

Implementasi Lidar Sebagai Kontrol Ketinggian Quadcopter

Sayyidul Aulia Alamsyah, Muhammad Rivai
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
E-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id

Abstrak— Quadcopter atau yang saat ini lebih di kenal dengan nama drone sudah menjadi hal yang dapat dimiliki dengan mudah. Telah banyak perusahaan yang memproduksi flight controller yang sudah terintegrasi dengan banyak sensor di dalamnya, termasuk juga sensor ketinggian. Berbagai macam perusahaan tersebut sebagian besar menggunakan barometer yang sudah terintegrasi di dalam flight controller sebagai sensor ketinggian. Barometer sendiri adalah sensor yang mendeteksi ketinggian berdasarkan nilai tekanan udara di sekitarnya, tekanan udara inilah yang digunakan barometer untuk menentukan ketinggian drone. Karena barometer mencari nilai ketinggian terhadap tekanan udara, maka pengaruh cuaca dan kecepatan angin akan memberikan efek pada nilai ketinggian barometer tersebut. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dirancang quadcopter dengan lidar sebagai sensor ketinggian dari permukaan tanah. Pada studi ini dilakukan percobaan untuk mengecek ketinggian quadcopter dengan menggunakan lidar dengan cara pengecekan hasil lidar dengan data sebenarnya. Sebelum mencoba mengontrol quadcopter menggunakan lidar, quadcopter harus di pastikan sudah berorientasi dengan benar dengan cara mengkalibrasi sensor dan memastikan waktu terbang terlama hingga baterai habis. Metode yang digunakan adalah dengan cara mengontrol sinyal PWM input pada flight controller. Sinyal PWM yang akan dikirimkan pada flight controller adalah sinyal hasil dari sistem Proportional-Integral-Derivative yang di olah pada mikrokontroler dengan input sistem berupa hasil pembacaan lidar. Mikrokontroler yang di gunakan adalah STM32F103C8T6. Hasil dari pengujian ini didapatkan bahwa lidar memiliki error rata-rata sebesar 3.9% dengan parameter kontrol PID yang cocok di gunakan pada sistem pengatur ketinggian quadcopter adalah Proportional-Derivative. Respons terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini adalah respons dengan waktu tercepat menuju keadaan steady state selama 22.5 detik.

Kata Kunci—Kontrol Ketinggian, Lidar, Quadcopter.

I. PENDAHULUAN

QUADCOPTER atau yang saat ini lebih di kenal dengan nama drone sudah menjadi hal yang dapat dimiliki dengan mudah. Telah banyak perusahaan yang memproduksi flight controller yang sudah terintegrasi dengan banyak sensor di dalamnya, termasuk juga sensor ketinggian. Sensor ketinggian adalah sensor yang dapat menghitung ketinggian objek. Saat ini ketelitian ketinggian dari drone sangat diperhatikan. Hal ini dikarenakan drone mulai banyak digunakan dalam berbagai bidang. Pada bidang olahraga, drone dapat digunakan untuk menangkap video jalannya pertandingan dari sudut yang tidak bisa di lakukan secara konvensional. Drone juga dapat di pakai pada monitoring lalu lintas di jalan besar dengan cara mengumpulkan data penting terkait situasi keramaian jalan untuk kemudian digunakan

untuk efisiensi arus lalu lintas. Pada evakuasi bencana, drone juga dapat digunakan sebagai penyedia status awal bencana sehingga dapat menurunkan risiko bagi manusia dan juga meningkatkan efisiensi dari tim evakuasi [1]. Selain pada pemanfaatan di berbagai bidang tersebut kestabilan ketinggian quadcopter juga banyak digunakan sebagai penelitian penggabungan kamera dan quadcopter [2]. Hampir keseluruhan dari permasalahan pada tiap bidang tersebut membutuhkan ketinggian drone yang stabil.

Pada umumnya perusahaan flight controller menggunakan barometer sebagai sensor ketinggian dari quadcopter. Barometer sendiri adalah sensor yang dapat menghitung nilai tekanan udara di sekitarnya sebagai acuan nilai ketinggian objek. Tekanan udara sendiri akan selalu terpengaruh oleh cuaca sehingga pembacaan nilai ketinggian objek juga akan terpengaruh oleh cuaca meskipun berada pada ketinggian yang sama [3]. Meskipun pada flight control sudah di beri filter pada pembacaan nilai barometer, namun jika terdapat perubahan yang sangat tinggi secara konstan dapat mempengaruhi hasil filter. Untuk itu dibutuhkan sensor lain yang dapat menghitung nilai ketinggian sebuah quadcopter terhadap permukaan secara real-time.

II. TINJAUAN PUSTAKA

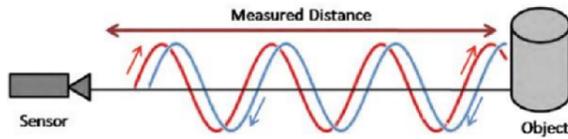
A. Light Detection and Ranging

Light detection and ranging atau yang dikenal dengan nama Lidar adalah suatu teknologi yang memanfaatkan sinar laser untuk dapat menghitung jarak suatu objek. Teknologi lidar ini adalah metode yang paling efektif untuk digunakan sebagai pengambilan data jarak suatu objek [3]. Untuk lidar jenis TF mini Lidar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, data hasil pembacaan jarak dari lidar ini dikirimkan dengan cara komunikasi serial pada mikrokontroler.

Pada prinsip kerjanya, Lidar TF Mini menghitung jarak benda berdasarkan ToF (Time of Flight). Lidar akan mentransmisikan gelombang laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Laser adalah instrumen yang dapat menghasilkan energi radiasi yang kuat berupa emisi cahaya dengan cara mengalirkan arus kuat pada material penghasil cahaya seperti carbon dioxide, helium-neon, argon, rubies, ataupun material lain. Gelombang laser yang dihasilkan akan termodulasi pada suatu periode waktu tertentu, dimana gelombang tersebut akan merefleksikan cahaya setelah mengenai suatu benda, ditunjukkan pada Gambar 2. Lidar akan menghitung waktu dengan cara menghitung perbedaan sudut kedatangan cahaya dan kemudian menghitung jarak relatif antara lidar dan benda.



Gambar 1. TF Mini Lidar.



Gambar 2. Cara kerja Lidar.

$$T_L = nT + \frac{\phi}{2\pi}T \tag{1}$$

Persamaan (1) adalah persamaan untuk menghitung time of travel (TL) berdasarkan beda fasa yang di dapat antara gelombang transmisi dan gelombang pantul, diimana n adalah jumlah gelombang penuh, T adalah waktu tempuh cahaya untuk menempuh satu panjang gelombang dan ϕ adalah beda fasa.

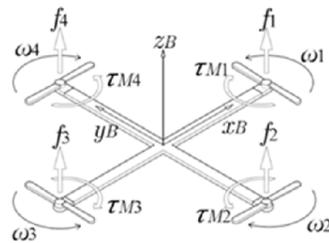
$$R = \frac{T_L}{2}c \tag{2}$$

Setelah mengetahui time of travel (TL) maka selanjutnya dapat mencari Range (jarak). Persamaan (2) adalah persamaan untuk mencari jarak berdasarkan nilai TL yang sudah di ketahui. Dimana c adalah kecepatan cahaya pada medium antara lidar dan benda yang akan di ukur jaraknya [4].

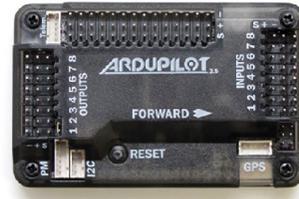
B. Unmanned Aerial Vehicle

Unmanned Aerial Vehicle (UAV) adalah pesawat terbang yang tidak membutuhkan manusia untuk mengendarainya. UAV sudah banyak di gunakan untuk berbagai penelitian sebelumnya. Contoh penelitian pertama ialah penelitian pada kontrol pergerakan UAV berjenis quadcopter [5]. Penelitian tersebut berfokus pada pengendalian pergerakan dan ketinggian dari quadcopter. Pada penelitian tersebut digunakan dua jenis pengendalian, yang pertama yaitu PID dan yang kedua yaitu kontrol prediksi model non-linear. Contoh penelitian kedua yaitu penelitian tentang pengintegrasian sensor untuk masalah pengisian bahan bakar dari UAV [6]. Pada penelitian tersebut digunakan Machine Vision dan GPS yang kemudian di gabungkan menggunakan Extended Kalman Filter.

Banyak sekali tipe dari UAV, salah satunya ialah Quadcopter. Quadcopter adalah UAV yang menggunakan empat motor untuk terbang dan bermanuver. Dua dari motor tersebut bergerak clockwise dan dua yang lain bergerak counterclockwise [7]. Banyak sekali penelitian untuk mendapatkan kontrol gerakan yang lebih baik pada quadcopter [8]. Pada penelitian tersebut di lakukan penelitian pada stabilitas quadcopter model V-tail dengan membandingkan kontrol PD, PID, dan *sliding-mode position*.



Gambar 3. Sistem pergerakan quadcopter.



Gambar 4. ArduPilot Mega.

Rangka quadcopter terbuat dari 4 batang panjang, dimana di setiap ujung batang tersebut di letakkan motor untuk menghasilkan thrusts tegak lurus dengan bidang rangka.

C. Flight Controller

Flight Controller adalah mikrokontroler yang terintegrasi dengan berbagai macam sensor dan sudah diprogram sebagai pengontrol berbagai jenis UAV. Contoh-contoh flight controller ialah beta flight, ardupilot, PixHawk, APM, dan lain-lain.

Pada penelitian ini digunakan Flight controller jenis APM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. APM adalah singkatan dari ArduPilot Mega, dimana APM adalah autopilot IMU berkualitas profesional yang berbasis pada platform arduino yaitu Arduino Mega. Jenis Flight Controller ini dapat mengontrol fixed-wing aircraft dan helikopter multi motor. Pada APM ini sudah terintegrasi berbagai macam sensor seperti Gyroscope, Accelerometer, Magenometer, dan Barometer [9].

D. PID Controller

Kontrol PID ini berupa sinyal kontrol yang beraksi pada error. Aksi kontrol PID ini bertujuan untuk mereduksi error. Sistem PID ini juga berfungsi untuk menentukan kepresisian (kestabilan) suatu sistem. Sistem PID ini terdiri dari tiga parameter yaitu *proportional* (P), *derivative* (D), *integral* (I). PID ini merupakan parameter yang diatur sesuai terhadap output sistem yang diinginkan.

Sebuah standar kontrol PID juga di kenal sebagai *Three term controller*, dimana fungsi transfernya secara umum di tulis dalam bentuk paralel atau bentuk ideal yang dapat dinyatakan sebagai:

$$G(s) = KP + KI \frac{1}{s} + KDs \tag{3}$$

$$= KP \left(1 + \frac{1}{TIs} + TDs \right) \tag{4}$$

Dalam waktu diskret dinyatakan:

$$OutputPID = Kp[E + Ki \sum E \Delta t + Kd \frac{\Delta E}{\Delta t}] \tag{5}$$

Untuk menentukan nilai dari setiap term tersebut haruslah dilakukan tuning secara manual namun terdapat juga berbagai

Tabel 1.
Tabel aturan Ziegler-Nichols Metode kedua.

Tipe kontrolir	KP	Ti	Td
P	0.5Kcr	0	
PI	0.4Kcr	Pcr/1.2	
PID	0.6Kcr	Pcr/2	Pcr/8

macam aturan tuning. Salah satu aturan tuning adalah aturan tuning Ziegler Nichols [10]. Pada aturan tuning Ziegler Nichols terdapat dua metode[11]. Metode yang pertama adalah metode tuning untuk Open-Loop response dan metode kedua digunakan pada close-loop respons [12]. Pada penelitian ini digunakan aturan Ziegler Nichols metode kedua.

Pada aturan Ziegler Nichols metode kedua seperti yang terlihat pada Tabel 1, dibutuhkan dua nilai yaitu Kcr dan Pcr [13]. Kcr adalah nilai parameter Kp yang mengakibatkan osilasi biasa di sebut *critical gain*. Sedangkan Pcr adalah periode sinyal osilasi.

III. PERANCANGAN SISTEM

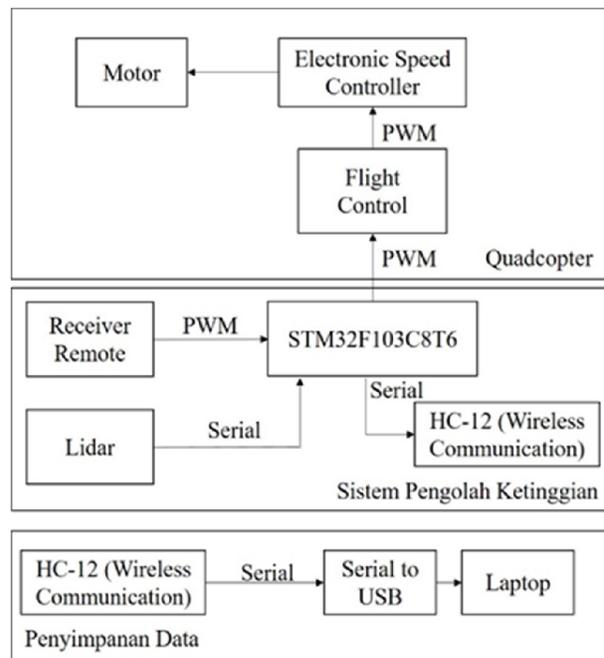
A. Diagram Blok Sistem

Pada penelitian ini terdapat tiga sub sistem yang memiliki fungsi masing-masing. Sub sistem tersebut adalah *quadcopter*, sistem pengolah ketinggian, dan penyimpanan data. Diagram blok sistem keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5. ArduPilot Mega di rancang khusus sebagai mikrokontroler untuk menggerakkan berbagai jenis *Autonomous Vehicle*. Pada penelitian ini ArduPilot Mega digunakan untuk mengkontrol keempat motor *brushless* pada *quadcopter*.

STM32F103C8T6 adalah mikrokontroler 32bit dengan berbagai macam fungsi didalamnya. Pada penelitian ini, STM32F103C8T6 digunakan untuk mengolah berbagai macam data. Data yang diolah ialah data lidar dan data *input* PWM. Pemilihan STM32F103C8T6 ini dikarenakan memiliki lebih dari satu komunikasi serial, 4 timer, dan frekuensi sinyalnya yang tinggi yaitu 72Mhz. Jika dibandingkan dengan mikrokontroler sejenis yang memiliki fitur yang sama, STM32F103C8T6 memiliki harga yang lebih murah.

Lidar sebagai input dari sistem akan diolah oleh STM32F103C8T6 untuk menghasilkan *output* berupa sinyal PWM. Sinyal PWM yang dihasilkan oleh STM32F103C8T6 akan memiliki karakteristik sinyal seperti yang dihasilkan oleh *receiver remote*. *Duty cycle* dari sinyal PWM *output* sistem tersebut adalah hasil dari pengolahan sistem berupa kontroler PID. *Input* sinyal dari receiver juga akan diolah oleh STM32F103C8T6. Terdapat dua *input* PWM dari *receiver remote* yaitu *channel 3 (Throttle)* dan *channel 5 (Switch A)*.

Hasil pengolahan dari lidar dan *input* PWM pada Mikrokontroler STM32F103C8T6 dikirimkan oleh HC-12. HC-12 adalah sebuah komunikasi serial yang mengirimkan data secara nirkabel dengan frekuensi 915Mhz. Pengiriman data ini dilakukan untuk menyimpan data secara langsung pada komputer di permukaan tanah. Selain sebagai penyimpanan data, pengiriman secara langsung ini juga dilakukan untuk mempermudah pengolahan data karena tidak perlu mengakses mikrokontroler secara langsung dan dapat dilihat perubahan data secara *real-time*.



Gambar 5. Diagram blok sistem keseluruhan.

B. Perancangan Perangkat Keras

Frame yang digunakan pada penelitian ini adalah frame F450. Frame f450 memiliki panjang lengan 20cm. Pemilihan frame ini dikarenakan frame termasuk besar sehingga mempermudah dalam hal penataan kabel. ESC yang digunakan adalah ESC dengan maksimal output 30A. Motor brushless memiliki spesifikasi 1000Kv. Battery yang mampu mensuplai dengan spesifikasi ESC dan motor tersebut adalah battery Li-Po 3cell 2200 Mah.

Board mikrkontroler adalah papan sirkuit yang sudah di desain menggunakan aplikasi EAGLE. Board mikrokontroler ini digunakan untuk menyederhanakan koneksi antara mikrkontroler dan komponen seperti HC-12, lidar, dan sebagainya. Penggunaan board mikrokontroler ini juga untuk mengurangi resiko salah pasang yang dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai komponen.

C. Perancangan Perangkat Lunak

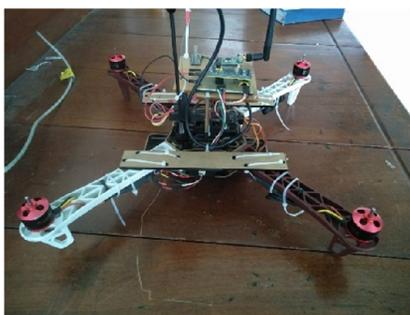
1) Mission Planner

Mission planner berfungsi sebagai media untuk mengamati nilai-nilai yang berada di dalam APM [14]. Nilai-nilai yang dapat diamati dari APM ini ialah, nilai sensor, kemiringan quadcopter, sinyal input PWM yang masuk, nilai output motor yang di keluarkan di setiap motornya. Selain mengamati nilai-nilai di dalam APM, mission planner juga berfungsi sebagai jembatan untuk mengkalibrasi berbagai macam sensor yang tersedia didalam APM [15].

Sensor di dalam APM harus di kalibrasi saat pertama kali pemakaian. Sensor yang harus di kalibrasi tersebut adalah sensor magneto-meter/kompas dan sensor Accelerometer. Kedua sensor tersebut sangat berperan dalam pengendalian keempat motor dari *quadcopter*.

2) STM32CubeMX dan Atollic True Studio

STM32CubeMX dan Atollic True Studio adalah dua software yang digunakan untuk mengkonfigurasi Mikrokontroler jenis STM32. Meskipun sama-sama



Gambar 6. Hasil perancangan keseluruhan sistem.



Gambar 7. Pengujian orientasi.

Tabel 2.
Waktu lama terbang quadcopter.

No.	LAMA WAKTU TERBANG
1	4 Menit 37 Detik
2	3 Menit 14 Detik
3	4 Menit 20 Detik
Rata-rata	4 Menit 3 Detik

berfungsi untuk mengkonfigurasi STM32, kedua software tersebut memiliki fungsi yang berbeda. STM32CubeMX berfungsi untuk mengkonfigurasi fungsi apa saja yang akan digunakan pada STM32, hasil dari konfigurasi pada STM32CubeMx adalah program dengan berbagai *library* dan fungsi di dalamnya yang akan di gunakan pada Atollic. Atollic True Studio berfungsi untuk mengolah program berdasarkan konfigurasi yang sudah di tetapkan pada STM32Cube MX. Pada konfigurasi tersebut fungsi yang diaktifkan ialah, penggunaan timer untuk pembacaan panjang sinyal PWM, penggunaan timer untuk interrupt pada PID, penggunaan timer pada pembangkitan sinyal PWM, penggunaan komunikasi USART untuk pembacaan data sensor lidar, penggunaan komunikasi serial untuk pengiriman data secara wireless menggunakan HC-12. Hasil perancangan keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 6.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Quadcopter

Pada pengujian ini, quadcopter yang sudah di rangkai sebelumnya akan diuji orientasi, kestabilan, dan lama terbang. Selama pengujian, baterai yang akan di pakai adalah baterai dengan konfigurasi 3 sel 2200 mah. Hasil yang ingin dicapai ialah kestabilan orientasi dan waktu seberapa lama quadcopter dapat terbang.

Dari hasil pengujian didapatkan quadcopter sudah berorientasi dengan benar dan stabil seperti terlihat pada Gambar 7. Pergerakan yang di uji adalah pergerakan *yaw*, *pitch*, dan *roll*. Lama waktu terbang dari quadcopter hingga baterai habis rata-rata dari tiga kali percobaan adalah 4 menit 3 detik seperti terlihat pada Tabel 2.

B. Pengujian Lidar

Pada pengujian lidar ini akan di tampilkan hasil dari pengujian sensor lidar pada berbagai nilai jarak yang berbeda. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik error dari berbagai macam jenis pembacaan lidar. Dari pengujian yang dilakukan Rata-rata error dari pengujian tersebut adalah 3.9%. Dari pengujian tersebut juga dapat dilihat bahwa nilai



Gambar 8. Perbandingan pembacaan lidar dan barometer.

error berubah-ubah tidak beraturan pada setiap pembacaan. Namun dari pengujian tersebut dapat juga dilihat nilai error lebih rendah pada saat pembacaan nilai di atas 100 cm. Untuk itu, pengujian lidar selanjutnya akan diuji pada nilai mulai dari 100 cm.

C. Perbandingan Lidar dan Barometer

Pada pengujian ini, hasil pembacaan lidar akan di bandingkan dengan hasil pembacaan barometer. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan dari hasil pengukuran lidar dan barometer. Pada Gambar 8 didapatkan data grafik pembacaan lidar dan pembacaan barometer dengan ketinggian yang berubah-ubah. Berdasarkan analisa pada gambar tersebut didapatkan kesimpulan bahwa pembacaan lidar memiliki kestabilan yang lebih baik dari pada barometer.

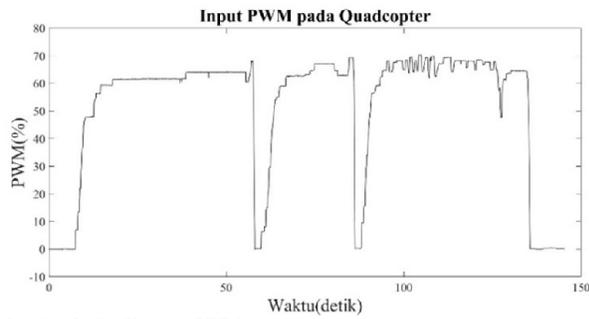
D. Pengujian Lidar pada Quadcopter

Pada pengujian ini, lidar dipasang pada quadcopter, namun masih belum mempengaruhi sistem quadcopter itu sendiri. Pada pengujian ini hasil yang ingin di capai ialah mengetahui respon ketinggian dengan input PWM *throttle* pada setiap mode yang digunakan pada penelitian.

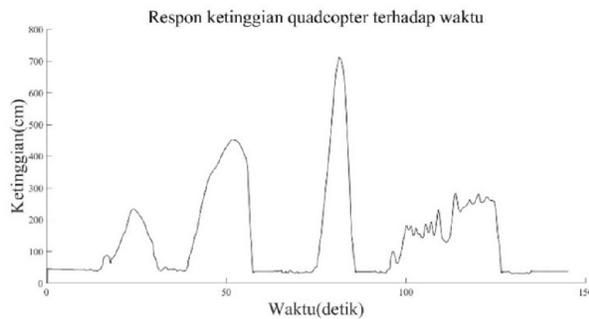
Pada pengujian ini didapatkan lidar memiliki pembacaan yang stabil. Dari grafik *input* PWM pada Gambar 9 dan respon ketinggian pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa pada *input* PWM yang sama selama beberapa detik, ketinggian *quadcopter* akan naik namun akan kembali turun sehingga untuk mempertahankan ketinggian pada mode stabilize dibutuhkan nilai *input* yang berubah-ubah.

E. Penerapan Sistem Kontrol Ketinggian

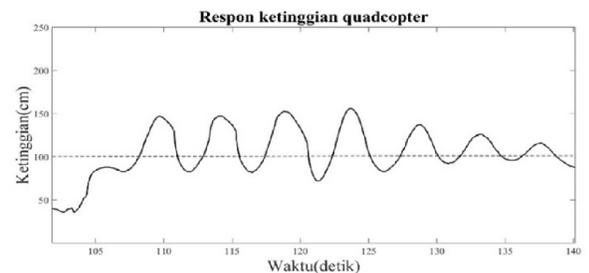
Pada pengujian ini lidar dipasang pada mikrokontroler untuk membangkitkan sinyal PWM yang dapat mempengaruhi ketinggian *quadcopter*. Hasil dari pengujian ini ialah *quadcopter* berhasil untuk dapat menuju titik *set*



Gambar 9. Grafik input PWM quadcopter



Gambar 10. Grafik ketinggian quadcopter



Gambar 11. Grafik ketinggian saat Kp bernilai 1.

point dan mempertahankan ketinggiannya selama beberapa detik. percobaan pertama di lakukan pada set point bernilai 100 cm.

Pada sistem kontrol ketinggian menggunakan PID sebagai kontrol nilai output PWM dengan input nilai pembacaan lidar. Penentuan nilai-nilai parameter PID pada penelitian ini menggunakan aturan tuning Ziegler Nichols metode kedua dan juga tuning secara manual.

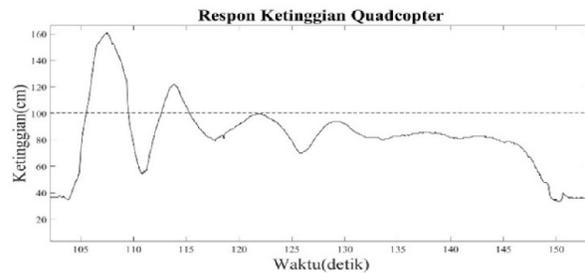
1) Metode Ziegler Nichols pada set point 100 cm

Pada tuning Ziegler Nichols metode kedua, pada permulaan tuning Ki dan Kd bernilai 0. Sehingga hanya menggunakan nilai dari kontrol proporsional. Nilai dari kontrol proporsional di mulai dari 0 hingga mendapatkan respon sinyal yang beresilasi secara konstan (Kcr). Selanjutnya sistem dan Kp diubah-ubah hingga mencapai osilasi dengan set point berada di tengah osilasi. Pada set point 100 cm didapatkan Kp bernilai 1 untuk mendapatkan osilasi quadcopter secara konstan.

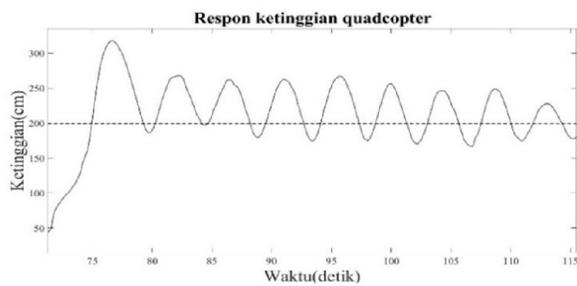
Tahap selanjutnya dari metode kedua Ziegler Nichols adalah penentuan penggunaan kontroler P, PI, atau PID. Masing-masing kontroler tersebut memiliki rumus masing-masing untuk menentukan parameter PID. Rumus tersebut di atur pada tabel aturan ziegler nichols. Dari grafik pada gambar 11 di dapatkan Kcr bernilai 1 dan Pcr bernilai 4.749667.

Tabel 3. Tabel Hasil aturan Ziegler-Nichols Metode kedua.

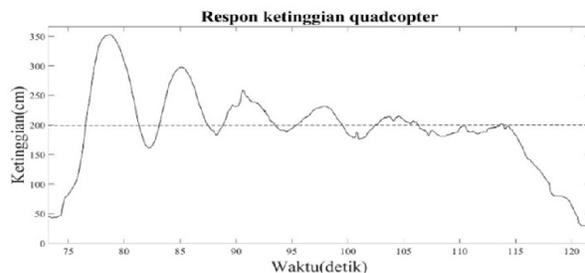
Tipe kontroler	KP	Ti	Td
P	0.5	0	
PI	0.45	0.2526493	
PID	0.6	0.4210821	0.5937083



Gambar 12. Grafik ketinggian saat menggunakan kontrolir P.



Gambar 13. Grafik ketinggian saat Kp bernilai 1.



Gambar 14. Grafik ketinggian pada kontrolir P.

Tabel 4. Tabel Hasil aturan Ziegler-Nichols Metode kedua.

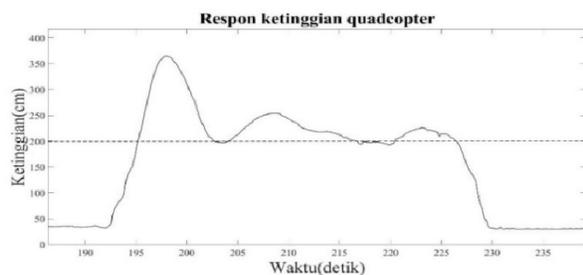
Tipe kontroler	KP	Ti	Td
P	0.5	0	
PI	0.45	0.270354	
PID	0.6	0.45059	0.554828

Dari percobaan ketiga kontroler pada Tabel 3 didapatkan kontroler dengan respon ketinggian terbaik yaitu kontroler P. Respon ketinggian dengan kontroler P dapat dilihat pada Gambar 12.

2) Metode Ziegler Nichols pada set point 200 cm

Selanjutnya di uji dengan set point yang berbeda. Pada pengujian kedua ini digunakan set point 200 cm. Pada set point kedua ini di dapatkan Kp bernilai 1 untuk menghasilkan respon quadcopter yang beresilasi secara konstan. Dari grafik pada Gambar 13 di dapatkan Kcr bernilai 1 dan Pcr 4.438625.

Dari percobaan ketiga kontroler pada Tabel 4 didapatkan kontroler dengan respon ketinggian terbaik yaitu kontroler P.



Gambar 15. Grafik ketinggian pada kontrolir PD.

Respon ketinggian dengan kontroler P dapat dilihat pada Gambar 14.

3) Metode Tuning Manual

Tuning PID secara manual dilakukan dengan menambah secara bertahap setiap parameter K_p , K_i , dan K_d . Berdasarkan percobaan menggunakan aturan Ziegler-Nichols, maka pada tuning secara manual ini parameter yang akan di gunakan adalah parameter K_p dan K_d . Setelah dilakukan berbagai macam perubahan parameter pada K_p dan K_d , didapatkan nilai parameter K_p dan K_d yang mendekati respon ketinggian stabil adalah K_p bernilai 0.2 dan K_d bernilai 1.5.

Pada grafik respon ketinggian Gambar 15 dapat dilihat respon memiliki *overshoot* 165 cm, *Rise time* selama 1.556 detik, *settling time* selama 22.55 detik dan *steady state error* sebesar 26 cm. Respon yang didapatkan pada parameter PD tersebut menggunakan inisiasi PWM pada 56.9%.

V. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan implementasi lidar pada sebuah quadcopter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa quadcopter dapat terbang stabil. Rata-rata error yang pada penggunaan lidar yaitu 3.9 % dan error pada pengukuran diatas 1meter memiliki error lebih kecil dibandingkan pengukuran kurang dari 1 meter. Sistem pengatur ketinggian didapatkan hasil untuk dapat mempertahankan ketinggian *quadcopter* menggunakan lidar adalah kontrolir PD. Respons terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini adalah respons ketinggian quadcopter dengan *overshoot* 165 cm, *rise time* selama 1.566 detik, *settling time* selama 22.5 detik dan *steady state error* sebesar 26 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Muñoz, I. González-Hernández, S. Salazar, E. S. Espinoza, dan R. Lozano, "Second order sliding mode controllers for altitude control of a quadrotor UAS: Real-time implementation in outdoor environments," *Neurocomputing*, vol. 233, hlm. 61–71, Apr 2017.
- [2] D. H. S. De Mel, K. A. Stol, J. A. D. Mills, dan B. R. Eastwood, "Vision-based object path following on a quadcopter for GPS-denied environments," dalam *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, Miami, FL, USA, 2017, hlm. 456–461.
- [3] P. Denysyuk, V. Teslyuk, dan I. Chorna, "Development of mobile robot using LIDAR technology based on Arduino controller," dalam *2018 XIV-th International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)*, Lviv, 2018, hlm. 240–244.
- [4] I. Sunandar dan D. Syarifudin, "LiDAR: Penginderaan Jauh Sensor Aktif Dan Aplikasinya Di Bidang Kehutanan," vol. 1, hlm. 11, 2014.
- [5] H. S. Khan dan M. B. Kadri, "Attitude and altitude control of quadrotor by discrete PID control and non-linear model predictive control," dalam *2015 International Conference on Information and Communication Technologies (ICICT)*, Karachi, Pakistan, 2015, hlm. 1–11.
- [6] M. Mammarella, G. Campa, M. R. Napolitano, M. L. Fravolini, Y. Gu, dan M. G. Perhinschi, "Machine Vision/GPS Integration Using EKF for the UAV Aerial Refueling Problem," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 38, no. 6, hlm. 791–801, Nov 2008.
- [7] D. Domingos, G. Camargo, dan F. Gomide, "Autonomous Fuzzy Control and Navigation of Quadcopters," *IFAC-Pap.*, vol. 49, no. 5, hlm. 73–78, 2016.
- [8] Jose J. Castillo-Zamora, K. A. Camarillo-Gomez, G. I. Perez-Soto, dan J. Rodriguez-Resendiz, "Comparison of PD, PID and Sliding-Mode Position Controllers for V-Tail Quadcopter Stability," *IEEE Access*, vol. 6, hlm. 38086–38096, 2018.
- [9] M. F. Ridho, S. Si, dan J. Palembang, "Perancangan Pengendali Octocopter Berbasis Ardupilot Mega Sebagai Robot Pemadam Api," hlm. 10.
- [10] M. Rivai, M. Suwito, P. Chondro, dan S.-J. Ruan, "Design and implementation of a submerged capacitive sensor in PID controller to regulate the concentration of non-denatured ethyl alcohol," dalam *International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, Surabaya, Indonesia, 2015, hlm. 45–50.
- [11] Khairunnisa Nurhandayani, Muhammad Rivai, "Sistem Kontrol Pengeri Makanan Berbasis LED Inframerah", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 7, No. 2, 2018, pp. A355-361
- [12] Agung Andri Kurniawan, Muhammad Rivai, Fajar Budiman, "Sistem Pemandu Pendaratan pada Balon Udara Berbasis Pengolahan Citra dan Kendali PID", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5, No. 2, 2016, pp. A179-184
- [13] K. Ogata, *Modern control engineering*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.
- [14] Fadlila Rizki Saputra, Muhammad Rivai, "Autonomous Surface Vehicle sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi Waypoint", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 7, No. 1, 2018, pp. A76-81
- [15] Irfan Fachrudin Priyanta, Muhammad Rivai, Rudy Dikairono, "Pemetaan Distribusi Gas Polutan Menggunakan Quadcopter Berbasis Autonomous Waypoint Navigation", *Jurnal Teknik ITS*, Vol. 5, No. 2, 2016, pp. A154-159