



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGANTAR JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>PRAKATA .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang dan Permasalahan .....	1
B. Maksud dan Tujuan.....	2
C. Batasan Masalah .....	2
D. Metode Penelitian .....	2
E. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>5</b>
A. <i>Quadcopter</i> .....	5
B. Sensor IMU .....	6
1. <i>Accelerometer</i> .....	7
2. <i>Gyroscope</i> .....	8
3. <i>Complementary Filter</i> .....	9
C. Pengontrol Proporsional Integral Derivative .....	11
1. Teori Pengontrol Integral Derivative (PID).....	11
1.1 Pengontrol Proporsional .....	12
1.2 Pengontrol Integral.....	14



1.3 Pengontrol Derivative .....	16
2. Kontroler PID .....	18
D. <i>Pulse Width Modulation</i> (PWM) .....	20
E. Arduino Nano 3.0.....	23
F. <i>Electronics Speed Controller</i> (ESC) .....	25
G. Motor Brushless .....	26
H. Baling-baling (Propeller) .....	27
I. Frame .....	29
J. <i>Transmitter</i> dan <i>Receiver</i> .....	26
K. Baterai <i>Li-po</i> (Lithium Polimer) .....	32
L. LED <i>Red, Green, Blue</i> (RGB) .....	33
<b>BAB III PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>36</b>
A. Rancangan Sistem Secara Keseluruhan .....	36
B. Perancangan Elektronik .....	37
1. Catu daya 5V dan 12V .....	37
2. Koneksi Sensor IMU GY-521 ke Arduino Nano .....	38
3. Koneksi ESC ke Arduino Nano .....	39
4. Koneksi Receiver ke Arduino Nano .....	40
5. Transmitter (remote) .....	40
6. Koneksi Motor Brushless ke ESC .....	40
7. Koneksi Led RGB ke Arduino Nano .....	41
8. Power Distribution Board .....	41
C. Perancangan Perangkat Lunak .....	41
1. Pembacaan Sudut Sensor IMU .....	45
2. Implementasi Kendali PID .....	46
3. Program PWM Pada ESC .....	47
4. Program PID Quadcopter .....	48
5. Program Implementasi PID dengan Motor Brushless.....	49
<b>BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>51</b>
A. Metode Pengujian .....	51



B. Pengujian Fungsional .....	51
1. Pengujian fungsional sensor <i>accelerometer</i> dan <i>gyroscope</i> .....	52
2. Pengujian catu daya .....	53
C. Pengujian Secara Keseluruhan .....	53
1. Pengujian mencari nilai konstanta $k_p, k_i, k_d$ keadaan stabil .	53
2. Pengujian Setpoint .....	55
3. Pengujian Error .....	56
4. Pengujian Output PID .....	57
5. Pengujian Mengubah Setpoint dengan 1 Variabel variasi ...	58
6. Pengujian Mengubah Setpoint dengan 2 Variabel variasi ...	59
7. Pengujian Mengubah Setpoint dengan 3 Variabel variasi ...	60
8. Pengujian Output PID Dalam Kondisi Angin Tenang .....	62
9. Pengujian Output PID dalam Kondisi Angin Kencang.....	62
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>61</b>
A. Kesimpulan .....	60
B. Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>62</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>xvii</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	konfigurasi vektor dan putaran proppeler pada <i>quadcopter</i> .....	5
Gambar 2.2	Modul GY-521 .....	6
Gambar 2.3	Sumbu dan vektor sensor Akselerometer.....	7
Gambar 2.4	Orientasi dari sensitifitas sudut dan arah putaran Girooskop.....	8
Gambar 2.5	Perputaran algoritma Kalman Filter.....	10
Gambar 2.6	gambaran proses lengkap kalman filter.....	12
Gambar 2.7	diagram blok pengendali PID.....	13
Gambar 2.8	diagram blok pengendali proporsional.....	14
Gambar 2.9	<i>Proporsional band</i> dari <i>proporsional controller</i> .....	15
Gambar 2.10	Kurva sinyal kesalahan $e(t)$ terhadap $t$ dan kurva $u(t)$ terhadap $t$ pada pembangkit kesalahan nol.....	16
Gambar 2.11	blok diagram antara besaran kesalahan dengan keluaran suatu pengontrol <i>integral</i> .....	16
Gambar 2.12	Perubahan keluaran sebagai akibat penguatan dan kesalahan ....	17
Gambar 2.13	Blok diagram Derivative Controller.....	18
Gambar 2.14	Kurva waktu hubungan input-output Derivative Controller .....	18
Gambar 2.15	Hubungan dalam fungsi waktu antara sinyal keluaran dengan masukan untuk pengendali PID.....	20
Gambar 2.16	Sinyal PWM .....	21
Gambar 2.17	Sinyal PWM dan persamaan $V_{out}$ PWM.....	22
Gambar 2.18	Duty Cycle dan resolusi PWM.....	23
Gambar 2.19	menunjukkan untuk menentukan <i>duty cycle</i> dan frekuensi PWM. 23	
Gambar 2.20	bentuk fisik dari Arduino Nano 3.0.....	24
Gambar 2.21	<i>Electroics Speed Controller</i> (ESC) .....	26
Gambar 2.22	komponen dalam motor brushless.....	28
Gambar 2.23	Contoh <i>proppeler</i> 1045 .....	29
Gambar 2.24	<i>datasheet</i> motor <i>brushless</i> .....	29
Gambar 2.25	dimensi <i>frame</i> 450.....	30
Gambar 2.26	Mode dalam remote.....	31



Gambar 2.27 Cara menaikkan dan menurunkan ketinggian <i>quadcopter</i> .....	32
Gambar 2.28 Cara menggerakkan <i>quadcopter</i> maju dan mundur .....	32
Gambar 2.29 Cara menggerakkan <i>quadcopter</i> ke samping kiri dan kanan .....	32
Gambar 2.30 Cara menggerakkan <i>quadcopter</i> memutar ke kanan dan ke kiri ....	33
Gambar 2.31 <i>Receiver</i> frsky V8FR-II.....	33
Gambar 2.32 Baterai Li-po 3 cell.....	34
Gambar 2.33 Bentuk fisik LED RGB <i>3watt</i> .....	35
Gambar 3.1 Diagram blok rancangan sistem .....	36
Gambar 3.2 Skematik bagian catu daya .....	38
Gambar 3.3 Pemasangan sensor GY-521 dengan pin Arduino Nano .....	39
Gambar 3.4 Koneksi ESC dengan arduino nano.....	39
Gambar 3.5 Koneksi receiver dengan arduino nano .....	40
Gambar 3.6 Koneksi ESC dengan motor <i>brushless</i> .....	41
Gambar 3.7 Koneksi LED RGB dengan arduino .....	41
Gambar 3.8 Skematik <i>power distribution board</i> .....	42
Gambar 3.9 Flowchart sistem keseluruhan .....	44
Gambar 4.1 Konstanta $kp=1, ki=0, kd=0$ .....	54
Gambar 4.2 Konstanta $kp=3, ki=0, kd=0$ .....	54
Gambar 4.3 Konstanta $kp=3, ki=0, kd=10$ .....	55
Gambar 4.4 Konstanta $kp=3, ki=0,0001, kd=10$ .....	55
Gambar 4.5 Grafik perubahan <i>setpoint</i> .....	56
Gambar 4.6 Grafik perubahan error .....	57
Gambar 4.7 Grafik output roll, pitch, dan yaw .....	57
Gambar 4.8 Grafik perubahan sudut x (roll) pada gerakan ke kanan .....	58
Gambar 4.9 Grafik perubahan sudut y (pitch) pada gerakan ke depan .....	58
Gambar 4.10 Grafik perubahan sudut x (roll) dan sudut y (pitch) pada gerakan serong ke kanan.....	59
Gambar 4.11 Grafik perubahan sudut x (roll) dan sudut y (pitch) pada gerakan serong ke kiri.....	60
Gambar 4.12 Grafik perubahan sudut x (roll), sudut y (pitch), dan sudut z (yaw) pada gerakan belok ke kanan.....	61



Gambar 4.13 Grafik perubahan sudut x (roll), sudut y (pitch), dan sudut z (yaw) pada gerakan belok kekiri .....	61
Gambar 4.14 Respon output PID pada keadaan angin tenang .....	62
Gambar 4.15 Respon output PID pada keadaan angin tenang .....	63



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efek pada setiap pengontrol pada loop tertutup.....	30
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino.....	36
Tabel 2.3 Spesifikasi <i>frame</i> f450 .....	40
Tabel 2.4 Spesifikasi Kaki LCD .....	43
Tabel 4.1 perbandingan sudut x antara busur derajat dengan sensor.....	52
Tabel 4.2 perbandingan sudut y antara busur derajat dengan sensor.....	54
Tabel 4.3 tabel pengujian catu daya.....	56