



**IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI PID (PROPORTIONAL,
INTEGRATIVE, DERIVATIVE) UNTUK KESEIMBANGAN
GIMBAL KAMERA BERBASIS MIKROKONTROLER**

Disusun dan Dijjukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer Pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi Medan

SKRIPSI

OLEH

NAMA : NUR AHMAD FADIL
N.P.M : 1614370859
PROGRAM STUDI : SISTEM KOMPUTER

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN
2021**

LEMBAR PENGESAHAN

IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI PID (*PROPORTIONAL, INTEGRATIVE, DERIVATIVE*) UNTUK KESEIMBANGAN GIMBAL KAMERA BERBASIS MIKROKONTROLER

Disusun Oleh:

Nama : Nur Ahmad Fadil
NPM : 1614370859
Program Studi : Sistem Komputer

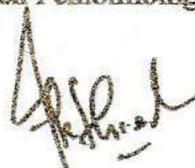
Skripsi telah disetujui oleh Dosen Pembimbing Skripsi
Pada tanggal 06 April 2021 :

Dosen Pembimbing I



Sri Wahyuni, S.Kom., M.Kom

Dosen Pembimbing II



Ranti Eka Putri, S.Kom., M.Kom

Mengetahui.

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi



Handani, ST., MT

Ketua Program Studi Sistem Komputer



Eko Hariyanto, S.Kom., M.Kom

Plagiarism Detector v. 1857 - Originality Report 3/6/2021 8:30:42 AM

Analyzed document: NUR AHMAD FADIL_1614370859_SISTEM KOMPUTER.docx Licensed to: Universitas Pembangunan Panca Budi_License02

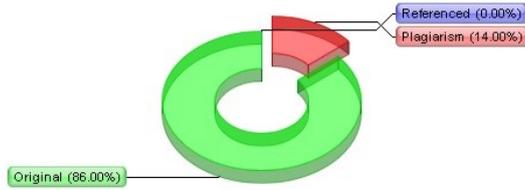
Comparison Preset: Rewrite Detected language:

Check type: Internet Check



Detailed document body analysis:

Relation chart:



Distribution graph:

SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Dengan ini saya Ka.LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang Pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

NB: Segala penyalahgunaan/pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.



No. Dokumen : PM-UJMA-06-02	Revisi : 00	Tgl Eff : 23 Jan 2019
-----------------------------	-------------	-----------------------

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT DAN PUBLIKASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Ahmad Fadil

N.P.M : 1614370859

Program Studi : Sistem Komputer

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Implementasi Sistem Kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler” ini beserta seluruh isinya tidak plagiat dan publikasi.

Demikian Surat Pernyataan ini saya perbuat, apabila di kemudian hari terbukti terdapat pelanggaran, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Medan, 24 April 2021

Yang Membuat Pernyataan



Nur Ahmad Fadil

1614370859



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : NUR AHMAD FADIL
NPM : 1614370859
Program Studi : Sistem Komputer
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : SRI WAHYUNI, S.Kom., M.Kom
Judul Skripsi : Implementasi Sistem Kendali PID (Proportional, Integrative, Derivative) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
18 November 2020	revisi Bab 4 tambahkan deskripsi hasil video atau foto sebelum menggunakan alat yang kamu rancang dan sesudah menggunakan alat yang kamu rancang..	Revisi	
03 Februari 2021	Acc Seminar Hasil dengan catatan perhatikan daftar pustaka kamu tidak mungkin membuat satu skripsi hanya dengan 4 jurnal	Disetujui	
03 Maret 2021	Acc Sidang meja Hijau	Disetujui	
20 April 2021	Acc Jilid	Disetujui	

Medan, 20 April 2021
Dosen Pembimbing,



SRI WAHYUNI, S.Kom., M.Kom



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808

MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : NUR AHMAD FADIL
NPM : 1614370859
Program Studi : Sistem Komputer
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Ranti Eka Putri, S.Kom., M.Kom
Judul Skripsi : Implementasi Sistem Kendali PID (Proportional, Integrative, Derivative) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
18 Mei 2020	bab 2 nya udh rapi, cm size pada sumber seharusnya 10, dilaporan kamu sumber ad yang size nya 10 ada yang 12, bisa dicek lagi, perhatikan juga spasi nya, ad spasi yang berlebih antar kata, pada point 2.9.1 nomor nya dihilangkan aja, karna point 2.9.2 tidak ada, lanjut bab 3	Revisi	
30 Juli 2020	assalaam mualaikum pada bab 3 saya meluhut dan baca ada gambar blok diagram hardware, tambahkan diagram blok untuk sistem kendali dan penjelasan atau pembahasan mengenai PID ya lanjutkan ke bab 4, file skripsi lebih baik digabungkan menjadi 1 file	Revisi	
13 Oktober 2020	assalaam mualaikum dil, cek lagi sumber pada bab 2 (bisa baca pneljasannya dari wa yang saya kirim), untuk bab 3 gambar alat dan bahan yang digunakan sebaiknya diletak kan dilampiran aja, untuk bab 4 Tambah kan sbelum pengujian, Spesifikasi mininum hardware dan software. dan lengkapi seluruh draft ya, mulai cover, lembaran pengesahan smpai daftar pustaka,	Revisi	
14 November 2020	Assalaam mualaikum. pada cover ilangkan no halaman, saran saya untuk sub bab 4.1 kamu penjabaran spesifikasi minimum hardware dan software nya per point, jgn paragraf,	Revisi	
07 Desember 2020	revisi ssuai yang sya sampaikan via wa,	Revisi	
02 Februari 2021	di bab 4 kamu bikin Sfesifikasi, seharus nya spesifikasi, ganti, untuk daftar pustaka, yang kamu dapatkan dari website resmi tambahkan info kapan kamu akses website tersebut,	Revisi	
02 Februari 2021	ACC Seminar hasil, dengan catatan perbaiki dan revisi yang saya sampaikan,	Disetujui	
02 Februari 2021	cover kamu ssuaikan dengan panduan penulisan skripsi,	Revisi	
28 Februari 2021	walaikumus salaam.. ACC sidang meja hijau	Disetujui	
21 April 2021	Acc Jilid	Disetujui	

Medan, 21 April 2021
Dosen Pembimbing,



Ranti Eka Putri, S.Kom., M.Kom



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM. 4,5 Medan Sunggal, Kota Medan Kode Pos 20122

SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 3823/PERP/BP/2021

Kepala Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan atas nama saudara/i:

Nama : NUR AHMAD FADIL
N.P.M. : 1614370859
Tingkat/Semester : Akhir
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Sistem Komputer

Bahwasannya terhitung sejak tanggal 06 Maret 2021, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku sekaligus tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 06 Maret 2021
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan,



Sugiarjo, S.Sos., S.Pd.I



KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 1193/BL/LAKO/2021

Yang bertanda tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Komputer dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : NUR AHMAD FADIL
N.P.M. : 1614370859
Tingkat/Semester : Akhir
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Sistem Komputer

Benar dan telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Komputer Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 07 Maret 2021
Ka. Laboratorium

Melva Sari Panjaitan, S. Kom., M.Kom.



SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Ahmad Fadil

N.P.M : 1614370859

Program Studi : Sistem Komputer

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Implementasi Sistem Kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler

dengan ini saya menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya asli saya, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun, dan sepanjang pengetahuan penulis juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh penulis lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian Surat Pernyataan ini saya perbuat dengan sebenarnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Medan, 24 April 2021

Yang Membuat Pernyataan



Nur Ahmad Fadil

1614370859

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 14 Maret 2021
 Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
 UNPAB Medan
 Di -
 Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : NUR AHMAD FADIL
 Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 24 November 1994
 Nama Orang Tua : IRWANSYAH
 N. P. M : 1614370859
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
 Program Studi : Sistem Komputer
 No. HP : 085277129641
 Alamat : JL. PERTAHANAN DSN V G SADAR KEL. PATUMBAK
 KAMPUNG KEC. PATUMBAK KAB. DELI SERDANG

Datang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **Implementasi Sistem Kendali PID (Proportional, Integrative, Derivative) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler**, Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntun ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indeks prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercap keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya yang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan perincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	0
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,500,000
3. [202] Bebas Pustaka	: Rp.	100,000
4. [221] Bebas LAB	: Rp.	5,000
Total Biaya	: Rp.	1,605,000

Ukuran Toga :

XXL

Diketahui/Disetujui oleh :



Hamdani, ST., MT.
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI

Hormat saya



NUR AHMAD FADIL
 1614370859

Catatan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;
 - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
 - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan
- 2. Dibuat Rangkap 3 (tiga), untuk - Fakultas - untuk BPAA (asli) - Mhs.ybs.



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap	: NUR AHMAD FADIL
Tempat/Tgl. Lahir	: MEDAN / 24 November 1994
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1614370859
Program Studi	: Sistem Komputer
Konsentrasi	: Sistem Kendali Komputer
Jumlah Kredit yang telah dicapai	: 155 SKS, IPK 3.50
Nomor Hp	: 085277129641
Dengan ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut	:

No.	Judul
1.	Implementasi Sistem Kendali PID (Proportional, Integrative, Derivative) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler

Catatan : Diisi Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

*Coret Yang Tidak Perlu

Rektor I,

(Cahyo Pramono, S.E., M.M.)

Medan, 07 Maret 2021

Pemohon,

(Nur Ahmad Fadil)

Tanggal :

Disahkan oleh :

Dekan

(Hamdani, ST., MT.)

Tanggal :

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I :

(SRI WAHYUNI, S.Kom., M.Kom)

Tanggal :

Disetujui oleh :

Ka. Prodi Sistem Komputer

(Eko Hariyanto, S.Kom., M.Kom)

Tanggal :

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing II :

(Ranti Eka Putri, S.Kom., M.Kom)

ABSTRAK

NUR AHMAD FADIL

**Implementasi Sistem Kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*)
Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler
2021**

Gimbal Kamera adalah sebuah alat yang dirancang untuk dudukkan kamera dengan kemampuan dapat mempertahankan keseimbangan pada kamera untuk menghasilkan foto ataupun video tanpa terpengaruh oleh kemiringan atau guncangan yang terjadi sewaktu pengambilan gambar atau video berlangsung. Gimbal kamera yang dirancang dapat bergerak pada porosnya dengan dua buah sumbu dengan menyesuaikan orientasi pergerakan ketika terjadi perubahan. Dengan memanfaatkan dua buah motor servo yang terpasang berlawanan arah untuk menghasilkan pergerakan *pitch* dan *roll*, pergerakan kamera yang diletakkan pada gimbal kamera dapat dipertahankan kestabilannya. Untuk menghasilkan gerakan yang halus, ditambahkan sistem kendali PID (*proportional, integrative, derivative*) yang tujuannya adalah memperbaiki titik kemiringan yang didapat dengan menggunakan sensor MPU6050+GY521 (*accelerometer, gyroscope*). Nilai error tersebut akan dikurangi sedikit demi sedikit hingga mencapai nilai 0 atau titik seimbang sehingga jika terlihat pada pergerakan motor servo yang digunakan, pergerakan menuju titik seimbang akan perlahan-lahan sehingga tidak merusak gambar atau video yang dihasilkan. Pemrosesan pada sistem ditanamkan pada sebuah mikrokontroler ATmega 328P yang dikemas dengan sebutan Arduino Uno.

Kata kunci : Arduino Uno, Gimbal Kamera, Motor Servo, PID, *Pitch, Roll*, Sensor *MPU6050+GY521*.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Tugas Akhir ini yang berjudul “**Implementasi Sistem Kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler**” yang merupakan syarat dalam rangka menyelesaikan studi untuk menempuh gelar Sarjana Komputer di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, hal itu disadari karena keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang dimiliki penulis. Besar harapan penulis, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pihak lain pada umumnya. Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat pelajaran, dukungan motivasi, bantuan berupa bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak mulai dari pelaksanaan hingga penyusunan tugas akhir ini.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung selama penyusunan tugas akhir ini:

1. Ayahanda Irwansyah dan Ibunda SD Sa'diah yang sangat penulis sayangi dan cintai yang tiada henti selalu mendoakan serta memberikan kasih sayang, semangat, dukungan moril maupun materil kepada penulis.
2. Bapak Dr. H. Muhammad Isa Indrawan, SE., MM selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Bapak Cahyo Pramono, S.E., M.M selaku Rektor I Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Hamdani, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
5. Bapak Eko Hariyanto, S.Kom., M.Kom selaku Ketua Program Studi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
6. Ibu Sri Wahyuni, S.Kom., M.Kom selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan serta saran kepada penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini berjalan dengan baik.
7. Ibu Ranti Eka Putri, S.Kom., M.Kom, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan serta saran kepada penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini berjalan dengan baik.
8. Kakak dan adik tersayang Maya Fadillah Husna dan Arifin Ilham yang telah memberikan doa, bantuan, dan semangat kepada penulis.
9. Siti Maharani Damanik yang telah memberikan doa, dukungan, semangat serta waktunya menemani untuk berjuang bersama dalam menyelesaikan studi ini.
10. Teman-teman di Fakultas Sains dan Teknologi yang tidak dapat disebut namanya satu persatu yang telah banyak membantu menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga amal baik semua pihak mendapat balasan yang berlipat ganda dari sang pencipta yang pengasih dan penyayang Allah SWT. Amin.

Medan, 24 Januari 2021

Penulis



Nur Ahmad Fadil
1614370859

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Sistem Kendali	6
2.2 Sistem Kontrol	6
2.3 Sistem Kendali PID (<i>Proportional, Integrative, Derivative</i>)	7
2.3.1 Pengendali <i>Proportional</i> (P)	8
2.3.2 Pengendali <i>Integrative</i> (I)	8
2.3.3 Pengendali <i>Derivative</i> (D)	9
2.4 <i>Pulse-Width Modulation</i> (PWM) Sebagai Dasar Kontrol Sistem	10
2.5 <i>Accelerometer</i>	13
2.6 <i>Gyroscope</i>	13
2.7 Kombinasi <i>Accelerometer</i> dan <i>Gyroscope</i>	14
2.8 <i>Arduino Pro Mini</i>	16
2.9 Pengertian <i>Power Supply</i>	19
2.10 Motor Servo	20
2.11 <i>Renbotics Servo Shield</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis dan Metodologi Penelitian	23
3.2 Gimbal Kamera	27
3.3 Perancangan <i>Hardware</i>	28
3.4 Sistem Kendali PID pada Gimbal Kamera	30
3.5 Analisa Kebutuhan Sistem	31
3.5.1 Kebutuhan Fungsional Sistem	31
3.5.2 Kebutuhan Nonfungsional Sistem	32
3.6 Perancangan <i>Software</i>	31

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Spesifikasi Minimum <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	35
4.1.1	Spesifikasi Minimum <i>Hardware</i>	35
4.1.2	Spesifikasi Minimum <i>Software</i>	35
4.2	Pengujian <i>Hardware</i>	36
4.2.1	Pengujian <i>Power Supply</i>	36
4.2.2	Pengujian Rangkaian	40
4.2.3	Pengujian pada Mikrokontroler Arduino Uno	41
4.2.4	Pengujian Sensor <i>Accelerometer</i> dan <i>Gyroscope</i> MPU6050 +GY521	43
4.2.5	Pengujian Motor Servo Menggunakan <i>Servo Shield Renbotics</i>	45
4.2.6	Pengujian Sistem Kendali PID (<i>Proportional, Integrative, Derivative</i>)	46
4.3	Pengujian Secara Keseluruhan	52

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	56
5.2	Saran	57

DAFTAR PUSTAKA**BIOGRAFI PENULIS****LAMPIRAN-LAMPIRAN**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Segala aspek kehidupan manusia pada saat ini banyak dipengaruhi oleh perkembangan teknologi yang semakin maju dan pesat yang salah satunya adalah kemajuan teknologi pada kamera. Kemajuan teknologi kamera saat ini salah satunya terdapat pada *Optical Image Stabilizer (OIS)*, akan tetapi teknologi *OIS* pun masih kurang cukup untuk menghasilkan video yang presisi atau tidak miring, untuk itu dibutuhkan *stabilizer* untuk mengatasinya. Gimbal berfungsi untuk mempertahankan sudut pandang kamera pada arah tertentu. Gimbal sangat cocok jika digunakan pada sistem yang umum dipakai pada kamera. Sistem kamera sering disebut dengan *Pan Tilt Zoom (PTZ)*. *Pan* merupakan pengendalian sumbu *yaw* kamera. *Tilt* merupakan pengendalian kemiringan kamera baik berupa sumbu *pitch* maupun *roll*. *Zoom* merupakan pengendalian perbesaran gambar pada kamera. Pada sistem PTZ, gimbal digunakan untuk menggerakkan kamera pada sudut *pitch*, *roll*, dan *yaw*, sehingga kamera dapat mempertahankan sudut pandang.

Untuk membantu dalam mempertahankan sudut pandang pergerakan kamera, serta meningkatkan akurasi dan meminimalkan *error* pada aktuator (penggerak), digunakan sebuah metode pengontrol cerdas PID. PID biasa disebut pengendali tiga tingkat yang terdiri dari *proportional*, *integrative*, *derivative*. Dalam menentukan nilai PID bergantung pada jenis *plant* yang digunakan, dimana *plant* merupakan perangkat keras yang dikontrol. Misal pada motor servo,

perbedaan jenis motor servo juga sangat mempengaruhi nilai PID untuk mendapatkan hasil akurasi yang terbaik dan meminimalkan *error*. Salah satu cara yang sering digunakan untuk mendapatkan nilai PID terbaik adalah menggunakan metode *trial and error* dengan mengubah-ubah nilai PID pada *coding* dan dicoba pada *hardware* hingga mendapatkan hasil yang terbaik. Dari berbagai riset mengenai PID ini yang paling mempengaruhi adalah jenis *plant*. Selain jenis *plant* yang digunakan, mikrokontroler juga dapat mempengaruhi nilai PID dengan mengesampingkan berbagai macam kebutuhan sistem terhadap mikrokontroler. Tiap mikrokontroler memiliki kecepatan proses, cara memproses *coding* dan juga pin-pin yang berbeda.

Dalam penelitian ini dilakukan perancangan yang mengimplementasikan sistem kontrol PID pada *stabilizer* gimbale kamera sebagai pengontrol. Untuk mendapatkan nilai kemiringan yang nantinya akan menjadi nilai *error* yang akan diproses, digunakan sebuah sensor *gyroscope* dan *accelerometer*. Dimana terdapat juga motor servo sebagai penggerak untuk sudut masing-masing *axis* yaitu *pitch* dan *roll*. Untuk itu penelitian ini saya beri judul **“IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI PID (*PROPORTIONAL, INTEGRATIVE, DERIVATIVE*) UNTUK KESEIMBANGAN GIMBAL KAMERA BERBASIS MIKROKONTROLER”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang gimbal kamera yang nantinya akan diberi motor servo untuk penggerak keseimbangan pada kamera.
2. Bagaimana memilih dan menggunakan sensor yang dapat digunakan sebagai pengukur kemiringan pada gimbal kamera
3. Bagaimana menerapkan sistem kendali PID (*proportional, integrative, derivative*) yang dapat mengontrol motor servo berdasarkan nilai yang diperoleh dari sensor *gyroscope* dan *accelerometer*.
4. Bagaimana membuat program yang dapat mengontrol kinerja kerja dari sistem yang dirancang.
5. Bagaimana mengukur tingkat akurasi atau titik keseimbangan dari sistem yang dirancang.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari penyimpangan pembahasan dari tujuan penelitian ini, maka perlu diambil beberapa batasan masalah, yaitu :

1. Sistem yang dirancang hanya menggunakan mikrokontroler bawaan Arduino Pro mini yang berbasis mikrokontroler ATmega328P.
2. Sensor *gyroscope* dan *accelerometer* menggunakan sensor GY-521 + MPU6050 dimana telah memiliki *gyroscope* dan *accelerometer* dalam 1 *chip*.
3. Bahasa pemrograman yang digunakan menerapkan sistem kendali PID menggunakan bahasa C berbasis arduino IDE.

4. Sistem ini hanya bekerja untuk menyeimbangkan 2 *axis* sudut yaitu *pitch* dan *roll*.
5. Kamera yang digunakan adalah *action camera* atau dapat juga menggunakan kamera dengan fisik yang kecil dan lebih ringan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Merancang sebuah sistem yang dapat mengukur serta menjaga keseimbangan dari kamera sewaktu pengambilan gambar.
2. Menggunakan sistem kerja sensor *gyroscope* dan *accelerometer* untuk mengukur kemiringan pada gimbal kamera.
3. Menggunakan sistem kendali PID (*proportional, integrative, derivative*) untuk mengontrol motor servo berdasarkan nilai yang diperoleh dari sensor *gyroscope* dan *accelerometer* yang digunakan untuk perancangan.
4. Membuat bahasa pemrograman yang dapat mengontrol sistem dengan mengimplementasikan sistem kendali PID (*proportional, integrative, derivative*) menggunakan Compiler *Arduino IDE (Integrated Development Environment)*.
5. Mengetahui lebih jauh tingkat akurasi atau pengukuran titik keseimbangan dari sistem yang akan dirancang.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Untuk penulis :

Penambah wawasan dan meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam memahami sistem kendali dan melakukan perancangan sistem menggunakan mikrokontroler dan komponen elektronika dikawasan mahasiswa jurusan teknik informatika komputer dan *embedded system*.

2. Untuk pengguna

Manfaat untuk pengguna yakni berfungsi sebagai penstabil pada gimbal (dudukan) kamera yang akan menjaga posisi kamera tetap datar dengan kendali yang lebih lembut untuk pengambilan gambar yang lebih baik.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Kendali

Sistem kendali dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem yang akan menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu sistem fisis, yang biasa disebut dengan kendalian (*plant*). Masukan dan keluaran merupakan variabel atau besaran fisis. Keluaran merupakan hal yang dihasilkan; sedangkan masukan adalah yang mempengaruhi kendalian, yang mengatur keluaran. Kedua dimensi masukan dan keluaran tidak harus sama.

Pada sistem kendali dikenal sistem lup terbuka (*open loop system*) dan sistem lup tertutup (*closed loop system*). Sistem kendali lup terbuka atau umpan maju (*feed forward control*) umumnya mempergunakan pengatur (*controller*) serta aktuator kendali (*control actuator*) yang berguna untuk memperoleh respon sistem yang baik. Sistem kendali ini keluarannya tidak diperhitungkan ulang oleh *controller*. Suatu keadaan apakah plant benar – benar telah mencapai target seperti yang dikehendaki masukan atau referensi tidak dapat mempengaruhi kinerja kontroler (Haris Abdul, 2014).

2.2 Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah proses pengaturan ataupun pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (*variabel, parameter*) sehingga berada pada suatu harga atau dalam suatu rangkuman harga (*range*) tertentu. Didalam dunia industri,

dituntut suatu proses kerja yang aman dan berefisiensi tinggi untuk menghasilkan produk dengan kualitas dan kuantitas yang baik serta dengan waktu yang telah ditentukan. Otomatisasi sangat membantu dalam hal kelancaran operasional, keamanan (investasi, lingkungan), (biaya produksi), mutu produk, dan lain-lain (Faroqi et al., 2016).

2.3 Sistem Kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*)

Kontrol PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) merupakan salah satu kontrol yang banyak digunakan terutama dalam industri proses. Didalam kontrol PID terdapat 3 macam kontrol yaitu *proportional*, *integrative*, dan *derivative* yang hasilnya akan dijumlahkan untuk mendapatkan hasil kontrol yang lebih baik. Masing-masing dari ke 3 kontrol tersebut mempunyai kelebihan masing-masing, dimana aksi kontrol proporsional mempunyai keunggulan *rise time* yang cepat, aksi kontrol integral memiliki kelebihan memperkecil *error*, dan aksi kontrol derivatif mempunyai keunggulan untuk memperkecil *error* dan meredam *overshoot/undershoot*. Untuk itu agar dapat menghasilkan *output* dan *risetime* yang cepat dan *error* yang kecil, maka ketiga kontrol dapat digabungkan. Persamaan dibawah merupakan rumus yang umum digunakan dalam matematis mencari parameter PID.

$$P_{out} = K_p e(t) \dots \dots \dots (2.1)$$

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t) dt \dots \dots \dots (2.2)$$

$$D_{out} = K_d \frac{d}{dt} e(t) \dots \dots \dots (2.3)$$

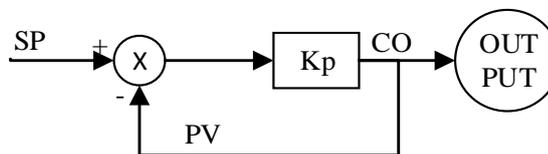
$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{d}{dt} e(t) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :	P_{out} = Proporsional	K_i = konstanta integral
	D_{out} = Derivatif	I_{out} = Integral
	K_p = konstanta Proporsional	e = <i>error</i>
	K_d = konstanta derivatif	t = waktu

2.3.1 Pengendali *Proportional* (P)

Aksi pengendali proporsional memiliki respon keluaran yang sebanding dengan sinyal kesalahan (*error*) yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan perumusan dibawah ini : $CO(t) = K_p e(t)$

Dimana, proporsional respon dapat disesuaikan dengan mengalikan sinyal kesalahan (*error*) terhadap K_p , atau yang disebut dengan proporsional gain. Berikut gambar yang memperlihatkan diagram blok proporsional.



Gambar 2.1 Pengendali *Proportional*
Sumber: (Wescott & Services, 2016)

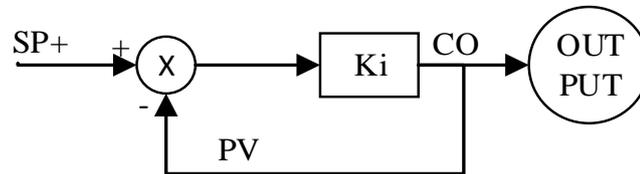
2.3.2 Pengendali *Integrative* (I)

Pengendali *Integral* digunakan untuk menghilangkan *offset* pada keadaan tunak. *Offset* biasanya terjadi pada *plant* yang tidak mempunyai faktor integrasi (1/s). berikut ini adalah perumusan pengendali *integral* :

$$CO(t) = K_i \int e(t) dt$$

Disamping menghilangkan sinyal kesalahan keadaan tunak (*offset*), ada kemungkinan pengendali *integral* dapat menimbulkan respon yang berisolasi

dengan amplitudo yang mengecil secara perlahan atau bahkan amplitudo yang membesar. Berikut gambar diagram blok pengendali integral :



Gambar 2.2 Pengendali *Integrative*

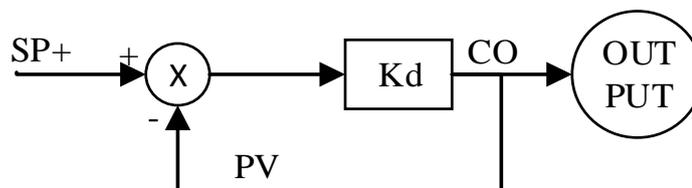
Sumber: (Wescott & Services, 2016)

2.3.3 Pengendali *Derivative* (D)

Fungsi pengendali *derivative* adalah untuk memprediksi nilai yang akan datang dari kendali sinyal kesalahan (*error*). Berikut ini perumusan pengendali *derivative* :

$$CO(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

Perumusan terdapat pada pengendali *derivative* ini dihasilkan dari diffrensial atau turunan proses sinyal kesalahan (*error*) yang dijumlahkan dengan menentukan kemiringan sinyal kesalahan dari waktu ke waktu dan mengalikan laju perubahan dengan penguat (*gain*) *derivative* (K_d). Berikut gambar diagram blok pengendali *derivative* :



Gambar 2.3 Pengendali *Derivative*

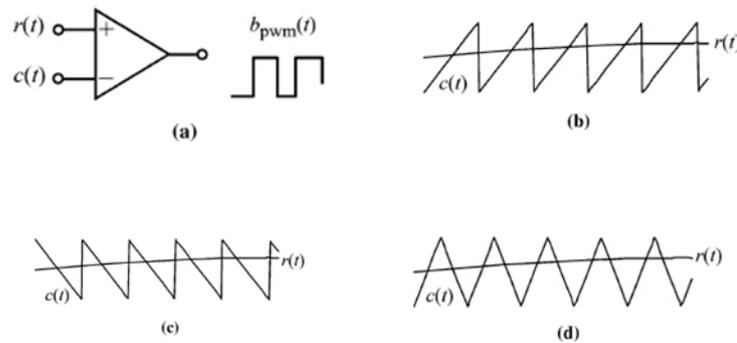
Sumber: (Wescott & Services, 2016)

2.4 *Pulse-Width Modulation* (PWM) Sebagai Dasar Kontrol Sistem

Pulse-Width Modulation (PWM) adalah dasar dari kontrol dalam elektronika daya maupun elektronika kontrol. Secara teoritis naik dan turunnya gelombang pulsa adalah cara yang ideal yang dapat digunakan untuk menggerakkan perangkat daya semikonduktor moderen. Dengan pengecualian pada beberapa *converter* resonansi, sebagian besar rangkaian elektronik daya dikendalikan oleh sinyal PWM dari berbagai bentuk. Tepi naik dan turun yang cepat memastikan bahwa perangkat daya semikonduktor dimatikan atau dihidupkan secepat mungkin untuk meminimalkan waktu transisi *switching* dan kerugian *switching* terkait. Meskipun dalam penerapan yang lain, seperti adanya *noise* dan gangguan elektronik yang lain, dapat memaksakan batas atas pada kecepatan nyala dan mati dalam situasi praktis, kenaikan waktu turun dan turun yang dihasilkan dapat diabaikan dalam analisis PWM sinyal dan proses dalam banyak kasus. Karenanya hanya PWM yang ideal dengan naik turunnya waktu yang akan digunakan pada penelitian ini. *Pulse Width Modulation* (PWM) dapat berbentuk berbeda. Frekuensi merupakan salah satu yang paling penting saat mendefenisikan metode PWM dan dapat menjadi salah satu bentuk konstan atau variable. Sinyal PWM frekuensi konstan atau *A constan-frequency* (CF) dapat diproduksi dengan sederhana hanya dengan membandingkan sinyal referensi, $r(t)$ dengan sinyal pembawa, $c(t)$, seperti yang digambarkan dalam gambar 2.4. Keluaran PWM biner dapat ditulis secara matematis seperti berikut :

$$b_{pwm}(t) = \text{sgn} [r(t) - c(t)]$$

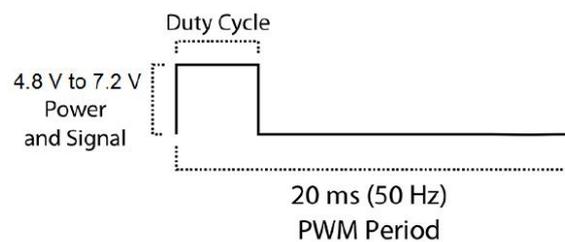
Dimana *sgn* merupakan fungsi tanda.



Gambar 2.4 PWM Frekuensi Konstan yang Diimplementasikan dengan Pembandingan Sinyal (*comparator*) yang berbeda
Sumber: (Jian Sun, 2012)

1. Sinyal gigi gergaji diperlihatkan pada gambar 2.4b dengan tepi naik dari keluaran PWM yang terjadi pada waktu instans tetap dalam waktu sementara posisi tepi menurun (jatuh) dimodulasi karena tingkat sinyal referensi bervariasi. Metode ini sering juga disebut modulasi *constant-frequency trailing-edge*.
2. Inversi sinyal gigi gergaji diperlihatkan pada gambar 2.4c dengan tepi jatuh dari keluaran PWM yang terjadi pada instans tetap dalam waktu sementara posisi tepi (naik) terdepan dimodulasi karena level sinyal referensi bervariasi. Metode ini biasanya disebut dengan *constant-frequency leading-edge*.
3. Sinyal segitiga diperlihatkan pada gambar 2.4d baik *edge* terdepan dan *edge trailing* dari keluaran PWM dimodulasi. Tepi naik dan turun segitiga biasanya simetris sehingga denyut nadi terpusat dalam siklus pembawa ketika referensi adalah konstan. Metode ini disebut modulasi *constant-frequency double-edge*.

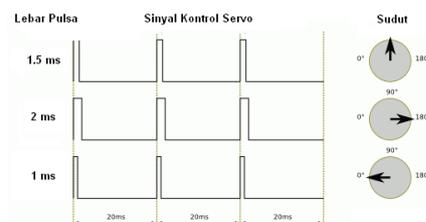
Pada penelitian ini, PWM (*Pulse width Modulation*) merupakan dasar dari perintah untuk menggerakkan aktuator yang dalam hal ini menggunakan motor-motor servo yang terhubung pada setiap sendi dari robot lengan. PWM merupakan acuan nilai yang akan diberikan ataupun dihasilkan nantinya dalam menerapkan dasar sistem pengaturan *invers kinematics*, dan PID (*Proportional, Integrative, Derivative*). Dengan kata lain, nilai dari PWM yang akan diolah untuk menentukan gerak dan keseimbangan dari penelitian yang akan dikerjakan.



Gambar 2.5 PWM yang Digunakan Pada Motor Servo

Sumber: (TowerPro, 2018)

Pada motor servo, PWM yang biasanya digunakan untuk mengontrol motor servo memiliki frekuensi sebesar 50 Hz. Dimana untuk kondisi OFF atau logika 0 tetap pada *delay* 20 ms. Untuk menggerakkan motor servo pada posisi 0 derajat biasanya diberikan pulsa ON atau logika 1 selama 1 ms, untuk sudut 90 derajat diberikan pulsa 1.5 ms, dan untuk posisi 180 derajat diberikan pulsa 2 ms, seperti terlihat pada gambar dibawah :



Gambar 2.6 Pulsa Yang Diberikan Untuk Menentukan Sudut Motor Servo

Sumber: (<https://www.robotics.ui.ac.id>)

2.5 *Accelerometer*

Accelerometer berfungsi sebagai sensor yang dapat mengukur percepatan, mendeteksi getaran, dan dapat juga digunakan untuk mengukur percepatan gravitasi. Pendeteksian gerakan berdasarkan pada 3 sumbu yaitu kanan-kiri, atas-bawah, depan-belakang. Sensor ini biasanya digunakan untuk mengukur kecepatan mesin berputar, mengukur getaran yang dihasilkan mesin, getaran pada bangunan dan kecepatan yang disertai dengan pengaruh gravitasi bumi (gempa bumi). Contoh lain penggunaan sensor accelerometer adalah sebagai *gadget* elektronik yang biasanya terdapat pada *smartphone*, *safety installation* pada kendaraan.

Prinsip kerja *accelerometer* berdasarkan pada medan magnet yang digerakkan pada sebuah konduktor atau konduktor yang digerakkan pada medan magnet maka akan timbul induksi elektromagnetik pada konduktor tersebut.

2.6 *Gyroscope*

Sensor *gyroscope* memiliki fungsi untuk mengidentifikasi gerakan berputar atau mengukur orientasi pergerakan suatu benda dan gravitasi bumi. Sering juga digunakan untuk menentukan arah gerak yang terdapat pada sebuah *smartphone*. Pada penggunaan lain, *Gyroscope* juga sering dimanfaatkan dalam dunia *aerodinamika* hobi maupun pesawat terbang sesungguhnya untuk mempertahankan keseimbangan dengan menentukan kemiringan pada ruang 3 dimensi. Data Luaran yang dapat dihasilkan pada sensor *gyroscope* adalah sebuah percepatan sudut yang berada pada sumbu x dan menjadi phi (Φ), pada sumbu y menjadi theta (θ), dan

pada sumbu z menjadi psi (Ψ). Sudut *Roll* adalah sudut kemiringan yang mengelilingi sumbu x . Sudut *Pitch* adalah sudut kemiringan yang mengelilingi sumbu y . Sementara sudut *Yaw* adalah sudut kemiringan yang mengelilingi sumbu z . pada penelitian ini, data pengukuran yang digunakan adalah pengukuran sudut *pitch* dan *roll* dikarenakan data yang didapatkan lebih stabil dibandingkan dengan pengukuran sudut x , y , dan z . Agar dapat digunakan dengan baik sensor *gyroscope* pertama sekali harus dikalibrasi terlebih dahulu menggunakan bandul maupun alat bantu kalibrasi yang dapat menentukan nilai faktor.

Untuk dapat menggunakan sensor *gyroscope* yang digabungkan dengan mikrokontroler biasanya menggunakan Port ADC atau *channel* analog yang terdapat pada mikrokontroler. Nilai keluaran analog dari PORT ADC akan diubah kedalam satuan *radian/second* (rad/s) kemudian akan diubah kembali menjadi *degree/second* (deg/s) atau dapat juga memanfaatkan salah satu nilai keluarannya.

2.7 Kombinasi Accelerometer dan Gyroscope

Sebuah sensor *accelerometer* yang digunakan ternyata belum cukup untuk memberikan data yang akurat. Kelemahan sensor *accelerometer* yang memiliki respon yang lambat menjadi sebuah acuan dimana untuk dapat memaksimalkan kinerja sensor *accelerometer* harus dikombinasikan dengan sensor *gyroscope*. Dengan menggunakan kombinasi dari kedua sensor pada sebuah sistem maka sensor *accelerometer* dapat melakukan pengukuran sudut pada saat sistem berada pada kondisi diam (*stay*). Sedangkan pada saat sistem berotasi atau bergerak *accelerometer* tidak bisa bekerja secara maksimal karena memiliki respon yang

lambat. Oleh sebab itu maka *accelerometer* dan *gyroscope* dikombinasikan karena sensor *gyroscope* dapat membaca kecepatan sudut pada saat sistem bergerak maupun dengan kecepatan. Namun sensor *gyroscope* juga memiliki kelemahan untuk membaca proses perpindahan sistem dengan kecepatan sudut dalam jangka waktu yang panjang menjadi tidak efisien dan akurat karena efek bias atau *noise* yang dihasilkan oleh *gyroscope*.

Contoh penggunaan kombinasi *accelerometer* dan *gyroscope* dalam aplikasi *gadget* yaitu pada perangkat *iPhone* yang menggabungkan 2 sensor tersebut. Hal tersebut sangat efisien dan memberikan kenyamanan kepada para pengguna dalam hal mendeteksi sensitivitas gerakan maupun lokasi. Dari kombinasi *accelerometer* dan *gyroscope* dihasilkan 6 sumbu pendeteksian yaitu melalui 3 sumbu rotasi (x,y,z) dan 3 sumbu linier (atas-bawah, kanan-kiri, depan-belakang). Luaran yang dihasilkan dari penggabungan sensor ini berupa *image* yang sangat detail dan halus gerakannya dibandingkan dengan *smartphone* yang hanya menggunakan sensor *accelerometer*.

Salah satu *chip* yang mengkombinasikan *accelerometer* dan *gyroscope* adalah IC MPU 6050. MPU6050 merupakan kombinasi sensor antara *accelerometer* dan *gyroscope* meskipun pada dasarnya terdapat sensor *temperature* untuk mengukur suhu. Akses untuk menggunakan sensor ini menggunakan fitur komunikasi I2c mikrokontroler. Bentuk fisik dari IC MPU6050 dapat dilihat pada gambar :



Gambar 2.7 IC MPU 6050

Sumber: (<https://www.alldatasheet.com>)

Adapun fitur-fitur MPU6050 ini antara lain :

1. Sensitifitas *Accelerometer* yang dapat dipilih mulai 2/4/8 sampai 16 g.
2. Sensitifitas *Gyroscope* yang dapat dipilih mulai 250/500/1000 sampai 2000 *degree/s*.
3. Range 16 bit untuk kedua sensor.
4. Sensitifitas percepatan linier dari *Gyroscope* 0,1 derajat/s.

Data rate output hingga 1000Hz, dilengkapi digital *lowpassfilter* dan memiliki frekuensi sudut maksimum 256Hz.

2.8 *Arduino Pro Mini*

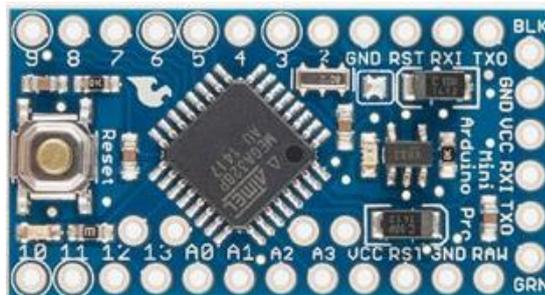
Arduino Pro Mini merupakan sebuah terobosan yang dikeluarkan oleh sebuah perusahaan pembuat mikrokontroler ATMEL yang didesain agar lebih mudah digunakan. *Arduino* merupakan sebuah *platform hardware open source* yang mempunyai *input/output (I/O)* yang sederhana. Menggunakan *Arduino* sangatlah membantu dalam membuat suatu *prototyping* ataupun untuk melakukan pembuatan proyek. *Arduino* memberikan I/O yang sudah lengkap dan bisa

digunakan dengan mudah. Arduino dapat digabungkan dengan modul elektro yang lain sehingga proses perakitan jauh lebih efisien.

Arduino merupakan salah satu pengembang yang telah banyak digunakan. Keistimewaan Arduino adalah *Hardware yang open source*. Hal ini sangatlah memberi keleluasan bagi orang untuk bereksperimen secara bebas dan gratis. Secara umum, Arduino terdiri atas dua bagian utama, yaitu :

1. Bagian *Hardware*

Berupa papan yang berisi I/O, seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.8 Board Arduino Pro Mini

Sumber: (<https://www.arduino.cc>)

2. Bagian *Software*

Berupa *software* Arduino yang meliputi *Integrated Development Environment (IDE)* untuk menulis program. Arduino memerlukan instalasi *driver* untuk menghubungkan dengan komputer. Pada IDE terdapat contoh program dan *library* untuk pengembangan program. IDE *software* Arduino yang digunakan diberi nama *sketch*. Seperti gambar dibawah :



Gambar 2.9 Arduino IDE versi 1.8.5

Sumber: (<https://www.arduino.cc>)

2.8.1 Bahasa Pemrograman C

Bahasa C adalah Bahasa pemrograman yang dapat dikatakan berada diantara bahasa tingkat rendah (bahasa yang berorientasi pada mesin) dan bahasa tingkat tinggi (bahasa yang berorientasi pada manusia). Seperti yang diketahui, bahasa tingkat tinggi mempunyai kompatibilitas antara *platform*.

Pembuat bahasa C adalah Brian W. Kernighan dan Dennis M. Ritchie pada tahun 1972. C adalah bahasa pemrograman terstruktur, yang membagi program dalam bentuk blok. Tujuannya untuk memudahkan dalam pembuatan dan pengembangan program. Program yang ditulis dengan bahasa C mudah sekali dipindahkan dari satu jenis program ke bahasa program lain. Hal ini karena adanya standarisasi bahasa C yaitu berupa ANSI (*American National Standar Institut*) yang dijadikan acuan oleh pada pembuat kompiler jenis mesin.

Adapun kelebihan lain dari Bahasa C ialah :

1. Bahasa C tersedia hampir di semua jenis komputer.

2. Kode bahasa C sifatnya adalah *portable* dan *fleksibel* untuk semua jenis komputer.
3. Bahasa C hanya menyediakan sedikit kata-kata kunci. Hanya terdapat 32 kata kunci.
4. Proses *executable* program bahasa C lebih cepat.
5. Dukungan pustaka yang banyak.
6. C adalah bahasa yang terstruktur.
7. Bahasa C termasuk bahasa tingkat menengah.

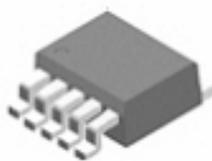
Penempatan ini hanya menegaskan bahwa C bukan bahasa pemrograman yang berorientasi pada mesin yang merupakan ciri bahasa tingkat rendah, melainkan berorientasi pada objek tetapi dapat diinterpretasikan oleh mesin dengan cepat, secepat bahasa mesin. Inilah salah satu kelebihan C yaitu memiliki kemudahan dalam menyusun programnya semudah bahasa tingkat tinggi namun dalam mengeksekusi program secepat bahasa tingkat rendah. Namun bahasa C juga mempunyai kekurangan yaitu :

1. Banyaknya operator serta fleksibilitas penulisan program kadang-kadang membingungkan pemakai.
2. Bagi pemula pada umumnya akan kesulitan menggunakan *pointer*.

2.9 Pengertian Power Supply

Power supply atau sumber tegangan/catu daya adalah suatu alat atau sistem yang dapat menghasilkan energi listrik salah satu sumber tegangan/catu daya yaitu *Module DC to DC Step Down LM2596*. Modul *DC to DC Step Down* adalah modul

penurun tegangan DC ke DC yang bekerja pada frekuensi 300Khz. Modul ini mampu melewatkan arus beban hingga maksimal 3 Ampere dengan efisiensi yang tinggi, *noise* yang rendah, serta pengaturan saluran beban keluaran yang sangat baik. Modul LM2596 tidak memerlukan komponen pendukung yang banyak, mudah digunakan dan termasuk kompensasi frekuensi internal dan osilator frekuensi yang tetap.



TO263-5L

Gambar 2.10 IC LM2596

Sumber: (<https://www.alldatasheet.com>)

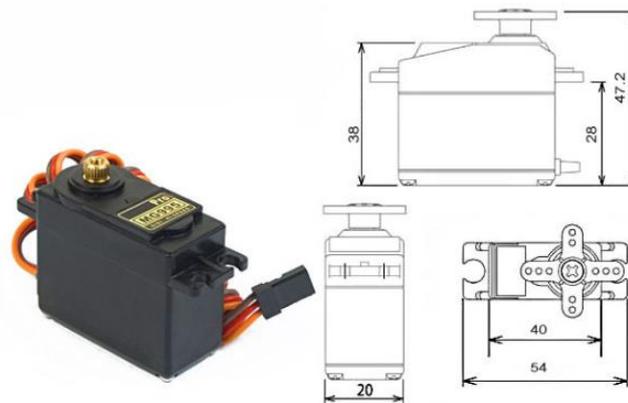
2.10 Motor Servo

Motor servo merupakan motor yang digunakan sebagai sumber bergerak dalam sistem servo, dengan umpan balik (*feedback*) berupa posisi dan kecepatan untuk setiap aksi pengontrolan. Motor servo dapat bekerja dengan tepat mengikuti instruksi yang diberikan, meliputi posisi dan kecepatan dengan karakteristik sebagai berikut :

1. Berputar dengan mantap pada daerah kecepatan yang diberikan.
2. Mengubah kecepatan dengan cepat, dan membangkitkan torka yang besar dari ukuran yang kecil.

Motor servo dengan tipe MG90S merupakan salah satu motor servo yang berukuran kecil tetapi dengan daya tahan dan sistem kerja yang sama dengan jenis

servo yang sesungguhnya. Jenis servo ini dipilih untuk menggerakkan tiap joint robot lengan yang cocok digunakan sebagai manipulator.



Gambar 2.11 Motor Servo Tower Pro MG995

Sumber: (<https://www.alldatasheet.com>)

Adapun spesifikasi motor servo Tower Pro SG90 adalah sebagai berikut :

1. Memiliki berat 13.4 gram
2. Dimensi : 22.5 x 12 x 35.5 mm approx.
3. Stall torque : 1.8 kgf*cm (4.8V), 2.2 kgf (6V)
4. Kecepatan operasional : 0.1 s/60 degree (4.8V), 0.08 s/60 degree (6V)
5. Tegangan operasional : 4.8V – 6.0V
6. *Dead band width* : 5 μ s. Untuk memberhentikan motor servo diberi pulsa sebesar 5 μ s.
7. Dapat bergerak minimal 0 derajat sampai 180 derajat.

2.11 *Renbotics Servo Shield*

Renbotics Servo Shield adalah sebuah modul yang cocok digunakan dengan arduino dan memungkinkan untuk menggerakkan hingga 16 motor servo secara bersamaan. Modul ini menggunakan 2 buah IC *decade counters* 4017 (dalam

penelitian hanya digunakan 1 buah IC) dan hanya menggunakan 4 pin digital dari arduino untuk mengontrol kerja dari IC 4017. Menggunakan mode timer 8 bit (timer 2) dalam mode standart atau dua 16/8 bit (timer 1 dan timer 2 untuk papan arduino duemilanove atau timer 3 untuk arduino mega).

Penggunaan modul *renbotics servo shield* dipilih selain dapat mengontrol lebih banyak motor servo juga dikarenakan kesesuaian *library* yang dibuat dan memungkinkan penggunaan data *decimal* maupun *float* dalam satuan ms (micro seconds) untuk mengontrol posisi motor servo yang memudahkan dalam pengkonversian tipe data *integer* ke *float* maupun tipe data *long* yang nantinya digunakan dalam perhitungan PID (*Proportional, Integrative, Derivative*). Modul *renbotics servo shield standart* dapat terlihat pada gambar dibawah :

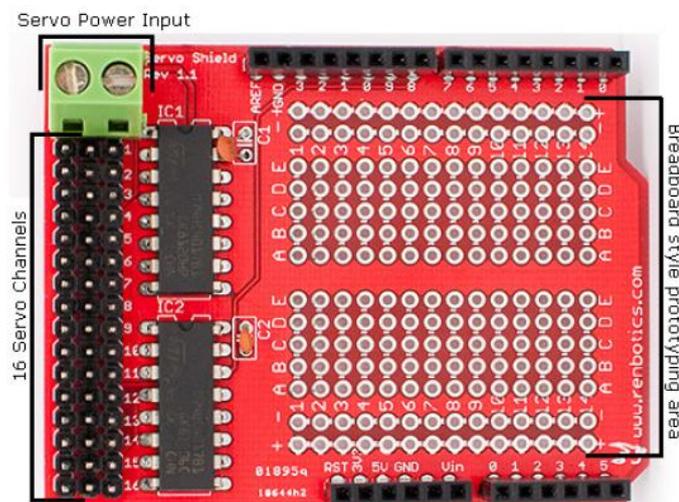


Image 1: Renbotics Servo Shield Overview

Gambar 2.12 Renbotics Servo Shield Standart

Sumber: (<https://www.alldatasheet.com>)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Metodologi Penelitian

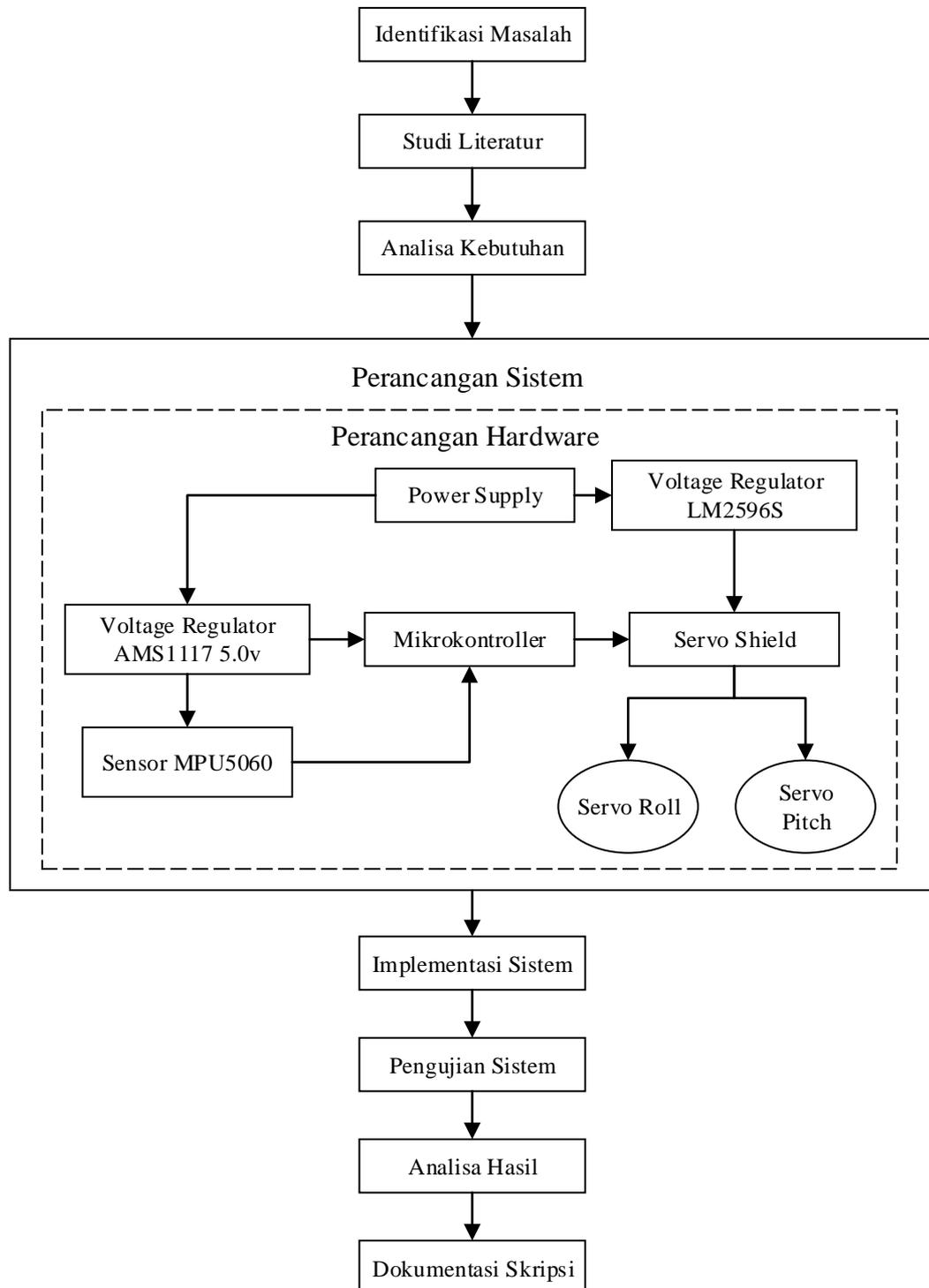
Jenis penelitian yang digunakan dalam penulisan skripsi ini adalah penelitian experimental (*Experimental Research*). Penelitian eksperimental adalah jenis penelitian yang digunakan untuk melihat hubungan sebab-akibat. Penelitian eksperimental merupakan kegiatan penelitian yang bertujuan untuk menilai pengaruh suatu perlakuan atau tindakan dibandingkan dengan tindakan lain.

Penelitian eksperimental menggunakan suatu percobaan yang dirancang secara khusus guna membangkitkan data yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Penelitian eksperimental dilakukan secara sistematis, logis, dan teliti didalam melakukan kontrol terhadap kondisi.

Pada penelitian ini dilakukan penghubungan komponen alat-alat yang berbeda karakteristik. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari sesuatu dengan memvariasikan beberapa kondisi dan mengamati efek yang akan terjadi.

Penelitian ini ditunjang dengan studi literatur (*literature research*), yaitu dengan membaca dan mempelajari literatur tentang bagaimana merancang Gimbal Kamera dan mengimplementasikan sistem kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) sebagai kendali keseimbangan pada *gimbal kamera* yang akan dirancang. Serta merangkai komponen – komponen yang dibutuhkan untuk membangun Gimbal kamera yang akan digerakkan dengan motor-motor servo dan sensor sebagai pengukur titik keseimbangan.

Metodologi penelitian dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1 dapat dijelaskan tahap-tahap yang akan dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini, yaitu :

1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan dengan cara pengumpulan materi berupa masalah melalui jurnal atau penelitian sebelumnya sehingga dengan melakukan penyusunan skripsi ini diharapkan dapat memberikan solusi untuk masalah dari penelitian terdahulu.

2. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan mencari serta mengumpulkan teori – teori yang mendukung dan berkaitan dengan pembuatan penelitian ini. Teori – teori tersebut meliputi Sistem Kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*), Modul sensor *MPU6050 + GY521*, Arduino IDE, Motor Servo dengan pengendalinya.

3. Analisa Kebutuhan

Untuk memenuhi kebutuhan sistem ini, perlu diketahui terlebih dahulu fungsi dari alat yang dirancang. Alat yang dirancang berfungsi untuk mengatur kemiringan dari gimbal kamera. Untuk itu diperlukan sebuah sensor dan sistem kendali yang dapat membaca dan mengatur kemiringan dari gimbal kamera secara otomatis. Serta diperlukan 2 buah aktuator yang dalam hal ini menggunakan motor servo dan sebagai penggeraknya dibutuhkan sebuah IC pengendali agar pergerakan motor dapat lebih teratur.

4. Perancangan Sistem

Perancangan Sistem dibagi menjadi 2 tahap, yaitu :

a. Perancangan *Hardware*

Sistem membutuhkan sebuah ruangan lingkungan sistem (*plant*).

Untuk menerapkan sistem *controller gimbal kamera*, dibutuhkan perangkat keras yang terdiri dari *Arduino Board*, *Sensor Accelerometer + Gyroscope MPU6050 + GY521*, serta *motor servo* sebagai penggerak.

b. Perancangan *Software*

Perancangan *Software* meliputi proses pembacaan nilai titik kemiringan yang nantinya menjadi nilai acuan (*error*) untuk aksi kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) dalam menyelesaikan kondisi *error* kemiringan. Nilai *error* akan terus dikurangi hingga mencapai titik 0 (titik seimbang). Nilai aksi akan diteruskan ke 2 buah aktuator (motor servo).

5. Implementasi Sistem

Tahapan implementasi Sistem menggambarkan proses implementasi perancangan penelitian yaitu, sistem yang dapat mengontrol 2 buah motor servo dalam menjaga keseimbangan dari gimbal kamera.

6. Pengujian Sistem

Serangkaian pengujian terhadap sistem dilakukan untuk menguji kinerja dari masing-masing komponen yang digunakan untuk

membangun sebuah Gimbal kamera menggunakan sistem kendali cerdas PID (*Proportional, Integrative, Derivative*).

7. Analisa Hasil

Dari pengujian sistem, dilakukan analisis kinerja sistem dan data-data yang didapatkan selama pengujian.

8. Dokumentasi Skripsi

Dokumentasi dilakukan sebagai pelaporan hasil penelitian skripsi.

3.2 Gimbal Kamera

Gimbal kamera adalah alat penstabil dudukan kamera, gimbal kamera berfungsi untuk menstabilkan gambar atau video tanpa terpengaruh oleh kemiringan atau guncangan yang terjadi ketika pengambilan gambar atau video. Dengan aktuator yang dapat bergerak bebas pada porosnya untuk dapat menyesuaikan orientasi pergerakan ketika terjadi perubahan kemiringan, sehingga kamera yang diletakkan pada gimbal kamera akan tetap pada posisi yang stabil.

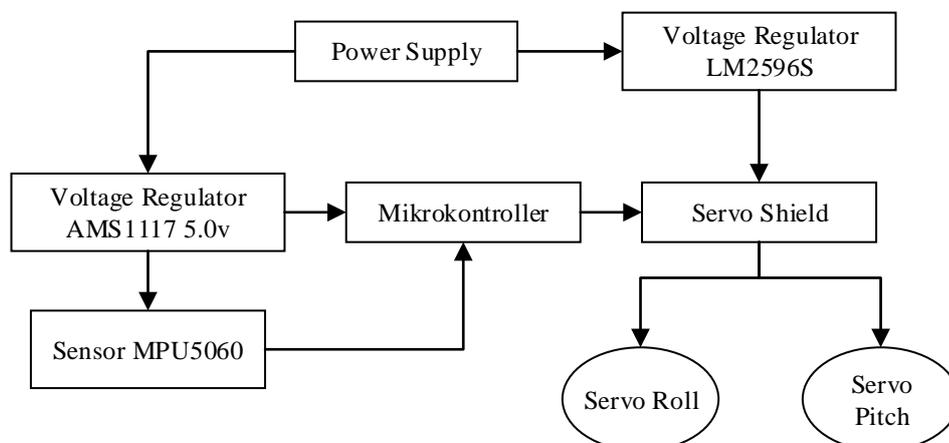
Pada perkembangannya, gimbal kamera memiliki penyesuaian penggunaan pada masing-masing bidangnya. Rancangan gimbal kamera pada penelitian ini diaplikasikan untuk penggunaan pribadi yang menyesuaikan genggamannya dari tangan penggunanya. Rancangan memiliki 2 axis pergerakan yang disederhakan ke dalam sudut *pitch* dan *roll*. Untuk rancangan desain dapat terlihat pada gambar dibawah :



Gambar 3.2 Desain Gimbal Kamera
Sumber: (<https://howtomechatronics.com>)

3.3 Perancangan *Hardware*

Untuk memulai suatu perancangan, baik itu aplikasi, *software* dan *hardware*, saya memulai perancangan tersebut dengan merancang blok diagram. Blok diagram merupakan penyederhanaan dari rangkaian yang menyatakan hubungan berurutan dari satu atau lebih rangkaian yang memiliki kesatuan kerja tersendiri. Blok diagram tidak mempunyai bentuk atau ukuran yang khusus.



Gambar 3.3 Blok Diagram *Hardware*

Berikut ini adalah prinsip kerja blok diagram pada gambar diatas :

1. Pada gambar *power supply* akan berperan untuk memberikan *supply* tegangan ke seluruh komponen. Rangkaian *Voltage Regulator* berperan untuk menurunkan tegangan yang diperoleh dari *battery* terlebih dahulu. *Battery* digunakan dua buah dengan tegangan 3.7 volt yang diserikan menjadi 7.4 volt. Keseluruhan komponen pendukung menggunakan menggunakan tegangan 5 volt yang artinya tegangan 7.4 yang diperoleh dari 2 *battery* yang dihubungkan secara seri harus terlebih dahulu diturunkan ke 5 volt. Aktuator yang merupakan motor servo yang digunakan sebanyak 2 buah motor servo juga menggunakan tegangan 5 volt, tetapi tegangan 5 volt yang digunakan pada rangkaian mikrokontroler serta sensor dan lainnya berbeda untuk digunakan pada motor servo. Maksud dan tujuan membedakan tegangan 5 volt yang disuplai ke rangkaian mikrokontoler dan motor servo adalah untuk menghindari lonjakan tegangan yang dapat merusak mikrokontroler ketika motor servo bergerak. Arus yang dibutuhkan untuk motor servo cukup kuat, untuk itu tegangan yang disuplai ke motor servo harus disediakan tersendiri untuk menghindari kinerja kerja yang buruk dari rangkaian yang dirancang.
2. Sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* yang digunakan untuk mengukur titik kemiringan adalah sensor MPU6050 + GY521. Hasil pengukuran sensor akan menjadi nilai *error* nantinya yang akan diolah oleh formula

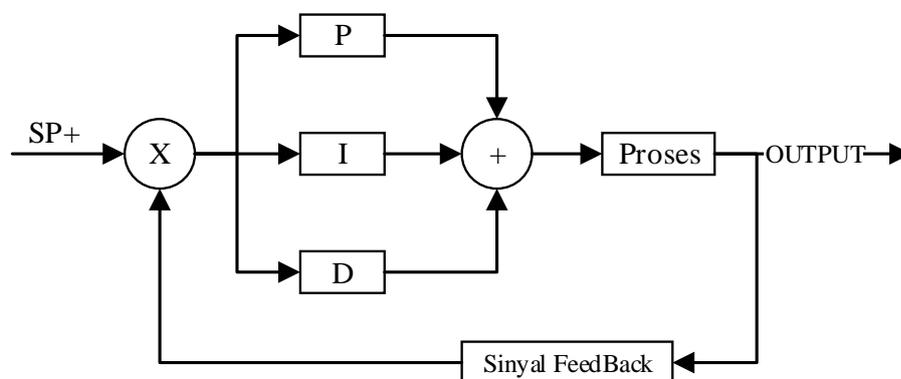
sistem kendali PID untuk mengurangi nilai *error* atau mencari titik seimbang dari gimbal kamera.

3. *Servo shield* atau pengatur gerak motor servo menggunakan sebuah IC 4017. Maksud dari penggunaan *servo shield* ini adalah untuk menghasilkan nilai frekuensi PWM yang sesuai dengan nilai *float* hasil dari perhitungan PID nantinya.

3.4 Sistem Kendali PID pada Gimbal Kamera

Kontroler PID (*Proportional, Integral, Derivative*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem. Komponen kontrol PID ini terdiri dari tiga jenis yaitu Proporsional, Integratif, dan Derivatif (Setyawan, 2015).

Elemen-elemen kontroler P, I, dan D bertujuan bertujuan untuk mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar (Gunterus, 1994). Blok diagram sistem kendali PID ditunjukkan pada gambar dibawah :



Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem Kendali PID
Sumber: (Setyawan, 2015)

Sistem kendali PID merupakan sistem pengaturan yang memanfaatkan sinyal *feedback (error)* dalam hal ini nilai titik keseimbangan yang terukur oleh sensor dan diolah untuk mengurangi nilai *error* tersebut. Nilai *error* yang telah diselesaikan disimpan terlebih dahulu untuk memproses nilai *error* berikutnya. Jika nilai *error* tidak muncul (titik keseimbangan = 0), maka peran sistem kontrol PID dapat ditiadakan. Jika nilai kemiringan didapati, maka peran PID akan aktif untuk mengurangi nilai kemiringan tersebut hingga menjadi 0 dan harus didapatkan perubahan gerakan yang terjadi dengan jarak sekecil mungkin untuk mendapatkan perubahan gerakan yang halus dan tidak bergejolak.

3.5 Analisa Kebutuhan Sistem

Untuk mempermudah menganalisis sebuah sistem dibutuhkan dua jenis kebutuhan. Kebutuhan fungsional dan kebutuhan nonfungsional. Kebutuhan fungsional adalah kebutuhan yang berisi proses-proses apa saja yang nantinya dilakukan oleh sistem. Sedangkan kebutuhan nonfungsional adalah kebutuhan yang menitik beratkan pada *property* perilaku yang dimiliki oleh sistem.

3.5.1 Kebutuhan Fungsional Sistem

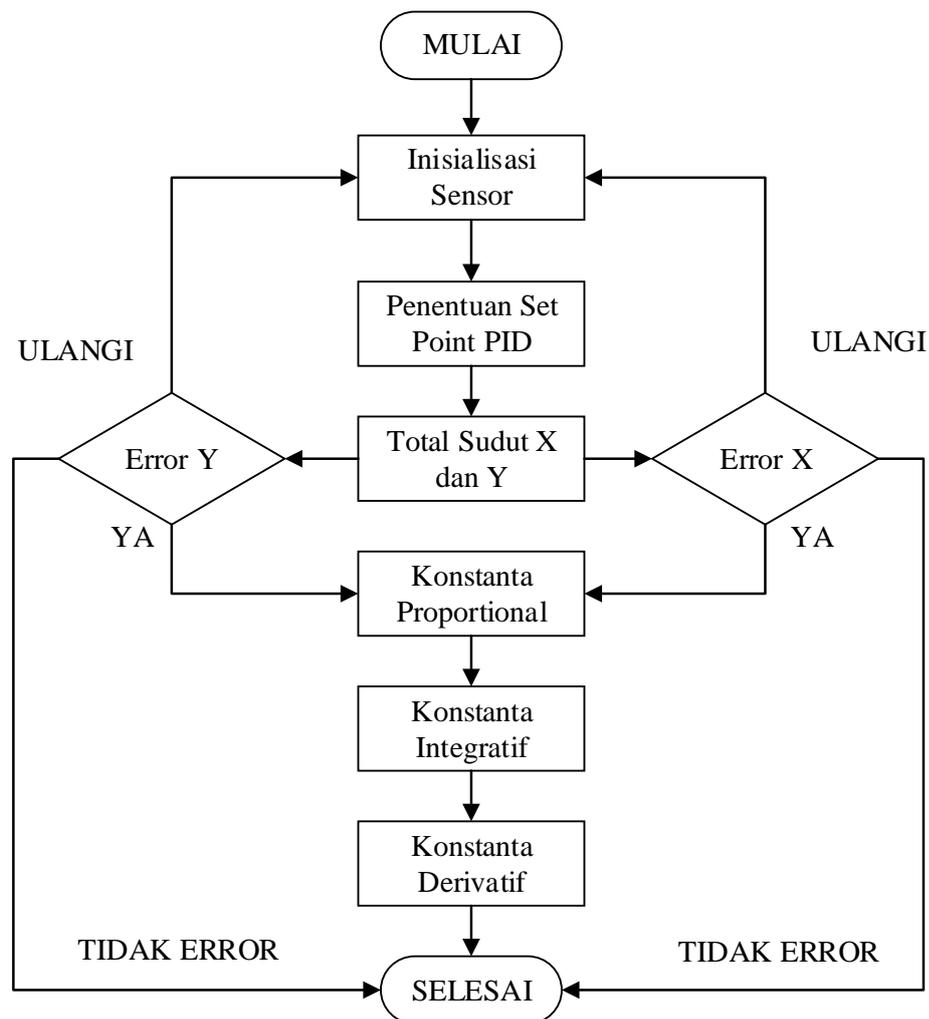
Pada bagian ini akan dijelaskan kebutuhan dari sistem berupa hal yang dapat dilakukan oleh *user* nantinya. Kebutuhan fungsional sistem ini adalah pengatur kemiringan secara otomatis dari titik kemiringan dudukan kamera.

3.5.2 Kebutuhan Nonfungsional Sistem

Kebutuhan nonfungsional berupa batasan layanan atau fungsi yang ditawarkan sistem. Kebutuhan nonfungsional dari sistem ini adalah sistem memiliki sensor tegangan yang dapat membaca kapasitas dari *battery* yang ditunjukkan dengan 3 buah led. Led hijau untuk menunjukkan bahwa kapasitas *battery* masih dalam keadaan penuh atau 100%, led biru untuk menunjukkan bahwa kapasitas *battery* dalam keadaan setengah atau 50%, dan led merah untuk menunjukkan bahwa keadaan *battery* dalam keadaan kosong dan harus dilakukan pengisian *battery*.

3.6 Perancangan Software

Flowchart program adalah sekumpulan gambar-gambar tertentu untuk menyatakan alur dari suatu program yang akan diterjemahkan ke salah satu bahasa pemrograman. Kegunaan *flowchart* sama seperti halnya algoritma yaitu untuk menuliskan alur program tetapi dalam bentuk gambar atau simbol.



Gambar 3.5 *Flowchart* Program

Pada gambar diatas terlihat proses program. Untuk lebih jelasnya proses program tersebut akan saya jabarkan di bawah :

1. Setelah aplikasi diberi tegangan, mikrokontroler akan memulai program yang akan dieksekusi dari alamat 0000H. Pada pemrograman, yang pertama kali untuk memulai adalah inisialisasi *type* mikrokontroler dan dilanjutkan dengan inisialisasi variable-variabel, kemudian prosedur dan *function*.

2. *Procedure* dan *function* dibuat untuk menentukan perintah-perintah atau *event-event* yang akan dilaksanakan. Kita harus menentukan arah kerja dari program sebelum kita mengeksekusi program yang akan dilaksanakan pada *void main*.
3. Inisialisasi sensor digunakan untuk membentuk variabel – variabel yang digunakan untuk dapat membaca data dari sensor MPU6050 + GY521. Sensor tersebut menggunakan komunikasi I2C untuk dapat berkomunikasi dengan mikrokontroler.
4. Tahapan selanjutnya adalah menentukan *set point* dari sistem kendali PID. Pada tahapan ini, nilai *set point* diberikan untuk kendali *proportional*, *integrative*, dan *derivatif*. Tipe data yang digunakan adalah tipe data *float* agar dapat menyesuaikan data yang diperoleh dari sensor nantinya.
5. Setelah penentuan *set point*, tahapan yang pertama didalam “*void main*” adalah mendapatkan nilai kemiringan dari sensor. Nilai kemiringan diambil 2 sudut yaitu sudut x dan sudut y. Nilai kemiringan ini merupakan nilai *error* yang nantinya akan diolah oleh ketiga formula PID. Jika didapati *error*, maka formula PID dijalankan untuk mengolah nilai *error* tersebut dan dikurangi hingga mencapai 0 sejalan dengan pergerakan motor servo. Jika *error* tidak ditemukan, maka formula PID tidak akan melaksanakan fungsinya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Minimum *Hardware* dan *Software*

Pada rancangan ini, dibutuhkan sebuah *hardware* dan *software* yang saling terintegrasi dan terhubung untuk mendukung fungsi dari tujuan akhir yang diinginkan. Adapun spesifikasi minimum *hardware* dan *software* tersebut yakni sebagai berikut:

4.1.1 Spesifikasi Minimum *Hardware*

Pada perancangan *gimbal kamera berbasis PID* (proporsional, integratif, derivatif) dibutuhkan sebuah pengontrol dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 328P sebagai pengontrol keseluruhan dari sistem *hardware* yang digunakan. Selanjutnya mikrokontroler yang telah diberikan program akan memberikan instruksi ke modul *motor servo driver* agar dapat menggerakkan motor servo yang digunakan untuk menggerakkan gimbal kamera agar posisi kamera dapat stabil.

4.1.2 Spesifikasi Minimum *Software*

Mikrokontroler yang digunakan sebagai pengontrol utama dalam rancangan ini diberikan sebuah *firmware* program arduino agar dapat diprogram menggunakan *software arduino IDE*. *Firmware* tersebut sering disebut *bootloader* yang berfungsi untuk mengatur proses *flashing* program dari arduino IDE ke mikrokontroler ATmega 328P. Arduino IDE yang digunakan untuk membuat program

menggunakan arduino IDE versi 1.8.13 yang bersifat *open source* dan tersedia pada web resmi arduino. Didalam pemrograman digunakan sebuah metode *soft computing* yang sering digunakan untuk proses pengontrolan cerdas yang sering disebut PID (proporsional, integratif, derivatif) seperti yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Titik pengukuran kemiringan nantinya akan digunakan sebagai nilai *error* yang akan diolah oleh formula PID untuk mendapatkan titik seimbang dengan pergantian gerakan yang lebih halus.

4.2 Pengujian Hardware

Setelah perencanaan dan pembuatan aplikasi, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap *hardware* dan *software* yang telah dibuat. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *hardware* dan *software* yang telah dibuat dapat berjalan sesuai yang diinginkan. Pengujian dan analisa yang dilakukan meliputi pengujian bekerjanya *hardware* dan *software* yang digunakan untuk aplikasi yang akan dirancang.

Adapun tujuan pengujian *hardware* adalah untuk mengetahui bahwa perangkat yang berhubungan dengan mikrokontroler telah dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Dalam pengujian ini diperlukan multimeter untuk mengukur tegangan yang diperlukan dan mengukur data yang telah diisi di mikrokontroler.

4.2.1 Pengujian Power Supply

Pengujian awal adalah mengukur tegangan pada *power supply* nya dilakukan dengan menghubungkan tegangan pada bagian rangkaian penurun

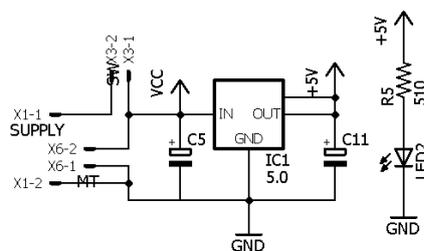
tegangan. Sumber tegangan yang digunakan pada aplikasi ini menggunakan 2 buah *battery* 18650 yang mempunyai tegangan 3.7 volt untuk setiap *battery*. 2 buah *battery* dihubungkan seri untuk mendapatkan tegangan sebesar 3.7 volt dikali 2, maka akan didapatkan tegangan sebesar 7.4 volt DC.



Gambar 4.1 Hasil Pengukuran *Battery* 18650 x 2

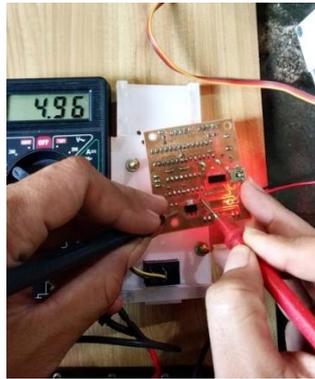
Untuk men-*supply* tegangan ke mikrokontroler, tegangan 7.4 volt tersebut harus diturunkan dahulu dikarenakan mikrokontroler menggunakan tegangan 5 volt DC. Untuk itu dibuat kembali rangkaian yang dapat menurunkan tegangan 7.4 volt DC ke tegangan 5 volt DC.

Untuk gambar skematiknya dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 4.2 Skematik *Power Supply*

Skematik *voltage regulator* diatas menggunakan IC LM1117 5.0 volt untuk menurunkan tegangan ke 5 volt DC. Hasil pengukuran tegangan setelah diturunkan oleh IC LM1117 dapat dilihat pada gambar dibawah :



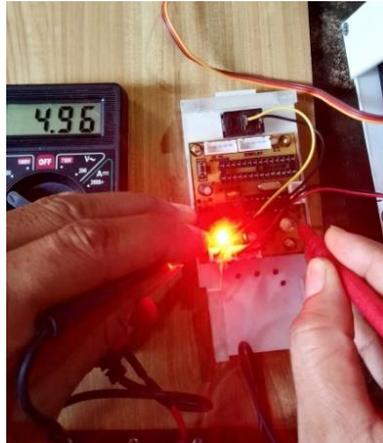
Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Tegangan 5 Volt DC yang Sudah Diturunkan

Pengukuran tegangan selanjutnya adalah pengukuran tegangan untuk *supply* mikrokontroler. Mengingat mikrokontroler bersifat sebagai komponen utama dari keseluruhan kinerja kerja komponen, tegangan yang diberikan ke mikrokontroler harus benar-benar dipastikan cukup dan selalu stabil. Untuk itu pengukuran selanjutnya untuk tegangan masuk ke mikrokontroler dapat dilihat pada gambar dibawah :



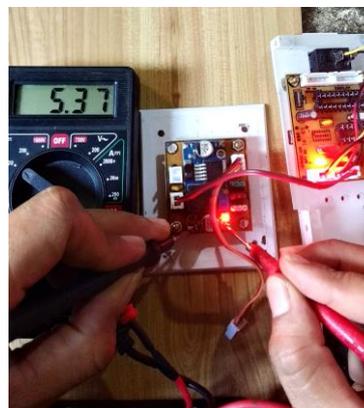
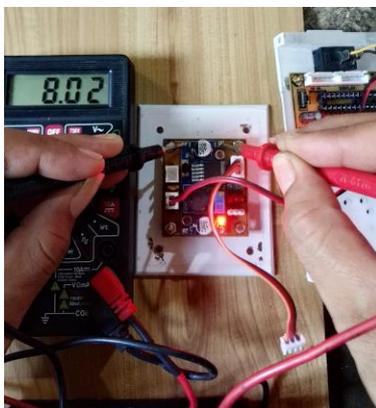
Gambar 4.4 Pengukuran Tegangan *Supply* Mikrokontroler

Pengukuran berikutnya adalah IC 4017. Untuk *supply* ke IC 4017 juga harus dipastikan dalam keadaan baik.



Gambar 4.5 Pengukuran Tegangan *Supply* IC 4017

Untuk *supply* tegangan ke motor servo diberikan tegangan terpisah antara rangkaian mikrokontroler dan komponen pendukungnya. Maksud dan tujuan dipisahkannya tegangan antara mikrokontroler serta komponen pendukung dan motor servo adalah untuk menghindari terjadinya lonjakan tegangan yang dapat mengakibatkan kerusakan pada mikrokontroler. Untuk motor servo digunakan *voltage regulator* LM2596 yang dapat melewati arus lebih kuat. Untuk itu perlu juga dilakukannya pengukuran terhadap *voltage regulator* LM2596 dikarenakan modul ini memang harus di set terlebih dahulu untuk mendapatkan tegangan keluaran yang sesuai untuk digunakan pada motor servo.



Gambar 4.6 Pengukuran Tegangan *Input* dan *Output* Modul LM2596S

Untuk rangkuman pengukuran tegangan sumber hingga tegangan *supply* motor servo dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Tegangan Sumber

NO	Pengukuran	Tegangan
1.	<i>Output Battery</i> Sumber	7.4 Volt
2.	<i>Output Rangkaian Power Supply</i>	4.96 Volt
3.	<i>Supply</i> Mikrokontroler	4.96 Volt
4.	<i>Supply</i> IC 4017	4.96 Volt
5.	Tegangan <i>Input</i> LM2596	8.02 Volt
6.	Tegangan <i>Output</i> LM2596	5.37 Volt

4.2.2 Pengujian Rangkaian

Setelah dilakukan pengukuran *supply* tegangan pada rangkaian dan dirasa rangkaian dalam keadaan baik dan dapat bekerja, maka selanjutnya adalah menguji rangkaian tersebut apakah dapat bekerja dengan komponen. Pengujian pertama adalah pengujian mikrokontroler, untuk menguji mikrokontroler dalam keadaan baik dan dapat bekerja, dilakukan pengujian dengan memasukkan program sederhana terlebih dahulu yang telah tersedia pada *software* arduino IDE. Program *example blink* dipilih dikarenakan program ini *simple* dan telah tersedia pada *software* pemrograman tanpa harus mengetik dan mengedit program. Jika program berhasil di *upload* ke mikrokontroler, led yang terhubung pada pin D 13 atau PORTB.5 akan menyala berkedip secara bergantian dalam tempo 1 detik. Jika didapat dalam kondisi demikian, maka mikrokontroler dalam keadaan baik dan pengujian selanjutnya dapat dilakukan.

4.2.3 Pengujian pada Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler yang dirancang untuk mudah digunakan. Fitur yang sangat membantu untuk memudahkan dalam penggunaan arduino uno adalah telah disediakan *firmware* kecil yang disebut *bootloader* yang telah di *flash* atau diisi didalam mikrokontroler ATmega 328P yang umum digunakan pada papan arduino uno. *Firmware* kecil ini memudahkan dalam pengisian program ke dalam mikrokontroler hanya dengan menghubungkan papan arduino uno ke slot USB pada komputer dan selanjutnya meng-*install driver* yang juga telah disertakan didalam arduino IDE.

Pengujian pertama telah dilakukan yaitu dengan memasukkan program *blink.ino* ke dalam mikrokontroler dan melihat hasil led berkedip selama selang 1 detik pada papan rangkaian. Setelah itu adalah memastikan IC 4017 yang digunakan untuk *driver* motor servo dalam keadaan baik. Untuk memastikannya, langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan *library servoshield* yang didapat dari situs resmi *renbotics*. Didalam *library* tersebut telah tersedia *example* program untuk menguji rangkaian *driver* motor servo. Program yang digunakan untuk menguji rangkaian *driver* motor servo adalah program *ServoShield100.ino*. Program ini digunakan untuk menguji 16 buah motor servo yang bergerak dari 0 derajat hingga 180 derajat. Adapun programnya adalah :

```
#include <ServoShield.h>

ServoShield servos;           //Create a ServoShield object to control up to 16 servos

void setup()
{
  for (int servo = 0; servo < 16; servo++)//Initialize all 16 servos
  {
    servos.setbounds(servo, 1000, 2000); //Set the minimum and maximum pulse duration of the
    servo
  }
}
```

```

servos.setposition(servo, 1500); //Set the initial position of the servo
}

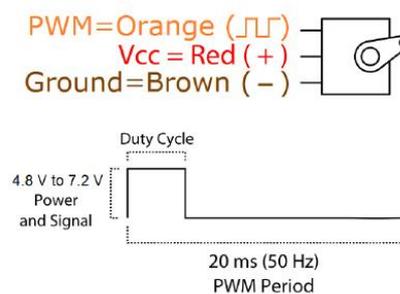
servos.start(); //Start the servo shield
}

void loop()
{
for(int pos = 1000; pos < 2000; pos++) //Move the servos from 0 degrees to 180 degrees
{
//in steps of 1 degree
for (int i = 0; i < 16; i++) //for all 16 servos
servos.setposition(i, pos); //Tell servo to go to position in variable 'pos'
delay(1); //waits 15ms for the servos to reach the position
}

for(int pos = 2000; pos >= 1000; pos--) //Move the servos from 180 degrees to 0 degrees
{
for (int i = 0; i < 16; i++) //all 16 servos
servos.setposition(i, pos); //Tell servo to go to position in variable 'pos'
delay(1); //waits 15ms for the servos to reach the position
}
}
}

```

Pada program terlihat `servos.setbounds(servo, 1000, 2000);`, program ini adalah sebuah fungsi untuk membatasi pergerakan motor servo. Tetapi dalam penerapannya menggunakan format angka 1000 dan 2000 yang artinya pemberian waktu tunda untuk logika *high* yang diberikan ke motor servo sebesar 1000 us (micro detik). Jika kita merujuk ke *datasheet* motor servo MG995 Tower Pro, terlihat format PWM yang diberikan untuk menggerakkan motor servo ke 180 derajat diberikan pulsa sebesar 20 ms (milli detik), seperti terlihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.7 Format PWM dan Duty Cycle Motor Servo

Sumber: (Datasheet Motor Servo Tower Pro MG995) s

4.2.4 Pengujian Sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* MPU6050 + GY521

Selanjutnya adalah pengujian sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* MPU6050 + GY521. Untuk pemrograman sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope* MPU6050 + GY521 tidak menggunakan *library*. *Library* yang digunakan hanya *library Wire.h* bawaan dari arduino IDE. *Library* tersebut digunakan untuk komunikasi I2C antara arduino dan sensor. Untuk program dasar sensor MPU6050 + GY521 seperti berikut :

```
#include <Wire.h>

float elapsedTime, time, timePrev;
int gyro_error = 0;
float Gyr_rawX, Gyr_rawY, Gyr_rawZ;
float Gyro_angle_x, Gyro_angle_y;
float Gyro_raw_error_x, Gyro_raw_error_y;

//for MPU6050 sensor Acc
int acc_error = 0;
float rad_to_deg = 180/3.141592654;
float Acc_rawX, Acc_rawY, Acc_rawZ;
float Acc_angle_x, Acc_angle_y;
float Acc_angle_error_x, Acc_angle_error_y;

float Total_angle_x, Total_angle_y; //konfirmasi roll dan pitch. Y = Roll, X = Pitch

//variabel
int i;
int mot_activated = 0;
long activate_count = 0;
long des_activate_count = 0;
int pitch_offset = -2;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  //MPU6050 Start Communications
  Serial.begin(9600);

  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(0x68);
  Wire.write(0x6B);
  Wire.write(0x00);
  Wire.endTransmission(true);

  //Set Gyro Communications
  Wire.beginTransmission(0x68);
  Wire.write(0x1B);
```

```

Wire.write(0x10);
Wire.endTransmission(true);

//Set Acc Communications
Wire.beginTransaction(0x68);
Wire.write(0x1C);
Wire.write(0x10);
Wire.endTransmission(true);
time = millis();
}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
timePrev = time;
time = millis();
elapsedTime = (time - timePrev) / 1000;

//read Gyro
Wire.beginTransaction(0x68);
Wire.write(0x43);
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(0x68, 4, true);
Gyr_rawX = Wire.read()<<8|Wire.read();
Gyr_rawY = Wire.read()<<8|Wire.read();

Gyr_rawX = (Gyr_rawX/32.8); //X read Gyro
Gyr_rawY = (Gyr_rawY/32.8); //Y read Gyro

Gyro_angle_x = Gyr_rawX * elapsedTime;
Gyro_angle_y = Gyr_rawY * elapsedTime;

//Read Acc
Wire.beginTransaction(0x68);
Wire.write(0x3B);
Wire.endTransmission(false);
Wire.requestFrom(0x68, 6, true);

Acc_rawX = (Wire.read()<<8|Wire.read())/4096.0; //Acc X read
Acc_rawY = (Wire.read()<<8|Wire.read())/4096.0; //Acc Y read
Acc_rawZ = (Wire.read()<<8|Wire.read())/4096.0; //Acc Z read

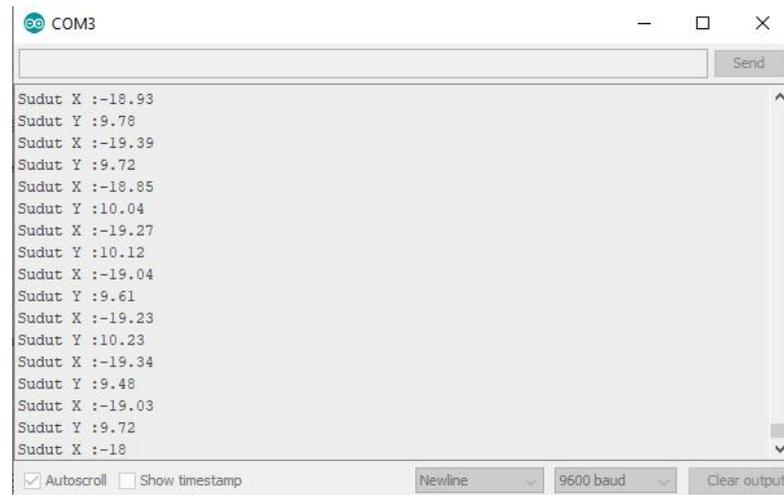
Acc_angle_x = (atan((Acc_rawY)/sqrt(pow((Acc_rawX), 2) + pow((Acc_rawZ), 2))) *
rad_to_deg);
Acc_angle_y = (atan(-1*(Acc_rawX)/sqrt(pow((Acc_rawY),2) + pow((Acc_rawZ),2))) *
rad_to_deg);

Serial.print("Sudut X :"); Serial.println(Acc_angle_x);
Serial.print("Sudut Y :"); Serial.println(Acc_angle_y);
}

```

Hasil dari program tersebut terlihat pada serial monitor arduino IDE seperti

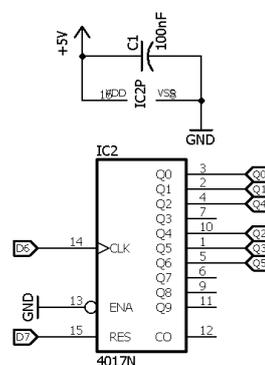
berikut :



Gambar 4.8 Hasil Program Sensor MPU6050 + GY521

4.2.5 Pengujian *Motor Servo* Menggunakan *Servo Shield Renbotics*

Pada pengujian sebelumnya tentang pengujian *power supply* telah didapatkan hasil yang baik terhadap *supply* yang diberikan kepada *motor driver*. Pada penelitian ini, *driver motor servo* menggunakan *shield* yang telah dimodifikasi agar sesuai dengan kebutuhan rancangan. *Driver motor servo* menggunakan 1 buah IC *shift register* dengan tipe CD4017 agar pemrograman yang dirancang nantinya dapat lebih mudah dirancang. Untuk skematik rancangan terlihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.9 Skematik *Driver Motor Servo* Menggunakan IC 4017

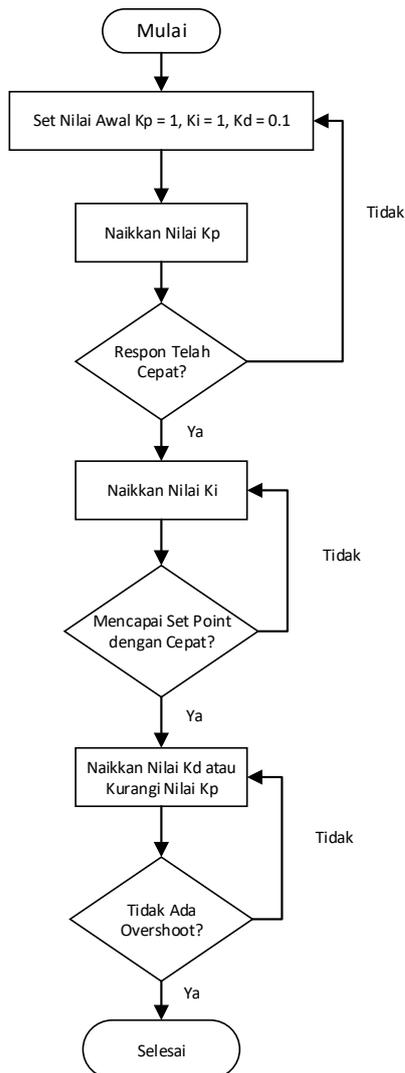
Untuk pin yang terhubung ke *input* ataupun *output* terlihat pada tabel dibawah :

Tabel 4.2 Koneksi IC 4017 *Input* dan *Output*

No	<i>INPUT</i>	Terhubung Ke	<i>OUTPUT</i>	Terhubung Ke
1	Pin 14 (CLK)	Pin D6 Arduino	Q0	Motor Servo 1
2	Pin 15 (RES)	Pin D7 Arduino	Q1	Motor Servo 2
3			Q3	Motor Servo 3
			Dst...	Dst...

4.2.6 Pengujian Sistem Kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*)

Untuk penggunaan sistem kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) pada sistem, hal pertama yang dilakukan adalah mendapatkan nilai *set point* untuk masing-masing formula PID. Nilai ini nantinya berguna untuk menentukan seberapa besar nilai *output* nantinya. Untuk melakukannya dipilih cara *trial and error*. Cara ini paling banyak digunakan karena dianggap paling mudah. Untuk melakukan metode *tuning* tersebut, terlihat pada *flowchart* dibawah:



Gambar 4.10 Metode *Trial and Error* PID

Metode seperti terlihat pada *flowchart* diatas adalah metode yang dilakukan dengan cara coba-coba. Artinya *tuning* pertama dilakukan pada formula proportional untuk mencari nilai *set point* awal pada formula *proportional*. Nilai set point mula – mula diberikan dengan nilai terendah kemudian dilakukan uji coba apakah respon proportional sudah mencapai ideal, jika belum kemudian nilai ditambahkan hingga didapat respon yang ideal.

Untuk percobaan yang lebih mudah digunakan *software matlab*. Untuk itu langkah yang dapat digunakan untuk mendapatkan tuning kendali PID adalah sebagai berikut dimana diambil rumus yang umum digunakan pada *transformasi laplace*, yaitu :

$$H(S) = \frac{1}{s^2 + 15s + 30} \quad (4.1)$$

Fungsi transfer dari pengontrol PID akan tampak seperti berikut :

$$Kp + \frac{Ki}{s} + Kd^s = \frac{Kds^2 + Kp^s + Ki}{s} \quad (4.2)$$

Dimana : Kp = Proportional Gain

Ki = Integral Gain

Kd = Derivatif Gain

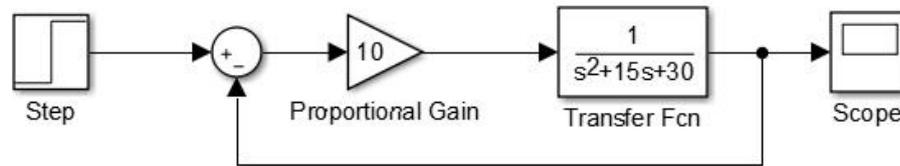
Tabel 4.3 Respon PID Terhadap Perubahan Konstanta

Respon Loop Tertutup	Waktu Naik	Overshoot	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
Kp	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
Ki	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
Kd	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

1. *Tuning Konstanta Proportional*

Konstanta *proportional* merupakan nilai *set* untuk penentuan pengendali yang pertama harus dijalankan pada pengendali PID.

Simulasi pada matlab Simulink terlihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.11 Kendali *Proportional* pada Matlab Simulasi

Hasil yang dibentuk pada model pengendali diatas adalah :

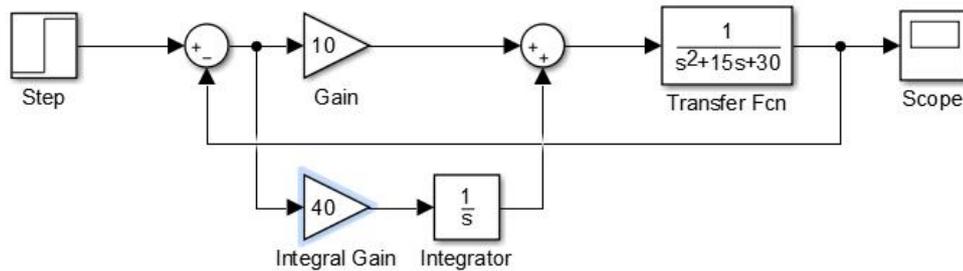


Gambar 4.12 Hasil Kendali *Proportional* pada Matlab Simulasi

Pada pengendali *proportional*, nilai K_p atau konstanta *proportional* yang digunakan adalah 2 dan menunjukkan hasil dimana dengan waktu 0.06 detik didapatkan hasil yang stabil pada pengendali *proportional*.

2. *Tuning* Konstanta *Proportional* dan Integratif

Percobaan kedua adalah menambahkan kendali integratif ke dalam kendali *proportional*. Untuk itu ditambahkan *gain* kedua yaitu *gain* integratif yang diharapkan dapat mempercepat *respon time* dan memperhalus grafik dari hasil. Model simulasi pada matlab Simulink terlihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.13 Kendali *Proportional* dan *Integrative* pada Matlab Simulasi

Hasil yang dibentuk pada model pengendali diatas adalah :

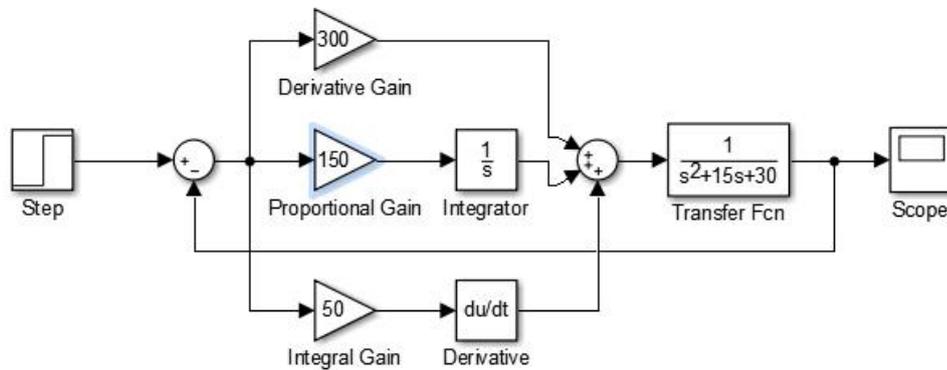


Gambar 4.14 Hasil Kendali *Proportional* dan *Integrative* pada Matlab Simulasi

Pada penyatuan 2 kendali diatas didapatkan hasil respon yang lebih lama yakni mencapai 1 detik untuk mendapatkan titik yang halus. Pengendali integratif berguna untuk menghilangkan *error steady state*. Tetapi dengan nilai yang tidak tepat dapat mengakibatkan ketidakstabilan sistem semakin besar.

3. *Tuning* Konstanta P + I + D

Selanjutnya adalah menambahkan kendali derivatif ke dalam kendali *proportional* dan integratif yang telah diuji sebelumnya. Untuk itu dibuat kembali model simulasinya pada *matlab Simulink* :



Gambar 4.15 Kendali *Proportional + Integratif + Derivative* pada Matlab Simulasi

Hasil dari model simulasi diatas adalah sebagai berikut :



Gambar 4.16 Hasil Kendali *Proportional + Integrative + Derivative* pada Matlab Simulasi

Penambahan formula *derivative* pada pengendali *proportional + integrative* ternyata tidak mengurangi *respons time* menjadi lebih cepat, tetapi dapat membuat sistem lebih stabil. Pengaruh derivatif didalam sistem adalah dapat meredam isolasi atau pergejolakan yang terjadi saat ditemukannya *error* pada sistem. Tetapi disaat tidak ada *error*, derivatif tidak akan memberikan respon kepada sistem.

4.3 Pengujian Secara Keseluruhan

Setelah semua pengujian dilakukan secara terpisah antara tiap komponen yang digunakan untuk gimbal kamera. Selanjutnya program-program yang dibuat terpisah disatukan untuk dilakukan pengujian akhir dari sistem. Sistem kendali PID yang diuji sebelumnya kembali dilakukan penyesuaian dikarenakan pengujian sebelumnya adalah menggunakan simulasi dengan *software matlab*. Untuk itu harus adanya penyesuaian antara pengujian yang dilakukan dengan menggunakan *software* dan pengujian sebenarnya. Untuk hasil yang didapatkan sangat baik dikarenakan sistem kontrol PID yang digunakan didalam sistem dapat menggerakkan kedua motor servo bergerak dengan gerakan yang halus walaupun didapati perubahan gerakan yang cepat, tetapi kendali PID yang digunakan dapat menyesuaikan pergantian gerakan dengan halus. Hasil keseluruhan dapat dilihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.17 Gambar Keseluruhan

Gimbal kamera yang dirancang dapat digunakan untuk pengambilan foto atau video dengan cara manual yaitu dengan cara memegang gimbal kamera tersebut dengan menggunakan tangan. Tetapi dapat juga digunakan untuk ditempatkan pada kendaraan. Dengan pergantian gerakan dari kendaraan, gimbal kamera yang digunakan dapat menyesuaikan pergantian gerakan dari kiri ke kanan. Hal tersebut cukup sulit jika kita langsung memegang kamera menggunakan tangan. Jika kita memegang kamera menggunakan tangan, sudut kemiringan yang terjadi tidaklah dapat langsung kita ukur untuk menggerakkan kamera ke sudut sebaliknya agar kamera dalam keadaan datar. Hal lain yang dihadapi adalah gerakan yang dilakukan menggunakan tangan tidak sebaik dan sehalus jika kita menggunakan gimbal kamera yang memiliki otomatisasi dalam hal menjaga kedataran kamera.

Dengan melihat gimbal kamera keluaran pabrikan, gimbal kamera pada rancangan ini memiliki fitur yang unik. Sesuai dengan harapan disusunnya penelitian ini, dimana penulis ingin menerapkan sebuah sistem kendali cerdas PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) yang biasanya digunakan pada sistem kendali industri maupun robotika. Diharapkan kendali cerdas PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) dapat disesuaikan dengan penggunaan motor servo ataupun dapat mengendalikan motor servo tersebut seperti dikebanyakan sistem kendali PID yang digunakan pada pengendalian kecepatan maupun pengendalian arah putaran motor DC ataupun motor AC.

Perbedaan mendasar pengendalian tersebut terletak pada pengendalian kecepatan putaran dengan pengendalian posisi (derajat putaran) yang terdapat pada

motor servo. Tentunya pada rancangan ini belum dapat disandingkan pada gimbal kamera pabrikan yang memiliki desain dan fitur yang lebih baik. Tetapi diharapkan pengendalian posisi motor servo menggunakan sistem kendali PID (*Proportional, Integrative, Derivative*) dapat menjadi fitur utama dan memiliki daya tarik untuk penelitian selanjutnya yang lebih baik.

Gambar dibawah merupakan hasil dari tangkapan kamera dengan menggunakan gimbal kamera yang dirancang :



Gambar 4.18 Gambar Sebelum dan Sesudah Menggunakan Gimbal Kamera

Jika diperhatikan, kedua hasil tangkapan kamera diatas mempunyai perbedaan sebelum menggunakan gimbal kamera dan sesudah menggunakan gimbal kamera. Gambar sebelum menggunakan kamera masih tampak kabur, tetapi setelah menggunakan gimbal kamera hasil tangkapan kamera menjadi lebih jelas dikarenakan posisi kamera dapat lebih stabil.

Dari kekurangan-kekurangan yang dijabarkan diatas, maka dirancang gimbal kamera untuk mengurangi kekurangan yang terjadi jika kita mengambil gambar maupun video dengan langsung memegang pada kamera. Sudut kemiringan yang terjadi dapat langsung dihitung dan diberi umpan balik agar kamera dapat langsung kembali ke posisi datar ataupun terjaga dalam posisi datar walau diberikan kemiringan. Penambahan sistem kendali proporsional, integratif, dan derivatif

diharapkan dapat menyesuaikan gerakan lebih baik dengan pergantian gerakan yang halus. Tidak memberikan gerakan kejut yang besar walaupun terjadi perubahan kemiringan yang cepat dari kiri ke kanan misalnya. Untuk itu diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan dibidang penggunaan kamera dengan dapat menjadi tolak ukur untuk perkembangan penelitian selanjutnya yang lebih baik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dengan selesainya perancangan Gimbal Kamera ini dapat diambil beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Arduino Uno *Board* yang memiliki IC mikrokontroler ATmega 328P adalah IC mikrokontroler yang sangat handal dalam menjalankan program yang dijalankan untuk mengerjakan perhitungan PID (*proportional, integrative, derivative*).
2. Sensor *accelerometer* dan *gyroscope* MPU6050 + GY521 merupakan sensor yang cukup handal untuk mengukur titik kemiringan. Selain dengan harganya yang terjangkau, sensor ini cukup baik untuk digunakan dalam mendeteksi titik kemiringan yang kemudian nilainya diolah untuk formula sistem kendali PID (*proportional, integrative, derivative*).
3. Sistem kendali yang diterapkan sangat baik dalam mengolah nilai *error* (titik kemiringan) yang diperoleh dari sensor MPU6050 + GY521. Walaupun terkadang terdapat lonjakan pergerakan yang cukup kuat diakibatkan perubahan gerakan yang cepat pula, tetapi dapat diminimalisir oleh sistem kendali PID dan diberikan pergerakan yang sangat stabil untuk mencapai titik 0 (titik keseimbangan).
4. Motor servo tower pro MG995 yang digunakan sebagai penggerak dapat melakukan fungsinya dengan cukup baik. Untuk mendapatkan

gerakan yang halus menggunakan motor servo, *library* pemrograman untuk kendali motor servo juga harus disesuaikan agar mendapatkan gerakan yang halus. Penyesuaian tersebut terletak pada pemberian gerakan motor servo dengan memberikan instruksi berupa nilai pulsa digital secara langsung ke motor servo, tidak dengan memberikan nilai sudut yang biasanya digunakan dalam pemrograman arduino. Dengan memberikan pulsa digital secara langsung dapat dihasilkan gerakan motor servo yang lebih halus.

5.2 Saran

Adapun saran yang saya kemukakan terhadap aplikasi yang dibangun ini yaitu sebagai berikut :

1. Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambahkan 1 titik sumbu terakhir yaitu sudut *yaw* yang merupakan relasi dari sumbu z.
2. Untuk penelitian selanjutnya, nilai yang didapat dari sensor dapat distabilkan terlebih dahulu untuk mendapatkan perubahan yang lebih halus. Untuk menstabilkan nilai yang didapat dari sensor dapat menggunakan metode rata – rata atau dengan metode yang sesuai agar nilai yang didapat dari sensor menjadi lebih stabil.
3. Aplikasi ini hendaknya dilakukan perawatan secara optimal untuk memperlancar kinerja dari aplikasi. Untuk itu juga pemakaian *battery* harus diperhatikan dengan seksama dikarenakan hanya menggunakan 2

battery. Pemakaian 3 *battery* 18650 atau *battery* dengan nilai tegangan diatas 10 volt akan lebih baik dan dapat memperpanjang waktu penggunaan alat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, D., Fajriana, F., Maryana, M., Rosnita, L., Siahaan, A. P. U., Rahim, R., ... & Hadikurniawati, W. (2018, November). Application of interpolation image by using bi-cubic algorithm. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1114, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
- Amin, M. (2019). Problematika Baca Tulis Al-Qur'an Pada Siswa Tunarungu di SMALBS Dharma Wanita Persatuan Provinsi Kalimantan Selatan.
- Andriani, Y., Marlina, L., Mohamad, H., Amir, H., Radzi, S. A. M., & Saidin, J. (2017). Anti-inflammatory activity of bacteria associated with marine sponge (*Haliclona amboinensis*) via reducing NO production and inhibiting cyclooxygenase-1, cyclooxygenase-2, and secretary phospholipase A2 activities. *Asian J Pharm Clin Res*, 10(11), 95-100.
- Faroqi Adam. Dkk. (2016). *Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Lampu Menggunakan Metode Pengenalan Suara Berbasis Arduino*. Jurnal UIN Sunan Gunung Jati Bandung, Vol.2. pp: 106-107.
- Haris, Abdul. Dkk. (2014). *Sistem Kendali dan Pembatas Pemakaian Energi Listrik Berbasis Web*. Jurnal Pengkajian dan Penerapan Teknik Informatika, Vol.7 No. Pp: 113-207.
- Indrawan, M. I., Alamsyah, B., Fatmawati, I., Indira, S. S., Nita, S., Siregar, M., ... & Tarigan, A. S. P. (2019, March). UNPAB Lecturer Assessment and Performance Model based on Indonesia Science and Technology Index. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1175, No. 1, p. 012268). IOP Publishing.
- Jian Sun. 2012. *Pulse-Width Modulation*. Department of Electical, Computer, and System Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute. Troy, NY 12180-3590, USA.
- Setyawan. G.E, Setiawan. E, & Kurniawan. W. 2015. *Sistem Kendali Ketinggian Quadcopter Menggunakan PID*. Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK) Vol. 2, No. 2, Oktober 2015. PP 125-131.
- Wescott & Services. 2016. *PID Without PhD*.
<https://www.wescottdesign.com/articles/pid/pidWithoutAPhd.pdf>
- The McGraw-Hill Companies, *Resistors*. Topics Covered in Chapter 2. 2007.

TLT-8016 Basic Analog Circuits, *Diodes and Diode Circuits*. Chapter 3. 2006.

<http://howtomechatronics.com/>. Diakses 01 Juni 2020

<http://www.alldatasheet.com/>. Diakses 24 April 2020

<http://www.arduino.cc/>. Diakses 29 April 2020

<http://www.electronicoscaldas.com/>. Diakses 03 April 2020

<http://www.robotics.ui.ac.id/>. Diakses 24 April 2020