

RANCANG BANGUN DAN IMPLEMENTASI KENDALI *QUADCOPTER* MELALUI JARINGAN INTERNET BERBASIS LOKASI DAN PENGENALAN *MARKER* MENGUNAKAN *SMARTPHONE* ANDROID

Nur Afifah¹, Hadi Supriyanto², Aris Budiarto³
Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur, Konsentrasi Teknik Elektromekanik
Politeknik Manufaktur Bandung
Jl. Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135
Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649
Email: afifah4@gmail.com¹, hspryant@yahoo.com²,

ABSTRAK

Rancang bangun dan implementasi *quadcopter* kali ini untuk mengikuti posisi lokasi GPS *smartphone* terhadap GPS *quadcopter* dalam misi *waypoint* berbasis lokasi, kemudian muncul permasalahan pada saat menjalankan program *waypoint* menggunakan GPS *quadcopter* yang ditandai dengan perubahan posisi lokasi *waypoint* selama melakukan percobaan dengan jarak lokasi rata-rata 4.42 meter dan waktu pengiriman rata-rata data internet sebesar 2.82 sekon. Metodologi yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan ini menggunakan kamera sebagai sensor untuk pengenalan *marker* berupa kotak berwarna hitam di atas tanah diproses oleh algoritma *image processing* di Raspberry Pi menggunakan *software* OpenCV. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah *quadcopter* menjalankan misi *waypoint* yang telah ditentukan berbasis lokasi dan pengenalan *marker*. Dengan menggunakan sensor kamera pada *quadcopter* dengan ketinggian 8 meter sebagai pengenalan *marker*, maka *quadcopter* dapat melakukan pendaratan pada *marker* utama sebesar 80 cm dengan keberhasilan sebesar 10% dan jarak rata-rata pada *marker* bantuan No.1 sebesar 82 cm dengan keberhasilan mencapai 90%, serta keberhasilan untuk *marker* No.2, No.3, dan No.4 sebesar 0%, dan nilai rata-rata performa kamera dan Raspberry Pi sebesar 10.37 fps, *latency* sebesar 108.8 ms serta waktu pengiriman rata-rata data internet sebesar 2.8 sekon.

Kata kunci: *Quadcopter*, GPS, kamera, *marker*

1. PENDAHULUAN

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah pesawat tanpa awak yang berkembang lebih populer dan menjadi subjek pada banyak penelitian. Beberapa aplikasi nyatanya adalah untuk pengiriman barang, pemadam api, dan pembersih debu tanaman pada pertanian. Salah satu jenis *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) adalah *multirotor*, salah satu jenisnya yaitu *quadcopter*. *Quadcopter* adalah jenis pesawat VTOL (*Vertical Take Off Landing*) yang menggunakan empat buah motor penggerak yang dikendalikan

menggunakan *flight controller* dimana didalamnya telah memiliki algoritma dan sensor-sensor tertentu, dan dilengkapi dengan GPS, serta kamera sebagai sensor utamanya [1].

Berdasarkan hal – hal tersebut maka pada tugas akhir ini akan dibuat sistem penentuan lintasan pergerakan *quadcopter* berdasarkan titik koordinat yang dihasilkan GPS pemancar terhadap GPS *quadcopter* yang dibandingkan dengan sensor kamera untuk objek pendaratan. Sehingga rata-rata nilai jarak *quadcopter* terhadap GPS pemancar dapat dikurangi.

Untuk mengurangi nilai jarak rata-rata tersebut dapat menggunakan sensor kamera sebagai penentu lokasi pendaratan *quadcopter*. Sensor kamera berfungsi untuk mengenali *marker* yang telah ditentukan, sensor kamera mengenali *marker* menggunakan *software* OpenCV untuk mengolah gambar yang di proses di *micro-computer* kemudian memilih bentuk *contour* berupa objek *polygon* segi empat atau segi enam, objek segi empat tersebut dipilih dan dihitung nilai *pixel* untuk mencari titik tengah dari objek yang dideteksi, setelah titik tengah dari objek tersebut ditemukan, maka sensor kamera akan menghitung nilai *pixel* objek terhadap nilai *pixel frame* sensor kamera, kemudian *quadcopter* bergerak menuju titik tengah dari nilai *pixel* objek yang diperoleh. Sehingga *quadcopter* yang dilengkapi sensor kamera dapat mengurangi rata-rata perbedaan jarak yang dihasilkan oleh GPS *quadcopter*.

Hasil yang diharapkan dari tugas akhir ini adalah sistem dapat mengetahui posisi objek pendaratan berupa *marker* utama dan *marker* bantuan yang didapatkan dari sensor kamera pada *quadcopter* sehingga mengurangi perbedaan jarak rata-rata yang dihasilkan oleh GPS *quadcopter*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Berbagai penelitian tentang misi *waypoint* menggunakan sensor GPS dan misi pendaratan menggunakan sensor kamera untuk pendeteksian objek telah banyak dilakukan baik di Indonesia maupun di luar negeri. Studi penelitian terdahulu yaitu penggunaan sistem *waypoint* menggunakan teknologi GPS pada *quadcopter* akan digunakan sebagai acuan awal dalam karya tulis ini untuk dikembangkan menggunakan pengenalan *marker* sebagai misi pendaratan.

2.1 Rancang Bangun dan Implementasi Kendali *Quadcopter* Melalui Jaringan Internet Berbasis Lokasi Menggunakan *Smartphone* Android.

Penelitian yang dilakukan oleh Aji Kurnia Rahman ini berjudul Rancang Bangun dan Implementasi Kendali *Quadcopter* Melalui Jaringan Internet

Berbasis Lokasi Menggunakan *Smartphone* Android [12]. Hasil dari penelitian ini adalah:

a. Penelitian tersebut memanfaatkan sistem *tracking waypoint* pada sistem navigasi *quadcopter* dengan modul gps sebagai sensor utamanya untuk mengetahui posisi dari tujuan akhir pergerakan *quadcopter*.

b. *Smartphone* berbasis Android sebagai antar mukanya

c. Menggunakan internet sebagai sistem komunikasi antara *smartphone* berbasis Android dan *quadcopter*.

d. Hasil yang dicapai dari penelitian ini memiliki nilai jarak rata – rata antara posisi akhir *quadcopter* dengan posisi tujuan sebenarnya di lapangan sebesar 4,42 meter.

2.2 Menggabungkan GPS dan *Computer Vision* Untuk Meningkatkan Ketepatan *Landing* pada *Drone Quadcopter*

Penelitian yang dilakukan oleh Amnaduny Akhara, yang berjudul Menggabungkan GPS dan *Computer Vision* Untuk Meningkatkan Ketepatan *Landing* pada *Drone Quadcopter* [13]. Hasil dari penelitian ini adalah:

a. Pendaratan otonom oleh perangkat GPS memiliki akurasi buruk dengan rata-rata kesalahan 199.2 cm, kesalahan tertinggi 282 cm dan kesalahan terendah 111 cm.

b. Menggabungkan GPS dan kamera telah mengurangi kesalahan jarak pendaratan.

c. Algoritma *Canny Edge* dengan material pendaratan berupa spanduk plastik memiliki rata-rata kesalahan 42.2 cm dan untuk kayu lapis adalah 45.4 cm.

d. Algoritma *Hough Transform* dengan material pendaratan berupa spanduk plastik memiliki rata-rata kesalahan 41.4 cm dan untuk kayu lapis adalah 34.6 cm.

Untuk target pendaratan, landasan pendaratan memiliki lingkaran cincin hitam dan putih dengan dimensi 120 cm. Di dalam kotak diberikan 3 lingkaran dengan dimensi berbeda. Lingkaran terbesar

berukuran 100 cm, ukuran sedang 60 cm dan terkecil 25 cm.

2.3 Drone Precision Landing using Computer Vision

Penelitian yang dilakukan oleh Laurin Goeller ini berjudul *Drone Precision Landing using Computer Vision* [14]. Hasil dari penelitian ini adalah:

- Menggunakan algoritma *position estimation*.
- Script* dari OpenCV dapat menghitung vektor kecepatan yang dikirim ke *flight controller* untuk menyelaraskan *drone* ke *marker* pendaratan.
- Pendaratan yang dilakukan cukup akurat dalam radius 5 cm dengan akurasi 5-30 cm.
- Akurasi pendaratan sangat tergantung pada kondisi cuaca, contohnya ketika terjadi banyak awan.

Untuk target pendaratan, landasan pendaratan memiliki 3 warna yaitu biru, hijau dan merah. *Drone* berada pada ketinggian 70 cm diatas target pendaratan.

2.4 Autonomous Landing for a Multirotor UAV Using Vision

Penelitian yang dilakukan oleh Sven Lange, Niko Sünderhauf, and Peter Protzel ini berjudul *Autonomous Landing for a Multirotor UAV Using Vision* [15]. Hasil dari penelitian ini adalah:

- Melakukan pendaratan otonom pada multirotor menggunakan algoritma *position estimation*
- Terjadi penyimpangan kesalahan maksimum 2 cm pada saat awal pengujian. Dan kesalahan bertambah hingga 5 cm dengan meningkatnya sudut *nick and roll*.
- Kesalahan posisi maksimum dalam percobaan yaitu jauh di bawah 4 cm atau 3% dari ketinggian di atas tanah.

Pola pendaratan yang digunakan berupa gambar beberapa cincin putih konsentris dengan latar belakang hitam. Masing-masing cincin putih memiliki rasio jari-jari batas dalam ke luar. Oleh karena itu cincin dapat diidentifikasi dengan mudah. Cincin luar

memiliki diameter luar 45 cm dan perbandingan jari-jari dalam-ke-luar adalah 85%, 75%, 65% dan 50%.

2.5 Free-Shape Polygonal Object Localization

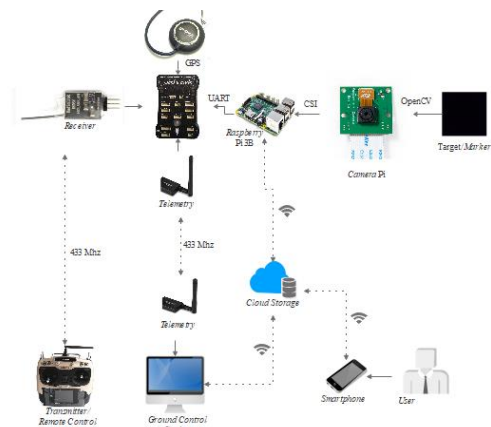
Penelitian yang dilakukan oleh Xiaolu Sun, C. Mario Christoudias, Pascal Fua ini berjudul *Free-Shape Polygonal Object Localization* mengenai Deteksi objek poligonal bentuk bebas [16]. Hasil dari penelitian ini adalah:

- Gambar udara dari sekumpulan bangunan.
- Mendeteksi *fragmen* garis gambar yang mendefinisikan *node* gambar *fragmen* garis dan wilayah gambar yang terkait.
- Node* grafik dan bobot tepi digunakan pencarian dan fokus pada sub-wilayah yang cenderung mengandung kontur objek.
- Mendeteksi objek poligon sebagai pencarian yang difokuskan dalam gambar *fragmen* garis. Atap yang terdeteksi ditampilkan dalam warna merah.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Sistem

Berikut adalah rancangan gambaran umum perencanaan sistem pengendalian *quadcopter* dengan *smartphone* dan melakukan misi pendaratan pada *marker*. Perhatikan Gambar 3.1.

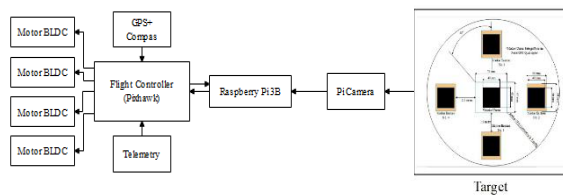


Gambar 3.1 Perencanaan Sistem Pengguna menggunakan *smartphone* Android untuk mengendalikan *quadcopter* secara otomatis menuju lokasi dari *smartphone* Android tersebut dan terdapat *marker* sebagai misi pendaratan. Data posisi dari *smartphone* Android akan dikirimkan menuju *database* melalui jaringan internet,

kemudian data tersebut akan diterima oleh *microcomputer* pada *quadcopter*, lalu *microcomputer* akan mengirimkan program autopilot kepada *flight controller* sehingga *quadcopter* akan terbang menuju *smartphone* Android tersebut. Setelah *quadcopter* sampai pada lokasi *smartphone* Android dan terdapat *marker*, kemudian *microcomputer* menjalankan program *image processing* menggunakan *software* OpenCV untuk pendeteksian dan pengenalan *marker*. Dari program yang dijalankan tersebut, *quadcopter* mencari koordinat X, Y dari *marker* utama dan *marker* bantuan.

3.2 Diagram Alir Sistem

Berikut adalah diagram alir sistem pengendalian *quadcopter* dengan *smartphone* dan melakukan misi pendaratan pada *marker*.



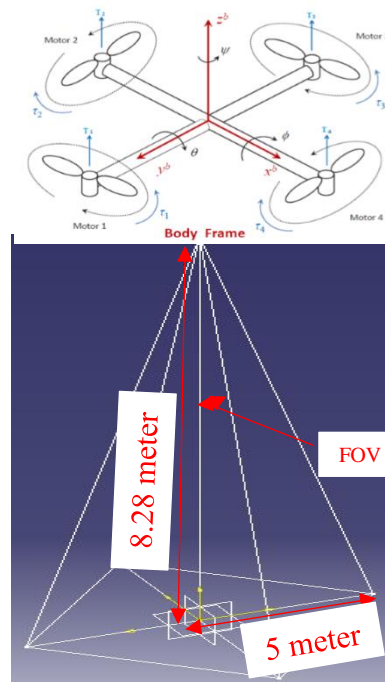
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem

Tujuan diagram alir sistem adalah sebagai acuan dalam merancang sistem dan merancang kendali *quadcopter*. Diagram alir sistem menggambarkan komponen-komponen yang saling terhubung dan jalur komunikasi yang digunakan, komponen yang digunakan pada *quadcopter* adalah Pixhawk sebagai *flight controller*, GPS, *Telemetry*, *Receiver*, Raspberry Pi, dan Kamera. Sedangkan untuk berkomunikasi antara *quadcopter* dengan *ground station* di permukaan menggunakan protokol mavlink

3.3 Perencanaan Percobaan

Perencanaan percobaan dihitung dengan menentukan sudut *field of view* dari kamera Pi. FoV adalah perspektif visual yang tampak oleh indra penglihatan kita (melalui *viewfinder* kamera) pada posisi dan orientasi tertentu sehingga subjek yang terletak di luar FoV tidak akan tampak pada hasil foto [23]. Setelah sudut FoV diketahui, langkah selanjutnya menentukan lebar *display* yang akan di

ambil oleh sensor kamera, sehingga hasil akhirnya tinggi kamera dapat diketahui untuk melakukan uji terbang *quadcopter* dengan ketinggian 8.28 meter.



Gambar 3.13 Proyeksi FOV (*Field of View*) Sehingga didapat perhitungan sebagai berikut:

Perhitungan untuk menentukan *display* dari gambar yang di ambil oleh sensor kamera.
 $display = h \times \tan(FOV/2)$ (1)

keterangan :

h : ketinggian

display : lebar gambar yang di ambil oleh sensor kamera

FoV : *Field of View*, untuk kamera Pi bisa dilihat di *datasheet*.

Dari perhitungan di atas bahwa, ketika nilai FoV dan *display* sudah diketahui, maka tinggi penerbangan yang tepat adalah sebagai berikut:

$$h = display / \tan(FOV/2) \dots\dots\dots(2)$$

$$h_{horizontal} = 5 / \tan(62.2/2) = 8.28 \text{ meter}$$

$$h_{vertical} = 5 / \tan(48.8/2) = 11.02 \text{ meter}$$

Sehingga didapat ketinggian horizontal sebesar 8.28 meter dan ketinggian vertikal sebesar 11.02 meter.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Sistem Waypoint Menggunakan GPS Quadcopter

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari pergerakan *quadcopter* yang bergerak menuju titik tujuan. *Quadcopter* memulai terbang dari posisi yang sama disetiap pengujian. *Quadcopter* akan mendarat di titik tujuan yaitu posisi dari data GPS *smartphone* berbasis Android. Jarak antara titik tujuan dari GPS *quadcopter* dibandingkan dengan jarak dimana *quadcopter* mendarat untuk mendapatkan nilai kesalahan dari sistem *waypoint*.

Tabel 4.1 Jarak GPS *Quadcopter* dengan GPS *Smartphone User*






Pengujian ke-	Jumlah Satelit GPS <i>Quadcopter</i>	Jarak dari Tujuan Akhir (m)	Waktu Tempuh (s)
1	16	5,1	75
2	18	4,6	66
3	17	3,5	63
4	14	4,4	68
5	15	4,5	70
Rata - rata		4,42	68,4

Dari hasil pengujian yang diperoleh setelah *quadcopter* melakukan misi *waypoint* menuju GPS pengguna berupa *smartphone* Android maka didapat percobaan posisi pertama sebagai acuan, dan selanjutnya melakukan percobaan sebanyak 5 kali, dan *quadcopter* mendarat pada posisi yang dituju dengan jarak rata-rata 4.42 meter.

4.2 Pengujian Sistem Waypoint Menggunakan GPS Quadcopter dan Pengenalan Marker

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil dari rata –rata jarak perubahan lokasi GPS *quadcopter* dibandingkan dengan penambahan komponen sensor kamera pada *quadcopter* sebagai pengenalan *marker* untuk objek pendaratan berupa *marker* utama dan *marker* bantuan. Data ke-1 dijadikan titik acuan posisi GPS *quadcopter* mendarat, kemudian *quadcopter* menuju titik yang sama dengan perantara *marker* utama sebagai objek pendaratan, jika *quadcopter* tidak dapat menemukan *marker* utama, maka *marker* bantuan ditambahkan untuk posisi pendaratan *quadcopter*.

Tabel 4.2 Keberhasilan Penggunaan *Marker* Utama dan *Marker* Bantuan

Pengujian Ke-	Marker Utama	Marker Bantuan No. 1	Marker Bantuan No. 2	Marker Bantuan No. 3	Marker Bantuan No. 4	Gambar Pengenalan Marker
1	-	Ya	-	-	-	
2	Ya	-	-	-	-	
3	-	Ya	-	-	-	
4	-	Ya	-	-	-	
5	-	Ya	-	-	-	
Keberhasilan Misi Pendaratan <i>Quadcopter</i>		10 %	90 %	0 %	0 %	0 %

Dari hasil pengujian yang diperoleh bahwa *quadcopter* melakukan misi *waypoint* dan pengenalan *marker* untuk objek pendaratan menggunakan *marker* utama dan *marker* bantuan, maka didapat percobaan pertama posisi *quadcopter* mendarat pada *marker* bantuan No.1 dengan tingkat keberhasilan sebesar 90 % dan mendekati *marker* utama sebesar 10 %, serta untuk *marker* bantuan No.2, *marker* bantuan No.3, *marker* bantuan No.4 sebesar 0%.

4.3 Pengujian Performa Kamera Pi

Performa kamera Pi sebagai sensor kamera untuk melakukan pengenalan *marker* dapat diketahui melalui *frame rate per sekon*. *Frame rate per sekon* yaitu berapa gambar yang ditangkap oleh kamera setiap satu detik. Secara umum, semakin tinggi nilai fps pada sebuah kamera, maka dibutuhkan CPU yang lebih tinggi pula guna memproses citra agar tidak ada bingkai citra yang terlewatkan. Sedangkan *latency* dihitung dari waktu saat gambar sampai di area *marker* dikurangi dengan waktu awal proses pengambilan citra objek di sistem Raspberry Pi.

Tabel 4.4 Data Pengujian Performa Kamera Terhadap Perbedaan Jarak *Quadcopter*

Pengujian ke-	Frame Rate Per Sekon (fps)	Waktu yang dibutuhkan/ latency (ms)	Jarak Pendaratan dengan Tujuan Akhir (cm)	Waktu Tempuh (s)
1	10.84	91	65	85
2	10.07	116	80	93
3	10.69	136	110	97
4	10.16	101	78	76
5	10.09	100	75	79
Rata - rata	10.37	108.8	81	86

Dari hasil pengujian didapat rata-rata *frame rate per sekon* sebesar 10.37 fps dan membutuhkan waktu rata-rata sebesar 108.8 ms, sedangkan untuk nilai *latency* terkecil sebesar 91 ms, dan yang terbesar sebesar 136 ms, nilai tersebut di pengaruhi oleh fps, semakin tinggi fps yang digunakan, nilai *latency* semakin besar, serta menghasilkan nilai jarak pendaratan rata-rata sebesar 81 cm.

4.4 Pengujian Kecepatan Kirim Data menggunakan Internet

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan pengiriman data antara *microcomputer* dan *smartphone* berbasis Android melalui jaringan internet. Pengiriman data dilakukan dari *smartphone* berbasis Android menuju *database* kemudian data tersebut akan dibaca oleh *microcomputer*, data yang diterima tersebut akan menjalankan program untuk mengirimkan data lain menuju *database*, data yang dikirim dari *microcomputer* akan dibaca oleh *smartphone* berbasis Android kemudian dihitung waktu yang dibutuhkan dari awal data dikirimkan dari *smartphone* berbasis Android sampai data dari *microcomputer* diterima oleh *smartphone* berbasis Android. Berikut merupakan data hasil pengujian kecepatan kirim data menggunakan koneksi internet *Long-Term Evolution (LTE)* dari *tethering smartphone* Android.

Tabel 4.5 Data Pengujian Kecepatan Kirim Data pada koneksi LTE terhadap Jarak Posisi *Quadcopter*

Pengujian ke-	Waktu yang dibutuhkan (s)	Kecepatan Internet (Mbps)	Jarak Pendaratan dengan Tujuan Akhir (cm)	Waktu Tempuh (s)
1	2,5	17.58	65	85
2	3,0	16.46	80	93
3	3,3	17.56	110	97
4	2,7	16.21	78	76
5	2,9	15.92	75	79
Rata - rata	2,8	16.39	81	86

Tethering sendiri merupakan cara berbagi internet antar perangkat. Penggunaan *tethering* pada *smartphone* hanya mencakup radius yang kecil dan terbatas, dan sedikit menampung perangkat yang terkoneksi. Dari data pengujian didapatkan bahwa semakin jauh jarak *quadcopter* dari *marker* sebagai objek pendaratan, waktu yang dibutuhkan semakin lama. Sehingga didapat nilai rata-rata jarak pendaratan dengan tujuan akhir sebesar 81 cm yang membutuhkan waktu sebesar 2,8 sekon dengan kecepatan rata-rata internet sebesar 16,39 Mbps. Diperoleh jarak rata-rata pendaratan terdekat sebesar 65 cm dan rata-rata waktu yang dibutuhkan sebesar 2,5 sekon. Sedangkan nilai rata-rata jarak pendaratan terjauh sebesar 110 cm membutuhkan waktu 3,3 sekon. Dengan kecepatan kirim data tersebut penggunaan internet untuk komunikasi antara *smartphone* berbasis Android dan *quadcopter* bisa digunakan untuk pengendalian *quadcopter* secara *waypoint*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang dilakukan terhadap sistem yang dibangun selama proses penyusunan karya tulis ini dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Sistem pengenalan *marker* untuk pendaratan *quadcopter* berhasil diterapkan pada sistem *quadcopter* dengan ketinggian pengujian sebesar 8 meter menggunakan *marker* utama dan *marker* bantuan, nilai jarak pendaratan *quadcopter* pada *marker* utama sebesar 80 cm dengan keberhasilan sebesar 10% dan jarak rata-rata pada *marker* bantuan No.1 sebesar 82 cm dengan keberhasilan mencapai 90 %, serta keberhasilan untuk *marker* No.2, No.3, dan No.4 sebesar 0%

2. Penentuan ketepatan jarak pendaratan *quadcopter* terhadap *marker* dipengaruhi juga oleh kecepatan internet. Sehingga didapat nilai rata-rata jarak pendaratan dengan tujuan akhir sebesar 81 cm yang membutuhkan waktu sebesar 2,8 sekon dengan kecepatan rata-rata internet sebesar 16,39 Mbps dan

waktu tempuh *quadcopter* menuju titik pendaratan sebesar 86 sekon untuk setiap pengiriman data.

3. Performa kamera yang didapat sebesar 10.37 fps dan *latency* yang dihasilkan sebesar 108.8 ms.

6. SARAN

Berikut ini saran untuk perbaikan kekurangan pada Tugas Akhir antara lain:

1. Menggunakan dimensi *marker* yang lebih besar dan pola yang beragam.

2. Menggunakan *fish eye lens* pada sensor kamera sehingga jangkauan kamera bisa di perbesar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harsha, Sree. (2014). *Quadcopter*, San Jose State University. San Jose, California.
- [2] Perdagangan, P. P. 2016. Mengenal Lebih Dalam Global Positioning System (GPS). <http://pusdiklat.kemendag.go.id/bdpmb/kolom/mengenal-lebih-dalam-globalpositioning-system-gps/>. Diakses pada tanggal 20 Juli 2019
- [3] Pavol Fedor, Daniela Perdukova, "Autonomous Flying with Quadcopter Using Fuzzy Control and Aruco Markers", *Intelligent Service Robotics*. July 2017, Volume 10, Issue 3, pp 185–194.
- [4] Jonathan D. Blythe, Krzysztof A. Borowicz, dan Alyssa N. Hollander, "Autonomous Quadrotor Navigation and Guidance", *Jurusan Teknik Mesin Worcester Polytechnic Institute*, 2016.
- [5] Yingcai Bi, dan Haibin Duan "Implementation of Autonomous Visual Tracking and Landing for Low Cost Quadrotor", *Optik-International Jurnal Light Electron Optics*, 2013.
- [6] Musa, Sumaila. "Techniques for Quadcopter Modelling & Design: A Review". May, 2018. Department of Control and Instrumentation, University of Derby, United Kingdom
- [7] Raspberry Pi 3B. <https://www.raspberrypi.org/documentation/>. Diakses pada tanggal 25 Juli 2019
- [8] Kamera Pi. <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/camera/README.md>. Diakses pada tanggal 25 Juli 2019
- [9] Kaplan (1996). *Understanding GPS: principles and applications*. Edited by Elliott D. Kaplan. Boston, Artech House, c1996. 554 p.
- [10] Davies, R. (2015). *The Internet of Things – Opportunities and challenges*, European Parliamentary Research Service, May 2015
- [11] Rasyid, Azmi. 2016. *Rancang Bangun dan Implementasi Path Builder pada Quadcopter*. Bandung, Universitas Telkom
- [12] Rahman, Aji Kurnia. 2018. "Rancang Bangun dan Implementasi Kendali Quadcopter Melalui Jaringan Internet Berbasis Lokasi Menggunakan Smartphone Android", *Jurusan Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung*.
- [13] Amnaduny Akhara "Menggabungkan GPS dan Computer Vision Untuk Meningkatkan Ketepatan Landing pada Drone Quadcopter", *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, Juli 2019.
- [14] Goeller, L. (2018). *Drone Precision Landing using Computer Vision*. Zurich
- [15] Lange, S., Sunderhauf, N., & Protzel, P. (2008). *Autonomous Landing for a Multirotor UAV Using Vision*. *Workshop Proceedings of the International Conference on Simulation, Modeling and Programming for Autonomous Robots*, 482-491.
- [16] Xiaolu Sun, C. Mario Christoudias, Pascal Fua, "Free-Shape Polygonal Object Localization" , CVLab, EPFL, Lausanne, Switzerland.
- [17] Pahl, G. and Beitz, W. (1984) "Engineering Design" The Design Council Ken Wallace, London.
- [18] O. A. Yakimenko, I. I. Kaminer, W. J. Lentz, and P. A. Ghyzel, "Unmanned Aircraft

- Navigation for Shipboard Landing Using Infrared Vision”, IEEE Transactions on Aerospace Electronic Systems. Oct 2002, Volume 38, pp. 1181-1200.
- [19] MAVLink Team, 2017. MAVLink Common Message.
<http://mavlink.org/messages/common>.
 Diakses pada tanggal 25 Juli 2019
- [20] Sudevan, V., Shukla, A., & Karki, H. (2017). Vision based Autonomous Landing of an Unmanned Aerial Vehicle on a Stationary Target. International Conference on Control, Automation and Systems, 362-367.
- [21] Firebase.
<http://www.google.com/firebase/about>.
 Diakses pada tanggal 25 Juli 2019
- [22] MIT App Inventor.
<http://www.appinventor.mit.edu/explore/about-us.html> Diakses pada tanggal 25 Juli 2019
- [23] Lilian, C., Setyawan, G. E., & Kurniawan, W. (2018). Sistem Pendaratan Otomatis Quadcopter dengan Pengolahan Citra menggunakan Metode Douglas Peucker . Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya.