



Desain Kendali Kemiringan Poros Turbin Archimedes Menggunakan Aktuator Linear Berbasis Arduino Uno

Ralf Ricko Nelwan¹, Alfred Noufie Mekel², Franklin Bawano³

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado, Manado, Indonesia
Email: ralfnelwan4@gmail.com

Abstract

The Archimedes screw turbine has become a widely adopted solution for micro-hydro power generation due to its structural simplicity and resilience in low-head environments. Extensive studies have demonstrated that the power efficiency of these turbines is critically influenced by the shaft's inclination angle. However, conventional manual adjustment methods are often impractical, labor-intensive, and lack the responsiveness required for frequent, repetitive modifications. The research addresses these challenges by developing an electrical control system integrated with an Arduino Uno microcontroller and a linear actuator. The system architecture is designed synergistically utilizing a potentiometer for angle input, a dual-channel relay module for directional control, and a 12 V DC linear actuator for mechanical execution. Operationally, the Arduino processes analog signals from the potentiometer and compares them against a designated setpoint. Any deviation from this target automatically triggers the actuator to move forward or backward until the desired screw position is achieved. Through this system, operators can precisely adjust the turbine's tilt simply by rotating the potentiometer knob. Experimental results indicate that the system executes commands with rapid response times. The implementation of this technology successfully transforms a labor-intensive mechanical task into a streamlined and efficient process, effectively eliminating the need for direct physical intervention by operators at the turbine site.

Keywords: Archimedes turbine; linear actuator; Arduino Uno; relay; potentiometer

Abstrak

Turbin ulir Archimedes menjadi solusi populer dalam pembangkit listrik mikrohidro berkat desainnya yang sederhana dan ketahanan pada kondisi *head* rendah. Berbagai studi telah membuktikan bahwa efisiensi daya turbin ini sangat dipengaruhi oleh sudut kemiringan porosnya. Namun, metode penyetelan manual yang selama ini digunakan oleh operator sering kali tidak praktis, menguras tenaga, dan lambat dalam merespons kebutuhan perubahan sudut yang berulang. Penelitian ini menjawab tantangan tersebut dengan mengembangkan sistem kendali elektrik berbasis Arduino Uno dan aktuator linear. Perangkat ini dirancang secara sinergis menggunakan potensiometer sebagai *input* sudut, modul relay 2 *channel* sebagai pengontrol arah, serta aktuator 12 V DC sebagai penggerak mekanis. Secara operasional, Arduino membaca sinyal analog dari potensiometer untuk dibandingkan dengan nilai acuan (*setpoint*). Perbedaan nilai tersebut akan secara otomatis memicu aktuator untuk bergerak maju dan mundur sehingga posisi ulir yang diinginkan tercapai. Dengan sistem ini, operator dapat mengubah kemiringan turbin secara presisi hanya melalui putaran potensiometer. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengeksekusi perintah dengan respons yang cepat. Implementasi teknologi ini berhasil mengubah proses pengaturan sudut yang tadinya berat dan mekanis menjadi lebih praktis serta efisien, sekaligus menghilangkan kebutuhan akan intervensi fisik langsung dari operator di area turbin.

Kata kunci: turbin Archimedes; aktuator linear; Arduino Uno; relay; potensiometer

1. Pendahuluan

Lonjakan permintaan daya listrik secara global telah memacu percepatan transisi menuju sumber energi terbarukan sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil, di mana energi air menjadi salah satu kontributor yang sangat potensial. Pada lokasi-lokasi yang memiliki karakteristik ketinggian jatuh air (*head*) terbatas namun dengan pasokan air yang stabil, seperti di saluran irigasi atau sungai kecil, penggunaan turbin ulir Archimedes muncul

sebagai opsi yang sangat strategis. Popularitas turbin ini didorong oleh keunggulan yang mencakup proses manufaktur yang relatif sederhana, beban operasional yang ekonomis, serta sifatnya yang tidak merusak ekosistem perairan.

Performa operasional turbin Archimedes sangat bergantung pada sejumlah variabel teknis, dengan sudut kemiringan poros terhadap garis horizontal sebagai salah satu faktor penentunya [1]. Telah

terbukti bahwa fluktuasi pada sudut kemiringan ini memiliki dampak yang nyata terhadap kinerja turbin secara keseluruhan. Temuan tersebut juga diperkuat melalui pendekatan numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [2]. Pada model turbin bilah tunggal, di mana hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi sudut kemiringan menjadi variabel kunci yang memengaruhi efisiensi serta besaran daya yang dihasilkan.

Lebih lanjut, berbagai literatur telah memperdalam pemahaman mengenai fenomena ini dari berbagai sudut pandang. Beberapa di antaranya mengkaji korelasi antara kemiringan bilah dan *head* terhadap *output* daya pada generator AC [3], serta menganalisis karakteristik daya keluaran turbin saat diuji dalam kondisi saluran tertutup [4]. Selain itu, pengujian pada skala laboratorium juga dilakukan untuk memetakan secara mendalam bagaimana pengaruh kemiringan poros terhadap parameter performa mekanis dari turbin ulir Archimedes tersebut [5].

Kajian Saroinsong dkk. mengenai head inflow dan sudut sumbu pada turbin ulir tiga bilah menegaskan bahwa karakteristik aliran masuk dan posisi sumbu turbin merupakan variabel operasional yang saling berkaitan dalam membentuk respons kerja turbin. Temuan tersebut mendukung kebutuhan mekanisme pengaturan sudut yang dapat dilakukan secara terkontrol ketika kondisi aliran masuk berubah. [10]

Pada turbin ulir Archimedes, air mengalir sebagai aliran permukaan bebas dan tidak memenuhi seluruh ruang di antara bilah. Interaksi antara kedalaman aliran, kecepatan masuk, dan kemiringan poros dapat memunculkan pola aliran, termasuk pusaran di antara bilah, sehingga posisi poros perlu diatur secara presisi untuk mendukung pengamatan dan pengoperasian turbin. [11]

Penelitian performa turbin Archimedes tiga bilah juga menempatkan laju aliran, kemiringan poros, putaran, torsi, dan visualisasi aliran sebagai parameter penting dalam pengujian laboratorium. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan sudut poros bukan sekadar penyesuaian struktur, tetapi merupakan bagian dari pengondisian eksperimen yang perlu dilakukan secara konsisten dan berulang. [12]

Kajian berbasis bilangan Froude menjelaskan bahwa aliran pada turbin ulir merupakan aliran permukaan bebas yang dipengaruhi oleh perbandingan gaya inersia dan gravitasi. Perubahan kondisi aliran dapat berkaitan dengan terbentuknya vortex di antara bilah, sehingga pengaturan sudut poros yang mudah dan terukur menjadi relevan untuk mempertahankan konfigurasi pengujian sesuai kondisi hidraulik yang diamati. [13]

Penggunaan Response Surface Methodology pada pengujian turbin ulir tiga bilah memperlihatkan perlunya pengaturan beberapa variabel bebas, termasuk kemiringan poros, kedalaman aliran

masuk, dan kecepatan aliran, dalam rancangan eksperimen yang sistematis. Oleh karena itu, sistem kendali sudut berbasis aktuator linear dan Arduino Uno dapat mendukung proses pengujian dengan menyediakan perubahan posisi poros yang lebih praktis, berulang, dan konsisten. [14]

Berdasarkan temuan dari berbagai literatur tersebut, jelas bahwa variasi pada sudut kemiringan poros berdampak langsung terhadap fluktuasi kinerja turbin. Hal ini menjadikan fleksibilitas dalam mengatur sudut secara cepat dan efisien sebagai aspek yang sangat krusial, baik dalam kerangka pengujian di laboratorium maupun saat implementasi nyata di lapangan. Namun kenyataannya, prosedur penyetulan sudut hingga saat ini masih didominasi oleh metode manual yang mengandalkan intervensi fisik operator untuk menggeser dudukan poros secara langsung. Selain tidak praktis dan memakan waktu yang cukup lama, ketergantungan pada tenaga kerja manusia ini juga membawa risiko keausan atau kerusakan mekanis pada komponen turbin jika dilakukan secara repetitif.

Sebagai langkah solutif, mekanisme penggerak manual tersebut dapat digantikan oleh aktuator linear elektrik yang pengoperasiannya diatur melalui mikrokontroler. Fleksibilitas Arduino dalam mengelola sistem pemosisian otomatis sebenarnya telah teruji secara luas dalam berbagai domain teknologi. Dalam sektor energi terbarukan, misalnya, efisiensi panel surya berhasil dioptimalkan melalui pengembangan sistem *dual axis solar tracking* yang mampu mengarahkan panel secara mandiri mengikuti lintasan matahari menggunakan sensor LDR [6]. Prinsip ini serupa juga diadaptasi dalam pengembangan prototipe pelacak surya sumbu tunggal yang terbukti efektif meningkatkan serapan energi [7]. Tak hanya terbatas pada pemosisian statis, ekosistem Arduino turut merambah ke kendali dinamis lainnya, seperti pengaturan kecepatan motor BLDC berbasis sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) [8] hingga otomasi sistem air mancur yang dikenal sebagai *living fountain* [9]. Berbagai bukti penerapan tersebut membuktikan bahwa integrasi antara potensiometer, modul relay dan mikrokontroler Arduino membentuk sebuah kerangka kendali elektrik yang tangguh dan andal untuk diaplikasikan pada beragam kebutuhan penggerak mekanis.

Merujuk pada latar belakang tersebut, penelitian ini menawarkan solusi berupa sistem kendali otomatis untuk mengatur kemiringan poros turbin Archimedes menggunakan aktuator linear 12 V DC. Perangkat penggerak ini dioperasikan melalui modul 2 relay *channel* yang terhubung langsung dengan mikrokontroler Arduino Uno, di mana potensiometer berperan sebagai media interaksi bagi operator untuk menentukan arah pergerakan aktuator secara tepat. Implementasi teknologi ini memungkinkan modifikasi

kemiringan turbin dilakukan sepenuhnya secara elektrik hanya dengan memutar knop potensiometer, sehingga memberikan kemudahan operasional sekaligus meniadakan kebutuhan akan penyesuaian posisi struktur turbin secara fisik yang selama ini dilakukan manual.

Beranjak dari latar belakang yang telah diuraikan, fokus utama permasalahan dalam penelitian ini adalah mengenai mekanisme perancangan serta implementasi sistem kendali kemiringan poros pada turbin Archimedes. Hal ini mencakup integrasi aktuator linear yang dioperasikan melalui modul relay 2 *channel* dengan Arduino Uno sebagai pusat kendali utama yang merespons masukan dari potensiometer. Lebih lanjut, studi ini juga mengkaji sejauh mana efektivitas dan performa sistem tersebut dalam mengeksekusi instruksi gerak aktuator agar selaras dengan parameter *input* yang diberikan.

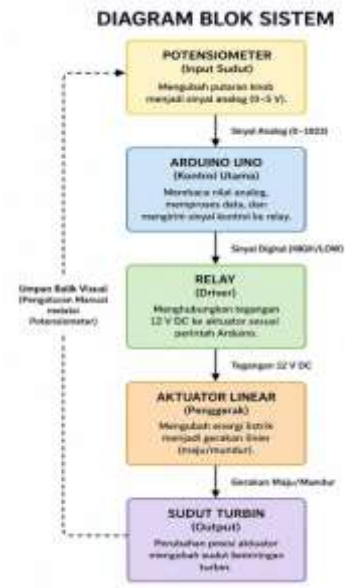
Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengembangkan rancang bangun sistem mekanik dan elektronik yang terintegrasi untuk mengendalikan sudut poros turbin Archimedes, dengan memanfaatkan sinergi antara potensiometer, mikrokontroler Arduino Uno, modul relay 2 *channel*, serta aktuator linear; (2) menyusun dan mengimplementasikan algoritma kendali pada platform Arduino Uno yang mampu mengolah data masukan dari potensiometer menjadi instruksi presisi untuk menentukan arah pergerakan aktuator; dan (3) mengevaluasi performa fungsional dari sistem kendali yang telah dibangun, yang berfokus pada kelincahan respon aktuator terhadap variasi *input* potensiometer serta menganalisis dampak dari penyesuaian sudut tersebut terhadap efisiensi operasional turbin.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dirancang melalui rangkaian tahapan yang sistematis untuk memastikan setiap aspek teknis terpenuhi secara optimal. Dimulai dengan eksplorasi literatur mendalam untuk membangun landasan teori yang kuat, yang kemudian menjadi acuan dalam merancang arsitektur mekanik serta konfigurasi elektroniknya. Setelah struktur fisik siap, fokus beralih pada pengembangan algoritma kendali. Semua elemen tersebut kemudian disatukan ke dalam sebuah sistem terpadu sebelum akhirnya masuk pada fase krusial, yaitu pengujian performa nyata.

Ditinjau dari sisi teknis, mekanisme kendali yang dikembangkan beroperasi melalui kolaborasi antara lima komponen inti. Di bagian *input*, sebuah potensiometer bertugas menangkap sinyal sudut yang diinginkan, lalu diteruskan ke Arduino Uno sebagai otak pemroses logika kendali. Mengingat perlunya jembatan antara perintah digital dan tenaga penggerak, modul relay 2 *channel* diperlukan sebagai penggerak utama bagi

aktuator linear. Aktuator berfungsi sebagai eksekutor mekanis yang menjalankan perintah gerakan pada ulir turbin secara fisik. Dinamika perubahan posisi ulir inilah yang menjadi parameter kunci sekaligus *output* utama yang dihasilkan dari inovasi sistem kendali ini.



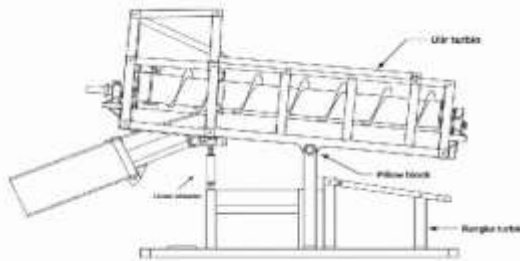
Gambar 1. Diagram blok sistem kendali sudut turbin Archimedes berbasis Arduino Uno

Berdasarkan gambar diagram di atas, operasional sistem ini diawali dengan potensiometer yang bertugas menerjemahkan rotasi fisik pada knop menjadi fluktuasi tegangan analog dalam rentang 0 hingga 5 V. Sinyal analog tersebut kemudian didigitalisasi oleh mikrokontroler Arduino Uno menjadi skala numerik dalam rentang 0-1023. Berdasarkan data tersebut, pusat pemrosesan pada Arduino akan mengeksekusi logika kendali dan mengirimkan instruksi digital berupa sinyal *high* atau *low* menuju modul relay. Dalam rangkaian ini, relay berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus otomatis yang mengarahkan tegangan 12 V DC dari satu daya menuju aktuator linear. Aktuator kemudian mengonversi energi listrik tersebut menjadi gerakan mekanis linier, baik berupa ekspansi (maju) maupun retraksi (mundur). Pergerakan ini secara langsung mengubah posisi fisik kedudukan ulir, sehingga sudut kemiringan turbin dapat disesuaikan secara dinamis. Untuk menjaga akurasi posisi, operator memantau pergeseran turbin secara langsung. Observasi visual ini berfungsi sebagai mekanisme umpan balik yang memungkinkan operator melakukan koreksi pada putaran potensiometer sehingga sudut yang diinginkan tercapai dengan tepat.

Guna membangun sistem kendali yang responsif, penelitian ini mengintegrasikan lima komponen utama yang saling berinteraksi secara dinamis. Arsitektur perangkat keras yang membentuk kesatuan kendali tersebut dijabarkan sebagai berikut:

- 1. Potensiometer 10 kΩ: Sebagai komponen yang menempati posisi sentral antarmuka masukan

- daya, alat ini berfungsi menerjemahkan setiap rotasi mekanis menjadi sinyal tegangan analog yang fluktuatif.
2. Arduino Uno: Berperan sebagai otak atau pusat komando sistem. Perangkat ini memikul tanggung jawab krusial, mulai dari mendigitalkan data analog yang masuk, mengolah logika algoritma kendali dan mendistribusikan instruksi menuju modul relay.
 3. Modul relay 2 channel: Berperan sebagai sakelar elektronik yang mengatur aliran daya dari satu daya menuju aktuator, berdasarkan komando digital yang dikirim oleh mikrokontroler.
 4. Aktuator linear 12 V DC: Berperan sebagai eksekutor mekanis utama dalam rangkaian ini. Alat ini berfungsi untuk mengonversi energi listrik yang diterima menjadi gerakan fisik linier, baik maju maupun mundur.
 5. Catu daya 12 V DC: Berperan sebagai pemasok daya aktuator yang disambungkan ke relay, bisa berupa aki maupun *power supply*.



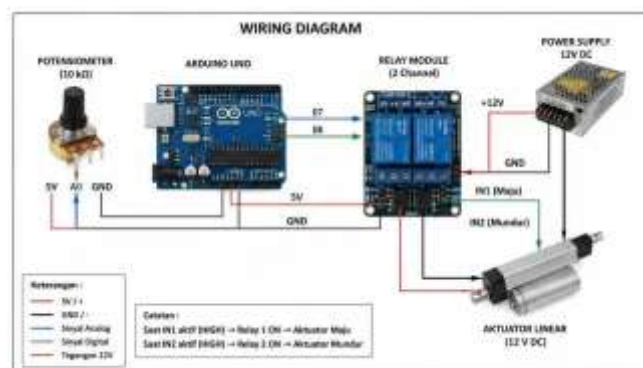
Gambar 2. Rancangan mekanikudukan ulir turbin Archimedes dengan aktuator sebagai penggerak sudut kemiringan

Berdasarkan Gambar 2, aktuator linear diposisikan secara tegak lurus di bagian bawah kerangka turbin dan dikaitkan pada sebuah engsel pivot (bering) yang menjadi pusat rotasi perubahan posisi. Mekanisme pergerakannya mengandalkan perubahan dimensi lengan aktuator. Saat batang aktuator mengalami ekspansi (memanjang), gaya dorong yang dihasilkan akan mengangkat struktur ulir turbin sehingga sudut kemiringannya meningkat. Sebaliknya, ketika lengan aktuator mengalami kontraksi (memendek), posisi ulir akan turun dan secara otomatis mereduksi sudut kemiringan ulir turbin.

Untuk mendukung kinerja yang stabil, konstruksi rangka penyangga dibangun dengan tingkat rigiditas yang tinggi. Desain ini bertujuan agar sistem mampu menopang beban statis dari massa turbin sekaligus meredam beban dinamis dari aliran air yang melintas, sehingga integritas struktur tetap terjaga pada bagian variasi sudut operasional.

Tata letak pengkabelan pada sistem ini dirancang untuk mensinkronkan komunikasi antar potensiometer, mikrokontroler dan unit penggerak daya dalam satu sirkuit kendali yang terpadu. Secara teknis, terminal pusat pada potensiometer dikoneksikan ke pin *input* analog A0 pada Arduino Uno, untuk pengiriman sinyal posisi, sementara dua terminal lainnya masing-masing dihubungkan ke jalur tegangan 5V dan *ground* sebagai referensi daya sensor.

Untuk mekanisme kontrol beban, pin digital D7 dan D8 pada Arduino difungsikan sebagai jalur instruksi yang terhubung langsung ke terminal IN1 dan IN2 pada modul relay. Konfigurasi ini memungkinkan Arduino untuk memicu relay pertama guna menginisiasi gerakan maju, serta relay kedua untuk mengarahkan gerakan mundur pada aktuator. Seluruh kebutuhan energi operasional, baik untuk pensaklaran pada modul relay maupun pergerakan mekanis aktuator linear, dipasok secara stabil oleh unit catu daya bertegangan 12 V DC.



Gambar 3. Wiring diagram sistem kendali: potensiometer, Arduino Uno, relay 2 channel, power supply, dan aktuator linear

Berdasarkan Gambar 3 di atas, mekanisme kerja modul relay diatur dalam dua skenario operasional utama yang saling bergantian. Skenario pertama terjadi ketika pin IN1 menerima sinyal logika tinggi (*high*), yang memicu relay 1 untuk mengaktifkan gerakan ekspansi (*extend*) atau maju pada aktuator. Sebaliknya, skenario kedua berlangsung saat sinyal *high* diterima di pin IN2, yang mana relay 2 akan aktif untuk menginisiasi gerak retraksi (*retract*) atau mundur pada lengan

aktuator. Guna menjamin keandalan sirkuit, aspek keamanan menjadi prioritas dalam penyusunan algoritma kendali. Sistem dirancang dengan protokol pencegahan aktivasi simultan, yang memastikan kedua relay tidak pernah berada dalam kondisi aktif pada waktu yang bersamaan. Langkah preventif ini sangat krusial untuk mengeliminasi risiko hubungan arus pendek (*short circuit*) pada rangkaian daya, sehingga integritas komponen elektronik tetap terjaga selama proses pengoperasian.

Tabel 1. Aksi relay terhadap aktuator

Kondisi	Relay 1 (IN1)	Relay 2 (IN2)	Gerakan
Maju	ON (Low)	OFF (High)	↑
Berhenti	OFF (High)	OFF (High)	□
Mundur	OFF (High)	ON (Low)	↓

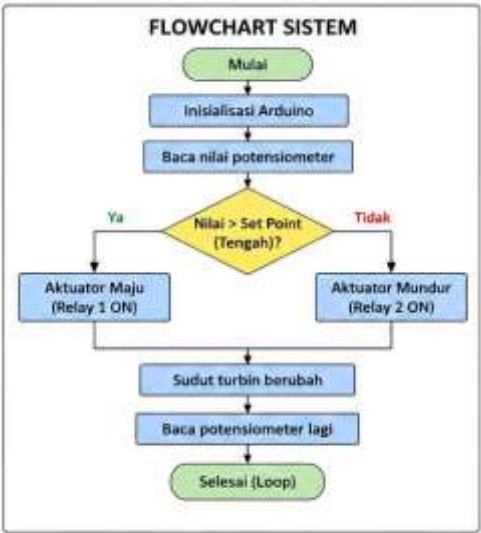
Berdasarkan keterangan Tabel 1, logika kendali sistem ini diimplementasikan pada mikrokontroler Arduino Uno melalui algoritma komparasi data yang berpusat pada sebuah titik acuan sentral (*setpoint*). Dalam siklus operasinya, sistem secara terus-menerus mengevaluasi data analog dari potensiometer terhadap nilai ambang batas tengah tersebut. Apabila nilai masukan berada di atas ambang batas tengah, Arduino akan memicu aktivasi relay 1 untuk menginisiasi pergerakan maju aktuator. Sebaliknya, jika nilai masukan berada di bawah ambang batas tengah, sistem akan menginstruksikan relay 2 untuk melakukan pergerakan mundur. Proses evaluasi dan pengambilan keputusan ini berlangsung secara iteratif dalam siklus pemrosesan (*looping*) selama perangkat aktif. Hal ini memungkinkan terjadinya sinkronisasi yang responsif, yang mana sudut kemiringan ulir turbin akan secara dinamis mengikuti setiap perubahan rotasi potensiometer yang diberikan oleh operator. Pendekatan kendali berbasis perbandingan nilai ambang batas ini memiliki kemiripan prinsip dengan sistem pemosisian otomatis pada teknologi *solar tracker* [6], [7], serta mekanisme pengaturan kecepatan motor berbasis sinyal PWM yang telah banyak dikembangkan sebelumnya [8].

```

1 //
2 // Kontrol aktuator linear IPV menggunakan:
3 // - Arduino Uno
4 // - Relay 2 channel
5 // - Potensiometer 10k
6 // - Akt. IPV
7
8 // Potensiometer:
9 // 0-10V : aktuator mundur
10 // 475-600: aktuator berhenti
11 // 600 : aktuator maju
12
13 //
14
15 const byte POT_PIN = A0;
16 const byte RELAY_1_PIN = 7;
17 const byte RELAY_2_PIN = 8;
18
19 // Kecepatan awal relay Arduino bersifat active LOW
20 const byte RELAY_ON = LOW;
21 const byte RELAY_OFF = HIGH;
22
23 const int BATAS_MUNDUR = 475;
24 const int BATAS_MAJU = 600;
25
26 void fungsiAktuator (
27   BERHENTI,
28   MAJU,
29   MUNDUR
30 ) {
31
32   kondisiAktuator.kondisiSekarang = BERHENTI;
33
34 }

```

Gambar 4. Program kendali aktuator linear pada Arduino Uno



Gambar 5. Diagram alir (*flowchart*) algoritma kendali sudut ulir turbin Archimedes

Berdasarkan gambar di atas, siklus operasional program diawali dengan tahap inisialisasi sistem pada Arduino, yang segera diikuti oleh pemantauan data dari potensiometer secara berkelanjutan. Inti dari algoritma ini terletak pada proses komparasi nilai masukan terhadap ambang batas tengah yang telah ditentukan sebelumnya. Apabila data yang tertangkap sensor melebihi titik acuan tersebut, sistem akan memberi instruksi aktif kepada relay 1 untuk menggerakkan lengan aktuator ke atas. Sebaliknya, jika nilai masukan berada di bawah ambang batas, maka relay 2 yang akan diaktifkan untuk menarik aktuator mundur. Rentetan aksi mekanis tersebut secara langsung mengoreksi posisi fisik dari sudut kemiringan poros turbin. Seluruh rangkaian proses ini berlangsung dalam sebuah *loop* tertutup yang berulang secara mandiri selama perangkat berada dalam kondisi aktif. Mekanisme siklus ini memastikan bahwa posisi kemiringan selalu selaras dengan setiap perubahan *input* yang diberikan oleh operator melalui potensiometer. Eksperimen terhadap sistem ini dilaksanakan melalui dua fase evaluasi yang komprehensif. Fase pertama difokuskan pada validasi fungsional mekanisme kendali untuk menilai reliabilitas operasional aktuator linear dalam merespons setiap *input* posisi dari potensiometer. Dalam tahap ini, parameter yang dianalisis mencakup kecepatan reaksi (waktu respons) aktuator serta akurasi sudut kemiringan yang dihasilkan pada berbagai koordinat titik potensiometer yang berbeda. Setelah keandalan sistem kendali terverifikasi, prosedur dilanjutkan ke fase kedua yang

berorientasi pada analisis dampak perubahan sudut kemiringan terhadap parameter operasional turbin. Pengujian ini melibatkan observasi langsung terhadap putaran poros dan estimasi daya *output* yang dihasilkan pada berbagai variasi sudut yang telah diposisikan secara elektrik oleh sistem kendali. Protokol eksperimen ini disusun dengan merujuk pada metodologi penelitian standar yang telah mapan di bidang turbin Archimedes, guna menjamin validitas hasil yang diperoleh [1], [5].

3. Hasil dan Pembahasan

Guna menguji keandalan sistem secara langsung, dilakukan serangkaian percobaan dengan menyesuaikan posisi potensiometer pada beberapa titik koordinat, baik saat melampaui maupun berada di bawah ambang batas tengah (*setpoint*). Dalam setiap tahapan dilakukan pengamatan dan mencatat dengan teliti bagaimana aktuator merespons perintah tersebut. Setelah memantau arah geraknya, dilakukan juga perhitungan durasi waktu yang dibutuhkan sistem sejak sinyal dikirim hingga aktuator benar-benar berhenti di posisi statis yang diinginkan. Sebagai data luaran (*output*) utama, besaran sudut kemiringan poros turbin yang dihasilkan diukur secara presisi untuk memvalidasi akurasi sistem. Seluruh hasil pengamatan sistematis tersebut telah dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 2. Hasil pengujian respons sistem kendali terhadap posisi potensiometer

Nilai Potensiometer	Status Relay	Arah Gerak Aktuator	Sudut Terukur	Waktu Respons
0-419	Relay 1 ON	Maju	15°-42°	10s
420-600	Kedua Relay OFF	Diam	42°	0
601-1023	Relay 2 ON	Mundur	42°-15°	10s

Evaluasi terhadap data empiris yang tersaji pada Tabel 2, memberikan gambaran jelas mengenai reliabilitas sinkronisasi antara arah gerak aktuator dengan posisi potensiometer, sekaligus memetakan kelincahan respons sistem dalam menyesuaikan sudut kemiringan turbin. Kinerja perangkat yang stabil dan konsisten ini menjadi bukti kuat bahwa algoritma komparasi nilai, sebagaimana yang telah dipetakan dalam skema logika pada Gambar 4, mampu mengeksekusi instruksi kendali dengan akurat. Keberhasilan operasional ini mempertegas keandalan prinsip

kendali elektrik berbasis Arduino, yang juga menunjukkan efektivitas serupa pada implementasi teknologi *solar tracker* sebelumnya [6], [7].

4. Kesimpulan

Setelah melalui rangkaian perancangan hingga validasi eksperimental, penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem kendali sudut otomatis untuk turbin ulir Archimedes berbasis Arduino Uno telah berhasil dikembangkan dan berfungsi secara efektif. Dengan kombinasi

potensiometer sebagai unit *input*, modul relay 2 *channel*, dan catu daya 12 V DC, sistem ini terbukti mampu mengubah posisi poros turbin secara elektrik dengan tingkat kepraktisan yang tinggi. Data pengujian menunjukkan reliabilitas aktuator yang sangat baik dalam mengeksekusi gerak maju dan mundur. Hal ini memungkinkan penyesuaian sudut kemiringan dilakukan jauh lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

Secara keseluruhan, inovasi kendali berbasis mikrokontroler ini menawarkan solusi aplikatif yang unggul untuk memudahkan optimasi sudut operasional turbin. Baik untuk riset laboratorium maupun implementasi langsung di lapangan, teknologi ini hadir sebagai alternatif yang lebih modern dan akurat.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Alfred Noufie Mekel, S.ST., M.T., dan Bapak Franklin Bawano, ST., M.T., selaku dosen pembimbing, serta Ibu Dr. Ir. Tineke Saroinsong SST., M.Eng., atas segala bimbingan, arahan, masukan, serta dukungan yang telah diberikan selama proses pelaksanaan proyek ini. Penulis juga menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya atas kesediaan beliau dalam meluangkan waktu memberikan motivasi, serta memfasilitasi pelaksanaan proyek ini hingga dapat diselesaikan dengan baik.

Daftar Rujukan

- [1] S. D. Jayanto, R. Hatib, dan Muchsin, "Kaji Eksperimental Kinerja Turbin Ulir Archimedes Berdasarkan Sudut Kemiringan Poros Turbin," *Jurnal FORISTEK*, vol. 15, no. 2, hlm. 114–121, Nov. 2025, doi: 10.54757/fs.v15i2.843. Universitas Tadulako, Indonesia.
- [2] S. A. Ahmad, N. D. Fajarningrum, dan S. Iswahyudi, "Analisis Variasi Kemiringan Sudut Turbin Single Blade Terhadap Efisiensi Dan Daya Pada Archimedes Screw Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)," *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, hlm. 126–133, Des. 2024, doi: 10.34128/je.v11i2.291. Magelang, Indonesia.
- [3] M. W. N. Karim, M. Widyaranto, A. C. Hermawan, dan S. I. Haryudo "Kajian Kemiringan Blade dan Head Turbin Archimedes Screw Terhadap Daya Keluaran Generator AC 1 Phase 3 kW," *Jurnal Teknik Elektro*, Universitas Negeri Surabaya, vol. 10, no. 1, hlm. 219–228, 2021. Indonesia.
- [4] A. A. Salam, dan Mahmuddin, "Karakteristik Daya Output Turbin Archimedes Screw Terhadap Kemiringan Poros yang Diuji pada Saluran Tertutup," *J-Move: Jurnal Teknik Mesin FT-UMI*, vol. 3, 2021. Universitas Muslim Indonesia (UMI), Indonesia.
- [5] Muhammad Arham, A. Aswin Salam, M. Ilham Nur, dan Haslinda H. S., "Pengaruh Kemiringan Poros Terhadap Performance Turbin Archimedes Screw Skala Laboratorium," *Jurnal Tematis (Teknologi, Manufaktur dan Industri)*, Politeknik Bosowa, 2024. Indonesia.
- [6] Hasyim Asyari dan Aan Wisnu Aji, "Desain Solar Tracking Dual Axis Berbasis Arduino dan Sensor Light Dependent Resistor untuk Meningkatkan Daya Keluaran Sel Surya," 2023. Jawa Tengah. Indonesia.
- [7] A. Alfayid et al., "Prototype Kontrol Penggerak Single Axis Solar Tracker," *Jurnal JUTEKNIN*, 2025. Universitas Ibnu Sina, Indonesia.
- [8] P. Astuti, dan H. Masdi, "Sistem Kendali Kecepatan Motor BLDC Menggunakan PWM Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," vol. 3, no. 1, hlm. 120–135, 2022. Sumatera Barat, Indonesia.
- [9] S. S. Prayogo et al., "Living Fountain – Sistem Kendali pada Air Mancur," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, Institut Teknologi Nasional, Indonesia.
- [10] T. Saroinsong, R. Soenoko, S. Wahyudi, dan M. N. Sasongko, "The Effect of Head Inflow and Turbine Axis Angle Towards the Three Row Bladed Screw Turbine Efficiency," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 7, hlm. 16977–16984, 2015. RIP, India.
- [11] T. Saroinsong, R. Soenoko, S. Wahyudi, dan M. N. Sasongko, "Fluid Flow Phenomenon in a Three-Bladed Power-Generating Archimedes Screw Turbine," *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 9, no. 2, hlm. 72–79, 2016, doi: 10.25103/jestr.092.12. Kavala Institute of Technology, Greece (Yunani).
- [12] T. Saroinsong, R. Soenoko, S. Wahyudi, dan M. N. Sasongko, "Performance of Three-Bladed Archimedes Screw Turbine," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol.

- 11, no. 15, hlm. 9491-9495, 2016. Pakistan.
- [13] T. Saroinsong, R. Soenoko, S. Wahyudi, dan M. N. Sasongko, "Effect of Froude Number on Three-Bladed Archimedes Screw Turbine Efficiency," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 6, no. 3, hlm. 1153-1158, 2016. Gazi University, Turkey.
- [14] T. Saroinsong, A. Thomas, dan A. N. Mekel, "Performance of Three-Bladed Archimedes Screw Turbine Using Response Surface Methodology," dalam *2018 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*, Manado, Indonesia, 2018, hlm. 636-640, doi: 10.1109/ICAST1.2018.8751600.