

# PERANCANGAN SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN PUTAR *MOTOR THRUSTER* PESAWAT TANPA AWAK (DF-UAV01) DENGAN MODE KONTROL PROPORSIONAL

**Fitri Adi Iskandarianto**

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS

ws@ep.its.ac.id

**Firman Fahriansyah**

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, ITS

Qwe\_zpo@yahoo.com

## Abstrak

Pengendalian motor thruster pada quadrotor DF-UAV01 merupakan pengendalian yang dilakukan untuk menjaga kecepatan putar motor agar dapat mengikuti set poin dengan menggunakan rangkaian IC L293D dan mikrokontroler ATMEGA8535. Masukan set poin kecepatan motor yang harus didapatkan berasal dari reference input dari *attitude control*. Dari data didapatkan pengendali P dengan nilai  $K_p=0.0279$  memiliki respon yang paling baik yaitu rise time sebesar 2s dan settling time sebesar 6s. Pengendali ini diuji dengan gangguan berupa kipas angin dengan kecepatan angin sebesar 3m/s, guncangan, dan perubahan arah putaran motor secara mendadak. Dari pengujian didapatkan pengendali dapat tetap bekerja dengan baik. Sistem ini kemudian diintegrasikan dengan pengendalian empat motor dan sistem attitude control. Dari pengujian dapat dilihat sistem dapat membaca masukan dari range 0 – 4600 rpm dan dapat mengikuti dengan baik set poin yang diberikan oleh *attitude control* antara range 1500-4200 rpm.

**Kata Kunci :** Motor Thruster, IC L293D, quadrotor

## Abstract

Motor control thruster on DF-UAV01 quadrotor control is being done to keep the rotational speed of the motor to be able to follow a set of points using L293D IC circuit and microcontroller ATMEGA8535. Put the motor speed set points that must be obtained from the reference input of attitude control. From the data obtained with a value of P controller  $K_p = 0.0279$  has the best response for the rise time and settling time 2s for 6s. The controller is tested in the form of fan interference with wind speed of 3m / s, shocks, and changes in direction of motor rotation suddenly. Obtained from the test controller can still work well. The system is then integrated with control four motors and attitude control system. From the test system can be able to read input from the range 0-4600 rpm and can follow up with a good set of points given by the attitude control between 1500-4200 rpm range.

**Keywords:** Motor Thruster, IC L293D, quadrotor

## PENDAHULUAN

*UnManned Aerial Vehicle* (UAV) adalah perangkat yang memiliki kemampuan terbang tanpa awak dan pilot. Mereka dapat dikontrol secara langsung oleh operator atau di kontrol secara otomatis melalui perangkat yang di program sebelumnya. Beberapa pesawat udara telah di implementasikan pada dunia militer. Penggunaan lebih lanjut dari UAV ini pada dunia militer, secara khusus digunakan untuk mencari, operasi penyelamatan, dan pengembangan UAV lainnya. Ide pembuatan quadrotor ini bukanlah hal yang baru, pertama kali telah direalisasikan pada tahun 1907 dengan nama Gyroplane No.1 oleh Louis dan Jacques Breguet (Perancis); ini merupakan pendahulu yang sekarang digunakan untuk model helicopter konvensional. Pengembangan lebih lanjut dari quadrotor ini pada model George de Bothezat (Dayton, Ohio) tahun 1922, oleh Etienne Oemichen (Peugeot, Perancis) tahun 1923, dan pengembangan paling baru adalah pengembangan quadrotor dalam skala kecil dan digerakan dengan empat motor dan dapat berputar dan dikontrol secara sendiri-sendiri

kecepatannya, oleh karena itu bentuk mekanik dari quadrotor jadi semakin sederhana juga. Motor yang digunakan adalah motor DC 5,9 volt. Pengendalian dari pesawat ini berdasarkan kecepatan dari keempat motor yang saling berkaitan satu sama lain. Quadrotor secara umum memerlukan pengendali untuk menjaga kecepatan motor agar seimbang selama terbang.

Permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini adalah bagaimana membangun dan merancang sistem pengendali motor thruster pada UAV DF-UAV01 dengan menggunakan mode proporsional memakai *reference input* dari *attitude control*. Sehingga penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem kendali pada motor thruster UAV DF-UAV01 dalam melakukan *maneuver*. Pada UAV tipe ini akan diberikan tambahan motor pada bagian tengah quadrotor. Motor ini berfungsi untuk mendorong quadrotor baik untuk maju maupun untuk mundur. Dan apabila diintegrasikan dengan pengendalian 4 motor dan *attitude control* akan dapat memperluas *maneuver* yang dihasilkan.

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Kontrol *motor thruster* DF-UAV01 hanya pada dinamika pergerakan maju (putaran searah jarum jam) dan mundur (putaran berlawanan jarum jam)
- b. UAV yang dibuat akan diuji dalam keadaan digantung
- c. Software yang digunakan antara lain : Visual Basic, AVR.
- d. Mikro kontroler yang digunakan adalah ATMEGA8535.
- e. Pengendalian berlaku pada lokasi-lokasi dengan angin yang tidak begitu kencang (<3m/s)

## KAJIAN PUSTAKA

Pada subbab ini dijelaskan beberapa teori penunjang dan konsep mengenai sistem *quadrotor* UAV. Termasuk didalamnya adalah UAV, *quadrotor* UAV, sistem kendali dengan mikro kontroler, sistem pengendalian motor dan komunikasi antara komputer dengan mikro kontroler.

### UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

*Unmanned Aerial Vehicle* atau dalam bahasa Indonesia disebut kendaraan udara tak berawak, UAV juga memiliki banyak sebutan lain seperti "*Unmanned aircraft*", "*drones*", "*remotely piloted vehicles (RPVs)*", UAV sendiri merupakan pengembangan dari Aeromodeling yang jika pada awalnya Aeromodeling ditunjukkan untuk keperluan hobi saja, namun berbeda dengan UAV, UAV lebih banyak digunakan untuk keperluan militer dari mulai pengintaian, pemboman sampai pertempuran.



Gambar 1 contoh UAV

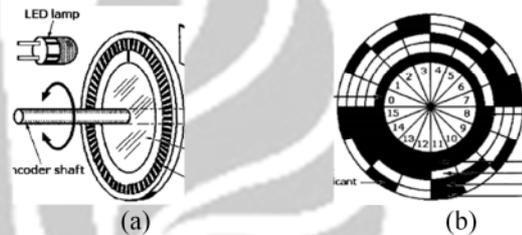
Perbedaan UAV dari rudal yang dikendalikan adalah UAV dapat digunakan berulang kali sedangkan rudal meskipun dapat dikendalikan tidak dapat digunakan kembali. Jika berdasarkan pengertian sederhana UAV adalah pesawat yang hanya dapat terbang lurus sambil mengumpulkan data atau sering disebut *drones*, seiring dengan berjalannya perkembangan teknologi UAV pun terbagi jadi 2 jenis yaitu yang dikendalikan dari lokasi lain yang lebih jauh atau pun yang berjalan sesuai dengan aturan tertentu yang telah diprogram kedalamnya, UAV memiliki berbagai bentuk, ukuran, konfigurasi dan karakteristik contoh dari beberapa UAV yang sering digunakan atau yang telah dibuat adalah RQ-4 Global Hawk, MQ-1 Predator, TAM-5 dan masih banyak UAV lainnya.

### Rotary Encoder

*Rotary encoder* merupakan suatu komponen *transducer* elektro-mekanik yang dimanfaatkan untuk mengukur perpindahan (rotasi) pada motor. Komponen ini dapat dimanfaatkan untuk mengukur kecepatan. *Transducer* ini mampu dimanfaatkan untuk mengukur perpindahan rotasi karena komponen ini mengkonversi rotasi *shaft* menjadi pulsa *output* yang dapat dihitung. *Rotary Encoder* disebut juga sebagai *rotary shaft encoder* atau *rotary shaft-angle*.

Kecepatan *rotary encoder* adalah pulsa per detik. *Rotary encoder* secara tidak langsung dapat mengukur *shaft* motor atau sudut *leadscrew* untuk memberikan informasi posisi. Tetapi *rotary encoder* dapat juga digunakan secara langsung untuk mengukur rotasi mesin.

Terdapat beberapa jenis *rotary encoder*, berdasarkan pada pola yang dimiliki. Beberapa *rotary encoder* yang sering digunakan adalah *incremental optical shaft-angle encoder* dan *absolute optical shaft-angle encoder*. Perbedaan antara keduanya dapat dilihat pada gambar 2.2.



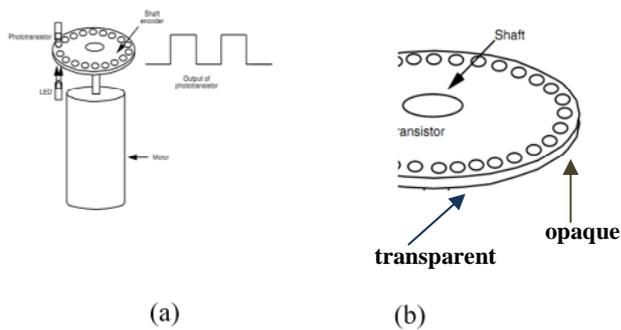
Gambar 2 Kisi *Rotary encoder* :

(a) *incremental encoder*, (b) *absolute encoder*

*Rotary encoder* berbentuk suatu piringan. Piringan ini yang memiliki beberapa bagian transparan dan beberapa bagian tidak tembus cahaya (cahaya yang digunakan adalah sinar inframerah) yang berjajar disepanjang tepi piringan. Untuk dapat dimanfaatkan dalam mengukur kecepatan maka ditambahkan LED (*light emitting diode*) inframerah dan phototransistor inframerah.

Jumlah bagian transparan dan bagian tak tembus cahaya yang dimiliki piringan tidak ditentukan dengan aturan tertentu. Tetapi untuk mencapai resolusi pengukuran yang semakin tinggi, maka dibutuhkan jumlah pasangan bagian transparan dan tak tembus cahaya yang semakin banyak. Selain itu, jumlah pasangan bagian tersebut yang semakin banyak akan mempengaruhi tingkat akurasi pengukuran yang dilakukan.

*Rotary encoder* dipasang di antara celah *optocoupler*, sehingga dapat melakukan fungsinya sebagai komponen bantu penghitung kecepatan. Kedua *transmitter* dan *receiver* inframerah, LED inframerah dan *phototransmitter*, dipasang pada satu arah dan melewati lubang dan slot piringan. Sehingga ketika motor berputar, piringan juga ikut berputar, maka lubang akan melewatkan cahaya inframerah yang melaluinya dan didapatkan pulsa keluaran *phototransistor* yang berpola



Gambar 3 Pemasangan *Rotary encoder* :  
 (a) *Shaft optic encoder* pada motor; (b) piringan *rotary*

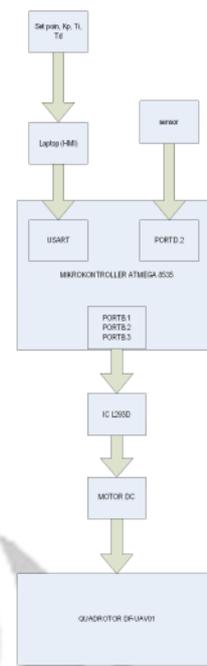
**METODE**

Berikut adalah rincian metodologi penelitian yang akan dilaksanakan pada penelitian kali ini:

1. Studi literatur terhadap materi yang terkait dengan pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan, mengenai:
  - Pemahaman mengenai *Quadrotor* UAV
  - Pemahaman mengenai sistem pengendalian otomatis dengan metode PID
  - Pemahaman mengenai Pemrograman Mikrokontroler
2. Pra-eksperimen
  - Pembuatan *hardware* dari *Quadrotor* UAV sesuai design
  - Pembuatan rangkaian elektrik untuk pengendali kecepatan motor
  - Pembuatan HMI untuk *monitoring* kecepatan motor actual dan *set point*
3. Eksperimen
  - Pengintegrasian *hardware* dan *software*
  - Pengujian kinerja pengendali kecepatan motor pada *hardware* dan *software* *Quadrotor* UAV
4. Pengujian dan analisis.
5. Penyusunan laporan Penelitian.

**Penyusunan Algoritma Program**

Algoritma merupakan serangkaian perintah untuk menjalankan program. Algoritma program pengendali motor terdiri dari dua bagian, yaitu pada program pembacaan dengan sensor *optocoupler* dan pengendalian motor dengan PID. Kedua algoritma tersebut akan dibuat pada aplikasi Visual Basic 6.0, dan perangkat lunak CodeVision AVR. Program dalam CodeVision AVR akan dimasukkan pada mikro kontroler untuk mengatur gerakan motor. Berikut akan dijelaskan satu persatu algoritma program baik pembaca kecepatan motor, program PWM, program pengendali PID, program eksekusi, dan program tampilan HMI pada computer/laptop.

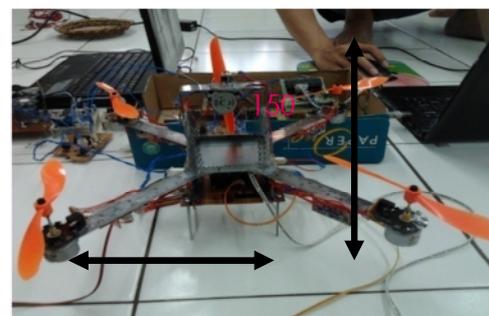


Gambar 4 Digram Blok algoritma program

Dalam sistem pengendali kecepatan quadrotor, tugas pengendali atau kontroler dilakukan oleh mikro kontroler. Kontroler akan melakukan tugasnya berdasarkan informasi yang diterima dari komputer, yaitu dari *software* sinyal kendali. Mikro kontroler sebagai komponen pengendali berperan dalam mengatur gerakan motor sebagai aktuator dari sistem quadrotor. Mikro kontroler menerima masukan berupa pulsa digital yang mewakili informasi putaran motor dari sensor *optocoupler*. Informasi ini selanjutnya akan berguna untuk memberikan informasi kecepatan putaran motor.

**Perancangan dan Pembuatan *Hardware* Sistem Quadrotor UAV**

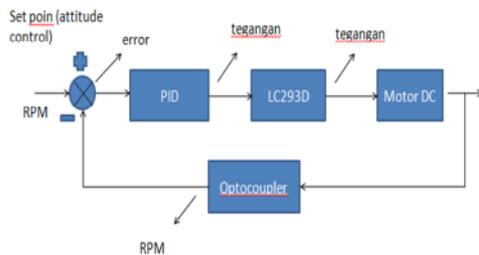
Perancangan *hardware* sistem quadrotor UAV terbagi atas dua kelompok perancangan, yaitu perancangan mekanik quadrotor dan perancangan sistem elektrik. Quadrotor UAV ini menggunakan satu motor tengah sebagai pendorong baik untuk maju maupun mundur dan dikendalikan dengan pengendali PID. Sedangkan sistem elektrik robot terdiri atas rangkaian minimum sistem, rangkaian komunikasi serial, rangkaian pemaluk motor dan rangkaian *optocoupler*.



Gambar 5 *Plant* Quadrotor UAV DF-UAV01

*Plant Quadrotor UAV*, ini merupakan desain dari *quadrotor* nantinya, *quadrotor* ini terdiri dari empat rotor untuk menjaga kondisi *quadrotor* agar stabil selama terbang, rotor pada bagian tengah nya digunakan untuk *maneuvering* baik maju dan mundur. Nantinya semua rangkaian elektriknya di hubungkan melalui kabel yang langsung ke *hardware quadrotornya*.

Metode pengendali yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode pengendalian PID yang nantinya diharapkan dapat menjaga kecepatan motor constant berdasarkan data yang diberikan oleh sistem *attitude*. Input dari sistem *attitude* ini nantinya berupa besar *setpoint* berupa kecepatan yang harus dicapai oleh tiap rotor. Adapun diagram blok sistem pengendalian kecepatan motor pada penelitian ini adalah sebagai berikut:



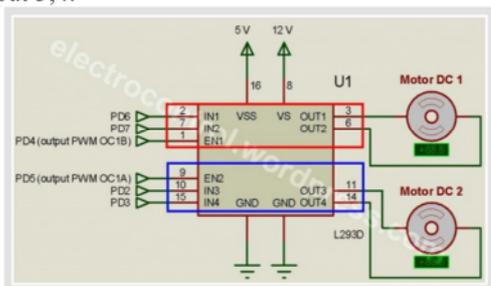
Gambar 6 Diagram blok sistem pengendalian kecepatan motor

Pada gambar 6 ini merupakan diagram blok sistem pengendalian kecepatan motor pada *quadrotor* dimana memiliki *input* referensi dari sistem *attitude* (*setpoint* kecepatan yang diperlukan motor tengah untuk mencapai kondisi yang diberikan oleh sistem *attitude*).

### Motor Driver L293D

Karena mikrokontroler tidak dapat memberikan arus yang cukup untuk menggerakkan motor dc maka digunakan *motor driver* L293D. IC L293D dipakai dalam perancangan ini karena L293D merupakan rangkaian *H-bridge* yang dirancang untuk memudahkan dalam memberikan arus dua arah hingga 1 A dengan tegangan antara 4,5 volt hingga 36 volt kepada motor dc.

IC L293D dapat digunakan untuk *drive* motor dc *half-bridge* sebanyak empat buah atau dua motor dc *full-bridge*. IC ini mempunyai empat pin input yang bersesuaian dengan empat pin outputnya. Selain itu juga terdapat dua pin enable/disable untuk pin output 1,2 dan pin output 3,4.



Gambar 7 Logika kinerja L293D

Dari gambar, untuk pengaturan arah dan kecepatan 2 buah motor DC maka hanya tinggal menambahkan sebuah motor pada output3 dan output4. Dan pin EN2 merupakan sebuah pin yang difungsikan untuk meng-enable-kan motor DC 2 (ON/OFF motor DC), oleh karena itu pin EN2 dapat dihubungkan dengan output PWM dari mikrokontroler. Sedangkan pin IN3 dan IN4 digunakan sebagai input logika untuk mengatur putaran motor DC 2 dan dapat juga digunakan untuk memberhentikan motor DC 2 secara cepat (*fast motor stop*). Tabel input logika IN3 dan IN4 sama dengan tabel logika IN1 dan IN2. Cara pengaturan arah dan kecepatan 2 buah motor DC sama dengan menggunakan sebuah motor DC.

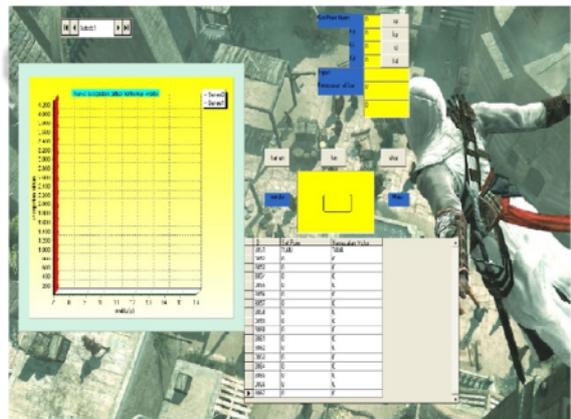
### Pembuatan Program

Program Pengendali motor *quadrotor* ini berdasarkan algoritma program yang telah disusun. Pemrograman pengendalian motor dibuat pada aplikasi Microsoft Visual Basic 6.0 (VB6). Sedangkan program eksekusi dibuat pada *software compiler* CodeVisionAVR dengan bahasa C.

### Pembuatan Program HMI(Human Machine Interface)

Pemrograman HMI ini berisi mengenai kondisi kecepatan actual yang terbaca oleh sensor optocoupler, kecepatan desain/*setpoint*, form untuk mengubah semua parameter baik *setpoint* tiap motor, parameter kontrol PID untuk pengendali, hasil sinyal kendali yang diberikan oleh pengendali PID, grafik respon pengendali PID dengan *setpoint* terhadap waktu, dan hasil data record yang disimpan dalam database pada program VB6.

Pada database ini menggunakan Microsoft access untuk menyimpan semua data yang terekam selama proses eksekusi, baik *setpoint* untuk setiap motor dan kecepatan tiap moto. Database ini dihubungkan melalui *adocd* yang merupakan komponen tambahan pada VB6 untuk melakukan koneksi dengan Microsoft access sehingga form database yang telah dibuat dapat dihubungkan secara langsung ke HMI. Pada aplikasi VB6 dibuat tampilan untuk menampilkan semuanya itu, *Form* program HMI dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 8 Form program HMI

Pada gambar 3.13 diatas merupakan form HMI sistem pengendali kecepatan motor pada quadrotor UAV untuk monitoring, perubahan parameter, dan respon dinamik system. Gambar di kanan bawah merupakan indicator apakah pesawat dalam keadaan maju atau mundur.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil penelitian didapatkan beberapa data. Data-data ini akan dianalisa dan hasilnya sebagai berikut :

**Analisa Pembacaan Kecepatan Motor**

Pembacaan kecepatan motor akan dilakukan oleh sensor *optocoupler* yang akan dikalibrasi dengan alat pembaca frekuensi putaran motor yang bernama *stroboscope*. Dari hasil pembacaan didapatkan data seperti pada tabel 4.6 yang kemudian akan dicari nilai RMSE yang dimiliki sensor *optocoupler*.

Tabel 1 Perbandingan data bacaan *optocoupler* dengan *stroboscope*

Data <i>Optocoupler</i>			Data <i>Stroboscope</i>	
Pulsa	Kiri (rpm)	Kanan (rpm)	Kiri (rpm)	Kanan (rpm)
0	0	0	0	0
20	1308	1260	1356	1290
40	2022	1998	2069	2111
60	2490	2478	2626	2642
80	2910	2880	3001	3011
100	3258	3156	3338	3343
120	3468	3408	3638	3624
140	3750	3684	3925	3912
160	3996	3870	4160	4111
180	4206	4074	4353	4367
200	4440	4326	4625	4609

Diatas adalah data hasil perbandingan pembacaan kecepatan motor dengan *optocoupler* dan *stroboscope*. Dari data diatas didapatkan *error* yang dapat digunakan untuk menghitung RMSE.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(error\ optocoupler)^2}{n_1} - \frac{\sum(error\ stroboskop)^2}{n_2}}$$

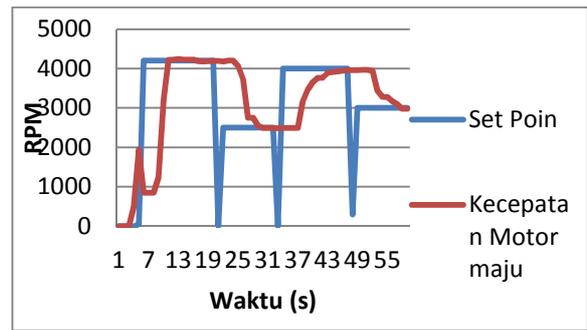
Dari perhitungan didapatkan RMSE dari motor putaran kiri adalah 3,619564 dan RMSE dari putaran kanan adalah 5,303435.

**Analisa Sistem Pengendalian Motor**

Dari pemrograman yang sudah diberikan pada mikrokontroller dan pengkalibrasian sensor pengukuran *optocoupler* dilakukan perbandingan respon pengendali dengan beberapa parameter pengendali dari nilai Kp, Ti, dan Td sebagai berikut:

**Pengendali P dengan nilai Kp=0.0279**

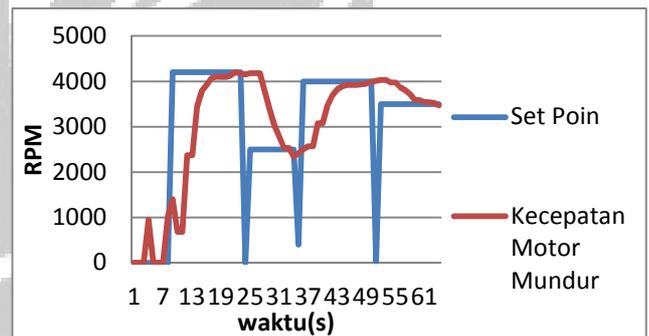
Pengendalian yang digunakan adalah pengendali P dengan nilai Kp=0.0279. Dari hasil tracking set poin pada HMI didapatkan kurva sebagai berikut :



Gambar 9 Kurva hasil pengendalian motor *maneuver* maju dengan nilai Kp=0.0279

Tabel 2 Kriteria hasil pengendalian motor *maneuver* maju dengan pengendali P(Kp=0.0279)

Kriteria	
Rise time	2 s
Settling time	6 s
Peak time	-
Max. overshoot	-



Gambar 10. Kurva hasil pengendalian motor *maneuver* mundur dengan nilai Kp=0.0279

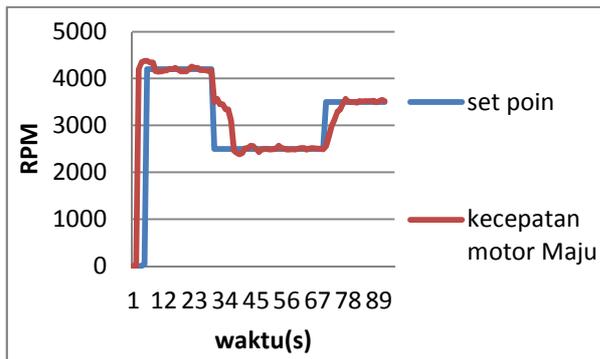
Tabel 3 Kriteria hasil pengendalian motor *maneuver* mundur dengan pengendali P(Kp=0.0279)

Kriteria	
Rise time	4 s
Settling time	7 s
Peak time	-
Max. overshoot	-

**Pengujian Beban Pada Pengendali**

Dari hasil didapatkan bahwa pengendali P dengan Kp=0.0279 memiliki karakteristik pengendali yang paling baik. Untuk itu kali ini akan dilakukan uji beban untuk melihat seberapa baik pengendali bekerja bila diberikan gangguan. Dari hasil pengujian didapatkan kurva sebagai berikut :

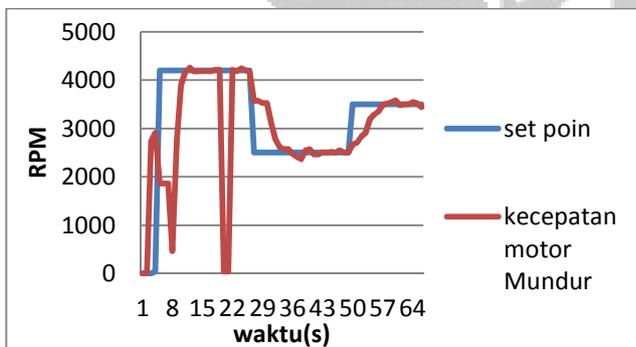
**Pengujian Beban Dengan Gangguan Kipas Angin ( $v=3m/s, r=12cm$ )**



Gambar 11 Kurva pengendalian motor *maneuver* maju dengan beban kipas angin pada bagian depan \

Tabel 4 Kriteria hasil pengendalian motor *maneuver* maju dengan gangguan kipas angin depan pada pengendali P( $K_p=0.0279$ )

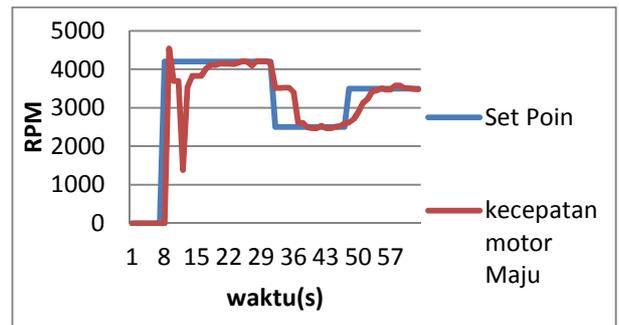
Kriteria	
Rise time	4 s
Settling time	10 s
Peak time	-
Max. overshoot	-



Gambar 12 Kurva pengendalian motor *maneuver* mundur dengan beban kipas angin pada bagian depan *quadrotor*

Tabel 5 Kriteria hasil pengendalian motor kiri dengan gangguan kipas angin depan pada pengendali P( $K_p=0.0279$ )

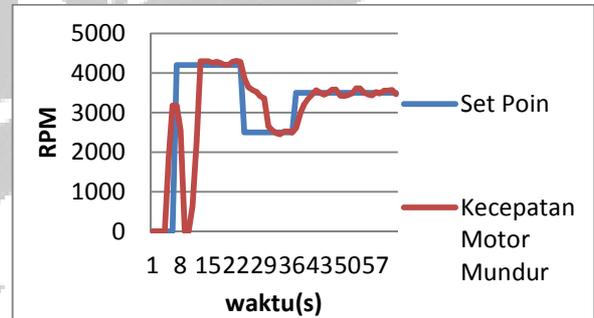
Kriteria	
Rise time	4 s
Settling time	6 s
Peak time	-
Max. overshoot	-



Gambar 13 Kurva pengendalian motor *maneuver* maju dengan beban kipas angin pada bagian belakang *quadrotor*

Tabel 6 Kriteria hasil pengendalian motor *maneuver* maju dengan gangguan kipas angin belakang pada pengendali P( $K_p=0.0279$ )

Kriteria	
Rise time	2 s
Settling time	13 s
Peak time	2 s
Max. overshoot	8,14 %



Gambar 14. Kurva pengendalian motor *maneuver* mundur dengan beban kipas angin pada bagian belakang *quadrotor*

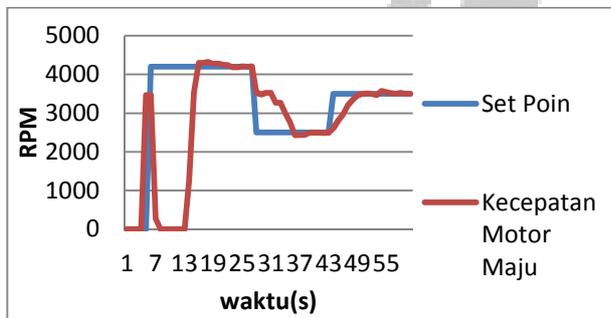
Tabel 7 Kriteria hasil pengendalian motor *maneuver* mundur dengan gangguan kipas angin belakang pada pengendali P( $K_p=0.0279$ )

Kriteria	
Rise time	5 s
Settling time	7 s
Peak time	-
Max. overshoot	-

Pada gambar dapat dilihat kurva hasil pengendalian dengan pengendali  $P(K_p=0.0279)$  dapat dengan baik mengikuti set poin ketika diubah secara mendadak walaupun diberikan gangguan berupa angin dari kipas angin dengan kecepatan 3m/s baik dari arah depan maupun dari arah belakang quadrotor untuk pengendalian motor untuk arah putaran kanan maupun untuk motor dengan arah putaran kiri. Semua pengendalian tidak memiliki *overshoot* dan *settling time* yang cukup cepat.

**Pengujian Beban Dengan Gangguan Berupa Goncangan**

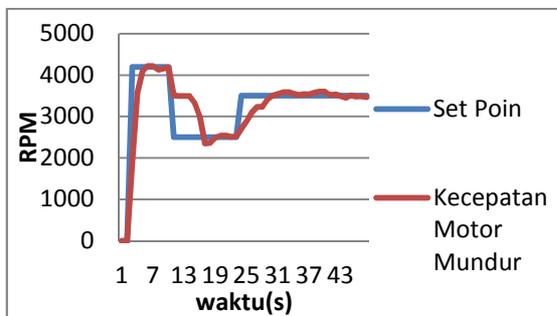
Dari pengendali yang sudah ditala akan dilakukan pengujian terhadap pengendali  $P(K_p=0.0279)$  dengan gangguan berupa guncangan pada rangka quadrotor. Pengujian ini dilakukan untuk melihat seberapa baik pengendali bekerja ketika quadrotor menerima guncangan dari lingkungan sekitar. Hasil pengendalian dapat dilihat pada kurva berikut :



Gambar 15 Kurva pengendalian motor *maneuver* maju dengan beban berupa goncangan pada *quadrotor*

Tabel 8 Kriteria hasil pengendalian motor *maneuver* maju dengan gangguan goncangan pada pengendali  $P(K_p=0.0279)$

Kriteria	
<i>Rise time</i>	8 s
<i>Settling time</i>	8 s
<i>Peak time</i>	-
<i>Max. overshoot</i>	-



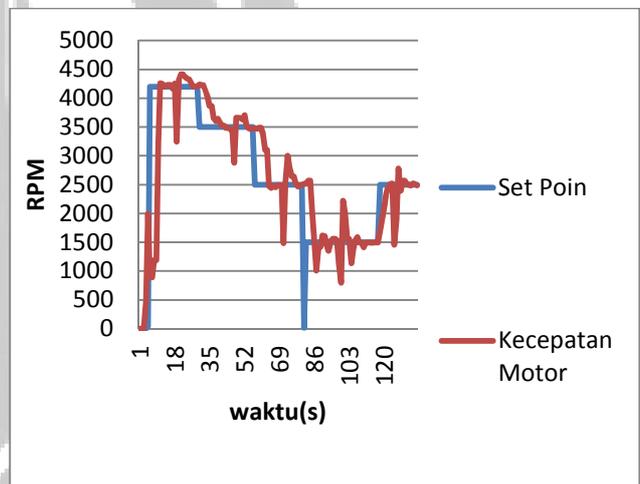
Gambar 16. Kurva pengendalian motor *maneuver* mundur dengan beban berupa goncangan pada *quadrotor*

Tabel 9 Kriteria hasil pengendalian motor *maneuver* mundur dengan gangguan goncangan pada pengendali  $P(K_p=0.0279)$

Kriteria	
<i>Rise time</i>	2 s
<i>Settling time</i>	5 s
<i>Peak time</i>	-
<i>Max. overshoot</i>	-

**Pengujian Pengendali dengan motor diputar berlawanan arah secara mendadak**

*Motor thruster* ini dapat digunakan sebagai pendorong untuk maju maupun sebagai pendorong untuk gerakan mundur. Untuk itu akan diuji hasil pengendalian apabila motor diputar berlawanan arah secara mendadak. Berikut hasil Pengendalian dengan pengendali  $P(K_p=0.0279)$  :

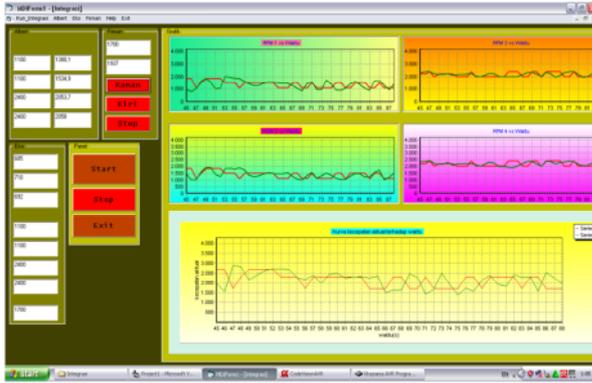


Gambar 17. Pengujian pengendali ketika arah putaran motor diubah secara mendadak

Sistem pengujian dilakukan dengan memberikan set poin sebesar 4200, 3500, 2500 dan diubah arahnya secara mendadak. Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa ketika set poin 4200, arah putar diubah sehingga dapat dilihat terjadi *overshoot* sekitar 10% dan *settling time* sekitar 5 sekon. Begitu juga ketika set poin bernilai 3500 dan 2500. Dari gambar dapat dilihat *overshoot* semakin tinggi apabila set poin motor berada pada range terendahnya.

**Pengintegrasian Sistem Attitude Control, Sistem Pengendalian 4 Motor dan Sistem Pengendalian Motor Thruster Dalam Mode Maneuvering**

Subbab ini akan membahas hasil pengintegrasian sistem *attitude control*, sistem pengendalian empat motor dan sistem pengendalian *motor thruster* dalam melakukan mode *maneuvering*. Integrasi ini menggunakan mikro dari masing-masing sistem yang keluarannya akan disatukan dalam satu serial yang selanjutnya dihubungkan dalam satu laptop.



Gambar 18. HMI integrasi sistem attitude

Gambar diatas adalah HMI hasil integrasi antara sistem attitude, sistem pengendalian empat motor dan sistem pengendalian motor thruster dalam hubungannya untuk mode maneuvering. Dari gambar dapat dilihat pada sisi kiri bawah yang merupakan keluaran sistem attitude control yang dibaca oleh Visual Basic. Dari sistem ini akan mengeluarkan input berupa set poin yang masing-masing akan dibaca oleh sistem pengendalian empat motor dan sistem pengendalian motor thruster. Dari gambar dapat dilihat penerapan sistem pengendalian motor thruster dapat mengikuti perubahan set poin yang diberikan oleh sistem attitude control.

### Pembahasan

Pada subbab ini akan dibahas hasil dari data yang telah diperoleh selama proses pengerjaan berlangsung. Dari data yang diperoleh diatas akan dibahas hasil dari validasi antara optocoupler dengan menggunakan acuan stroboscope. Kemudian, pembahasan hasil pengendali terhadap perubahan set poin dan pengendali mana yang paling cocok untuk digunakan pada pengendalian motor thruster ini. Yang terakhir akan dibahas tentang hasil dari pengendali terbaik ketika diberikan gangguan, apakah pengendali masih dapat bekerja dengan baik atau tidak.

Dalam proses pengerjaan dilakukan penalaan dengan metode trial and error untuk pengendali mode P,PI, dan PID dan dibandingkan, pengendali mana yang paling baik diantara ketiganya. Dari pengerjaan pengendali P dengan nilai  $K_p=0.0279$  dapat mengikuti dengan baik set poin ketika diubah dan dalam pengujiannya memiliki settling time yang cepat serta tidak memiliki overshoot. Pengendali ini juga masih mampu mengikuti nilai set poin yang rendah yaitu dikisaran 1500 rpm. Sedangkan pada pengendali PI dan PID, dari pengujian didapatkan nilai settling time yang cukup lama yaitu 23s untuk pengendali PI dan 30s untuk pengendali PID. Selain itu pengendali PI dan PID memiliki overshoot sekitar 29s. Setelah dilakukan uji tracking set poin, kedua pengendali ini beresilasi ketika set poin diubah secara mendadak. Terutama ketika set poin di set pada rang yang rendah yaitu antara 1400 rpm hingga 2500 rpm. Hal ini disebabkan putaran motor yang terlalu pelan sehingga pengendali sulit untuk mencapai set poin, keadaan yang berbeda dimiliki pengendali P( $K_p=0.0279$ ) yang dapat

mengikuti set poin dalam range rendah walaupun terjadi sedikit osilasi.

Dalam pembuatan sistem pengendalian validasi sensor merupakan hal yang harus diperhatikan terlebih dahulu, karena besarnya error yang akan dihasilkan oleh pengendalian bergantung pada ketepatan sensor dalam mengukur proses variabel yang digunakan. Pada penelitian kali ini sensor yang digunakan adalah sensor optocoupler. Sensor ini akan divalidasi dengan hasil bacaan dari stroboscope untuk menentukan seberapa besar RMSE yang dihasilkan. Dari data dapat dilihat bahwa RMSE yang dihasilkan cukup kecil dengan nilai RMSE pada pengendalian motor putaran kanan sebesar 5,303435 dan RMSE pada motor putaran kiri sebesar 3,619564. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor optocoupler dapat digunakan sebagai pengganti dari stroboscope dalam membaca kecepatan motor thruster pada quadrotor DF-UAV01.

Pada pembahasan bagian ketiga ini adalah merupakan pembahasan dari hasil pengujian pengendali P(Proporsional)terhadap gangguan dengan nilai  $K_p=0.0279$ . Pengendali ini dipakai dikarenakan kinerja yang baik jika dibandingkan dengan pengendali lain dan sesuai dengan proses yang diinginkan dengan settling time cepat dan tidak memiliki overshoot. Gangguan yang diberikan adalah dengan memakai kipas angin untuk mengganggu putaran motor baik dari depan quadrotor maupun dari bagian belakang quadrotor. Selain itu diberikan gangguan berupa guncangan pada quadrotor. Dari data dapat dilihat bahwa pengendali masih dapat bekerja dengan baik untuk kedua kondisi yaitu putaran searah jarum jam(maju) dan berlawanan jarum jam(mundur). Begitu juga apabila kipas angin diberikan pada bagian belakang quadrotor. Hanya sedikit terjadi perubahan yaitu overshoot sekitar 6% dan membesarnya Ess sebesar 3%. Pada saat diberikan gangguan berupa guncangan pun pengendali masih bisa bekerja dengan baik.

Pengujian yang terakhir adalah dengan mode pengendali P( $k_p=0.0279$ ) akan dilihat bagaimana respon pengendalian ketika putaran motor diubah berlawanan arah secara mendadak. Dari data dapat dilihat ketika motor diubah arahnya secara mendadak, terdapat overshoot. Namun, pengendali dapat dengan cepat kembali ke keadaan steady sehingga dapat dikatakan pengendali masih bekerja dengan baik.

Dari hasil pegintegrasian dapat dilihat bahwa sistem pengendalian motor thruster dapat membaca masukan dari sistem attitude control dalam range 0 – 4600 rpm. Selain itu, sistem pengendalian motor thruster ini dapat mengikuti perubahan set poin yang diberikan oleh sistem attitude control dengan baik antara range 1500-4600 rpm. Namun untuk kecepatan dibawah 1500 rpm cukup kesulitan karena putaran motor dalam range tersebut berputar terlalu peran sehingga sulit untuk pengendali untuk mengikuti.

## PENUTUP

### Simpulan

Dalam pelaksanaan penelitian penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pengendali P dengan nilai  $K_p=0.0279$  memiliki respon yang paling baik dengan *Rise time* sebesar 2 s dan *settling time* sebesar 6s untuk motor *maneuver* maju dan *rise time* 4s beserta *settling time* 7s untuk motor *maneuver* mundur.
2. Pada sistem pengendalian motor yang berlaku didapatkan bahwa pengendali P merupakan pengendali yang paling bagus jika dibandingkan dengan pengendali PI dan PID dengan kriteria pengendali PI yaitu *settling time* sebesar 23 s dan *overshoot* sebesar 27%. Sedangkan pengendali PID memiliki *settling time* sebesar 30s dan *overshoot* sebesar 29% dan kedua pengendali ini beresilasi ketika dilakukan perubahan set poin terutama dalam *range* rendah(1400 rpm – 2500 rpm)
3. Pengendali P dengan nilai  $K_p=0.0279$  dapat berjalan dengan baik ketika diberikan gangguan berupa goncangan dan gangguan kipas angin( $v=3m/s$ ) pada bagian depan maupun belakang quadrotor.
4. Pengendali P dengan nilai  $K_p=0.0279$  dapat bekerja dengan baik ketika arah putaran motor diubah secara mendadak dengan *overshoot* 8% dan *settling time* sebesar 4s.
5. Sistem pengendalian *motor thruster* terintegrasi dapat membaca masukan set poin dengan *range* 0 – 4600 rpm dan dapat mengikuti perubahan set poin dengan baik ketika diintegrasikan dengan sistem *attitude control* dan sistem pengendalian empat motor pada *range* 1500-4600 rpm.

### Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat diberikan setelah melakukan penelitian penelitian ini antara lain

1. Motor dc yang sebaiknya digunakan adalah *brushless dc motor*, rangkaian ESC (*Electronic Speed Control*) yang menggunakan ESC pada *Radio Control*, dan menggunakan *software* LabView untuk mempermudah proses koneksi antara *hardware* dan *software* dengan menggunakan NI-DAQ (National Instrument- Data Acquisition)
2. baling-baling yang digunakan sesuai dengan *brushless dc motor* dengan berat seringan mungkin namun memiliki nilai rpm yang tinggi.
3. Pembuatan rangka quadrotor diharapkan dapat lebih diringankan namun masih stabil dan kuat untuk memudahkan BDC dalam memberikan gaya angkat.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ariefianto, Budi.2008."Training Microcontroller ATMEGA 8535 for Beginner".Maxtron
- Domingues ,Jorge Miguel Brito, "Quadrotor prototype", Instituto Superior Tecnico
- Electro Control team, "Driver Motor DC menggunakan IC L293 D",www.electrocontrol.wordpress.com

Emanuel Stingu, frank Lewis,"Quadrotor Spesification", Automation & Robotics Research Institute University of Texas at Arlington

Elliot, Grant,2005," Development of an Autonomous Quadrotor Flying Platform"

Firdaus ,Ahmad Riyad, "SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC", Politeknik Batam

Haomiao Huang, Gabriel M. Hoffman, Steven L. Waslander, Claire J. Tomlin, "Aerodynamics and Control of Autonomous Quadrotor Helicopters in Aggressive Maneuvering

McComb , Gordon.2001.*the robot builder's(2nd edition) bonzana.MacGraw-Hill*

Ogata, Katsuhiko. 1993."Teknik Kontrol Automatik(Sistem Pengukuran)".Jakarta:Erlangga

Risqiawan, Awindra.2009." Sekilas Rotary Encoder".Penelitian Energi Listrik Elektro ITB

S. Bouabdallah, "Design and control of quadrotors with application to autonomous flying," Ph.D. dissertation, EPFL, 2006

Sadin , Paul E..2003.robot mechanism and mechanical device illustrated.mc graw-hill : new york

Simanjutak , Raymond T.,2008, "Perancangan Robot Pemadam Api Berbasis MIKROKONTROLLER AT89C51