

# Simulasi Sistem Peringatan Tabrakan dan Penghindaran Otomatis UAV di Area Terbatas

Rovi Hanafi\*<sup>1</sup>, Rianto Adhy Sasongko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Advanced Master Unmanned Aircraft Systems Services and Management, Ecole Nationale de l'Aviation Civile (ENAC)  
7 Avenue Edouard Belin, Toulouse, 31055, France

<sup>2</sup>Faculty of Mechanical and Aerospace Engineering, Institut Teknologi Bandung  
Jl. E ITB Jl. Ganesa No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Coblong, Bandung, West Java 40132, Indonesia

E-mail: [\\*rovi.hanafi@alumni.enac.fr](mailto:*rovi.hanafi@alumni.enac.fr)

Diterima: 18 Januari 2023, disetujui: 27 November 2023, diterbitkan online: 29 Desember 2023

## Abstrak

Operasi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) di wilayah yang relatif terbatas menghadapi tantangan dalam penerbangan berupa adanya pembatasan fisik pada operasi UAV dan kemampuan manuver menghindar yang terbatas. Penggunaan UAV dalam wilayah seperti ini memerlukan perhatian khusus terhadap kemungkinan tabrakan yang dapat mengakibatkan kerugian material dan bahaya bagi penggunaan UAV bagi manusia dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi risiko-risiko tersebut dengan mengembangkan sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis untuk UAV yang beroperasi di wilayah yang relatif terbatas. Penelitian ini menekankan pada simulasi dan analisis sistem peringatan potensi tabrakan dan penghindaran otomatis yang mengambil pendekatan yang sesuai dengan skenario tabrakan yang mungkin terjadi pada operasional di wilayah terbatas. Penelitian ini juga membahas cara kerja algoritma yang digunakan dalam sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis. Hasil simulasi kemudian di evaluasi dengan memvariasikan parameter seperti ambang batas jarak penghindaran dan sudut menghindar. Dari hasil simulasi, terlihat bahwa ambang batas jarak penghindaran memainkan peran penting dalam kemampuan UAV untuk menghindari tabrakan. Hasil penelitian ini diharapkan akan memberikan wawasan yang penting dalam pengembangan sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis untuk UAV yang beroperasi di wilayah terbatas, dengan tujuan meningkatkan keamanan operasional UAV di masa depan. Upaya ini dapat membantu mengurangi potensi risiko tabrakan, dan meningkatkan efisiensi operasional UAV.

**Kata kunci:** UAV, Sistem peringatan tabrakan, Penghindaran otomatis, Lingkungan terbatas, Keamanan operasional UAV.

## Abstract

*Simulation of Collision Warning and Automatic Avoidance System for UAVs in Limited Areas: The operation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in relatively confined areas poses challenges in terms of flight due to physical constraints on UAV operations and limited maneuvering capabilities. The use of UAVs in such areas requires special attention to the possibility of collisions that could result in material losses and pose hazards to both UAV operations and the surrounding environment. This research aimed to mitigate these risks by developing a collision warning and automatic avoidance system for UAVs operating in relatively restricted areas. The study emphasized simulation and analysis of potential collision warning and automatic avoidance systems, adopting an approach suitable for scenarios that may occur in operations within confined areas. The research also delved into the workings of the algorithms used in the collision warning and automatic avoidance system. Simulation results are then evaluated by varying parameters such as the threshold distance for avoidance and the avoidance angle. From the simulation results, it is evident that the threshold distance for avoidance plays a crucial role in the UAV's ability to evade collisions. It is anticipated that the findings of this research will provide essential insights into the development of collision warning and automatic avoidance systems for UAVs operating in confined areas, with the goal of enhancing the operational safety of UAVs in the future. This effort can contribute to reducing the potential risks of collisions and improving the operational efficiency of UAVs.*

**Keywords:** UAV, Collision warning system, Automatic avoidance, Contained area, UAV operational safety.

## 1. Pendahuluan

*Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), atau sering disebut dengan *drone*, telah menjadi bagian penting dalam berbagai aspek kehidupan modern [1] termasuk dalam pengiriman kargo dan survei wilayah yang sulit dijangkau. Di lingkungan operasional yang relatif terbatas mengharuskan UAV untuk beroperasi menimbulkan tantangan yang signifikan, yang mencakup area yang mungkin memiliki pembatas fisik atau geografis, terutama terkait dengan keamanan dan keselamatan penerbangan.

Operasi UAV di wilayah yang relatif terbatas dapat menciptakan tantangan dalam mengelola pergerakan UAV dari risiko bertabrakan karena adanya pembatasan fisik. Tabrakan semacam ini tidak hanya dapat mengakibatkan kerugian material, tetapi juga membahayakan penggunaan UAV terhadap manusia dan lingkungan sekitar. Selain itu manuver yang dapat dilakukan UAV untuk menghindar juga terbatas. Dalam konteks ini, diperlukan pengembangan sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis UAV yang beroperasi di wilayah relatif terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi risiko-risiko yang terkait dengan operasi UAV di lingkungan yang relatif terbatas dengan mengembangkan sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis yang sesuai dengan skenario tabrakan yang mungkin akan terjadi. Pengembangan sistem semacam ini tidak hanya akan meningkatkan keamanan operasional UAV, tetapi juga dapat memungkinkan penggunaan UAV yang lebih efisien dalam pengiriman kargo dan pemantauan melalui udara.

Untuk mencapai tujuan ini, penelitian berfokus pada simulasi dan analisis sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis, juga mengkaji berbagai parameter yang memengaruhi efektivitas sistem tersebut. Hasil penelitian diharapkan akan memberikan wawasan yang penting terhadap pengembangan sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis untuk UAV yang beroperasi di lingkungan yang relatif terbatas. Tujuan utamanya adalah membuat operasi UAV menjadi lebih aman, efisien, berkontribusi positif terhadap efisiensi, kecepatan pengiriman logistik, dan keberlanjutan lingkungan di masa depan.

## 2. Metodologi

*Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) merupakan sebuah teknologi wahana udara tanpa awak yang dapat dikendalikan dari jarak jauh oleh seorang pilot ataupun mampu mengendalikan dirinya sendiri [2]. Berdasarkan sistem kendalinya, UAV mencakup pesawat model, pesawat terkendali jarak jauh (RPAS), dan pesawat otonom.

Beberapa tahun terakhir industri sistem pesawat tanpa awak (UAS) berkembang sangat pesat [3]. UAS yang terdigitalisasi, terinformasi, dan cerdas, kini menjadi tren penting dalam perkembangan penerbangan sipil. Upaya mencegah tabrakan antara UAS untuk mencapai operasi penerbangan yang aman dan efisien di wilayah udara yang relatif terbatas [3].

Dalam penerbangan UAV, pemahaman yang baik tentang hubungan geometris antara dua UAV sangat penting, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian berjudul *UAV Collision Avoidance Based on Geometric Approach* [4]. Pendekatan yang digunakan untuk menghindari tabrakan adalah berbasis aspek geometris yang mencakup perhitungan jarak relatif dan sudut antara UAV dengan objek lain di sekitarnya. Algoritma ini berfokus pada menghindari tabrakan dengan menganalisis data sensor dan menghitung jalur penerbangan alternatif yang aman.

Selain pendekatan berbasis geometri, penelitian yang berjudul *Research on Obstacle Avoidance Control Method of Multi-UAV Based on Model Predictive Control* [5]. menggunakan *Model Predictive Control* (MPC) atau Kontrol Prediktif Model. MPC digunakan dalam sistem kontrol otomatis untuk mengatur pergerakan dan perilaku sistem berdasarkan model matematisnya. Langkah-langkah kontrol diambil berdasarkan perkiraan atau prediksi tentang bagaimana sistem akan berperilaku di masa depan. Sistem melakukan prediksi terhadap perilaku multi-UAV dan juga memprediksi pergerakan atau posisi dari hambatan atau obyek di sekitarnya. Berdasarkan prediksi ini, algoritma kontrol akan merencanakan dan mengoptimalkan jalur penerbangan atau tindakan untuk setiap UAV guna menghindari tabrakan dengan hambatan.

### 2.1. Pemodelan dan Representasi UAV dalam Sistem.

Dalam penelitian ini, peneliti membuat beberapa asumsi kunci untuk menyederhanakan pemodelan dan analisis operasional *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Pertama, UAV dimodelkan sebagai titik matematis tanpa mempertimbangkan dimensi fisiknya, seperti panjang atau lebar. Keputusan ini diambil untuk memfasilitasi analisis matematis yang lebih sederhana dan efektif, terutama dalam hal perhitungan sudut antara UAV.

Metode pemodelan ini memungkinkan perhitungan yang lebih mudah terkait sudut, jarak, dan parameter lain yang esensial untuk sistem peringatan dan penghindaran potensi tabrakan [4][6]. Meskipun mempertimbangkan UAV sebagai titik dapat mengorbankan beberapa aspek fisik nyata dari operasional UAV, namun keuntungan dalam kejelasan dan kemanfaatan analisis matematis adalah pertimbangan utama.

Selanjutnya, dalam kerangka operasional UAV dianggap beroperasi dalam ruang tiga dimensi dengan sistem koordinat yang memungkinkan perhitungan posisi dan jarak relatif antara UAV. Asumsi ini diperlukan untuk menggambarkan dengan akurat interaksi dan pergerakan UAV dalam konteks lingkungan tiga dimensi. Operasional UAV memerlukan pemahaman yang baik tentang posisi dan jarak antar UAV, serta parameter lain yang menjadi dasar utama dalam mengidentifikasi potensi tabrakan.

Dalam menggambarkan pergerakan UAV sebagai model titik, trayektori UAV dihitung menggunakan rumusan matematis [7][8]. Dengan memanfaatkan kecepatan UAV dan waktu, trayektori  $P(t)$  pada koordinat  $(x, y, z)$  dihitung sesuai dengan rumus matematis berikut:

$$P(t) = P_0 + V \cdot t \tag{1}$$

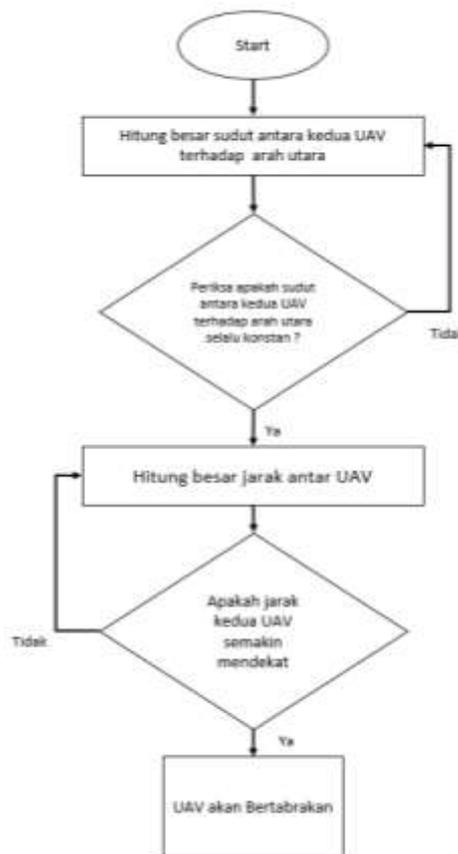
Dimana:

$P(t)$  adalah posisi UAV pada waktu  $t$ .

$P_0$  adalah adalah posisi awal UAV.

$V$  adalah vektor kecepatan UAV.

Representasi UAV membantu visualisasi pergerakan dan interaksi antar UAV, baik dalam model 3D, diagram, atau simulasi komputer yang menunjukkan posisi, arah, dan status UAV saat beroperasi. Deteksi potensi tabrakan melibatkan pemantauan sudut kedua UAV terhadap arah utara, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Jika sudut tetap konstan, sistem mengidentifikasi potensi tabrakan, tetapi sudut tidak cukup sebagai indikator tunggal. Jarak antara UAV juga penting, di mana semakin dekat jaraknya, semakin tinggi kemungkinan tabrakan [1]. Analisis sudut dan parameter jarak bersama-sama membentuk dasar utama dalam mengidentifikasi potensi tabrakan.



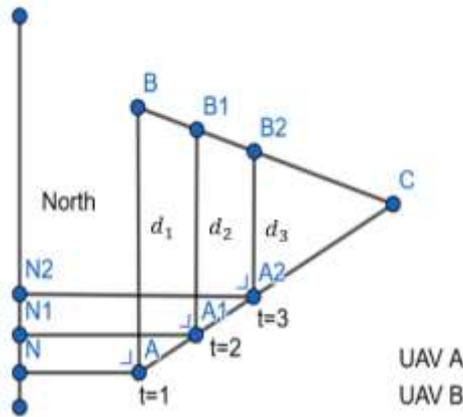
Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 1.** Flowchart kriteria tabrakan dua buah UAV

## 2.2. Penentuan Peringatan Pertama

Peringatan pertama memberitahu operator tentang potensi tabrakan UAV dan memungkinkan operator untuk mengambil tindakan pencegahan. Sudut antara kedua UAV terhadap utara menjadi kunci,

seperti yang terlihat pada Gambar 2, dengan sudut kedua UAV terhadap arah utara yang tetap konstan hingga kedua UAV bertabrakan di titik C.



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 2.** Sudut antara dua UAV terhadap arah utara

Untuk memicu peringatan pertama pada sistem, hal yang perlu dilakukan adalah menghitung sudut kedua UAV terhadap arah utara sebagai berikut:

$$\underline{A} = (x_a \ y_a \ z_a) \quad \text{dan} \quad \underline{B} = (x_b \ y_b \ z_b)$$

$$\underline{AB} = (x_b - x_a \ y_b - y_a \ z_b - z_a) \quad , \quad \underline{N} = (0 \ 1 \ 0)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\underline{AB} \cdot \underline{N}}{|\underline{AB}|} \right) \text{ rad}$$

$$\theta = \theta_{rad} \cdot \frac{180}{\pi} \text{ degree}$$

Terlihat pada persamaan di atas, tinggi terbang pada kedua UAV akan berdampak pada perhitungan sudut, ketinggian masing-masing UAV yang berubah setiap saat akan membuat pembacaan sudut kedua UAV terhadap arah utara pada setiap waktu menjadi tidak konstan sehingga potensi tabrakan tidak akan terjadi. Sebaliknya jika pembacaan konstan maka potensi tabrakan dapat terjadi.

Kemudian untuk mengkonfirmasi akan terjadinya tabrakan dilakukan perhitungan jarak antar UAV [4] sebagai berikut:

$$d = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2 + (z_b - z_a)^2} \tag{2}$$

Jika jarak berada di atas ambang batas jarak penghindaran otomatis, tetapi di bawah ambang batas jarak aman, peringatan pertama diaktifkan.

### 2.3. Peringatan Kedua dan Penghindaran Otomatis

Jika operator tidak merespons peringatan pertama, sistem otomatis menghindari tabrakan untuk setiap UAV dengan mengubah arah terbang berdasarkan prinsip geometri dan trigonometri. Jarak dan sudut antara kedua UAV terhadap arah utara terus dimonitor, dan jika kondisi tertentu terpenuhi, penghindaran otomatis diimplementasikan dengan menentukan vektor posisi antara UAV A dan UAV B.

$$d = \underline{AB} = \underline{B} - \underline{A} \tag{3}$$

Manuver penghindaran tabrakan harus searah dan tegak lurus terhadap arah pergerakan relatif UAV. Untuk mendapatkan vektor yang tegak lurus terhadap ( $\underline{AB}$ ), vektor normal diambil dari nilai negatif komponen y pada ( $\underline{AB}$ ), nilai positif komponen x pada ( $\underline{AB}$ ), dan komponen ketiga diisi dengan nol agar vektor normal tetap di bidang xy. Dengan demikian, vektor normal yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\underline{N}_{AB} = [-\underline{AB}_y, \underline{AB}_x, 0] \tag{4}$$

Langkah selanjutnya adalah normalisasi vektor tersebut.

$$\hat{N}_{AB} = \frac{N_{AB}}{|N_{AB}|} \tag{5}$$

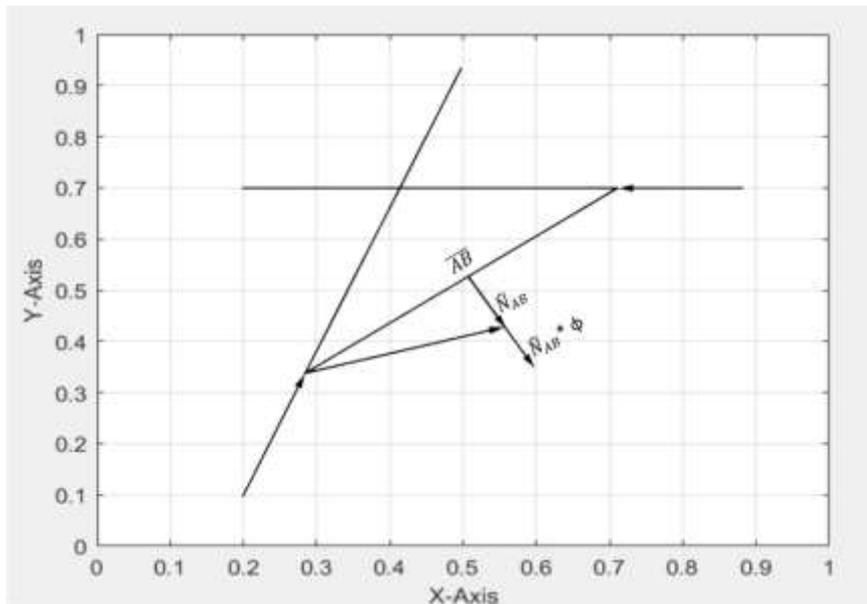
Gambar 3 menunjukkan bahwa dengan normalisasi vektor ini memungkinkan UAV untuk melakukan manuver penghindaran dengan mengikuti arah pergerakannya yang sejalan dengan arah vektor normal.

Tahap terakhir adalah implementasi penghindaran tabrakan. Pada tahap ini diperlukan perubahan posisi yang terkoordinasi agar kedua UAV dapat menghindari tabrakan dengan mengikuti arah yang sesuai.

$$\begin{aligned} \underline{A}' &= \underline{A}_{t+1} + \hat{N}_{AB} * \phi \\ \underline{B}' &= \underline{B}_{t+1} - \hat{N}_{AB} * \phi \end{aligned} \tag{6}$$

Di mana:

$$\begin{aligned} \underline{A}_{t+1} &= \underline{A}_t + \Delta t \cdot \underline{V}_A \\ \underline{B}_{t+1} &= \underline{B}_t + \Delta t \cdot \underline{V}_B \\ \phi &= \text{Sudut menghindar} \end{aligned}$$

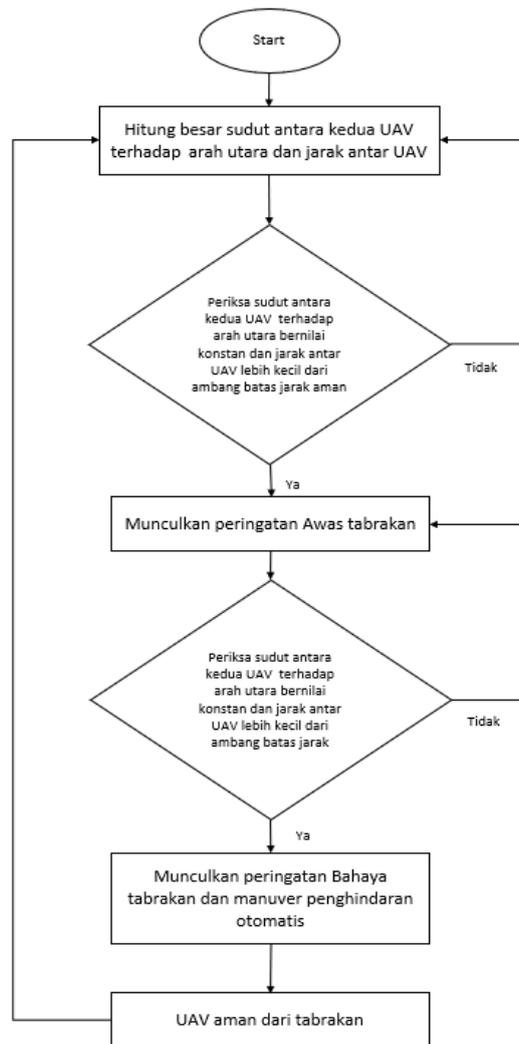


Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 3.** Vektor arah pergerakan menghindar UAV

#### 2.4. Pengembangan Algoritma Simulasi di MATLAB

Simulasi sistem peringatan dan penghindaran tabrakan menggunakan algoritma MATLAB, terlihat pada Gambar 4 yang menunjukkan alur sistem. Simulasi dimulai dengan memeriksa sudut antara kedua UAV terhadap arah utara dan jarak di antara kedua UAV. Pada langkah ini, sistem terus memantau sudut relatif apakah konstan dan jarak antara kedua UAV mendekati ambang jarak tertentu. Jika kondisi ini tidak terpenuhi, sistem akan terus memantau situasi yang berlangsung. Namun, jika kondisi pada langkah kedua terpenuhi di mana sudut antara kedua UAV terhadap arah utara yang bernilai konstan dan jarak di antara kedua UAV kurang dari ambang batas jarak aman dan lebih besar dari jarak ambang menghindar, maka sistem akan menampilkan peringatan "Awas Tabrakan" sebagai tanda bahwa ada potensi tabrakan yang harus dihindari. Potongan kode peringatan pertama ini diperlihatkan pada gambar 5.



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 4.** Flowchart simulasi

```

% Penentuan Peringatan Pertama
% Langkah 1: Menghitung sudut antara UAV A dan UAV B terhadap arah utara
theta = acosd(dot(AB, N) / norm(AB));

% Langkah 2: Menghitung jarak antara UAV A dan UAV B
d = sqrt((xB - xA)^2 + (yB - yA)^2 + (zB - zA)^2);

% Langkah 3: Memeriksa kondisi untuk memicu peringatan pertama
if theta == konstanSudut && d < batasJarakAman
    disp('Peringatan Pertama: Potensi Tabrakan');
end
    
```

Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 5.** Potongan kode peringatan pertama di *Matlab*

Setelah muncul peringatan tabrakan, sistem melanjutkan dengan langkah selanjutnya, yaitu memeriksa kembali sudut antara kedua UAV terhadap arah utara yang harus tetap konstan, dan jarak di antara keduanya harus tetap di atas ambang batas jarak untuk penghindaran. Jika kedua kondisi ini terpenuhi, sistem akan terus memantau situasi yang berlangsung sambil menampilkan peringatan "Awat Tabrakan", di mana UAV tetap dalam mode peringatan. Namun, jika kondisinya tidak terpenuhi, yakni ketika sudut antara kedua UAV terhadap arah utara memiliki nilai yang konstan dan jarak di antara

keduanya kurang dari ambang batas jarak menghindar, langkah berikutnya adalah menampilkan peringatan "Bahaya Tabrakan" dan melakukan manuver penghindaran otomatis.

Dalam manuver ini, masing-masing UAV mengubah arah pergerakannya untuk menghindari tabrakan berdasarkan skenario tabrakan yang akan terjadi. Potongan kode peringatan kedua ini diperlihatkan pada Gambar 6.

```

% Penentuan Peringatan Kedua dan Penghindaran Otomatis
% Langkah 1: Memeriksa kondisi untuk memicu peringatan kedua
if abs(theta - theta_prev) < tolerance &&...
    d < batasJarakPenghindaran
        tolerance = 380;
        disp('Peringatan Kedua: Bahaya Tabrakan');

% Langkah 2: Manuver Penghindaran Otomatis
inter_uav_vector = uavA_position - uavB_position;
normal_vector = [-inter_uav_vector(2), inter_uav_vector(1), 0];
normalize_vectorAB = normal_vector / norm(normal_vector);
angle = pi / 12; % Angle can be adjusted
%Skenario tabrakan diam diudara
if uavB_speed == 0
    uavA_position = uavA_position + (normalize_vectorAB * angle);
elseif uavA_speed == 0
    uavB_position = uavB_position - (normalize_vectorAB * angle);
%Skenario tabrakan head on, lateral, dan Vertikal
if uavA == uavB
    uavA_position = uavA_position + (normalize_vectorAB * angle);
    uavA_position = uavA_position + (normalize_vectorAB * angle);
%Skenario tabrakan rear-end
elseif uavA < uavB
    uavB_position = uavB_position - (normalize_vectorAB * angle);
elseif uavB < uavA
    uavA_position = uavA_position + (normalize_vectorAB * angle);
end
end

```

Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 6.** Potongan kode peringatan kedua di *MATLAB*

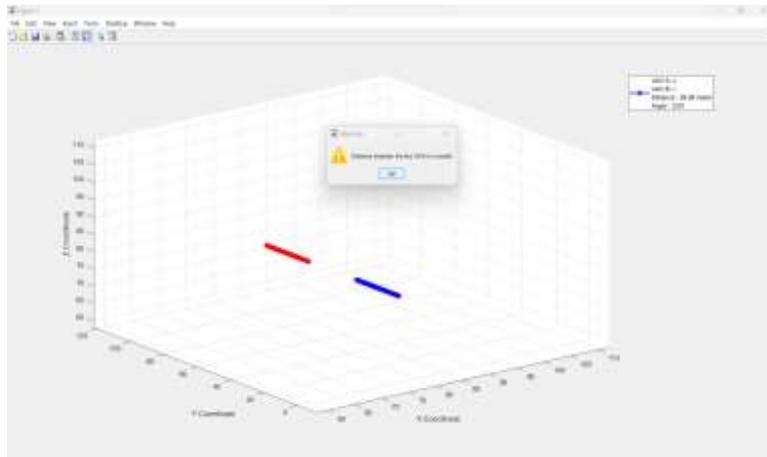
Dengan mengkombinasikan analisis sudut dan parameter jarak, serta implementasi peringatan pertama dan peringatan kedua, sistem ini bertujuan meningkatkan keamanan dan keselamatan operasi UAV.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi sistem peringatan tabrakan dan penghindaran otomatis dilakukan dalam beberapa skenario tabrakan yang mungkin terjadi pada pengoperasian UAV di area terbatas. Masing-masing skenario memiliki dua buah sistim peringatan yaitu waspada dan bahaya yang disertai dengan penghindaran otomatis. Pada peringatan waspada akan terpicu apabila sudut antara kedua UAV terhadap arah utara konstan dan jarak antara kedua UAV lebih kecil dari batas jarak aman dan lebih besar dari batas jarak menghindar. Untuk peringatan bahaya yang disertai penghindaran otomatis akan terpicu jika sudut antara kedua UAV terhadap arah utara konstan dan jarak antara kedua UAV lebih kecil dari ambang batas jarak menghindar.

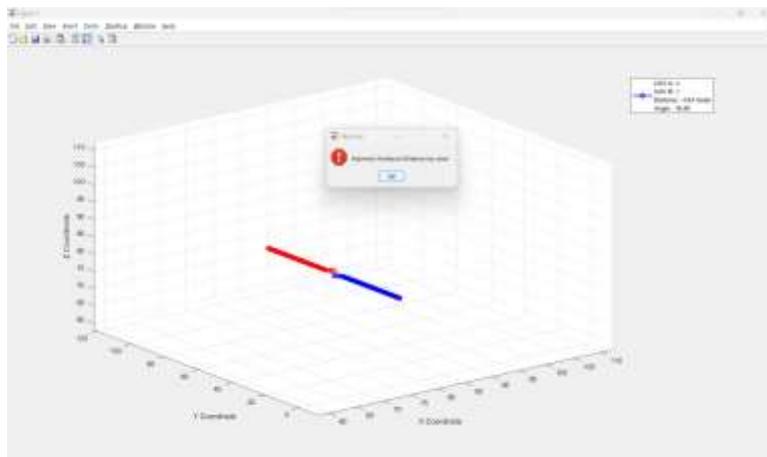
#### 3.1. Skenario Tabrakan Arah Depan (*Head-to Head Collision*)

Tabrakan horizontal terjadi ketika dua UAV bergerak mendekati satu sama lain dengan arah yang berlawanan, sehingga pada akhirnya bertabrakan di udara. Seperti terlihat pada Gambar 7. ketika dua UAV bergerak dari titik awal yang berbeda menuju titik target dari UAV lainnya. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 7,8, dan 9.



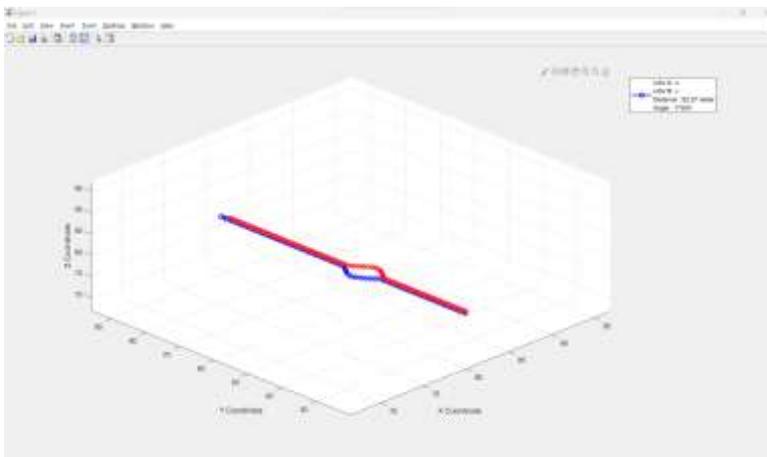
Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 7.** Peringatan waspada skenario *Head on Collision*



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 8.** Peringatan bahaya skenario *Head on Collision*

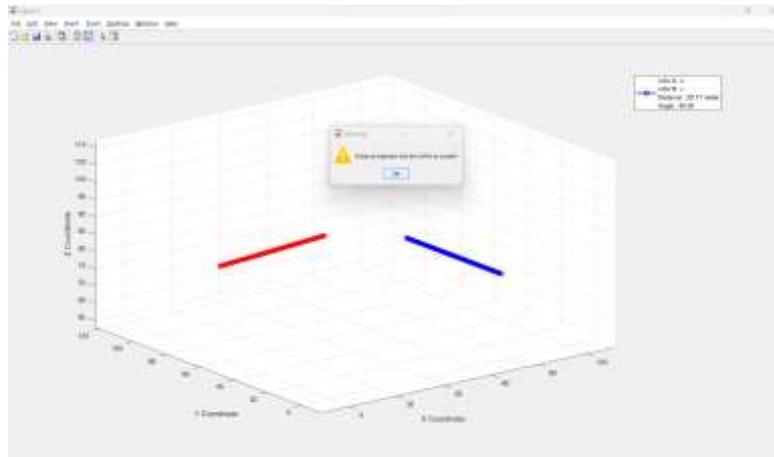


Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 9.** Simulasi skenario head On Collision

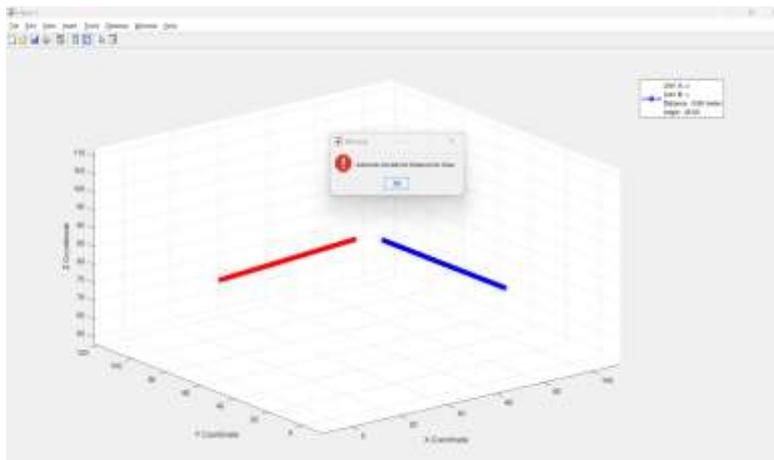
### 3.2. Skenario Tabrakan Lateral (*Side-by-Side Collision*)

Tabrakan lateral dapat terjadi ketika dua UAV bergerak sejajar yang mengakibatkan tabrakan dari samping. Skenario ini dapat terjadi saat UAV terbang secara berdampingan dalam operasi *surveillance* dan tidak melakukan koordinasi jalur penerbangan yang cukup baik. UAV mungkin tidak menyadari adanya risiko tabrakan terutama ketika beroperasi di lingkungan padat atau di area relatif terbatas. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 10,11, dan 12.



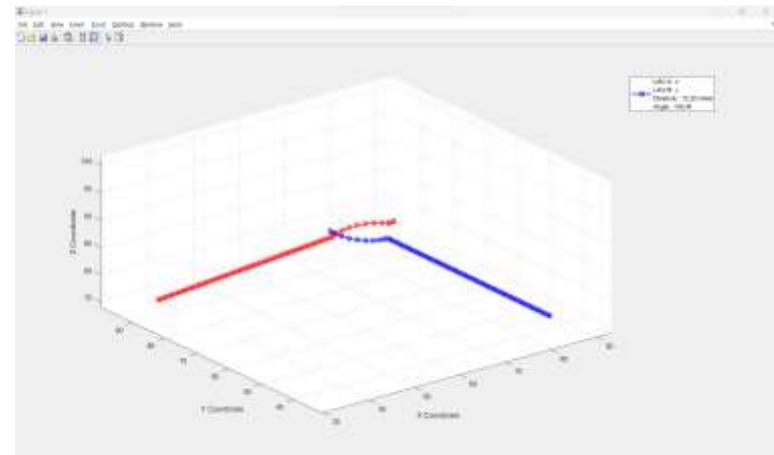
Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 10.** Peringatan waspada skenario tabrakan lateral



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 11.** Peringatan bahaya skenario tabrakan lateral

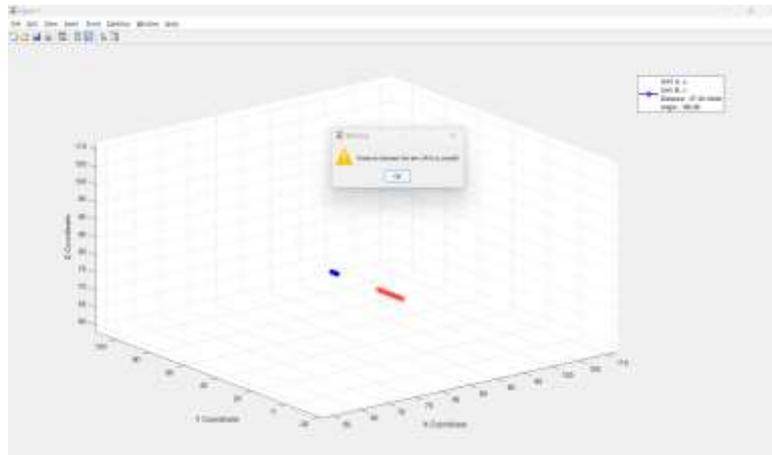


Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 12.** Simulasi untuk skenario tabrakan lateral

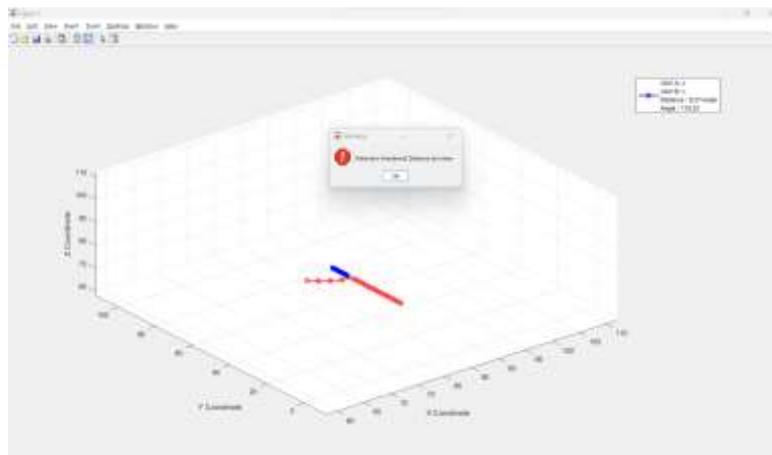
### 3.3. Skenario Tabrakan dari Arah Belakang (*Rear-End Collision*)

Dalam skenario ini, dua buah UAV bergerak dalam arah yang sama atau sejajar, namun dengan perbedaan kecepatan yang signifikan. Ini dapat terjadi dalam berbagai situasi, salah satunya ketika sebuah UAV berusaha untuk mengejar atau mendahului UAV lainnya, atau saat UAV sedang melakukan manuver yang berbeda dalam menjalankan misinya. Skenario ini menciptakan potensi tabrakan yang lebih tinggi karena adanya perbedaan signifikan dalam kecepatan antara kedua UAV, menambah kompleksitas dan tantangan dalam upaya menghindari tabrakan. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 13,14, dan15.



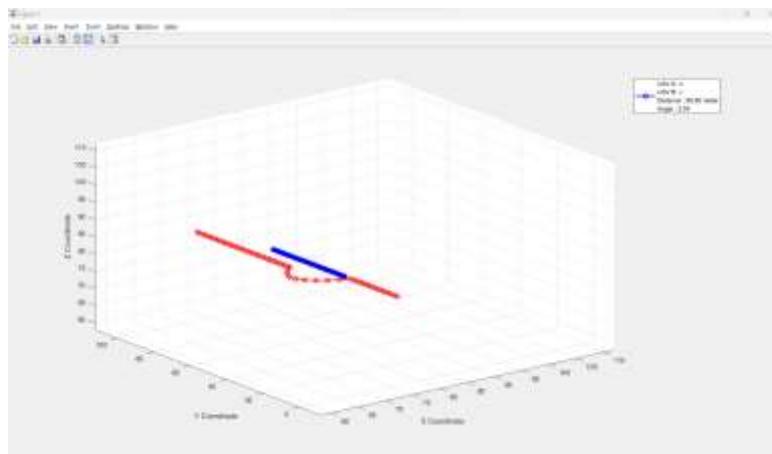
Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 13.** Peringatan waspada skenario tabrakan dari arah belakang



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 14.** Peringatan bahaya skenario tabrakan dari arah belakang



Sumber: hasil analisis, 2023.

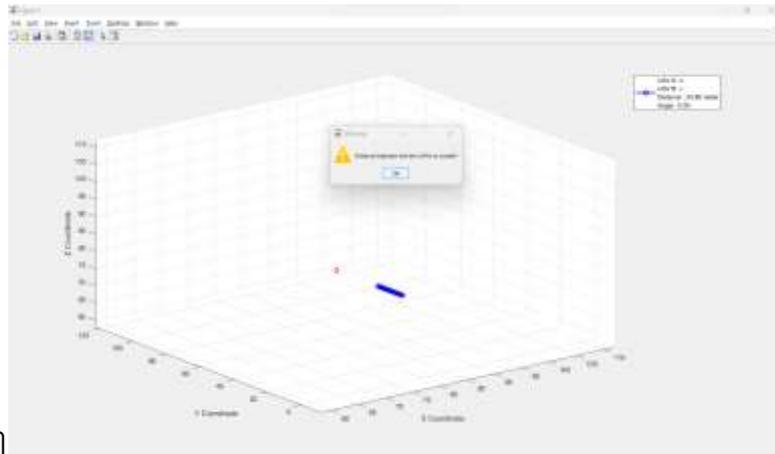
**Gambar 15.** Simulasi untuk skenario tabrakan dari arah belakang

### 3.4. Skenario Tabrakan dengan UAV yang Diam di Udara (*Hover*)

Skenario tabrakan dengan UAV yang berada dalam kondisi *hover* (berhenti di udara) adalah salah satu situasi yang perlu diperhatikan dalam analisis keselamatan dan koordinasi penerbangan UAV. Dalam skenario ini, dua UAV berada dalam jarak yang relatif dekat satu sama lain, namun salah satu UAV berada dalam modus *hovering*, yang berarti UAV tersebut diam di udara. Di sisi lain, UAV kedua sedang bergerak ke arah UAV yang diam di udara tersebut.

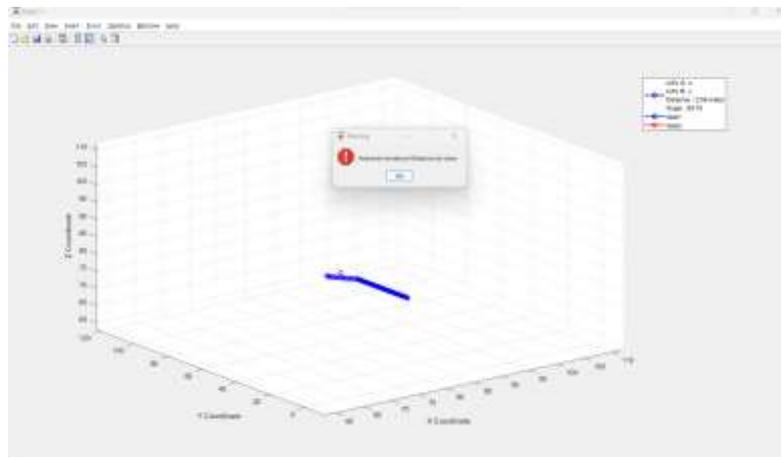
Skenario ini dapat terjadi ketika UAV yang berhenti di udara tidak dapat menghindar atau tidak mendeteksi UAV yang bergerak. Hal ini terjadi karena adanya gangguan komunikasi hingga kesalahan dalam sistem navigasi. Dalam situasi lain, UAV yang berhenti di udara dapat terjadi karena fungsi

pengawasan atau pemantauan di area tertentu, sementara UAV lainnya mungkin sedang dalam perjalanan untuk melakukan tugasnya yang lain. Hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 16,17, dan 18.



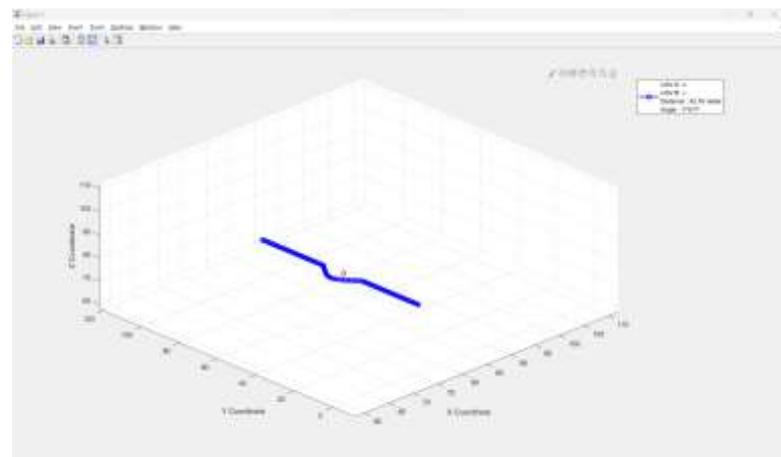
Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 16.** Peringatan waspada skenario dengan uav yang diam di udara



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 17.** Peringatan bahaya skenario dengan uav yang diam di udara



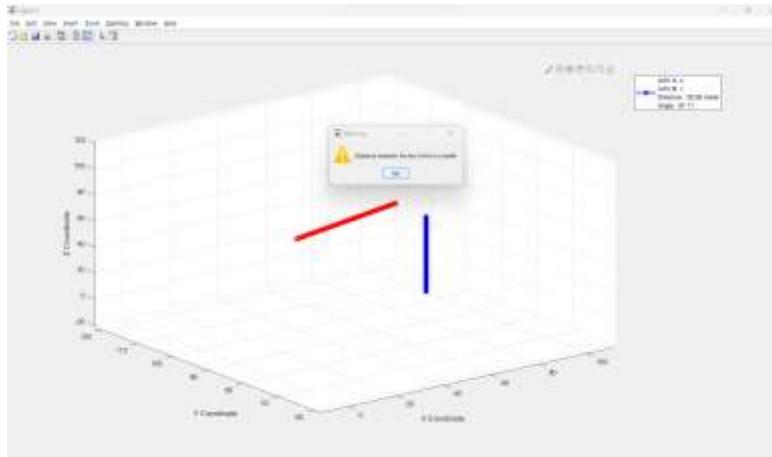
Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 18.** Simulasi skenario tabrakan dengan uav yang diam di udara

### 3.5. Skenario Tabrakan Vertikal (*Top-to-Bottom Collision*)

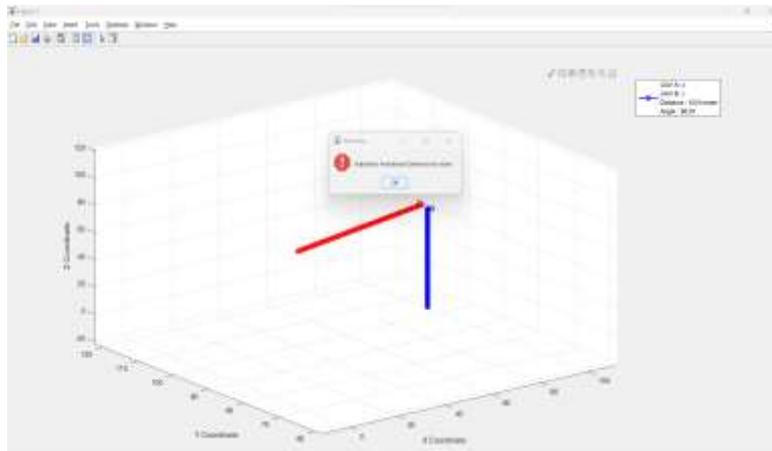
Dalam skenario ini, tabrakan dapat terjadi ketika dua UAV bergerak dari arah atas ke bawah dan sebaliknya, yang berarti bahwa terdapat sebuah UAV yang sedang berada pada ketinggian lebih tinggi sementara terdapat UAV lainnya yang sedang dalam proses naik hingga membuat kedua UAV tersebut bertabrakan. Tabrakan vertikal dapat terjadi karena beberapa penyebab, salah satunya termasuk

pengawasan lalu lintas udara yang tidak memadai, instruksi yang bertentangan, atau kesalahan dalam sistem navigasi. Hasil simulasi ditunjukkan pada gambar 19,20, dan 21.



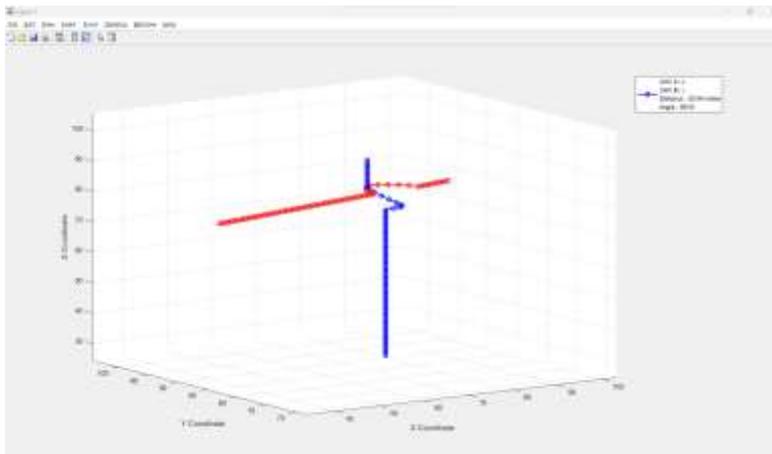
Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 19.** Peringatan waspada skenario tabrakan vertikal



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 20.** Peringatan bahaya skenario tabrakan vertikal



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 21.** Simulasi untuk skenario tabrakan vertikal (*Top-to-Bottom Collision*)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peringatan potensi tabrakan berhasil dengan baik dan setiap UAV dapat melakukan manuver untuk menghindari tabrakan. Dalam analisis sistem ini, variasi pada nilai batas jarak menghindar dan sudut menghindar dilakukan untuk menentukan jarak minimal antar-UAV selama manuver penghindaran tabrakan. Variasi nilai parameter yang dianalisis dalam sistem peringatan dan penghindaran tabrakan ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Variasi Parameter yang Digunakan untuk Menganalisis Sistem

Jarak Antar-UAV	15°	30°	45°	60°	90°
5 meter	√	√	√	√	√
10 meter	√	√	√	√	√
15 meter	√	√	√	√	√

Sumber: hasil analisis, 2023.

Selanjutnya hasil dari analisis tersebut dapat dilihat pada gambar 22,23, dan 24.



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 22.** Ambang batas jarak untuk manuver menghindari sebesar 5 meter



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 23.** Ambang batas jarak untuk manuver menghindari sebesar 10 meter



Sumber: hasil analisis, 2023.

**Gambar 24.** Ambang batas jarak untuk manuver menghindar sebesar 15 meter

Hasil simulasi terlihat bahwa jarak terendah antar-UAV saat melakukan manuver menghindar terjadi pada saat batas jarak menghindar sebesar lima meter, pada sudut menghindar mencapai  $90^\circ$  memiliki jarak minimum pada saat bermanuver menghindar sebesar 3,96 meter, Artinya UAV mampu menghindar pada jarak menghindar yang sempit, namun manuver yang dilakukan UAV sangatlah ekstrem.

Selanjutnya, ketika ambang batas jarak menghindar diperbesar menjadi sepuluh meter, jarak terendah antar-UAV saat melakukan manuver menghindar mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa dengan adanya peningkatan ambang batas jarak menghindar, UAV memiliki lebih banyak ruang untuk melakukan manuver menghindar. Sementara itu, ketika ambang batas jarak menghindar diperbesar hingga lima belas meter, jarak terendah antar-UAV saat menghindari tabrakan menjadi semakin meningkat.

#### 4. Kesimpulan

Simulasi sistem peringatan pendeteksi potensi tabrakan dan penghindaran tabrakan otomatis antara UAV ini membutuhkan data berupa, posisi, kecepatan, ketinggian, dan sudut antara posisi kedua UAV terhadap arah utara. Data ini didapatkan dari GPS tampilan di MATLAB berupa dua buah titik yang diilustrasikan sebagai UAV sesuai dengan masing-masing skenario tabrakan yaitu *head on*, lateral, dan *vertical collision*.

Hasil simulasi dan analisis yang diperoleh dalam penelitian ini membuktikan bahwa sistem peringatan potensi tabrakan dan penghindaran otomatis berhasil dalam mengelola dan mencegah potensi tabrakan antara UAV. Variasi parameter penghindaran memberikan wawasan penting tentang pengaturan optimal sistem untuk lingkungan operasi yang berbeda. Rekomendasi penggunaan sudut penghindaran lima belas derajat dapat meningkatkan efisiensi lintasan penerbangan UAV sambil tetap memastikan keselamatan penerbangan untuk pengoperasian UAV di wilayah terbatas. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam menjaga keselamatan dan kinerja penerbangan UAV di lingkungan yang semakin kompleks.

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, disarankan melakukan pengujian *real-time* guna memvalidasi efektivitas deteksi dan penghindaran tabrakan, pembaruan parameter sistem untuk meningkatkan keakuratan, pengembangan algoritma untuk kasus multi-UAV, dan pengembangan sistem tabrakan yang memperhitungkan struktur kapal.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Magister Teknik Dirgantara Institut Teknologi Bandung (ITB), *Advanced Master Unmanned Aircraft Systems Services and Management Ecole Nationale de l'Aviation Civile* (ENAC), dan kepada Bapak Rianto Adhy Sasongko, S.T, M.Sc., Ph.D atas bimbingan dan arahan dalam penulisan artikel ini.

## Daftar Pustaka

- [1] B. A. White, H. S. Shin, and A. Tsourdos, "UAV obstacle avoidance using differential geometry concepts," in *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 2011. doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.02344.
- [2] H. Abudarhman, Suwandi, and E. Rosdiana, "Perancangan dan Perakitan Fixed WING UAV yang Dapat Lepas Landas Secara Vertical, e-Proceeding of Engineering," in *e-Proceeding of Engineering*, Bandung: Universitas Telkom, 2020.
- [3] X. Guan, R. Lyu, H. Shi, and J. Chen, "A Survey of Safety Separation Management and Collision Avoidance Approaches of Civil UAS Operating in Integration National Airspace System," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 33, no. 11, pp. 2851–2863, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.cja.2020.05.009.
- [4] E. Schafer, "Sense and Avoid: How it Works in Unmanned Aerial Vehicles," Iris Automation. [Online]. Available: <https://www.irisonboard.com/how-sense-and-avoid-works-in-unmanned-aerial-vehicles/>
- [5] J. Li, H. He, and A. Tiwari, "Simulation of Autonomous UAV Navigation with Collision Avoidance and Space Awareness," in *IRCE 2020 - 2020 3rd International Conference on Intelligent Robotics and Control Engineering*, 2020. doi: 10.1109/IRCE50905.2020.9199247.
- [6] N. K. Chandran, M. T. H. Sultan, A. Łukaszewicz, F. S. Shahar, A. Holovatyy, and W. Giernacki, "Review on Type of Sensors and Detection Method of Anti-Collision System of Unmanned Aerial Vehicle," *Sensors*, vol. 23, no. 15, p. 6810, Jul. 2023, doi: 10.3390/s23156810.
- [7] W. K. Chen, *Linear Networks and Systems: Algorithms and Computer-Aided Implementations*. Chicago: WORLD SCIENTIFIC, 1994. doi: 10.1142/2077.
- [8] N. Bhushan, "UAV: Trajectory Generation and Simulation," University of Texas Arlington, 2019.
- [9] J. W. Park, H. D. Oh, and M. J. Tahk, "UAV collision avoidance based on geometric approach," in *Proceedings of the SICE Annual Conference*, 2008. doi: 10.1109/SICE.2008.4655013.