

Perancangan Pengendali Feed Flowrate Produksi Gas Hidrogen Berbasis IoT

Alifiyah Shaffa Nabilah^{1*}, Astrie Kusuma Dewi¹

¹ Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Jl. Sorogo No.38 Cepu – Blora – Jawa Tengah, 58311, INDONESIA

*Corresponding Author: shaffaalifiyah@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.53026/inhardware.v3i1.68>

Article Info

Received: 11st June 2025

Accepted: 28th June 2025

Available online: 30th June 2025

Keywords

Hydrogen, Ziegler-Nichols, Feed flow, IoT, Blynk

Abstrak

Aliran fluida dalam proses produksi hidrogen merupakan aspek krusial yang berpotensi menyebabkan lonjakan suhu yang signifikan selama proses berlangsung, sehingga pengendalian flow yang akurat menjadi sangat penting. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem pengendalian aliran terhadap produksi hidrogen secara efektif. Sistem yang dikembangkan terdiri dari berbagai komponen utama, antara lain pompa, baterai, servo valve DN 25, relay, sensor flow meter, sensor ultrasonik, buck converter, dan mikrokontroler ESP32, yang dirakit menjadi sebuah prototipe. Pemantauan dan pengendalian sistem dilakukan melalui aplikasi Blynk, yang memungkinkan pengguna untuk memantau data secara real-time serta melakukan penyesuaian langsung terhadap parameter pengendali PID. Kontrol PI dengan metode tuning Ziegler-Nichols didapatkan parameter PID optimal, yaitu $K_p = 1,35$ dan $T_i = 6,67$. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang mampu mengendalikan aliran masukan dengan presisi tinggi, sehingga mendukung kelangsungan proses produksi hidrogen secara berkelanjutan dan efisien.

Abstract

Flow fluid in hydrogen production processes is a crucial aspect, it has potential to cause significant temperature spikes during operation, making accurate flow regulation essential. This study aims to design and test an effective flow control system for hydrogen production. The developed system comprises several key components, including a pump, battery, DN 25 servo valve, relay, flow meter sensor, ultrasonic sensor, buck converter, and an ESP32 microcontroller, all integrated into a prototype. Monitoring and control are carried out via the Blynk application, which allows users to monitor data in real-time and directly adjust PID control parameter. The PI controller with the Ziegler-Nichols tuning method produced the optimal PID parameters were determined to be $K_p = 1.35$ and $T_i = 6.67$. These results indicate that the designed system can precisely control the input flow, thereby supporting a sustainable and efficient hydrogen production process

This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license.



1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi global yang terus meningkat membawa dampak signifikan terhadap peningkatan kebutuhan energi, terutama energi yang bersumber dari bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam merupakan sumber energi utama yang hingga saat ini masih mendominasi pemenuhan kebutuhan energi dunia. Namun, sumber energi ini bersifat tidak terbarukan, sehingga ketersediaannya di alam mengalami penurunan yang cukup signifikan seiring waktu [1]. Kondisi ini menimbulkan kekhawatiran terhadap keberlanjutan pasokan energi di masa depan, khususnya di negara-negara berkembang yang mengalami pertumbuhan penduduk dan industrialisasi secara simultan.

Di Indonesia, konsumsi minyak bumi mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor dan aktivitas industri. Hal ini menyebabkan ketergantungan tinggi terhadap minyak bumi, baik sebagai sumber energi maupun bahan baku industri [2]. Padahal, keberlanjutan pasokan minyak bumi sangat rentan terhadap fluktuasi pasar global dan krisis energi. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi strategis dalam bentuk energi alternatif yang tidak hanya dapat menggantikan peran bahan bakar fosil, tetapi juga bersifat ramah lingkungan.

Salah satu kandidat energi alternatif yang sedang banyak dikaji adalah hidrogen. Hidrogen memiliki beberapa keunggulan, antara lain nilai kalor pembakaran yang tinggi, tidak menghasilkan emisi karbon, serta ketersediaannya yang melimpah dalam bentuk senyawa seperti air dan hidrokarbon [3]. Namun demikian, hidrogen tidak ditemukan secara bebas di alam dan harus diproduksi melalui proses kimia, salah satunya adalah elektrolisis air [4]. Proses elektrolisis air menggunakan aliran listrik untuk memisahkan molekul air (H_2O) menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2), dan dapat dilakukan dengan memanfaatkan air laut sebagai bahan baku, mengingat ketersediaannya yang sangat melimpah di wilayah maritim seperti Indonesia.

Efisiensi proses elektrolisis dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis elektroda, konsentrasi elektrolit, suhu, tekanan, dan laju aliran air [5]. Selain itu, dalam mendukung keberlanjutan sistem produksi hidrogen, diperlukan pula teknologi pengelolaan air yang efisien. Integrasi teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem pengukuran dan pengendalian aliran air dapat meningkatkan akurasi dan otomatisasi proses, sekaligus menjaga kestabilan parameter operasi elektroliser [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis dan pengembangan sistem produksi hidrogen melalui proses elektrolisis air laut, dengan memperhatikan pengaruh laju aliran air terhadap efisiensi elektrolisis. Penelitian ini juga mencakup perancangan sistem pengelolaan air berbasis IoT yang terintegrasi dengan sensor dan kontroler otomatis untuk mendukung proses produksi energi terbarukan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. METODA

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan metode uji prototipe, serta dilengkapi dengan perhitungan teknis untuk mendukung analisis sistem. Metode prototyping digunakan dalam perancangan dan pengujian sistem pengendalian aliran feed pada proses produksi gas hidrogen berbasis Internet of Things (IoT).

Alat dan Bahan

Penelitian ini merancang sistem pengendalian aliran feed flowrate pada produksi gas hidrogen berbasis mikrokontroler dengan fitur kendali jarak jauh melalui Internet of Things (IoT). Tujuannya adalah memastikan aliran gas dapat dikendalikan secara akurat dan real-time, baik secara lokal maupun remote. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kontrol, sensor flow meter untuk mengukur laju aliran, servo valve untuk mengatur bukaan aliran, serta sensor gas MQ-8 untuk keamanan. Pompa 12VDC mengalirkan gas, didukung oleh buck converter, relay, dan baterai sebagai sumber daya. Seluruh komponen bekerja secara otomatis dan terhubung melalui jaringan Wi-Fi, membentuk sistem yang presisi dan mudah diakses dari jarak jauh.

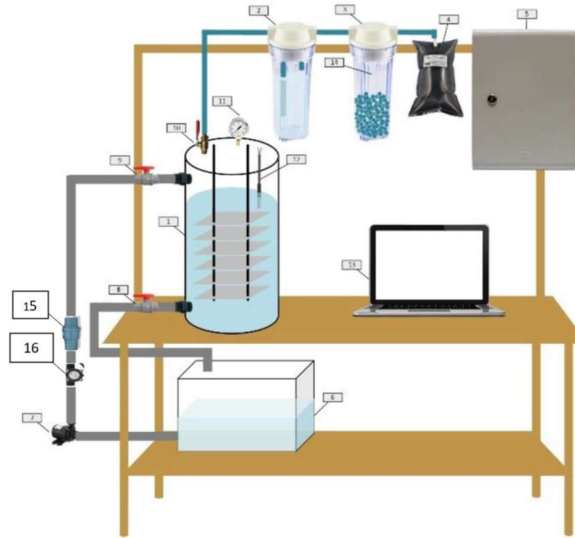
Tabel 1. Komponen Pengendali Aliran

No	Nama Komponen	Fungsi
1.	Microcontroller	Kontroller
2.	Sensor Aliran	Pengukur Aliran
3.	Servo Valve	Pengatur Aliran
4.	Relay	Pengatur Arus Listrik
5.	Battery	Penyedia Daya

Desain dan Konstruksi

Berikut adalah rancangan prototype secara hardware dan perancangan HMI dengan menggunakan web server. Dimana terdapat 2 tanki yaitu tanki storage digunakan sebagai input dan yang kedua tanki untuk proses

water elektrolisis. Pada pengendalian ini menggunakan sensor flow meter yang digunakan untuk mengontrol aliran yang masuk pada proses water elektrolisis. Sedangkan untuk final element menggunakan servo valve. Kemudian terdapat pompa DC yang digunakan untuk memompa air dari tank storage menuju ke proses water elektrolisis. Untuk perancangan HMI akan menampilkan grafik PV, MV, SV, parameter PID, status pompa dan dapat juga di setting pada web server.



Gambar 1. Desain Prototype

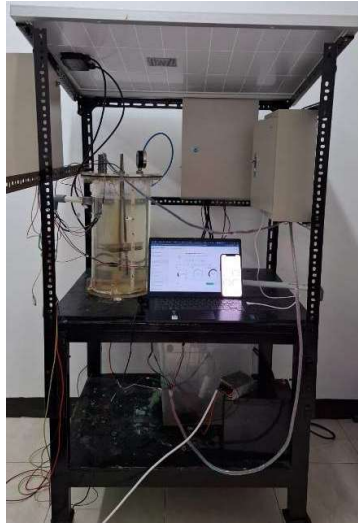
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap implementasi, sistem diuji dengan merakit dan mengoperasikan komponen utama. Larutan elektrolit dipompa ke tangki penampung dengan alirannya dikendalikan oleh sensor flow meter dan aktuator servo. Setelah volume larutan mencapai batas yang ditentukan, proses elektrolisis dimulai dengan mengalirkan arus dan tegangan ke elektroda stainless steel dalam reaktor. Reaksi elektrokimia yang terjadi menghasilkan gas yang dideteksi oleh sensor gas, sementara sensor suhu digunakan untuk memantau perubahan temperatur selama proses berlangsung.



Gambar 2. Desain Tabung

Purwarupa reaktor dirancang berbentuk tabung tertutup rapat dengan flange untuk menjaga kedap udara. Pelat stainless steel disusun vertikal, dengan mur dan ring nylon digunakan untuk mencegah hubungan arus pendek.



Gambar 3. Implementasi Prototype

Pada perancangan ini digunakan reaktor berbahan akrilik yang di dalamnya berisi enam buah pelat stainless steel yang dipasang secara vertikal. Reaktor tersebut diisi dengan larutan elektrolit HCL sebagai media untuk proses elektrolisis. Untuk keluaran gas hasil reaksi, disediakan lubang berukuran 1/2 inci. yang terhubung ke saluran gas dan selanjutnya diarahkan menuju steam trapper. Kemudian untuk feed flow sebelum ke bak penampung ini dibaca dan ditampilkan dan monitoring pada aplikasi Blyn.

Tuning PID Controller menggunakan metode Ziegler-Nichols

Penulis menggunakan metode Ziegler-Nichols pertama untuk melakukan tuning parameter PID dengan menentukan nilai K_p , T_i , dan T_d . Proses dilakukan melalui uji tiga jenis kontroler: P, PI, dan PID. Berdasarkan respons sistem yang membentuk kurva S, parameter waktu tunda (L) dan konstanta waktu (T) dihitung dari garis singgung sebagai dasar tuning

Parameter yang dihasilkan berdasarkan grafik kurva respon gambar 4. adalah sebagai berikut:

$$T = T = 3 \quad (1)$$

$$L = L = 2 \quad (2)$$

Untuk pertama, nilai dari T dan L akan disubstitusikan kedalam formula aturan penalaan. Berikut untuk mendapatkan nilai P (proportional):

$$K_p = T/L \quad (3)$$

$$K_p = 3/2 \quad (4)$$

$$K_p = 1,5 \quad (5)$$

Jenis kontroler P tidak diterapkan pada prototipe karena respon akan selalu menghasilkan steady state error. Kedua, nilai dari T dan L akan disubstitusikan kedalam formula aturan penalaan. Berikut untuk mendapatkan nilai PI:

$$K_p = 0,9 T/L = 0,9 \times 3/2 = 1,35 \quad (6)$$

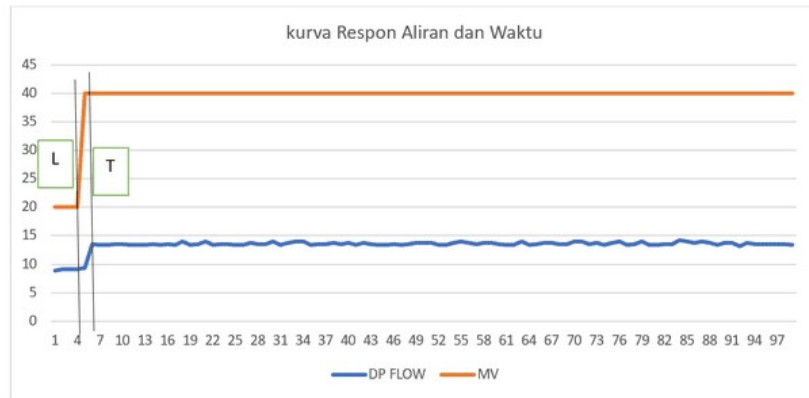
$$T_i = L/0,3 = 2/0,3 = 6,67 \quad (7)$$

Ketiga, nilai dari T dan L akan disubstitusikan kedalam formula aturan penalaan. Berikut untuk mendapatkan nilai PID:

$$K_p = 1,2 T/L = 1,2 \times 3/2 = 1,8 \quad (8)$$

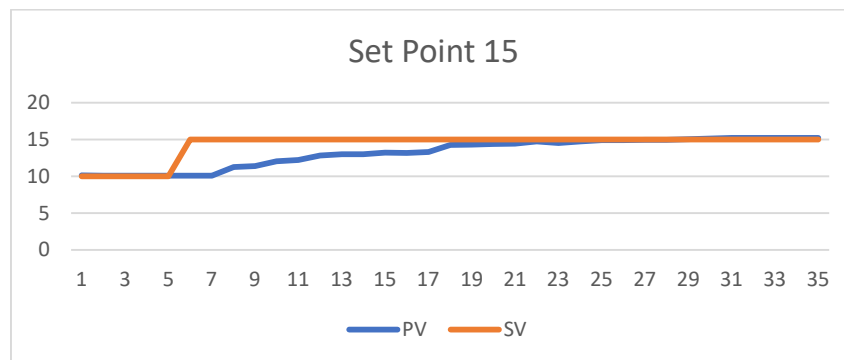
$$T_i = 2L = 2 \times 2 = 4 \quad (9)$$

$$T_d = 0,5 L = 0,5 \times 1 = 1 \quad (10)$$



Gambar 4. Kurva respon aliran

Tuning controller menggunakan PI dengan metode Ziegler-Nichols. Dengan nilai K_p 1,35 dan K_i 6,67 dan diambil dengan nilai set point 15.



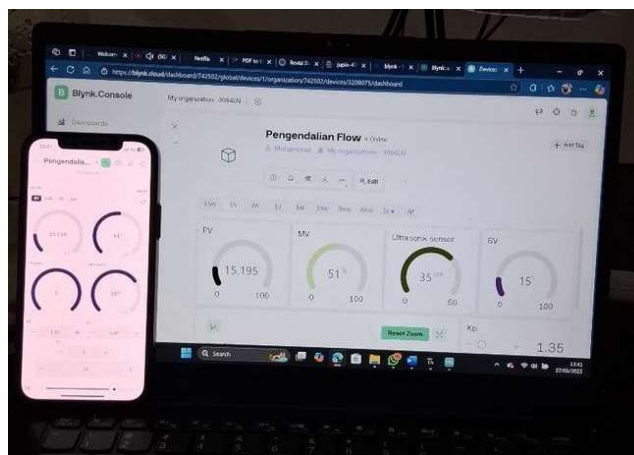
Gambar 5 Grafik kurva respon set point 15

Pada Gambar 5, sistem merespons perubahan set point dari 10 ke 15 dan mencapai kestabilan dalam 24 detik. Gangguan isolasi terjadi pada detik ke-22 hingga 25, menyebabkan fluktuasi sementara. Namun, sistem tetap stabil tanpa penyimpangan signifikan dari set point.

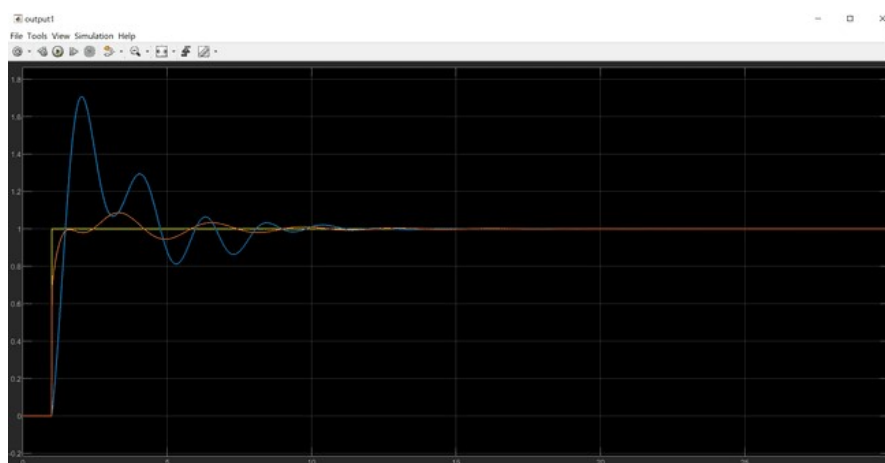
Berdasarkan data yang telah diperoleh, diketahui bahwa ketika nilai set point ditetapkan sebesar 15, sistem memberikan respons dengan menghasilkan nilai proses variabel (PV) sebesar 15,19. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai PV sedikit melebihi nilai set point yang diinginkan, dengan selisih sebesar 0,19. Meskipun terdapat sedikit deviasi, perbedaan ini masih tergolong kecil dan menunjukkan bahwa sistem mampu merespons perintah dengan cukup baik dan akurat.

Simulasi Matlab

Simulasi PID dengan parameter $K_p=1,8$, $K_i=4$, dan $T_d=1$ menghasilkan overshoot yang cukup besar dan osilasi sebelum sistem mencapai keadaan stabil. Hal ini terjadi karena nilai K_p dan T_d yang relatif tinggi membuat sistem merespons dengan cepat namun kurang teredam, sehingga karakteristik sistem menjadi underdamped. Meskipun demikian, sistem tetap stabil karena output akhirnya konvergen ke nilai steady-state. Peran integrator K_i sebesar 4 sangat penting untuk menghilangkan error steady-state, sehingga meskipun terdapat osilasi, sistem mampu mencapai hasil yang akurat pada akhirnya.



Gambar 6. Tampilan HMI menggunakan Aplikasi Blynk



Gambar 1 Kurva respon Simulasi Simulink

Tabel 2. Performa Respon

Performa Respon Kurva	Waktu
τ (time constant)	10 detik
τ_s (settling time)	18 detik
τ_R (rise time)	16 detik

Percobaan produksi hidrogen menggunakan larutan HCl 0,5 M sebanyak 234 gram (sekitar 10,6 mL) dengan sistem kontrol PI diuji untuk mencapai set point aliran fluida air 20 liter/menit. Performa sistem dievaluasi melalui parameter rise time sebesar 16 s, time constant sebesar 10s, dan settling time 18s. Sensor flow YS-201 mengukur aliran hidrogen yang kemudian dikendalikan menggunakan PID dengan tuning Ziegler-Nichols. Hasil menunjukkan sistem mampu mengikuti set point dengan akurat tanpa overshoot atau offset, serta memiliki respon lebih cepat dan stabil dibanding desain PI sebelumnya. Parameter PID yang digunakan ($K_p=1,35$; $T_i=6,67$; $T_d=0$) efektif mengatur aliran menuju tangki penampung, menjaga kestabilan PV meskipun terjadi gangguan.

4. KESIMPULAN

Sistem pengendalian aliran produksi hidrogen telah berhasil dirancang dan dirakit menggunakan berbagai komponen utama seperti pompa, baterai, servo DN 25, relay, sensor flow meter, sensor ultrasonik, buck converter, serta mikrokontroler ESP32. Sistem ini terintegrasi secara menyeluruh dan mendukung pengendalian aliran secara efektif. Pemantauan dan pengaturan sistem dilakukan melalui perangkat lunak Blynk yang terhubung

dengan mikrokontroler ESP32, memungkinkan pengguna memantau data secara real-time serta mengatur parameter PID secara langsung melalui aplikasi. Hasil pengujian pada prototipe menunjukkan bahwa penggunaan kontroler PI dengan metode tuning Ziegler-Nichols, yaitu $K_p = 1,35$ dan $K_i = 6,67$, mampu menghasilkan respons sistem yang stabil, halus, tanpa overshoot, dan menjaga kestabilan process variable tepat pada nilai set point. Dengan demikian, sistem pengendalian ini memenuhi kriteria kinerja yang diharapkan untuk aplikasi pengaturan aliran hidrogen secara akurat dan efisien

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Siregar, K. Umurani, and W. S. Damanik, "Pengaruh Jenis Katoda Terhadap Gas Hidrogen Yang Dihasilkan Dari Proses Elektrolisis Air Garam," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 2, pp. 57–65, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21i2.10386.
- [2] R. F. Iskandar, "Pada Pem Fuel Cell (Design of Brush Dc Motor ' S Speed Controller Using Pid Method With Adjusted Hydrogen Feed on the Pem Fuel Cell)," vol. 2, no. 1, pp. 555–562, 2015.
- [3] I. Nurlatifah and L. Arlianti, "Artikel Review: Produksi Gas Hidrogen dari Reaksi Elektrolisis Sebagai Bahan Bakar Non-Fosil," *Unistek*, vol. 8, no. 1, pp. 30–35, 2021, doi: 10.33592/unistek.v8i1.1206.
- [4] D. Fahreza, D. Kurniawati, N. Subeki, and K. Person, "Analisis Produksi Gas Hidrogen Dan Gas Oksigen Dalam Proses Elektrolisis," *Pros. SENTRA (Seminar Teknol. dan Rekayasa)*, vol. 0, no. 4, pp. 50–54, 2019, [Online]. Available: <http://research-report.umm.ac.id/index.php/sentra/article/view/2270>
- [5] M. Diah Ika Putri, A. Ma'arif, and R. Dwi Puriyanto, "Pengendali Kecepatan Sudut Motor DC Menggunakan Kontrol PID dan Tuning Ziegler Nichols," *Techno (Jurnal Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Purwokerto)*, vol. 23, no. 1, 2022, doi: 10.30595/techno.v23i1.10773.
- [6] L. A. Pratita, S. Nurcahyo, and H. K. Safitri, "Sistem Monitoring dan Kontrol Level Air pada Pengelolaan Sumber Daya Air Menggunakan Kontrol PID," vol. 3, no. 3, pp. 132–141, 2024.