



Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor Menggunakan Akuisisi Data Kemiringan dan PID

Proyek Akhir

Oleh:

Muhammad Febrian Diniansyah (3232301047)

**Program Studi Teknik Instrumentasi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025/2026**

Pernyataan Keaslian Proyek Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor Menggunakan Akuisisi Data Kemiringan dan PID" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 20 Januari 2026



Nama: Muhammad Febrian Diniansyah
NIM: 3232301047

Lembar Pengesahan

**Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar
Ahli Madya Teknik (AMd.T.)
di
Politeknik Negeri Batam**

**Oleh:
Muhammad Febrian Diniansyah (3232301047)**

Tanggal Sidang: 20 Januari, 2026

Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing 1



**1. Eka Mutia Lubis S.Pd,M.Pd.
NIK: 117186**

Dosen Penguji 1



**1. Muhammad Jaka Wimbang
Wicaksono, S.T.,M.T.
NIK: 122272**

Dosen Pembimbing 2



**2.Ir.Kamarudin, S.T.,M.T.,IPM
NIK: 110071**

Dosen Penguji 2



**2. Ardian Budi Kusuma Atmaja
S.Tr.,M.T.
NIK: 214172**

Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor Menggunakan Akuisisi Data Kemiringan dan PID

Abstrak

Sistem pencahayaan pada kendaraan bermotor sering kali tidak menyesuaikan dengan kondisi jalan yang miring, sehingga dapat mengganggu visibilitas pengendara maupun pengguna jalan lain. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem cerdas untuk mengatur sudut lampu motor secara otomatis berdasarkan kemiringan kendaraan. Sistem ini menggunakan sensor inersia untuk mengakuisisi data sudut kemiringan secara real-time dan mengolahnya melalui algoritma Proportional-Integral-Derivative (PID) guna mengendalikan aktuator servo yang mengatur sudut lampu. Dengan demikian, sudut pencahayaan lampu utama dapat disesuaikan secara adaptif terhadap kondisi jalan, meningkatkan kenyamanan dan keamanan berkendara. Pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perubahan kemiringan dengan cepat dan akurat dalam menjaga sudut lampu pada rentang optimal.

Kata kunci: sudut lampu, PID, sensor inersia, kendaraan bermotor

Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor Menggunakan Akuisisi Data Kemiringan dan PID

Abstract

The lighting system on motor vehicles often fails to adjust to sloped road conditions, which can impair visibility for drivers and other road users. This research aims to design and implement an intelligent system to automatically adjust the angle of motorcycle headlights based on the vehicle's slope. The system uses inertial sensors to acquire real-time slope angle data and processes it using a Proportional-Integral-Derivative (PID) algorithm to control the servo actuators that regulate the headlight angle. This allows the headlight angle to be adaptively adjusted to road conditions, improving driving comfort and safety. Tests have shown that the system is able to respond quickly and accurately to changes in slope, maintaining the headlight angle within the optimal range.

Keywords: headlight angle, PID, inertial sensor, motor vehicles

Kata Pengantar

Puji dan syukur yang tidak terhingga penulis hanturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Proyek Akhir yang berjudul “Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor Menggunakan Akuisisi Data Kemiringan dan PID”. Penulis menyelesaikan laporan Tugas Akhir untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (Amd.T.) kelulusan di Politeknik Negeri Batam Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Instrumentasi. Penulisan Laporan Proyek Akhir ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik berkat dukungan dan bantuan dosen, rekan mahasiswa dan dukungan dari banyak pihak yang ikut dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan Laporan Proyek Akhir ini. Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, yang selalu memberkati dalam keadaan terbaik hingga keadaan terburuk penulis dalam mengerjakan Tugas akhir ini.
2. Kepada kedua orang tua, yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, dan kebutuhan hidup kepada penulis.
3. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Teknik Elektro dan Seluruh teman-teman Instrumentasi Politeknik Negeri Batam yang telah membantu.

Daftar Isi

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir.....	i
Lembar Pengesahan	Error! Bookmark not defined.
Abstrak	iii
<i>Abstract</i>	iv
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Tabel	ix
Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Batasan	3
1.6. <i>Work Breakdown Structure</i> (Opsional)	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1. Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor.....	4
2.1.1 Sensor.....	4
2.1.2 Mikrokontroller.....	5
2.1.3 Servo.....	5
2.1.4 Matrix Xl.....	5
2.1.5 Aki Motor.....	5
2.1.6 Step-Down.....	5
Bab 3. Metode Pelaksanaan.....	6
3.1. Perancangan	6
3.1.1. Perancangan Elektrikal	7
3.1.2. Perancangan Mekanikal	8
3.1.3. Flowchart Program.....	9
3.1.4. Penentuan Setpoint Pada Lampu.....	10

3.2. Alat dan Bahan (Opsional)	10
3.3. Pengujian	11
3.3.1. Pengujian Akusisi Data Sensor MPU6050	11
3.3.2. Pengujian Respons PID Terhadap Kemiringan	12
3.3.3. Pengujian Output Servo Motor.....	12
Bab 4. Hasil dan Pembahasan	13
4.1. Data Hasil Penelitian.....	13
4.2. Pembahasan.....	13
4.2.1 Analisis Hasil Pengukuran Sudut Servo.....	14
4.2.2 Interpretasi dan Potensi Manfaat.....	14
4.3. Data Hasil Pengujian PID.....	15
4.3.1 Percobaan Pertama.....	15
4.3.2 Percobaan Kedua.....	17
4.3.3 Percobaan Ketiga.....	18
4.3.4 Percobaan Keempat.....	19
4.3.5 Percobaan Kelima.....	20
Bab 5. Kesimpulan dan Saran	21
5.1. Kesimpulan	21
5.2. Saran.....	21
Daftar Pustaka.....	22
Biodata	23
Lampiran.....	24

Daftar Gambar

Gambar 1. Sensor MPU6050	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2. Blok Diagram Sistem	6
Gambar 3. Diagram Alir.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. Perancangan Elektrikal.....	8
Gambar 5. Design Mekanikal.....	9
Gambar 6. Flowchart Program.....	9
Gambar 7. Percobaan Pertama PID.....	15
Gambar 8. Percobaan Kedua PID.....	17
Gambar 9. Percobaan Ketiga PID.....	18
Gambar 10. Percobaan Keempat PID.....	19
Gambar 11. Percobaan Keelima PID.....	20

Daftar Tabel

Tabel 1. Work Breakdown Structure.....	3
Tabel 2. Alat dan Bahan	10
Tabel 3. Data Hasil Peneliti.....	13
Tabel 4. Analisis Percobaan Petama PID.....	16
Tabel 5. Analisis Percobaan Kedua PID.....	17
Tabel 6. Analisis Percobaan Ketiga PID.....	18
Tabel 7. Analisis Percobaan Keempat PID.....	19
Tabel 8. Analisis Percobaan Kelima PID.....	20

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sepeda motor merupakan salah satu transportasi yang paling banyak digunakan di Indonesia. Namun, tingginya jumlah pengguna sepeda motor juga diiringi oleh angka kecelakaan yang cukup memprihatinkan. Berdasarkan data, pada tahun 2023 tercatat 115.526 kasus kecelakaan yang melibatkan sepeda motor. Jumlah ini meningkat signifikan menjadi 169.559 kasus pada tahun 2024. Salah satu faktor yang berkontribusi terhadap tingginya angka kecelakaan tersebut adalah kurang optimalnya sistem pencahayaan kendaraan, seperti tidak adanya bantuan cahaya lampu motor, penerangan jalan yang kurang memadai, serta sorotan cahaya lampu yang menyilaukan pengendara lain akibat pantulan dari kaca spion.(Hidayat,2024)

Permasalahan ini menunjukkan pentingnya sistem pencahayaan yang tidak hanya terang, tetapi juga adaptif terhadap kondisi jalan. Sorotan lampu yang tidak tepat arah, terutama saat kendaraan melaju di jalan menanjak atau menurun, dapat menimbulkan silau yang mengganggu penglihatan pengendara dari arah berlawanan. Bahkan, menurut laporan Kepolisian Republik Indonesia, sekitar 6,1% kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh efek silau dari cahaya lampu kendaraan. Salah satu kasus tragis terjadi ketika sebuah bus terjun ke jurang karena sopir terganggu oleh cahaya lampu dari kendaraan lain yang terlalu terang.

Menanggapi permasalahan tersebut, Peraturan Menteri Perhubungan No. 34 Tahun 2014 mengatur standar teknis mengenai tingkat kecerahan dan ketinggian sorotan sinar lampu kendaraan. Standar ini dibuat untuk memastikan bahwa cahaya lampu kendaraan tidak membahayakan pengendara lain. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pencahayaan kendaraan yang mampu menyesuaikan arah sorotan lampu secara otomatis sesuai dengan kondisi jalan dan posisi kendaraan.(Daynuari,2022)

Untuk menjawab tantangan ini, dirancanglah Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor yang menggunakan sensor inersia berbasis gyroscope untuk mengakuisisi data sudut kemiringan kendaraan secara real-time. Data kemiringan ini kemudian diolah menggunakan algoritma Proportional-Integral-Derivative (PID) untuk mengatur sudut pencahayaan lampu motor agar tetap berada pada arah optimal. Sistem ini diharapkan mampu meningkatkan visibilitas berkendara dan mengurangi potensi kecelakaan akibat pencahayaan yang tidak tepat arah.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diangkat dari latar belakang yang telah diketahui yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem cerdas yang mampu mengatur sudut lampu motor secara otomatis berdasarkan data kemiringan kendaraan?
2. Bagaimana cara mengakuisisi dan mengolah data kemiringan kendaraan menggunakan sensor inersia (gyroscope) secara real-time?
3. Bagaimana penerapan algoritma PID dalam mengendalikan sudut lampu agar sorot cahaya tetap optimal mengikuti kontur jalan?

1.3. Tujuan

Adapun beberapa tujuan pada proyek sebagai berikut :

1. Merancang dan mengembangkan sistem cerdas yang mampu mengatur sudut lampu motor secara otomatis berdasarkan perubahan sudut kemiringan kendaraan.
2. Mengimplementasikan sensor inersia (gyroscope) untuk mengakuisisi data kemiringan kendaraan secara real-time.
3. Meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengendara sepeda motor dengan sistem pencahayaan adaptif sesuai kondisi jalan..

1.4. Manfaat

Adapun beberapa Manfaat pada proyek sebagai berikut :

1. Sistem ini membantu mencegah kecelakaan yang disebabkan oleh pencahayaan lampu motor yang tidak tepat arah atau menyilaukan pengendara lain.
2. Dengan menyesuaikan sudut lampu secara otomatis berdasarkan kemiringan jalan, pengendara mendapatkan visibilitas yang lebih baik di berbagai kondisi jalan.
3. Penelitian ini dapat menjadi kontribusi dalam pengembangan teknologi otomotif, khususnya pada sistem pencahayaan adaptif untuk kendaraan roda dua.
4. Sistem membantu menjaga sorotan lampu agar tidak melampaui standar tinggi pencahayaan, sehingga mengurangi potensi silau terhadap pengendara dari arah berlawanan.
5. Sistem ini dapat menjadi studi awal bagi pengembangan teknologi berbasis kontrol PID dalam aplikasi lain yang membutuhkan respons real-time terhadap perubahan posisi atau orientasi.

1.5. Batasan

Adapun dibawah ini merupakan batasan masalah pada penelitian ini, dimana batasan merupakan kapasitas yang dimiliki oleh alat :

1. Sistem ini dirancang khusus untuk sepeda motor standar dan belum diuji pada kendaraan jenis lain seperti mobil atau motor sport dengan sistem pencahayaan kompleks.
2. Akuisisi data kemiringan hanya menggunakan sensor MPU6050, yaitu modul sensor inersia dengan output sudut roll, pitch, dan yaw. Sistem tidak menggunakan kombinasi sensor lain.
3. Pengaturan sudut headlamp hanya menggunakan servo motor, yang memiliki keterbatasan torsi serta rentang gerak tertentu, sehingga belum optimal untuk beban lampu yang besar atau housing lampu yang berat.
4. Sistem hanya diuji dengan catu daya laboratorium atau power supply terkontrol, belum diuji secara menyeluruh dengan sistem kelistrikan motor asli (aki, pengisian, dan getaran mesin).

1.6. Work Breakdown Structure (Opsional)

Work Breakdown Structure (WBS) ditampilkan jika TA dilakukan secara tim. Jelaskan peran masing-masing anggota dalam bentuk tabel (misal Tabel 1) dan teks.

Tabel 1. Work Breakdown Structure

No	Nama	Tugas dan Tanggung Jawab dalam Tim
1	Muhammad Febrian Diniansyah	Design Mekanikal, Akusisi Data Sensor MPU6050, Program.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1. Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor

Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor Menggunakan Akuisisi Data Kemiringan dan PID adalah sebuah sistem elektronik yang dirancang untuk mengatur secara otomatis arah sorot lampu utama (headlamp) pada sepeda motor, agar tetap sejajar dengan permukaan jalan berdasarkan kemiringan kendaraan. Sistem ini bekerja secara real-time dan otomatis dengan memanfaatkan sensor kemiringan dan algoritma kendali PID (Proportional-Integral-Derivative). Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor Menggunakan Akuisisi Data Kemiringan dan PID menggunakan kombinasi beberapa teknologi untuk memastikan fungsi utama, yaitu menjaga sudut pencahayaan lampu agar tetap optimal meskipun motor berada pada kemiringan tertentu. Berikut adalah penjelasan mengenai teknologi yang digunakan:

2.1.1 Sensor

Sensor MPU6050 digunakan untuk mendeteksi gerakan dan orientasi pada sepeda motor sehingga mampu menghasilkan informasi kestabilan sistem secara real-time. Sensor ini merupakan modul Inertial Measurement Unit (IMU) yang mengintegrasikan accelerometer 3-axis dan gyroscope 3-axis dalam satu chip. Pada salah satu penelitian dengan judul “Sistem Pendeteksi Kecelakaan Pada Sepeda Motor Berdasarkan Kemiringan Menggunakan Sensor Gyroscope Berbasis Arduino”, prinsip pendeteksian kemiringan juga memanfaatkan data sudut dari sensor inersia untuk menentukan kondisi kendaraan (Rauf, 2020).

1. Tegangan Kerja : 3.3V – 5V DC
2. Antarmuka : I2C (alamat default 0x68 atau 0x69)
3. Output Data : Percepatan (ax, ay, az) dan kecepatan sudut (gx, gy, gz)
4. Konektor : Header pin (VCC, GND, SDA, SCL)
5. Arus Operasi : $\pm 3.5\text{--}5\text{ mA}$
6. Refresh Rate : Hingga $\pm 1\text{ kHz}$ (tergantung konfigurasi)



Gambar 1. Sensor MPU6050

2.1.2 Mikrokontroler

Kami menggunakan Arduino nano sebagai otak dari sistem kontrol seperti dalam hal pengumpulan data sensor, Pemrosesan data, Kontrol aktuator, Pemeriksaan dan penyesuaian, Pemrograman dan debugging. Arduino Nano membaca data dari sensor MPU6050 untuk mendeteksi kemiringan, Data yang dihasilkan dari MPU6050 dikonversi menjadi sinyal digital yang dapat diproses lebih lanjut. (Pratama,2020).

2.1.3 Servo

Servo pada lampu motor bertujuan untuk mengatur ketinggian cahaya lampu motor agar sesuai dengan kondisi jalan dan menghindari menerangi pengemudi kendaraan lain secara langsung dengan menghitung sudut kendaraan melalui sensor MPU6050 yang di proses melalui arduino nano sehingga lampu dapat naik turun secara otomatis serta akurat, Dan mengurangi resiko akan terjadinya kecelakaan antar pengendara akibat terkena cahaya lampu dari pengendara lain. Servo yang digunakan yaitu motor servo DS3225. (Hidayat, 2024.)

2.1.4 Matrix XI

Lampu pada proyek ini menggunakan Matrix XI, Lampu tersebut yang akan dirancang untuk mengatur ketinggian cahaya secara presisi agar sesuai dengan kondisi jalan dan menghindari paparan langsung kepada pengemudi kendaraan lain. Lampu ini mampu untuk menghitung sudut kendaraan melalui sensor MPU6050 yang diolah menggunakan Arduino Nano, sehingga cahaya lampu dapat naik turun secara otomatis dan akurat. (Sudarno,2023)

2.1.5 Aki Motor

Aki berfungsi sebagai sumber daya utama bagi seluruh sistem. Aki 12V ini digunakan untuk memberikan suplai tegangan ke rangkaian secara keseluruhan, baik ke modul step-down (buck converter), servo, maupun Arduino. Aki ini biasa ditemukan pada kendaraan roda dua.

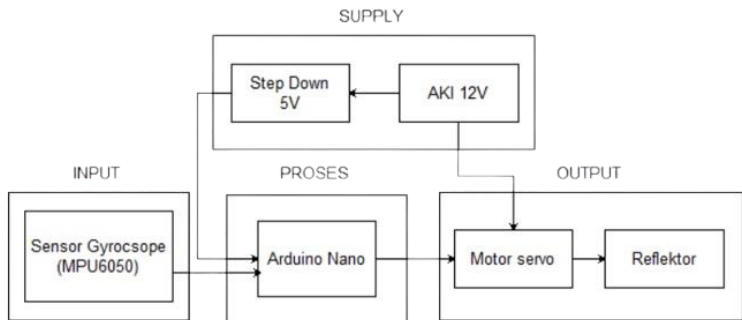
2.1.6 Step-Down

Modul ini digunakan untuk menurunkan tegangan dari 12V menjadi 5V agar sesuai dengan kebutuhan tegangan komponen elektronik lainnya seperti Arduino Nano, sensor MPU6050, dan servo motor. Selain itu, buck converter ini juga menjaga kestabilan tegangan agar tidak merusak komponen akibat fluktuasi daya.

Bab 3. Metode Pelaksanaan

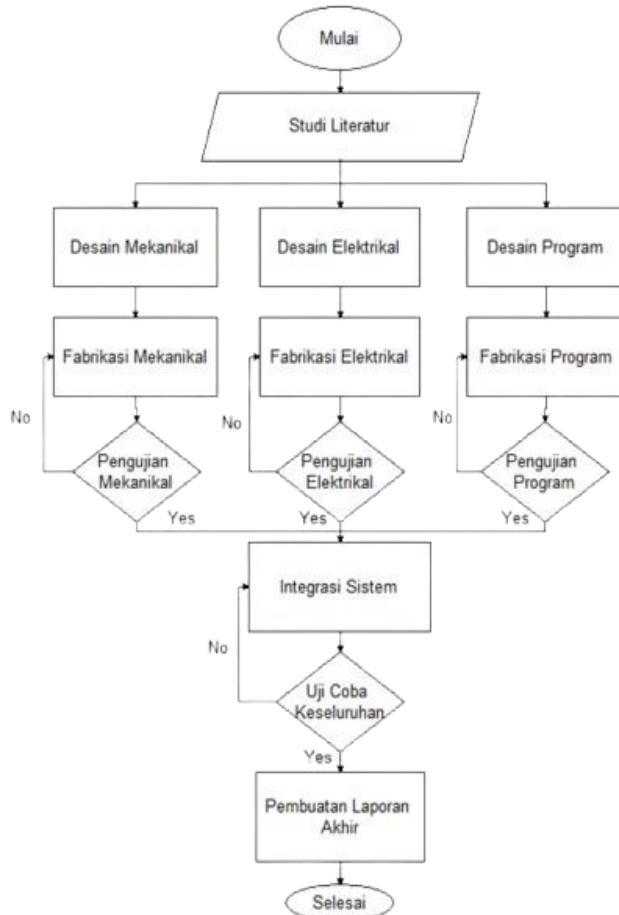
3.1. Perancangan

Pada pembahasan ini, akan membahas mengenai blok diagram dari sistem alat, perancangan elektrik, perancangan mekanikal, serta pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini. Selain itu juga memaparkan kebutuhan akan alat dan bahan yang akan digunakan. Dibawah ini akan dimulai dari blok diagram berkaitan dengan sistem yang dibuat, blok diagram disusun guna mempermudah dalam memahami hubungan antara komponen, memberikan gambaran yang jelas tentang alur data dari sensor hingga pada tampilan. Blok diagram juga membantu dalam perancangan sistem, dan membantu seluruh anggota tim dalam berkomunikasi dan menentukan peran dari tiap – tiap komponen.



Gambar 2. Blok Diagram Sistem

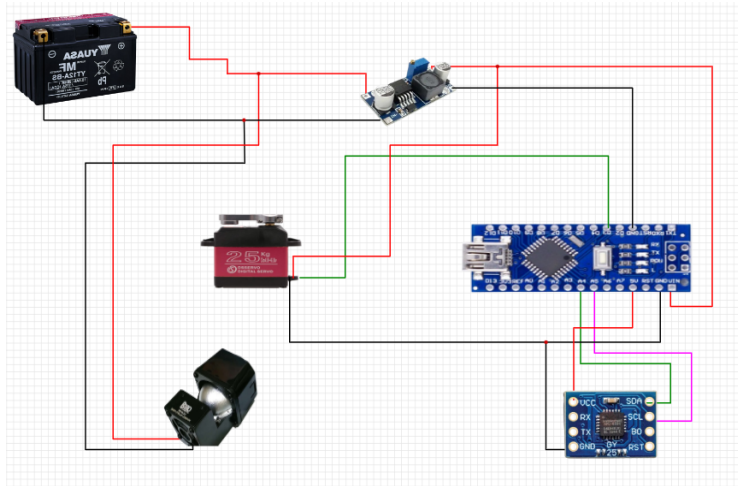
Pada blok input terdapat sensor gyroscope MPU6050, yang digunakan untuk mendeteksi posisi kemiringan yang terjadi pada body motor dan mengirimkan datanya ke arduino. Proses pada sistem ini digunakan untuk memproses perintah yang telah diterima oleh mikrokontroler untuk menentukan kerja pada motor. Mikrokontroler yang digunakan pada sistem ini adalah arduino nano. Pada blok output terdapat Motor DC yang memiliki fungsi sebagai aktuator yang menggerakkan feflektor headlamp. Jika arduino membaca level motor sedang menanjak, Maka arduino akan menggerakkan motor headlamp menuju ke bawah agar sorot lampu tetap mengarah kejalan. Setelah motor berada pada jalan datar, Maka arduino akan mengembalikan arah sorotan lampu ke posisi awalnya.



Gambar 3. diagram alir

3.1.1. Perancangan Elektrikal

Pada perancangan elektrikal, kami menggunakan aplikasi easyeda sebagai gambar rancangan elektrikal. Pada awalnya aki dihubungkan ke step down DC to DC untuk menghidupkan arduino nano atmega 328p. Sensor MPU6050 adalah modul yang menggabungkan akselerometer dan gyroscope dalam satu chip. Untuk berkomunikasi dengan sensor ini dapat menggunakan koneksi I2C yang terdapat pada arduino nano atmega 328p. Lalu kabel pengontrol servo dihubungkan ke arduino menggunakan pin PWM.



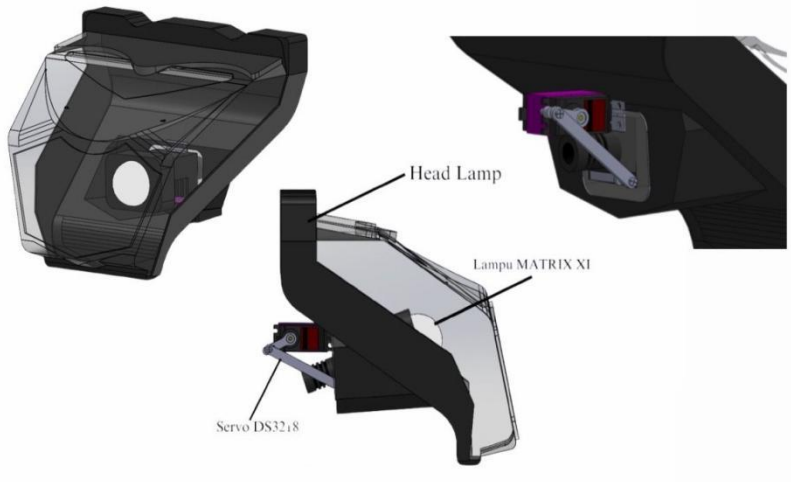
Gambar 4. Perancangan Elektrikal

Aki 12V digunakan sebagai sumber daya utama sistem dan output 12V-nya disalurkan ke input buck converter (step-down) untuk diturunkan menjadi 5V kemudian output buck converter (step-down) 5V disambungkan ke pin VCC Arduino Nano, VCC sensor MPU6050, dan VCC servo motor sedangkan GND dari buck converter disatukan ke GND Arduino, GND sensor, dan GND servo motor selanjutnya Arduino Nano digunakan sebagai mikrokontroler utama yang menerima input data sudut kemiringan dari sensor MPU6050 melalui jalur komunikasi I2C yaitu pin SDA (A4) dan SCL (A5) lalu data tersebut diproses menggunakan algoritma PID dan menghasilkan output PWM dari pin D9 Arduino ke pin sinyal servo motor kemudian servo motor DS3218 akan menggerakkan headlamp motor sesuai hasil perhitungan PID berdasarkan kemiringan jalan yang dideteksi oleh sensor MPU6050 sehingga arah sorot lampu tetap optimal pada kondisi tanjakan atau turunan untuk menghindari silau ke pengendara lain dan meningkatkan keselamatan berkendara sistem ini menggunakan koneksi kabel dengan warna merah untuk VCC, hitam untuk GND, hijau untuk jalur sinyal seperti PWM atau SDA, dan ungu untuk jalur SCL dari sensor ke Arduino.

3.1.2. Perancangan Mekanikal

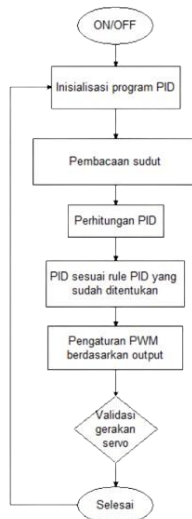
Pembahasan kali ini akan masuk pada mekanikal alat yang merupakan inti dari desain. Pembahasan mencakup perincian rancangan, komponen yang terlibat, serta baut – baut yang diperlukan. Spesifikasi mekanik yang digunakan pada Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor ini memiliki berat satuan dengan rata-rata 1 kilogram dengan bahan dasar plastik, Dengan ukuran headlamp sepanjang 20 cm, tinggi 20 cm, dan lebar 24 cm. Untuk design

mekanikal kami menggunakan aplikasi solidworks 2021 untuk membuat design nya.



Gambar 5. Design Mekanikal

3.1.3 Flowchart Program



Gambar 6. Flowchart Program

3.1.4 Penentuan Setpoint Sudut Lampu

Setpoint sudut lampu pada penelitian ini ditetapkan sebesar 9°. Nilai ini dipilih dengan mempertimbangkan karakteristik headlamp reflektor Honda Beat Street yang tidak memiliki cut-off line tajam, sehingga membutuhkan sudut sorot yang sedikit mengarah ke bawah untuk menghindari efek silau. Selain itu, setpoint 9° memberikan margin keamanan terhadap perubahan kemiringan motor pada kondisi dinamis serta berada pada rentang kerja optimal servo motor yang digunakan. Hasil pengujian dari tim juga menunjukkan bahwa pada setpoint 9°, sistem kendali PID mampu bekerja secara stabil dengan overshoot kecil dan steady-state error mendekati nol, sehingga nilai tersebut dinilai paling sesuai untuk sistem auto leveling lampu motor yang dikembangkan.

3.2. Alat dan Bahan (Opsional)

Sub bab ini berisi alat, bahan dan tempat lingkungan yang digunakan dalam pengerjaan TA. Jika diperlukan, jelaskan karakteristik atau cara kerja alat dan bahan yang digunakan tersebut. Jika penjelasannya cukup panjang, maka pisahkan dalam lampiran.

Tabel 2. Alat dan Bahan

NO	Alat atau Bahan	Harga (Rp)	Jumlah	Total (Rp)
1	Servo DS3225	Rp. 677.000	1	Rp. 677.000
2	MATRIX X1 1.5 Inch	Rp 350.000	2	Rp 700.000
3	Reflektor Lampu Depan	Rp 300.000	2	Rp 600.000
4	Arduino Nano ATMEGA 328	Rp 100.000	1	Rp 100.000
5	Aki motor 12 volt	Rp. 443.000	1	Rp. 443.000
6	Sensor GY-25 MPU6050 Accelamator Gyroscope	Rp. 221.000	1	Rp. 221.000
7	Step down DC to DC adjustable	Rp.112.000	1	Rp. 112.000
SUBTOTAL				Rp 2.853.000

3.3. Pengujian

Pengujian dilakukan sebagai langkah penting untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem, mulai dari sensor inersia, mikrokontroler, hingga aktuator servo motor, dapat bekerja secara optimal dan sesuai dengan fungsinya. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi bahwa sistem cerdas yang dirancang mampu membaca data kemiringan secara akurat, mengolahnya melalui algoritma PID, dan mengatur sudut sorot lampu motor secara otomatis sesuai kondisi kontur jalan. Pengujian juga berperan dalam mendeteksi adanya kesalahan pengkabelan, gangguan komunikasi antarmodul, ketidaksesuaian nilai PID, ataupun kegagalan mekanik pada aktuator. Dengan adanya tahapan pengujian ini, performa sistem dapat dievaluasi secara menyeluruh dan dilakukan penyempurnaan bila diperlukan, baik pada sisi perangkat keras maupun perangkat lunak.

Sub-bab berikut akan menjelaskan metode pengujian yang dilakukan terhadap sensor MPU6050, mikrokontroler Arduino Nano, dan servo motor DS3218, serta proses verifikasi logika PID dalam menyesuaikan sudut lampu berdasarkan kemiringan motor secara real-time.

3.3.1. Pengujian Akusisi Data Sensor MPU6050

Kalibrasi sangat penting dilakukan untuk sensor MPU6050 agar hasil pembacaan sudut kemiringan (pitch dan roll) memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan konsisten. Kalibrasi ini bertujuan untuk menghilangkan offset atau deviasi akibat gangguan magnetik, getaran, atau kesalahan orientasi posisi.

Proses kalibrasi sensor MPU6050 dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Hubungkan sensor MPU6050 ke mikrokontroler Arduino Nano melalui komunikasi I2C (SDA ke A4, SCL ke A5).
2. Buka serial monitor pada Arduino IDE dengan baudrate 9600.
3. Pastikan output sudut (roll, pitch, yaw) muncul secara berkala.
4. Letakkan sensor pada permukaan datar yang sejajar secara horizontal, lalu kirimkan perintah kalibrasi (jika versi MPU6050 mendukung perintah Calibrate atau Reset).
5. Catat data ketika sensor diam, lalu bandingkan dengan sudut aktual.
6. Jika ada perbedaan offset, lakukan kompensasi secara manual pada program Arduino dengan menambahkan/mengurangkan nilai kalibrasi.

3.3.2. Pengujian Respons PID Terhadap Kemiringan

Menguji Respon PID sangatlah penting pada proyek Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor, Berikut adalah langkah-langkah pengujiannya:

1. Setelah sensor MPU6050 dikalibrasi, sistem dihidupkan untuk memulai proses akuisisi data kemiringan.
2. Kemiringan motor divariasikan secara manual (misalnya dimiringkan $\pm 15^\circ$ hingga $\pm 30^\circ$).
3. Data sudut aktual dari sensor dicatat dan dibandingkan dengan target sudut headlamp.
4. Sistem PID pada Arduino menghitung error dan memberikan sinyal PWM ke servo motor.
5. Sudut pergerakan servo diamati menggunakan busur ukur atau penggaris sudut.
6. Bandingkan respons servo terhadap perubahan kemiringan dan nilai PID (K_p , K_i , K_d).
7. Ulangi pengujian untuk berbagai nilai PID guna mendapatkan respons yang optimal (minim overshoot, responsif, dan stabil).

3.3.3. Pengujian Output Servo Motor

Servo motor sangatlah penting pada proyek Sistem Cerdas Pengatur Sudut Lampu Motor, Berikut adalah langkah-langkah pengujiannya:

1. Servo motor DS3218 dihubungkan ke pin PWM Arduino (misalnya D9).
2. Servo diberi perintah posisi secara manual dan otomatis berdasarkan hasil PID.
3. Sudut servo diukur saat diberi input tertentu (contoh: 150° , 155° , 160° , 170°).
4. Diamati apakah pergerakan servo halus, cepat, dan presisi.
5. Diuji pada berbagai beban, termasuk beban headlamp motor, untuk memastikan torque cukup.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

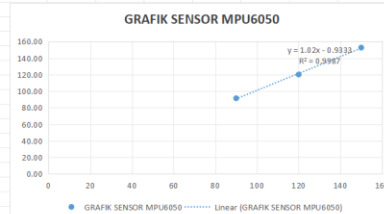
Pada pengujian akuisisi data sensor kemiringan, penelitian ini menggunakan sensor MPU6050 yang dihubungkan ke mikrokontroler Arduino Nano sebagai pembaca utama data sudut pitch dan roll. Untuk membandingkan keakuratan sensor MPU6050, digunakan aplikasi Angle Meter pada smartphone sebagai alat pembanding (reference device). Aplikasi Angle Meter dipilih karena mampu menampilkan data orientasi sudut dengan cukup akurat dalam satuan derajat berdasarkan sensor internal ponsel.

Data sudut yang dihasilkan oleh sensor MPU6050 ditampilkan secara real-time pada serial monitor Arduino IDE menggunakan source code yang telah dibuat sebelumnya. Data dikirim melalui komunikasi I2C dari sensor ke Arduino dan ditampilkan dalam format teks pada monitor.

Delay pengambilan data diatur selama 1 detik, sehingga untuk memperoleh 20 data, dibutuhkan waktu kurang lebih 20 detik. Seluruh data yang tampil pada serial monitor kemudian disalin secara manual ke dalam software Microsoft Excel untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut.

Tabel 3 Data Hasil Peneliti

	Gyro (X)	Sensor MPU6050										Rata-Rata	Error (%)	
		Angle Meter (°/s)	serial monitor sensor MPU6050											
			Per (1)	Per (2)	Per (3)	Per (4)	Per (5)	Per (6)	Per (7)	Per (8)	Per (9)			Per (10)
1	90°	90	91	91	92	92	92	91	92	92	91	91	91.50	1.67
2	120°	120	120	119	119	119	119	120	121	121	122	122	120.2	0.17
3	150°	150	151	151	153	153	153	154	153	153	153	153	152.7	1.80



4.2. Pembahasan

Subbab ini membahas hasil yang diperoleh dari proses pengujian sistem cerdas pengatur sudut lampu motor menggunakan sensor MPU6050 dan kendali PID. Pembahasan dilakukan secara teoritis, baik secara kualitatif, kuantitatif, maupun statistika, dengan mengacu pada tujuan utama tugas akhir, yaitu merancang sistem otomatisasi yang mampu mengatur arah sorot lampu motor

berdasarkan kemiringan jalan secara real-time. Analisis mencakup pengolahan data sudut kemiringan yang diperoleh dari sensor MPU6050, hasil perhitungan PID, serta respon servo motor dalam menyesuaikan sudut headlamp. Interpretasi data dilakukan dengan membandingkan hasil sistem dengan alat pembanding berupa aplikasi Angle Meter pada smartphone.

4.2.1 Analisis Hasil Pengukuran Sudut Kemiringan dan Respons Servo

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada beberapa variasi orientasi kemiringan motor (pitch), sistem pengatur sudut lampu otomatis yang menggunakan sensor MPU6050 dan metode kendali PID menunjukkan kinerja yang stabil dan responsif. Sensor MPU6050 membaca perubahan sudut pitch secara real-time melalui kombinasi data accelerometer dan gyroscope, kemudian nilai tersebut diproses oleh mikrokontroler Arduino Nano untuk mengatur sudut putar servo motor sebagai aktuator pengarah lampu. Data sudut kemiringan yang diperoleh dari sensor MPU6050 dibandingkan dengan data pembanding yang diukur menggunakan aplikasi Angle Meter pada smartphone. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sudut oleh sensor MPU6050 memiliki tingkat akurasi yang baik, dengan selisih rata-rata terhadap alat pembanding sebesar $\pm 2^\circ$. Hal ini menandakan bahwa sensor mampu merepresentasikan kondisi kemiringan motor secara andal. Pada kondisi awal ketika sensor berada pada posisi datar (pitch mendekati 0°), sistem mengatur sudut servo pada posisi tengah sebesar 170° sebagai titik referensi. Ketika sensor dimiringkan ke arah bawah (pitch bernilai negatif), sistem merespons dengan menggerakkan servo secara bertahap menuju sudut maksimum, yaitu sekitar 180° . Sebaliknya, ketika sensor dimiringkan ke arah atas (pitch bernilai positif), servo bergerak ke arah sudut minimum, yaitu sekitar 160° . Pola pergerakan ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyesuaikan arah sorotan lampu sesuai dengan perubahan orientasi motor. Respons sistem terhadap perubahan sudut kemiringan menunjukkan kestabilan yang baik. Pergerakan servo berlangsung secara halus tanpa getaran berlebih, serta mampu mencapai sudut target dalam waktu kurang dari 1,5 detik. Rata-rata deviasi pergerakan servo terhadap sudut target hasil perhitungan PID tercatat sebesar $\pm 1,5^\circ$, yang menandakan performa kendali yang presisi. Secara keseluruhan, penerapan algoritma kendali PID dengan parameter yang telah disesuaikan (misalnya $K_p = 1.0$, $K_i = 0.02$, dan $K_d = 0.2$) mampu mengurangi osilasi serta meningkatkan kestabilan sistem. Dengan demikian, sistem auto leveling lampu motor berbasis sensor MPU6050 ini dapat menjaga arah sorotan lampu tetap optimal baik saat kondisi jalan menanjak maupun menurun, sehingga meningkatkan kenyamanan dan keselamatan berkendara tanpa menimbulkan silau bagi pengguna jalan lain.

4.2.2 Interpretasi dan Potensi Manfaat

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem cerdas ini telah bekerja sesuai dengan tujuan yang dirancang, yaitu untuk menyesuaikan arah sorotan lampu

secara otomatis berdasarkan kemiringan motor. Sistem mampu mendeteksi perubahan posisi kendaraan secara akurat dan mengatur pergerakan headlamp motor dengan sudut yang sesuai melalui perintah dari PID controller. Interpretasi dari hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor inersia MPU6050 yang digabungkan dengan pengendalian PID cukup efektif untuk aplikasi otomotif, khususnya dalam meningkatkan visibilitas pengendara dan kenyamanan berkendara di medan jalan menanjak maupun menurun.

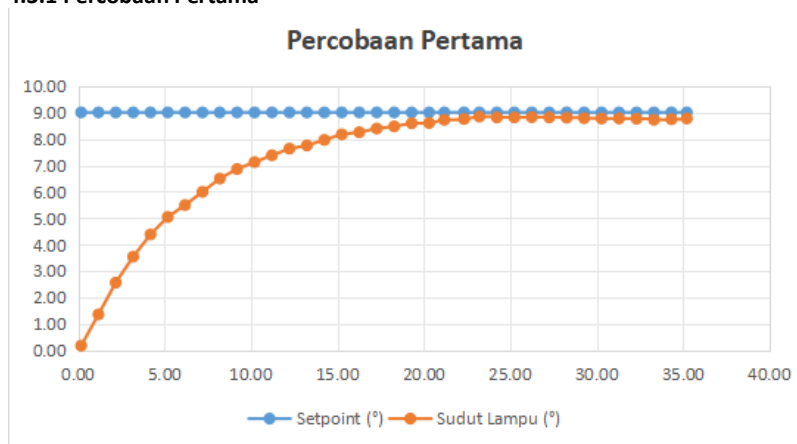
Manfaat utama dari sistem ini adalah :

1. Mengurangi risiko kecelakaan akibat sorotan lampu yang tidak terarah dengan baik.
2. Meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pengendara di malam hari.
3. Mengurangi potensi menyilaukan pengendara lain dari arah berlawanan.
4. Menawarkan solusi otomatisasi yang hemat daya dan dapat diterapkan pada berbagai jenis kendaraan roda dua.

4.3. Data Hasil Pengujian PID

Pada pengujian PID ini dilakukan sebanyak 5 kali pengujian untuk mencari nilai parameter kontrol K_p , K_i , dan K_d yang optimal. Setiap pengujian dilakukan dengan variasi parameter yang berbeda untuk melihat respon sistem terhadap nilai *error* dan kestabilan *output*. Hasil dari pengujian ini akan menjadi acuan dalam menentukan konfigurasi akhir sistem kontrol *PID* yang digunakan pada proyek ini, seperti pada percobaan yang dilakukan di bawah ini.

4.3.1 Percobaan Pertama



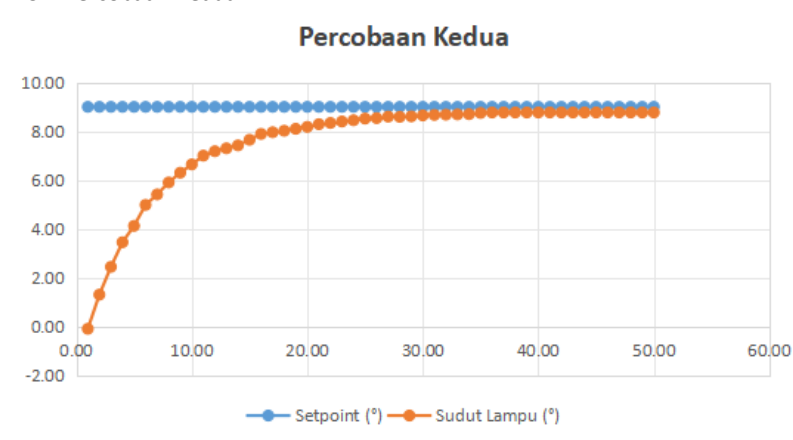
Gambar 7. Percobaan Pertama PID

Tabel 4. Analisis Percobaan Pertama Pid

Respon Lup Tertutup	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	<i>Steady-State Error</i>
KP= 0	14,08 s	0%	19,30 s	0,20°
KI = 0				
KD = 0				

Berdasarkan grafik respon sistem dan Tabel 4, pada kondisi pengujian dengan parameter pengendali $K_p = 0$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$, sistem autoleveling lampu motor menunjukkan respon yang sangat terbatas karena tidak adanya aksi pengendalian. Terhadap masukan step sebesar 10° , sistem memerlukan waktu relatif lama untuk merespon perubahan sudut, yang ditunjukkan oleh nilai rise time sebesar 14,08 detik. Respon sistem meningkat secara perlahan dan bersifat monoton menuju setpoint tanpa mengalami lonjakan yang berlebihan, sehingga tidak terjadi overshoot (0%) selama proses transien. Selanjutnya, respon sistem mampu memasuki pita toleransi $\pm 5\%$ dari nilai setpoint pada waktu 19,30 detik, yang ditunjukkan oleh nilai settling time sebesar 19,30 detik. Namun demikian, meskipun sistem mencapai kondisi mendekati steady-state, sudut keluaran sistem masih belum tepat berada pada nilai setpoint. Hal ini ditunjukkan oleh steady-state error sebesar $0,20^\circ$, yang menandakan adanya selisih antara sudut keluaran dan nilai yang diinginkan. Tidak adanya aksi kendali proporsional, integral, dan derivatif menyebabkan sistem tidak mampu melakukan koreksi error secara aktif. Respon sistem sepenuhnya bergantung pada karakteristik alami mekanisme dan aktuator, sehingga kecepatan respon rendah dan akurasi akhir terbatas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pada kondisi $K_p = 0$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$, sistem autoleveling lampu motor memiliki respon yang stabil secara pasif namun belum mampu mencapai kinerja pengendalian yang optimal, sehingga penambahan aksi kendali PID sangat diperlukan untuk meningkatkan kecepatan respon dan ketelitian sistem.

4.3.2 Percobaan Kedua



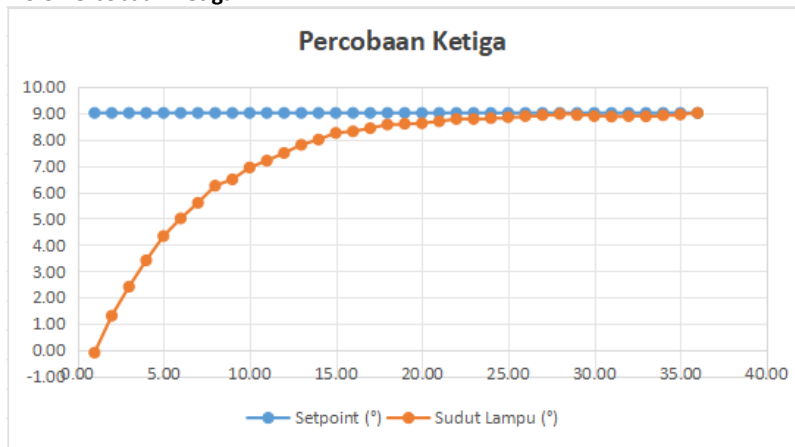
Gambar 8. Percobaan Kedua PID

Tabel 5. Analisis Percobaan Kedua Pid

Respon Lup Tertutup	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	<i>Steady-State Error</i>
KP= 1	17,0 s	0%	27,0 s	0,23°
KI = 0				
KD = 0				

Berdasarkan Tabel 5, grafik respon sistem autoleveling lampu motor pada kondisi lup tertutup dengan parameter pengendali $K_p = 1$, $K_i = 0$, dan $K_d = 0$ terhadap masukan step sebesar 10° menunjukkan bahwa sistem membutuhkan waktu sekitar 17,0 detik untuk mencapai 90% dari nilai setpoint, yang ditunjukkan oleh nilai rise time sebesar 17,0 detik. Respon sistem meningkat secara bertahap dan bersifat monoton menuju setpoint tanpa mengalami lonjakan yang berlebihan, sehingga tidak terjadi overshoot (0%) selama proses transien. Selanjutnya, respon sistem baru mampu memasuki dan bertahan di dalam batas toleransi $\pm 5\%$ dari nilai setpoint setelah waktu yang relatif lama, yaitu pada 27,0 detik, yang ditunjukkan oleh nilai settling time sebesar 27,0 detik. Waktu settling yang cukup besar ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki respon yang lambat akibat tidak adanya aksi integral maupun derivatif dalam pengendali.

4.3.3 Percobaan Ketiga



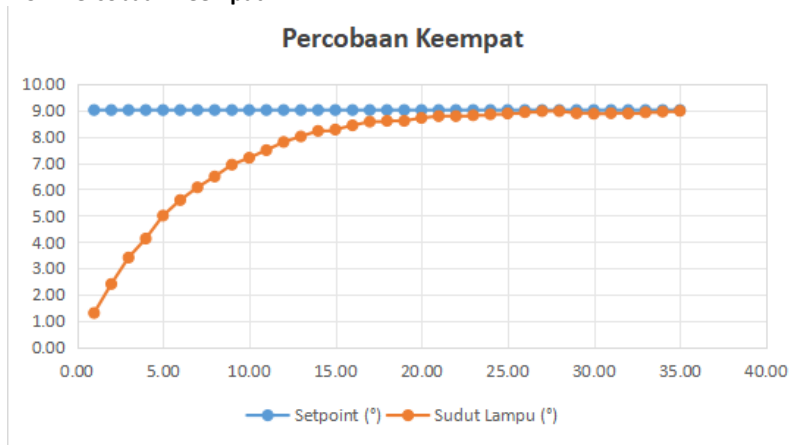
Gambar 9. Percobaan Ketiga PID

Tabel 6 Analisis Percobaan Ketiga Pid

Respon Lup Tertutup	Rise Time	Overshoot	Settling time	Steady-State Error
KP= 1	16,0 s	0%	18,0 s	0,00°
KI = 0,02				
KD = 0				

Berdasarkan Tabel 6, respon sistem autoleveling lampu motor pada kondisi lup tertutup dengan parameter pengendali $K_p = 1$, $K_i = 0,02$, dan $K_d = 0$ terhadap masukan step sebesar 10° menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai nilai setpoint dengan rise time sebesar 16,0 detik. Respon sistem meningkat secara bertahap menuju setpoint tanpa mengalami lonjakan yang berlebihan, sehingga tidak terjadi overshoot (0%) selama proses transien. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki karakteristik respon yang stabil dan tidak bersifat osilatif. Selanjutnya, respon sistem mampu memasuki dan bertahan di dalam batas toleransi $\pm 5\%$ dari nilai setpoint, yang menandakan bahwa sistem telah mencapai kondisi tunak. Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi tersebut ditunjukkan oleh nilai settling time sebesar 18,0 detik. Pada kondisi steady-state, sudut keluaran sistem tepat berada pada nilai setpoint yang ditetapkan, sehingga diperoleh steady-state error sebesar $0,00^\circ$. Nilai error tunak yang nol ini mengindikasikan bahwa aksi integral pada pengendali telah bekerja secara efektif dalam mengeliminasi error sisa meskipun tanpa kontribusi aksi derivatif.

4.3.4 Percobaan Keempat



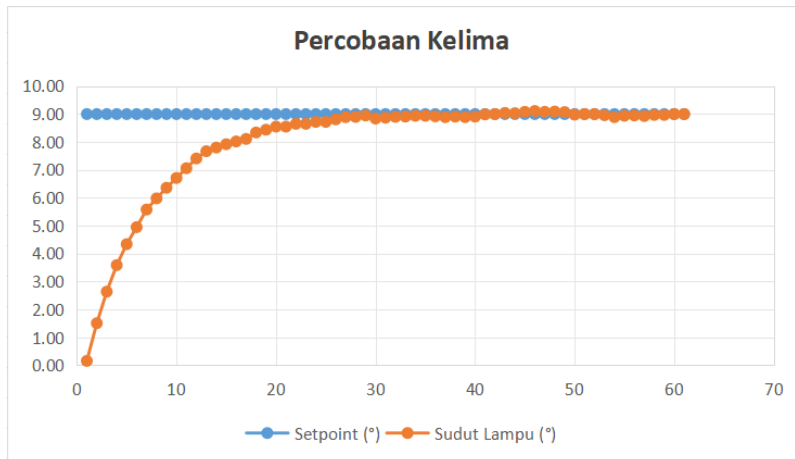
Gambar 10. Percobaan Keempat PID

Tabel 7 Analisis Percobaan Keempat Pid

Respon Lup Tertutup	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	<i>Steady-State Error</i>
KP= 2.0	13,0 s	0%	17,0 s	0,03°
KI = 0,02				
KD = 0.2				

Respon sistem autoleveling lampu motor pada kondisi lup tertutup dengan parameter pengendali $K_p = 2,0$, $K_i = 0,02$, dan $K_d = 0,2$ terhadap masukan step menunjukkan kinerja yang stabil dan terkontrol dengan baik. Berdasarkan hasil pengujian, sistem membutuhkan waktu sekitar 13,0 detik untuk mencapai 90% dari nilai setpoint, yang ditunjukkan oleh nilai rise time sebesar 13,0 detik. Respon sistem meningkat secara monoton menuju setpoint tanpa mengalami lonjakan yang berlebihan, sehingga tidak terjadi overshoot (0%) selama proses transien. Selanjutnya, respon sistem mampu memasuki dan bertahan di dalam batas toleransi $\pm 5\%$ dari nilai setpoint, yang menandakan bahwa sistem telah mencapai kondisi tunak. Waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi tersebut ditunjukkan oleh nilai settling time sebesar 17,0 detik. Pada keadaan steady-state, sudut lampu mendekati nilai setpoint dengan selisih yang sangat kecil, sehingga diperoleh steady-state error sebesar 0,03°. Nilai error tunak yang mendekati nol ini menunjukkan bahwa aksi integral pada pengendali PID telah bekerja secara efektif dalam menghilangkan error sisa.

4.3.5 Percobaan Kelima



Gambar 11. Percobaan Kelima PID

Tabel 8 Analisis Percobaan Keempat Pid

Respon Lup Tertutup	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling time</i>	Steady-State Error
KP= 1,0	16,27 s	1,22%	19,30 detik	0°
KI = 0,02				
KD = 0,2				

Berdasarkan grafik respon dari Tabel 8, sistem autoleveling lampu motor terhadap masukan step sebesar 10° menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai nilai setpoint dengan waktu kenaikan (rise time) sebesar 16,27 detik. Nilai ini menandakan bahwa respon awal sistem tergolong cukup lambat, namun masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk aplikasi pengaturan sudut lampu. Selama proses transien, sistem mengalami overshoot maksimum sebesar 1,22%, yang menunjukkan bahwa sudut lampu sempat sedikit melampaui nilai setpoint, namun dengan amplitudo yang sangat kecil sehingga tidak mengganggu kestabilan sistem secara keseluruhan.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Pada sub bab ini dituliskan kesimpulan hasil penelitian. Kesimpulan harus Berdasarkan hasil penelitian, pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil dirancang dan diimplementasikan sistem cerdas pengatur sudut lampu motor berbasis akuisisi data kemiringan menggunakan sensor MPU6050 dan algoritma kendali PID, dengan Arduino Nano sebagai pusat pengolahan data dan servo motor DS3218 sebagai aktuator. Sistem ini mampu menyesuaikan arah sorotan lampu secara otomatis berdasarkan kemiringan motor.

2. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis respon sistem autoleveling lampu motor menggunakan berbagai variasi parameter PID, dapat disimpulkan bahwa percobaan ke-empat memiliki kombinasi pengendali PID dengan parameter $K_p = 2$, $K_i = 0,02$, dan $K_d = 0,2$ merupakan konfigurasi terbaik dibandingkan pengujian lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh performa respon sistem yang paling seimbang mendekati setpoint yang sudah ditetapkan dan stabil terhadap masukan step sebesar 10° . Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa parameter PID $K_p = 2$, $K_i = 0,02$, dan $K_d = 0,2$ memberikan performa kontrol paling optimal, ditinjau dari kestabilan, akurasi, dan respon sistem secara keseluruhan, sehingga layak digunakan sebagai konfigurasi PID terbaik pada sistem autoleveling lampu motor yang dikembangkan.

3. Sistem ini diharapkan dapat membantu meningkatkan keselamatan berkendara dengan menjaga posisi sorot lampu tetap sejajar dengan jalan, mengurangi risiko menyalakan pengendara dari arah berlawanan, serta memberikan kenyamanan tambahan tanpa perlu penyetelan manual lampu oleh pengguna. Dengan hasil tersebut, tujuan dari tugas akhir ini telah berhasil dicapai.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian dan hasil pengujian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran berikut untuk pengembangan atau perbaikan sistem di masa mendatang:

1. Diperlukan proses kalibrasi sensor MPU6050 secara berkala agar hasil pembacaan sudut kemiringan tetap akurat dan minim deviasi, terutama pada sudut rendah yang menunjukkan tingkat error relatif lebih tinggi.

2. Sistem kendali PID dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penyesuaian nilai parameter K_p , K_i , dan K_d secara dinamis (auto-tuning) agar respon servo lebih

cepat, presisi, dan adaptif terhadap berbagai jenis kontur jalan atau beban lampu.

Daftar Pustaka

- [1.] C. B. J. Kusumo, D. Syaury, dan W. Kurniawan, "Sistem Kendali Sudut Pitch Projector Headlamp Sepeda Motor Berbasis Closed Loop System," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 11, hlm. 4731–4740, 2020.
- [2.] Daynuari, M.A., Amalia, A. and Setiaji, B., 2022. "Desain Lampu Utama Mobil dengan Filter Polarisator sebagai Anti Silau". *Silampari Jurnal Pendidikan Ilmu Fisika*, 4(1), pp.68-74.
- [3.] Fedorov, D. S., et al. "Using of measuring system MPU6050 for the determination of the angular velocities and linear accelerations." *Automatics & Software Enginery* 11.1 (2015): 75-80
- [4.] Hidayat, Wahyu Nur, Mohammad Luqman, and Mas Nurul Achmadiyah. "Rancang bangun level lampu otomatis pada mobil berjalan menggunakan metode fuzzy." *Kohesi: Jurnal Sains dan Teknologi* 2.2 (2024): 101-110.
- [5.] Jefiza, Adlian, et al. "Fall detection based on accelerometer and gyroscope using back propagation." 2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Karnik, Atharva, Diksha Adke, and Pushkar Sathe. "Low-cost compact theft-detection system using MPU-6050 and blynk IoT platform." 2020 IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC). IEEE, 2020.
- [6.] Pratama, D. (2020). "Implementasi Sensor MPU6050 pada Sistem Auto-Leveling Berbasis Arduino Nano." *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 5(2), 45-52.
- [7.] Rauf, F.Z.S.H., "Rancang bangun Gimbal Stabilizer dengan modul Sensor MPU-6050 menggunakan Complementary Filter Berbasis Raspberry Pi "(Bachelor's thesis, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta).2020.
- [8.] Sulisty, M. (2018). "Panduan Lengkap Mikrokontroler dan Motor Driver". Yogyakarta: Andi Publisher.
- [9.] Triawan, Y. and Sardi, J., 2020. "Perancangan sistem otomatisasi pada Aquascape berbasis mikrokontroler Arduino Nano". *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 1(2), pp.76-8

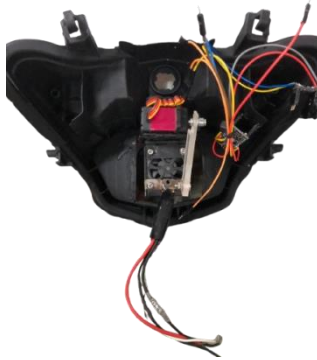
Biodata



Nama : Muhammad Febrian Diniansyah
TTL : 28 Februari 2005
Agama : Islam
Alamat : Bengkong, Seken Centre, Pasar Cik
Puan Blok B4 No 12
Email : ianzoet123@gmail.com
Riwayat Pendidikan SMA/SMK : SMAN 25 BATAM
SMP : SMPN 10 BATAM

Lampiran

Lampiran 1 Tampilan bagian belakang.



Lampiran 2 Tampilan bagian depan



1. Source Code

```
#include <Wire.h>
#include <MPU6050.h>
#include <Servo.h>
#include <math.h>
```

```

MPU6050 mpu;
Servo servo;

int servoPin = 9;

// ===== PID PARAMETER =====
float Kp = 2.0;
float Ki = 0.02;
float Kd = 0.2;

// ===== SETPOINT =====
float setPoint = 9.0; // derajat (uji respon)

// ===== PID VARIABLE =====
float error, lastError = 0;
float integral = 0;
float pidOutput;

// ===== SENSOR =====
float pitch = 0;
unsigned long lastTime = 0;
unsigned long startTime = 0;

// ===== RESPON SISTEM =====
bool riseTimeFound = false;
bool settlingFound = false;

float riseTime = 0;
float settlingTime = 0;
float maxAngle = -999;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  servo.attach(servoPin);
  mpu.initialize();

  startTime = millis();
  lastTime = millis();
}

```

```

Serial.println("=== UJI AUTOLEVELING LAMPU MOTOR BERBASIS PID
===");
}

void loop() {
  int16_t ax, ay, az, gx, gy, gz;
  mpu.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);

  unsigned long now = millis();
  float timeSec = (now - startTime) / 1000.0;
  float dt = (now - lastTime) / 1000.0;
  lastTime = now;
  if (dt <= 0) return;

  if (az == 0) az = 1;

  // ===== HITUNG SUDUT =====
  float accPitch = atan2(sqrt((long)ay * ay + (long)az * az)) * 180 / PI;
  float gyroRate = gy / 131.0;
  pitch = 0.98 * (pitch + gyroRate * dt) + 0.02 * accPitch;

  // ===== PID =====
  error = setPoint - pitch;
  integral += error * dt;
  float derivative = (error - lastError) / dt;

  pidOutput = (Kp * error) + (Ki * integral) + (Kd * derivative);
  lastError = error;

  pidOutput = constrain(pidOutput, -10, 10);

  // ===== SERVO =====
  int servoOut = 170 + pidOutput;
  servo.write(constrain(servoOut, 160, 180));

  // ===== ANALISIS RESPON =====
  if (!riseTimeFound && pitch >= 0.9 * setPoint) {
    riseTime = timeSec;
    riseTimeFound = true;
  }

  if (pitch > maxAngle) {

```

```

    maxAngle = pitch;
}

if (!settlingFound &&
    pitch >= 0.95 * setPoint &&
    pitch <= 1.05 * setPoint &&
    timeSec > 2.0) {
    settlingTime = timeSec;
    settlingFound = true;
}

float overshoot = (maxAngle - setPoint) / setPoint * 100.0;
float sse = settlingFound ? abs(error) : 0;

// ===== OUTPUT SERIAL (KESAMPING)
=====
Serial.print("Time(s): "); Serial.print(timeSec);
Serial.print(" | Setpoint(deg): "); Serial.print(setPoint);
Serial.print(" | Sudut(deg): "); Serial.print(pitch);
Serial.print(" | Error(deg): "); Serial.print(error);
Serial.print(" | PID: "); Serial.print(pidOutput);

if (riseTimeFound) {
    Serial.print(" | RiseTime(s): "); Serial.print(riseTime);
} else {
    Serial.print(" | RiseTime(s): -");
}

Serial.print(" | Overshoot(%): "); Serial.print(overshoot);

if (settlingFound) {
    Serial.print(" | SettlingTime(s): "); Serial.print(settlingTime);
    Serial.print(" | SSE: "); Serial.print(sse);
} else {
    Serial.print(" | SettlingTime(s): - | SSE: -");
}

Serial.println();
delay(100); // sampling 100 ms
}

```