



OPTIMASI SISTEM KENDALI *GUIDEVANE* PEMBANGKIT LISTRIK MIKROHIDRO MENGUNAKAN PARAMETER PID HASIL AUTOTUNING

Refki Febriansyah^{1*}, Sonki Prasetya¹, P Jannus²

¹Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author *E-mail address*: refki.febriansyah.tm19@mhs.w.pnj.ac.id

Abstrak

Dalam menghadapi kebutuhan sumber energi listrik, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) memanfaatkan aliran air sebagai solusi alternatif. Fluktuasi debit air mempengaruhi efisiensi dan tegangan PLTMH. Pengaturan manual guide vane rawan kesalahan dan kurang responsif. Tujuan skripsi ini untuk meminimalkan fluktuasi rpm dengan menerapkan kontrol PID pada sistem. Metode analisis yang digunakan yaitu metode kuantitatif untuk menganalisis data RPM, parameter PID, dan set point RPM mengevaluasi efisiensi guide vane PLTMH. Parameter PID awal belum responsif pada sistem kendali. Optimisasi PID melalui autotune meningkatkan kinerja dan mengurangi kesalahan respons terhadap perubahan setpoint. Hasil AutoTuning parameter PID pada Setpoint 1500 RPM signifikan pada response system. Proses AutoTuning menemukan parameter PID yang sesuai ($K_p = 13.2$, $K_i = 6.6$, $K_d = 26.4$). AutoTuning berjalan hingga parameter PID lebih baik, respons mendekati Setpoint dengan fluktuasi minimal.

Kata-kata kunci: PLTMH, Fluktuasi RPM, Guidevane, Kontrol PID.

Abstract

Facing the demand for electrical energy supply, Microhydro Power Plant leverages water flow as an alternative solution. Fluctuations in water discharge impact the efficiency and voltage of Micro Hydro Power Plant. Manual adjustment of guide vanes is prone to errors and lacks responsiveness. The aim of this thesis is to minimize RPM fluctuations by implementing PID control on the system. The employed analytical method is quantitative analysis, assessing RPM data, PID parameters, and setpoint RPM to evaluate guide vane efficiency in Micro Hydro Power Plant. Initial PID parameters are unresponsive within the control system. Optimizing PID through autotuning enhances performance and reduces response errors to setpoint changes. The results of AutoTuning for PID parameters at Setpoint 1500 RPM demonstrate significant changes in the system's response. The AutoTuning process identifies suitable PID parameters ($K_p = 13.2$, $K_i = 6.6$, $K_d = 26.4$). AutoTuning continues until optimal PID parameters are found, resulting in a response approaching the Setpoint with minimal fluctuations. Monitored data encompasses input RPM, PID parameters (K_p , K_i , K_d), setpoint RPM, and Input RPM.

Keywords: Micro Hydro Power Plant, RPM fluctuations, Guidevane, PID Control.

1. PENDAHULUAN

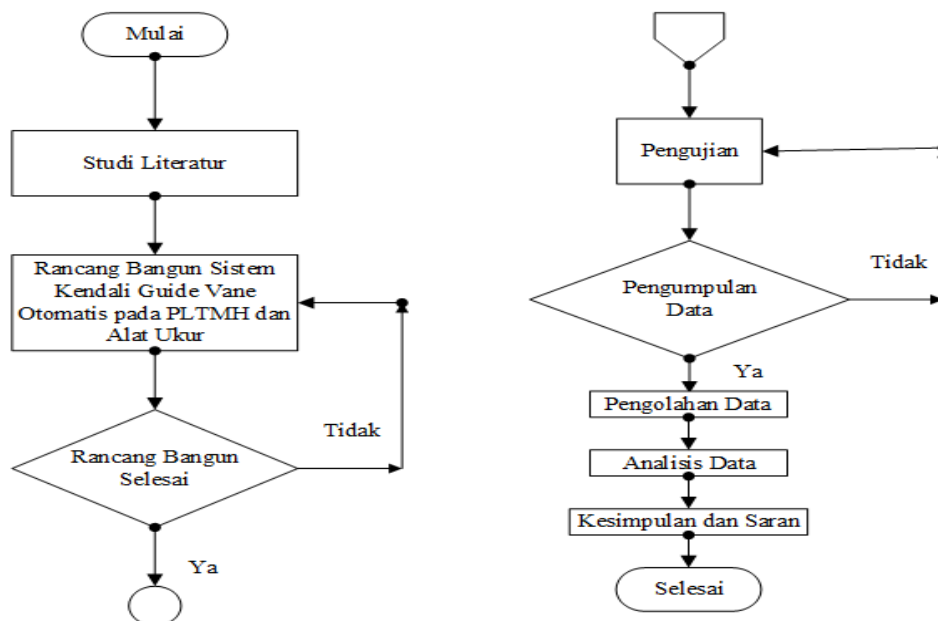
Meningkatnya kebutuhan energi listrik seiring dengan perkembangan kebutuhan masyarakat. Keterbatasan pasokan energi dari bahan bakar fosil, seperti bahan bakar minyak (BBM) yang menjadi latar belakang penelitian ini, telah mendorong eksplorasi sumber energi alternatif [1]. Sebagai respon terhadap hal ini, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) telah dianggap sebagai solusi baru dalam menghasilkan listrik melalui aliran air dengan debit rendah. Namun, perubahan debit air dalam aliran memiliki dampak signifikan terhadap efisiensi PLTMH, terutama terhadap kecepatan turbin yang mengakibatkan fluktuasi tegangan dan frekuensi keluaran listrik. Oleh karena itu, perlunya sistem kontrol untuk menjaga kestabilan putaran turbin menjadi sangat penting [2].

Saat ini, pengaturan posisi guide vane dalam operasional PLTMH masih dilakukan secara manual [3]. Namun, pendekatan ini membutuhkan intervensi langsung dan pengawasan operator yang berpotensi memakan waktu, tenaga, serta rentan terhadap kesalahan manusia. Sebuah penelitian sebelumnya oleh Zulfahmi Lubis (2018) telah memperkenalkan sistem kendali otomatis guide vane pada PLTMH menggunakan motor servo [4]. Meskipun ada kemajuan dalam efisiensi pembangkitan listrik yang dicapai, penelitian ini juga mengungkapkan beberapa kelemahan dalam implementasi motor servo, termasuk waktu respons yang lambat [5]. Selain itu, penelitian tersebut tidak mencakup kontrol PID dalam sistem kontrolnya, yang dapat mempengaruhi respons cepat dan stabil dalam mengatur guide vane secara presisi [6].

Dalam penelitian ini, terdapat upaya pembaruan untuk meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Sebagai alternatif terhadap motor servo yang digunakan sebelumnya, digunakan motor DC brushless yang menawarkan respons lebih cepat, efisiensi lebih tinggi, dan rentang kecepatan yang lebih luas [7]. Selain itu, penerapan kontrol PID diperkenalkan untuk meningkatkan akurasi dan respons sistem kontrol. Diharapkan bahwa melalui penerapan motor DC brushless dan kontrol PID, penelitian ini akan mencapai performa yang lebih baik dan relevan untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol presisi dan respons cepat. Selain itu, penggunaan teknologi Internet of Things (IoT) juga diintegrasikan untuk memantau operasional secara real-time, memberikan informasi yang lebih akurat dan komprehensif. Hal ini diharapkan akan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat waktu untuk optimalisasi dan perbaikan sistem [7].

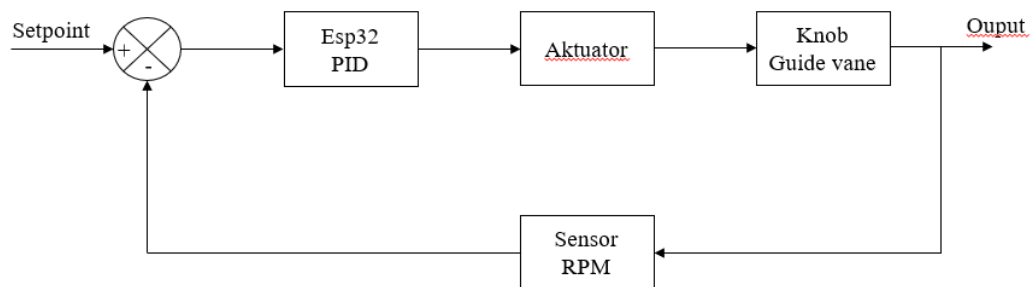
2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif. Data yang dikumpulkan merupakan data primer, meliputi nilai kecepatan putaran turbin (RPM), parameter PID, dan set point RPM melalui alat pengendali guide vane.



Gambar 1. Diagram Alir penelitian

Pada Gambar 1. dijelaskan penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur guna memastikan bahwa cakupan informasi yang relevan telah dipertimbangkan, termasuk aspek sistem kendali otomatis guide vane pada PLTMH dengan menggunakan mikrokontroler, pengaruh sudut bukaan guide vane terhadap kinerja turbin, dan topik terkait lainnya. Sumber informasi termasuk referensi seperti penelitian Agus Sukandi et al. (2016) tentang sistem kendali hidrolik berbasis Arduino untuk turbin Kaplan, serta penelitian M Rasyidin (2016) yang membahas efek sudut bukaan guide vane terhadap performa turbin crossflow. Setelah itu, tahap desain dan pembangunan sistem kendali guide vane otomatis pada PLTMH dan alat pengukur dilakukan, diikuti oleh pengujian di laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta. Data diperoleh melalui pengumpulan data langsung dari alat pengukur terintegrasi selama pengujian dan operasi PLTMH, serta melalui pengumpulan data terkait pengaturan guide vane otomatis dan performa PLTMH. Data tersebut kemudian diproses dan dianalisis, dengan fokus utama pada indikator RPM. Akhirnya, berdasarkan rangkaian penelitian yang dilakukan, kesimpulan dihasilkan dengan memberikan saran untuk perbaikan di masa depan serta faktor-faktor yang mempengaruhi penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Blok System

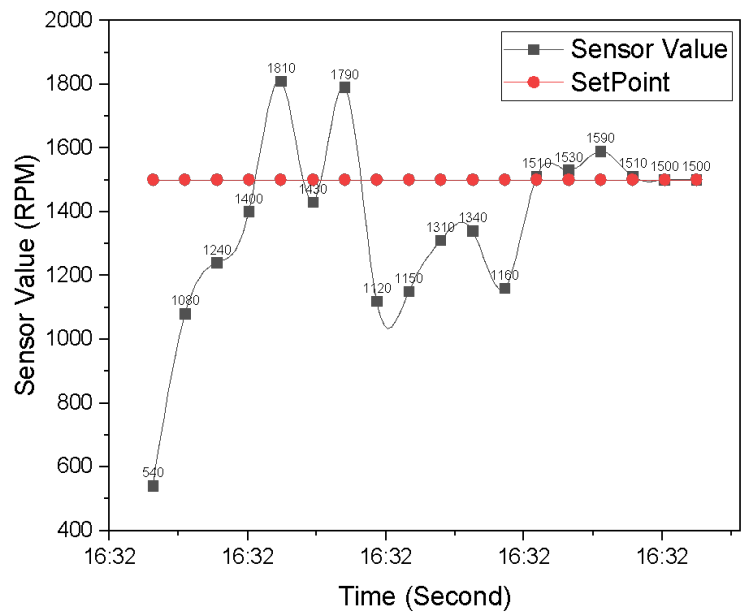
Diagram blok pada Gambar 2. mengilustrasikan rangkaian operasi dari sistem ini: dimulai dengan menetapkan nilai setpoint kecepatan putaran (RPM) sebagai titik acuan. Sensor RPM kemudian mengukur kecepatan aktual dari turbin, yang menjadi input bagi mikrokontroler ESP32. Melalui perbandingan antara setpoint dan input RPM, ESP32 menghasilkan sinyal kendali yang diteruskan kepada motor DC brushless sebagai perangkat aktuasi. Motor tersebut menggerakkan knob guide vane, yang mempengaruhi perubahan kecepatan putaran turbin. Selain itu, pengendalian guide vane juga memiliki opsi manual melalui knob. Dalam siklus umpan balik yang berkelanjutan, sistem terus memperbaiki perbedaan antara setpoint dan nilai aktual, yang berdampak besar pada peningkatan efisiensi dan performa keseluruhan pembangkit listrik mikro hidro..

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaturan Awal Parameter PID

Pada tahap awal pengujian, parameter PID (Proporsional, Integral, Derivatif) diset dengan nilai awal yang seragam: $K_p=5$, $K_i=0$, dan $K_d=0$ [8]. Selain itu, mode autotune pada sistem kendali dinonaktifkan (Off). Tujuan dari konfigurasi ini adalah untuk mengamati respons sistem dalam kondisi tanpa penyesuaian dan optimisasi parameter PID.

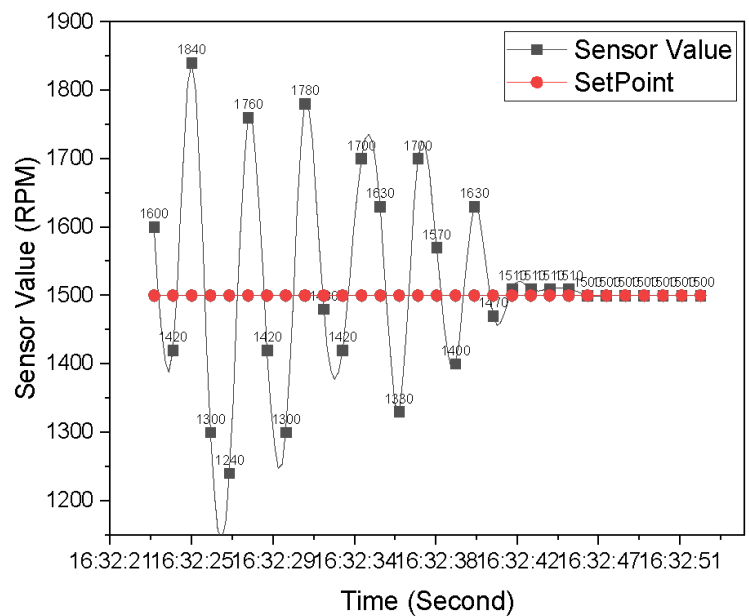
Dari gambar grafik 3, terlihat bahwa pada setiap iterasi, sistem mengalami perbedaan yang signifikan antara RPM aktual dan setpoint yang ditargetkan pada 1500 RPM. Pengaturan awal parameter PID tidak menghasilkan respons yang optimal dalam mengurangi kesalahan antara RPM aktual dan setpoint yang diinginkan. Respons sistem terhadap perubahan setpoint cenderung lambat, dan tidak ada penanganan yang efektif terhadap osilasi yang muncul.



Gambar 3. Grafik pengujian parameter PID tanpa Autotune

Pengujian Autotune

Pada Gambar 4. terlihat pemaparan mengenai tahap awal AutoTuning yang dimulai dengan parameter PID awal ($K_p=5$, $K_i=0$, $K_d=0$) pada setpoint 1500 RPM. Saat percobaan dimulai, terlihat ketidakcocokan antara RPM aktual dan target setpoint, sehingga sistem berupaya mengoreksi perbedaan tersebut melalui penyesuaian parameter PID.

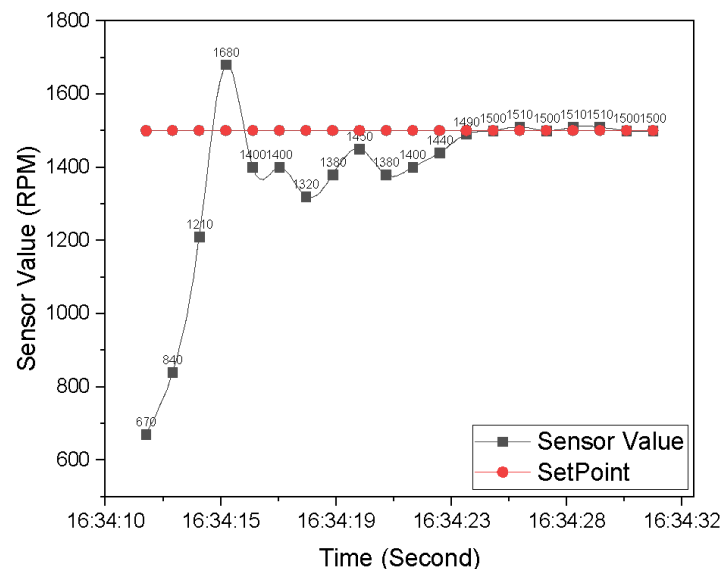


Gambar 4. Grafik Pengujian Parameter PID dengan Autotune

Pada awal iterasi, dengan penerapan parameter PID awal, sistem berusaha untuk mendekati target 1500 RPM. Namun, respons awal masih belum optimal, dengan RPM yang mengalami fluktuasi di sekitar setpoint tersebut. Kemudian, algoritma AutoTuning mulai beraksi untuk mengoptimalkan parameter PID secara otomatis.

Pada iterasi ketiga, algoritma AutoTuning telah merubah parameter PID menjadi $K_p=5.88$, $K_i=0.8$, dan $K_d=4.7$. Perubahan ini memunculkan respons yang lebih memuaskan, dengan osilasi yang lebih terkendali. Namun, respons tersebut belum sepenuhnya stabil. Selanjutnya, pada iterasi ke-6 dan ke-7, algoritma AutoTuning terus mengoptimalkan parameter PID menjadi $K_p=8.54$, $K_i=2.94$, dan $K_d=9.36$. Dampak dari perubahan tersebut adalah respons sistem yang semakin stabil dan mendekati target, dengan osilasi yang berkurang. Proses AutoTuning tetap berlanjut pada iterasi ke-9 dan ke-10, di mana parameter PID diubah menjadi $K_p=11.2$, $K_i=5.6$, dan $K_d=14$. Respons sistem terus mengarah ke target dan osilasi makin berkurang. Melalui beberapa iterasi berikutnya, parameter PID terus diperbarui oleh algoritma AutoTuning. Dapat dilihat bahwa parameter K_p , K_i , dan K_d secara perlahan mendekati nilai optimal, menghasilkan respons yang lebih stabil dan mendekati setpoint 1500 RPM. Dengan berakhirnya serangkaian iterasi, parameter PID akhirnya mencapai nilai $K_p=13.2$, $K_i=6.6$, dan $K_d=26.4$. Sebagai hasil dari proses AutoTuning, sistem menunjukkan respons yang stabil dan mendekati target 1500 RPM, dengan osilasi yang terkendali.

Pengujian pada setpoint 1500



Gambar 5. Grafik Pengujian Parameter PID pada Setpoint 1500

Pada Gambar 5. menggambarkan pengujian dengan Setpoint 1500, terlihat pola respons RPM terhadap waktu yang mencerminkan upaya sistem kendali dalam mencapai nilai Setpoint yang telah ditetapkan. Respons awalnya perlahan meningkat seiring berjalannya waktu, menunjukkan adaptasi sistem untuk mencapai nilai Setpoint tersebut. Setelah mencapai target, respons RPM tampak mengalami fluktuasi yang terkendali di sekitar nilai Setpoint, dengan osilasi yang terjaga dalam batas yang wajar. Secara keseluruhan, grafik ini mengindikasikan bahwa sistem yang telah diatur dengan parameter PID hasil dari proses AutoTuning mampu mencapai nilai Setpoint secara efisien dan mampu mempertahankannya dengan fluktuasi yang minimal.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis pengujian dan proses AutoTuning pada sistem pengendalian, dapat disimpulkan bahwa penerapan parameter PID yang dihasilkan dari proses AutoTuning secara signifikan meningkatkan kinerja sistem. Pengaturan awal parameter PID tidak memberikan respons optimal terhadap perbedaan RPM aktual dan setpoint. Namun, melalui proses AutoTuning, parameter PID diperbarui hingga mencapai nilai optimal ($K_p=13.2$, $K_i=6.6$, dan $K_d=26.4$). Ini menghasilkan respons yang stabil dan mendekati setpoint 1500 RPM, dengan fluktuasi yang terkendali. Grafik pengujian juga mengindikasikan bahwa sistem dapat mencapai setpoint dengan efisien dan menjaga respons yang stabil. Dengan demikian, konfigurasi pengendalian dengan parameter PID hasil AutoTuning ini memiliki potensi dalam meningkatkan efisiensi dan performa pembangkit listrik mikro hidro serta aplikasi serupa yang memerlukan pengendalian yang akurat dan respons cepat.

REFERENSI

1. I. Isnugroho, "Micro Hydro Water Pump, an Alternative to Overcome the Energy Crisis," 2012.
2. A. Taufiqurrahman and J. Windarta, "Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia," *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 124–132, 2020.
3. A. B. Culaba and I. A. V Marfori, "Micro-hydro power system," *Sustainable Energy Solutions for Remote Areas in the Tropics*, pp. 109–145, 2020.
4. Z. Lubis, "RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI ARAH ALIRAN AIR (GUIDE VANE) PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO," 2018.
5. H. M. Saputra, T. A. Pambudi, and D. G. Subagjo, "Rancang Bangun Umpan Balik Eksternal Untuk Kendali Sudut Motor Servo Berbasis Arduino," *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, vol. 6, no. 2, pp. 43–48, 2016.
6. F. M. Wildan, E. A. Hakim, and D. Suhardi, "Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Genetic Algorithm," *KINETIK*, vol. 1, no. 1, pp. 23–32, 2016.
7. D. Irawan and P. P. SS, "Kontrol motor brushless dc (bldc) berbasis algoritma ai-pid," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, vol. 2, no. 1, pp. 41–48, 2020.
8. F. Dzaky Rizulloh, "Desain dan Implementasi Kontrol PID pada Level Ketinggian Air Tanaman Hidroponik Bayam," Thesis, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, 2023. Accessed: Aug. 15, 2023. [Online]. Available: <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/10223>