

Laporan Tugas CLO-1 Model Deterministik

Gerak Jatuh Bebas Dengan Hambatan Udara



Disusun Oleh :

Rifqah Amaliyah (1301213241)

Mutiara Maulidina C.C. (1301213185)

Azis Khoirul Umam (1301213117)

Hadid Pilar Gautama (1301213297)

IF-45-DS01

S1 Informatika

Fakultas Informatika

Telkom University

GERAK JATUH BEBAS DENGAN HAMBATAN UDARA

1. PROBLEM STATEMENT

Jika sebuah benda jatuh dari suatu ketinggian tertentu di bumi, pergerakan benda tidak hanya bergantung pada gaya gravitasi bumi saja. Pemodelan yang lebih realistis adalah bahwa laju perubahan kecepatan objek adalah selisih antara percepatan gravitasi dan gaya hambatan udara, yang secara proporsional berkurang seiring dengan peningkatan kecepatan objek. Model ini memberikan gambaran tentang bagaimana gerakan objek berubah seiring waktu ketika berada dalam kondisi jatuh bebas dengan hambatan udara.

Adapun persamaan jatuh bebas dengan hambatan udara adalah:

$$a = \frac{dv}{dt} = -g + \frac{k}{m}v$$

Dimana

- a = percepatan benda
- g = percepatan gravitasi bumi
- k = konstanta hambatan udara
- m = massa benda
- v = kecepatan benda

Dengan menggunakan persamaan model diatas, akan disimulasikan pergerakan objek bola plastik yang dijatuhkan dari helikopter dengan spesifikasi sebagai berikut :

- $r = 0.2$ Jari jari (m)
- $H = y_0 = 100$ Posisi awal (m)
- $v_0 = 0$ Kecepatan awal (m/s)
- $a = -9,8$ Gravitasi (m/s^2)
- $t = 0$ Waktu awal (s)

Pada pemodelan dan simulasi ini, terdapat beberapa hal yang akan dilakukan, yaitu :

- Menghitung massa benda
- Menghitung luas penampang melintang benda yang dijatuhkan
- Menghitung konstanta hambatan udara
- Menentukan solusi analitik dengan metode pemisahan variabel
- Melakukan simulasi persatuan waktu dengan pendekatan numerik untuk melihat pergerakan bola dari ketinggian awal hingga mencapai permukaan tanah
- Membandingkan seberapa dekat solusi numerik dengan solusi analitik (jika ditemukan).
- Menganalisis pengaruh nilai parameter (Δt), k , m , H terhadap performa solusi numerik

2. METODE SIMULASI

- a. Menghitung Massa Benda

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho$$

- b. Menghitung Luas Penampang Melintang Benda

$$A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$$

- c. Menghitung Konstanta Hambatan Udara

$$k = 0.775 \cdot A$$

- d. Pendekatan Analitik

Persamaan percepatan dinyatakan sebagai :

$$a = -g + \frac{k}{m} v$$

Dengan percepatan merupakan turunan dari kecepatan terhadap waktu, diperoleh :

$$\frac{dv}{dt} = -g + \frac{k}{m} v$$

Persamaan diferensial ini akan diselesaikan dengan separasi variabel, dengan cara memisahkan variabel v dan t .

$$\frac{dv}{\left(-g + \frac{k}{m} v\right)} = dt$$

Integrasikan kedua ruas persamaan

$$\int \frac{dv}{\left(-g + \frac{k}{m} v\right)} = \int dt$$

Misalkan, $u = -g + \frac{k}{m} v$

$$du = \frac{k}{m} dv \Rightarrow dv = \frac{m}{k} du$$

Substitusi $-g + \frac{k}{m} v = u$ dan $dv = \frac{m}{k} du$ ke persamaan integral, sehingga diperoleh :

$$\int \frac{m}{k} \frac{du}{u} = \int dt$$

$$\frac{m}{k} \int \frac{1}{u} du = \int dt$$

$$\frac{m}{k} \ln(u) = t + C$$

$$\ln(u) = \frac{kt}{m} + C$$

Substitusi kembali nilai $u = -g + \frac{k}{m} v$, sehingga

$$\ln\left(-g + \frac{k}{m} v\right) = \frac{kt}{m} + C$$

$$-g + \frac{k}{m} v = e^{\frac{kt}{m} + C}$$

$$\frac{k}{m} v = C e^{\frac{kt}{m}} + g$$

$$v = \frac{C}{\frac{k}{m}} e^{\frac{kt}{m}} + \frac{g}{\frac{k}{m}}$$

$$v = C e^{\frac{kt}{m}} + \frac{mg}{k}$$

Diperoleh persamaan kecepatan, dengan C menyatakan konstanta integrasi. Untuk menentukan nilai konstanta C, gunakan nilai kecepatan awal $v(0) = 0 \text{ m/s}$.

$$0 = C e^0 + \frac{mg}{k}$$

$$0 = C + \frac{mg}{k}$$

$$C = -\frac{mg}{k}$$

Sehingga, diperoleh solusi analitik dari persamaan diferensial percepatan, yaitu :

$$v(t) = -\frac{mg}{k} e^{\frac{kt}{m}} + \frac{mg}{k}$$

e. Pendekatan Numerik

Pada pemodelan dan simulasi ini, model yang digunakan adalah model dengan pendekatan numerik dimana akan diukur perubahan kecepatan benda dan perubahan posisi benda

- Perubahan Kecepatan

Persamaan numerik untuk perubahan kecepatan $\frac{dy}{dt}$ menggambarkan bagaimana posisi berubah seiring dengan waktu t . Dalam konteks ini, pendekatan menggunakan diferensial hampiran (\approx) digunakan untuk mengevaluasi perubahan kecepatan pada interval waktu kecil (Δt).

Persamaan perubahan kecepatan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dv}{dt} \approx \frac{v(t+\Delta t) - v(t)}{\Delta t} = -g + \frac{k}{m} v$$

Kemudian, dengan melakukan aproksimasi linear, kita bisa mendapatkan nilai kecepatan pada $t + \Delta t$ sebagai berikut :

$$v(t + \Delta t) = -g \cdot \Delta t + v(t) \cdot (1 - \frac{k}{m} \Delta t)$$

- Perubahan Posisi

Persamaan numerik untuk perubahan posisi $\frac{dy}{dt}$ menggambarkan bagaimana posisi berubah seiring dengan waktu t . Dalam pendekatan ini, kita menggunakan pendekatan bahwa kecepatan adalah turunan dari posisi terhadap waktu, sehingga kita dapat menggunakan nilai kecepatan $v(t)$ pada interval Δt untuk menghitung perubahan posisi

Persamaan perubahan posisi dapat ditulis sebagai berikut

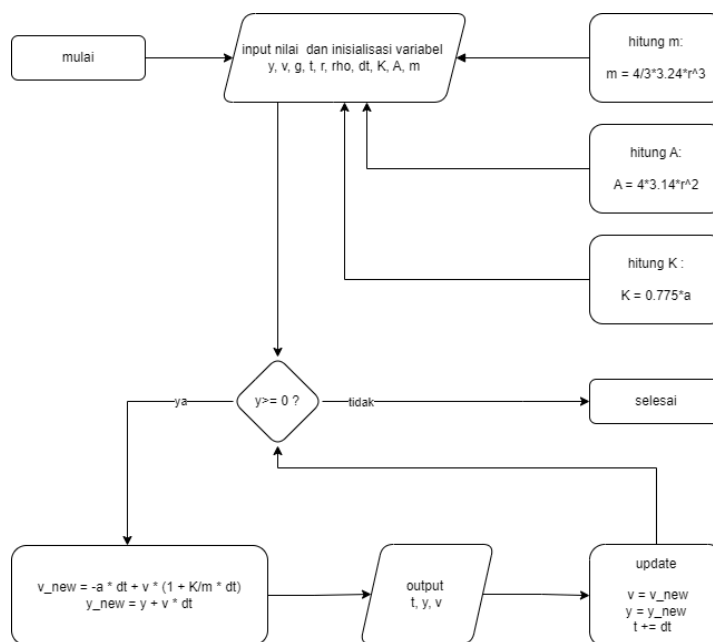
$$\frac{dy}{dt} \approx \frac{y(t+\Delta t) - y(t)}{\Delta t} = v(t)$$

Ini berarti bahwa perubahan posisi $y(t + \Delta t)$ pada interval waktu Δt adalah kecepatan $v(t)$ dikalikan dengan interval waktu Δt

Sehingga posisi pada waktu $t + \Delta t$ dapat dihitung sebagai berikut:

$$y(t + \Delta t) = y(t) + \Delta t \cdot v(t)$$

Dari Persamaan-persamaan yang telah diperoleh diatas, model numerik dapat disimulasikan mengikuti diagram alur berikut :



Gambar 1

3. MODEL SIMULASI

- a. Model Simulasi Dengan Pendekatan Analitik untuk Mengukur Kecepatan Objek Saat Waktu Tertentu

Dengan menyelesaikan persamaan diferensial percepatan benda menggunakan metode separasi variabel, diperoleh solusi analitik untuk menghitung kecepatan benda pada waktu tertentu dengan parameter kecepatan awal yang bernilai 0 m/s

$$v(t) = -\frac{mg}{k} e^{\frac{kt}{m}} + \frac{mg}{k}$$

Menggunakan persamaan ini, akan disimulasikan model analitik untuk memperoleh perubahan kecepatan benda terhadap waktu dengan parameter sebagai berikut :

Waktu (s)	Jari jari (m)	Massa (kg)	Konstanta (kg/m)
0.0	0.2	30.98	0.38
0.5	0.2	30.98	0.38
1.0	0.2	30.98	0.38
1.5	0.2	30.98	0.38
2	0.2	30.98	0.38
2.5	0.2	30.98	0.38
3	0.2	30.98	0.38
3.5	0.2	30.98	0.38
4	0.2	30.98	0.38

Tabel 1

- b. Model Simulasi Pergerakan Objek Persatuan Waktu Menggunakan Pendekatan Numerik

Proses ini bertujuan untuk mensimulasikan pergerakan objek dari ketinggian awal hingga mencapai permukaan tanah. Output dari model ini adalah daftar perubahan waktu (s), posisi (m), kecepatan (m/s) dari waktu ke waktu

Dalam melakukan simulasi ini akan digunakan model dengan parameter sebagai berikut :

Parameter	Nilai
y_0	100m
V_0	0 km/s
g	-9.8 m/s ²
t_0	0s

r	0.2m
Δt	0.01s

Tabel 2

- c. Model Dalam Menganalisis Pengaruh Nilai Parameter (Δt), k , m , H Terhadap Performa Solusi Numerik

Dalam simulasi menggunakan pendekatan numerik, akan dilakukan analisis terhadap pengaruh nilai parameter Δt , k , m , H terhadap performa solusi numerik. Oleh karena itu berikut beberapa model dengan parameter berbeda yang akan digunakan dalam menganalisis pengaruh parameter

- Perubahan parameter ketinggian/posisi awal benda (h)

Model	Δt (s)	r (m)	H (m)
1	0.01	0.2	100
2	0.01	0.2	1000
3	0.01	0.2	10000

Tabel 3

- Perubahan parameter selang waktu (Δt)

Model	Δt (s)	r (m)	H (m)
1	0.01	0.2	100
2	0.05	0.2	100
3	1.00	0.2	100

Tabel 4

- Perubahan parameter massa (m) dan konstanta hambatan udara (k)

Untuk menghitung massa dan konstanta hambatan udara, salah satu parameter yang dibutuhkan adalah jari jari (r). Agar parameter m dan k pada masing-masing model berbeda, akan diinputkan nilai r yang berbeda pula

Model	Δt (s)	r (m)	H (m)
1	0.01	0.2	100
2	0.01	0.8	100
3	0.01	0.24	100

Tabel 5

4. HASIL DAN ANALISIS

a. Simulasi Model Dengan Pendekatan Analitik dan Numerik

Dengan menggunakan model analitik yang telah diperoleh, akan dicari nilai kecepatan benda pada beberapa waktu yang berbeda, yaitu dari 0 sampai 4 detik dengan timestep 0.5 detik. Nilai kecepatan yang diperoleh dari solusi analitik ini kemudian akan dijadikan sebagai pembanding terhadap nilai kecepatan benda yang diperoleh melalui metode numerik.

Pada tabel dibawah tersaji hasil kecepatan benda dengan solusi numerik Dengan menggunakan $\Delta t = 0.01$, dapat diperoleh perubahan kecepatan benda yang nilainya hampir mendekati solusi analitik.

Waktu (s)	Jari jari (m)	Massa (kg)	Konstanta (kg/m)	Kecepatan (m/s)	
				Analitik	Numerik
0	0.2	30.98	0.38	0	0
0.5	0.2	30.98	0.38	-4.9150	-4.9151
1.0	0.2	30.98	0.38	-9.8603	-9.8612
1.5	0.2	30.98	0.38	-14.836	-14.8384
2	0.2	30.98	0.38	-19.8423	-21.8594
2.5	0.2	30.98	0.38	-24.8795	-24.8873
3	0.2	30.98	0.38	-29.9476	-29.9593
3.5	0.2	30.98	0.38	-35.0469	-35.0633
4	0.2	30.98	0.38	-40.1775	-40.1994

Tabel 6

b. Simulasi Pergerakan Objek Persatuan Waktu Menggunakan Pendekatan Numerik

Melalui metode simulasi dengan pendekatan numerik yang sudah dirancang sebelumnya, simulasi persatuan waktu berhasil dilakukan. Berikut tampilan perubahan posisi dan kecepatan benda seiring berjalannya waktu

```
simulate_ball_movement(y, dt, K, m)

Waktu: 0 s      Posisi: 100 m      Kecepatan: 0 m/s
Waktu: 0.01 s   Posisi: 100.0 m   Kecepatan: -0.098 m/s
Waktu: 0.02 s   Posisi: 99.999 m   Kecepatan: -0.19601231674628794 m/s
Waktu: 0.03 s   Posisi: 99.9971 m   Kecepatan: -0.29403695178684586 m/s
Waktu: 0.04 s   Posisi: 99.9941 m   Kecepatan: -0.3920739066698503 m/s
Waktu: 0.05 s   Posisi: 99.9902 m   Kecepatan: -0.4901231829436724 m/s
Waktu: 0.06 s   Posisi: 99.9853 m   Kecepatan: -0.588184782156878 m/s
Waktu: 0.07 s   Posisi: 99.9794 m   Kecepatan: -0.6862587058582273 m/s
Waktu: 0.08 s   Posisi: 99.9726 m   Kecepatan: -0.7843449555966756 m/s
Waktu: 0.09 s   Posisi: 99.9647 m   Kecepatan: -0.8824435329213726 m/s
Waktu: 0.1 s    Posisi: 99.9559 m   Kecepatan: -0.9805544393816624 m/s
Waktu: 0.11 s   Posisi: 99.9461 m   Kecepatan: -1.0786776765270845 m/s
Waktu: 0.12 s   Posisi: 99.9353 m   Kecepatan: -1.1768132459073726 m/s
Waktu: 0.13 s   Posisi: 99.9235 m   Kecepatan: -1.2749611490724555 m/s
Waktu: 0.14 s   Posisi: 99.9108 m   Kecepatan: -1.3731213875724564 m/s
Waktu: 0.15 s   Posisi: 99.897 m   Kecepatan: -1.4712939629576938 m/s
Waktu: 0.16 s   Posisi: 99.8823 m   Kecepatan: -1.5694788767786807 m/s
Waktu: 0.17 s   Posisi: 99.8666 m   Kecepatan: -1.6676761305861252 m/s
Waktu: 0.18 s   Posisi: 99.85 m   Kecepatan: -1.76588572593093 m/s
Waktu: 0.19 s   Posisi: 99.8323 m   Kecepatan: -1.864107664364193 m/s
Waktu: 0.2 s    Posisi: 99.8137 m   Kecepatan: -1.9623419474372068 m/s
```


...

Waktu: 4.3 s	Posisi: 7.967 m	Kecepatan: -43.29668101423842 m/s
Waktu: 4.31 s	Posisi: 7.534 m	Kecepatan: -43.4001225880666 m/s
Waktu: 4.32 s	Posisi: 7.1 m	Kecepatan: -43.50357716254397 m/s
Waktu: 4.33 s	Posisi: 6.665 m	Kecepatan: -43.60704473930446 m/s
Waktu: 4.34 s	Posisi: 6.2289 m	Kecepatan: -43.71052531998222 m/s
Waktu: 4.35 s	Posisi: 5.7918 m	Kecepatan: -43.81401890621159 m/s
Waktu: 4.36 s	Posisi: 5.3537 m	Kecepatan: -43.91752549962712 m/s
Waktu: 4.37 s	Posisi: 4.9145 m	Kecepatan: -44.02104510186357 m/s
Waktu: 4.38 s	Posisi: 4.4743 m	Kecepatan: -44.124577714555905 m/s
Waktu: 4.39 s	Posisi: 4.033 m	Kecepatan: -44.22812333933929 m/s
Waktu: 4.4 s	Posisi: 3.5907 m	Kecepatan: -44.3316819778491 m/s
Waktu: 4.41 s	Posisi: 3.1474 m	Kecepatan: -44.43525363172092 m/s
Waktu: 4.42 s	Posisi: 2.7031 m	Kecepatan: -44.53883830259053 m/s
Waktu: 4.43 s	Posisi: 2.2577 m	Kecepatan: -44.642435992093915 m/s
Waktu: 4.44 s	Posisi: 1.8113 m	Kecepatan: -44.74604670186728 m/s
Waktu: 4.45 s	Posisi: 1.3638 m	Kecepatan: -44.84967043354702 m/s
Waktu: 4.46 s	Posisi: 0.9153 m	Kecepatan: -44.95330718876974 m/s
Waktu: 4.47 s	Posisi: 0.4658 m	Kecepatan: -45.05695696917226 m/s
Waktu: 4.48 s	Posisi: 0.0152 m	Kecepatan: -45.1606197763916 m/s

Gambar 2

- Setiap iterasi menampilkan waktu, posisi, dan kecepatan benda.
- Parameter waktu terus bertambah seiring dengan berjalannya simulasi.
- Posisi benda terus berkurang seiring dengan jatuhnya benda ke bawah.
- Kecepatan benda negatif karena benda bergerak ke arah negatif y, sesuai dengan arah gaya gravitasi yang menarik benda ke bawah.
- Menggunakan pendekatan numerik, diperoleh waktu benda menyentuh permukaan tanah pada detik ke 4.48

c. Simulasi Model Numerik Dengan Perubahan Parameter (Δt), k , m , H

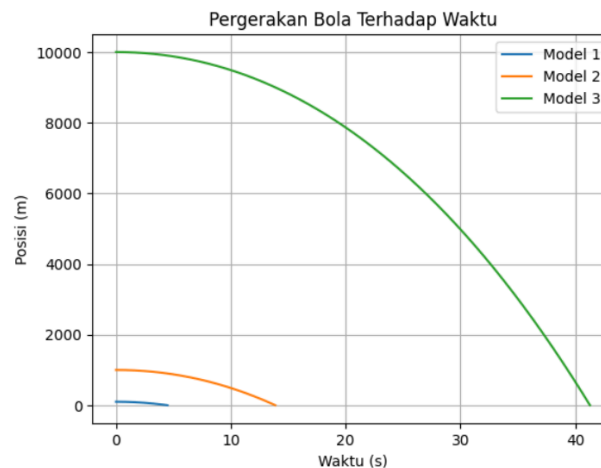
- Perubahan parameter ketinggian/posisi awal benda (h)

Analisis pengaruh perubahan parameter H terhadap performa solusi numerik dapat dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dari ketiga model. Berikut hasil simulasi dan analisisnya :

Model	Δt (s)	r (m)	H (m)	Hasil				
				Massa (kg)	Konstanta (kg/m)	Waktu (s)	Posisi (m)	Kecepatan (m/s ²)
1	0.01	0.2	100	30.98	0.38	4.49	-0.43	-45.26
2	0.01	0.2	1000	30.98	0.38	13.88	-0.56	-148.26
3	0.01	0.2	10000	30.98	0.38	41.29	-4.21	-530.37

Tabel 7

- 1) Terlihat bahwa massa dan koefisien yang dihasilkan oleh ketiga model tetap sama. Ini menunjukkan bahwa perubahan parameter H tidak mempengaruhi massa dan konstanta benda.
- 2) Terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan oleh model untuk menyelesaikan pergerakan juga meningkat seiring dengan peningkatan parameter H . Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai parameter H , semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pergerakan.



Gambar 3

- 3) Posisi akhir dan kecepatan akhir juga mengalami perubahan yang signifikan seiring dengan peningkatan ketinggian (H).
- 4) Semakin tinggi benda, semakin besar perubahan dalam posisi dan kecepatan akhirnya. Hal ini juga sesuai dengan hukum gravitasi Newton, dimana gaya gravitasi semakin besar seiring dengan peningkatan ketinggian.

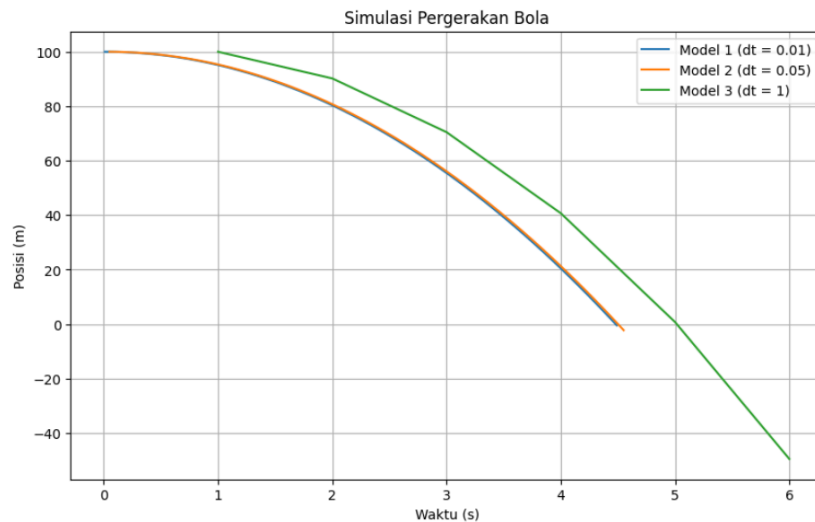
- Perubahan parameter selang waktu (Δt)

Analisis pengaruh perubahan parameter Δt terhadap performa solusi numerik dapat dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dari ketiga model. Berikut hasil simulasi dan analisisnya :

Model	Δt (s)	r (m)	H (m)	Hasil				
				Massa (kg)	Konstanta (kg/m)	Waktu (s)	Posisi (m)	Kecepatan (m/s ²)
1	0.01	0.2	100	30.98	0.38	4.49	-0.43	-45.26
2	0.05	0.2	100	30.98	0.38	4.55	-2.224	-45.87
3	1.00	0.2	100	30.98	0.38	6.00	-49.48	-60.67

Tabel 8

- 1) Terlihat bahwa massa dan konstanta yang dihasilkan oleh ketiga model tetap sama. Ini menunjukkan bahwa perubahan parameter H tidak mempengaruhi massa dan konstanta benda.
- 2) Semakin besar selang waktu (dt), semakin lambat benda mencapai atau mendekati permukaan tanah. Ini disebabkan oleh fakta bahwa semakin kecil selang waktu yang digunakan dalam simulasi, semakin akurat hasilnya karena perubahan-perubahan yang lebih kecil dalam pergerakan benda dapat direkam dan dipertimbangkan.



Gambar 4

3) Semakin besar selang waktu (dt), semakin jauh posisi akhir benda dari permukaan tanah. Hal ini sesuai dengan fenomena yang dapat dipahami, karena semakin besar selang waktu yang digunakan dalam simulasi, semakin besar potensi untuk terjadi perbedaan signifikan dalam pergerakan benda dan posisi akhirnya

- Perubahan parameter massa (m) dan konstanta hambatan udara (k)

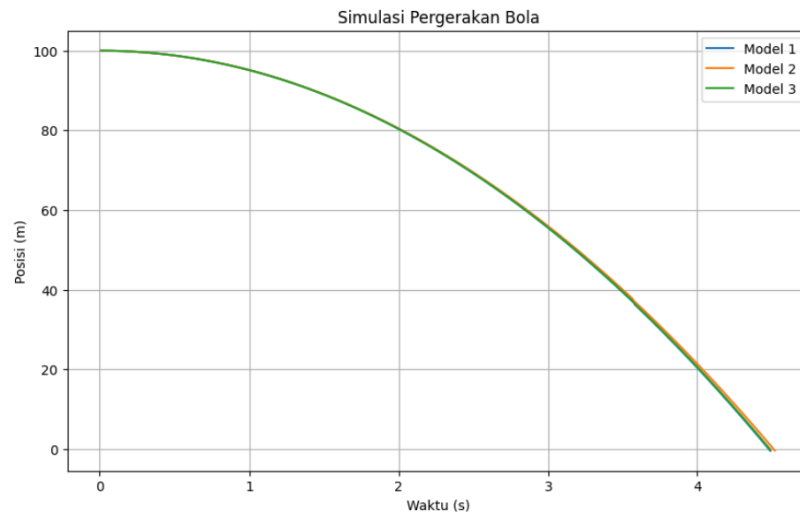
Dalam pemodelan ini, dicoba tiga model yang memiliki jari jari berbeda sehingga akan mempengaruhi hasil perhitungan K dan massa pada masing masing model. Analisis pengaruh perubahan parameter K dan m terhadap performa solusi numerik dapat dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dari ketiga model. Berikut hasil simulasi dan analisisnya :

Model	Δt (s)	r (m)	H (m)	Hasil				
				Massa (kg)	Konstanta (kg/m)	Waktu (s)	Posisi (m)	Kecepatan (m/s ²)
1	0.01	0.2	100	30.98	0.38	4.49	-0.43	-45.26
2	0.01	0.8	100	1982.81	6.22	4.52	-0.35	-44.61
3	0.01	0.24	100	53.54	0.56	4.49	-0.12	-45.06

Tabel 9

- 1) Perubahan parameter massa (m) dan konstanta hambatan udara (k) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil simulasi numerik. Terlihat bahwa pada setiap model dengan nilai parameter yang berbeda, terdapat perbedaan yang cukup besar dalam waktu, posisi, dan kecepatan akhir benda.
- 2) Pada model 2 dengan massa yang jauh lebih besar (1982.81 kg) dan konstanta hambatan udara yang lebih tinggi (6.22 kg/m), terjadi perbedaan

signifikan dalam posisi akhir benda dibandingkan dengan model 1 dan 3. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan massa dan konstanta hambatan udara dapat mempengaruhi pergerakan benda secara signifikan.



Gambar 5

- 3) Meskipun massa pada model 3 (53.54 kg) lebih kecil dari model 1 (30.98 kg), namun hasil simulasi menunjukkan bahwa posisi akhirnya lebih dekat dengan model 1. Ini menunjukkan bahwa faktor konstanta hambatan udara (k) juga memainkan peran penting dalam menentukan pergerakan benda.

5. KESIMPULAN

Dalam simulasi gerak jatuh bebas dengan hambatan udara, telah dilakukan analisis menggunakan pendekatan numerik dan analitik. Berikut beberapa hal yang dapat disimpulkan:

- Solusi Analitik

Pendekatan analitik digunakan untuk menentukan persamaan kecepatan benda dengan cara mencari solusi dari persamaan percepatan menggunakan metode separasi variabel, sehingga didapatkan persamaan $v(t) = -\frac{mg}{k} e^{\frac{kt}{m}} + \frac{mg}{k}$. Dengan memasukkan nilai $m = 30.98$ kg dan $k = 0.38$, diperoleh nilai kecepatan benda dari 0 sampai 4 detik yang disajikan pada tabel 6.

- Solusi Numerik

Dalam pemodelan ini, pendekatan numerik digunakan untuk mengevaluasi perubahan posisi, waktu, dan kecepatan objek saat mengalami gerak jatuh bebas dengan hambatan udara. Pendekatan ini memanfaatkan iterasi dengan interval waktu serta mempertimbangkan beberapa parameter seperti massa, konstanta hambatan udara, percepatan gravitasi, dan posisi awal objek. Perubahan posisi diukur dengan

persamaan $y(t + \Delta t) = y(t) + \Delta t \cdot v(t)$ dan perubahan kecepatan diukur dengan persamaan $v(t + \Delta t) = -g \cdot \Delta t + v(t) \cdot (1 - \frac{k}{m} \Delta t)$

- Perbandingan Solusi Analitik dan Numerik

Perbandingan kecepatan yang diperoleh dari metode analitik dan numerik yang tersaji pada tabel 6 menunjukkan nilai yang serupa, yang simpangannya menjadi lebih besar seiring dengan bertambahnya waktu. Hal ini menunjukkan metode numerik yang digunakan akurat dengan solusi analitik.

- Perubahan Parameter Pada Model Numerik

Dari berbagai simulasi yang telah dilakukan menggunakan parameter berbeda pada model numerik, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Perubahan parameter H memengaruhi waktu, posisi, dan kecepatan akhir benda, namun tidak mempengaruhi massa atau koefisien benda. Hal ini menunjukkan bahwa parameter H berperan dalam menentukan skala atau dimensi dari benda, sehingga mempengaruhi kinematika benda tetapi tidak mempengaruhi massa atau koefisien benda secara langsung.
- b. Perubahan parameter Δt mempengaruhi waktu, posisi, dan kecepatan akhir benda, namun tidak mempengaruhi massa atau koefisien benda. Hal ini menunjukkan bahwa parameter Δt berperan dalam menentukan interval waktu antara iterasi dalam simulasi numerik, sehingga mempengaruhi resolusi waktu dalam memodelkan pergerakan benda. Semakin besar nilai Δt , semakin kasar resolusi waktu yang digunakan dalam simulasi, yang dapat mempengaruhi akurasi hasil.
- c. Perubahan parameter massa (m) dan konstanta hambatan udara (k) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap hasil simulasi numerik. Terlihat bahwa pada setiap model dengan nilai parameter yang berbeda, terdapat perbedaan dalam waktu, posisi, dan kecepatan akhir benda.

6. LAMPIRAN

Code simulasi dapat diakses pada tautan berikut:

https://colab.research.google.com/drive/1-EIWBSHG6Mpdn_2RUzRrGeAUKjvAoJiZ?usp=sharing

Video Presentasi dapat diakses pada tautan berikut :

<https://youtu.be/cLpKYNRLIzI>

PPT Presentasi dapat diakses pada tautan berikut :

https://www.canva.com/design/DAGA9IVMEgQ/CDKs9IHwwu42_L0Bm9q0Qg/edit?utm_content=DAGA9IVMEgQ&utm_campaign=designshttps://docs.google.com/document/d/1Y78ERKeAJfu9fkn0hXdpyTSKztwzURFe/edithare&utm_medium=link2&utm_source=s harebutton