanirrahim

Dokumen ini merupakan Modul Praktikum Fisika Komputasi untuk mahasiswa di Program Studi Pendidikan Fisika FKIP UHAMKA.

Ada 5 (lima) pokok bahasan utama dalam modul ini, yaitu pengantar pemrograman, visualisasi sains, diferensiasi numerik, integrasi numerik, serta algoritma. Kelima pokok bahasan ini disajikan ke dalam 10 (sepuluh) modul praktikum.

Kemampuan dari mahasiswa yang diharapkan selama praktikum yaitu mahasiswa mampu memahami dan/atau mendevolop semua tahapan dalam proses komputasi fisika yaitu: kasus fisika; persamaan fisika; metode numerik; pseudocode; coding; data; plotting atau visualisasi; serta analisis komputasi fisika.

Bahasa pemrograman yang dipilih yaitu Scilab. Scilab merupakan software open source untuk komputasi numerik; bersifat free; dapat berjalan di Linux, macOS, dan Windows; serta easy-to-use dan user-friendly dari sisi pedagogik.

Semoga bermanfaat.

-Mirza Nur Hidayat, S.Si., M.Si.

Daftar Isi

Kata Pengantar

Daftar Isi

Modul 1 Pengantar Pemrograman – Scilab	1
Modul 2 Pengantar Pemrograman – Kondisional If	3
Modul 3 Pengantar Pemrograman – Looping For	5
Modul 4 Pengantar Pemrograman – Fungsi	7
Modul 5 Visualisasi Sains – Plot 2D	10
Modul 6 Visualisasi Sains – Multiplot	12
Modul 7 Diferensiasi Numerik	15
Modul 8 Integrasi Numerik	18
Modul 9 Algoritma Euler	24
Modul 10 Algoritma Euler-Cromer	28

Modul 1

Pengantar Pemrograman – Scilab

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan dasar-dasar pemrograman dengan menggunakan Scilab.

Deskripsi

Scilab merupakan software open source untuk komputasi numerik; bersifat free; dapat berjalan di Linux, macOS, dan Windows; serta easy-to-use dan user-friendly dari sisi pedagogik. Scilab dapat dijumpai di <https://www.scilab.org/>.

Ada 2 (dua) pilihan saat menjalankan Scilab, yaitu Scilab Console dan Scilab Desktop. Scilab Console berbasis command line interface (CLI) sedang Scilab Desktop berbentuk graphical user interface (GUI). Untuk proses pembelajaran dan praktikum, dipilih yang versi GUI.

Scilab Desktop terdiri atas Console dan SciNotes. Console adalah window untuk mengetik dan menjalankan semua program, sedang SciNotes digunakan untuk memudahkan dalam pengetikan kode program yang mana program terdiri atas sejumlah banyak line kode program.

File kode program Scilab disimpan dalam format `.sce` atau `.sci`.

Projek 1

- a) Buat contoh perhitungan aritmatika sederhana dengan Scilab (penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian, dan pangkat)
- b) Buat contoh perhitungan trigonometri (sin, cos, tan)
- c) Buat contoh perhitungan logaritma
- d) Buat contoh perhitungan matriks
- e) Buat contoh kode program konversi suhu dari derajat Celcius ke Kelvin dan Fahrenheit
- f) Buat contoh kode program sederhana tentang kasus fisika lain yang Anda sukai

Referensi

<https://www.scilab.org/>

[https://www.scilab.org/sites/default/files/](https://www.scilab.org/sites/default/files/Scilab_beginners_0.pdf)

[Scilab_beginners_0.pdf](https://www.scilab.org/sites/default/files/Scilab_beginners_0.pdf)

<https://mierza.id/ebook/book1.htm>

Modul 2

Pengantar Pemrograman – Kondisional If

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan dasar-dasar pemrograman tentang kondisional if.

Deskripsi

Perhatikan contoh sederhana berikut.

Contoh 2: Sebuah lampu LED akan menyala jika diberi voltase 3 V atau lebih dan tidak menyala jika voltasenya kurang dari 3 V.

Solusi: Buka window SciNotes, ketik kode program berikut, dan simpan dengan nama `myprogram.sce`.

```
voltase = 3

if voltase >= 3 then
    disp("LED menyala")
else
    disp("LED tidak menyala")
end
```

Jika dijalankan, maka di Console akan muncul tampilan

```
--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
```

LED menyala

Sekarang ubah `voltase = 2`, apa yang terjadi saat program dijalankan?

Projek 2

Sebuah lampu LED akan menyala jika diberi voltase 3 V atau lebih dan tidak menyala jika voltasenya kurang dari 3 V. Jika voltase melebihi 12 V, LED akan putus. Buat kode program untuk kasus fisika tersebut.

Referensi

https://help.scilab.org/docs/5.3.1/en_US/if.html

Modul 3

Pengantar Pemrograman – Looping For

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan dasar-dasar pemrograman tentang pengulangan atau looping for.

Deskripsi

Perhatikan contoh sederhana berikut.

Contoh 3: Level energi atom Hidrogen dapat didefinisikan dengan persamaan

$$E = \frac{-E_0}{n^2}$$

dengan E adalah energi, E_0 sebesar 13,6 eV (ground state), dan $n = 1, 2, 3, \dots$. Tentukan level energi pada level eksitasi (excited state) pertama, kedua, ketiga, dan keempat pada atom Hidrogen tersebut.

Solusi kode program:

```
E_0 = 13.6
for n = 2:5
    E = - E_0 / n ^ 2
    disp(E)
end
```

Jika dijalankan, maka di Console akan muncul tampilan

```
--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
-3.4
-1.5111111
-0.85
-0.544
```

Maksud dari hasil kode program yaitu energi elektron pada level eksitasi pertama, kedua, ketiga, dan keempat berturut-turut yaitu $-3,4$ eV, $-1,5111111$ eV, $-0,85$ eV, dan $-0,544$ eV.

Projek 3

Lihat kembali Contoh 3 tentang level energi pada atom Hidrogen. Dengan kode program, tentukan besar energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari ground state ke level eksitasi pertama, kedua, ketiga, dan keempat pada atom Hidrogen tersebut.

Referensi

https://help.scilab.org/docs/6.0.2/en_US/for.html

<https://astro.unl.edu/naap/hydrogen/transitions.html>

Modul 4

Pengantar Pemrograman – Fungsi

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan dasar-dasar pemrograman tentang fungsi.

Deskripsi

Fungsi merupakan salah satu bagian penting dalam dasar-dasar pemrograman. Perhatikan contoh sederhana berikut.

Contoh 4.1: Sebuah gelombang y menjalar ke arah sumbu x dengan memenuhi persamaan

$$y = \sin(x) + \cos(x)$$

Tentukan nilai y untuk nilai sembarang x .

Solusi kode program:

```
function y = f(x)
    y = sin(x) + cos(x)
endfunction

disp(f(%pi))
```

Jika dijalankan, maka di Console akan muncul tampilan

```
--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
```

-1.

Jika kode program `disp(f(pi))` diganti menjadi `disp(f(pi / 2))` maka di Console akan menghasilkan

```
--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
```

1.

Maksud dari kode program di atas yaitu jika nilai $x = \pi$, maka $y = -1$, dan jika $x = \pi/2$, maka $y = 1$. Jadi dalam program cukup memanggil fungsi dan memasukkan nilai x yang diinginkan.

Contoh 4.2: Sebuah fungsi sederhana $z = x^2 + 3y$. Buat kode program untuk sembarang nilai masukan x dan y .

Solusi kode program:

```
function z = f(x, y)
    z = x ^ 2 + 3 * y
endfunction
```

```
disp(f(1, 2))
```

Jika dijalankan, maka di Console akan muncul tampilan

```
--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
```

7.

Maksud dari kode program yaitu nilai masukan $x = 1$ dan $y = 2$ sehingga $z = 1^2 + 3(2) = 7$.

Projek 4

Muatan q didistribusikan dalam cakram tipis yang jari-jari dalamnya a dan jari-jari luarnya b .

- a) Tentukan persamaan besar potensial listrik V di pusat cakram
- b) Buat kode programnya untuk sembarang nilai masukan a dan b

Referensi

https://help.scilab.org/docs/5.5.1/en_US/functions.html

<https://mierza.id/note/potential-contour-3d.php>

Modul 5

Visualisasi Sains – Plot 2D

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan visualisasi sains plot 2D.

Deskripsi

Data hasil pemrograman atau komputasi, selain dalam bentuk angka numerik, dapat juga disajikan dalam bentuk visualisasi sains – plot. Visualisasi dapat berupa plot 2D, 3D, Contour, Multiplot, Heatmap, dan Animated Plot. Untuk materi praktikum fisika komputasi ini, akan disajikan plot 2D dan multiplot.

Contoh 5: Potensial listrik sebuah muatan sebagai fungsi jarak dapat direpresentasikan sebagai $V = kq / r$. Buat visualisasi 2D dengan $1 \leq r \leq 10$ mm.

Solusi kode program:

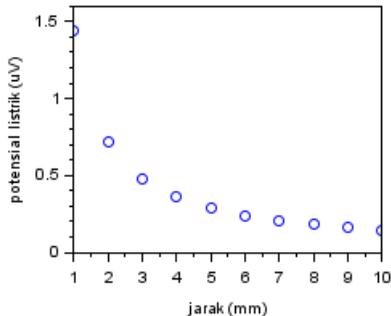
```
k = 9.0e+9
q = 1.602e-19

r = 1:10
V = k * q ./ (r * 1e-3)

plot(r, V * 1e+6, "o")
```

```
xlabel("jarak (mm) ")  
ylabel("potensial listrik (uV) ")
```

Jika kode program dijalankan, maka akan dihasilkan plot



Perhatikan kembali maksud kode program di setiap barisnya.

Projek 5

Pelajari kembali materi radiasi benda hitam dan perhatikan grafik pada referensi

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/wien.html>).

Buat kode program sedemikian rupa sehingga didapatkan visualisasi 2D radiasi benda hitam seperti pada referensi, pilih nilai temperatur $T = 7000$ K.

Referensi

https://help.scilab.org/docs/6.0.2/en_US/plot.html

<https://mierza.id/note/potential-2d.php>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/wien.html>

Modul 6

Visualisasi Sains – Multiplot

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan visualisasi sains multiplot.

Deskripsi

Multiplot merupakan salah satu tipe visualisasi sains yang mana beberapa grafik ditampilkan dalam satu jendela atau window.

Contoh 6: Sebagai contoh akan dibuat 4 (empat) buah grafik fungsi dalam satu jendela, dengan keempat fungsi sederhana yaitu y_1 , y_2 , y_3 , dan y_4 .

Kode program pada SciNotes:

```
x = -1:0.1:1
```

```
y1 = 2 * x
```

```
y2 = x ^ 2
```

```
y3 = x ^ 3
```

```
y4 = %e ^ x
```

```
subplot(221)
```

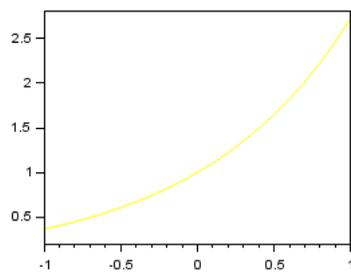
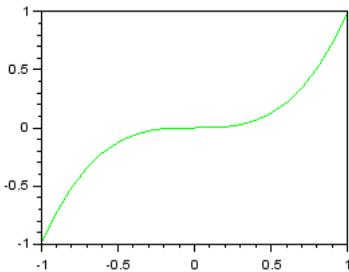
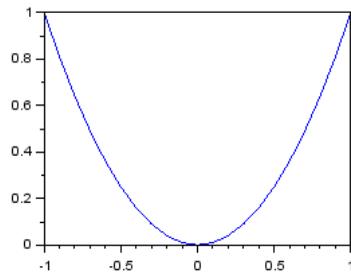
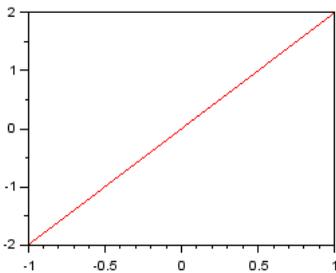
```
plot(x, y1, "r")
```

```
subplot(222)  
plot(x, y2, "b")
```

```
subplot(223)  
plot(x, y3, "g")
```

```
subplot(224)  
plot(x, y4, "y")
```

Jika kode SciNotes di atas dieksekusi akan menghasilkan grafik berikut.



Multiplot berdimensi $p \times q$ yaitu dalam satu jendela ada p baris grafik dan q kolom grafik.

Jadi maksud dari perintah `subplot(2,2,3)` adalah dalam satu jendela ada 2 baris grafik, 2 kolom grafik, dan grafik ada pada urutan ke-3 dari total 4 buah grafik.

Projek 6

Pelajari kembali materi di fisika tentang Roller Coaster. Referensi persamaan polinomial dapat dijumpai di URL <https://www.teachengineering.org/>.

Selanjutnya buat visualisasi multiplot untuk ketinggian dan kecepatan sebagai fungsi dari lintasan horisontal Roller Coaster seperti pada referensi <https://mierza.id/note/rollercoaster-multiplot.php>.

Referensi

https://help.scilab.org/docs/6.0.2/en_US/plot.html
<https://www.teachengineering.org/>
<https://mierza.id/note/rollercoaster-multiplot.php>

Modul 7

Diferensiasi Numerik

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan komputasi tentang diferensiasi numerik.

Deskripsi

Sebuah fungsi $f(x)$ dapat ditulis ke dalam deret Taylor sekitar $x + h$:

$$f(x+h) = f(x) + \frac{h}{1!}f'(x) + \frac{h^2}{2!}f''(x) + \frac{h^3}{3!}f'''(x) + \dots$$

Dari persamaan di atas, dapat dicari nilai $f'(x)$, yaitu

$$f'(x) = \frac{1}{h} \left(f(x+h) - f(x) - \frac{h^2}{2!}f''(x) - \frac{h^3}{3!}f'''(x) - \dots \right)$$

Dalam bentuk lain, persamaan di atas dapat ditulis sebagai

$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x)}{h} - \left(\frac{h}{2!}f''(x) + \frac{h^2}{3!}f'''(x) + \dots \right)$$

Sehingga didapatkan pendekatan

$$f'(x) \approx \frac{f(x+h) - f(x)}{h}$$

Pendekatan di atas dikenal sebagai forward difference. Untuk keperluan komputasi diferensiasi numerik dengan metode forward difference, pendekatan tersebut digunakan sebagai formulanya.

Contoh 7: Diberikan sebuah fungsi $f(x) = x^2$. Tentukan nilai $f'(3)$!

Secara analitis matematis, jawaban dari soal di atas adalah $f'(x) = 2x$, sehingga $f'(3) = 2 \times 3 = 6$. Ini adalah nilai jawaban eksaknya. Lalu bagaimanakah penyelesaian numeriknya? Berikut adalah jawabannya.

Kode program pada SciNotes:

```
function y = f(x)
    y = x ^ 2
endfunction

x = 3
h = 0.01

dy = (f(x + h) - f(x)) / h

disp(dy)
```

Jika dijalankan, maka di Console akan muncul tampilan

```
--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
    6.01
```

Hasil dari kode program di atas adalah 6,01. Hasil ini disebut sebagai hasil pendekatan numerik.

Untuk metode central difference dan diferensiasi orde dua, silakan dipelajari referensi ebook dari <https://mierza.id/ebook/book4.htm> halaman 35-39.

Projek 7

Ada 2 (dua) buah besaran fisika ϕ dan φ . Kedua besaran tersebut sebagai fungsi θ , atau dapat ditulis sebagai $\phi(\theta)$ dan $\varphi(\theta)$. Besaran ϕ mempunyai persamaan $\phi(\theta) = A \exp(i\theta)$, dengan A adalah konstanta dan i bilangan imajiner. Persamaan fisika $\varphi(\theta) = d\phi(\theta) / d\theta$ dengan $a \leq \theta \leq b$.

Silakan buat penyelesaian persamaan $\varphi(\theta)$ secara analitis matematis (penyelesaian simbolik). Berkutnya, jika diketahui $A = 1$, $a = 0$, $b = 10$, dan $\Delta\theta = 0,1$, silakan buat kode program SciNotes guna menentukan nilai $\varphi(\theta)$ dengan metode forward difference dan central difference. Beri analisis erornya terhadap penyelesaian eksak.

Referensi

<https://mierza.id/ebook/book4.htm>

Modul 8

Integrasi Numerik

Tujuan

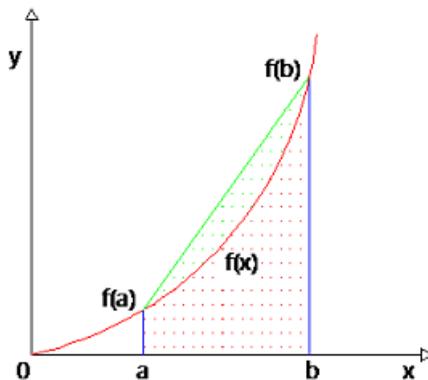
Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan komputasi tentang integrasi numerik.

Deskripsi

Sebuah fungsi $f(x)$, dengan $a \leq x \leq b$, maka integral

$$\int_a^b f(x) dx$$

adalah luasan di bawah grafik $f(x)$ dengan batas bawah a dan batas atas b (Gambar 8.1). Luasan ini ditunjukkan sebagai area yang diarsir dengan warna merah.



Gambar 8.1

Dalam teori analisis numerik - metode Trapezoida, solusi integral tersebut diselesaikan dengan menggunakan pendekatan

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{h}{2}(f(a) + f(b))$$

dengan $h = b - a$.

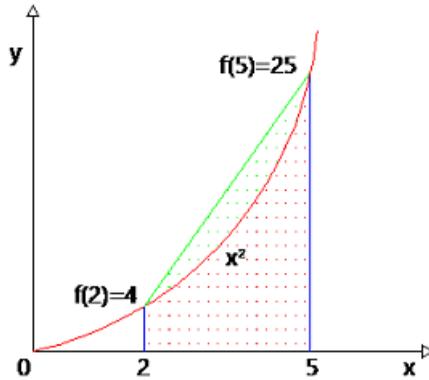
Pendekatan metode Trapezoida memberikan hasil integral yaitu luasan area arsiran warna merah ditambah dengan area arsiran warna hijau. Sehingga, metode ini memberikan eror atau selisih sebesar luasan area arsiran warna hijau (hasil eksak integral adalah area arsiran warna merah).

Contoh 8: Tentukan $\int_2^5 x^2 dx$

Secara analitis matematis, penyelesaian integral tersebut adalah:

$$\int_2^5 x^2 dx = \frac{x^3}{3} \Big|_2^5 = \frac{5^3}{3} - \frac{2^3}{3} = 39$$

Hasil ini merupakan luasan area arsiran warna merah pada Gambar 8.2.



Gambar 8.2

Berikutnya akan diselesaikan secara integrasi numerik.

Kode program pada SciNotes:

```
function y = f(x)
    y = x ^ 2
endfunction

a = 2
b = 5

h = (b - a)

I = (h / 2) * (f(a) + f(b))

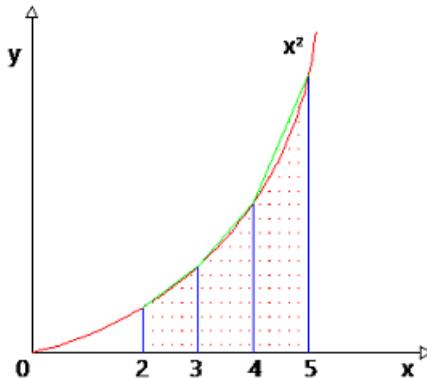
disp(I)
```

Jika dijalankan, maka di Console akan muncul tampilan

```
--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
    43.5
```

Nilai ini merupakan luasan area arsiran warna merah (nilai integral eksak) ditambah dengan area arsiran warna hijau (nilai error) - Gambar 8.2. Jadi, dengan metode numerik Trapezoida, nilai error dari integral tersebut adalah $43,5 - 39 = 4,5$. Cukup besar bukan?

Untuk memperkecil nilai error, dibuatlah metode Trapezoida dengan jumlah cacah n . Pada Gambar 8.3, terlihat dengan jumlah cacah $n = 3$, terlihat bahwa nilai error (area arsiran warna hijau) terlihat lebih sedikit dibanding dengan $n = 1$ (Gambar 8.2).



Gambar 8.3

Kode program pada SciNotes:

```
function y = f(x)
    y = x ^ 2
endfunction
```

a = 2

b = 5

n = 3

```

h = (b - a) / n
I = 0
for i = 1:n
    ai = (a - h) + (i * h)
    bi = ai + h
    Ii = (h / 2) * (f(ai) + f(bi))
    I = I + Ii
end
disp(I)

```

Jika dijalankan, maka di Console akan muncul tampilan

```

--> exec('F:\myprogram.sce', -1)
    39.5

```

Jika kode program di atas dieksekusi akan memberikan output 39,5.

Jika pada kode program $n = 10$, maka output 39,045.

Jika $n = 100$, maka output 39,00045.

Jika $n = 1000$, maka output 39,000005.

Dan jika pada kode program $n = 3000$, maka output 39.

Jadi, dengan memperbanyak jumlah cacah n , maka hasil komputasi integrasi numerik - metode Trapezoida akan mendekati nilai eksak-nya.

Untuk integrasi numerik dengan metode Midpoint dan Simpson, silakan dipelajari referensi pada akhir Modul 8 ini.

Projek 8

Ada 2 (dua) buah besaran fisika ϕ dan ψ . Kedua besaran tersebut sebagai fungsi θ , atau dapat ditulis sebagai $\phi(\theta)$ dan $\psi(\theta)$. Besaran ϕ mempunyai persamaan $\phi(\theta) = A \exp(i\theta)$, dengan A adalah konstanta dan i bilangan imajiner. Persamaan fisika $\psi(\theta)$ memenuhi

$$\psi(\theta) = \int_a^b \phi(\theta) d\theta$$

Silakan buat penyelesaian persamaan $\psi(\theta)$ secara analitis matematis (penyelesaian simbolik). Berikutnya, jika diketahui $A = 1$, $a = 0$, $b = 10$, dan $\Delta\theta = 0,1$, silakan buat kode program SciNotes guna menentukan nilai $\psi(\theta)$ dengan metode Trapezoida, Midpoint, dan Simpson. Beri analisis erornya terhadap penyelesaian eksak.

Referensi

<https://mierza.id/ebook/book4.htm>

<https://mierza.id/note/trapezoida.htm>

<https://mierza.id/note/midpoint.htm>

<https://mierza.id/note/simpson.htm>

Modul 9

Algoritma Euler

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan algoritma Euler dalam komputasi fisika.

Deskripsi

Diberikan sebuah contoh kasus fisika yaitu sistem osilator harmonik sederhana. Sistem terdiri atas benda bermassa m yang diikatkan secara horisontal ke pegas dengan konstanta k . Ujung pegas yang lain terikat pada dinding. Sistem berosilasi secara harmonik sederhana.

Contoh 9: Problem yang akan diselesaikan dari sistem di atas yaitu bagaimana visualisasi perilaku posisi x dan kecepatan v sebagai fungsi waktu t .

Problem di atas secara numerik dapat diselesaikan dengan memanfaatkan algoritma Euler.

Telah diketahui bersama bahwa persamaan $F = ma$ dan $F = -kx$ sehingga

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{-k}{m} x$$

jika $k = m = 1$, maka $a = -x$.

Dengan pendekatan

$$\frac{dv(t)}{dt} = \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

maka

$$a(t) = \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

sehingga didapatkan

$$v(t+\Delta t) = v(t) + a(t) \Delta t$$

atau

$$v(t+\Delta t) = v(t) - x(t) \Delta t \quad .$$

Dengan pendekatan yang sama didapat bahwa

$$x(t+\Delta t) = x(t) + v(t) \Delta t \quad .$$

Kode program SciNotes:

```
x(1) = 1
v(1) = 0
dt = 0.1

for i = 1:100
    v(i + 1) = v(i) - x(i) * dt
    x(i + 1) = x(i) + v(i) * dt

    subplot(211)
    plot(dt * i, x(i), "bo")
    xlabel("waktu (s)")
```

```

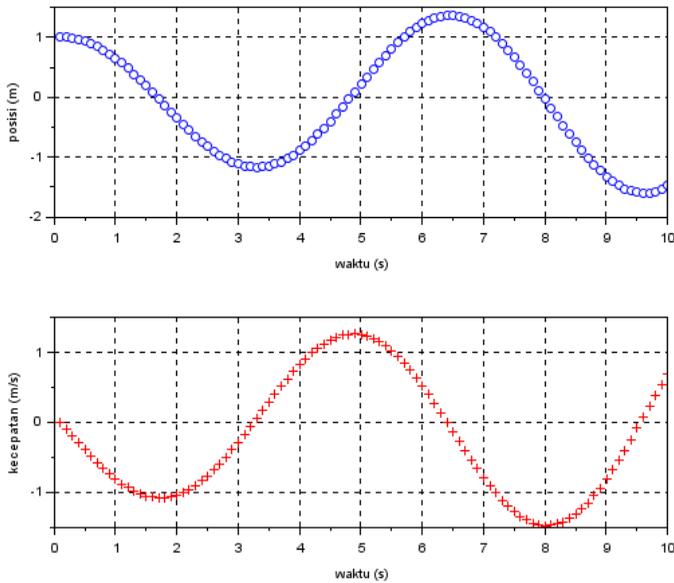
ylabel("posisi (m)")
xgrid

subplot(212)
plot(dt * i, v(i), "r+")
xlabel("waktu (s)")
ylabel("kecepatan (m/s)")
xgrid

end

```

Jika kode program dijalankan maka didapatkan hasil yaitu



Perhatikan grafik di atas. Idealnya, grafik beresilasi secara sempurna (baik posisi maupun kecepatan, yaitu pada simpangan 1 sampai dengan -1). Namun yang terjadi adalah

semakin besar waktu t , maka semakin besar simpangan x dan v -nya. Hal ini disebabkan karena faktor pendekatan di dalam penurunan persamaan seperti yang telah disajikan.

Projek 9

Pelajari kembali materi fisika tentang sirkuit RLC (resistor induktor kapasitor).

- a) Berikan penurunan rumus secara analitis matematis sehingga didapatkan persamaan arus listrik $i(t)$ dalam sirkuit sebagai fungsi waktu t .
- b) Dari persamaan yang didapat pada soal (a), buat grafik 2D arus listrik sebagai fungsi waktu. Anggap nilai $R = L = C = 1$ dan $0 \leq t \leq 20$, $\Delta t = 0,1$.
- c) Buat kode program dengan algoritma Euler sehingga didapatkan grafik 2D nya secara komputasi.
- d) Beri analisis dari kedua grafik yang telah diperoleh.

Referensi

<https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-03sc-physics-iii-vibrations-and-waves-fall-2016/part-i-mechanical-vibrations-and-waves/lecture-1/>
https://young.physics.ucsc.edu/115/ode_solve.pdf

Modul 10

Algoritma Euler-Cromer

Tujuan

Mahasiswa mampu mengenal dan mempraktekkan algoritma Euler-Cromer dalam komputasi fisika.

Deskripsi

Algoritma Euler-Cromer merupakan salah satu modifikasi dari algoritma Euler.

Contoh 10: Perhatikan kembali Contoh 9 tentang osilator harmonik sederhana. Pada modul terakhir ini akan disajikan kode program komputasi untuk problem pada Contoh 9 dengan menggunakan algoritma Euler-Cromer.

Kode program SciNotes:

```
x(1) = 1
v(1) = 0
dt = 0.1

for i = 1:100
    v(i + 1) = v(i) - x(i) * dt
    x(i + 1) = x(i) + v(i + 1) * dt

    subplot(211)
    plot(dt * i, x(i), "bo")
    xlabel("waktu (s)")
```

```

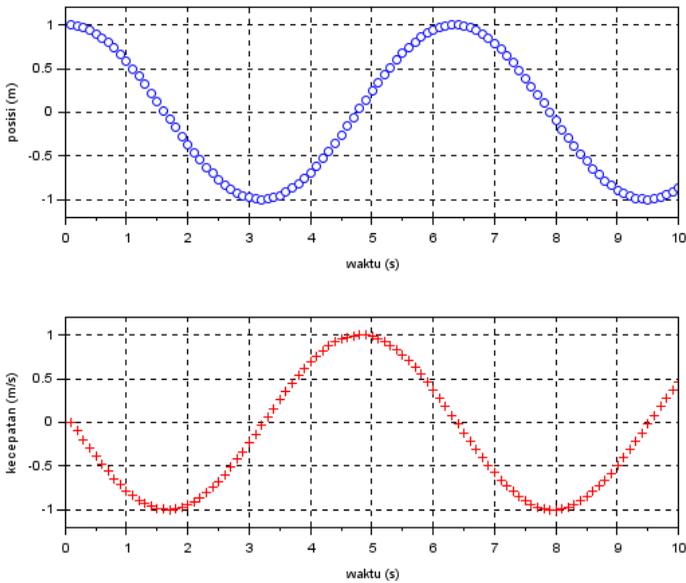
ylabel("posisi (m)")
xgrid

subplot(212)
plot(dt * i, v(i), "r+")
xlabel("waktu (s)")
ylabel("kecepatan (m/s)")
xgrid

end

```

Jika kode program dijalankan maka didapatkan hasil yaitu



Perhatikan grafik di atas. Grafik beresilasi secara sempurna (baik posisi maupun kecepatan, yaitu pada simpangan 1

sampai dengan -1). Algoritma Euler-Cromer memberikan hasil yang lebih baik dibanding algoritma Euler.

Projek 10

Perhatikan kembali Contoh 10. Dengan menggunakan algoritma Euler-Cromer, silakan dibuat kode program komputasi sehingga didapatkan visualisasi 2D energi mekanik dari sistem osilator harmonik sederhana.

Referensi

<https://ocw.mit.edu/courses/physics/8-03sc-physics-iii-vibrations-and-waves-fall-2016/part-i-mechanical-vibrations-and-waves/lecture-1/>

https://young.physics.ucsc.edu/115/ode_solve.pdf

---o0o---