

SISTEM KENDALI KOOPERATIF UAV UNTUK Mendukung PENGAWASAN *ILLEGAL FISHING* (UAV COOPERATIVE CONTROL SYSTEM TO SUPPORT ILLEGAL FISHING MONITORING)

Agus Wiyono¹, Teuku M. I. Hakim
Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN
¹e-mail: aguswiyono.lpn@gmail.com

Diterima : 30 April 2019; Direvisi : 11 Juni 2019; Disetujui : 27 Juni 2019

ABSTRAK

Terjadinya kegiatan *illegal fishing* sangat merugikan bagi bangsa Indonesia, terutama bagi para nelayan. Kementerian Kelautan dan Perikanan merupakan institusi pemerintah yang memiliki kewenangan dalam melakukan pengawasan dan penindakan terhadap kegiatan *illegal fishing*. Salah satu kegiatan pengawasan yang dilakukan selama ini adalah dengan memanfaatkan pesawat terbang berawak. Hal tersebut memiliki beberapa kelemahan. Untuk melengkapi kekurangan yang ada dalam penggunaan pesawat terbang berawak, pengoperasian UAV dapat digunakan untuk mendukung operasi pengawasan *illegal fishing*. Penggunaan *single-UAV* tidak akan sesuai tugas pengawasan dimana area yang diawasi sangatlah luas. Aplikasi *multi-UAV* untuk melaksanakan tugas semacam ini akan cukup efektif. Untuk mewujudkannya suatu sistem kendali kooperatif telah dibangun. Pada tahap pertama, sistem kendali dibangun dan diuji dalam lingkungan virtual yaitu melalui simulasi. Perangkat lunak yang digunakan untuk membangun sistem kendali adalah: Matlab/Simulink untuk membangun sistem kendali terbang dan X-Plane 9 digunakan untuk pemodelan matematis pesawat dan visualisasi dinamika pesawat. Metoda kooperatif yang digunakan adalah *leader-follower*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa simulasi multi-UAV dengan menggunakan Matlab/Simulink dan X-Plane telah berhasil digunakan untuk mengendalikan 3 UAV mengikuti topologi kooperatif.

Kata kunci: *UAV, monitoring, kooperatif, illegal fishing*

ABSTRACT

Illegal fishing action is very detrimental to the Indonesian Nation, especially for Indonesian fishers. Indonesian Ministry of Marine Affairs and Fisheries has the authority to take action against the illegal fishing activity. Monitoring activity was done by using human-crewed aircraft. It has some weaknesses. To complement the aircraft operation, a UAV can be operated to support illegal fishing monitoring. Single UAV maybe not proper for this kind of task since the monitored area is really wide. The application of multi-UAV to perform the mission considered effective for such mission. In order to make multi-UAV operation is possible, a cooperative control system shall be developed. In the first stage, the control system will be developed and it will test in virtual environment by means of simulation. The tools which are used for the development are MATLAB /Simulink to develop flight control laws and X-Plane 9 is used for aircraft mathematical model and visualization of aircraft dynamics. Cooperative control will use *leader-follower* method. The result shows that the multi-UAV simulation by using MATLAB and X-Plane successfully done.

Keywords: *UAV, monitoring, cooperative, illegal fishing*

1 PENDAHULUAN

Direktorat Jendral Pengawasan Sumberdaya Kelautan dan Perikanan (PSDKP) adalah institusi pemerintah yang merupakan bagian dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) yang bertugas untuk melakukan pengawasan dan perlindungan terhadap sumberdaya kelautan dan perikanan di wilayah Republik Indonesia. Dalam melakukan fungsinya tersebut PSDKP melakukan kegiatan untuk mencegah terjadinya praktek illegal fishing di perairan Indonesia.

PSDKP menggunakan sistem pengawasan berbasis satelit untuk mengawasi kegiatan illegal fishing. Terdapat 3 metoda yang digunakan, yaitu dengan *Vessel Monitoring System* (VMS), *Automatic Identification System* (AIS) dan radar satellite (Radarsat) (Pustekbang, 06 March 2018). Menurut Budianto, Direktorat Jenderal PSDKP (PSDKP-KKP, 2019) dan Gita Natalia (Natalia, 2016), VMS adalah suatu metoda untuk mengawasi kapal ikan dengan menggunakan satelit dan VMS peralatan transmitter yang ditempatkan di kapal ikan untuk mendapatkan posisi kapal, telemetri dan kegiatan atau pergerakannya. Data kapal tersebut dapat dipantau di *Fisheries Monitoring Center* (FMC). AIS adalah suatu Transceiver yang dioperasikan pada frekuensi maritime, yaitu 161,975 MHz dan 162,025 MHz tergantung pada peraturan International Maritime Organization (IMO). Alat ini secara otomatis akan membroadcast pesan AIS ke segala arah, Pesan yang terkirim berisi *Mobile Maritime System Identification* (MMSI) atau ID kapal, kecepatan kapal, posisi kapal, *heading* kapal, dan informasi lain yang relevan agar kapal lain yang juga dilengkapi dengan peralatan AIS yang berada disekitarnya lebih waspada terhadap lalu lintas kapal yang ditampilkan pada Electronic Chart

Display Information System (ECDIS)/System Electronic Navigation Chart (SENC) atau Electronic Navigation Chart (ENC) (PTE-BPPT, 2018). Teknologi Radsat memanfaatkan seluruh pantulan dari objek yang berada di atas permukaan air. Dengan menggunakan metoda ini, identitas kapal tidak akan dapat diketahui. Radsat hanya dapat mendeteksi ukuran dan heading dari kapal yang terdeteksi.

Untuk menentukan target kapal illegal fishing, data dari VMS, AIS dan Radsat kemudian dioverlay. Dari peta overlay tersebut akan terdeteksi objek yang berada di atas permukaan air yang tidak memiliki data VMS maupun AIS. Objek tersebut dapat dicurigai sebagai kapal yang sedang melakukan kegiatan *illegal fishing*. Semua proses di atas dapat di tampilkan seperti Gambar 1-1.



Gambar 1-1: Ilustrasi mendeteksi kapal illegal fishing vessel menggunakan data VMS, AIS dan Radsat

PSDKP selama ini melakukan dua cara untuk memverifikasi apakah objek terdeteksi tersebut adalah kapal ikan atau hanya objek seperti rumpon dan lain-lain. Pertama adalah dengan menggunakan kapal patrol yang mendatangi objek dicurigai tersebut, yang kedua adalah dengan pengamatan melalui udara (*airborne surveillance*). Untuk *airborne surveillance*, PSDKP memanfaatkan 2 pesawat yang berbeda,

yaitu Cessna 208B Grand Caravan dan Beechcraft King Air B200GT (

Gambar 1-2). Data visual yang diperoleh dari hasil pengamatan kemudian dikirim ke pusat pengolahan data untuk diolah lebih lanjut dan kemudian dikirim ke kapal patroli terdekat untuk melakukan penindakan yang diperlukan jika terjadi aktifitas *illegal fishing* (Gambar 1-3). Proses pengiriman data dari pesawat ke pusat data tidak dilakukan secara real time, tetapi menunggu pesawat *landing di operation base*. Setelah mendapatkan data verifikasi dari hasil pemantauan pesawat, kapal patroli kemudian melakukan penindakan terhadap pelaku *illegal fishing*.



Gambar 1-2: Airborne surveillance PSDKP: Cessna 208B (Air, 2018) (atas) dan King Air B200GT (bawah)



Gambar 1-3: Airborne surveillance of PSDKP KKP (KKP, 2018)

Oleh karena belum adanya pemantauan *illegal fishing* dengan kooperatif UAV di Indonesia, maka pada paper ini akan dibahas pengembangan sistem kendali terbang kooperatif untuk mengendalikan multi-UAV dalam melaksanakan misi pemantauan (khususnya untuk *illegal fishing*).

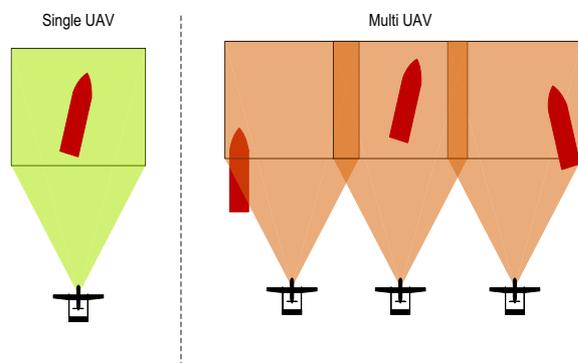
2 METODOLOGI

Penggunaan UAV dapat menjadi solusi yang dipilih untuk melengkapi kekurangan dari pengoperasian pesawat berawak. Dibandingkan pesawat berawak, penggunaan UAV lebih fleksibel karena dapat dioperasikan dari atas kapal patrol sehingga pemantauan udara dapat lebih sering dilakukan. Selain itu, UAV dapat terbang lebih rendah dengan kecepatan yang juga cukup rendah, sehingga kualitas gambar yang dihasilkan dapat lebih baik daripada menggunakan pesawat berawak. Kekurangan dari penggunaan UAV adalah *endurance* dan jarak jelajahnya yang lebih rendah, karena dengan dimensi yang kecil, maka akan membatasi jumlah bahan bakar yang dapat dibawanya. *Captured area* yang dapat diperoleh dari sapuan sebuah UAV juga terbatas karena batasan kecepatan dan ketinggian terbang. Untuk mengatasinya, pengoperasian beberapa UAV yang dioperasikan secara kooperatif

untuk memantau suatu area dapat dilakukan seperti

Gambar 2-1. Untuk mewujudkannya maka suatu system kendali kooperatif dikembangkan. Dalam mengembangkan sistem kendali kooperatif, beberapa metoda dapat digunakan, diantaranya adalah kendali formasi (Do, 2014) (Lin, Wang, & Fu, 2014), *flocking* (Jia & Wang, 2015) (Gu & Wang, 2009) (Zhan & Li, 2013), *tracking* (Li, Liu, Zhu, & Gao, 2015) (Choi & Ah, 2015), dan lain-lain.

Metoda yang digunakan dalam mengembangkan sistem kendali kooperatif dalam riset ini adalah metoda *leader-follower* yang merupakan bagian dari metoda berkelompok (*flocking method*) (Gu & Wang, 2009). Berdasarkan (Rezaee, Abdollahi, & Menhaj, 2013) dan (Dehghani & Menhaj, 2016), leader follower adalah formasi yang paling populer karena kemudahan dalam mplementasi dan analisisnya. Kendali formasi dan konsensus pergerakan tiap UAV relatif terhadap leader dijelaskan dalam (Dong, Zhou, Ren, & Zhong, 2016), (Han, Dong, Li, & Ren, 2017) dan (He, Bai, Liang, Zhang, & Wang, 2018). Dengan menggunakan wahana LSU lapan maka konsep kendali ini akan diturunkan menggunakan parameter model matematika LSU LAPAN.



Gambar 2-1: Perbandingan penggunaan single dan multi-UAV

untuk aplikasi pemantauan

Target yang ingin dicapai dalam pengembangan sistem kendali kooperatif tahap satu adalah mengembangkan sistem kendali dan mengujinya pada lingkungan virtual melalui simulasi untuk verifikasi. Pada kasus ini tiga buah UAV akan terbang secara kooperatif dalam formasi tertentu sesuai dengan perintah yang diberikan. Perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem kendali kooperatif ini adalah:

1. Matlab/Simulink. Digunakan untuk membangun model dinamika pesawat dan sistem kendali terbang.
2. X-Plane. Digunakan untuk visualisasi dinamika pesawat.

Pada sistem kendali kooperatif dibangun hukum kendali terbang dengan Matlab/Simulink. Kemudian dibangun model dinamika terbang UAV dan pengaturan simulasi untuk fitur *multi-aircraft*. Selanjutnya diintegrasikan antara sistem kendali ke model dinamika UAV dengan metode melakukan simulasi. Hasil simulasi disimpan dan dianalisis.

a. Model pesawat

Model pesawat yang digunakan dalam pengembangan adalah LSU-02 (LAPAN Surveillance UAV 02). Pesawat ini telah berulang kali digunakan pada berbagai misi yang berkaitan dengan pemantauan dan pemetaan. Pesawat ini juga telah berhasil melakukan uji coba take-off dan landing dari kapal.

Berikut adalah spesifikasi LSU-02:

- Wing span : 2.4 m
- MTOW : 18 kg
- Max payload : 3 kg
- Range : 450 km
- Endurance : 5 jam

Untuk keperluan simulasi, model dinamika LSU-02 dibuat dalam *software*

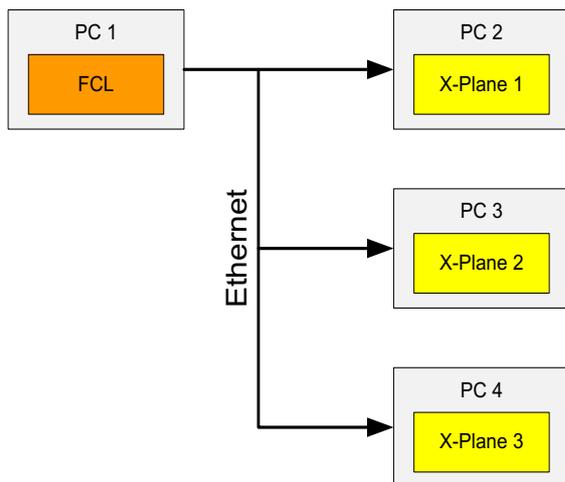
X-Plane. Perbandingan antara LSU-02 yang sebenarnya dengan model X-Plane ditunjukkan pada Gambar .



Gambar 2-2: LSU-02 riil dan model X-Plane

b. Konfigurasi Perangkat Keras

Pada desain sistem kendali kooperatif digunakan 3 buah model pesawat LSU dan diperlukan 4 buah komputer untuk melakukan simulasi. Satu (1) komputer digunakan untuk system kendali dan 3 komputer lainnya digunakan untuk mensimulasikan dinamika terbang pesawat dengan menggunakan X-Plane. Komunikasi antar komputer pada tahap ini dilakukan melalui kabel Ethernet yang terhubung dengan *switch hub*. Skematik konfigurasi *hardware* untuk simulasi ditunjukkan pada (Gambar).



Gambar 2-3: Konfigurasi *hardware* untuk Simulasi

c. Sistem kendali

Sistem kendali kooperatif UAV dikembangkan menggunakan metode sistem kendali Linier. Sistem kendali ini akan mengendalikan kecepatan, ketinggian dan arah dari *follower* terhadap referensi status dari *Leader*. Sinyal pengendalian untuk pengaturan ketinggian dari *follower* terhadap *Leader* di rumuskan pada persamaan 2-1.

$$u_{hi} = (h_i - h_L + of_{hi})G_{hi} \tag{2-1}$$

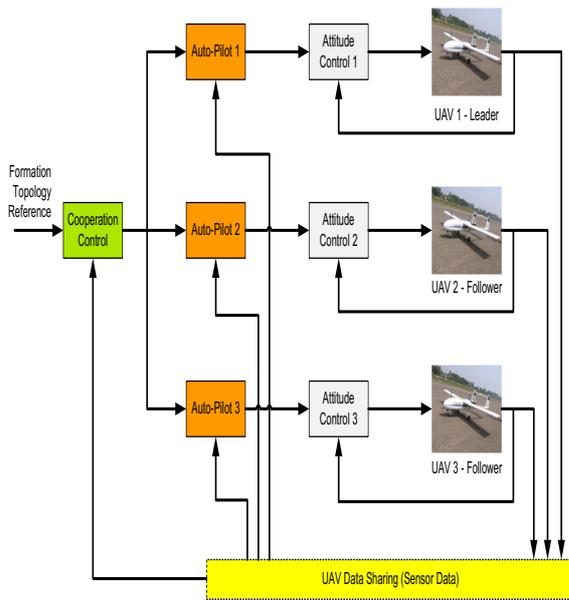
Dimana u_{hi} = sinyal pengendalian sudut pitch dari pesawat UAV ke i , h_i merupakan ketinggian pesawat *follower* ke i , h_L merupakan ketinggian *leader*, of_{hi} merupakan jarak ketinggian antara *leader* dan *follower* ke i dan G_{hi} adalah penguatan sistem kendali ketinggian. Sinyal pengendalian kecepatan *follower* terhadap *leader* di rumuskan seperti persamaan 2-2.

$$u_{vi} = (v_i - v_L)G_{vi} \tag{2-2}$$

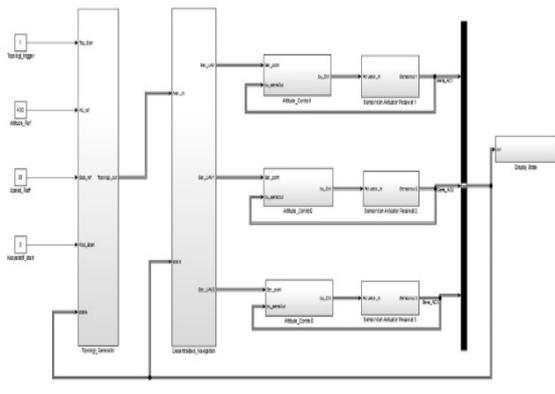
Dimana u_{vi} = sinyal pengendalian Thrust dari pesawat UAV ke i , v_i merupakan kecepatan pesawat *follower* ke i , v_L merupakan kecepatan *leader* dan G_{vi} adalah penguatan sistem kendali kecepatan.

$$u_{hdi} = (y_i - y_L + of_{yi})G_{yi} \tag{2-3}$$

Dimana u_{hdi} = sinyal pengendalian Heading dari pesawat UAV ke i , y_i merupakan posisi sumbu y body pesawat *follower* ke i , y_L merupakan posisi sumbu y *leader* dan G_{yi} adalah penguatan sistem kendali heading. Sistem kendali ini akan mengatur jarak pesawat *follower* terhadap *Leader* pada jarak tertentu sebesar of_{yi} .



Gambar 2-4: Arsitektur sistem kendali kooperatif UAV



Gambar 2-5: Implementasi sistem kendali kooperatif pada Matlab/Simulink

Arsitektur sistem kendali kooperatif untuk UAV ditunjukkan pada Gambar dan persamaan 2-1, 2-2 dan 2-3 diimplementasikan pada Matlab/Simulink seperti di tampilan

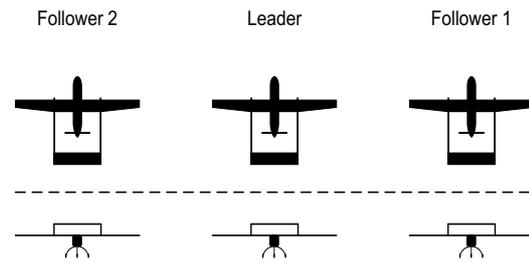
Gambar 2-5. Pada Gambar 2-4, *Formation topology reference* memberikan informasi topologi sebagai input kendali kooperatif. Modul kendali kooperatif kemudian akan mengirimkan perintah pada tiap pesawat berdasarkan topologi dengan pesawat 1 yang dijadikan sebagai acuan untuk posisi, kecepatan, heading dan lain-lain. Auto-pilot akan memproses

perintah dan menggerakkan tiap pesawat pada kondisi yang sesuai dengan input. Output dari sensor pada masing-masing pesawat akan dibagikan (*data share*) sebagai umpan balik (*feedback*) untuk auto-pilot dan modul kendali kooperatif.

Tiga topologi yang diimplementasikan pada kendali kooperatif adalah sebagai berikut:

1. Topologi sapuan

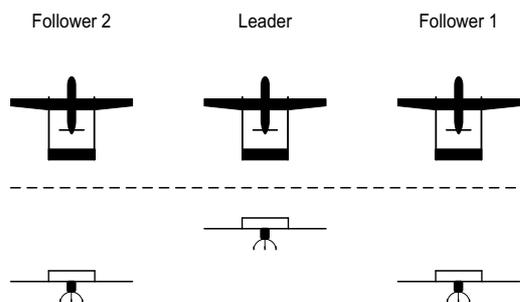
Topologi sapuan diimplementasi ketika pesawat terbang dari kapal menuju wilayah operasi. Pesawat terbang dengan formasi berjajar dengan jarak tertentu yang dijaga konstan selama penerbangan. Untuk topologi ini jarak di atur dengan memeberikan nilai ofset ketinggian 0m, ofset jarak $y = 20m$ dan kecepatan *follower* sama dengan *leader* Topologi sapuan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2-6: Topologi sapuan

2. Topologi pengamatan

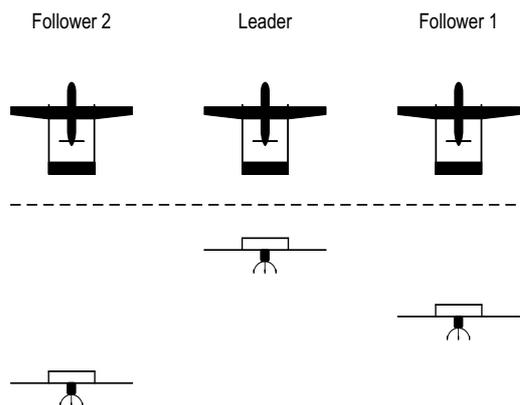
Topologi pengamatan diimplementasi untuk melakukan pengamatan secara spesifik terhadap kapal target yang dicurigai sedang melakukan kegiatan *illegal fishing*. Pesawat akan melakukan *fly-pass* di atas target dengan formasi berjajar dengan kondisi *leader* terbang pada ketinggian tertentu dan lebih tinggi dari *follower*. Untuk formasi ini ofset ketinggian *follower* di atur di nilai 20m dengan ofset y sebesar 20 m dan kecepatan *follower* sama dengan *leader*. Topologi pengamatan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4: Topologi pengamatan

3. Topologi pengamatan detail

Topologi pengamatan detail diimplementasi untuk mengamati target dengan lebih detail. Pesawat akan melakukan loiter di atas kapal dengan masing-masing pesawat memiliki ketinggian yang berbeda untuk menghindari tabrakan. Topologi pengamatan detail ditunjukkan pada Gambar .



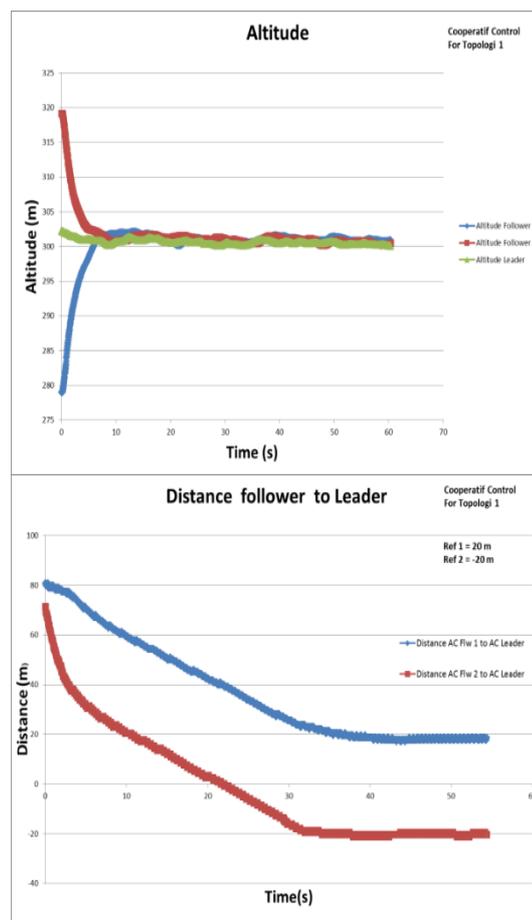
Gambar 2-8: Topologi pengamatan detail

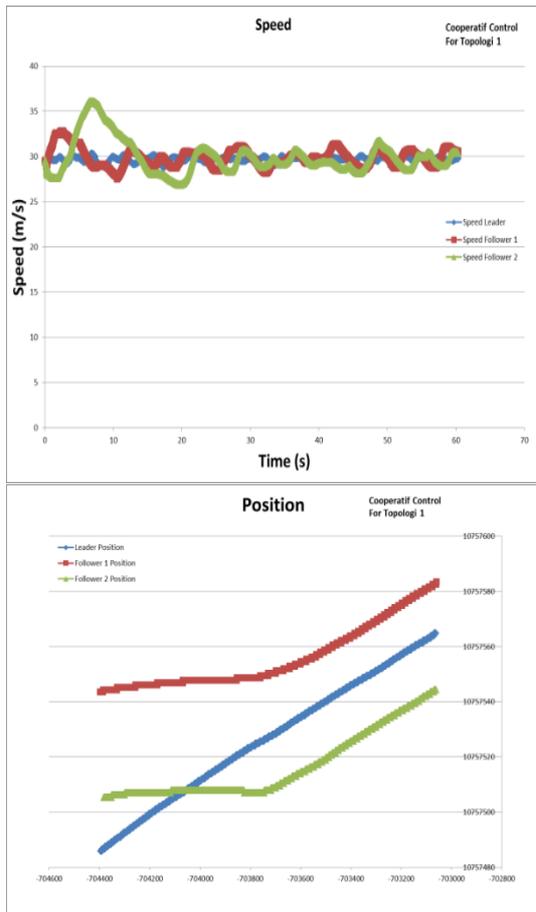
3 HASIL PEMBAHASAN

Pengujian telah dilakukan pada sistem kendali kooperatif yang mengimplementasi topologi 1, 2 dan 3. Pengujian dilakukan pada pesawat yang sedang terbang cruise pada ketinggian berbeda dan kecepatan tertentu. Hasil yang diperoleh dari pengujian dengan topologi 1 – 3 ditunjukkan pada Gambar, Gambar , dan Gambar.

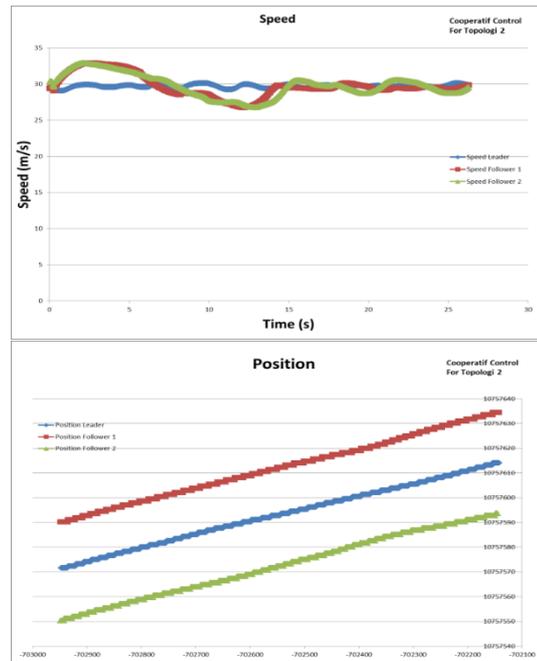
Gambar menunjukkan hasil pengujian dengan topologi 1. Pada gambar ditunjukkan bahwa sistem kendali dapat mengatur ketinggian tiap pesawat sebagaimana yang diperintahkan untuk terbang pada

ketinggian 300 meter. Pada kondisi awal pesawat terbang pada ketinggian yang berbeda, dalam waktu sekitar 5 detik pesawat sudah dapat mencapai ketinggian yang diperintahkan. Begitu juga untuk jarak terbang, tiap *follower* bergerak ke jarak 20 meter relative terhadap *leader*. Output dari kecepatan pun mengikuti perintah, namun cenderung terlihat fluktuatif. Hal tersebut dikarenakan tiap *follower* berusaha menyesuaikan kecepatan dengan *leader*. Untuk posisi dapat dilihat pada chart bahwa formasi sesuai dengan yang diperintahkan, *leader* berpindah dari posisi sebelah luar ke posisi tengah formasi. Dan formasi ini terus terjaga dengan jarak yang relatif konstan.



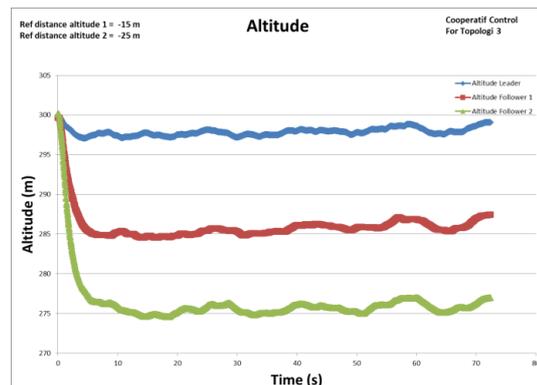
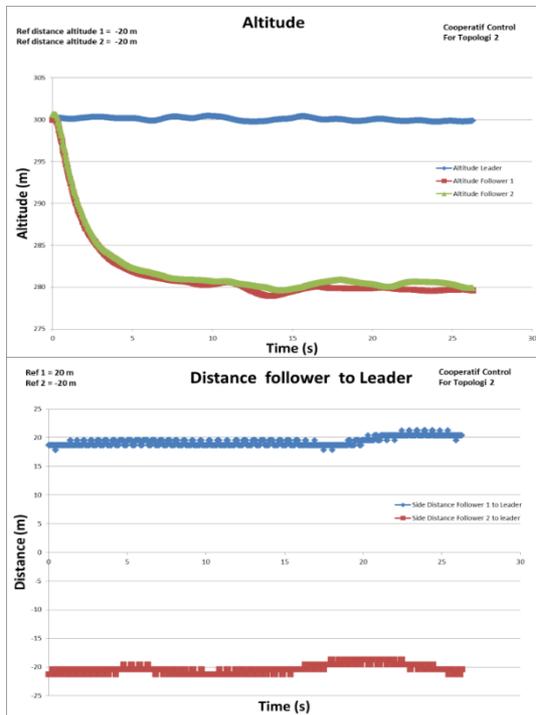


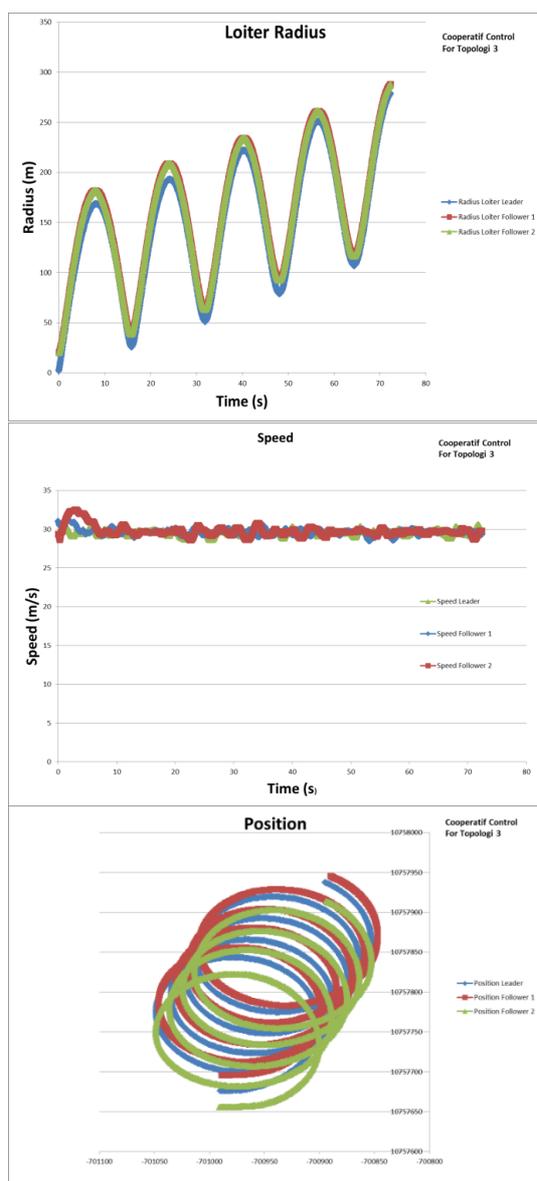
Gambar 3-1: Hasil pengujian dengan topologi 1



Gambar 3-2: Hasil pengujian dengan topologi 2

Gambar menunjukkan hasil pengujian dengan topologi 2. Pada gambar terlihat bahwa pesawat segera memberikan respon saat kendali kooperatif diaktifkan. Pada kasus ini, *leader* terbang pada ketinggian 300 meter dengan kecepatan 30 m/detik dan hadeing 0 derajat. *Follower* terbang pada jarak horisontal dan vertikal 20 meter relatif dari *leader*. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem kendali dapat memberikan perintah dan tiap pesawat mengikutinya dengan baik. Dari chart terlihat bahwa *leader* terbang pada ketinggian 300 meter dan *follower* pada ketinggian 280 meter. Kecepatan relatif terjaga konstan pada 30 m/detik dan posisi masing-masing pesawat pun konstan.





Gambar 3-3: Hasil pengujian dengan topologi 3

Gambar menunjukkan hasil pengujian dengan topologi 3. Pada kasus ini *leader* diberi perintah terbang loiter di atas target dengan radius 150 meter searah jarum jam pada ketinggian 300 meter dengan kecepatan 30 m/detik. *Follower* 1 diperintahkan untuk terbang pada ketinggian 15 meter lebih rendah daripada *leader* dan *follower* 2 pada ketinggian 25 meter lebih rendah dari *leader*. Pemisahan ketinggian antar pesawat dibuat dengan tujuan untuk menghindari pesawat dari tabrakan. Hasil dari pengujian pada *chart* di atas menunjukkan bahwa tiap pesawat mengikuti perintah yang diberikan. *Leader* terbang pada ketinggian 300

meter, *follower* 1 pada ketinggian 285 meter dan *follower* 2 pada ketinggian 275 meter. Kecepatan masing-masing pesawat relative konstan 30 m/detik. Posisi pesawat dan radius loiter terlihat terjaga dengan konstan selama penerbangan.

4 KESIMPULAN

Konsep sistem kendali kooperatif telah dikembangkan. Simulasi untuk menguji sistem kendali terbang untuk terbang kooperatif telah berhasil dilaksanakan dengan melibatkan tiga model pesawat yang independen. Satu pesawat sebagai *leader* dan dua lainnya sebagai *follower*. Topologi 1, 2 dan 3 dapat dieksekusi dengan baik menggunakan modul kendali kooperatif yang dibangun. Hasil pengendalian memberikan respon yang sesuai dengan perintah yang diberikan, namun masih perlu dilakukan beberapa penyempurnaan terutama untuk meningkatkan akurasi dari sistem kendali.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Insinas Ristekdikti yang memberikan dana penelitian dan juga Bapak Gunawan S. Prabowo selaku Kepala Pusat Teknologi penerbangan yang sudah mendukung fasilitas untuk menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Air, S. (Producer). (2018). Cessna C208B Grand Caravan. Retrieved from <http://susiair.com/caravan>
- Choi, Y. C., & Ah, H. S. (2015). Nonlinear control of quadrotor for point tracking: Actual implementation and experimental tests. *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, Vol. 20(No. 3), 1179-1192.
- Dehghani, M. A., & Menhaj, M. B. (2016). Communication free leader-follower formation control of

- unmanned aircraft systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 80, 69-75. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889016301543>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.03.008>
- Do, K. D. (2014). Bounded Assignment Formation Control of Second-Order Dynamic Agents. *Ieee-Asme Transactions on Mechatronics*, 19(2), 477-489. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000332010400008. doi:10.1109/Tmech.2013.2243744
- Dong, X., Zhou, Y., Ren, Z., & Zhong, Y. (2016). Time-varying formation control for unmanned aerial vehicles with switching interaction topologies. *Control Engineering Practice*, 46, 26-36. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967066115300289>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2015.10.001>
- Gu, D., & Wang, Z. (2009). Leader-Follower Flocking: Algorithms and Experiments. *IEEE Trans. Control System Technology*, Vol. 17(No. 5), 1211-1219
- Han, L., Dong, X., Li, Q., & Ren, Z. (2017). Formation tracking control for time-delayed multi-agent systems with second-order dynamics. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(1), 348-357. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000936116302035>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cja.2016.10.019>
- He, L., Bai, P., Liang, X., Zhang, J., & Wang, W. (2018). Feedback formation control of UAV swarm with multiple implicit leaders. *Aerospace Science and Technology*, 72, 327-334. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1270963816309816>. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.11.020>
- Jia, Y., & Wang, L. (2015). Leader-Follower Flocking of Multiple Robotic Fish. *IEEE/ASME, Vol. 20*(No. 3), 1372-1383.
- KKP (Producer). (2018). Pengawasan Matra Udara/ Airborne surveillance tahun 2017. Retrieved from <http://kkp.go.id/djpsdkp/infografi-detail/281-pengawasan-matra-udara-airborne-surveillance-tahun-2017>
- Li, Z., Liu, H., Zhu, B., & Gao, H. (2015). Robust Second-Order Consensus Tracking of Multiple 3-DOF Laboratory Helicopters via Output Feedback. *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, Vol. 20(No. 5), 2538-2549.
- Lin, Z., Wang, L., & Fu, M. (2014). Distributed Formation Control of Multi-Agent Systems Using Complex Laplacian. *IEEE Trans. Autom. Control*, Vol. 59(No. 7), 1765 - 1777.
- Natalia, G. (Producer). (2016, May 18). Vessel Monitoring System Dan Navigasi (GPS). Retrieved from <https://prezi.com/3hljfayypas/vessel-monitoring-system-dan-navigasi-gps/>
- PSDKP-KKP (Producer). (2019). Vessel Monitoring System Perkuat Pengawasan Illegal Fishing. Retrieved from http://djpsdkp.kkp.go.id/arsip/c/398/Vessel-Monitoring-System-Perkuat-Pengawasan-Illegal-Fishing/?category_id=8&sub_id=
- PTE-BPPT (Producer). (2018). Automatic Identification System (AIS). Retrieved from <http://pte.bppt.go.id/tentang-kami/portofolio/automatic-identification-system-ais>
- Pustekbang. (06 March 2018). Notulensi Rapat Pustekbang LAPAN - Dirjen PSDKP KKP. In. Bogor: Pustekbang.
- Rezaee, H., Abdollahi, F., & Menhaj, M. B. (2013, 27-29 Aug. 2013). *Model-free fuzzy leader-follower formation control of fixed wing UAVs*. Paper presented at the 2013 13th Iranian Conference on Fuzzy Systems (IFSC).
- Zhan, J., & Li, X. (2013). Flocking of Multi-Agent Systems via Model

Predictive Control Based on
Position-Only Measurements.
IEEE Trans. Ind. Informat, Vol.
17(No. 1), 377-385.