

Sistem Pemandu Pendaratan pada Balon Udara Berbasis Pengolahan Citra dan Kendali PID

Agung Andri Kurniawan, Muhammad Rivai, dan Fajar Budiman

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id, fajarbudiman@ee.its.ac.id, agung.andri12@mhs.ee.its.ac.id

Abstrak—Riset dan pengembangan studi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau pesawat tanpa awak tengah berkembang pesat. Banyak perusahaan besar memfokuskan dalam kegiatan ini, mulai dari aplikasi untuk pengantaran barang, teknologi bertani, hingga untuk penanganan bencana alam. UAV menggunakan sistem Navigasi *Global Positioning System (GPS)* untuk memandu menuju lokasi tujuan. Navigasi dengan GPS mempunyai kelemahan yaitu rawan terhadap *error* hingga mencapai puluhan meter. Sehingga dapat menyebabkan masalah pada saat mendarat di lokasi tujuan. Maka dari itu, dirancanglah sistem pemandu pendaratan pada UAV dalam hal ini balon udara untuk membantu navigasi GPS dalam meningkatkan keakuratan pendaratan. Dengan bantuan pengolahan citra, sistem akan membantu mengenali pola dari landasan dengan metode *Hu Moments contour matching* yang tidak berubah secara skala, rotasi, dan translasi. Dari hasil percobaan sistem dengan metode *Hu Moments contour matching*, didapatkan tingkat keakuratan sebesar 94% pada perubahan skala secara ketegangan, 94% pada perubahan rotasi.

Kata Kunci—UAV, *Contour Matching*, Pengolahan Citra

I. PENDAHULUAN

PENGGUNAAN teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* atau Pesawat Tanpa Awak dewasa ini banyak berkembang pada negara maju. UAV adalah mesin terbang yang dapat dikendalikan secara jarak jauh oleh pilot maupun secara *autopilot*. Contoh dari UAV sendiri dapat berupa *quadcopter*, *helicopter*, dan balon udara. UAV sendiri banyak digunakan pada bidang militer dan sipil seperti pengintaian musuh, pengawasan suatu wilayah yang sulit dijangkau, *monitoring* kualitas udara suatu daerah, maupun eksplorasi gas dan minyak bumi[1]. Banyak dari aplikasi UAV diatas memerlukan fitur *autopilot* untuk melakukan *monitoring* dan pengawasan secara berkelanjutan.

Fitur *autopilot* pada UAV sangat berguna untuk mengatur rute pengambilan data, keberangkatan, dan *landing* secara otomatis. *Autopilot* pada UAV mengandalkan *Global Positioning System (GPS)* sebagai acuan utama untuk penentuan rute yang akan dilalui [2]. Kekurangan dari sistem ini adalah keakuratan dan ketelitian pada GPS yang dapat berorde meter. Sehingga pada saat landing UAV beresiko mendarat pada titik yang berbahaya dan dapat menimbulkan kerusakan pada UAV.

Oleh karena itu dalam tugas akhir ini akan dirancang sebuah sistem yang dapat membantu meningkatkan ketelitian dan keakuratan GPS untuk mengenali titik pendaratan yang

diinginkan. Salah satunya adalah dengan menggunakan bantuan kamera melalui pengolahan citra untuk mengoptimalkan pendaratan pada UAV.

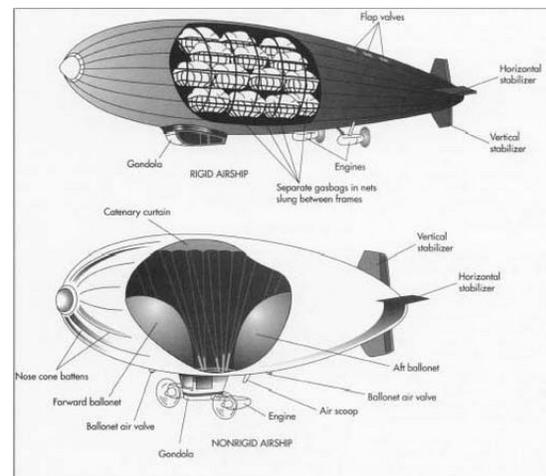
II. DASAR TEORI

A. Balon Udara *Blimps*

Balon Udara *Blimps* adalah tipe kendaraan udara yang termasuk dalam *Lighter-Than-Air (LTA) craft*. Disebut *Lighter-Than-Air* dikarenakan *blimps* menggunakan komponen helium yang mempunyai massa jenis lebih ringan dari udara untuk membantu mengangkat pesawat.

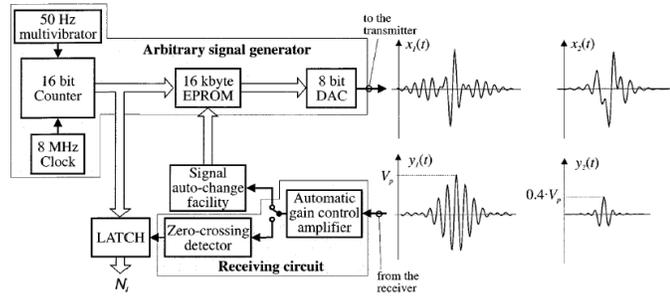
Balon Udara *blimps* menggunakan helium sebagai gaya angkat untuk terbang yang dikandung dalam *envelope*. Kontrol utama dari balon *blimps* pada dasarnya menggunakan motor yang berfungsi sebagai pendorong ke depan, *elevate* (mendorong ke atas atau ke bawah), dan *rudder* (untuk membelokkan kemudi) [4]. Penggunaan Balon Udara dalam UAV untuk aplikasi tertentu mempunyai beberapa kelebihan dimana tingkat keamanan, kemudahan penggunaan, dan kemampuan dalam terbang lebih baik daripada helikopter maupun *quadcopter*.

Balon Udara mempunyai tiga bagian utama yaitu: *envelope*, gondola, dan *engine*. *Envelope* bentuknya berupa kantong berupa balon tempat untuk helium. *Envelope* ini biasanya dilapisi dengan bahan anti api. Gondola biasanya berisi penumpang atau barang yang dinaikkan dalam balon udara. *Engine* berupa motor untuk menggerakkan balon udara.



Gambar 1. Balon *Blimps*

B. Sensor Ultrasonic



Gambar 2. Contoh Sinyal Trigger dan Echo pada Ultrasonic

Sensor *ultrasonic* adalah sensor yang bekerja dengan prinsip pantulan (*echo*) dengan menggunakan dua buah *transduser piezoelectric*, dengan satu *transduser* untuk memancarkan gelombang dan yang lainnya menerima gelombang hasil pantulan tersebut [3]. Jarak dari sensor dari obyek yang akan dideteksi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$S = \frac{T \ln x V}{2} \quad (1)$$

Dengan :

- S : jarak obyek dengan benda
- Tin : adalah selisih waktu pemancaran dan penerimaan pantulan gelombang
- V : Kecepatan suara pada udara (340 m/s)

Transduser ini biasanya mempunyai frekuensi resonansi 40 KHz yang digunakan untuk menciptakan gelombang *ultrasonic*. Salah satu keuntungan dari pemakaian prinsip kerja sensor *ultrasonic* dengan metode *time of flight* atau waktu tempuh, yaitu waktu yang diperlukan dari *transmitter* menuju *receiver* kita dapat memperkirakan berapa jarak suatu benda terhadap sensor *ultrasonic* tersebut.

C. Hu Invariant Moments

Hu Invariant Moments pertama kali dipublikasikan oleh Hu pada tahun 1961 dan *Hu Invariant Moments* di reformula oleh Li. Nilai-nilai yang dihasilkan dari *Hu Invariant Moments* ini terdiri dari tujuh nilai yang mengidentifikasi ciri dari sebuah objek citra digital. Nilai-nilai tersebut bersifat independen terhadap translasi, rotasi dan penskalaan. *Moments* yang mentransformasikan fungsi citra $f(i,j)$ pada sistem diskrit dinyatakan dengan persamaan:

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{H-1} \sum_{y=0}^{w-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (2)$$

dimana:

$$\bar{x} = \frac{m10}{m00} \text{ dan } \bar{y} = \frac{m01}{m00} \quad (3)$$

kemudian *normalized central moments*, didefinisikan sebagai berikut:

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{pq}^y}, y = \frac{p + q}{2} + 1 \quad (4)$$

Sehingga ketujuh nilai *invariant moments* dapat diturunkan dari moment kedua dan ketiga sebagai berikut.

$$\phi_1 = \eta_{20} + \eta_{02} \quad (5)$$

$$\phi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \quad (6)$$

$$\phi_3 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (7)$$

$$\phi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \quad (8)$$

$$\phi_5 = (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (3\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[(3\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (9)$$

$$\phi_6 = (\eta_{20} - 3\eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} - \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \quad (10)$$

$$\phi_7 = (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \quad (11)$$

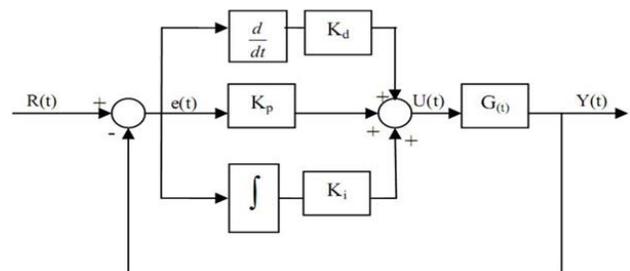
D. Contour matching

Metode *contour matching* dengan *Hu Moments* mampu mendeteksi kontur yang berbeda secara skala, rotasi, dan translasi dengan cara menjumlahkan semua nilai hasil pengurangan dari *moments* target dan *moments* yang akan dideteksi [5]. Dengan mengurangi ketujuh nilai *Hu Moments* pada dua gambar yang identik nilai dari *moments* tersebut akan bernilai mendekati nol.

$$I1(A, B) = \sum_{i=1,2,\dots,7} \left| \frac{1}{m_i^a} - \frac{1}{m_i^b} \right| \quad (12)$$

E. Kendali Proportional Integral Derivatif

Penggunaan kendali PID pada industri penerbangan sudah banyak digunakan dengan berbagai macam jenis mulai dari algoritma yang simpel, mempunyai presisi tinggi, dengan struktur yang kuat, dan mempunyai tingkat keandalan yang baik [6]. Kendali PID merupakan *kontroler* untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*. PID Blok Diagram dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 3. Diagram Blok PID

Persamaan pengontrol PID diatas dapat juga dituliskan sebagai berikut:

$$y(t) = (K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt + K_d \frac{de(t)}{dt}) \tag{13}$$

dengan :

$$K_i = \frac{1}{T_i} \times K_p \text{ dan } K_d = K_p \times T_d \tag{14}$$

Keterangan:

$y(t)$: output dari pengontrol PID atau *Manipulated Variable*

K_p : konstanta Proporsional

T_i : konstanta Integral

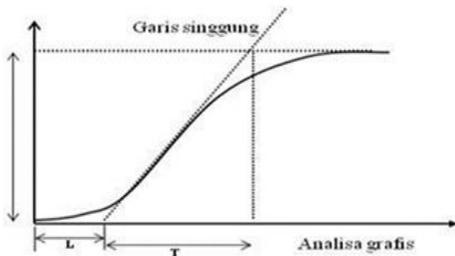
T_d : konstanta Derivatif

$e(t)$: *error* (selisih antara *set point* dengan level aktual)

Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proportional, Integratif dan Derivatif. Ketiganya dapat dipakai bersamaan maupun sendiri-sendiri tergantung dari respon yang kita inginkan terhadap suatu *plant*.

F. Ziegler-nichols open loop tuning method

Penentuan parameter *kontroler* PID adalah hal yang sangat penting untuk menentukan bagaimana performa dari kontrol *plant* tersebut pada suatu sistem. Hal ini disebut juga dengan *tuning kontroler*. Terkadang pemodelan matematis suatu *plant* susah untuk dilakukan. Jika hal ini terjadi maka perancangan *kontroler* PID secara analitis tidak mungkin dilakukan sehingga perancangan *kontroler* PID harus dilakukan secara eksperimental. Pada metode *ziegler-nichols open loop* aturan perpotongan garis kurva S pada grafik output *plant* yang diberi input unit step sangatlah penting, karena mempengaruhi nilai T dan L. Setelah nilai L dan T diketahui, dengan menggunakan formula yang telah dirumuskan oleh *ziegler-nichols* kita dapat menentukan perkiraan nilai K_p , K_i , dan K_d yang optimal untuk *plant* yang akan kita kontrol.



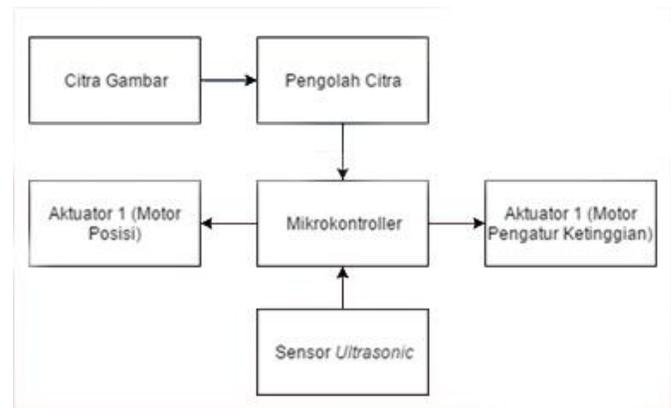
Gambar 4. Analisa grafis pada *open loop*

Tabel 1.
Formula *ziegler-nichols* pada metode *open loop*

| Type Pengendali | K_p | K_i | K_d |
|-----------------|------------------|---------------------|-------|
| P | $\frac{T}{L}$ | ∞ | 0 |
| PI | $\frac{0.9T}{L}$ | $0.27\frac{T}{L^2}$ | 0 |
| PID | $\frac{1.2T}{L}$ | $0.6\frac{T}{L^2}$ | 0.6T |

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Diagram Blok Sistem



Gambar 5. Diagram blok sistem pada balon udara

Perangkat keras untuk pemrosesan data pada sistem ini adalah *raspberry pi* dan *arduino*, citra gambar yang ditangkap oleh kamera akan diproses untuk mengenali landasan pada *raspberry pi* dan output dari pemrosesan citra gambar berupa sudut untuk menuju landasan. Setelah besar sudut ditemukan akan ditentukan pergerakan dan kecepatan motor yang sesuai untuk menentukan sudut belok menuju titik pendaratan.

Mikrokontroler yang digunakan untuk mengolah kecepatan, arah, dan mengukur ketinggian balon udara adalah *arduino*. Keluaran sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) pada *arduino* digunakan untuk mengatur kecepatan motor dan sensor *ultrasonic* berfungsi untuk mengetahui ketinggian balon udara.

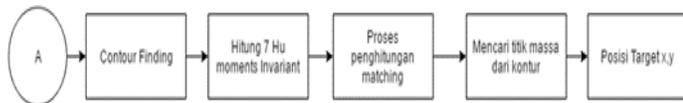
B. Pengenalan Pola Landasan

Dalam pengenalan pola landasan, proses pertama yang dilakukan adalah *preprocessing* citra yang berfungsi untuk mendapatkan hasil yang maksimal saat dilakukannya pengolahan citra. *Preprocessing* mengolah data citra yang mentah menjadi data citra yang siap untuk diproses selanjutnya dengan melewati proses perubahan ruang warna dari RGB ke HSV hingga proses morfologi citra. Kedua proses tersebut sangat penting untuk menfilter warna dan mengurangi *noise* pada citra yang akan diproses.

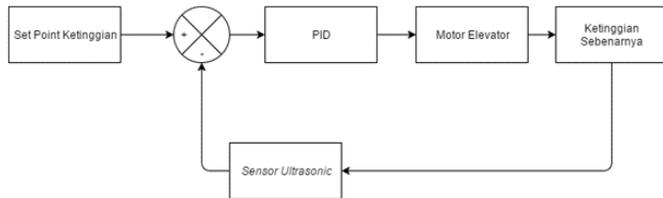
Setelah data citra yang didapatkan melewati proses *preprocessing*, selanjutnya data yang telah didapatkan akan diproses untuk dapat mengenali landasan. Metode pengenalan landasan yang dilakukan adalah dengan menemukan kontur dari target dan kontur *template* yang digunakan untuk mengenali target. Setelah kontur luar dari tiap data citra didapatkan, ketujuh nilai *Hu Moments* dari kedua target tersebut akan dihitung, ketujuh nilai *moments* tersebut akan terus dihitung dan dibandingkan. Untuk metode perbandingan yang dilakukan dengan *Hu Moments* ini adalah dengan terus mengurangi ketujuh nilai *Hu Moments* dari kedua gambar ini secara terus menerus.



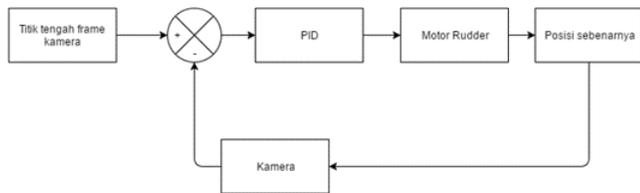
Gambar 6. Diagram alur *preprocessing* citra



Gambar 7. Diagram alur pengenalan landasan



Gambar 8. Blok diagram kontrol PID untuk ketinggian



Gambar 9. Blok diagram kontrol PID arah heading balon udara

Semakin kecil nilai hasil yang didapatkan pada pengurangan nilai ini semakin besar tingkat kemiripan pada kedua gambar tersebut. Setelah titik landasan ditemukan sudut untuk pergerakan belok balon udara dapat dihitung dengan menghitung *tangensial* pada posisi target terhadap ujung balon udara.

C. Perancangan kendali PID

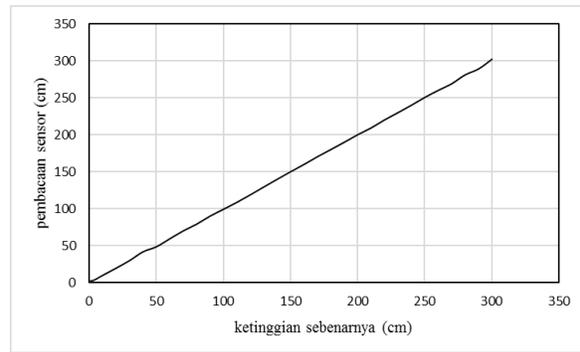
Pada sistem untuk mempertahankan ketinggian balon udara kendali PID menggunakan sensor *ultrasonic* untuk mengetahui ketinggian sebenarnya balon udara, *error* dari kendali PID ketinggian didapatkan dari selisih antara *set point* ketinggian yang diinginkan dengan ketinggian yang didapatkan dari sensor. *Mikrokontroler* akan mengatur kecepatan propeler pada balon udara yang sesuai untuk mempertahankan ketinggian berdasarkan *error* yang didapat. Blok diagram kontrol PID ketinggian dapat dilihat pada Gambar 8.

Untuk mengatur pergerakan propeler pada balon udara yang digunakan, penggerak kanan dan kiri pada sistem untuk mengatur *heading* balon udara diproses dengan kendali PID. *Error* PID adalah besar sudut antara ujung balon udara yang terdapat pada titik tengah *frame* dengan posisi sudut dari landasan yang sebenarnya. Blok diagram kendali PID untuk *heading* arah balon udara dapat dilihat pada Gambar 9.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Pengujian Sensor Ultrasonic

Pengujian sensor *ultrasonic* ini dilakukan dengan membandingkan nilai dari sensor *ultrasonic* dan nilai dari alat pengukur berupa penggaris. Sensor *ultrasonic* ini diuji dari nilai 1 cm secara bertahap hingga mencapai 300cm, dari hasil akan dihitung nilai *error*-nya. Sensor ini bekerja dengan dasar selisih waktu antara sinyal yang dipancarkan dan diterima oleh *transduser* pada sensor *ultrasonic* berupa *piezoelektrik*. Waktu



Gambar 10. Hasil pengujian sensor *ultrasonic*

tempuh antara sinyal yang dipancarkan dan diterima akan dihitung menggunakan *mikrokontroler*. Berdasarkan data yang didapat, dapat ditarik kesimpulan bahwa sensor digunakan bekerja dengan baik dan mampu untuk mengukur jarak ketinggian hingga 300cm.

B. Pengujian Pendeteksi Landasan

Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan ketepatan metode *Hu moments* untuk *contour matching* dalam mendeteksi perubahan target landasan yang berubah secara skala, rotasi, dan translasi. Pengujian pertama ini dilakukan tanpa gangguan objek dengan warna yang sama dengan landasan dan jarak dari kamera menuju landasan diubah untuk menguji tingkat keberhasilan metode *contour matching* dalam mendeteksi perubahan terhadap besarnya citra landasan yang tertangkap pada kamera. Semua tingkat keberhasilan pendeteksian pada pengujian ini dihitung berdasarkan banyaknya *frame* yang terdeteksi pada setiap 20 *frame* gambar kamera yang diambil. Tingkat keberhasilan deteksi berdasarkan jarak dapat dilihat pada Tabel 2.

Setelah diuji keakurasian dari pendeteksian *landing pad* berdasarkan jarak, pengujian selanjutnya akan dilakukan berdasarkan sudut pandang dari kamera. Pengujian ini dilakukan untuk menguji tingkat keberhasilan pendeteksian metode *Hu moments contour matching* yang citra gambar landasannya berubah secara sudut pandang kamera. pengujian dilakukan dengan merubah sudut kamera sebesar 15°, 30°, dan 45° terhadap landasan. Hasil pengujian tingkat keberhasilan pendeteksian landasan berdasarkan sudut kamera dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2.
Tingkat keberhasilan deteksi berdasarkan jarak

| No. | Jarak (cm) | Tingkat keberhasilan |
|-----|------------|----------------------|
| 1 | 20 | 100% |
| 2 | 40 | 100% |
| 3 | 60 | 100% |
| 4 | 80 | 95% |
| 5 | 100 | 100% |
| 6 | 120 | 95% |
| 7 | 140 | 85% |
| 8 | 160 | 90% |
| 9 | 180 | 90% |
| 10 | 200 | 85% |

Tabel 3.
Tingkat keberhasilan berdasarkan sudut kamera

| No. | Sudut (°) | Tingkat keberhasilan |
|-----|-----------|----------------------|
| 1 | 15 | 55% |
| 2 | 30 | 20% |
| 3 | 45 | 0% |

Tabel 4.
Tingkat keberhasilan deteksi berdasarkan rotasi

| No. | Rotasi (°) | Tingkat keberhasilan |
|-----|------------|----------------------|
| 1 | 0 | 95% |
| 2 | 60 | 90% |
| 3 | 120 | 100% |
| 4 | 180 | 100% |
| 5 | 240 | 90% |
| 6 | 300 | 90% |

Tabel 5.
Respon PWM dengan set point 200 cm

| No. | Jarak (cm) | Duty Cycle (%) |
|-----|------------|----------------|
| 1 | 20 | 70.57 |
| 2 | 40 | 62.74 |
| 3 | 60 | 54.90 |
| 4 | 80 | 47.08 |
| 5 | 100 | 39.21 |
| 6 | 120 | 33.33 |
| 7 | 140 | 22.55 |
| 8 | 160 | 15.69 |
| 9 | 180 | 9.82 |
| 10 | 200 | 0 |

Data selanjutnya yang akan diambil adalah bagaimana tingkat pendeteksian dari sistem apabila *landing pad* berotasi. Pengujian ini dilakukan untuk menguji tingkat keberhasilan pendeteksian metode *Hu moments contour matching* yang citra gambar landasannya berubah secara rotasi sebesar 0°, 60°, 120°, 180°, 240°, dan 300°. Pengujian dilakukan dengan jarak 100cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.

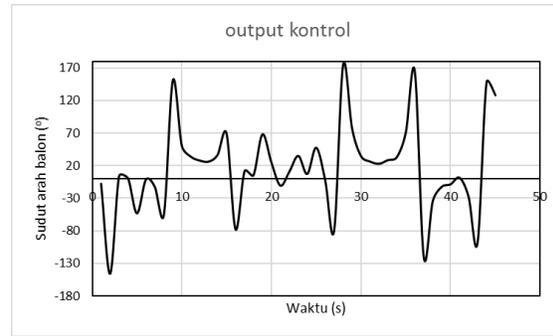
Dari serangkaian pengujian deteksi landing pad dengan metode *contour matching* dengan *Hu Moments* didapatkan landasan dapat terdeteksi secara rotasi dan skala namun apabila terjadi perubahan sudut pandang kamera, metode ini tidak begitu efektif.

C. Pengujian Kontrol Kecepatan Motor Terhadap Error

Pada pengujian ini akan diambil data uji respon pertama dari sinyal kontrol berupa *duty cycle* sinyal PWM terhadap ketinggian. Pengambilan data uji ini berguna untuk mengetahui seberapa besar *duty cycle* pertama dihasilkan PWM sehingga motor yang digunakan untuk mengangkat balon udara diharapkan dapat bekerja dengan baik. Pengujian ini lakukan dengan konstanta $K_p = 1$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ dengan *set point* ketinggian 200 cm. Pengujian data dilakukan dengan *arduino mega*, yang mempunyai sinyal PWM beresolusi 8 bit.

Dari hasil data pertama yang didapatkan dapat ditarik kesimpulan bahwa kontrol PID dapat bekerja dengan baik, dimana semakin jauh jarak antara balon dan *set point* yang telah ditentukan semakin besar pula *duty cycle* yang dihasilkan. Dengan *duty cycle* yang tinggi kecepatan motor juga akan berputar dengan kecepatan yang tinggi. Hasil pengujian besar PWM dapat dilihat pada Tabel 5.

D. Pengujian Kendali PID pada arah gerak balon udara



Gambar 10. Output pada kontroler tipe P

Pengujian terakhir yang akan dilakukan adalah dengan menguji kendali PID pada sudut arah gerak maju balon terhadap target, pengujian ini bertujuan untuk mengatur pergerakan balon udara dalam menuju titik landasan dengan tepat.

Pengujian pertama dengan kendali tipe P dilakukan dengan mengatur $K_p=1$, $K_i=0$, dan $K_d=0$. Pengujian ini bertujuan untuk melihat output kontrol berupa sudut arah gerak balon udara. Berikut adalah respon kontrol hasil dari pengujian gerak arah balon dengan *set point* depan balon udara yang terletak pada 0° pada sudut *frame* kamera.

Dari data yang diperoleh dapat dilihat bahwa respon kontrol dari kendali PID pada arah gerak balon udara sudah mempunyai kemampuan untuk mengoreksi *error* untuk menuju pada titik *set point* 0° dalam arah gerak balon, namun dikarenakan respon dari kontroler P yang kurang cepat sehingga *offset* dan *error* yang terjadi masih relatif besar.

Maka dari itu dengan metode *tuning PID ziegler-nichols* yang pertama akan ditentukan konstanta k_p , k_i , dan k_d untuk mendapatkan respon yang *plant* yang lebih baik. Dengan memberi *unit step* pada balon udara kita dapat menentukan konstanta yang tepat respon kontrol yang terjadi pada balon udara. Berikut adalah perhitungan output dari *plant* yang telah diberikan, konstanta k_p , k_i , dan k_d dapat ditentukan dengan tabel formula *ziegler-nichols*. Dari gambar respon output yang telah diperoleh nilai dari T dan L telah diketahui.

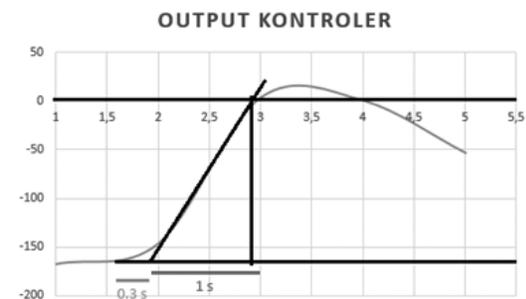
$$T = 1 \text{ s}$$

$$L = 0.3 \text{ s}$$

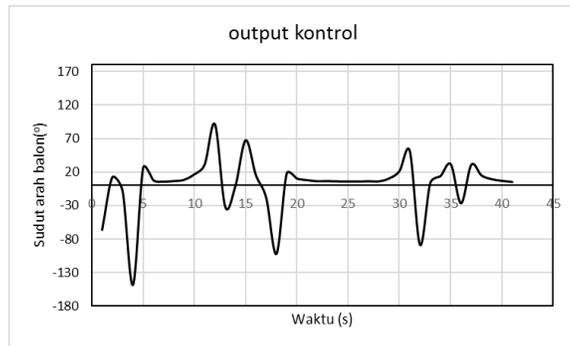
$$K_p = 1.2 \frac{T}{L} = 4$$

$$K_i = 0.6 \frac{T}{L^2} = 6.67$$

$$K_d = 0.6T = 0.6$$



Gambar 11. Output unit step



Gambar 12. Output pada kontroler PID

Setelah mengetahui konstanta K_p , K_i , dan K_d arah gerak balon udara akan diuji kembali, berikut adalah hasil pengujian dari kontrol balon udara setelah K_p , K_i , dan K_d telah diatur menggunakan metode *tuning ziegler nichols*.

Terlihat dari respon kontrol dengan konstanta K_p , K_i , dan K_d yang telah diatur menggunakan metode *ziegler nichols* mempunyai respon yang lebih cepat dalam mengkoreksi kesalahan sudut arah gerak balon lebih cepat dari respon yang hanya menggunakan kontroler tipe P. *Error* osilasi pada gerak arah balon yang terjadi juga berkurang.

V. KESIMPULAN

Dari serangkaian percobaan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan metode *contour matching* dengan *Hu moments* mempunyai ketelitian yang tinggi untuk perubahan skala, rotasi, dan translasi. Pada translasi keakurasian pendeteksian mencapai 94% dengan perubahan besar landasan pacu terhadap ketinggian dan pada rotasi metode ini juga mencapai 94% , namun jika terjadi perubahan sudut pandang kamera keakurasian pendeteksian landasan berada dibawah 55%. Sehingga metode ini tidak cocok apabila sudut pandang kamera berubah terlalu besar. Serta penggunaan kontrol PID lebih efektif daripada menggunakan hanya kontroler tipe P , *kontroller* PID pada balon udara yang digunakan mampu mengurangi sudut osilasi pada kontrol arah balon sebesar 50° dan mampu mempertahankan nilai *set point* lebih lama dibandingkan kontroler tipe P.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tan Kok Ping, Julian; Eng Ling, Ang; Jun Quan, Tan; Yea Dat, Chua. (2012). "Generic Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for civilian application". Faculty of *Engineering* and Science, Universiti Tuanku Abdul Rahman (UTAR), Kuala Lumpur, Malaysia.
- [2] Vincenzo Angelino, Cesario; Rosario Baraniello, Vincenzo; Cicala; Choi, Sujin; Lee, Boram; Kim, Bosung; Park, Noha; Kim, Dongkeon; Luca. (2013). "High Altitude UAV Navigation using IMU, GPS and Camera". CIRA, the Italian Aerospace Research Centre.
- [3] Maälej, Imen; Ouali, Mohamed; Derbel, Nabil. (2012). "MODULAR ULTRASONIC SENSOR PLATFORM FOR MOBILE ROBOT". University of Sfax, ENIS, Research Unit on Intelligent Control, design & Optimisation of complex Systems (ICOS).
- [4] Jerónimo, David; Alcácer, Ricardo; Alegria, F. C.; Lima, Pedro U. (2015). "Line Following and Ground Vehicle Tracking by an Autonomous Aerial Blimp". Institute for Systems and Robotics Lisboa.
- [5] Liu, Yun; Yin, Yanmin; Zhang, Shujun. (2012). "Hand Gesture Recognition Based on HU Moments in Interaction of Virtual Reality". College of Information Science and Technology Qingdao University of Science and Technology.

- [6] Lin, Feng; Duan, Haidong; Qu, Xiaoguang. (2014). "PID Control Strategy for UAV Flight Control System based on Improved Genetic Algorithm Optimization". Automation Department, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China.