

Studi Gaya Hambat GJB Pada Variasi Luas Permukaan Kertas *Cupcake* dengan Analisis Video & Python

Diana Nurfitni^{1,2}, Yudhiakto Pramudya^{1*}

¹Program Studi Magister Pendidikan Fisika
Universitas Ahmad Dahlan

Jalan Pramuka 42, Sidikan, Umbulharjo, Yogyakarta 55161

²SD I Al Azhar 55 Yogyakarta

Jl. Padjajaran, Pogung Lor, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa

2207041001@webmail.uad.ac.id

yudhiakto.pramudya@pfis.uad.ac.id

Abstrak

Luas permukaan benda berpengaruh terhadap gaya hambat. Karakter perubahan gaya hambat kertas *cupcake* pada gerak jatuh bebas akan diteliti melalui eksperimen dan analitik. Variasi luas permukaan kertas *cupcake* dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap gaya hambat. Analisis video tracker dan perangkat lunak Python digunakan dalam penelitian ini. Dengan teknik analisis video, kita dapat memperoleh data mengenai waktu tempuh dan kecepatan kertas *cupcake* saat jatuh bebas. Selanjutnya, perangkat lunak Python digunakan untuk menganalisis data tersebut untuk menghasilkan nilai konstanta gaya hambat. Koefisien gaya hambat sebesar 0,00014, 0,00019, 0,0018, dan 0,0022 pada diameter permukaan bawah kertas *cupcake* 2,95 cm, 4,22 cm, 5,05 cm, dan 5,13 cm. Semakin besar luas permukaan bawah kertas *cupcake* maka semakin tinggi pula koefisien gaya hambat yang dihasilkan sehingga dapat mengakibatkan gaya hambat yang semakin besar pula.

Kata kunci: Kertas *Cupcake*, Gaya Hambat, Tracker, Python

Abstract

The surface area of an object influences the drag force. The character of changes in the drag force of the cupcake paper during free fall motion will be investigated through experiments and analytics. Variations in the surface area of the cupcake paper were carried out to determine its effect on the drag force. Tracker video analysis and Python software were used in this study. With video analysis techniques, we can obtain data regarding the travel time and speed of the cupcake paper during free fall. Next, Python software is used to analyze the data to produce the drag force constant value. The drag force coefficients are 0.00014, 0.00019, 0.0018, and 0.0022 at the bottom surface diameter of the cupcake paper 2.95 cm, 4.22 cm, 5.05 cm, and 5.13 cm. The greater the bottom surface area of the cupcake paper, the higher the coefficient of drag produced, which can result in a greater drag force.

Keywords: *Cupcake Paper, Resistance, Tracker, Python*

PENDAHULUAN

Gaya hambat merupakan gaya yang muncul ketika benda bergerak melalui medium seperti udara atau air. Gaya ini menyebabkan perlambatan gerak benda dan bergantung pada beberapa faktor, termasuk kecepatan benda, viskositas medium, dan luas permukaan benda yang bersentuhan dengan medium (Anderson & Bowden, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki pengaruh luas permukaan benda terhadap gaya hambat dengan analisis video Tracker dan Python. Penelitian eksperimental gaya hambat benda jatuh bebas dilakukan dengan variasi luas permukaan dan analisis video berkecepatan tinggi (Abdulsalam, Al-Qaheri & Al-Khayyat, 2018). Bola plastik ukuran berbeda digunakan pada penelitian untuk variasi luas permukaan. Bola dilepaskan dan jatuh bebas ke air.

Pengambilan gambar dilakukan dengan kamera berkecepatan tinggi di samping kolam. Video dianalisis dengan *software* Tracker. Hasilnya: semakin besar permukaan benda, semakin besar gaya hambatnya. Penelitian menunjukkan bahwa analisis video dan pengolahan tracker dapat memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan untuk mengukur gaya hambat pada benda yang jatuh bebas (Sirisathitkul et al., 2013).

Studi tentang pengaruh luas permukaan pada gaya hambat udara pada benda bola juga dilakukan dan mengukur gaya hambat udara menggunakan alat pengukur kecepatan. Al-Saadi & Rahman (2011) mengamati jatuhnya bola dengan berbagai ukuran. Studi menunjukkan luas permukaan bola berdampak pada gaya hambat udara. Diameter bola besar, luas permukaan dan gaya hambat udara besar. Persamaan *drag force* digunakan untuk hambatan udara pada bola. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa bola dengan diameter 7,62 cm memiliki gaya hambat udara 0,0595 N dan bola 10,16 cm sebesar 0,1077 N.

Penelitian-penelitian tersebut banyak menggunakan benda berupa bola. Benda dengan geometri lainnya belum banyak diteliti. Benda yang digunakan yaitu kertas *cupcake*. Kertas *cupcake* dapat diubah menjadi berbagai bentuk geometri, seperti segitiga, persegi, persegi panjang, lingkaran, atau bahkan polihedron sederhana. Kemudahan dalam memanipulasi kertas *cupcake* memungkinkan peneliti untuk melipat, memotong, atau menggabungkan potongan kertas *cupcake* sesuai kebutuhan eksperimen, sehingga memungkinkan fleksibilitas dalam memilih bentuk geometri yang sesuai dengan tujuan penelitian (Gardner, 2001). Dalam penelitian ini, gerak jatuh bebas direkam dan dianalisis posisi dan kecepatan benda terhadap waktu dengan menggunakan analisis video. Eksperimen dilakukan dengan variasi luas permukaan benda. Targetnya yaitu mendapatkan gaya hambat kertas *cupcake* pada gerak jatuh bebas.

Python adalah bahasa pemrograman yang populer dan serbaguna, dengan ekosistem pustaka yang kaya seperti NumPy, Pandas, dan Matplotlib (Bader, 2017). Dalam analisis data, Python menyediakan alat yang tangguh dan mudah digunakan untuk manipulasi, pemrosesan, dan visualisasi data. Peneliti dapat dengan mudah menjalankan berbagai teknik analisis. Analisis data Python memberikan pendekatan yang kuat dan efisien untuk memperoleh wawasan berharga dari data dalam penelitian. Data posisi terhadap waktu juga dimasukkan dalam pemrograman Python untuk menghitung gaya hambat pada setiap benda. Persamaan geraknya menggunakan persamaan Hukum kedua Newton. Hasil penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman dalam pengembangan teknologi aerodinamika dan gerakan benda dalam kehidupan sehari-hari, seperti parasut atau pesawat terbang, serta aplikasi lain yang terkait dengan gaya hambat.

METODE PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Metode yang digunakan yaitu eksperimen dan komputasi. Eksperimen dianalisis dengan analisis video dan Python adalah metode eksperimen. Dalam metode ini, benda dijatuhkan dari ketinggian yang sama dengan variasi luas permukaan yang berbeda, dan gerakan jatuh bebasnya direkam menggunakan kamera. Rekaman video tersebut kemudian dianalisis menggunakan *software* analisis video tracker untuk mengukur waktu, posisi, dan kecepatan benda uji selama jatuh bebas.

Selanjutnya, data yang diperoleh dari *software* analisis video diolah menggunakan program Python untuk menghitung gaya hambat pada benda uji. Program ini memproses data posisi dan kecepatan yang diambil dari rekaman video dan menghasilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya hambat dan luas permukaan benda uji. Selanjutnya, data dianalisis untuk memberikan informasi tentang hubungan antara gaya hambat dan luas permukaan benda uji.

B. Alat dan Skema Alat

Berikut adalah spesifikasi alat yang digunakan pada penelitian studi gaya hambat gerak jatuh bebas pada variasi luas permukaan benda dengan analisis video dan Python:

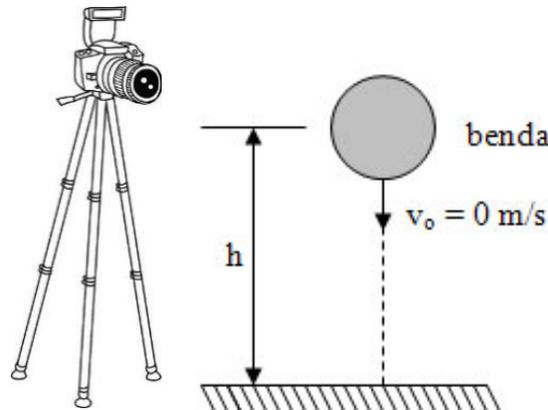
1. Benda uji

Benda uji yaitu kertas *cupcake* dengan variasi luas permukaan bagian bawah.

2. Alat ukur luas permukaan

Alat ini digunakan untuk mengukur luas permukaan benda uji dengan akurasi yang tinggi. Alat yang dapat digunakan adalah penggaris.

3. Kamera
Kamera digunakan untuk merekam gerakan jatuh bebas benda uji. Kamera harus memiliki kecepatan rekam yang cukup tinggi untuk merekam gerakan benda uji dengan jelas. Kamera yang digunakan memiliki spesifikasi 4K in 60 fps.
4. Tripod
Tripod digunakan untuk menyangga kamera dan menjaga kamera agar tetap stabil selama pengambilan video.
5. Perangkat lunak analisis video
Perangkat lunak ini digunakan untuk menganalisis rekaman video dari gerakan jatuh bebas benda uji. Perangkat lunak ini harus mampu mengukur waktu, posisi, dan kecepatan benda uji selama jatuh bebas dengan akurasi yang tinggi. Perangkat lunak yang peneliti digunakan adalah Tracker.
6. Komputer/Laptop
Komputer/laptop digunakan untuk menjalankan program Python untuk menghitung gaya hambat pada benda uji berdasarkan data posisi dan kecepatan yang diambil dari rekaman video. Komputer yang digunakan harus memiliki spesifikasi yang cukup untuk menjalankan program Python dengan lancar.
7. Program Python
Program ini digunakan untuk menghitung gaya hambat pada benda uji berdasarkan data posisi dan kecepatan yang diambil dari rekaman video. Program Python harus dapat memproses data dengan cepat dan menghasilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya hambat dan luas permukaan benda uji.



Gambar 1. Skema Alat

Sesuai gambar 1, Penelitian dilakukan menggunakan spesifikasi alat yang tepat dan lingkungan yang sudah steril dari kemungkinan hambatan (ruang tertutup).

C. Prosedur Penelitian

Berikut adalah prosedur eksperimen pada penelitian studi gaya hambat gerak jatuh bebas pada variasi luas permukaan benda dengan analisis video dan Python:

1. Menyiapkan benda uji
Pilih benda uji yang akan digunakan dalam penelitian dan ukur luas permukaannya dengan menggunakan alat ukur. Pastikan benda uji memiliki massa yang cukup besar dan permukaan yang halus untuk meminimalkan efek gesekan.
2. Mengatur kamera
Pasang kamera pada posisi yang tepat untuk merekam gerakan jatuh bebas benda uji. Pastikan bahwa kamera memiliki kecepatan rekam yang cukup tinggi untuk merekam gerakan benda uji dengan jelas.
3. Melakukan pengujian
Jatuhkan benda uji dari ketinggian yang sama dan lakukan pengujian pada beberapa variasi luas permukaan benda uji. Setiap pengujian direkam dengan menggunakan kamera dan disimpan dalam format video.

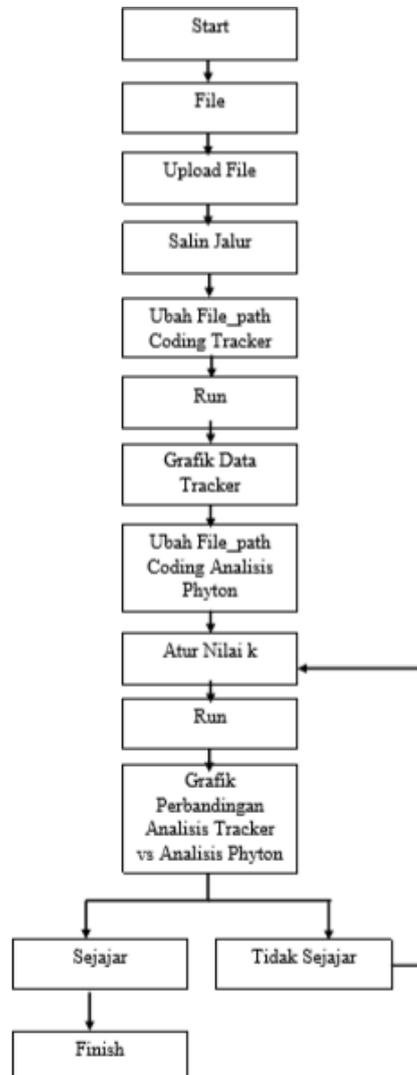
4. Menganalisis video

Gunakan *software* analisis video tracker untuk menganalisis rekaman video dari gerakan jatuh bebas benda uji. *Software* ini akan membantu mengukur waktu, posisi, dan kecepatan benda uji selama jatuh bebas.

5. Menjalankan Program Python

Gunakan program Python untuk menghitung nilai koefisien gaya hambat pada benda uji berdasarkan data posisi dan kecepatan yang diambil dari rekaman video. Program ini akan memproses data yang diperoleh dari *software* analisis video dan menghasilkan grafik yang menunjukkan hubungan antara gaya hambat dan luas permukaan benda uji.

Diagram alir pada program phyton ini yakni:



Gambar 2. Flowcart Coding

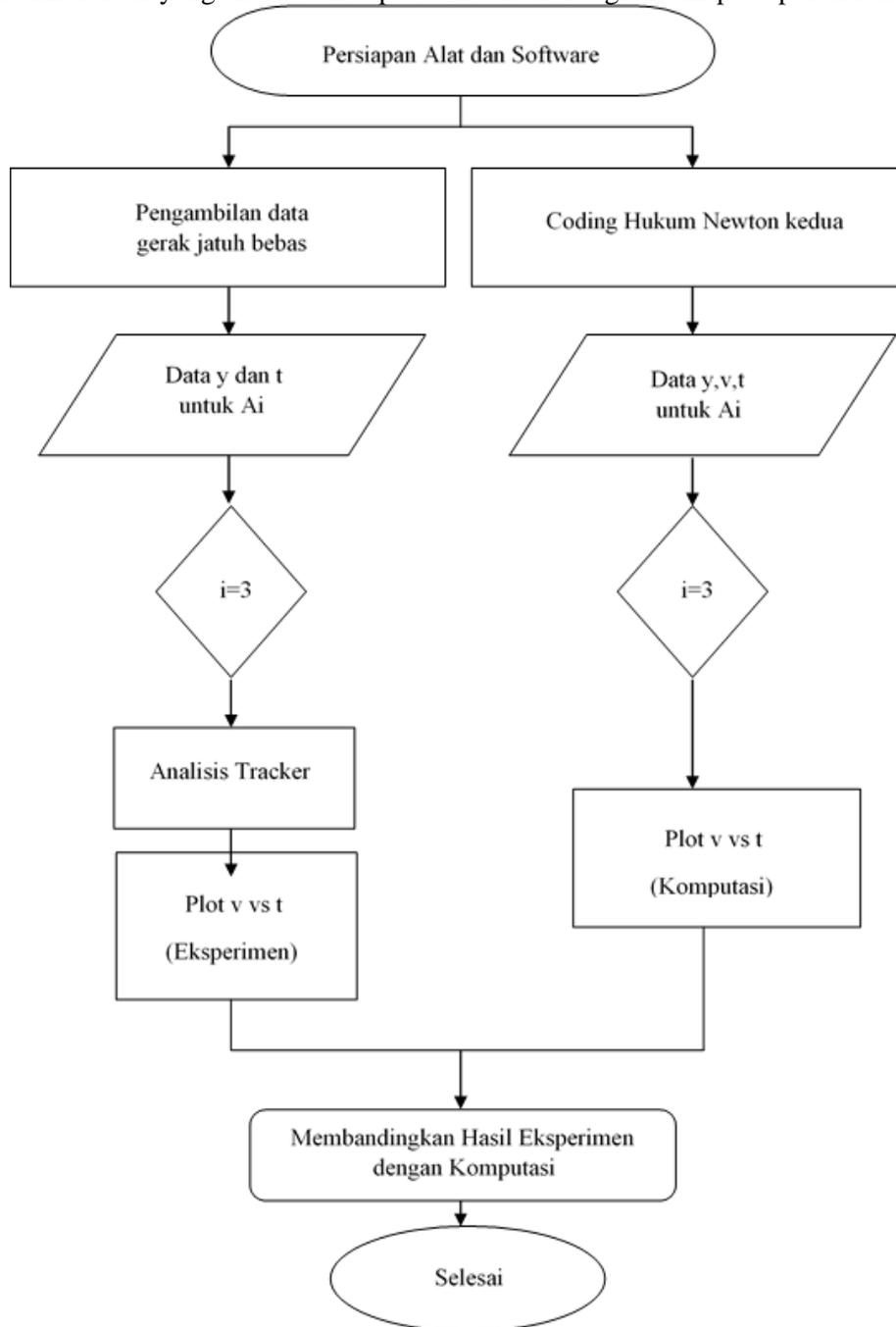
6. Menganalisis data

Analisis data yang diperoleh dari program Python dan hasil pengukuran luas permukaan benda uji dengan alat ukur. Analisis ini dapat memberikan informasi tentang hubungan antara gaya hambat dan luas permukaan benda uji.

7. Menginterpretasi hasil

Interpretasikan hasil dari analisis data dan buat kesimpulan mengenai hubungan antara gaya hambat dan luas permukaan benda uji.

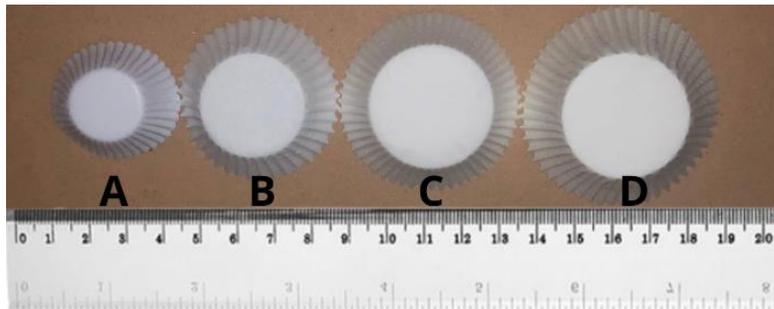
Dengan menggunakan prosedur eksperimen yang tepat, penelitian studi gaya hambat gerak jatuh bebas pada variasi luas permukaan benda dengan analisis video dan Python dapat memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Diagram alir pada penelitian ini yakni:



Gambar 3. Flowchart prosedur penelitian dalam pengumpulan dan pengolahan data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan dengan menggunakan variasi luas permukaan kertas *cupcake* yang berbeda. Luas permukaan kertas *cupcake* diatur dengan mengubah diameter kertas. Peneliti melakukan pengukuran berulang di Lab Fisika UAD Kampus 2 untuk mendapatkan diameter kertas *cupcake*. Hasil dari pengukuran tersebut adalah A ($2,95 \pm 0,02$) cm, B ($4,22 \pm 0,01$) cm, C ($5,05 \pm 0,03$) cm dan D ($5,13 \pm 0,02$) cm.



Gambar 4. Kertas *Cupcake*

Setelah mendapatkan diameter tersebut, eksperimen menjatuhkan kertas *cupcake* dilakukan. Peneliti menetapkan massa yang digunakan adalah 4 gram, 29 lembar A, 14 lembar B, 11 lembar C, dan 8 lembar D. Gerakan jatuh bebas kertas *cupcake* direkam dan dianalisis menggunakan teknik analisis video Tracker. Metode analisis video ini memungkinkan untuk mengamati pergerakan kertas *cupcake* selama jatuh bebas, serta memperoleh data mengenai waktu tempuh dan kecepatan kertas *cupcake*. Setelah melakukan pengukuran berulang didapatkan tinggi pelepasan kertas *cupcake* yang dapat diolah, dimana kecepatan sudah konstan sehingga dapat diteliti gaya hambatnya. Tinggi yang akan dianalisis yaitu 2,75 m.

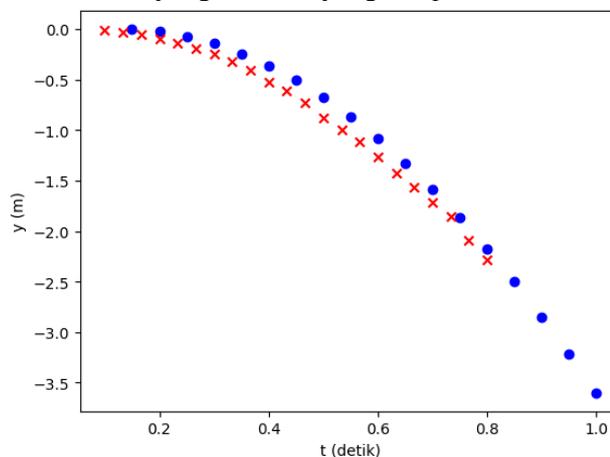
A. Analisis Video Tracker

Aplikasi Video Tracker telah membantu peneliti menentukan kecepatan dari gerak jatuh bebas kertas *cupcake*. Dalam analisis video menggunakan perangkat lunak Tracker, peneliti berhasil mengidentifikasi objek yang dianalisis dengan akurat sepanjang durasi video. Setelah melakukan track dan perhitungan berdasarkan data posisi yang terrekam, hasil kecepatan objek tersebut berhasil diperoleh. Hasil dari pelacakan ini memungkinkan kami untuk mengumpulkan dataset yang terdiri dari data posisi objek terhadap waktu.

Kecepatan rata-rata benda yang dihitung adalah 3 m/s. Hasil ini menunjukkan bahwa objek bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang periode analisis. Interpretasi kecepatan ini dapat memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai dinamika pergerakan objek dalam konteks situasi yang diobservasi.

B. Analisis Python

Selanjutnya, peneliti membandingkan hasil data analisis tracker dengan teori yang relevan. Hasil analisis ini mencakup parameter kecepatan objek yang berhasil dihitung melalui perangkat tracker. Selain itu, peneliti juga melakukan analisis menggunakan bahasa pemrograman Python dengan memanfaatkan model matematis yang relevan, yang direpresentasikan dalam gambar 5.



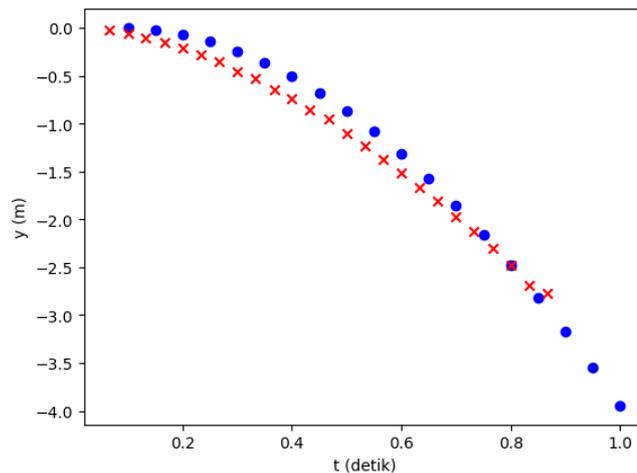
Gambar 5. Grafik Perbandingan antara Analisis Tracker dengan Analisis Python pada objek A

Kertas *cupcake* A dilepaskan dari ketinggian 2,75 m, dan pergerakannya direkam melalui perangkat lunak Video Tracker yang menghasilkan 26 titik pelacakan. Data waktu dan posisi benda pada 26 titik tersebut dianalisis menggunakan bahasa Python. Hasilnya, data tersebut diproses sesuai

dengan persamaan matematika yang telah dipilih sebagai dasar perhitungan, menghasilkan grafik kecepatan seperti yang terlihat pada gambar di atas. Titik biru dalam grafik menunjukkan data dari pelacakan video, sedangkan titik merah adalah hasil analisis yang telah dilakukan menggunakan Python.

Dalam analisis Python ini, peneliti menentukan nilai koefisien gaya hambat (k) yang dihitung sebagai rasio antara gaya gesek dan kecepatan untuk menggambarkan gaya gesekan yang bekerja pada objek. Nilai k yang tertulis adalah $k = g/70800$, dengan g adalah percepatan gravitasi bumi. Maka dihasilkan nilai k sebesar 0,00014. Grafik yang dihasilkan sesuai dengan persamaan (8), yang mengandung bentuk eksponen, sehingga memang wajar jika grafiknya melengkung. Pada diameter kecil, ada peluang besar untuk kesalahan karena kecepatan akan lebih tinggi, sehingga grafik mungkin tidak sejajar antara tracker dan Python dalam hal akurasi.

Dari hasil analisis tracker dan analisis Python tersebut, peneliti memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai pergerakan objek dalam video, serta efek gaya gesekan terhadap gerakannya.

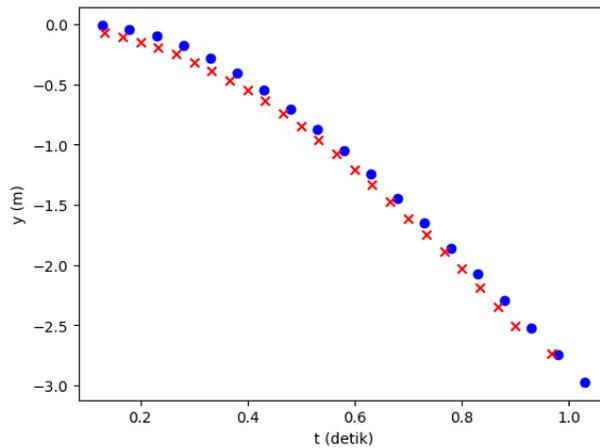


Gambar 6. Grafik Perbandingan antara Analisis Tracker dengan Analisis Python pada objek B

Kertas *cupcake* B dilepaskan dari ketinggian 2,75 m, dan pergerakannya direkam melalui perangkat lunak Video Tracker yang menghasilkan 26 titik pelacakan. Data waktu dan posisi benda pada 26 titik tersebut dianalisis menggunakan bahasa Python. Hasilnya, data tersebut diproses sesuai dengan persamaan matematika yang telah dipilih sebagai dasar perhitungan, menghasilkan grafik kecepatan seperti yang terlihat pada gambar di atas. Titik biru dalam grafik menunjukkan data dari pelacakan video, sedangkan titik merah adalah hasil analisis yang telah dilakukan menggunakan Python. Dalam analisis Python ini, peneliti menentukan nilai koefisien gaya hambat (k) yang dihitung sebagai rasio antara gaya gesek dan kecepatan untuk menggambarkan gaya gesekan yang bekerja pada objek. Nilai k yang tertulis adalah $k = g/51500$, dengan g adalah percepatan gravitasi bumi. Maka dihasilkan nilai k sebesar 0,00019.

Grafik yang dihasilkan sesuai dengan persamaan (8), yang mengandung bentuk eksponen, sehingga grafiknya melengkung. Pada diameter kecil, ada peluang besar untuk kesalahan karena kecepatan akan lebih tinggi, sehingga grafik mungkin tidak sejajar antara tracker dan Python dalam hal akurasi.

Dari hasil analisis tracker dan analisis Python tersebut, peneliti memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai pergerakan objek dalam video, serta efek gaya gesekan terhadap gerakannya.

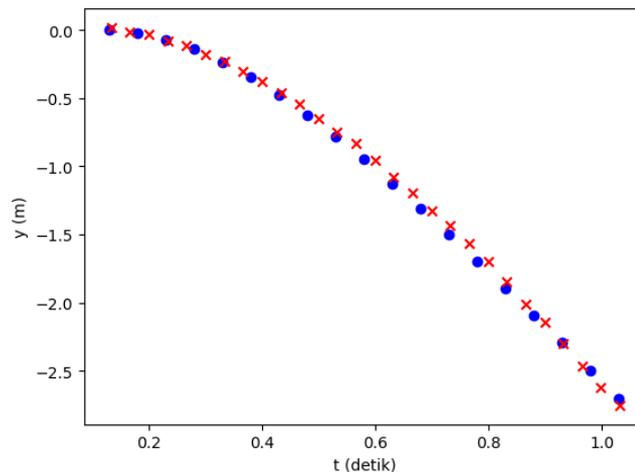


Gambar 7. Grafik Perbandingan antara Analisis Tracker dengan Analisis Python pada objek C

Kertas *cupcake* C dilepaskan dari ketinggian 2,75 m, dan pergerakannya direkam melalui perangkat lunak Video Tracker yang menghasilkan 29 titik pelacakan. Data waktu dan posisi benda pada 29 titik tersebut dianalisis menggunakan bahasa Python. Hasilnya, data tersebut diproses sesuai dengan persamaan matematika yang telah dipilih sebagai dasar perhitungan, menghasilkan grafik kecepatan seperti yang terlihat pada gambar di atas. Titik biru dalam grafik menunjukkan data dari pelacakan video, sedangkan titik merah adalah hasil analisis yang telah dilakukan menggunakan Python.

Dalam analisis Python ini, peneliti menentukan nilai koefisien gaya hambat (k) yang dihitung sebagai rasio antara gaya gesek dan kecepatan untuk menggambarkan gaya gesekan yang bekerja pada objek. Nilai k yang tertulis adalah $k = g/5500$, dengan g adalah percepatan gravitasi bumi. Maka dihasilkan nilai k sebesar 0,0018.

Grafik yang dihasilkan sesuai dengan persamaan (8), yang mengandung bentuk eksponen, sehingga memang wajar jika grafiknya melengkung. Dari hasil analisis tracker dan analisis Python tersebut, peneliti memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai pergerakan objek dalam video, serta efek gaya gesekan terhadap gerakannya.



Gambar 8. Grafik Perbandingan antara Analisis Tracker dengan Analisis Python pada objek D

Kertas *cupcake* D dilepaskan dari ketinggian 2,75 m, dan pergerakannya direkam melalui perangkat lunak Video Tracker yang menghasilkan 31 titik pelacakan. Data waktu dan posisi benda pada 31 titik tersebut dianalisis menggunakan bahasa Python. Hasilnya, data tersebut diproses sesuai dengan persamaan matematika yang telah dipilih sebagai dasar perhitungan, menghasilkan grafik kecepatan seperti yang terlihat pada gambar di atas. Titik biru dalam grafik menunjukkan data dari pelacakan video, sedangkan titik merah adalah hasil analisis yang telah dilakukan menggunakan Python.

Dalam analisis Python ini, peneliti menentukan nilai koefisien gaya hambat (k) yang dihitung sebagai rasio antara gaya gesek dan kecepatan untuk menggambarkan gaya gesekan yang bekerja pada objek. Nilai k yang tertulis adalah $k = g/4400$, dengan g adalah percepatan gravitasi bumi. Maka dihasilkan nilai k sebesar 0,0022.

Grafik yang dihasilkan sesuai dengan persamaan (8), yang mengandung bentuk eksponen, sehingga memang wajar jika grafiknya melengkung. Dari hasil analisis tracker dan analisis Python tersebut, peneliti memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai pergerakan objek dalam video, serta efek gaya gesekan terhadap gerakannya. Melalui perbandingan data hasil analisis tracker dengan analisis Python, peneliti mampu mendapatkan informasi yang lebih mendalam mengenai karakteristik pergerakan objek dalam konteks tertentu. Kedua pendekatan tersebut memberikan pandangan yang saling melengkapi dan menghasilkan hasil yang konsisten dalam hal kecepatan dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi gerakan objek. Dengan demikian, kombinasi antara analisis video tracker dan pendekatan analisis matematis melalui Python memberikan wawasan yang lebih mendalam dan akurat mengenai pergerakan objek yang diamati, sehingga memungkinkan interpretasi yang lebih luas terhadap dinamika pergerakan objek tersebut.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya pengaruh luas permukaan terhadap gaya hambat yang dialami kertas *cupcake* saat mengalami gerakan jatuh bebas. Semakin besar luas permukaan, semakin besar pula gaya hambat yang dihasilkan. Hal ini konsisten dengan hukum fisika yang menyatakan bahwa gaya hambat bergantung pada luas permukaan dan kecepatan benda. Secara ringkas hasil penelitian ini adalah :

Tabel 1. Hasil Penelitian

Diameter (cm)	Koefisien Gaya hambat
(2,95±0,02)	0,00014
(4,22±0,01)	0,00019
(5,05±0,03)	0,0018
(5,13±0,02)	0,0022

Selain itu, hasil perbandingan antara analisis video dan perangkat lunak Python memberikan wawasan tentang keakuratan dan efisiensi kedua metode analisis tersebut. Dengan menggunakan perangkat lunak Python, pengolahan data dapat dilakukan dengan lebih cepat dan akurat, sehingga memberikan potensi untuk analisis yang lebih mendalam dan kompleks. Namun demikian, metode analisis video juga memiliki kegunaan dalam kasus-kasus di mana analisis visual secara langsung diperlukan.

Dalam kesimpulan, penelitian ini berhasil menyelidiki pengaruh luas permukaan terhadap gaya hambat benda dalam gerakan jatuh bebas dan membandingkan kecepatan jatuh bebas antara analisis video dengan perangkat lunak Python. Hasil penelitian ini dapat menjadi landasan untuk pemahaman lebih lanjut tentang fenomena gerak jatuh bebas dan aplikasi metode analisis video serta perangkat lunak Python dalam penelitian ilmu fisika dan ilmu komputer.

PENUTUP

Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas permukaan benda, dalam hal ini diameter kertas *cupcake*, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap gaya hambat yang diterimanya saat jatuh bebas. Seiring dengan meningkatnya luas permukaan, gaya hambat juga meningkat. Hal tersebut sesuai dengan prinsip fisika yang menyatakan bahwa gaya hambat bergantung pada luas permukaan dan kecepatan suatu benda. Koefisien gaya hambat yang dihasilkan bervariasi yaitu 0,00014, 0,00019, 0,0018, dan 0,0022 untuk diameter permukaan bawah kertas *cupcake* sebesar 2,95 cm, 4,22 cm, 5,05 cm, dan 5,13 cm. Semakin tinggi nilai koefisien gaya hambat, maka semakin besar pula gaya hambat yang dihasilkan oleh objek tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada keluarga dan teman-teman saya yang selalu memberikan dukungan moral. Anda adalah sumber inspirasi dalam perjalanan menulis artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J. D., & Bowden, M. L. (2022). *Introduction to flight* (Vol. 582). New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Abdulsalam, F., Al-Qaheri, H., & Al-Khayyat, R. (2018). *Experimental Study of Drag Force on Falling Objects Using High-Speed Video Analysis*.
- Sirisathitkul, C., Glawtanong, P., Eadkong, T., & Sirisathitkul, Y. (2013). Digital video analysis of falling objects in air and liquid using Tracker. *Revista Brasileira de ensino de Física*, 35, 1-6.
- Al-Saadi, M. A. dan Rahman, A. F. A. (2011). *Effect of Surface Area on Drag Force on Three Dimensional Object*.
- Gardner, M. (2001). *Colossal Book of Mathematics: Classic Puzzles Paradoxes and Problems*. WW Norton & Company.
- Bader, D. (2017). *Python Tricks: A Buffet of Awesome Python Features*. Dan Bader.
- Nurlina, N., & Riskawati, R. (2018). *Fisika dasar I*. Makassar: LPP Unismuh Makassar.
- Giancoli, D. C. (2018). *Fisika untuk Ilmu dan Teknik IV*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Walker, J., Resnick, R., & Halliday, D. (2014). *Halliday and resnick fundamentals of physics*. Wiley.
- Brown, D. (2015). Tracker: A Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education. *The Physics Teacher*, 48(4), 233-236.