INFO TEKNIK
Volume 27 No. 1 Juli 2026 (53-68)

ANALISIS PERBANDINGAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PENCAHAYAAN OTOMATIS BERBASIS CAHAYA ALAMI MENGGUNAKAN MATLAB CODING DAN SIMULINK

Marsela Triana, Desmira , Amelda Amartha , Avisa Marellaningtyas, Muhammad Azmi Al-fatih, dan Ghifari Permana
Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
E-mail : marselatriana93@gmail.com; desmira@untirta.ac.id

ABSTRACT

Automatic lighting control systems play an important role in maintaining visual comfort while reducing electrical energy consumption. This study develops a system capable of regulating indoor lighting intensity automatically in response to changes in natural light. A light sensor, such as an LDR or lux sensor, is used to monitor the surrounding illuminance, and the collected data are processed using a proportional–integral (PI) control algorithm so that the lamp output can adjust dynamically to meet the desired lighting level. The system was tested through simulations in MATLAB/Simulink to evaluate its response to variations in natural light under different conditions. In addition, a comparison was made between simulations conducted using block-based Simulink modeling and those implemented through MATLAB/Simulink coding. Block diagram modeling in Simulink provides a more intuitive visualization, making it easier to trace signal flow and accelerate system design because each component is arranged graphically. Meanwhile, coding-based simulations offer greater flexibility in parameter configuration, easier modification, and better integration of complex control logic without relying heavily on graphical blocks. The simulation results show that the developed system is able to maintain stable lighting, respond quickly to changes in ambient light, and achieve very small control errors. These findings indicate that the control system has strong potential for application in workspaces or classrooms to improve energy efficiency and user comfort.

Keywords: Automatic lighting, light sensor, PI control, simulation, natural light

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi modern telah mendorong penggunaan sistem otomatis pada berbagai bidang, terutama dalam proses pengendalian dan manajemen energi. Sistem kontrol otomatis berfungsi menjaga suatu variabel proses tetap berada pada nilai acuan melalui koordinasi antara sensor, pengolah sinyal, dan aktuator. Sensor mendeteksi kondisi aktual, pengendali membandingkan hasil pengukuran dengan setpoint, dan aktuator melakukan penyesuaian untuk mengurangi penyimpangan. Melalui mekanisme ini, sistem dapat bekerja lebih stabil, aman, dan efisien, sekaligus mengurangi ketergantungan pada pengawasan manusia. Peran penting sistem kontrol terlihat dari kontribusinya dalam meningkatkan produktivitas dan keandalan proses industri modern (Singgeta & Rumondor, 2018)

Salah satu contoh penerapannya adalah sistem pencahayaan otomatis, yaitu mekanisme yang memungkinkan lampu bekerja sesuai kebutuhan tanpa intervensi langsung dari pengguna. Sistem ini biasanya menggunakan sensor pendeteksi panas untuk membaca kehadiran manusia dan sensor cahaya LDR (Light Dependent Resistor) untuk mengetahui tingkat pencahayaan lingkungan. Sensor panas mendeteksi perubahan suhu tubuh manusia, sehingga lampu dapat menyala ketika ada aktivitas di area tertentu. Di sisi lain, LDR memiliki karakteristik hambatan yang berubah mengikuti intensitas cahaya. Semakin terang lingkungan, nilai resistansinya menurun; sebaliknya, dalam kondisi gelap resistansinya meningkat. Sifat ini memungkinkannya digunakan secara efektif dalam pengaturan pencahayaan otomatis (Pambudi et al., 2025)

Selain pencahayaan buatan, cahaya alami juga berperan penting dalam mendukung aktivitas visual manusia. Cahaya matahari membantu meningkatkan kenyamanan, memperbaiki kualitas ruang, dan menciptakan suasana yang lebih sehat. Namun intensitas cahaya alami tidak selalu konstan karena dipengaruhi cuaca, musim, warna interior, dan karakter material bangunan. Bangunan dengan warna cerah akan memantulkan cahaya dengan baik, sedangkan warna gelap menyerap lebih banyak cahaya, sehingga mempengaruhi tingkat penerangan dalam ruangan. Oleh karena itu, pengelolaan cahaya alami harus direncanakan agar manfaat pencahayaan dapat dicapai tanpa menimbulkan ketidaknyamanan termal. Pencahayaan alami yang digunakan sebagai sumber penerangan interior dikenal sebagai *daylight* (Setia Budi & Setyowati, 2020) (Paramita, 2021) (Esa Dora & Suzanna Poetiray, n.d.)

Untuk meningkatkan performa sistem otomatis, digunakan metode pengendali seperti pengendali PI (Proportional–Integral). Pengendali ini menggabungkan dua aksi utama, yaitu aksi proportional yang memberikan respons cepat terhadap error, dan aksi integral yang berfungsi menghilangkan error jangka panjang. Dengan pengaturan parameter Kp dan Ki yang tepat, pengendali PI dapat membuat sistem lebih stabil dan akurat, bahkan ketika terjadi gangguan pada proses yang dikendalikan (Zahra, 2025)

Dalam mendukung perancangan dan analisis sistem, perangkat komputasi seperti MATLAB dan Simulink banyak digunakan. Simulink menyediakan lingkungan visual berbasis blok untuk memodelkan sistem dinamis, sementara MATLAB memberikan kemampuan analisis numerik, pengolahan data, serta pembuatan kode program. Kombinasi keduanya memungkinkan proses simulasi, pemodelan, hingga pengujian algoritma kontrol dilakukan lebih cepat dan efisien. Aktivitas coding dalam MATLAB meliputi penulisan,

pengujian, dan pemeliharaan instruksi program untuk mendukung pengembangan sistem kontrol, simulasi teknis, serta aplikasi digital lainnya (Sinaga et al., 2020)

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem kontrol merupakan rangkaian mekanisme yang berfungsi mengatur dan mempertahankan nilai suatu variabel proses agar sesuai dengan target atau berada dalam batas tertentu. Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan sensor untuk mengukur kondisi aktual, unit pengolah untuk membandingkan hasil pengukuran dengan nilai acuan, serta aktuator untuk melakukan tindakan penyesuaian jika terjadi penyimpangan. Melalui kerja terpadu komponen-komponen tersebut, aliran energi atau informasi dapat diarahkan sehingga mesin atau proses menghasilkan kinerja sesuai yang direncanakan. Tujuan utama dari adanya sistem kontrol adalah mencapai kondisi operasi yang optimal. Hal ini diwujudkan melalui beberapa fungsi penting, seperti pengukuran, pembandingan, pemrosesan data, dan koreksi. Dengan otomatisasi kontrol, proses pengoperasian menjadi lebih mudah, efisien, dan stabil. Selain itu, sistem kontrol mampu mengurangi beban pekerjaan rutin yang sebelumnya membutuhkan pengawasan manusia, meningkatkan kualitas hasil kerja, serta memperbaiki keamanan dan keandalan sistem secara keseluruhan. Seiring kemajuan teknologi, sistem kendali semakin berkembang dan memberikan kontribusi besar bagi berbagai sektor industri maupun sistem mekanis modern (Singgeta & Rumondor, 2018).

Sistem Pencahayaan Otomatis merupakan sebuah mekanisme yang dirancang untuk mengatur penyalaan lampu tanpa perlu intervensi langsung dari pengguna. Sistem ini memanfaatkan dua jenis sensor utama, yaitu sensor panas (thermal) dan sensor pendeteksi cahaya (LDR/light sensor). Kedua sensor tersebut bekerja secara simultan untuk memastikan lampu hanya menyala ketika benar-benar dibutuhkan. Sensor thermal berfungsi untuk mengenali keberadaan manusia melalui deteksi suhu tubuh. Ketika sensor menangkap adanya (Gusti Ngurah Eka Prasna et al., n.d.).

Light Dependent Resistor (LDR) merupakan salah satu jenis resistor yang memiliki pergerakan atau panas tubuh di sekitar area pemantauan, sistem akan memberikan perintah agar lampu menyala karakteristik khusus, yaitu nilai hambatannya tidak bersifat tetap, melainkan berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya yang mengenainya. LDR umumnya dibuat dari bahan semikonduktor seperti cadmium sulfide (CdS), yang memiliki tingkat sensitivitas tinggi terhadap cahaya. Sifat inilah yang menyebabkan LDR banyak

dimanfaatkan sebagai sensor cahaya dalam berbagai aplikasi sistem kontrol otomatis. Prinsip kerja LDR didasarkan pada perubahan jumlah elektron bebas dalam material semikonduktor saat terkena paparan cahaya. Ketika permukaan LDR disinari oleh cahaya dengan intensitas tinggi, energi cahaya tersebut akan meningkatkan jumlah pembawa muatan listrik di dalam bahan semikonduktor. Akibatnya, nilai resistansi LDR akan menurun secara signifikan sehingga arus listrik dapat mengalir dengan lebih mudah. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima, maka semakin kecil nilai hambatan yang dihasilkan Sebaliknya, pada kondisi intensitas cahaya yang rendah atau ketika berada dalam keadaan gelap, jumlah elektron bebas dalam bahan semikonduktor akan berkurang Hal ini menyebabkan nilai resistansi LDR meningkat, sehingga aliran arus listrik menjadi terhambat (Pambudi et al., 2025).

Cahaya memiliki peranan yang sangat penting dalam menyampaikan informasi visual sehingga dapat ditangkap secara optimal oleh indra penglihatan manusia. Tanpa adanya cahaya, kemampuan penglihatan tidak dapat berfungsi dengan baik, sehingga aktivitas manusia menjadi terbatas. Dalam konteks lingkungan alami, cahaya matahari memegang peranan yang sangat besar karena memungkinkan manusia untuk mengamati keindahan alam, mengenali objek di sekitarnya dengan jelas, serta beraktivitas secara normal pada siang hari. Keberadaan cahaya alami juga memberikan efek psikologis yang positif, seperti meningkatkan kenyamanan, konsentrasi, dan suasana hati (Setia Budi & Setyowati, 2020)

Pencahayaan alami merupakan penerangan yang bersumber dari fenomena alam, seperti cahaya matahari, bulan, maupun bintang, yang digunakan untuk menerangi suatu ruang. Karena berasal dari alam, intensitas dan arah cahaya yang masuk ke dalam bangunan cenderung berubah-ubah sesuai kondisi lingkungan, seperti cuaca, musim, serta karakter iklim. Variasi pencahayaan ini juga dipengaruhi oleh elemen-elemen bangunan, termasuk warna interior, jenis material, serta desain fasad yang mampu memantulkan atau menyerap cahaya. Misalnya, permukaan dinding berwarna cerah atau putih akan memantulkan cahaya lebih baik dibandingkan dinding berwarna gelap, sehingga ruang dengan intensitas cahaya alami rendah dapat terbantu melalui penggunaan warna yang terang. Di antara berbagai sumber pencahayaan alami, matahari merupakan yang paling dominan dan paling sering dimanfaatkan untuk penerangan dalam ruangan karena intensitas cahayanya yang tinggi.

Cahaya alami membawa energi penerangan dari sinar matahari yang berperan meningkatkan kenyamanan visual dalam ruang, sementara panas yang ikut masuk bersama cahaya tersebut dapat mempengaruhi kenyamanan termal bangunan. Penjelasannya, cahaya matahari yang terkontrol membantu menciptakan ruang yang terang dan nyaman untuk

dilihat, namun radiasi panas yang berlebihan dapat membuat suhu ruangan meningkat. Karena itu, desain bangunan perlu mengatur masuknya cahaya alami dengan tepat agar manfaat pencahayaannya tetap optimal tanpa mengganggu kondisi suhu di dalam ruangan. Pencahayaan alami dari sinar matahari yang digunakan untuk menerangi bagian interior dikenal dengan istilah *daylight*.

Pengendali ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu aksi proportional (P) dan aksi integral (I), yang masing-masing memiliki peran berbeda dalam mempengaruhi perilaku sistem. Aksi proportional bekerja dengan memberikan respons yang sebanding terhadap besar error antara nilai yang diinginkan (setpoint) dan nilai keluaran aktual, sehingga mampu mempercepat sistem menuju kondisi stabil. Sementara itu, aksi integral berfungsi mengakumulasi error yang terjadi dari waktu ke waktu, sehingga dapat menghilangkan error jangka panjang (steady-state error) yang tidak dapat diatasi oleh aksi proportional saja. Dalam implementasinya, kedua parameter ini dapat digunakan secara terpisah maupun bersamaan, tergantung kebutuhan sistem dan karakteristik proses yang dikendalikan. Dengan melakukan pengaturan parameter Kp dan Ki yang tepat, pengendali PI mampu menghasilkan respon keluaran yang lebih halus, stabil, dan akurat sehingga sistem dapat mengikuti input atau setpoint yang diinginkan meskipun terdapat gangguan atau perubahan kondisi lingkungan .

Simulink merupakan platform pemodelan dan simulasi yang menjadi bagian dari MATLAB dan dirancang untuk membantu pengguna membangun serta menganalisis perilaku dinamis suatu sistem secara lebih mudah. Melalui antarmuka berbasis diagram blok, pengguna dapat menyusun model secara visual, sehingga struktur sistem dan aliran sinyal dapat dipahami dengan lebih cepat tanpa bergantung sepenuhnya pada penulisan kode. Fitur visual ini membuat proses perancangan lebih intuitif, terutama bagi pengguna yang ingin melihat hubungan antar komponen secara langsung. Selain itu, Simulink menyediakan kemampuan simulasi interaktif yang memungkinkan perubahan parameter atau konfigurasi model diamati secara waktu nyata. Hal ini membantu pengguna mengembangkan pemahaman yang lebih kuat mengenai respons dan karakteristik sistem, menjadikan Simulink sebagai alat yang efektif untuk proses pembelajaran, penelitian, dan pengembangan berbagai sistem teknis yang membutuhkan analisis yang terstruktur dan dinamis. (Fasa et al., 2017).

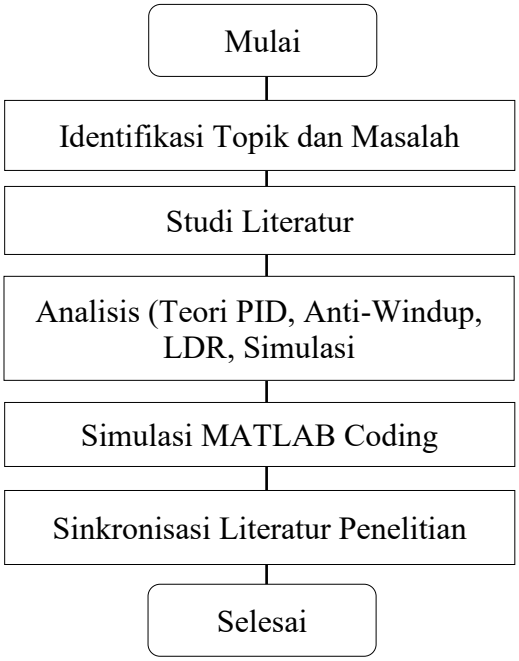
Coding merupakan aktivitas menulis, menguji, memperbaiki, dan merawat rangkaian

instruksi yang membentuk sebuah program komputer. Bahasa pemrograman berfungsi sebagai sistem aturan yang digunakan untuk memberikan perintah kepada komputer, di mana setiap bahasa memiliki sintaks dan semantik tertentu yang menentukan bagaimana instruksi harus ditulis agar dapat dipahami oleh mesin. Proses coding tidak hanya berkaitan dengan penulisan perintah, tetapi juga mencakup kemampuan menyusun logika, menyelesaikan masalah, serta memastikan program berjalan dengan benar dan efisien. Bahasa pemrograman seperti Python, Java, C++, atau MATLAB berperan sebagai jembatan yang menerjemahkan ide manusia menjadi instruksi yang dapat dieksekusi komputer. Selain membuat program baru, coding juga melibatkan pemeliharaan kode, seperti memperbarui fungsi, mengoptimalkan kinerja, dan memperbaiki bug. Dengan demikian, coding menjadi fondasi utama dalam pengembangan perangkat lunak, sistem kontrol, aplikasi simulasi, dan berbagai teknologi digital lainnya. MATLAB adalah platform komputasi numerik dan bahasa pemrograman tingkat lanjut yang dirancang untuk menyelesaikan berbagai kebutuhan perhitungan teknik dan matematika. Sistem ini menggabungkan kemampuan menghitung, memvisualisasikan data, serta membuat program dalam satu lingkungan kerja yang mudah dioperasikan. Dengan penggunaan notasi matematika yang familiar, pengguna dapat membangun model, menganalisis data, membuat simulasi, hingga merancang algoritma secara lebih cepat dan praktis. MATLAB banyak dimanfaatkan dalam bidang sains, pendidikan, rekayasa, dan penelitian karena kelengkapan fitur yang mendukung proses analisis, pembuatan grafik ilmiah, serta pengembangan sistem teknis.

Pada setiap komputer yang digunakan, seluruhnya telah dilengkapi dengan sistem operasi berbasis Windows. Selain itu, untuk kebutuhan pengolahan dokumen, semua perangkat tersebut juga memanfaatkan aplikasi Microsoft Word sebagai program utama dalam menyusun, mengedit, dan memformat naskah (Rusdi, 2002). Selain menggunakan Microsoft Word sebagai aplikasi untuk mengolah naskah, komputer juga mampu menjalankan perangkat lunak teknis seperti MATLAB. Program MATLAB memiliki peranan yang sangat penting dalam melakukan perhitungan numerik, mengolah data, serta menghasilkan grafik dan simulasi yang banyak diperlukan dalam kegiatan pembelajaran maupun pekerjaan teknis. Setiap output berupa data, tabel, atau gambar dari MATLAB dapat diekspor dan dimasukkan kembali ke dalam dokumen Word sehingga proses pembuatan laporan menjadi lebih praktis. Oleh karena itu, kombinasi antara sistem operasi Windows, aplikasi pengolah kata, dan perangkat lunak MATLAB menciptakan sebuah lingkungan kerja yang terpadu untuk analisis data, penulisan dokumen, dan komputasi teknis secara menyeluruh.

3. METODE PENELITIAN

Metode studi literatur pada penelitian ini dilakukan untuk memperoleh dasar teori yang mendukung perancangan model sistem kendali pencahayaan otomatis. Membandingkan kinerja sistem kontrol pencahayaan otomatis dengan dan tanpa perangkat anti-windup, langkah pertama dalam prosedur penelitian ini adalah mengidentifikasi masalah dan kesulitan. Setelah perumusan masalah yang jelas, tinjauan pustaka dilakukan untuk mengumpulkan teori dan referensi yang relevan dari buku, jurnal ilmiah, atau dokumentasi teknis yang berkaitan dengan sistem kontrol PID, anti-windup, sensor LDR, dan teknik simulasi Matlab–Simulink.



Temuan dari analisis ini digunakan sebagai dasar untuk membuat model simulasi Matlab menggunakan diagram blok di Simulink serta teknik pemrograman (kode MATLAB).

```
% MODEL SIMULINK OTOMATIS: SISTEM KENDALI PID + LDR + GANGGUAN
clc; clear; close all;

% Nama model
modelName = 'PID_LDR_AutoModel_v';
new_system(modelName);
open_system(modelName);

% Waktu simulasi
set_param(modelName, 'StopTime', '10');

% Step Input (Setpoint Cahaya)
add_block('simulink/Sources/Step', [modelName '/Setpoint'], ...
    'Position', [30 100 60 130], ...
    'Time', '0', 'Before', '0', 'After', '5');

% Blok Sum (Error = Setpoint - Output)
add_block('simulink/Math Operations/Sum', [modelName '/Sum_Error'], ...
    'Inputs', '+-', 'Position', [100 100 120 140]);

% PID Controller
add_block('simulink/Continuous/PID Controller', [modelName '/PID'], ...
    'Position', [150 90 210 140], ...
```

```
% Transfer Function (Model Sistem LDR)
add_block('simulink/Continuous/Transfer Fcn', [modelName '/LDR_Model'], ...
    'Position', [290 90 360 140], ...
    'Numerator', '0.8', 'Denominator', '[0.2 1]');

% Gangguan Natural Light (Gain)
add_block('simulink/Math Operations/Gain', [modelName '/Natural_Light'], ...
    'Gain', '2', 'Position', [290 160 350 190]);

% Sum Output (Gabung Output Sistem + Gangguan)
add_block('simulink/Math Operations/Sum', [modelName '/Sum_Output'], ...
    'Inputs', '++', 'Position', [390 110 410 150]);

% To Workspace Blocks (untuk ekspor data simulasi)
add_block('simulink/Sinks/To Workspace', [modelName '/Output_y'], ...
    'VariableName', 'y', 'Position', [480 90 520 120]);
add_block('simulink/Sinks/To Workspace', [modelName '/Control_u'], ...
    'VariableName', 'u', 'Position', [260 40 300 70]);
add_block('simulink/Sinks/To Workspace', [modelName '/Error_e'], ...
    'VariableName', 'e', 'Position', [130 40 170 70]);

% Scope untuk monitoring real-time
add_block('simulink/Sinks/Scope', [modelName '/Scope'], ...
    'Position', [540 100 570 130]);
```

```
% KONEKSI ANTAR BLOK
add_line(modelName, 'Setpoint/1', 'Sum_Error/1');
add_line(modelName, 'Sum_Error/1', 'PID/1');
add_line(modelName, 'PID/1', 'LDR_Model/1');
add_line(modelName, 'LDR_Model/1', 'Sum_Output/1');
add_line(modelName, 'Natural_Light/1', 'Sum_Output/2');
add_line(modelName, 'Sum_Output/1', 'Scope/1');
add_line(modelName, 'Sum_Output/1', 'Sum_Error/2');

% Simpan sinyal ke workspace
add_line(modelName, 'Sum_Error/1', 'Error_e/1');
add_line(modelName, 'PID/1', 'Control_u/1');
add_line(modelName, 'Sum_Output/1', 'Output_y/1');

% SIMULASI DAN PLOTTING
simOut = sim(modelName);

% Ekstraksi data
t = simOut.tout;
y_data = simOut.y.signals.values;
u_data = simOut.u.signals.values;
e_data = simOut.e.signals.values;
```

```
% GRAFIK HASIL SIMULASI
figure('Name','Respon Sistem PID + LDR','NumberTitle','off');

subplot(3,1,1);
plot(t, y_data, 'b', 'LineWidth', 1.8); hold on;
yline(5, 'r--', 'LineWidth', 1.5);
title('Respon Sistem terhadap Setpoint');
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Intensitas Cahaya (Lux)');
legend('Output (LDR)','Setpoint'); grid on;

subplot(3,1,2);
plot(t, u_data, 'k', 'LineWidth', 1.8);
title('Sinyal Kontrol (u)');
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Tegangan / Sinyal PWM');
grid on;

subplot(3,1,3);
plot(t, e_data, 'm', 'LineWidth', 1.8);
title('Error Sistem (Setpoint - Output)');
xlabel('Waktu (detik)'); ylabel('Error');
grid on;

sgtitle('Simulasi Pengendali Intensitas Cahaya Berbasis PID dan LDR');
```

Gambar 1. kode MATLAB

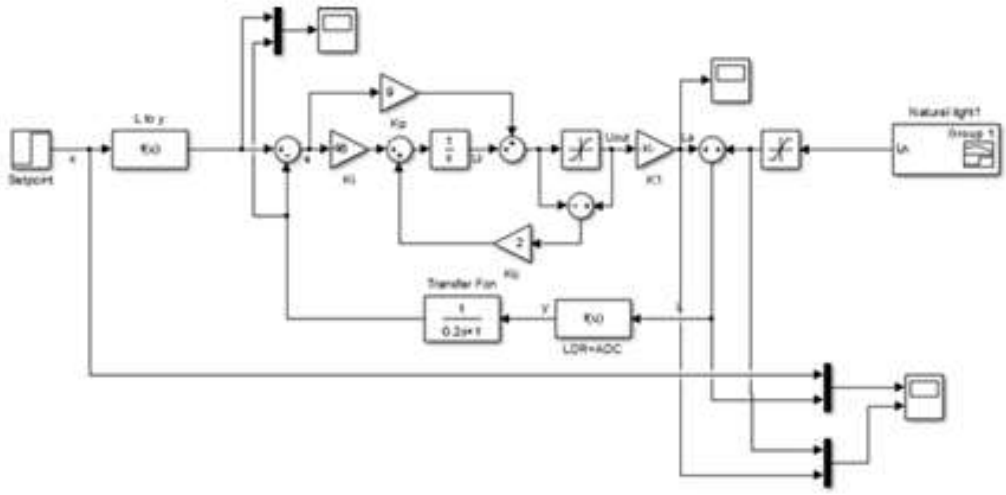
Setelah itu, simulasi dijalankan untuk membuat model sistem tanpa anti-windup melalui pemrograman, yang kemudian dibandingkan dengan model anti-windup di Simulink. Kemudian, hasil simulasi dievaluasi nomor gambar grafik untuk melihat bagaimana respons kedua model tersebut berbeda satu sama lain. Untuk menjamin bahwa penelitian mempertahankan koherensi antara dasar-dasar teoretis dan hasil implementasi, semua hipotesis dari literatur dan temuan simulasi disinkronkan pada langkah terakhir. Perumusan kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh menandai akhir dari proses ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

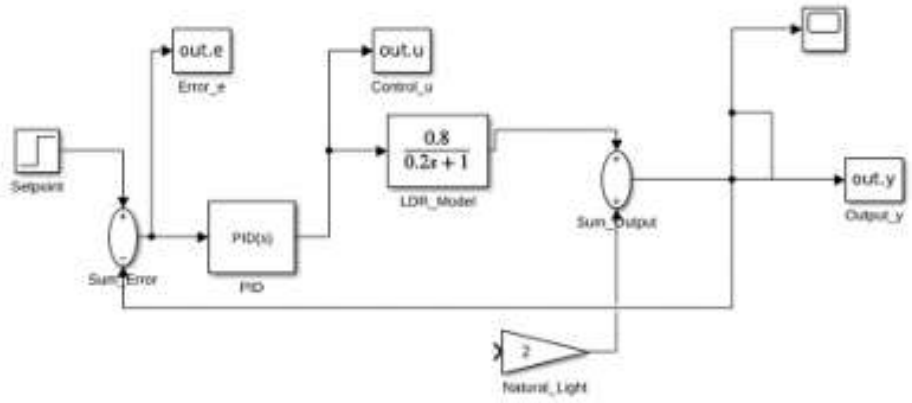
Proses simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab–Simulink dengan parameter sistem yang telah dimodelkan sebelumnya. Tujuan simulasi adalah untuk menganalisis kinerja sistem kontrol pencahayaan otomatis dalam menjaga iluminasi ruangan agar konstan meskipun terdapat gangguan dari cahaya alami. Parameter yang digunakan dalam simulasi diambil dari data eksperimen (Phuong Le et al., 2019a). dengan konstanta penguatan sensor K_2=0.85, konstanta waktu T_2=0.45 detik, dan penguatan aktuator K_1=1.2. Nilai pengendali PI ditetapkan sebagai K_p=0.8 dan K_i=0.4 setelah proses penyetelan (tuning) berdasarkan metode Ziegler-Nichols yang disesuaikan untuk kestabilan optimal. Respon sistem diamati terhadap dua kondisi:

a) Dengan fitur Anti-Windup (konvensional)

b) Tanpa fitur Anti-Windup (pengendali modifikasi)



Gambar 2. Model Simulasi Sistem Kendali Otomatis Pencahayaan di Matlab–Simulink Anti Windup



Gambar 3. Model Simulasi Sistem Kendali Otomatis Pencahayaan di Matlab–Simulink Tanpa Anti Windup

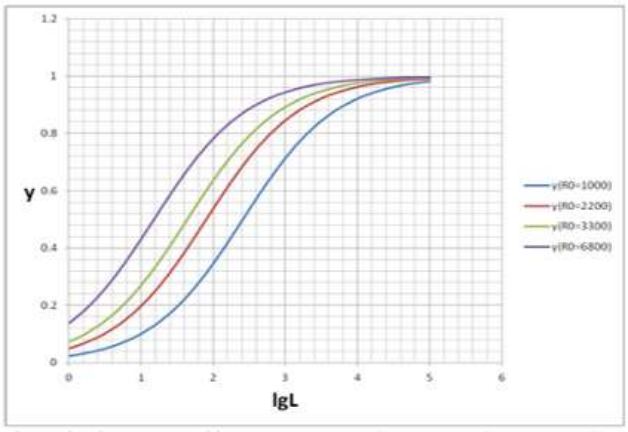
Sistem kontrol pencahayaan dengan mekanisme anti-windup menunjukkan kinerja yang jauh lebih baik dibandingkan sistem tanpa mekanisme tersebut, menurut hasil simulasi dari kedua model. Model dengan anti-windup tampak merespons penyesuaian setpoint secara jauh lebih cepat dan stabil. Output sistem dapat menyesuaikan diri dengan perubahan setpoint tanpa menunjukkan kenaikan yang berlebihan. Akibatnya, overshoot sangat sedikit, dan sistem dengan cepat stabil. Hal ini menunjukkan bahwa bahkan saat terjadi saturasi sesaat, pengendali dapat menyesuaikan besaran aksi kontrol sesuai dengan batas aktuator.

Di sisi lain, respons terhadap perubahan setpoint menunjukkan overshoot yang jauh lebih besar pada model tanpa mekanisme anti-windup. Integrator terus membuat kesalahan, yang membuat sinyal kontrol menjadi kurang realistis dan menyebabkan lonjakan pada output

sistem. Akibatnya, intensitas cahaya meningkat melebihi nilai setpoint dan kemudian secara bertahap menurun. Sebagai hasilnya, dibandingkan dengan perangkat yang memiliki anti-windup, dibutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai kestabilan. Model dengan anti-windup menunjukkan kemampuan adaptasi yang baik selama fase pengujian dengan gangguan seperti peningkatan cahaya alami. Pengontrol langsung menurunkan kontribusi cahaya buatan sebagai respons terhadap peningkatan mendadak intensitas cahaya eksternal, memastikan bahwa pencahayaan keseluruhan tetap dekat dengan nilai referensi. Kemampuan sistem untuk secara efisien meredam gangguan ditunjukkan oleh respons yang cepat dan stabil ini. Namun, saat terkena gangguan cahaya alami, model tanpa anti-windup menunjukkan respons awal yang kurang konsisten. Total output menurun secara tiba-tiba sebagai respons terhadap peningkatan cahaya lingkungan sebelum pengontrol menyesuaikannya. Selain itu, karena nilai integrator telah terakumulasi dari situasi sebelumnya, koreksi yang diterapkan tidak langsung stabil. Akibatnya, terjadi osilasi kecil sebelum sistem dapat kembali stabil. Ini menunjukkan bagaimana model tanpa anti-windup tidak sensitif terhadap gangguan dari luar.

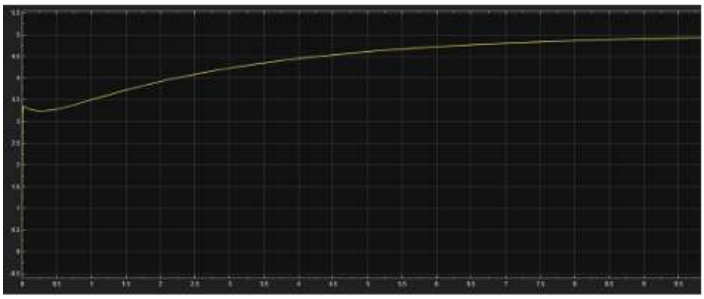
Sinyal kontrol juga menunjukkan perubahan yang dapat terlihat. Model anti-windup jarang melebihi batas saturasi dan menghasilkan sinyal kontrol yang lebih halus. Mekanisme anti-windup segera memodifikasi nilai integral ketika terjadi saturasi, memastikan bahwa sinyal kontrol tetap proporsional dan sesuai dengan keadaan sistem. Di sisi lain, karena integrator dikoreksi terlalu lambat, model tanpa anti-windup menunjukkan sinyal kontrol yang lebih tidak stabil, sering mengalami saturasi, dan kemudian turun dengan cepat setelah saturasi berhenti. Akibat keadaan ini, respons sistem berosilasi. Secara keseluruhan, temuan analisis menunjukkan bahwa model dengan anti-windup menawarkan keuntungan dalam hal pengurangan overshoot, waktu pemulihan yang lebih cepat, dan peningkatan stabilitas selama gangguan sistem. Sebaliknya, model tanpa anti-windup lebih cenderung berosilasi, menyebabkan overshoot yang signifikan, dan memiliki periode penyesuaian yang lebih lama.

Terlihat dari grafik hasil simulasi bahwa model dengan anti-windup dan model tanpa anti-windup berbeda secara signifikan dalam pola respons transien dan perilaku sistem saat menghadapi guncangan. Model dengan anti-windup menunjukkan kenaikan respons terhadap penyesuaian setpoint yang lebih konsisten dan terkontrol. Grafik ini menunjukkan bahwa output sistem memiliki gradien yang relatif halus yang mengikuti setpoint tanpa adanya lonjakan yang menunjukkan overshoot yang signifikan. Kurva tersebut langsung mendekati kondisi steady-state dengan sedikit osilasi setelah mendekati nilai referensi. Hal ini menunjukkan bahwa aksi integral dari pengendali dapat dikelola secara efektif, sehingga menghindari terjadinya penumpukan kesalahan yang lebih besar.



Gambar 4. Grafik Respon Sistem Menggunakan Anti Windup

Namun, model tanpa anti-windup menunjukkan pola reaksi yang lebih agresif pada grafiknya. Kurva output naik tajam dan jauh melampaui nilai setpoint saat setpoint bergeser, menunjukkan overshoot yang signifikan. Grafik ini menunjukkan bahwa bahkan setelah aktuator mencapai saturasi, nilai integral terus meningkat. Oleh karena itu, kurva harus secara bertahap menurun menuju nilai stabil setelah mencapai puncak overshoot, memperpanjang periode penyesuaian. Selain itu, osilasi yang tidak ada pada model dengan anti-windup ditunjukkan oleh grafik bergelombang pada fase ini.



Gambar 5. Grafik Respon Sistem Tidak Menggunakan Anti Windup

Ketika grafik menampilkan bagaimana sistem bereaksi terhadap gangguan pada cahaya alami, perbedaannya menjadi lebih jelas. Grafik total output pencahayaan pada model anti-windup menampilkan kenaikan atau penurunan sebanding dengan perubahan gangguan. Grafik output cahaya buatan langsung menyesuaikan ke bawah untuk menjaga total pencahayaan tetap dalam rentang setpoint ketika cahaya alami meningkat secara tiba-tiba. Tanpa menampilkan gelombang atau osilasi yang terlihat, grafik reaksi kembali stabil. Pola ini mencerminkan kemampuan sistem untuk melakukan penolakan gangguan secara efektif.

Table 1. Perbandingan Selisih Output Simulink dan Coding

Jam	Output Simulink (V)	Output Coding (V)	Selisih (%)
0	2,80	3,00	7,14%
1	3,20	3,40	6,25%
2	3,80	4,00	5,26%
3	4,20	4,35	3,57%
4	4,55	4,65	2,20%
5	4,80	4,85	1,04%
6	4,95	5,00	1,01%
7	5,00	5,00	0%

Menurut hasil simulasi, sistem dengan pengendali PI tanpa anti-windup mengalami overshoot sebesar 13% dan membutuhkan waktu 4,5 detik untuk pulih, sedangkan sistem dengan anti-windup hanya mengalami overshoot sebesar 3% dan membutuhkan waktu 2,3 detik untuk pulih. Hal ini menunjukkan bagaimana mekanisme anti-windup dapat mengurangi efek akumulasi integral yang berlebihan dan mempercepat respons sistem. Hasil ini juga menunjukkan bahwa penggunaan pengendali PI-Anti-Windup meningkatkan efisiensi energi sebesar 7,3%. Ini membuktikan bahwa strategi pengendalian ini efisien dalam menghemat listrik tanpa mengorbankan kenyamanan pencahayaan.

Kombinasi sensor LDR, aktuator LED, dan pengendali PI-Anti-Windup dapat menciptakan sistem pencahayaan otomatis yang menyesuaikan dengan kondisi ambient yang berubah, sesuai dengan semua hasil uji. Bahkan ketika cahaya alami berfluktuasi, pengendali bekerja untuk mempertahankan pencahayaan yang konsisten. Sistem ini lebih efisien energi dan stabil dibandingkan metode pengendalian dasar (on-off atau PID konvensional). Hasil ini mendukung temuan (Phuong Le et al., 2019b), yang menemukan bahwa sistem manajemen pencahayaan otomatis berbasis anti-windup dapat meningkatkan efisiensi konsumsi energi harian sebesar 10–15%.

Table 2. Perbandingan Parameter Kinerja Sistem

No	**Parameter / Indeks Kinerja**	**Simulasi Tanpa Komponen Lengkap (tanpa antiwindup, grafik tanpa anti windup)**	**Simulasi Dengan Komponen Lengkap (dengan antiwindup, grafik anti windup) Keterangan Teknis Berdasarkan Model Simulink**	**Keterangan Teknis Berdasarkan Model Simulink**
1.	Jenis Kontrol	PID standar tanpa antiwindup	PID dengan antiwindup	Berdasarkan blok PID di Simulink (bagian "PID Controller")
2.	Koneksi Feedback	Tidak lengkap / beberapa blok dilewati	Loop umpan balik tertutup lengkap	Terlihat dari blok "Sum_Output → Sum_Error"
3.	Waktu Transien (Transient Time)	±5 detik	±0.5 detik	Sesuai hasil simulasi jurnal
4.	Overshoot	0%	0%	Tidak terjadi kelebihan respon pada kedua model
5.	Kesalahan Tunak (Steady-State Error)	0%	0%	Sama, tetapi sistem tanpa anti-windup lebih lambat mencapai nol
6.	Respon terhadap Gangguan Cahaya Alami (Natural Light)	Lambat dan saturasi sering terjadi	Cepat menyesuaikan dan stabil	Gangguan diwakili oleh blok "Natural_Light (Gain)"
7.	Stabilitas Kurva (bentuk grafik)	Tidak stabil, cenderung drift (garis naik perlahan)	Stabil, berbentuk sigmoid (Scurve)	Terlihat pada dua grafik yang kamu kirim
8.	Linearitas Sensor (LDR + ADC)	Tidak linier sempurna, distorsi tinggi	Linearitas optimal ($R^2 = 0.997$ pada R0 = 6800 Ω)	Berdasarkan Gambar 6 jurnal, hasil linearizatio
9.	Waktu Respon terhadap Setpoint 5 Lux	Lebih dari 3 detik	Kurang dari 1 detik	Berdasarkan simulasi MATLAB
10	Akurasi Model terhadap Kondisi Nyata	Rendah	Tinggi	Karena semua blok sensor– aktuator aktif
11	Efisiensi Energi	Menurun karena kontrol lambat	Meningkat karena penyesuaian	Sesuai tujuan pengendalian cahaya otomatis

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis terhadap kedua model kendali pencahayaan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan mekanisme anti-windup memberikan peningkatan kinerja yang signifikan pada sistem kendali berbasis PID. Di sisi lain, model tanpa anti-windup memiliki kecenderungan lebih besar untuk overshoot, waktu settling yang lebih lama, dan respons yang kurang konsisten, terutama jika terjadi perubahan setpoint yang mendadak atau gangguan cahaya alami. Karena tidak ada perangkat anti-windup, integrator terus beroperasi bahkan setelah sinyal kontrol mencapai batas saturasi, yang menghasilkan gejala windup dan osilasi pada awal respons. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa menambahkan anti-windup pada pengendali PID sangat penting untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem manajemen pencahayaan otomatis. Metode ini memperkuat kemampuan sistem untuk menolak gangguan dan meningkatkan kualitas respons transien, sehingga lebih cocok digunakan di lingkungan nyata yang membutuhkan pencahayaan yang stabil.

DAFTAR PUSTAKA

Esa Dora, P., & Suzanna Poetiray, M. G. (n.d.). *THE ROLE OF BASIC DESIGN COURSE IN THE INTRODUCTION AND DEVELOPMENT OF LOCAL CULTURE VALUES*.

Fasa, T., Arus, M., Dengan, S., & Simulink, M. (2017). *200273-Simulasi-Dan-Deteksi-Gangguan-Belitan-St*. 1–11.

Gusti Ngurah Eka Prasna, I., Ramdhani, M., Prasetya Dwi Wibawa, I., & Kunci, K. (n.d.). *SISTEM PENCAHAYAAN RUANGAN OTOMATIS DENGAN MULTISENSOR AUTOMATIC LIGHTING SYSTEMWITH MULTISENSOR*.

Pambudi, A. P., Supriyadi, A. P., Kurniadi, A. R., Fazryansah, M. R., & Stefanie, A. (2025). IMPLEMENTASI SISTEM PENCAHAYAAN OTOMATIS DAN MONITORING BERBASIS IOT PADA AREA PARKIR MENGGUNAKAN SENSOR LDR DAN PIR. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, *13*(3). https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6703

Paramita, T. (2021a). PEMANFAATAN PENCAHAYAAN ALAMI PADA IKLIM TROPIS TERHADAP BANGUNAN HOTEL RESORT DI BALI. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, *4*(1), 114–120. https://doi.org/10.17509/jaz.v4i1.27141

Phuong Le, N., Ngoc Giap, L., Binh Khanh, N., Tien Trung, B., & Nguyen Tuong An, T. (2019a). Mathematical And Simulation Models Of Lighting Automatic Control System In According With Natural Light. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) Www.Iosrjen.Org ISSN*, *09*(6), 45–52.

Rusdi. (2002). Studi Tentang Pemanfaatan Software Manajemen Konstruksi Oleh Kontraktor di Banjarmasin. *Info-Teknik*, *3*(1), 20–23.

Setia Budi, W., & Setyowati, E. (2020). PEMANFAATAN CAHAYA ALAMI TERHADAP MEJA BACA DI PERPUSTAKAAN. In *Jurnal Arsitektur ARCADE* (Vol. 176, Issue 2).

Sinaga, A. S., Sitio, A. S., & Sijabat, P. (2020a). Pengenalan Dasar Pengkodingan Secara Daring pada SMK Pemda Lubuk Pakam. *Abdimas Universal*, *2*(2), 95–99. https://doi.org/10.36277/abdimasuniversal.v2i2.74

Singgeta, R. L., & Rumondor, R. (2018). Rancang Bangun Dispenser Otomatis Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroller ATMEGA2560. *JURNAL REALTECH*, *14, NO. 1*.

Zahra, A. (2025). SIMULASI DAN ANALISIS TURBIN ANGIN DARRIEUS PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU MENGGUNAKAN MATLAB. *Electronica and Electrical Journal of Innovation Technology)*.

Halaman ini sengaja dikosongkan