



Pengaruh Lintasan Bola Voli Terhadap Fluks dan Hambatan Udara Dengan Matlab

Hamidah Nasution^{1,*}, Alvi Sahrin Nasution², Ananda Putri Aulia Daulay³, Dhini Sapira⁴, Maisarah Putri Lalyta Siregar⁵, Rahma Syahfitri⁶

^{1,2,3,4,5,6}Matematika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika,
Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara, Indonesia

*Correspondance author: hamidah_mat67@yahoo.com

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of gas flux on air resistance and the trajectory of a volleyball through a mathematical approach and numerical simulation using MATLAB. Theoretically, the motion of the ball in the air can be modeled as projectile motion influenced by gravitational force and air resistance (drag). In this study, gas flux is examined using surface integrals and the Gauss divergence theorem to understand the interaction between airflow and the surface of the ball. The method employed consists of a literature review and secondary data analysis supported by mathematical modeling and computational simulation. The results indicate that a stable gas flux plays an important role in maintaining an optimal drag coefficient, resulting in a more stable, accurate, and aerodynamic trajectory, whereas low or unstable flux increases air resistance, leading to reduced velocity and unstable motion. MATLAB simulations further demonstrate significant differences between ideal and non-ideal flux conditions, where the ideal condition produces a longer range and a more directed trajectory. Therefore, gas flux is proven to have a crucial role in determining the characteristics of a volleyball's trajectory through its influence on air resistance, and the integration of mathematical analysis with numerical simulation provides a more comprehensive understanding of aerodynamic phenomena in volleyball.

Keywords: gas flux, air resistance, volleyball trajectory, aerodynamics, MATLAB

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh fluks gas terhadap hambatan udara dan lintasan bola voli melalui pendekatan matematis serta simulasi numerik berbasis MATLAB. Secara teoritis, gerak bola di udara dimodelkan sebagai gerak peluru yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya hambat udara (drag). Dalam penelitian ini, fluks gas dianalisis menggunakan integral permukaan dan teorema divergensi Gauss untuk memahami interaksi antara aliran udara dan permukaan bola. Metode yang digunakan meliputi studi literatur dan analisis data sekunder yang didukung oleh pemodelan matematis serta simulasi komputasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa fluks gas yang stabil mampu menjaga koefisien hambat tetap optimal sehingga menghasilkan lintasan bola yang lebih stabil, akurat, dan aerodinamis, sedangkan fluks yang rendah atau tidak stabil meningkatkan gaya hambat yang berdampak pada penurunan kecepatan serta ketidakstabilan lintasan. Simulasi menggunakan MATLAB juga memperlihatkan adanya perbedaan signifikan antara lintasan bola pada kondisi fluks ideal dan non-ideal, di mana kondisi ideal menghasilkan jangkauan yang lebih jauh dan arah lintasan yang lebih terkontrol. Oleh karena itu, fluks gas terbukti berperan penting dalam menentukan karakteristik lintasan bola voli melalui pengaruhnya terhadap hambatan udara, dan pendekatan integratif antara analisis matematis dan simulasi numerik memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap fenomena aerodinamika dalam olahraga bola voli.

Kata Kunci : fluks gas, hambatan udara, lintasan bola voli, aerodinamika, MATLAB

ARTICLE INFO

Submission received: 09 April 2026

Accepted: 31 August 2026

Revised: 18 August 2026

Published: 31 August 2026

Available on: <https://doi.org/10.32493/sm.v8i2.59433>

StatMat: Jurnal Statistika dan Matematika is licenced under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



INTRODUCTION

Bola voli merupakan salah satu olahraga yang memiliki tingkat popularitas tinggi di dunia, termasuk di Indonesia, dan dimainkan oleh berbagai kelompok usia baik secara rekreasional maupun profesional. Dalam permainan ini, keberhasilan teknik seperti servis, passing, dan smash sangat ditentukan oleh kemampuan pemain dalam mengatur arah serta lintasan bola. Lintasan bola tersebut tidak hanya dipengaruhi oleh gaya yang diberikan saat kontak, tetapi juga oleh berbagai aspek fisika yang bekerja selama bola bergerak di udara (Halliday et al., 2014).

Secara fisika, gerakan bola voli di udara dapat dijelaskan melalui konsep gerak peluru (*projectile motion*), yang terdiri atas komponen kecepatan horizontal dan vertikal. Jika diasumsikan tidak ada hambatan udara, lintasan bola akan berbentuk parabola sempurna. Namun, dalam kondisi sebenarnya, keberadaan udara menyebabkan timbulnya gaya hambat sehingga lintasan bola yang dihasilkan tidak lagi ideal (Serway & Jewett, 2018).

Gaya hambat udara atau drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah gerak benda dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kecepatan, massa jenis fluida, luas penampang, serta koefisien drag. Gaya ini berperan penting dalam menentukan gerak benda di udara, terutama pada benda yang bergerak dengan kecepatan tinggi seperti bola voli saat dilakukan smash atau servis (White, 2016). Kajian dalam bidang aerodinamika juga menunjukkan bahwa gaya hambat meningkat secara signifikan seiring dengan bertambahnya kecepatan benda dalam fluida (TEDC, 2019). Selain gaya hambat, tekanan udara juga menjadi faktor yang memengaruhi pergerakan bola, baik tekanan di dalam bola maupun di sekitarnya. Tekanan udara internal memengaruhi elastisitas bola serta respons terhadap gaya luar, sedangkan aliran udara eksternal memengaruhi distribusi tekanan selama bola bergerak. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tekanan udara dalam bola voli berpengaruh terhadap tinggi pantulan dan karakteristik pergerakannya (Jurnal Olahraga Prestasi, 2020).

Dalam analisis matematika dan fisika, aliran udara sebagai fluida dapat dikaji menggunakan konsep fluks gas. Fluks gas didefinisikan sebagai jumlah fluida yang melewati suatu permukaan dalam interval waktu tertentu dan dinyatakan melalui integral permukaan dari medan vektor (Kreyszig, 2011). Konsep ini sangat penting dalam memahami interaksi antara fluida dan permukaan benda. Konsep fluks gas juga berkaitan erat dengan teorema divergensi, yang menyatakan bahwa total fluks medan vektor yang keluar dari suatu permukaan tertutup sama dengan jumlah divergensi medan tersebut di dalam volume yang

dibatasi oleh permukaan tersebut (Marsden & Tromba, 2012). Prinsip ini telah banyak diterapkan dalam analisis aliran fluida, termasuk pada objek berbentuk bola dalam kajian matematis (Mathunesa, 2023).

Dalam permainan bola voli, fluks gas dapat digunakan untuk menjelaskan pola aliran udara di sekitar permukaan bola selama bergerak di udara. Aliran ini menghasilkan gaya aerodinamika, termasuk gaya hambat, yang secara langsung memengaruhi lintasan bola. Semakin besar fluks gas yang terjadi, semakin besar pula interaksi antara udara dan bola, sehingga gaya hambat yang dihasilkan juga meningkat (White, 2016).

Seiring dengan perkembangan teknologi, analisis fenomena fisika tidak hanya dilakukan secara teoritis, tetapi juga dapat disimulasikan secara numerik menggunakan perangkat lunak komputasi seperti MATLAB. Perangkat lunak ini memiliki kemampuan dalam perhitungan numerik, pemodelan matematis, serta visualisasi grafik yang akurat (Attaway, 2021). Dalam penelitian ini, MATLAB digunakan untuk mensimulasikan lintasan bola voli dengan mempertimbangkan pengaruh gaya hambat udara dan fluks gas, sehingga diperoleh hasil yang lebih realistis dibandingkan pendekatan analitis.

Melalui implementasi MATLAB, perhitungan fluks gas dapat dilakukan secara numerik dan lintasan bola dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik. Hal ini memungkinkan analisis pengaruh variabel seperti kecepatan awal, sudut lempar, dan koefisien hambat secara lebih sistematis. Namun, kajian yang mengintegrasikan fluks gas, hambatan udara, dan simulasi MATLAB masih terbatas, sehingga penelitian ini dilakukan untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif dan aplikatif.

MATERIAL AND METHODS

Bola Voli & Vektor

Bola voli merupakan objek sferis yang bergantung pada tekanan gas di dalamnya untuk menjaga performa pantulan. Penurunan tekanan udara sering terjadi akibat intensitas penggunaan yang tinggi atau benturan yang berulang, sehingga pemantauan tekanan internal menjadi sangat krusial. Secara matematis, analisis objek ini melibatkan integral, yang didefinisikan sebagai akumulasi kontinu atau kebalikan dari proses diferensiasi, baik dalam bentuk integral tentu maupun tak tentu (Widjajakusuma, 2023).

Dalam ruang tiga dimensi (R^3) posisi dan arah gerakan bola dinyatakan melalui vektor satuan. Komponen basis utama terdiri dari vektor i , j , dan k yang masing-masing berhimpit

dengan sumbu X, Y, dan Z, berfungsi untuk menentukan arah gerak bola secara presisi di dalam ruang koordinat (Yuwandira, & Efriani, 2025).

Aerodinamika

Aerodinamika merupakan sub-disiplin mekanika fluida yang berfokus pada interaksi antara benda bergerak dengan aliran udara. Bidang ini merupakan pengembangan dari hidrodinamika dan memiliki korelasi erat dengan disiplin ilmu lain seperti matematika, meteorologi, dan fisika mekanik. Fokus utama analisis aerodinamika adalah memahami bagaimana perubahan geometri suatu benda memengaruhi distribusi tekanan dan perilaku udara di sekitarnya (Arpino dkk, 2019)

Gaya

Dinamika pelemparan bola voli memiliki kemiripan prinsip dengan gerak proyektil. Berdasarkan analisis klasik Galileo, lintasan ini dapat diuraikan menjadi komponen horizontal dan vertikal yang bekerja secara independen, di mana gaya utama yang memengaruhi objek adalah gravitasi. Namun, pada kondisi nyata, bola juga mengalami resistensi akibat gesekan dengan molekul udara (Yunus dkk, 2025)

Fenomena fisik lainnya yang terjadi adalah perubahan energi saat terjadi kontak atau pantulan. Gaya, yang didefinisikan sebagai interaksi berupa tarikan atau dorongan, tidak hanya mengubah posisi benda tetapi juga memengaruhi kecepatan, arah, dan bentuknya. Efisiensi pantulan ini sering kali diukur melalui koefisien restitusi (e), yang merepresentasikan rasio energi yang tersisa setelah tumbukan terjadi (Irwanto dkk, 2025).

Fluks & Hambatan

Setiap benda yang bergerak melalui fluida (udara) akan mengalami gaya hambat yang disebut drag force. Dalam bola voli, hambatan ini sangat dipengaruhi oleh kecepatan bola dan karakteristik permukaannya. Fluks udara (aliran massa udara per satuan luas) yang melewati permukaan bola akan menentukan seberapa besar energi yang hilang akibat gesekan, yang secara langsung memengaruhi perlambatan bola di udara. Besarnya gaya hambat bergantung pada fluks udara yang melewati permukaan bola, yang ditentukan oleh besaran gaya hambat tersebut dipengaruhi oleh laju pergerakan objek (v), densitas fluida udara (ρ), proyeksi area penampang (A), serta faktor hambatan bentuk atau koefisien drag (C_d), sebagaimana dirumuskan dalam persamaan: $F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2$. Ketika bola voli

diberikan putaran (*spin*), terjadi perbedaan kecepatan aliran udara di sisi atas dan bawah bola. Fenomena ini dikenal sebagai Efek Magnus. Topspin: Bola berputar ke depan, menciptakan tekanan tinggi di atas dan tekanan rendah di bawah, menyebabkan bola menukik lebih tajam. Backspin: Menciptakan gaya angkat (*lift*) yang membuat bola melayang lebih lama di udara (Tamaru dkk, 2021).

Dalam konteks aerodinamika bola voli, fluks berkaitan dengan aliran udara di sekitar lapisan batas (*boundary layer*). Aliran Laminar: Udara mengalir mulus namun, pemisahan aliran terjadi lebih awal, meningkatkan hambatan. Aliran Turbulen: Udara lebih bergejolak di permukaan bola. Uniknya, pada kecepatan tertentu, turbulensi justru memperkecil daerah pusaran di belakang bola (*wake*), sehingga mengurangi hambatan udara secara total. Hal ini sering dimanfaatkan dalam teknik float serve di mana bola tidak berputar dan lintasannya menjadi tidak terprediksi (Asai & Kamemoto, 2011).

Matlab

Penggunaan MATLAB dalam analisis dinamika fluida dan gerak proyektil telah banyak dibahas dalam berbagai penelitian, terutama terkait pemodelan hambatan udara dan simulasi lintasan benda. Penelitian oleh Siregar & Hutapea (2021) menunjukkan bahwa MATLAB efektif untuk menyelesaikan persamaan diferensial non linear pada sistem fluida melalui solver numerik seperti ode45, sehingga mampu menggambarkan perubahan gaya hambat akibat variasi fluks gas. Studi lain oleh Pratama (2020) menegaskan bahwa visualisasi MATLAB melalui grafik kecepatan, percepatan, dan diagram vector mampu memberikan gambaran jelas mengenai pengaruh perubahan densitas udara terhadap koefisien drag. Selain itu, penelitian oleh Wibowo & Ramadhan (2022) menekankan bahwa MATLAB dapat memodelkan lintasan bola dengan memasukkan variabel fisik seperti gaya Magnus, fluks gas, dan tekanan udara sehingga simulasi lintasan bola voli mendekati fenomena nyata. Dengan demikian, literatur penelitian menunjukkan bahwa MATLAB merupakan alat yang kuat dan reliabel untuk menganalisis hubungan antara fluks gas, hambatan udara, dan perubahan lintasan bola dalam kajian aerodinamika modern.

Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka dan analisis sekunder. Data mengenai pengaruh fluks gas terhadap hambatan udara dan lintasan bola voli dikumpulkan dari jurnal, artikel ilmiah, serta penelitian terdahulu yang relevan. Analisis dilakukan untuk memahami

pola hubungan fluks gas terhadap hambatan udara dan lintasan bola berdasarkan temuan literatur dan pemodelan matematis. Selain itu, penelitian ini juga menerapkan simulasi komputasi menggunakan MATLAB untuk memvisualisasikan hubungan tersebut secara numerik.

Objek Penelitian

Objek penelitian adalah bola voli yang dimodelkan sebagai bola sempurna dengan parameter:

Diameter : 20 *cm*

Jari-Jari : 0,1 *m*

Luas Permukaan: 0,0314 *m*²

Pemodelan ini digunakan untuk menerapkan konsep integral vektor dan fluks pada objek bola dalam kajian teorema divergensi Gauss, Selain itu, digunakan koefisien drag sebesar 0,45 yang merupakan karakteristik benda berbentuk bola dalam analisis aerodinamika.

Teknik Pengumpulan Data

Studi Literatur: Mengkaji jurnal ilmiah tentang integral vektor, fluks, dan medan gaya untuk memahami konsep integral permukaan pada objek sferis

Data Sekunder: Mengambil nilai massa jenis udara, koefisien drag, dan parameter geometris bola dari literatur aerodinamika

Analisis Data

Memodelkan bola dengan persamaan permukaan sferis:

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2$$

Menghitung fluks menggunakan integral permukaan berdasarkan teorema divergensi Gauss.

Menghitung gaya hambat (drag) dengan rumus:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2$$

Menganalisis pengaruh fluks terhadap lintasan bola dengan memodelkan hubungan antara kecepatan, gaya hambat, dan lintasan bola.

Variabel Penelitian

Variabel yang dianalisis berasal dari literatur:

Variabel bebas: tingkat fluks gas yang diterapkan pada bola.



Variabel terikat: hambatan udara yang dialami bola dan lintasan bola.
Variabel kontrol seperti massa dan ukuran bola, kecepatan awal, sudut lempar, dan kondisi lingkungan diperoleh dari data jurnal untuk menjaga konsistensi analisis.

Variabel Kontrol:

Massa jenis udara

Drag coefficient ($C_d \approx 0,45$)

Jari-jari bola

Implementasi Matlab

Implementasi MATLAB digunakan sebagai alat bantu visualisasi numerik. MATLAB dimanfaatkan untuk memodelkan percepatan, kecepatan, dan lintasan bola berdasarkan gaya hambat yang dipengaruhi fluks gas. Simulasi dilakukan dengan memasukkan parameter fisika seperti jari-jari bola, massa jenis udara, luas permukaan, dan koefisien drag ke dalam persamaan gerak yang dihitung secara numerik. Hasil akhirnya divisualisasikan dalam bentuk grafik lintasan bola, sehingga perubahan lintasan akibat variasi hambatan udara dapat diamati secara lebih jelas.

RESULTS AND DISCUSSION

Pemodelan Geometris dan Vektor Bola Voli

Bola voli dimodelkan sebagai sebuah bangun ruang bola sempurna dengan diameter 20 cm, sehingga memiliki jari-jari (r) sebesar 10 cm. Dalam sistem koordinat Kartesius, persamaan bola dinyatakan sebagai:

$$x^2 + y^2 + z^2 = r^2$$

$$g(x, y, z): x^2 + y^2 + z^2 = 10^2$$

Untuk mempermudah perhitungan, sering digunakan koordinat bola (*spherical coordinates*), di mana:

$$x = 10 \sin \theta \cos \phi$$

$$y = 10 \sin \theta \sin \phi$$

$$z = 10 \cos \theta$$

θ adalah sudut yang diukur pada bidang datar (*bidang xy*) mulai dari sumbu x positif menuju sumbu y positif dimana rentangnya (0 hingga 2π) dan ϕ adalah sudut yang diukur dari sumbu z positif menuju sumbu z negative dimana rentangnya (0 hingga π).



Perhitungan Integral Fluks

Secara matematis, fluks dinyatakan sebagai:

$$\Phi = \iint_S \vec{F} \cdot \vec{n} \, dS$$

1. Vektor Posisi dan Medan Vektor

Pada permukaan bola, medan vektor $\vec{F} = (x, y, z)$ dan vektor posisi jari-jari (r) itu sendiri.

2. Luas Permukaan (dS)

Dalam koordinat bola, elemen luas permukaan adalah:

$$dS = r^2 \sin \theta \, d\theta \, d\phi = 100 \sin \theta \, d\theta \, d\phi$$

3. Vektor normal satuan ($\vec{n}$)

$$\frac{\vec{r}}{|\vec{r}|} = \frac{(x, y, z)}{10}$$

4. Perhitungan dot product ($\vec{F} \cdot \vec{n}$)

$$\vec{F} \cdot \vec{n} = (x, y, z) \cdot \frac{(x, y, z)}{10} = \frac{x^2 + y^2 + z^2}{10}$$

Karena $x^2 + y^2 + z^2 = 100$ maka,

$$\vec{F} \cdot \vec{n} = \frac{100}{10} = 10$$

Sehingga:

$$\Phi = \iint_S \vec{F} \cdot \vec{n} \, dS$$

$$\Phi = \iint_S 10 (100 \sin \theta) \, d\theta \, d\phi$$

$$\Phi = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi 10 (100 \sin \theta) \, d\theta \, d\phi$$

$$\Phi = 1000 \int_0^{2\pi} [-\cos \theta]_0^\pi \, d\phi$$

$$\Phi = 1000 \int_0^{2\pi} [-\cos(\pi)] - [-\cos(0)] \, d\phi$$

$$\Phi = 1000 \int_0^{2\pi} [1] - [-1] \, d\phi$$

$$\Phi = 1000 \int_0^{2\pi} 2 \, d\phi$$

$$\Phi = 1000 [2\phi]_0^{2\pi}$$

$$\Phi = 1000 [(2(2\pi)) - (2(0))]$$

$$\Phi = 1000 [4\pi] = 4000\pi$$

Persamaan ini membuktikan secara matematis bahwa aliran gas (fluks) yang menembus permukaan bola sebanding dengan volume gas di dalamnya.

Hambatan Udara (Drag Force)

Interaksi udara dengan bola menghasilkan gaya hambat atau drag force yang selalu berlawanan arah dengan arah gerak bola. Besarnya gaya hambat bergantung pada fluks udara yang melewati permukaan bola, yang ditentukan oleh kecepatan bola (v), massa jenis udara (ρ), luas permukaan (A), dan koefisien drag (C_d), sebagaimana dirumuskan dalam persamaan:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2$$

- $\rho : 1,2 \text{ kg/m}^3$
- $v = \frac{s}{t} = \frac{18m}{1,1s} = 16,36 \text{ m/s}$
- $C_d : 0,45$ (Untuk benda berbentuk bola sempurna).
- $A = \pi \cdot r^2$, karena saat menghitung gaya hambat (F_d) udara tidak bergesek dengan seluruh permukaan bola secara bersamaan melainkan menabrak bagian depan bola. Jadi luas permukaan yang relevan adalah luas proyeksi dua dimensi dari bola, yaitu luas lingkaran. Dimana $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$
 $A = 3,14 \cdot (0,1)^2 = 0,0314 \text{ m}^2$

Maka :

$$F_d = \frac{1}{2} (0,45)(1,2)(0,0314)(16,36)^2$$

$$F_d = \frac{1}{2} (0,45)(1,2)(0,0314)(267,6496)$$

$$F_d = \frac{1}{2} (4,5382666176)$$

$$F_d = 2,2691333088 \text{ Newton}$$

Udara memberikan perlawanan sebesar 2,2691333088 Newton terhadap bola. Gaya

iniilah yang membuat bola voli tidak terbang lurus selamanya, melainkan melambat dan menukik ke bawah.

Lintasan Bola voli

Berdasarkan analisis di atas, perhitungan integral vektor mencari fluks gas 4000π untuk menentukan nilai gaya hambat (F_d). Stabilitas fluks menjamin koefisien hambat yang rendah $C_d : 0,45$, sehingga menghasilkan lintasan bola voli yang aerodinamis, stabil, dan memiliki akurasi tinggi dalam permainan.

Fluks Stabil (4000π) menghasilkan lintasan yang prediktabel. Aliran udara di sekitar bola (lapisan batas) terlepas secara merata, sehingga bola tidak goyang. Fluks Rendah/Tidak Merata menyebabkan lintasan Floater, bola akan bergerak zig-zag atau tidak stabil karena gaya hambat (F_d) bekerja secara tidak seimbang pada permukaan bola yang mengalami deformasi.

Dapat disimpulkan bahwa pengaruh fluks gas terhadap lintasan bola voli adalah sebagai penjamin stabilitas aerodinamika. Melalui penyelesaian integral vektor, diketahui bahwa fluks sebesar 4000π menjaga koefisien hambat (C_d) tetap minimal. Hal ini mengakibatkan lintasan bola menjadi lebih tajam (menukik) dan memiliki akurasi jangkauan yang konsisten sesuai dengan panjang lapangan 18 meter, dibandingkan dengan bola yang kekurangan fluks gas yang cenderung memiliki lintasan tidak beraturan dan jangkauan yang pendek.

Implementasi MATLAB dalam Simulasi Lintasan Bola Voli

Implementasi MATLAB dilakukan untuk memvisualisasikan pengaruh fluks gas terhadap lintasan bola voli, di mana nilai fluks sebesar 4000π (atau 12.566,37) menjadi parameter penentu untuk menjaga radius bola tetap 10 cm dan koefisien hambat (C_d) tetap ideal di angka 0,45. Berdasarkan data input kecepatan 16,36 m/s dan gaya hambat (F_d) sebesar 2.269 Newton.

```
clear; clc;
```

```
Fluks_Ideal = 4000 * pi;
```

```
r = 0.1;
```

```
g = 9.81; m = 0.27; rho = 1.2;
```

```
A = pi * r^2;
```



```
v0 = 16.36;
sudut = 22;
dt = 0.01;

Cd_1 = 0.45;
Cd_2 = 0.55;

x1 = 0; y1 = 1.5; vx1 = v0*cosd(sudut); vy1 = v0*sind(sudut);
x2 = 0; y2 = 1.5; vx2 = v0*cosd(sudut); vy2 = v0*sind(sudut);

figure('Color', 'w'); hold on; grid on;
line([0 18], [0 0], 'Color', 'k', 'LineWidth', 2);
line([9 9], [0 2.43], 'Color', 'r', 'LineWidth', 2);
title(['Simulasi Lintasan Fluks Bola Voli: ',
num2str(Fluks_Ideal)]);
xlabel('Jarak (m)'); ylabel('Tinggi (m)');
axis([0 20 0 5]);

h1 = plot(x1, y1, 'bo', 'MarkerFaceColor', 'b');
h2 = plot(x2, y2, 'ro', 'MarkerFaceColor', 'r');
legend(['Ideal (Fluks = ', num2str(Fluks_Ideal), ')'], 'Kurang
Angin (Fluks < 4000\pi)');

while y1 > 0 || y2 > 0
    if y1 > 0
        v_t1 = sqrt(vx1^2 + vy1^2);
        Fd1 = 0.5 * rho * v_t1^2 * Cd_1 * A;
        ax1 = -(Fd1/m) * (vx1/v_t1); ay1 = -g - (Fd1/m) *
(vy1/v_t1);
        vx1 = vx1 + ax1*dt; vy1 = vy1 + ay1*dt;
        x1 = x1 + vx1*dt; y1 = y1 + vy1*dt;
        set(h1, 'XData', x1, 'YData', y1); plot(x1, y1, 'b.');
```

end

```

if y2 > 0
    v_t2 = sqrt(vx2^2 + vy2^2);
    Fd2 = 0.5 * rho * v_t2^2 * Cd_2 * A;
    ax2 = -(Fd2/m) * (vx2/v_t2); ay2 = -g - (Fd2/m) *
(vy2/v_t2);
    vx2 = vx2 + ax2*dt; vy2 = vy2 + ay2*dt;
    x2 = x2 + vx2*dt; y2 = y2 + vy2*dt;
    set(h2, 'XData', x2, 'YData', y2); plot(x2, y2, 'r.');
```

end

```

drawnow; pause(0.005);
end
```

Berdasarkan data input kecepatan awal (v) sebesar $16,36 \text{ m/s}$ dan massa jenis udara (ρ) $1,2 \text{ kg/m}^3$, hasil simulasi pada Gambar 4 $\times$ menunjukkan perbedaan lintasan yang signifikan. Bola dengan kondisi fluks ideal (garis biru) memiliki gaya hambat (F_d) sebesar $2,269 \text{ Newton}$, sehingga mampu melewati net setinggi $2,43 \text{ meter}$ dan menjangkau area lawan dengan akurat. Sebaliknya, simulasi pada bola dengan fluks rendah atau kurang angin (garis merah) menunjukkan peningkatan hambatan udara yang menyebabkan bola kehilangan energi kinetik lebih cepat dan jatuh lebih pendek. Hal ini membuktikan bahwa visualisasi MATLAB mampu memberikan gambaran jelas mengenai hubungan antara fluks gas, tekanan udara, dan stabilitas lintasan bola.

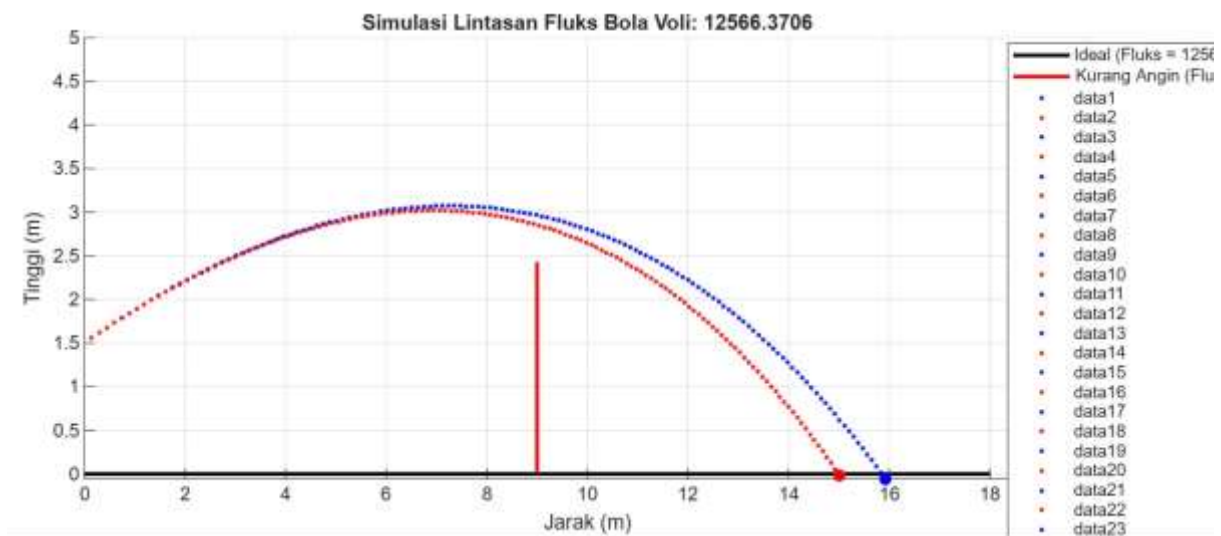


Figure 1. Simulasi lintasan fluks bola voli

CONCLUSION

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pergerakan bola voli di udara sangat dipengaruhi oleh interaksi antara fluks gas dan hambatan udara. Melalui pendekatan kalkulus lanjut, penggunaan konsep integral permukaan dan teorema divergensi Gauss membuktikan bahwa fluks gas yang menembus permukaan bola sebanding dengan volume gas di dalamnya, di mana nilai fluks ideal sebesar 4000π menjadi penentu stabilitas aerodinamika. Analisis ini menunjukkan bahwa udara memberikan gaya hambat sebesar 2,269 Newton yang menyebabkan bola tidak bergerak lurus selamanya, melainkan melambat dan menukik ke bawah.

Simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB mempertegas bahwa bola dengan kondisi fluks yang ideal memiliki lintasan yang stabil, akurat, dan mampu melewati net setinggi 2,43 meter. Sebaliknya, bola dengan fluks rendah atau kurang tekanan udara akan mengalami peningkatan hambatan yang menyebabkan bola kehilangan energi kinetik lebih cepat, sehingga lintasannya menjadi tidak teratur dan jatuh lebih pendek. Dengan demikian, fluks gas berperan penting dalam menjaga agar koefisien hambat tetap minimal sehingga menghasilkan lintasan bola yang lebih tajam dan presisi dalam permainan.



REFERENCES

1. Anderson, J. D. (2017). *Introduction to Flight* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
2. Asai, T., Ito, S., Seo, K., & Hitotsubashid, A. (2010). Aerodynamics of a New Volleyball. *Procedia Engineering*, 2(2), 2493–2498.
3. Fakhruddin, M., Wicaksono, H., Baananto, F., Firmansyah, H. I., Sari, N. P., Muzaki, M., Akbarsyah D, K. R., & Hardyanto, N. D. (2021). Optimasi aerodinamika bodi mobil hemat energi Ken Dedes Electric Evo 3 menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 17(1), 36–45.
4. Federation Internationale de Volleyball. (2024). Official Volleyball Rules.
5. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* (10th ed.). Wiley.
6. Irwanto, E., Farhanto, G., & Rubiono, G. (2021). Pengaruh tekanan udara bola voli dan bola sepak terhadap pantulan. *JORPRES (Jurnal Olahraga Prestasi)*, 17(2), 156–162.
7. Jurnal Olahraga Prestasi. (2020). Pengaruh tekanan udara dalam bola terhadap pantulan bola voli. *Jurnal Olahraga Prestasi*, Universitas Negeri Yogyakarta.
8. Kreyszig, E. (2011). *Advanced Engineering Mathematics* (10th ed.). Wiley.
9. Marsden, J. E., & Tromba, A. J. (2012). *Vector Calculus* (6th ed.). W.H. Freeman.
10. Mathunesa. (2023). Penerapan teorema divergensi pada analisis bola. *Jurnal Matematika Universitas Negeri Surabaya*.
11. Nanayakkara, S. D. J. S., Zhao, J., Terrington, S. J., Thompson, M. C., & Hourigan, K. (2024). Effects Of Surface Roughness on The Drag Coefficient of Spheres Freely Rolling on an Inclined Plane. *Journal of Fluid Mechanics*. A29.
12. Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers* (10th ed.). Cengage Learning.
13. Silaban, Y. E., Sinaga, C. E., Simamora, R. O., & Puteri, A. (2024). Kajian Dasar Materi Fisika Gaya dan Hukum Newton. *Jurnal Multidisiplin Inovatif*, 8(6), 549–555.
14. Siregar, A. A., Augustiyani, A., Siregar, D. A., Sari, I. P., & Harahap, A. (2026). Operasi Antar Vektor dan Integral Vektor Dalam Matematika. *Jurnal Intelek Insan Cendikia*, 3(1), 1347-1357.
15. Tamaru, T., Hiratsuka, M., & Ito, S. (2021). Serve ball trajectory characteristics of different volleyballs and their causes. *Applied Sciences*, 11(19), 9269.
16. TEDC. (2019). Analisis gaya hambat pada benda dalam fluida. *Jurnal Teknik Energi*



dan Dinamika Fluida, Politeknik TEDC Bandung.

17. Triaiditya, B. S. M., Rubiono, G., Irwanto, E., & Santoso, D. A. (2023). Struktur Permukaan 5 Merk Bola Sepak dan 5 Merk Bola Voli. *SPRINTER: Jurnal Ilmu Olahraga*, 4(3), 287–293.
18. White, F. M. (2016). *Fluid Mechanics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
19. Yogatama, M., & Trisno, R. (2018). Studi Koefisien Drag Aerodinamika Pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 10.
20. Yunus, A., Bauna, R., Limbong, A., L, R. F., Pawawoi, Sumarah, J., Bavitra, Bonardo, D., Alajuri, M. H. S., & Paryitna, Y. (2025). *Mekanika: Gerak dan Gaya dalam Fisika* (M. S. Sari, Ed.). Akiopedia Press.
21. Yuwandira, S., & Efriani, A. (2025). Pembuktian Teorema Divergensi Gauss Menggunakan Objek Bola Voli. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 13(1), 57–63.