Penerapan Integral Lipat Tiga dalam Perhitungan dan Visualisasi Volume Silo Padi Bulog dengan Menggunakan Program MATLAB

Amanda Amelia Putri[1*], Fauriza Nur Chairin[2], Najwa Delvyra[3], Rahma Syahfitri[4]
[1,2,3,4] Matematika, Universitas Negeri Medan, Kota Medan, 20221, Indonesia 20221, Indonesia
*Corresponding Author: amndamelia01@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji penerapan integral lipat tiga dalam menghitung volume silo padi Bulog dengan memanfaatkan MATLAB sebagai media perhitungan dan visualisasi tiga dimensi. Penggunaan integral lipat tiga dipilih karena mampu memberikan formulasi matematis yang akurat untuk menghitung volume bangun ruang gabungan, seperti silinder dengan atap kerucut. Hasil perhitungan manual menunjukkan volume total silo sebesar 2330,03 m^3, terdiri dari volume silinder 2120,58 m^3 dan atap kerucut 209,45 m^3. Simulasi MATLAB menghasilkan nilai yang hampir sama, yaitu 2330,01 m^3, dengan selisih hanya ± 0,02 m^3 atau kurang dari 0,001%. Berdasarkan volume tersebut, kapasitas maksimum penyimpanan mencapai 1.754,51 ton beras dengan massa jenis 753 kg/m^3. Hasil penelitian membuktikan bahwa penerapan integral lipat tiga melalui MATLAB akurat, efisien, dan aplikatif dalam mendukung analisis serta manajemen penyimpanan pangan.
Kata kunci: Integral Lipat Tiga; Volume Silo; MATLAB; Kalkulus Multivariat; Penyimpanan Padi

Abstract

This study examines the application of triple integrals in calculating the volume of Bulog's rice silos by utilizing MATLAB as a three-dimensional calculation and visualization medium. The use of triple integrals was chosen because it is able to provide an accurate mathematical formulation for calculating the volume of combined geometric shapes, such as cylinders with conical roofs. The results of manual calculations show a total silo volume of 2330.03 m^3, consisting of a cylinder volume of 2120.58 m^3 and a conical roof of 209.45 m^3. MATLAB simulation produces almost the same value, namely 2330.01 m^3, with a difference of only ± 0.02 m^3 or less than 0.001%. Based on this volume, the maximum storage capacity reaches 1,754.51 tons of rice with a density of 753 kg/m^3. The results of the study prove that the application of triple integrals through MATLAB is accurate, efficient, and applicable in supporting food storage analysis and management.
Keywords: Triple Integral, Silo Volume, MATLAB, Multivariabel Calculus, Rice Storage

Citation: Putri, A. A., dkk. (2025). Penerapan Integral Lipat Tiga dalam Perhitungan dan Visualisasi Volume Silo Padi Bulog dengan Menggunakan Program MATLAB. *Prodising Seminar Nasional Jurusan Matematika 2025*. 172 - 181

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi pada abad ke-21 tidak dapat dipisahkan dari peranan matematika. Berbagai bidang kehidupan, terutama yang berkaitan dengan perhitungan teknis dan rekayasa, sangat bergantung pada penerapan konsep-konsep matematika, salah satunya adalah kalkulus multivariat (Nahdi, 2019). Integral lipat, baik lipat dua maupun lipat tiga, merupakan salah satu konsep penting yang digunakan dalam menghitung volume benda pejal dalam ruang tiga dimensi. Proses perhitungan ini membutuhkan ketelitian tingkat tinggi, sehingga diperlukan bantuan perangkat lunak untuk memperoleh hasil yang cepat, tepat, dan akurat (Astatik et al., 2013). Integral lipat tiga adalah konsep fundamental dalam kalkulus peubah banyak (*multivariable*), yang merupakan pengembangan dari integral tunggal dan integral lipat dua yang digunakan untuk menghitung volume atau massa dari suatu benda tiga dimensi yang dibatasi oleh permukaan tertentu. Secara umum, integral lipat tiga digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada ruang tiga dimensi (3D) dengan koordinat kartesius, silinder, maupun bola (Anita et al., 2025).

Dalam konteks pembelajaran, integral lipat tiga seringkali menjadi materi yang cukup menantang bagi mahasiswa karena keterbatasan dalam memvisualisasikan konsep ruang. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi media digital seperti GeoGebra dan Nearpod dapat meningkatkan pemahaman serta partisipasi mahasiswa dalam mempelajari integral lipat tiga. Media tersebut membantu menampilkan representasi koordinat kartesius, silinder, maupun bola, sehingga mahasiswa lebih mudah memahami konsep volume benda pejal melalui integral lipat tiga (Nasir et al., 2022). Secara aplikatif, integral lipat dua maupun lipat tiga telah digunakan untuk menghitung volume berbagai bangun ruang sederhana seperti silinder, bola, dan kerucut, maupun bangun terpancung. Penggunaan integral lipat tiga tidak hanya mempermudah perhitungan volume, tetapi juga memperluas penerapannya dalam bidang fisika dan rekayasa, termasuk dalam perhitungan kapasitas wadah penyimpanan beras berbentuk geometri tertentu (Azmi & Hendrajaya).

© Jurusan Matematika - Universitas Negeri Medan

Salah satu penerapan dari integral lipat tiga adalah dalam menghitung volume silo padi. Silo sebagai sarana penyimpanan hasil pertanian, khususnya gabah dan beras, umumnya berbentuk silinder dengan atap berbentuk kerucut. Perhitungan volume silo yang tepat sangat diperlukan untuk mengetahui kapasitas penyimpanan secara akurat, sekaligus mendukung manajemen logistik dan distribusi pangan. Penelitian mengenai perhitungan volume silo berbentuk silinder dengan atap kerucut menunjukkan bahwa integral kalkulus dapat digunakan untuk menghitung volume dan luas permukaan silo secara lebih presisi dibandingkan hanya dengan rumus geometri konvensional, serta dapat membantu memperkirakan kebutuhan material pada konstruksi (Parola, 2021).

Penggunaan MATLAB sangat membantu dalam penelitian ini karena bentuk silo padi tidak selalu sederhana, sehingga penyelesaian manual untuk menghitung volumenya seringkali rumit dan memerlukan waktu yang lama. Dengan bantuan MATLAB, perhitungan integral lipat tiga dapat dilakukan secara numerik dengan lebih cepat dan akurat, sekaligus memungkinkan peneliti memvisualisasikan bentuk silo dalam tiga dimensi (3D). Visualisasi ini sangat penting untuk memahami struktur geometris silo, termasuk hubungan antara bagian silinder dan atap kerucut. MATLAB mendukung perhitungan numerik kompleks, termasuk integrasi multivariabel, dengan efisiensi tinggi sehingga sangat sesuai jika diterapkan dalam bidang teknik dan sains (Gustafsson & Bergman, 2012). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada penerapan integral lipat tiga untuk menghitung volume silo padi Bulog secara konvensional maupun dengan bantuan program MATLAB. Pendekatan ini diharapkan tidak hanya memberikan pemahaman teoritis mengenai penerapan integral lipat tiga, tetapi juga membantu mengetahui kapasitas maksimum silo dalam menampung beras sebagai bagian dari upaya mendukung pengelolaan penyimpanan pangan melalui sinergi antara metode matematis dan teknologi komputasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dan simulasi komputasi untuk menerapkan integral lipat tiga dalam menghitung volume silo padi Bulog. Pendekatan deskriptif dilakukan melalui studi literatur untuk memahami konsep integral lipat tiga dalam perhitungan volume bangun ruang, sedangkan simulasi komputasi dilakukan dengan memanfaatkan program MATLAB, baik untuk memperoleh hasil numerik integral maupun menampilkan visualisasi silo dalam bentuk tiga dimensi (3D). Data yang digunakan mengacu pada parameter geometris yang diadaptasi dari jurnal *"Volume and Cost of Cylindrical Shaped Silo with Conical Roof"* oleh Parola (2021), yang dijadikan acuan dalam menentukan ukuran dan bentuk silo padi yang dianalisis.

Langkah penelitian dimulai dengan studi literatur dengan menggunakan referensi berupa buku kalkulus multivariat, jurnal penelitian terkait, dan literatur lain yang relevan untuk mengkaji konsep dasar integral lipat tiga, teori volume bangun ruang, serta penerapannya dalam perhitungan volume silo. Selanjutnya, ditentukan objek penelitian berupa silo padi Bulog yang berbentuk silinder dengan atap kerucut, serta ditetapkan parameter geometrisnya, seperti jari-jari, tinggi silinder, dan tinggi atap kerucut. Dari parameter ini, dibuat perumusan model matematis dengan batas integral lipat tiga dalam koordinat silinder untuk menghitung volume silinder dan atap kerucut, yang kemudian diformulasikan dalam bentuk persamaan yang siap dihitung secara manual maupun komputasi.

Setelah volume silo diperoleh secara manual, langkah berikutnya adalah menghitung kapasitas penyimpanan beras dalam silo berdasarkan volume yang diperoleh, yang dinyatakan dalam satuan ton. Selanjutnya, perhitungan numerik dilakukan dengan MATLAB menggunakan fungsi *integral3*, diikuti dengan visualisasi 3D silo (silinder dan kerucut) menggunakan perintah *surf* dan *meshgrid*. Hasil numerik dan visualisasi ini kemudian dianalisis dengan membandingkan hasil perhitungan manual dan MATLAB untuk menilai konsistensi, efisiensi, dan akurasi metode integral lipat tiga.

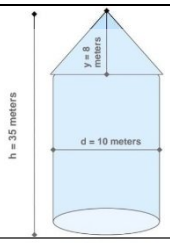
HASIL PERHITUNGAN DAN VISUALISASI

Parameter Geometris Silo

Objek penelitian berupa silo padi Bulog secara umum dimodelkan berbentuk silinder vertikal dengan atap berbentuk kerucut. Bentuk geometri ini dipilih karena paling mendekati struktur fisik silo pada umumnya. Adapun parameter geometris silo adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Parameter Geometris Silo

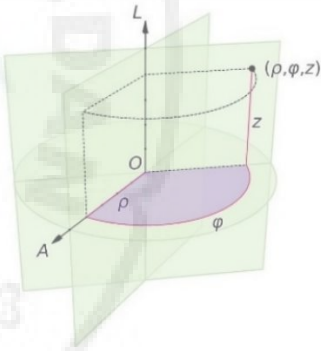
Parameter	Simbol	Nilai
Diameter silo	d	10 meter
Jari-jari silo	r	5 meter
Tinggi total silo	h_{total}	35 meter
Tinggi silinder	h_1	27 meter
Tinggi atap kerucut	h_2	8 meter



Perhitungan volume silo dilakukan menggunakan integral lipat tiga dalam sistem koordinat silinder (ρ, θ, z). Sistem ini merepresentasikan titik berdasarkan jarak dari sumbu pusat (ρ), sudut putar terhadap sumbu x (θ), dan ketinggian vertikal (z). Perhitungan volume badan silo dihitung menggunakan integral lipat tiga dari dasar silo hingga pangkal atap dengan batas-batas tertentu pada setiap variabel. Model integral yang digunakan untuk menentukan volume silinder dinyatakan Persamaan 1

$$V_{silinder} = \int_0^{2\pi} \int_0^{r} \int_0^{h_1} \rho \, dz \, d\rho \, d\theta \tag{1}$$

Tabel 2. Keterangan Batas Volume Silinder

Variabel	Batas Silinder	Keterangan	Gambar
θ	$0 \rightarrow 2\pi$	Karena silo berbentuk lingkaran penuh, maka sudut harus mencakup seluruh bidang ($360°$).	
ρ	$0 \rightarrow r$	ρ adalah jarak radial; diambil dari poros pusat hingga tepi alas berbentuk lingkaran dengan jari-jari r.	
z	$0 \rightarrow h_1$	Tinggi silinder diukur dari dasar ($z = 0$) hingga pangkal atap ($z = h_1$).	

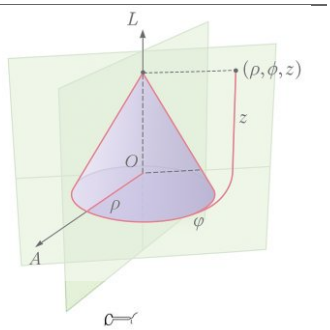
Perhitungan Volume Silinder:

$$V_{silinder} = \int_0^{2\pi} \int_0^{5} \int_0^{27} \rho \, dz \, d\rho \, d\theta = = \int_0^{2\pi} \int_0^{5} [\rho z]_0^{27} \, d\rho \, d\theta = 27 \times 12{,}5 \int_0^{2\pi} d\theta \approx 2120{,}58 \, m^3$$

Maka, volume silinder (badan silo) adalah sekitar $2120{,}58 \, m^3$. Perhitungan volume atap kerucut dilakukan dengan integral lipat tiga dalam sistem koordinat silinder. Pada bagian ini, batas vertikal atas dan bawah bergantung pada ρ dan dinyatakan oleh persamaan permukaan kerucut; (1) Batas atas (permukaan kerucut), $z_{atas} = h_{total} - \frac{h_2}{r}\rho = 35 - \frac{8}{5}\rho$; (2) Batas bawah (pangkal atap), $z_{bawah} = h_1 = 27$. Dengan demikian, model integral untuk menentukan volume atap kerucut dapat dinyatakan sebagai persamaan (2)

$$V_{kerucut} = \int_0^{2\pi} \int_0^{r} \int_{z_{bawah}}^{z_{atas}} \rho \, dz \, d\rho \, d\theta \tag{2}$$

Tabel 3. Keterangan Batas Volume Kerucut

Variabel	Batas Silinder	Keterangan	Gambar
θ	$0 \rightarrow 2\pi$	Sama seperti silinder, atap kerucut juga berotasi penuh sebesar $360°$ mengelilingi sumbu pusat.	
ρ	$0 \rightarrow r$	Untuk setiap sudut θ, batas radial atap kerucut tetap sama dengan jari-jari alas, yaitu r.	
z	$z_{bawah} \rightarrow z_{atas}$	Atap kerucut dimulai dari puncak silinder hingga mencapai puncak tertinggi (z_{atas}).	

Perhitungan Volume Kerucut:

$$V_{kerucut} = \int_0^{2\pi}\int_0^{5}\int_{27}^{35-\frac{8}{5}\rho} \rho \, dz \, d\rho \, d\theta = \int_0^{2\pi}\int_0^{5} \rho[z]_{27}^{35-\frac{8}{5}\rho} \, d\rho \, d\theta \approx 209{,}45 \text{ m}^3$$

Maka, volume kerucut (atap silo) adalah sekitar $209{,}45\ \text{m}^3$. Berdasarkan hasil perhitungan, volume total silo diperoleh dari penjumlahan antara volume silinder dengan volume kerucut sehingga, volume total silo adalah sekitar $2330{,}03\ \text{m}^3$. Untuk mengetahui kapasitas maksimum beras yang dapat ditampung dalam silo, dilakukan perhitungan massa berdasarkan volume total dan nilai massa jenis beras. Massa beras dalam silo dapat dihitung menggunakan persamaan (3):

$$\mathbf{m = \rho \times V} \quad (3)$$

Dimana, $\mathbf{m}$ = Massa beras (kg); ρ = Massa jenis beras $(\text{kg/m}^3) = 753\ \text{kg/m}^3$; dan $\mathbf{V}$ = Volume total silo $(\text{m}^3) = 2330{,}03\ \text{m}^3$. Sehingga diperoleh $\mathbf{m} = 753\ \text{kg/m}^3 \times 2330{,}03\ \text{m}^3 = 1.754.512{,}59\ \text{kg}$ atau $1.754{,}51$ ton. Dengan demikian, kapasitas maksimum silo padi Bulog diperkirakan mencapai sekitar $1.754{,}51$ ton beras. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kemampuan silo tersebut dalam menampung hasil panen dalam jumlah besar secara efisien dan terukur.

Perhitungan numerik volume silo padi Bulog dilakukan menggunakan program MATLAB dengan menerapkan model integral lipat tiga pada koordinat silinder. Pada tahap ini, parameter geometri yang digunakan meliputi jari-jari alas (R), tinggi silinder ($\mathbf{h_1}$), dan tinggi atap kerucut ($\mathbf{h_2}$). Potongan kode MATLAB yang digunakan untuk menghitung volume silinder, volume atap kerucut, serta volume total silo adalah sebagai berikut:

```
clc; clear; close all;
% Parameter Silo
R = 5;       % jari-jari alas (m)
h1 = 27;     % tinggi silinder (m)
h2 = 8;      % tinggi atap kerucut (m)
% ==========================
% Volume Silinder
% ==========================
syms rho theta z
integrand = rho; % elemen volume dalam koordinat silinder
V_cylinder = int(int(int(integrand, z, 0, h1), rho, 0, R), theta, 0, 2*pi);
% ==========================
% Volume Kerucut (atap silo)
% ==========================
z_top = h1 + h2 - (h2/R)*rho; % batas atas fungsi kerucut
V_cone = int(int(int(integrand, z, h1, z_top), rho, 0, R), theta, 0, 2*pi);
% ==========================
% Volume Total
% ==========================
V_total = V_cylinder + V_cone;
% Tampilkan hasil
disp('============================')
disp('HASIL PERHITUNGAN VOLUME SILO')
disp('============================')
disp(['Volume Silinder = ', num2str(double(V_cylinder)), ' m^3']);
disp(['Volume Kerucut  = ', num2str(double(V_cone)), ' m^3']);
disp(['Volume Total    = ', num2str(double(V_total)), ' m^3']);
```

Hasil eksekusi kode MATLAB di atas menampilkan nilai volume silinder, volume atap kerucut, serta total volume silo dalam satuan meter kubik sebagai berikut; Volume Silinder = $2120{,}575\ \text{m}^3$; Volume Kerucut = $209{,}4395\ \text{m}^3$; Volume Total =$2330{,}0146\ \text{m}^3$

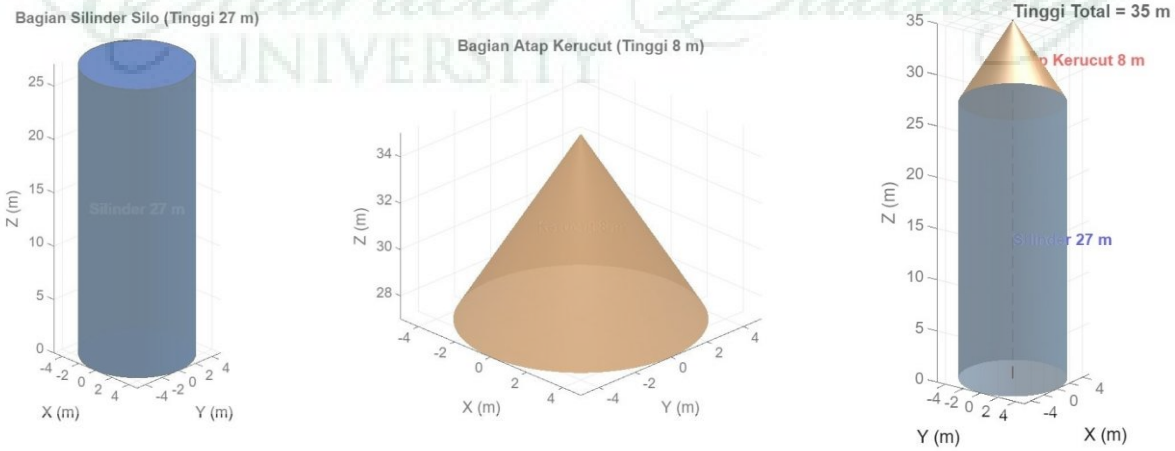
Visualisasi tiga dimensi (3D) dari model silo padi Bulog menggunakan MATLAB dilakukan untuk menampilkan bentuk geometris silo secara lebih nyata. Tujuan visualisasi ini adalah mempermudah pemahaman mengenai struktur dan

hubungan antara bagian silinder serta atap kerucut yang membentuk keseluruhan volume silo. Dalam proses ini, visualisasi dibagi menjadi tiga tampilan terpisah, yaitu: visualisasi bagian silinder, visualisasi bagian atap kerucut, dan visualisasi gabungan keduanya sebagai model silo utuh. Potongan kode MATLAB yang digunakan untuk menampilkan model 3D silo padi Bulog ditunjukkan sebagai berikut:

```
% ================================================
% Visualisasi 3D Silo Padi Bulog (Versi Estetika Tinggi)
% ================================================
clc; clear; close all;
% --------------------------
% Parameter Silo
% --------------------------
R = 5;        % jari-jari alas (m)
h1 = 27;      % tinggi silinder (m)
h2 = 8;       % tinggi atap kerucut (m)
h_total = h1 + h2;
% ================================================
%  VISUALISASI 1: SILINDER
% ================================================
[theta, z] = meshgrid(linspace(0, 2*pi, 100), linspace(0, h1, 60));
x_cyl = R * cos(theta);
y_cyl = R * sin(theta);
figure('Name', 'Silinder Silo', 'Color', 'w');
surf(x_cyl, y_cyl, z, ...
    'FaceColor', [0.2 0.6 1], ...
    'FaceAlpha', 0.9, ...
    'EdgeColor', 'none', ...
    'SpecularStrength', 0.4);
hold on;
% Tutup atas dan bawah silinder
fill3(R*cos(linspace(0,2*pi,100)), R*sin(linspace(0,2*pi,100)), zeros(1,100), [0.1 0.3 0.7]);
fill3(R*cos(linspace(0,2*pi,100)),R*sin(linspace(0,2*pi,100)), h1*ones(1,100), [0.1 0.3 0.7]);
% Label dan pengaturan tampilan
xlabel('X (m)');
ylabel('Y (m)');
zlabel('Z (m)');
title('Bagian Silinder Silo (Tinggi 27 m)', 'FontWeight', 'bold');
axis equal;
grid on;
light('Position', [1 1 10], 'Style', 'infinite');
lighting gouraud;
view(45, 25);
text(0, 0, h1/2, 'Silinder 27 m', 'FontSize', 11, 'Color', 'w', 'FontWeight', 'bold',
'HorizontalAlignment', 'center');
% ================================================
%  VISUALISASI 2: ATAP KERUCUT
% ================================================
[theta_cone, rho] = meshgrid(linspace(0, 2*pi, 100), linspace(0, R, 60));
z_cone = h1 + h2 - (h2/R)*rho;
x_cone = rho .* cos(theta_cone);
y_cone = rho .* sin(theta_cone);
figure('Name', 'Atap Kerucut Silo', 'Color', 'w');
surf(x_cone, y_cone, z_cone, ...
    'FaceColor', [1 0.6 0.2], ...
    'FaceAlpha', 0.9, ...
```

```
    'EdgeColor', 'none', ...
    'SpecularStrength', 0.6);
hold on;
% Tutup puncak kerucut
fill3(0, 0, h_total, [1 0.4 0], 'FaceAlpha', 0.8);
xlabel('X (m)');
ylabel('Y (m)');
zlabel('Z (m)');
title('Bagian Atap Kerucut (Tinggi 8 m)', 'FontWeight', 'bold');
axis equal;
grid on;
light('Position', [1 -1 8], 'Style', 'infinite');
lighting gouraud;
view(45, 25);
text(0, 0, h_total - h2/2, 'Kerucut 8 m', 'FontSize', 11, 'Color', 'k', 'FontWeight', 'bold',
'HorizontalAlignment', 'center');
% ================================================
%  VISUALISASI 3: SILO UTUH
% ================================================
figure('Name', 'Silo Padi Bulog Lengkap', 'Color', 'w');
surf(x_cyl, y_cyl, z, 'FaceAlpha', 0.8, 'EdgeColor', 'none', 'FaceColor', [0.4 0.7 1]);
hold on;
surf(x_cone, y_cone, z_cone, 'FaceAlpha', 0.9, 'EdgeColor', 'none', 'FaceColor', [1 0.6 0.2]);
% Anotasi tinggi
plot3([0 0], [0 0], [0 h_total], 'k--', 'LineWidth', 1.2);
text(0, 0, h1/2, 'Silinder 27 m', 'FontSize', 10, 'Color', 'b', 'FontWeight', 'bold');
text(0, 0, h_total - h2/2, 'Atap Kerucut 8 m', 'FontSize', 10, 'Color', 'r', 'FontWeight',
'bold');
text(0, 0, h_total + 0.8, 'Tinggi Total = 35 m', 'FontSize', 11, 'FontWeight', 'bold', 'Color',
'k');
xlabel('X (m)');
ylabel('Y (m)');
zlabel('Z (m)');
title('Visualisasi 3D Lengkap Silo Padi Bulog', 'FontWeight', 'bold');
axis equal;
grid on;
light('Position', [2 2 10], 'Style', 'infinite');
lighting gouraud;
view(45, 25);
```

Hasil eksekusi kode MATLAB di atas menampilkan visualisasi tiga dimensi (3D) silo padi Bulog yang terbagi menjadi 3 bagian, yaitu silinder, atap kerucut, dan gabungan keduanya sebagai berikut:



Gambar 1. Visualisasi 3D Bagian Silinder, Atap Kerucut Silo dan keseluruhannya

PEMBAHASAN

Hasil perhitungan manual menggunakan konsep integral lipat tiga menunjukkan bahwa volume total silo padi Bulog adalah sebesar $2330{,}03\ \mathrm{m}^3$, dengan rincian volume silinder (badan silo) sebesar $2120{,}58\ \mathrm{m}^3$ dan volume kerucut (atap silo) sebesar $209{,}45\ \mathrm{m}^3$. Perhitungan ini dilakukan melalui proses integrasi bertahap dalam koordinat silinder dengan batas pada setiap variabel yang merepresentasikan jari-jari alas, tinggi silinder, dan tinggi atap kerucut. Sementara itu, hasil perhitungan numerik menggunakan MATLAB menghasilkan volume silinder sebesar $2120{,}58\ \mathrm{m}^3$, volume kerucut sebesar $209{,}44\ \mathrm{m}^3$, dan total volume sebesar $2330{,}01\ \mathrm{m}^3$. Perbandingan kedua metode menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, yaitu hanya sekitar $\pm 0{,}02\ \mathrm{m}^3$ atau kurang dari 0,001%, yang menegaskan konsistensi dan validitas antara perhitungan manual dan komputasi numerik.

Berdasarkan volume total silo, diperoleh kapasitas maksimum penyimpanan beras sebesar $1.754{,}51$ ton dengan massa jenis beras $753\ \mathrm{kg/m}^3$. Hasil ini menunjukkan bahwa silo padi Bulog mampu menampung hasil panen dalam jumlah besar secara efisien dan mendukung sistem penyimpanan pangan nasional. Metode integral lipat tiga terbukti memiliki akurasi tinggi, sedangkan MATLAB memberikan efisiensi dalam perhitungan, validasi, dan visualisasi tiga dimensi yang memperjelas struktur geometris silo. Kombinasi kedua pendekatan ini menghasilkan analisis volume dan kapasitas penyimpanan yang akurat serta efisien untuk struktur berbentuk silinder-kerucut seperti silo padi Bulog.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan integral lipat tiga dalam menghitung volume silo padi Bulog dengan bantuan program MATLAB memberikan hasil yang akurat, efisien, dan mudah dipahami. Metode integral lipat tiga terbukti mampu merepresentasikan hubungan matematis antara bentuk silinder dan atap kerucut secara tepat melalui sistem koordinat silinder. Pemanfaatan komputasi dengan MATLAB tidak hanya mempercepat perhitungan, tetapi juga memberikan visualisasi tiga dimensi (3D) yang memudahkan pemahaman struktur bangun ruang secara nyata.

Hasil perbandingan antara perhitungan manual dan komputasi menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, sehingga membuktikan bahwa pendekatan integral lipat tiga berbantuan MATLAB memiliki tingkat akurasi tinggi. Selain memberikan manfaat praktis dalam menentukan volume silo, penelitian ini juga berkontribusi dalam bidang pendidikan, khususnya dalam memperkuat pemahaman mahasiswa terhadap penerapan kalkulus multivariat secara konkret dan berbasis teknologi. Dengan demikian, kombinasi antara teori matematika dan perangkat lunak MATLAB dapat menjadi alternatif efektif dalam analisis volume serta penerapan konsep integral lipat tiga di berbagai bidang rekayasa dan industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Alvi Sahrin Nasution, M.Si selaku dosen pengampu mata kuliah Kalkulus Peubah Banyak yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pihak Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan atas dukungan yang diberikan selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh anggota kelompok yang telah berkontribusi dalam penyusunan laporan, serta pihak Bulog yang menjadi inspirasi dalam pengambilan studi kasus penelitian ini. Tidak lupa, apresiasi ditujukan kepada rekan-rekan mahasiswa yang turut memberikan masukan dan semangat hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Anita, M., Rajani, M., & Jyothika, N. (2025). Applications of Triple Integrals. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 12(3), 1–7.

Astatik, R. P. A., Wuryanto., & Masrukan. (2013). Aplikasi Integral Lipat Dua dalam Perhitungan Volume Bangun Ruang di R3 dengan Menggunakan Program Maple. *UNNES Journal of Mathematics*, 2(1), 24–30.

Azmi, U., & Hendrajaya, L. (2016). Integral Lipat dalam Menghitung Volume dan Luas Permukaan Benda Geometri Sederhana dan Terpancung. *Seminar Nasional Pendidikan dan Saintek*, 260–266.

Gustafsson, F., & Bergman, N. (2012). *MATLAB for engineers explained*. Springer Science & Business Media.

Nahdi, D. S. (2019). Keterampilan Matematika di Abad 21. *Jurnal Cakrawala Pendas: Media Publikasi pada Bidang Pendidikan Dasar*, 5(2), 133–140.

Nasir, R., Pathuddin, P., Meinarni., Alfisyahra, A., & Lebagi, D. (2022). Peningkatan Partisipasi Mahasiswa melalui Implementasi Desain Didaktis Materi Integral Lipat Tiga Berbantuan GeoGebra dan Nearpod. *Jurnal Kreatif Online*, 10(1), 85–94.

Parola, G. M. (2021). Volume and Cost of Cylindrical Shaped Silo with Conical Roof. *Undergraduate Journal of Mathematical Modeling: One + Two*, 12(1), 1–10.