

**PENGENDALIAN POSISI KAMERA MENGGUNAKAN KONTROLER
PROPORSIONAL INTEGRAL (PI) BERBASIS MIKROKONTROLER**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONTROL**

*Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik*



Disusun oleh:

MUHAMMAD IMBAROTHUR MOWAVIQ

NIM. 105060300111064

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2015

LEMBAR PERSETUJUAN
PENGENDALIAN POSISI KAMERA MENGGUNAKAN KONTROLER
PROPORSIONAL INTEGRAL (PI) BERBASIS MIKROKONTROLER

SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK KONTROL

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

MUHAMMAD IMBAROTHUR MOWAVIQ
NIM. 105060300111064

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Purwanto, MT.

NIP. 19540424 198601 1 001

Ir. Dipl. Ing. Moch. Rusli

NIP. 19630104 198701 1 001

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGENDALIAN POSISI KAMERA MENGGUNAKAN KONTROLER
PROPORSIONAL INTEGRAL (PI) BERBASIS MIKROKONTROLER**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

MUHAMMAD IMBAROTHUR MOWAVIQ
NIM. 105060300111064 - 63

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 20 Agustus 2015

Dosen penguji

Dr. Ir. Bambang Siswojo, MT
NIP. 19621211 198802 1 001

Rahmadwati, ST., MT., Ph.D
NIP. 19771102 200604 2 003

Goegoes Dwi Nusantoro, ST., MT
NIP. 19711013 200604 1 001

Mengetahui

Ketua Jurusan teknik Elektro

M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi yang berjudul “Pengendalian Posisi Kamera Menggunakan Kontroler Proporsional Integral (Pi) Berbasis Mikrokontroler” dapat terselesaikan. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Banyak kendala yang dihadapi penulis dalam penyelesaian skripsi ini. Namun kendala tersebut dapat diatasi berkat bantuan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada pihak-pihak sebagai berikut.

1. Allah SWT yang selalu tahu kapan waktu yang terbaik untuk hambaNya dan Rasulullah Muhammad SAW, semoga shalawat serta salam selalu tercurah kepada beliau.
2. Orang tua penulis, M. Romdlon dan Laila Martini serta saudara penulis, M. Fauzil Haqqi dan Lubbi Atika Khumairo.
3. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Bapak Ir. Purwanto, MT. selaku KKDK Teknik Kontrol dan sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
6. Bapak Ir. Dipl. Ing. Moch. Rusli sebagai Dosen Pembimbing II atas segala bimbingan, pengarahan, gagasan, ide, saran, motivasi yang telah diberikan, serta waktu yang diluangkan untuk bimbingan.
7. Pejuang Sepanjang Masa dan Sahabat Magnet'10, Wahyu, Angga, Aziz, Fitra, Abu, Adin, Reza, Fery, Hakiki, Nizar, Izul, Zainma, Yudi, Amer, Iqbal, Maman, Gomes, Wahyu, Mbetek, Ferdy, Agwin, Riza, Dayat, Bagus, Toper, Enov, Davin, Rara, Hamu, Rudito, Inal, Rochman, Ika, Ade, Kadek Adi, Radek dan Ulit berbagi ilmu, membantu dalam

mengerjakan, semangat, cerita, cinta, canda tawa, pengalaman hidup dan waktu yang menyenangkan selama menjadi mahasiswa dan hingga akhir nanti.

8. Teristimewa MAGNET'10, yang memberikan doa, semangat serta dukungan kepada penulis.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan ikhlas kami dan semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Disadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Wassalammualaikum Wr. Wb.

Malang, Juni 2015

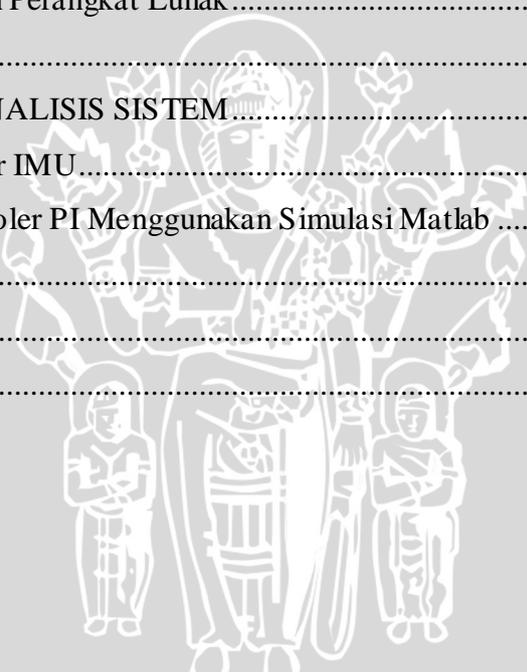
Penulis



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
ABSTRAK	viii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat	2
1.6. Sistematika Penulisan	2
BAB II	5
DASAR TEORI	5
2.1. Kamera	5
2.2. Kontroler	5
2.3. Kontroler PI (Proporsional Integral)	6
2.4. Arduino Mega2560	7
2.5. Motor DC <i>Servo</i>	8
2.6. IC L293D	9
2.7. Sensor Inertial Measurement Unit (IMU)	10
2.8. Penentuan Parameter Motor DC	11
BAB III	15
METODE PENELITIAN	15
3.1. Perancangan dan Pembuatan Alat	15
3.1.1. Perancangan Perangkat Keras dan Pembuatan Alat	15
3.1.2. Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak	15
3.2. Pengujian dan Analisis Data	15
3.3. Pengambilan Kesimpulan	16

BAB IV	17
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT	17
4.1. Spesifikasi Komponen	17
4.2. Diagram Blok Sistem.....	17
4.3. Perancangan Perangkat Keras.....	18
4.3.1. Perangkat Keras	18
4.3.2. Motor DC <i>Servo</i>	19
4.3.3. Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) GY-80	20
4.3.4. Konfigurasi I/O Arduino Mega	20
4.3.5. Identifikasi Motor DC.....	21
4.3.6. Perancangan Kontroler PI	24
4.3.7. Perancangan Perangkat Lunak	27
BAB V	28
PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM.....	28
5.1. Pengujian Sensor IMU.....	28
5.2. Pengujian Kontroler PI Menggunakan Simulasi Matlab	30
BAB VI	32
KESIMPULAN	32
DAFTAR PUSTAKA	33



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gerak sumbu roll, pitch, dan yaw	5
Gambar 2. 2. Gambar Kontroler Proporsional	6
Gambar 2. 3. Gambar Kontroler Integral	7
Gambar 2. 4. Respon Kontroler Proporsional Integral	7
Gambar 2. 5. Arduino Mega2560	8
Gambar 2. 6. Bentuk Motor DC Servo	9
Gambar 2. 7. Skema Penggunaan IC L293D	10
Gambar 2. 8. Tiga Axis Accelerometer	10
Gambar 2. 9. Tiga Axis Gyroscope	11
Gambar 2. 10 Tiga Axis Magnetometer	11
Gambar 4. 1. Rangkaian Motor DC	12
Gambar 4. 2. Diagram Blok Sistem	18
Gambar 4. 3. Perancangan Alat	19
Gambar 4. 4. Diagram Blok Perangkat Keras	19
Gambar 4. 5. Komunikasi I2C Antara Sensor Dengan Arduino Mega	20
Gambar 4. 6. Board Arduino Mega	21
Gambar 4. 7. Program Parameter Motor DC pada MATLAB	23
Gambar 4. 8. Fungsi Alih dan Pole Motor DC	24
Gambar 4. 9. Respon Motor DC dari Hasil Simulasi MATLAB	24
Gambar 4. 10. Flowchart Sistem	27
Gambar 5. 1 Grafik pembacaan sensor pada sumbu X	29
Gambar 5. 2 Pembacaan Sensor pada Sumbu Y	29
Gambar 5. 3 Pembacaan Sensor pada Sumbu Z	29
Gambar 5. 4 Diagram Blok Pengujian kontroler PI	30
Gambar 5. 5 Respon Sistem Dengan Menggunakan Kontroler PI	30

ABSTRAK

Muhammad Imbarothur Mowaviq, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2015, *Pengendalian Posisi Kamera Menggunakan Kontroler Proporsional Integral (PI) Berbasis Mikrokontroler*, Dosen Pembimbing: Ir. Purwanto, M.T., Ir. Dipl. Ing. Moch. Rusli.

Abstrak - Kamera adalah alat yang digunakan untuk mengambil gambar salah satunya video. Dalam mengambil gambar video kamera harus dalam keadaan stabil agar didapatkan gambar yang baik. Gerak kamera terdiri dari gerak mengguling (roll), mengangguk (pitch), menggeleng (yaw).

Penelitian ini difokuskan untuk mengendalikan posisi kamera sehingga stabil meskipun mendapat gangguan. Untuk mengetahui posisi kamera menggunakan sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang di dalamnya terdapat accelerometer, gyroscope, dan magnetometer. Arduino Mega2560 yang merupakan mikrokontroler digunakan sebagai alat pengontrol utama dengan kontrol proporsional integral (PI), sehingga diperoleh desain pengendalian posisi pada sumbu x, y, dan z nol derajat.

Berdasarkan metode *direct* didapatkan nilai $K_p = 0,24899$ $K_i = 11,4971$. Setelah diimplementasikan dan disimulasikan menggunakan matlab, *time settling* motor yang sebelumnya 0,25 dan mengalami *error* 9% dan setelah diberi kontroler *error* menjadi 0,1% dengan *time settling* 0,258.



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kamera adalah alat yang digunakan untuk mengambil gambar suatu benda, baik dalam bentuk foto maupun video. Dalam pengambilan gambar, kamera sebaiknya berada pada posisi stabil agar didapatkan gambar yang berkualitas baik. Selama ini, juru (orang yang mengoperasikan) kamera dalam mengambil gambar, harus berhati-hati menjaga posisi kameranya. Dengan melakukan pengendalian, diharapkan juru kamera tetap bisa mendapatkan gambar yang baik bahkan ketika kamera harus dibawa dalam keadaan bergerak.

Kamera bergerak dengan memperhatikan tiga sudut rotasi, yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Gerak *roll* kamera adalah gerak memutar mengitari sumbu X pada koordinat kartesian. *Pitch* berputar mengitari sumbu Y dan *yaw* pada sumbu Z. Pada penelitian kali ini, peneliti akan menjaga stabilitas kamera dengan memperhatikan sudut rotasi pada tiga gerakan tersebut. Di mana, posisi kamera yang diharapkan penulis adalah pada X nol derajat, Y nol derajat, dan Z nol derajat.

Untuk melakukan gerakan mengguling (*roll*), mengangguk (*pitch*), dan memutar (*yaw*), kamera akan dipasang lengan yang digerakkan oleh motor DC *servo*. Di dalamnya, ada tiga motor DC *servo* yang masing-masing menggerakkan kamera pada sudut rotasi yaitu *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Motor DC *servo* sendiri adalah sebuah motor dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalamnya. Potensiometer pada rangkaian motor DC *servo* kemudian dilepaskan dan digantikan dengan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*).

Perubahan posisi yang terjadi pada kamera akan dideteksi dengan menggunakan sensor IMU. Sensor IMU adalah sensor dengan 9 *degrees of freedom* (DOF) yang terdiri dari *accelerometer* 3 derajat kebebasan, *gyroscope* 3 derajat kebebasan dan barometer 3 derajat kebebasan. Untuk pengendalian motor, penggunaan kontroler PI (Proporsional Integral) dengan *loop* tertutup diimplementasikan pada mikrokontroler ATmega 328. Oleh karena itu, agar posisi kamera terjaga kestabilannya saat terjadi gangguan

maka dilakukan pengaturan sudut rotasi *roll*, *pitch*, dan *yaw* menggunakan kontroler PI (Proporsional Integral).

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang dan membuat sistem pengendalian posisi kamera?
2. Bagaimana merancang hardware dan software sistem pengendalian posisi kamera?

1.3. Batasan Masalah

Untuk menekankan pada objek pembahasan yang ada, maka penelitian ini diberikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pemodelan pengendalian posisi kamera yang dibuat merupakan sebuah *prototype*.
2. Pembahasan ditekankan pada penggunaan kontroler PI pada sistem.
3. Sensor yang digunakan adalah sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*)
4. Mikrokontroler Atmega328 sebagai pusat pengendali sistem.
5. Referensi *Input* yang digunakan adalah pada titik 0 derajat pada sumbu x, 0 derajat pada sumbu y dan 0 derajat pada sumbu z.

1.4. Tujuan

Terjaganya kestabilan posisi kamera saat terjadi gangguan melalui pengaturan sudut rotasi *roll*, *pitch*, dan *yaw* menggunakan kontroler PI (Proporsional Integral).

1.5. Manfaat

Memberikan referensi untuk berbagai cara pengambilan gambar baik dari darat maupun udara dalam medan apapun.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Membahas teori-teori yang mendukung dalam perencanaan dan pembuatan alat.



BAB III Metode Penelitian

Cara-cara yang digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan melakukan perancangan, pengujian, dan analisis data.

BAB IV Perancangan

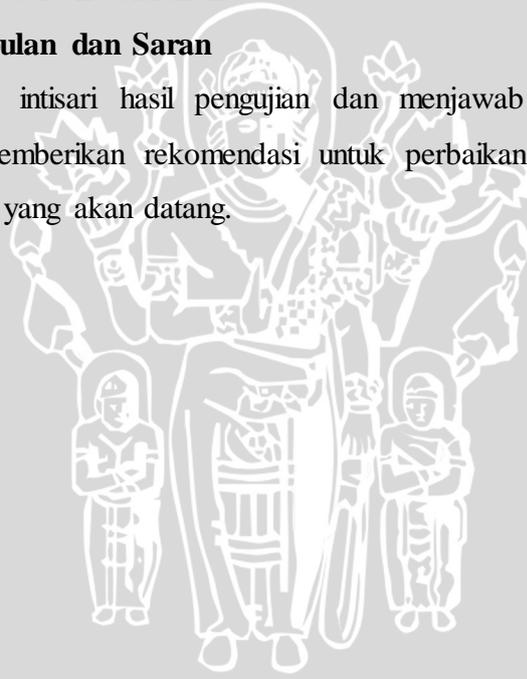
Perancangan dan perealisasiian alat yang meliputi spesifikasi, perencanaan diagram blok, prinsip kerja dan realisasi alat.

BAB V Pengujian dan Analisis

Memuat aspek pengujian meliputi penjelasan tentang cara pengujian dan hasil pengujian. Aspek analisis meliputi penilaian atau komentar terhadap hasil-hasil pengujian. Pengujian dan analisis ini terhadap alat yang telah direalisasikan berdasarkan masing-masing blok dan sistem secara keseluruhan.

BAB VI Kesimpulan dan Saran

Memuat intisari hasil pengujian dan menjawab rumusan masalah serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan kualitas penelitian di masa yang akan datang.

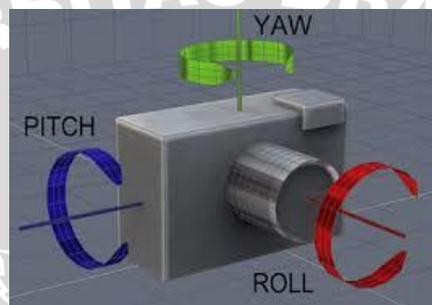


BAB II

DASAR TEORI

2.1. 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. Untuk mempertahankan sudut pandangnya, kamera digerakkan pada sudut *pitch*, *roll*, dan, *yaw*. Gambar 2.1 adalah gambar gerak sumbu *roll*, *pitch*, dan *yaw* kamera:



Gambar 2.1 Gerak sumbu roll, pitch, dan yaw

2.2. Kontroler

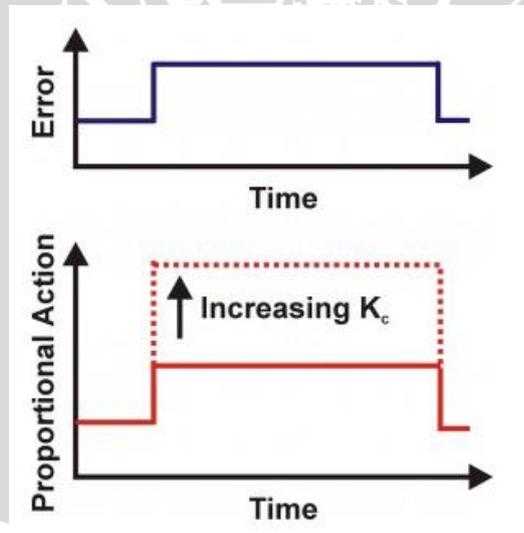
Salah satu fungsi komponen kontroler adalah mengurangi sinyal kesalahan atau tingkat kesalahan sistem, yaitu perbedaan antara nilai referensi/nilai yang diinginkan dan nilai aktual. Dengan cara tersebut akan sesuai dengan tujuan sistem kontrol di mana mendapat nilai aktual atau sinyal keluaran sama dengan nilai yang diinginkan/referensi. Semakin kecil kesalahan yang terjadi, semakin baik kinerja sistem kontrol yang diterapkan.

Jika perbedaan antara nilai referensi dengan nilai keluaran selisihnya relatif besar, maka kontroler yang baik harus dapat mempengaruhi plant agar memperkecil selisih nilai keluaran plant dengan nilai referensi sekecil mungkin secara cepat dan tepat. Prinsip kerja kontroler adalah membandingkan nilai aktual keluaran plant dengan nilai referensi, kemudian menentukan nilai kesalahan dan akhirnya menghasilkan sinyal kontrol untuk meminimalkan kesalahan (Ogata, K., 1997).

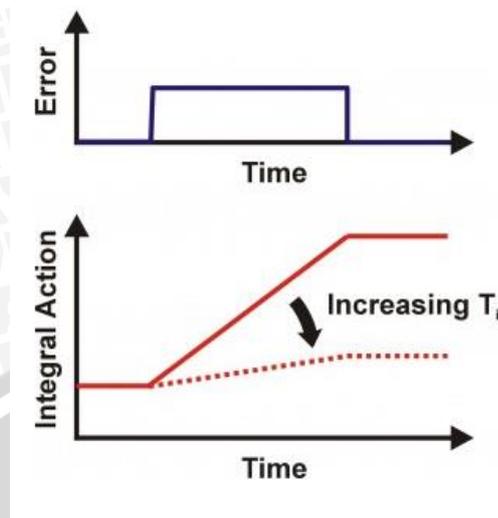
2.3. Kontroler PI (Proporsional Integral)

Kontroler proporsional memiliki keluaran yang sebanding/proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan, bahwa keluaran kontroler proporsional merupakan perkalian antara konstanta proporsional dengan masukannya. Perubahan pada sinyal masukan akan segera menyebabkan sistem secara langsung mengubah keluarannya sebesar konstanta pengalinya. (Ogata, K., 1997).

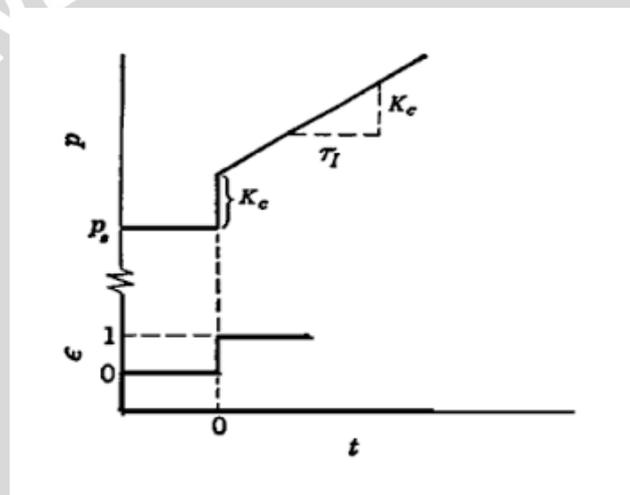
Kontroler integral berfungsi mengurangi kesalahan keadaan mantap yang dihasilkan pada kontroler proporsional sebelumnya. Kalau sebuah plant tidak memiliki unsur integrator ($1/s$), kontroler proporsional tidak akan mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan mantap nol. (Ogata, K., 1997). Gambar 2.2 dan 2.3 merupakan respon dari kontroler proporsional dan kontroler integral dengan masukan *unit step*. Gambar 7.4 adalah gambar respon dari gabungan dua kontroler, yaitu proporsional dan integral.



Gambar 2.2. Gambar Kontroler Proporsional



Gambar 2.3. Gambar Kontroler Integral



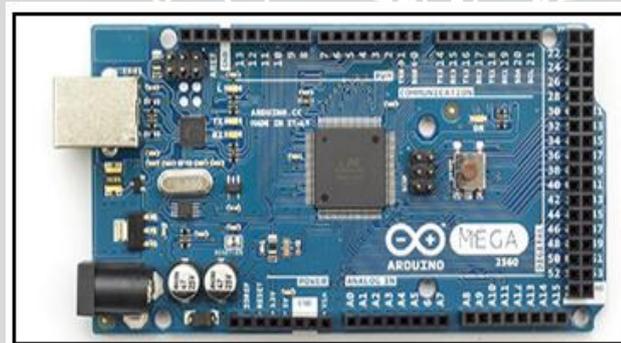
Gambar 2.4. Respon Kontroler Proporsional Integral

2.4. Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis Atmega2560. Arduino Mega2560 memiliki 54 digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (port serial hardware), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, power jack, ICSP header, dan tombol reset. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau power dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega2560 kompatibel dengan sebagian besar *shield* yang dirancang untuk Arduino Duemilanove atau Arduino Diecimila. Arduino Mega2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega.

Pin POWER pada *board* Arduino Mega2560 diantaranya adalah:

- **VIN**. Tegangan masukan untuk *board* Arduino ketika menggunakan catu daya eksternal (berbeda dengan 5V yang berasal dari konektor USB atau sumber tegangan yang telah disesuaikan).
- **5V**. Pin output ini mengeluarkan output sebesar 5V yang telah disesuaikan menggunakan regulator yang berasal dari *board* Arduino. *Board* Arduino dapat dicatu dengan daya yang berasal dari *power jack* DC (7-12V), konektor USB (5V), atau pin VIN yang terdapat pada *board* (7-12V). Mencatu daya pada pin 5V dan 3,3V akan merusak regulator dan *board* Arduino.
- **3,3V**. Merupakan catu daya sebesar 3,3V yang dihasilkan oleh regulator pada *board* Arduino.
- **GND**. Merupakan pin *ground*.
- **IOREF**. Pada *board Arduino*, pin ini menyediakan tegangan referensi yang dioperasikan oleh mikrokontroler. *Shield* yang telah dikonfigurasi dengan baik dapat membaca tegangan pin IOREF dan dapat memilih catu daya yang sesuai atau dapat mengaktifkan tegangan translasi pada output yang bekerja pada 5V atau 3,3V. Gambar 2.5 menunjukkan bentuk fisik Arduino Mega2560.



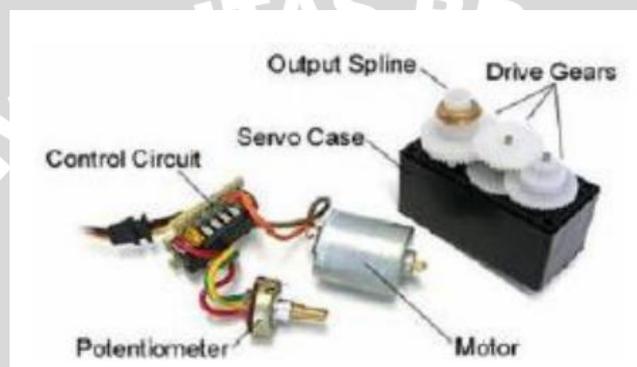
Gambar 2.5. Arduino Mega2560

2.5. Motor DC Servo

Motor DC *servo* adalah sebuah motor dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor DC *servo*. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo.

Sedangkan sudut dari sumbu motor DC *servo* diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor.

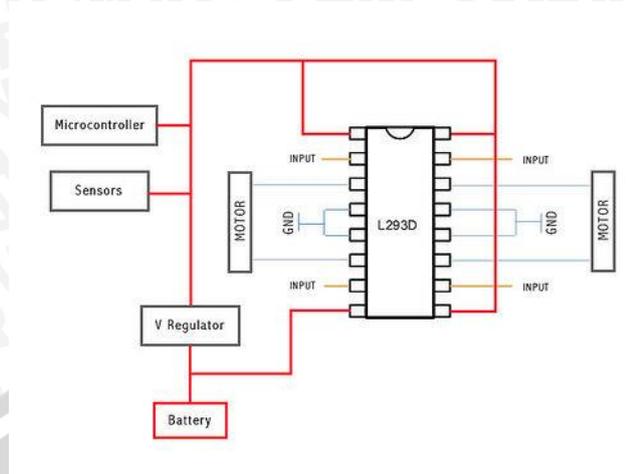
Seperti yang kita tahu bahwa motor DC *servo* terdiri dari rangkaian pengontrol, gear, potensiometer dan motor DC. Potensiometer terhubung dengan gear demikian pula motor DC. Ketika motor DC diberi signal oleh rangkaian pengontrol maka dia akan bergerak demikian pula potensiometer dan otomatis akan mengubah resistansinya. Rangkaian pengontrol akan mengamati perubahan resistansi dan ketika resistansi mencapai nilai yang diinginkan maka motor akan berhenti pada posisi yang diinginkan.



Gambar 2.6. Bentuk Motor DC Servo

2.6. IC L293D

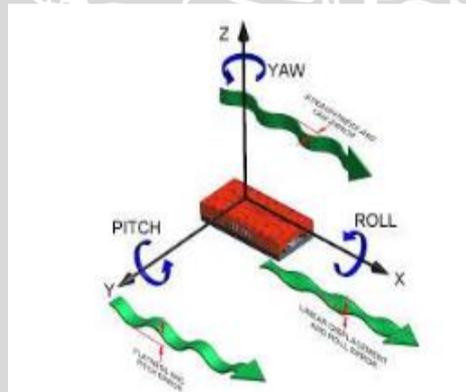
IC L293D adalah IC yang didesain khusus sebagai driver motor DC dan dapat dikendalikan dengan rangkaian TTL maupun mikrokontroler. Motor DC yang dikontrol dengan driver IC L293D dapat dihubungkan ke ground maupun ke sumber tegangan positif karena di dalam driver L293D sistem driver yang digunakan adalah totem pool. Dalam 1 unit chip IC L293D terdiri dari 4 buah driver motor DC yang berdiri sendiri sendiri dengan kemampuan mengalirkan arus 1 Ampere tiap drivernya. Sehingga dapat digunakan untuk membuat driver H-bridge untuk 2 buah motor DC.



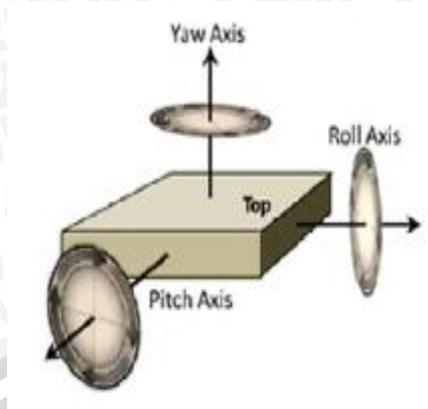
Gambar 2.7. Skema Penggunaan IC L293D

2.7. Sensor Inertial Measurement Unit (IMU)

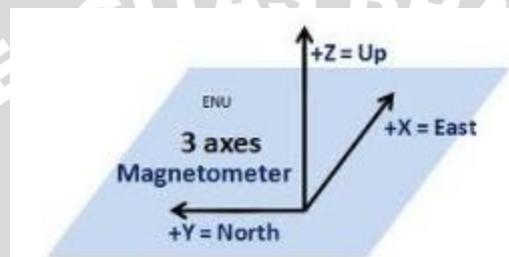
Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) adalah suatu instrumen yang terdiri dari accelerometer sebagai pendeteksi percepatan seperti pada Gambar 2.8, angular (gyroscope) yang berfungsi untuk menjejak keberadaan dan pergerakan suatu benda pada Gambar 2.9, dan magnetometer (compass) sebagai instrumen dalam mengukur kekuatan arah medan magnet di sekitar instrument seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2.8. Tiga Axis Accelerometer



Gambar 2.9. Tiga Axis Gyroscope



Gambar 2.10 Tiga Axis Magnetometer

2.8. Penentuan Parameter Motor DC

Untuk menentukan fungsi alih dari motor DC metode yang digunakan adalah pemodelan fisik. Metode pemodelan fisik adalah identifikasi parameter fisik dan elektrik pada Motor DC. Parameter yang digunakan dalam penentuan fungsi alih adalah resistansi, induktansi, konstanta motor, koefisien viscosi dan Momen inersia.

Karakteristik motor DC adalah nilai torsi sebanding dengan arus jangkari (i) dengan faktor konstanta (K_t), seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1.

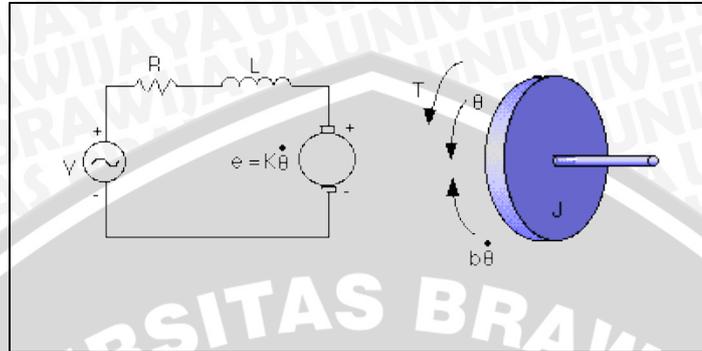
$$T = K_t i \dots\dots\dots(1)$$

Back-emf (e) adalah jika sebuah konduktor listrik memotong garis medan magnet maka timbul gaya gerak listrik pada konduktor.

$$e = K_e \dots\dots\dots(2)$$



Dalam SI unit, torsi motor dengan *back-emf* adalah sebanding maka nilai dari $K_t = K_e$, oleh karena itu untuk mempermudah dapat digunakan K untuk mewakili dari nilai K_t dan K_e .



Gambar 4.1. Rangkaian Motor DC

Dari gambar 4.6 maka dapat diuraikan menggunakan hukum Newton II dan Hukum tegangan Kirchoff.

$$\Sigma F = ma$$

$$K_i - b = J$$

$$J + b = K_i \dots\dots\dots(3)$$

$$\Sigma V = 0$$

$$L \frac{di}{dt} + R_i + K - V = 0$$

$$L \frac{di}{dt} + R_i = V - K \dots\dots\dots(4)$$

Dari persamaan (3) dan (4) dapat diturunkan menggunakan transformasi laplace maka didapatkan persamaan:

$$s(Js + b)(s) = KI(s) \dots\dots\dots(5)$$

$$(Ls + R) I(s) = V(s) - Ks(s) \dots\dots\dots(6)$$

Untuk mendapatkan fungsi alih maka $I(s)$ dihilangkan pada persamaan (5) dan (6), dimana kecepatan rotasi dianggap sebagai keluaran dan masukan dianggap sebagai masukan.

$$P(s) = \frac{(s)}{V(s)} = \frac{K}{(Js+b)(Ls+R)+K^2} \frac{rad/s}{V} \dots\dots\dots(7)$$

Apabila persamaan fungsi alih sudah didapatkan, untuk nilai resistansi (R) dan nilai induktansi (L) dapat dicari dengan menggunakan alat ukur. Selanjutnya untuk mencari nilai dari *back-emf* didapatkan dengan persamaan:

$$e = V - IR \dots\dots\dots(8)$$

Untuk mencari nilai dari K didapatkan dengan mengukur kecepatan motor ω (dalam *rad/s*) pada saat diberi sumber tegangan (V) dari persamaan (2) dan (8). Sehingga didapatkan persamaan:

$$K = \frac{e}{\omega} \dots\dots\dots(9)$$

Selanjutnya untuk mengestimasi nilai koefisien dari nilai friksi (b) motor menggunakan persamaan (3). Motor dinyalakan hingga mencapai kecepatan konstan sehingga $\frac{d\theta}{dt} = 0$ atau bisa diasumsikan bahwa nilai percepatannya adalah 0.

$$b = \frac{Ki}{\omega} \dots\dots\dots(10)$$

Yang terakhir adalah menentukan nilai dari momen inersia dari motor. Motor dinyalakan sampai mencapai kecepatan yang konstan kemudian tidak diberi sumber tegangan atau $V=0$, sehingga nilai arus sama dengan 0.

$$J + b = 0 \dots\dots\dots(11)$$

Pada persamaan (11) diperoleh dari dengan cara pada saat kecepatan *steady state* sebagai awal kecepatan dalam persamaan.

$$\omega = \frac{Te}{B} e^{-\left(\frac{B}{T}\right)t} \dots\dots\dots(12)$$



Ketika nilai (t) sama dengan $\tau = \frac{J}{B}$ adalah waktu konstan pada saat di beri sumber tegangan (V). Kemudian (V) dilepas hingga kondisi motor berhenti. Karena nilai b sudah diketahui dari persamaan (10), maka akan didapatkan nilai momen inersia dari motor DC.



BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam pencapaian tujuan skripsi ini dibutuhkan metodologi penelitian dalam pelaksanaannya, berikut ini adalah metodologi yang digunakan dalam penelitian:

3.1. Perancangan dan Pembuatan Alat

3.1.1. Perancangan Perangkat Keras dan Pembuatan Alat

- a. Pembuatan diagram blok
- b. Penentuan dan Perhitungan komponen yang akan digunakan dalam perancangan alat
- c. Merakit perangkat keras (hardware)

3.1.2. Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak

Setelah merancang perangkat keras, maka langkah selanjutnya adalah merancang perangkat lunak guna mengendalikan dan mengatur kerja daripada alat. Desain dan parameter yang telah dirancang kemudian diterapkan pada Arduino Mega dengan menggunakan software Arduino ERW 1.0.5.

Perancangan perangkat lunak dilakukan setelah mengetahui nilai parameter Proporsional (P) dan Integral (I). Perancangan dimulai dari pembuatan *flowchart*, kemudian penulisan *listing code*.

3.2. Pengujian dan Analisis Data

Setelah semua komponen pada alat sudah terhubung sesuai dengan diagram blok sistem yang telah dirancang dan program *software* sudah dibuat, maka diadakan pengujian dan analisis alat. Performansi sistem yang diinginkan dari pengendalian posisi ini adalah respon sistem tanpa *overshoot* dengan *error steady state* seminimal mungkin.

Pengujian dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut

1. Pengujian pada sensor yang digunakan.
2. Penggabungan semua blok rangkaian menjadi sebuah sistem.
3. Pengujian alat secara keseluruhan.
4. Evaluasi dan analisis pengujian sistem yang didapat .

3.3. Pengambilan Kesimpulan

Kesimpulan diambil berdasarkan hasil data yang diperoleh dari pengujian keseluruhan. Jika hasil yang didapatkan telah sesuai dengan yang direncanakan, maka sistem kendali tersebut telah berhasil memenuhi harapan dan untuk penyempurnaan mendalam perlu adanya pengembangan lebih lanjut.



BAB IV

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan dalam skripsi ini bertujuan untuk merancang beberapa perangkat maupun alat secara keseluruhan. Perancangan perangkat tersebut meliputi perancangan perangkat keras maupun perancangan perangkat lunak. Sedangkan pembuatan bertujuan untuk menghasilkan semua perangkat pendukung maupun alat secara keseluruhan.

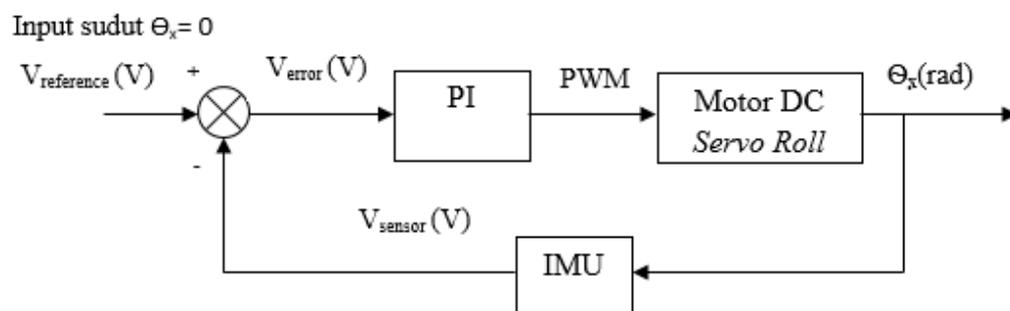
4.1. Spesifikasi Komponen

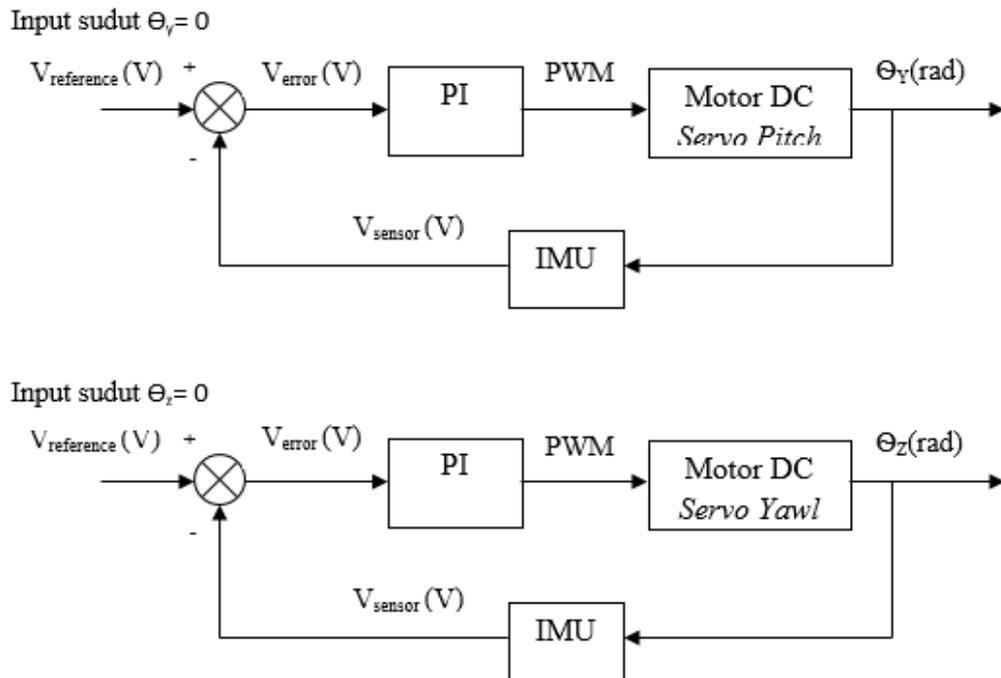
Spesifikasi yang sistem dirancang adalah sebagai berikut:

1. Motor servo Tower Pro MG995 dengan melepaskan rangkaian kontrol dan potensiometranya.
2. Sensor Inertial Measurement Unit dengan 9 derajat kebebasan yang di dalamnya accelerometer ADXL345, gyroscope L3G4200D, magnetomotor HMC5883L_3, dan Barometer BMP085.
3. IC L293D
4. Arduino Mega 2560
5. Mika Akrilik.
6. Kamera Digital.

4.2. Diagram Blok Sistem

Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan dalam Gambar 4.1.





Gambar 4.2. Diagram Blok Sistem

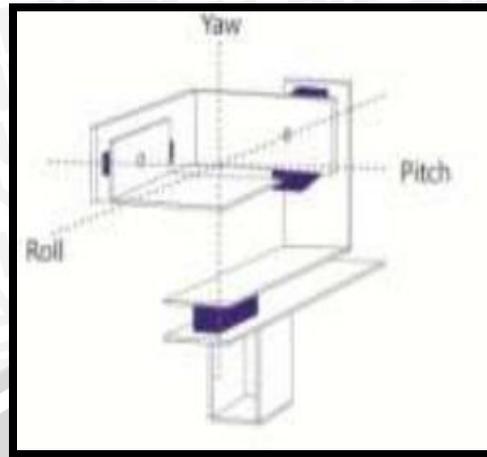
Keterangan dari blok diagram diatas adalah sebagai berikut :

- *Set point* sistem berupa posisi kamera pada X nol derajat, Y nol derajat, dan Z nol derajat.
- Pusat pengendalian sistem menggunakan Arduino Mega yang memberikan sinyal keluaran berupa *pulse width modulation* (PWM) ke motor servo.
- Sebagai *feed back* digunakan sensor Inertial Measurement Unit yang di dalamnya terdapat gyroscope, accelerometer, dan magnetometer.

4.3. Perancangan Perangkat Keras

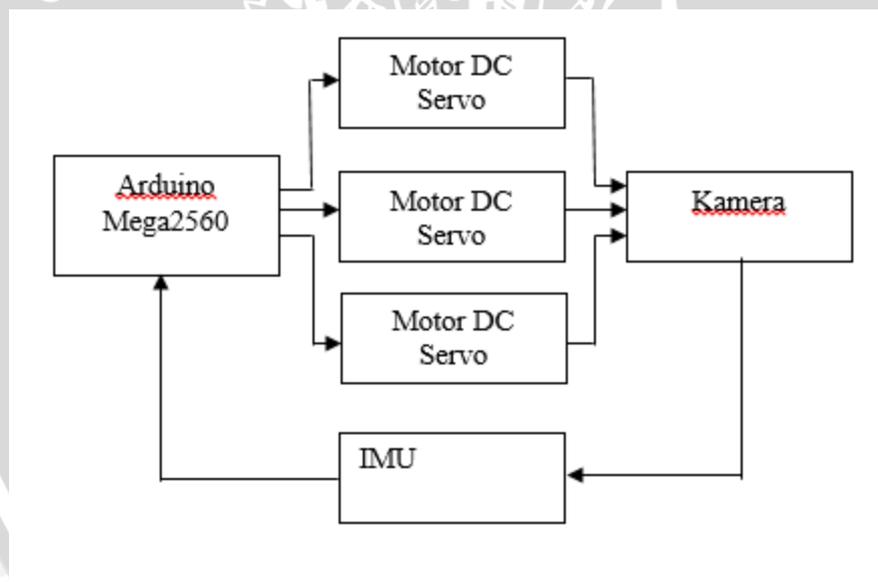
4.3.1. Perangkat Keras

Alat pada penelitian ini dirancang menggunakan mika akrilik yang didesain seperti pada gambar 4.2.



Gambar 4.3. Perancangan Alat

Rancangan perangkat keras dari alat pada penelitian ini terdiri dari tiga motor DC servo, kamera, arduino mega. . Diagram blok perangkat keras dari alat digambarkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.4. Diagram Blok Perangkat Keras

4.3.2. Motor DC Servo

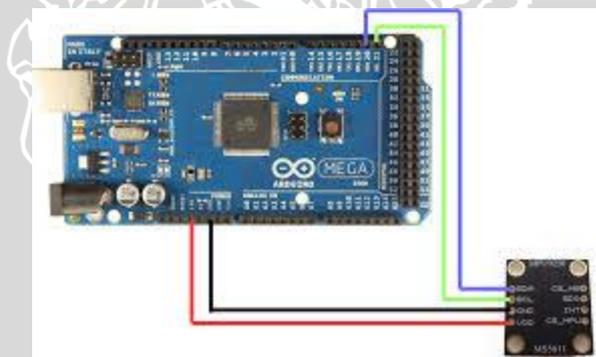
Motor DC *servo* yang digunakan berjumlah tiga dengan spesifikasi yang sama. Masing-masing motor DC *servo* difungsikan untuk merubah sudut *roll*, *pitch*, dan *yaw*. Motor DC *servo* yang digunakan adalah tipe tower pro MG995 yang masukannya maksimal 4,8 volt dan torsi sebesar

10 kg. Tegangan masukan motor servo langsung dihubungkan dengan arduino dan datanya dihubungkan pada pin PWM arduino.

Motor DC dalam motor DC servo dilepaskan dari rangkaian kontrol dan potensiometranya untuk didapatkan fungsi alih dari motor tersebut. Selain itu, fungsi potensiometer digantikan dengan sensor IMU dan rangkaian kontrolnya diganti dengan IC L293D.

4.3.3. Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) GY-80

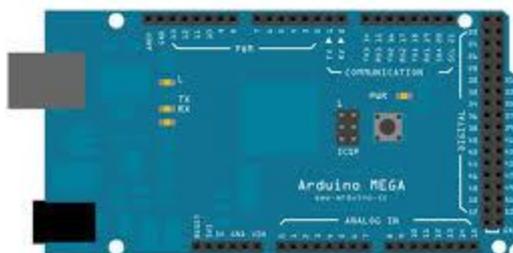
Sensor IMU GY-80 yang digunakan adalah sensor IMU dengan sembilan derajat kebebasan yang didalamnya ada gyroscope L3G4200D, accelerometer ADXL345, dan magnetometer BMP085, dan Barometer termometer BMP085. Pada penelitian ini, penulis hanya menggunakan accelerometer dan magnetometer untuk mendapatkan nilai sudut x, y, dan z. IMU GY-80 menggunakan komunikasi I2C yang dihubungkan pada arduino yang terlihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.5. Komunikasi I2C Antara Sensor Dengan Arduino Mega

4.3.4. Konfigurasi I/O Arduino Mega

Pada alat ini digunakan Arduino Mega sebagai pusat pengolah utama dalam melakukan proses pengendalian. Untuk konfigurasi I/O Arduino Mega seperti Gambar 4.5 ditunjukkan oleh Tabel 4.1.



Gambar 4.6. Board Arduino Mega

No	Pin	Fungsi
1	GND	Digunakan sebagai jalur <i>ground</i> untuk sensor IMU dan tiga motor yang diparalelkan menggunakan <i>project board</i>
2	5V	Digunakan sebagai catu daya untuk sensor IMU dan tiga motor yang diparalelkan menggunakan <i>project board</i>
3	SCL	Digunakan untuk pin SCL pada sensor IMU
4	SDA	Digunakan untuk pin SDA pada sensor IMU
5	D2,3	Digunakan untuk pin PWM pada motor 1
6	D4,5	Digunakan untuk pin PWM pada motor 1
7	D6,7	Digunakan untuk pin PWM pada motor 3

Tabel 4.1. Konfigurasi I/O Arduino Mega

4.3.5. Identifikasi Motor DC

Pada pengujian identifikasi driver motor DC menggunakan Matlab ini akan didapatkan fungsi alih. Fungsi alih sendiri digunakan untuk mengetahui karakteristik dari motor DC yang digunakan. Setelah melakukan pengujian rangkaian driver DC maka didapatkan data dari hasil pengujian tersebut. Data hasil pengujian kemudian disimulasikan menggunakan Matlab.

4.3.5.1. Menentukan Parameter Motor DC

Untuk mendapatkan fungsi alih dari motor DC diperlukan beberapa parameter data hasil pengujian. Data yang diperoleh dari pengujian fisik motor DC antara lain:

- $V = 3,5 \text{ volt}$
- $i = 0,1031 \text{ A}$
- $\omega = 3,18 \text{ rad/s}$
- $R = 1,8 \Omega$
- $L = 0,025 \text{ H}$
- $T_m = 1,1 \text{ s}$

Kemudian hasil dari pengujian fisik motor DC didapatkan beberapa parameter pada persamaan (8) sampai (10) sebagai berikut:

- Nilai dari *back - emf* didapatkan menggunakan persamaan (8) dengan memasukkan nilai parameter diatas dan menghasilkan nilai:

$$e = V - i \times R$$

$$e = 3,5 - 0,1031 \times 1,8 = 3,31442 \text{ volt}$$

- Nilai dari konstanta motor dapat diperoleh dari persamaan (9), setelah memasukan nilai parameter yang diperoleh diatas akan didapatkan:

$$K = e : \omega \text{ (9)}$$

$$K = 3,31442 : 3,18 = 1,4028$$

- Nilai koefisien *friction* dapat diperoleh dari persamaan (10), setelah memasukan nilai parameter yang diperoleh diatas akan didapatkan:

$$b = K \times i : \omega \text{ (10)}$$

$$b = 1,4028 \times 0,1031 : 3,18 = 0,045$$

- Dari nilai-nilai diatas akan didapatkan nilai momen inersia yang dihitung sebagai berikut ini:

$$J = b \times Tm$$

$$J = 0,085 \times 1.1 = 0,0455$$

4.3.5.2. Menentukan Fungsi Alih Motor DC

Setelah mendapatkan parameter motor DC, kemudian akan ditentukan fungsi alih dengan cara memasukan ke dalam simulasi menggunakan MATLAB. Dengan memasukan paramter motor DC kedalam program MATLAB seperti Gambar 4.9.

```
V=3.5
i=0.1031
w=3.18
R=1.8
L=0.025
Tm=1.1

E=V-i*R
K=E/w
B=K*i/w
J=B*Tm

s=tf('s')
P=K/((J*s+B)*(L*s+R)+K^2)
step(P)

pole(P)
```

Gambar 4.7. Program Parameter Motor DC pada MATLAB

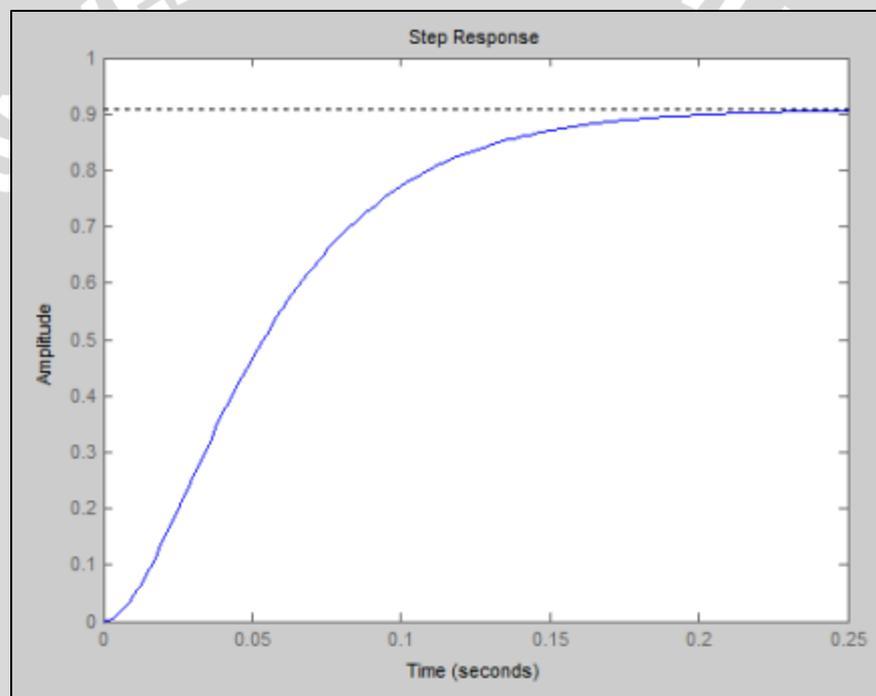
Kemudian pada MATLAB akan mensimulasikan untuk mendapatkan fungsi alih dari hasil paramater motor DC dan menunjukkan pole dari fungsi alih. Hasil dari fungsi alih dan pole ditunjukkan pada gambar 4.10. Setelah itu akan di plot grafik respon dari karakteristik motor DC yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.

```

P =
    1.042
-----
0.0009293 s^2 + 0.06775 s + 1.147
Continuous-time transfer function.

ans =
    -46.1744
    -26.7347
    
```

Gambar 4.8. Fungsi Alih dan Pole Motor DC



Gambar 4.9. Respon Motor DC dari Hasil Simulasi MATLAB

4.3.6. Perancangan Kontroler PI

Perancangan kotroler PI pada penelitian ini menggunakan metode *direct*. Metode ini menggunakan penurunan perhitungan dari fungsi alih yang didapat. Perhitungan *direct* dari fungsi alih untuk mencari parameter kontroler PI adalah sebagai berikut:

- Fungsi alih yang didapatkan melalui identifikasi motor seperti yang ditunjukkan Gambar 4.8:



$$\frac{\omega}{V_a} = \frac{1,042}{0,000923s^2 + 0,06775s + 1,147}$$

- Penyebut dari fungsi alih motor difaktorisasi dan didapatkan seperti nilai *pole* yang ditunjukkan Gambar 4.8.:

$$\frac{\omega}{V_a} = \frac{1,042}{(s+46,1744)(s+26,7347)}$$

- Nilai *pole* dikeluarkan dan nilai koefisien *s* dibagi dengan nilai *pole* dan penjumlahnya menjadi bernilai 1:

$$(s + 46,1744) = (46,1744) \left[\frac{1}{46,1744} s + 1 \right]$$

$$(s + 26,7347) = (26,7347) \left[\frac{1}{26,7347} s + 1 \right]$$

$$\frac{\omega}{V_a} = \frac{1,042}{(46,1744)(26,7347) \left[\frac{1}{46,1744} s + 1 \right] \left[\frac{1}{26,7347} s + 1 \right]}$$

- Nilai T_1 dan T_2 masing-masing didapatkan dari koefisien *s*. Nilai T_1 kemudian diasumsikan menjadi T_i .

$$\frac{\omega}{V_a} = \frac{G_{ss}}{(A_1)(A_2)[T_1s + 1][T_2s + 1]}$$

$$T_1 = \frac{1}{46,1744} = 0,02166$$

$$T_2 = \frac{1}{26,7347} = 0,0740$$

- Maka diperoleh nilai T_i sebesar 0,0084. Dengan didapatkan nilai T_i kemudian Nilai K_i dapat dicari dengan persamaan dan perhitungan:

$$\frac{K_i}{s} = \frac{1}{(T_i s + 1)K_i}$$

$$\frac{K_i}{s} = \frac{1}{(0,02166s + 1)K_i}$$

- Dari perhitungan di atas didapatkan fungsi *close loop*:

$$F_{cl} = \frac{K_i}{s(T_i s + 1) + K_i}$$

$$F_{cl} = \frac{K_i}{s(0,02166 s + 1) + K_i} = \frac{K_i}{0,02166 s^2 + s + K_i}$$

- Fungsi *close loop* yang didapatkan kemudian digunakan untuk mencari nilai α dan β dengan membagi penyebut dengan 0,02166. Setelah dibagi, didapatkan perhitungan:

$$F_{cl} = \frac{K_i/0,02166}{s^2 + \frac{1}{0,02166}s + \frac{K_i}{0,02166}}$$

$$F_{cl} = \frac{K_i/0,02166}{s^2 + 2\alpha s + \beta^2}$$

- Dengan persamaan fungsi *close loop* tersebut, maka nilai α dan β dapat diperoleh:

$$2\alpha = \frac{1}{0,02166} \rightarrow \alpha = \frac{1}{0,04331} = 23,087$$

$$\beta = \sqrt{\frac{K_1}{0,02166}}$$

- Nilai α dan β kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai D:

$$D = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{23,087}{\sqrt{\frac{K_1}{0,02166}}}$$

- Nilai D diasumsikan menjadi 1 sehingga perhitungan menjadi berikut:

$$1 = \frac{23,087}{\sqrt{\frac{K_i}{0,02166}}}$$

- Dari perhitungan dengan mengasumsikan nilai D menjadi 1, maka nilai K_i dapat diperoleh:

$$\frac{K_i}{0,02166} = (23,087)^2$$

$$K_i = 11,4971$$

- Dengan didapatkannya nilai K_i , maka nilai K_p dapat diperoleh dari perkalian K_i dengan T_i

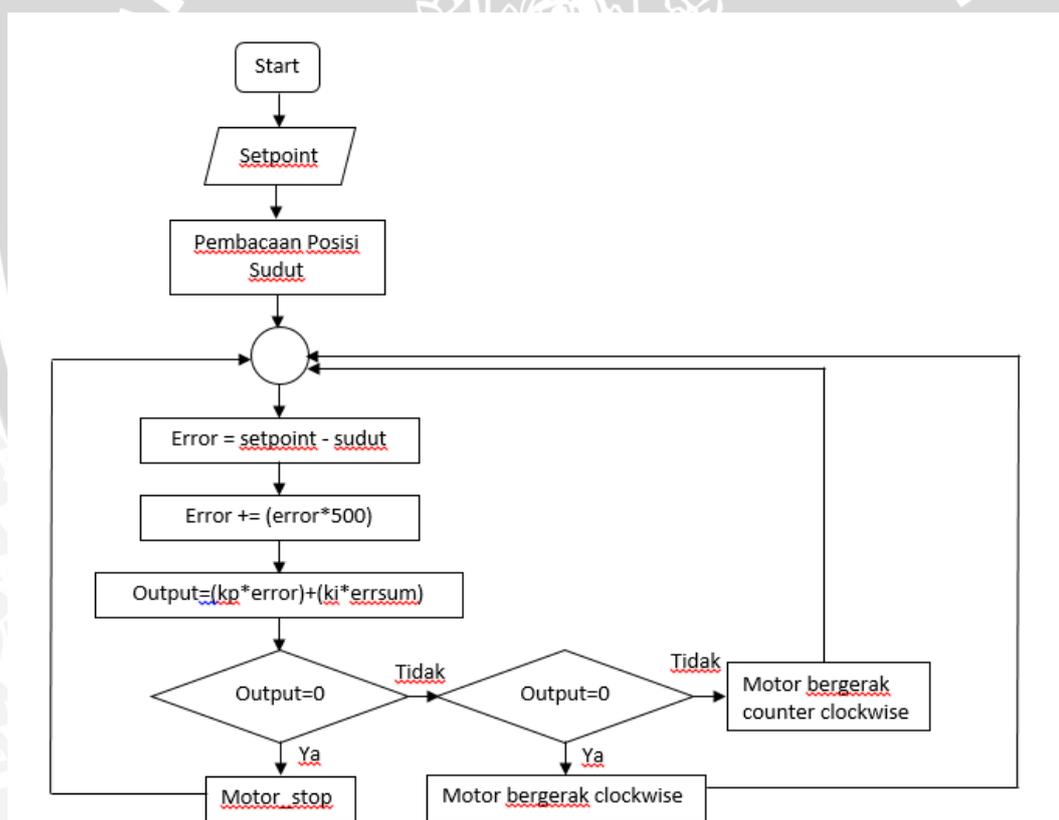
$$K_p = K_i \times T_i$$

$$K_p = 11,4971 \times 0,02166$$

$$K_p = 0,24899$$

4.3.7. Perancangan Perangkat Lunak

Flowchart sistem masing-masing sumbu x, y, dan z ditunjukkan oleh Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Flowchart sistem

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1. Pengujian Sensor IMU

a. Tujuan

Mengetahui tingkat kelinieran dari sensor IMU dalam membaca sudut.

Peralatan yang digunakan

- Sensor IMU GY-80.
- Arduino Mega.
- PC.

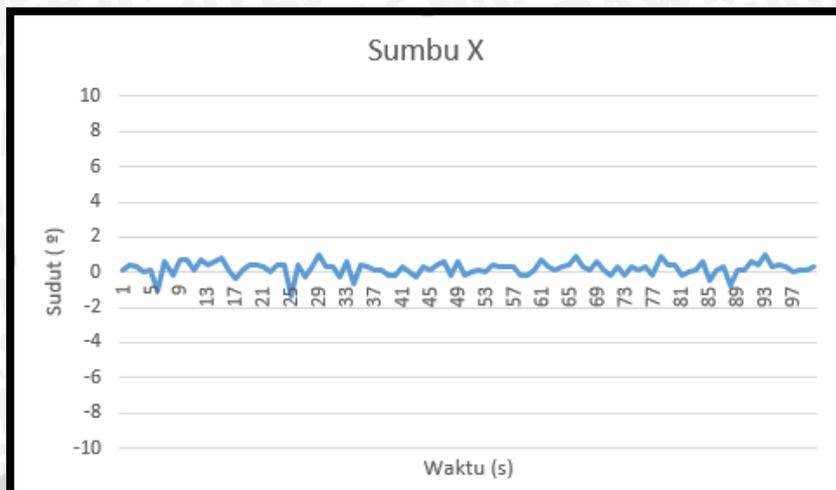
b. Langkah Pengujian

1. Merangkai peralatan seperti pada Gambar 4.8.
2. Menjalankan program untuk membaca sensor pada Arduino.
3. Sensor diletakkan pada sumbu x, y, dan z nol derajat.
4. Mencatat hasil dan mengubahnya dalam bentuk grafik.

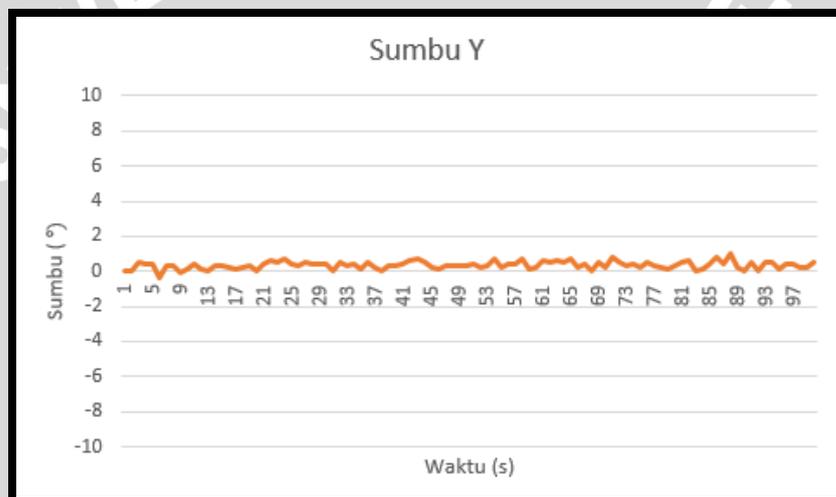
c. Hasil Pengujian

Grafik dari pembacaan sensor setiap sumbu yang berubah sesuai fungsi waktu dapat dilihat pada Gambar 5.1, 5.2, dan 5.3.

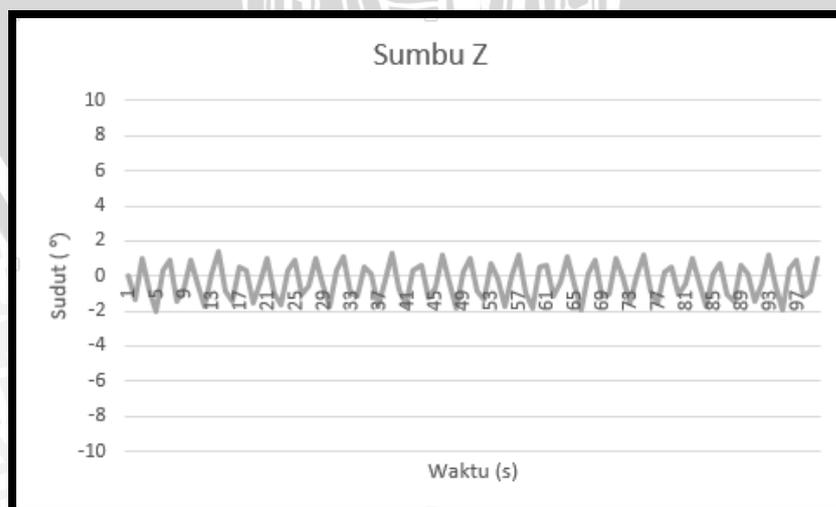




Gambar 5.1 Grafik pembacaan sensor pada sumbu X



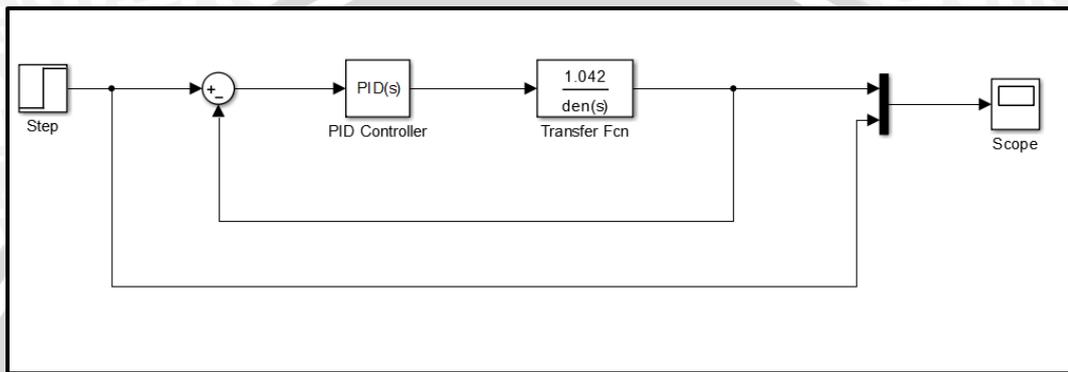
Gambar 5.2 Pembacaan Sensor pada Sumbu Y



Gambar 5.3 Pembacaan Sensor pada Sumbu Z

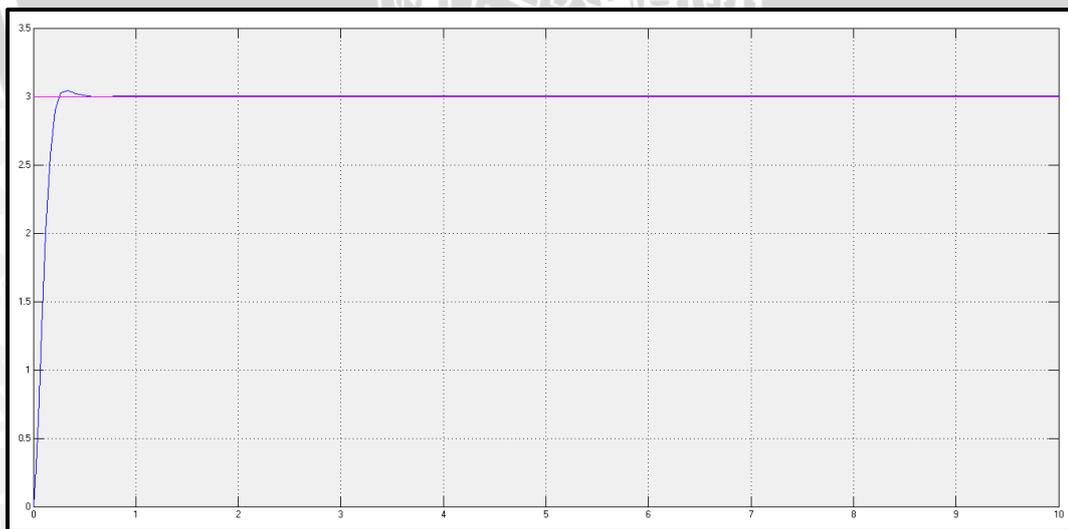
5.2. Pengujian Kontroler PI Menggunakan Simulasi Matlab

Pengujian kontroler PI menggunakan simulasi matlab dilakukan dengan membuat blok diagram dengan masukan unit step. Blok *transfer function* diisi dengan fungsi alih motor. Sementara blok *PID controller* diisi nilai $P=0,24899$ dan nilai $I=11,4971$. Blok diagram simulasi ditunjukkan oleh Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Diagram Blok Pengujian kontroler PI

Setelah blok diagram dibuat seperti Gambar 5.4, simulasi dijalankan dan dilihat grafiknya pada blok *scope*. Grafik dari respon sistem ditunjukkan oleh Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Respon Sistem Dengan Menggunakan Kontroler PI

Dari Gambar 5.5 dapat diketahui *time settling* (t_s) dari respon sistem tersebut adalah 0,258 detik. *Overshoot* dari respon tersebut sebesar 1,67% dan masih dalam batas maksimal *error* yaitu di bawah 2%.



BAB VI

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai parameter yang digunakan untuk kontroler PI menggunakan metode *direct* adalah $K_p = 0,24899$ $K_i = 11,4971$.
2. Setelah diimplementasikan dan disimulasikan, *time settling* motor yang sebelumnya 0,25 dan mengalami *error* 9% dan setelah diberi kontroler *error* men jadi 0,1% dengan *time settling* 0,258.



DAFTAR PUSTAKA

- Alfrian D.F., Aris T., Budi S. 2013. *Sistem Stabilisator Shooting Point Kamera Pada Gimbal 3 Axis Dengan Metode Fuzzy*. Jurusan Teknik Elektro. Universitas Diponegoro Semarang.
- Astrom, K. J, & Hagglund, Tore. 1995. *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. Research Triangle Park: Instrument Society of America.\
- Atmel.2009.*DatasheetATmega2560PA/88PA/168PA/328P*
- Gopal, M. 1988. *Digital Control Engineering*. Singapore : Kin Keong Printing CO. PTE. LTD
- Gunterus, Frans. 1994. *Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

