

Kendali Formasi Pesawat Tanpa Awak (UAV) Menggunakan Algoritme Pursuit dan Penghindaran Halangan

Dyah Anggun Sartika, Adha Imam Cahyadi, Oyas Wahyunggoro

Electrical Engineering and Information Technology Department Gadjah Mada University

Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281, Yogyakarta, Indonesia

Email : dyah.anggun.sie13@mail.ugm.ac.id, masimam@jtet.gadjahmada.edu, oyas@ugm.ac.id

Abstract—This paper is aimed to solve the problem about relationship between the UAV in formation. Formation consists of 2 UAVs which solve as a leader and as a follower. Assuming there is ideal condition and only had visual information only, then follower flew to follow leader's trajectory. The algorithm is based on Pursuit Guidance Algorithm and using potential field for avoid-obstacle behavior. The simulation result show that in a curved trajectory, the leader and the follower are very well and able to pursue and avoid obstacles in follower's trajectory.

Keywords—UAV; Formation; Pursuit Guidance Algorithm; Potential field; Obstacle

Abstrak— Paper ini berisi penelitian yang bertujuan untuk mengatasi hubungan antar pesawat tanpa awak (UAV) dalam satu formasi. Formasi terdiri dari 2 buah UAV yang berperan sebagai *leader* dan *follower*. Dengan asumsi kondisi ideal dan *follower* hanya memiliki informasi visual saja, maka *follower* terbang mengejar lintasan *leader*. Algoritme yang digunakan berdasarkan pada *Pursuit Guidance Algorithm* serta menggunakan *potential field* sebagai dasar penghindar halangan. Hasil simulasi pada sebuah *leader* dengan lintasan kurva menunjukkan bahwa *follower* mampu mengejar *leader* serta menghindari dari halangan didepannya.

Kata kunci—UAV; Formasi; Algoritma Pemandu Pursuit; Potential field; Halangan

I. PENDAHULUAN

Pesawat tanpa awak atau UAV (*unmanned Aerial vehicle*) adalah pesawat yang dapat terbang tanpa memiliki awak didalamnya. Pesawat ini dikendalikan oleh dua cara, menggunakan pengendalian manual dari bawah dengan menggunakan GCS (Ground Control Station) ataupun cara kedua dengan bergerak secara mandiri tanpa operator manusia, sehingga mampu mengambil keputusan sendiri ketika menghadapi halangan (obstacles) serta menemukan jalur yang tepat dari posisi awal ke posisi yang dituju. Metode inilah yang dinamakan *path planning* atau perencanaan jalur [1]

Pesawat tanpa awak memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan wahana berawak lain ataupun satelit. Penggunaan UAV juga meliputi berbagai bidang baik dibidang perindustrian, pelayaran, kelautan, bahkan untuk tujuan militer dan sipil. [2] Banyaknya penggunaan UAV dikarenakan keunggulan yang dimiliki baik dari sisi fungsi, operasional serta tingkat resikonya dibandingkan dengan keadaan manual. Bahkan pengembangan kinerja UAV telah sampai pada

pengoperasian dalam bentuk formasi atau multi agen yang terdiri dari sejumlah UAV [3].

Pengendalian untuk formasi terbang beberapa pesawat atau UAV telah menjadi topik khusus yang sangat populer dan banyak dilakukan penelitian berkaitan dengannya selama beberapa tahun terakhir [4][5][6][7]. Hal tersebut dikarenakan beberapa pengaplikasian formasi UAV seperti untuk pengintaian, penjagaan, pembelajaran atmosfer, penyampaian pesan, pencarian dan penyelamatan yang dalam tindakannya cukup berbahaya dan tidak disarankan menggunakan pilot serta menjangkau area yang luas. Akan lebih bermanfaat apabila beberapa UAV digerakkan menjadi satu kesatuan dan terbang dalam formasi atau multi agen yang diinginkan untuk mempersingkat waktu dan efisiensi [8].

Algoritma pursuit merupakan algoritma yang banyak diaplikasikan dalam beberapa penelitian menyangkut formasi atau Multi agen. Dengan algoritma ini, diharapkan *follower* mampu mengejar dan mengikuti lintasan *leadernya*.

Penelitian ini akan mengangkat masalah tentang formasi UAV yang terdiri dari dua UAV dengan satu *leader* dan satu *follower*. Informasi awal yang dimiliki sebagai acuan adalah posisi awal UAV *leader* serta UAV itu sendiri beserta kecepatan dan jarak antar UAV. Informasi inilah yang kemudian akan diolah menjadi berdasarkan LOS (*line of sight*) serta *guidance algorithm*. *Follower* dapat mengestimasi jarak relatif, sudut LOS dan rate LOS pada UAV yang berada di FOV (*Field of View*). Hasil estimasi inilah yang akan digunakan sebagai perhitungan serta arah yang harus diikuti oleh *follower*.

II. ALGORITMA PURSUIT

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, UAV akan lebih bermanfaat apabila dioperasikan dalam bentuk formasi atau Multi agen dibandingkan dengan UAV yang bekerja secara sendiri-sendiri, terutama apabila UAV bertujuan untuk melakukan kinerja pada area yang luas. Selain karena manfaatnya, penelitian tentang kendali untuk formasi atau Multi agen pun telah banyak dilakukan selama beberapa tahun terakhir, menggunakan bermacam-macam metode. Hal yang dikendalikan adalah bagaimana agar *leader* mampu menuntun *follower* agar sampai ke titik tujuan serta bagaimana *follower* tetap berada dalam formasi atau mengikuti lintasan *leader*.

Algoritme A* merupakan salah satu algoritme yang digunakan beberapa penelitian [9][10][11] untuk melakukan penjejakan (*Tracking*). Algoritme ini termasuk pada metode *sampling* (pencuplikan) yang membagi *workspace* menjadi sel-sel yang lebih kecil. Selain algoritme A*, terdapat algoritme Djikstra yang bertugas untuk mencari jalur terpendek dari titik

awal sampai titik akhir. Parulekar [12], menggunakan algoritme Dijkstra untuk navigasi kendaraan secara otomatis. Hasil pencarian jalur terpendek ini disimpan dalam bentuk matriks dan kemudian dikirimkan kepada kendaraan lain.

Metode lain adalah menggunakan kendali *sliding mode*, Suatu kendali nonlinier untuk memaksa sistem meluncur ke sepanjang sistem tujuan. Kendali ini diaplikasikan untuk penjejak lintasan, masalah pada formasi terbang baik dalam penerbangan secara horizontal untuk pesawat tanpa awat yang berjumlah banyak sejenis quadrotor [13]. Sebuah kendali *sliding mode* digunakan follower untuk tetap menjaga formasinya mengikuti leader. Bahkan terdapat percobaan lain dengan *sliding mode* yang diterapkan dengan algoritme pursuit untuk sistem pemburu dan penangkapan target [14].

Selain untuk formasi dan multi agen pesawat UAV saja, Kendali formasi dilakukan pula untuk kombinasi antara UAV dengan *Unmanned Ground Vehicle* (UGV) [15][16]. Serta penelitian lain, yang memanfaatkan perbedaan pesawat menjadi sebuah team untuk mengarahkan pada lingkungan yang sudah dikenal, ataupun memanfaatkan umpan balik linear sehingga setiap agen dinamis kembali menjadi integrator tunggal [6]. Ada juga pemanfaatan untuk menjejak sebuah kumpulan centroid [17][18]. Bahkan, meskipun tidak secara sempurna dipahami, perilaku berkelompok burung, perilaku pembelajaran pada ikan bahkan tentang serangan telah memberikan inspirasi bagi konsep koordinasi pada operasi *multi-vehicle* [19]. Aturan yang digunakan memungkinkan setiap *follower* diinformasikan untuk mengatur jangkauan dan orientasi relatif terhadap *leadernya*.

Hal menarik lainnya pada formasi adalah penentuan apakah ada komunikasi antar UAV atau tidak. Untuk formasi UAV dengan komunikasi, yang perlu dibahas adalah bagaimana agar perbedaan waktu (*time delay*) antara waktu pengiriman informasi dari *leader* dengan waktu diterimanya informasi oleh *follower* tidak menimbulkan masalah yang mempengaruhi formasi UAV. Terdapat beberapa penelitian untuk formasi dengan adanya komunikasi. Salah satunya menggunakan grafik asiklik langsung (*directed acyclic graph*) [20]. Pada grafik ini dideskripsikan untuk multi-agent dengan inisial bahwa agen tanpa tetangga (agen lain di dekatnya) disebut *leader* sedangkan lainnya adalah *follower*. *Leader* bergerak dalam suatu formasi dengan kecepatan yang bergantung pada waktu (*time varying velocity*) dan *follower* dapat mengakses posisi relatif dari tetangganya serta kecepatan *leader*.

Untuk formasi UAV tanpa adanya komunikasi, masalah terletak dari bagaimana cara menghitung estimasi jarak serta sudut yang hendak dituju UAV itu sendiri. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pendekatan menggunakan Kalman Filter. Informasi yang diperoleh untuk perhitungan pada kalman filter biasanya berasal dari algoritma vision. Banyak penelitian yang telah dilakukan, seperti pada penelitian untuk pengendalian terbang beberapa UAV yang juga menghindari halangan. Penelitian ini hanya menggunakan informasi visual yang disediakan dalam formasi. Metode pengendalian formasi ini antara menggunakan kalman filter untuk mengestimasi jarak dari informasi visual atau secara

langsung meregulasi ukuran citra pesawat *leader* pada citra pesawat. Ketika citra ini tidak dapat diukur maka dipastikan jaraknya sangat lebar sehingga hanya dapat menggunakan informasi dari *bearing* saja. Jarak yang relatif antar UAV pada formasi diatur melalui formasi geometri yang bergantung pada waktu (*time-dependent formation geometry*).

Dari beberapa kendali formasi, algoritme pursuit adalah salah satu algoritme yang banyak diaplikasikan. Algoritme pursuit ini merupakan algoritme pengikut jejak yang menghitung kulfatur atau lengkungan untuk dapat menggerakkan kendaraan/pesawat dari posisinya sekarang menuju ke posisi akhir yang sama. Beberapa kegunaannya:

- Menentukan posisi tertentu dari suatu kendaraan/pesawat.
- Mencari titik jalur terdekat kendaraan/pesawat.
- Mencari titik akhir kendaraan/pesawat yang telah ditentukan letak sebelumnya.
- Mengubah titik akhir ke dalam koordinat kendaraan/pesawat.
- Menghitung kulfatur/lengkungan kemudian meminta kendaraan/pesawat tersebut menuju ke lengkungan tersebut.
- Digunakan sebagai piranti untuk memperbaharui (*update*) posisi kendaraan/pesawat.

Parameter yang digunakan berdasarkan *lookahead distance* yang akan selalu mendapatkan jalur yang sesuai serta menjaga jalur tersebut sampai pada posisi akhir kendaraan/pesawat.

Salah satu algoritme pursuit yang banyak digunakan adalah *Pure Pursuit Guidance* (PPG) yang memiliki kemampuan untuk memandu UAV dalam mengikuti target yang bergerak (*moving target*) [14]. PPG ini memiliki kecenderungan untuk menuntun UAV mengejar posisi belakang dari target yang bergerak. Ketika UAV mendekati target, PPG cenderung menjadi sensitive terhadap setiap likukan (*maneuver*) target dan menyebabkan suatu perintah divergensi problem.

Dalam beberapa kasus, PPG ditujukan untuk memprediksi posisi *rendezvous* (posisi keberadaan) dan mampu mengikuti kooperatif formasi sampai mencapai titik tujuannya. Untuk algoritma pemandunya, sebuah *waypoint* atau titik acuan dipilih sebagai pemandu UAV mencapai titik *rendezvous* dengan error yang diijinkan. Selanjutnya UAV harus menjangkau *rendezvous* yang diusulkan tadi dalam waktu sampai yang diijinkan beserta kecepatan yang sama seperti pesawat dalam kooperatif itu. Untuk membantu hal ini, sebuah inversi dinamis dibantukan sebagai pengendali kecepataannya. PPG digunakan untuk mengatur *waypoint* dan kecepatan pada inversi dinamisnya. Sedangkan untuk membantu dalam perencanaan jalurnya, PPG dibantu oleh *dubins path* yaitu algoritme pencari jalur terpendek untuk pesawat 2 dimensi.

Algoritme pursuit lainnya adalah *Matching Pursuit Algorithm* (MP) [21]. Algoritme ini mengatasi kekurangan pada metode klasik pursuit yaitu berkurangnya bandwidth pada loh tertutup (*close loop*) dan munculnya *dead-band* pada formasi yang tentunya menimbulkan masalah pada kinerja dan

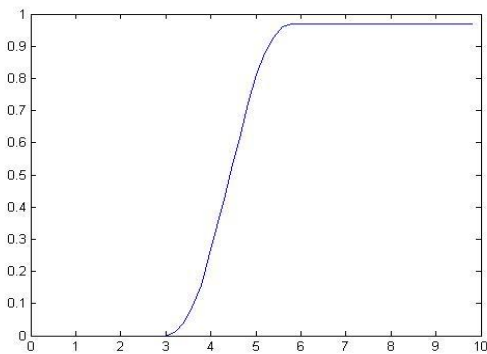
kelincihan maneuver formasi. Algoritme MP memberikan solusi yang cukup tepat untuk mengatasi masalah ini dengan cara memberikan prosedur iterasi yang mampu meningkatkan perkiraan/estimasi sinyal.

Dalam suatu penelitian, algoritme MP digunakan untuk kendali posisi pada formasi satelit terbang. Terdapat dua pesawat salah satunya sebagai pemburu (*chaser*) yang secara aktif mengendalikan posisinya agar terus berhubungan dengan pesawat yang lainnya (dalam hal ini disebut target). Tujuan dari pendekatan ini adalah meminimalkan jumlah jalur yang digunakan agar menjaga *chaser* tetap mengikuti posisi referensinya dalam batas toleransi yang diijinkan.

Algoritme lain yang mirip dengan algoritme MP adalah *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP) dan *Basis Pursuit* (BP). Dalam suatu penelitian, kedua algoritme dibandingkan dengan diterapkan pada UWA (*Underwater Acoustic*) yaitu saluran ganda selektif yang mempunyai delay waktu yang cukup besar serta efek Doppler yang signifikan. Estimasi kanal yang merupakan salah satu tugas penting dalam desain penerima memiliki tantangan yang cukup besar untuk komunikasi UWA karena jumlah delaynya yang sangat besar serta efek Dopplernya [22].

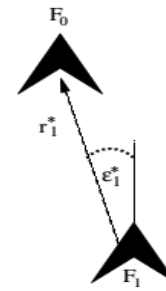
III. PERANCANGAN SISTEM

Penelitian ini menggunakan formasi dua buah UAV dengan mengikuti jalur pada Gambar 1. Jalur tersebut merupakan jalur *leader* dengan set point berada di titik (0,0). Jarak yang diinginkan antara *leader* dan *follower* adalah 1 meter dengan sudut yang diinginkan adalah 30°.

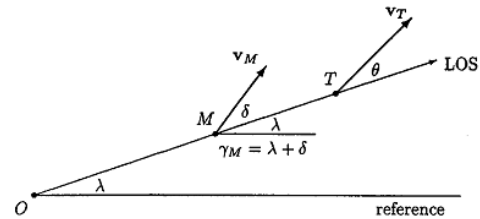


Gambar 1 Jalur leader

Secara sederhana posisi *leader* dan *follower* dapat dilihat pada Gambar 2 [23]. Diasumsikan terlebih dahulu terdapat dua buah UAV dalam posisi seperti Gambar 2 dimana F0 adalah *leader* dan F1 adalah *followernya*. Jarak yang diinginkan serta sudutnya antara *leader* dan *follower* disimbolkan dengan r_1^* dan ϵ_1^* . Nilai estimasi *Line of Sight* (LOS) rate dan sudutnya diperlukan untuk menghasilkan nilai yang diinginkan tersebut.



Gambar 2. Formasi dua buah UAV dan nilai yang diinginkan



Gambar 3 Geometri LOS pembimbing [23]

Sedangkan dari Gambar 3 merupakan aturan LOS yang digunakan untuk LOS *Guidance* geometri planar. Pada titik planar O (titik referensi), T (target) dan M (missile) terdapat vector kecepatan v_T dan v_M . O_x merupakan garis referensi dengan sudut LOS λ yang terukur. Dari referensi yang sama, jalur T dengan sudut γ_T dan jalur M dengan sudut γ_M juga terukur. Sedangkan v_T dan v_M adalah sudut θ dan δ dengan LOS. Panjang r_T dan r_M adalah jarak OT dan OM. Karena M dan T terletak pada jalur yang sama maka persamaannya menjadi [24]

$$\lambda' = \frac{v_T \sin \theta}{\gamma_T} = \frac{v_M \sin \delta}{\gamma_M} \tag{1}$$

Dari persamaan (1) tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai LOS rate dengan memposisikan UAV *leader* pada titik M dan *followernya* sebagai T. Besarnya nilai LOS akan digunakan untuk mendapatkan besaran percepatan. Percepatan ini diperoleh berdasarkan algoritme pursuit *proportional navigation* seperti pada persamaan (2) berikut ini [24]

$$a_c^N = N V_i \left(K_N \hat{\lambda} + (1 - K_N) e_{\epsilon_i} \right) \tag{2}$$

Dengan a_c^N adalah percepatan normal, N adalah konstanta *proportional navigation*, V_i adalah kecepatan *forward follower*, K_N adalah parameter range [0,1], $\hat{\lambda}$ adalah LOS rate dan ϵ adalah *lead angle*. Hasil persamaan tersebut digunakan pada model UAV untuk penelitian ini, dengan persamaannya

$$\begin{aligned} x_i &= V_i \cos \psi_i \\ y_i &= V_i \sin \psi_i \\ \dot{\psi}_i &= a_i^N / V_i \\ \dot{V}_i &= V \end{aligned} \tag{3}$$

Selain mengikuti jalur *leader*, terdapat halangan yang diletakan pada jalur *follower*. Untuk menghindari halangan ini menggunakan metode *potential field* yang sering digunakan sebagai perencanaan jalur pada robot bergerak. Metode ini pertama kali ditemukan oleh Khatib dan telah direalisasikan pada lengan robot di tahun 1985. Akhir-akhir ini metode ini semakin banyak digunakan karena analisisnya yang sederhana serta mampu menyelesaikan penjejakan secara lebih simultan [25]. Berikut adalah persamaan yang digunakan

$$U_o(\rho) = \begin{cases} \frac{1}{2} \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right)^2 & \text{if } \rho_m < \rho < \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho > \rho_0 \end{cases} \tag{4}$$

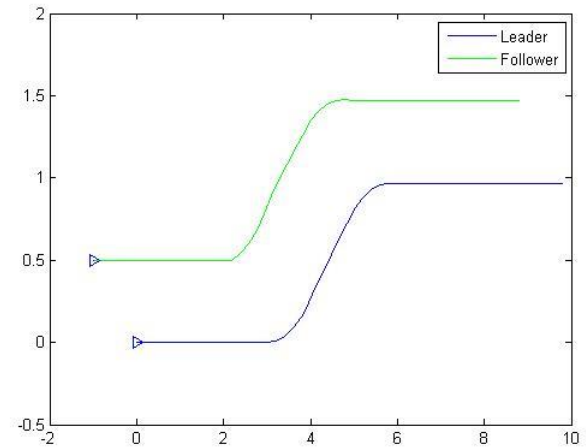
Dengan η adalah konstanta *repulsive*, ρ adalah jarak pesawat dan halangan, ρ_0 adalah jarak minimum pesawat dan halangan yang dipengaruhi oleh gaya *repulsive*. Turunan dari gaya *repulsive* menghasilkan fungsi *repulsive* sebagai berikut.

$$F_o(\rho) = \begin{cases} \eta \left(\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho_0} \right) \frac{1}{\rho^3} \frac{\partial \rho}{\partial r} & \text{if } \rho \leq \rho_0 \\ 0 & \text{if } \rho > \rho_0 \end{cases} \tag{5}$$

Dengan $\frac{\partial \rho}{\partial r} = \left(\frac{\partial \rho}{\partial x}, \frac{\partial \rho}{\partial y} \right)$

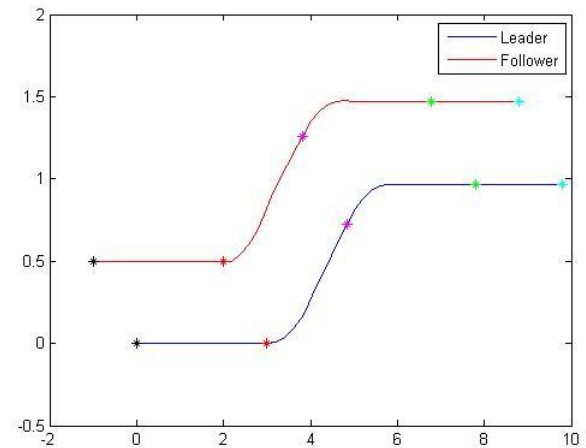
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi ini dimulai dengan mengatur *set point* antara *leader* dan *follower* yaitu berada pada koordinat (0,0) dan (-1,0,5). Sedangkan hasil simulasinya menunjukkan bahwa *follower* dapat mengikuti jalur *leader* meskipun tidak sama persis dengan jalur *leadernya*. Terdapat sedikit perbedaan terutama terkait jarak antara *leader* dan *follower*.



Gambar 4 Hasil simulasi tanpa halangan

Berdasarkan Gambar 4 dapat terlihat bahwa *follower* berhasil mengikuti *leader*. Jalur berwarna hijau merupakan jalur milik *follower* sedangkan jalur berwarna biru merupakan jalur milik *leader*.



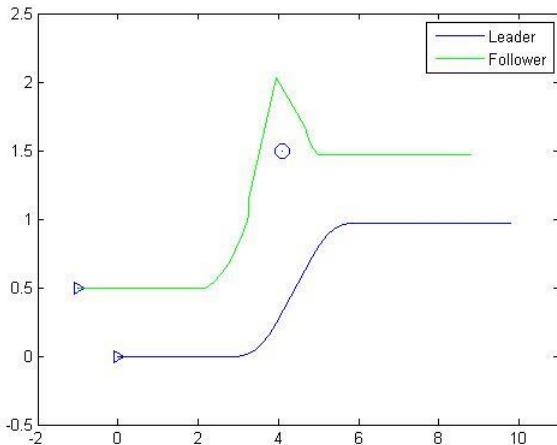
Gambar 5 Hasil simulasi tanpa halangan perdetik

Untuk Gambar 5 merupakan posisi UAV pada saat 3 detik, 5 detik, 8 detik dan 10 detik (posisi akhir). Posisi mulai ditandai dengan warna hitam, 3 detik warna merah, 5 detik warna ungu, 8 detik warna hijau dan 10 detik warna biru. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Posisi UAV tanpa halangan

Detik Ke-	Posisi Leader		Posisi Follower	
	X	Y	X	Y
3	3	0	1,9915	0,5
5	4,8364	0,7243	3,8159	1,2608
8	7,7953	0,9691	6,7848	1,4719
10	9,7953	0,9691	8,7848	1,4719

Untuk percobaan selanjutnya adalah meletakkan halangan pada lintasan *follower* yaitu pada koordinat (4;1,4). Dengan metode *potential field* ternyata *follower* mampu mengikuti jalur *leader* dan secara bersamaan pula mampu menghindari halangan di depannya. Jalur milik *follower* yang baru berhasil menghindari halangan namun tidak mengenai jalur *leader*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 hasil simulasi dengan halangan

Sementara itu, sama seperti hasil sebelumnya, terjadi perubahan posisi per detik. Perubahan dimulai saat koordinat awal sampai ketika 10 detik (posisi akhir). Untuk lebih jelasnya, posisi UAV dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Posisi UAV dengan halangan

Detik Ke-	Posisi Leader		Posisi Follower	
	X	Y	X	Y
3	3	0	1,9915	0,5
5	4,8364	0,7243	3,2161	0,9873
8	7,7953	0,9691	6,7848	1,4719
10	9,7953	0,9691	8,7848	1,4719

V. KESIMPULAN

- Hal yang perlu dihadapi pada formasi UAV adalah bagaimana cara mengendalikan posisi *follower* dan *leader* agar tetap pada posisi yang diinginkan.
- Pada kendali formasi UAV, terdapat beberapa penyelesaian masalah salah satunya menggunakan algoritme pursuit.
- Algoritme pursuit yang digunakan dalam penelitian ini adalah *pursuit proportional navigation* yang menghasilkan suatu persamaan percepatan untuk mengendalikan posisi *follower*.
- Penggunaan estimasi LOS *Guidance* dapat membantu dalam mencari jarak dan sudut antara *leader* dan *follower*.

- Dengan algoritme pursuit ini, *follower* mampu mengejar lintasan *leader* dengan baik, serta dengan penambahan metode *potential field*, *follower* mampu menghindari halangan pada lintasannya.
- Dari hasil yang didapatkan, perbedaan antara posisi *follower* untuk lintasan dengan halangan dan tanpa halangan dimulai pada detik ke 4 dan ke 5 pada saat *follower* mulai menghindari halangan, dimana posisi pada saat 5 detik untuk lintasan tanpa halangan pada koordinat (3,8159 , 1,2608) sedangkan saat menghindari halangan, posisinya menjadi (3,2161 , 0,9873).

REFERENCES

- T. Khuswendi, H. Hindersah, and W. Adiprawita, "UAV Path Planning Using Potential Field and Modified Receding Horizon A * 3D Algorithm," no. July, 2011.
- H. Lee, S. Uav, and K. Aerospace, "IMPLEMENTATION OF COLLISION AVOIDANCE SYSTEM USING TCAS II TO UAVS Necessity of Collision Avoidance System On-Board Requirements Types of Collision Avoidance Sensors," pp. 1–9, 2005.
- N. H. M. Li and H. H. T. Liu, "Formation UAV flight control using virtual structure and motion synchronization," *2008 Am. Control Conf.*, pp. 1782–1787, Jun. 2008.
- B. F. Giulietti and M. Innocenti, "By Fabrizio Giulietti, Lorenzo Pollini, and Mario Innocenti," no. December, pp. 34–44, 2000.
- Q. Fan, "A Multi-UAV Tight Formation Flight Controller," no. 2.
- Y. Gu, B. Seanor, G. Campa, M. R. Napolitano, and L. Rowe, "Design and Flight Testing Evaluation of Formation Control Laws," vol. 14, no. 6, pp. 1105–1112, 2006.
- W. Ren and R. W. Beard, "Formation feedback control for multiple spacecraft via virtual structures."
- D. Luo, T. Zhou, and S. Wu, "Obstacle avoidance and formation regrouping strategy and control for UAV formation flight," *2013 10th IEEE Int. Conf. Control Autom.*, pp. 1921–1926, Jun. 2013.
- X. Liu, "A Comparative Study of A-star Algorithms for Search and rescue in Perfect Maze," 2011.
- H. Wang, J. Zhou, G. Zheng, and Y. Liang, "HAS: Hierarchical A-Star Algorithm for Big Map Navigation in Special Areas," *2014 5th Int. Conf. Digit. Home*, pp. 222–225, Nov. 2014.
- S. M. Lavalle, "Simplicial Dijkstra and A * Algorithms : From Graphs to Continuous Spaces," pp. 1–19.
- M. Parulekar, V. Padte, T. Shah, K. Shroff, and R. Shetty, "Automatic Vehicle Navigation using Dijkstra 's Algorithm," 2013.
- D. A. Mercado, R. Castro, and R. Lozano, "Quadrotors Flight Formation Control Using a Leader-Follower Approach *," no. 5, pp. 3858–3863, 2013.
- T. Yamasaki and S. N. Balakrishnan, "Sliding mode based pure pursuit guidance for UAV rendezvous and chase with a cooperative aircraft," *Proc. 2010 Am. Control Conf.*, pp. 5544–5549, Jun. 2010.
- A. Aghaeeyan and H. A. Talebi, "UAV Guidance For Tracking Control Of Mobile Robots In Presence Of Obstacles 2," pp. 135–140, 2013.
- B. Y. B. E. N. Grocholsky, J. Keller, V. Kumar, and G. Pappas, "A Scalable Approach to the Detection and Localization," no. September, pp. 16–26, 2006.
- H. G. Tanner and D. K. Christodoulakis, "Decentralized Cooperative Control of Heterogeneous Vehicle Groups," no. March 2007, pp. 1–31.
- N. Michael, J. Fink, and V. Kumar, "Controlling a Team of Ground Robots via an Aerial Robot," pp. 965–970, 2007.
- E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz, "Swarm Intelligence: From natural to Artificial Systems," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 4, no. 2, pp. 192–193, 2000.

- [20] W. Ding, G. Yan, Z. Lin, and Y. Lan, "Leader-following formation control based on pursuit strategies," *2009 IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robot. Syst.*, pp. 4825–4830, Oct. 2009.
- [21] P. Massioni, F. Ankersen, and M. Verhaegen, "A Matching Pursuit Algorithm Approach to Chaser-Target Formation Flying Problems," *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 513–519, Mar. 2012.
- [22] J. Huang, C. Berger, S. Zhou, and J. Huang, "Comparison of Basis Pursuit Algorithms for Sparse Channel Estimation in Underwater Acoustic OFDM," vol. 0805, 2010.
- [23] a. Betser, P. a. Vela, G. Pryor, and a. Tannenbaum, "Flying in formation using a pursuit guidance algorithm," *Proc. 2005, Am. Control Conf. 2005.*, pp. 5085–5090, 2005.
- [24] N. . Shneydor, *Missile Guidance And Pursuit.* .
- [25] A. Ataka, A. Rizqi, A. I. Cahyadi, and T. B. Adji, "Path Planning and Formation Control via Potential Function for UAV Quadrotor," no. Aris, pp. 165–170, 2014.