



Rancang Bangun Sistem Kontrol Unit Penjerapan CO₂ Sample Flue Gas Boiler dengan NaOH Berbasis Arduino

Hadekha Erfadila Fitra^{1*}, Yuli Mafendro Dedet¹, dan Ahmad Fadhil Reviansyah²

¹Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²PT Badak NGL, Bontang Kalimantan Timur, 75324

Abstrak

Berdasarkan dokumen Indonesia Energy Outlook 2019 [1], rata-rata peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia akan meningkat setiap tahunnya. Teknologi penyerapan CO₂ dalam NaOH merupakan reaksi yang cenderung dipilih karena laju reaksi dan kapasitas absorpsi yang dimiliki tinggi. CO₂ yang bereaksi dengan larutan NaOH dapat membentuk produk Na₂CO₃ yang memiliki banyak fungsi dalam industri [2]. Pada tugas akhir ini dibuat rancangan sistem kontrol berbasis arduino untuk kontrol sekuensial penyerapan CO₂ yang berasal dari sample gas boiler menggunakan NaOH untuk menghasilkan Na₂CO₃ dengan proses batch, kendali temperatur tangki NaOH dan evaporator dengan kontrol PID.. Hasilnya adalah alat dapat menghasilkan Na₂CO₃ rata-rata 15 gram setiap 50 Liter sample gas boiler atau yield 96.9 persen

Kata-kata kunci: Emisi CO₂, Flue Gas Boiler, Natrium Karbonat, Kontrol, Arduino, PID

Abstract

According to Indonesia Energy Outlook 2019 the average increase in greenhouse gas emission in Indonesia will increase every year. The CO₂ scrubbing technique with caustic soda tends to be chosen because of high reaction rate and absorption capacity. CO₂ will react with caustic soda to form Na₂CO₃ which is very useful in industry. In this final project, an Arduino-based control system is designed for sequential control of CO₂ absorption from a gas boiler sample using NaOH to produce Na₂CO₃ with a batch process, NaOH tank temperature control and evaporator with PID control.. The result is that the tool can produce an average of 15 grams of Na₂CO₃ for every 50 liters of boiler gas sample or a yield of 96.9 percent.

Keywords: CO₂ Emission, Flue Gas Boiler, Caustic Soda, Control, Arduino, PID

*corresponding author email address : hdkef11@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan dokumen Indonesia Energy Outlook 2019, rata-rata peningkatan emisi gas rumah kaca di Indonesia akan meningkat setiap tahunnya sebesar 3,9% dengan proyeksi total emisi pada tahun 2030 akan meningkat menjadi 912 juta ton CO₂ equivalent [1]. Terdapat beberapa upaya yang telah dilakukan oleh pemerintah dunia serta Indonesia dalam mengurangi emisi gas CO₂ yang dihasilkan, salah satunya adalah pemberlakuan *carbon tax* pada April 2022 [3]. Banyak perusahaan berlomba mencapai *net zero emission* [4]. Boiler merupakan salah satu sumber emisi CO₂ dari proses pembakaran bahan bakar. Emisi ini cenderung dilepaskan begitu saja ke udara tanpa dimanfaatkan. Terdapat berbagai upaya pengurangan emisi karbon dioksida, misalnya *enhanced geothermal system*, *carbon capture utilization*, dan *carbon capture and storage* [5]. *Carbon Capture Utilization* yang menggunakan teknologi penyerapan CO₂ dalam NaOH dipilih karena laju reaksi dan kapasitas absorpsi yang dimiliki tinggi, serta NaOH yang lebih berlimpah, murah dan dikenal oleh masyarakat [2]. Selain itu, CO₂ yang bereaksi dengan larutan NaOH dapat membentuk produk Na₂CO₃ yang memiliki banyak fungsi dalam industri. Natrium karbonat adalah bahan kimia yang digunakan di beberapa cabang industri, termasuk industri kaca, deterjen, industri metalurgi, dan industri kimia. Berdasarkan buku *Control System Engineering*, Norman Nise menulis bahwa sistem kontrol memiliki beberapa tujuan, salah satunya *convenience of input form* dan *disturbances compensation*. [6]. Sehingga diterapkanlah sistem kontrol agar memudahkan pengguna dan mampu menstabilkan proses yang terjadi dari gangguan-gangguan luar sistem.

Tujuan dari tugas akhir ini adalah

1. Merancang sistem kendali sequensial penjerapan CO₂ dengan NaOH untuk mendapatkan produk Na₂CO₃
2. Mengidentifikasi sistem dan menguji respon suhu PID evaporator

2. METODE PENELITIAN

Perancangan Sistem Kontrol Sekuensial

Komponen

- **Arduino**

Merupakan komponen mikrokontroler yang memproses input untuk menghasilkan output yang sesuai logic

- **Relay**

Merupakan komponen yang bertindak sebagai *switch* dengan input sinyal level rendah dari kontroler untuk solenoid

- **Solenoid**

Berfungsi mengatur buka/tutup aliran larutan NaOH dari tangki ke reaktor dan fluida sample gas boiler dari kompressor ke reaktor

- **Level Switch**

Terdapat 2 level switch pada reaktor, berfungsi untuk indikator tinggi larutan tinggi sekali (LSH) atau tinggi larutan terlalu rendah (LSL). *Scrubbing* berjalan jika minimal larutan telah melewati LSL dan *filling* larutan NaOH akan berhenti apabila tinggi larutan di reaktor melebihi LSH.

Penjelasan Kontrol Sekuensial

Pertama-tama pengguna akan menekan tombol push button dan menahan dalam posisi tekan selama 0.5 detik. Hal ini untuk *debouncing*, yaitu suatu tindakan untuk menghindari fenomena *switch bouncing* yang disebabkan oleh kedua kontak yang bergerak dan menutup beberapa kali sebelum menutup atau membuka sepenuhnya, [7] sekaligus menghindari skenario dimana noise yang tidak diinginkan terjadi dan memberikan input ke arduino HIGH, sebelum kembali ke LOW pada loop selanjutnya. Jika tanpa mekanisme tekan dan tahan selama 0.5 detik, maka skenario tersebut akan dianggap sah oleh arduino sehingga arduino menjalankan program. Namun, dengan mekanisme tekan dan tahan selama 0.5 detik, maka skenario sebelumnya tidak dianggap sah karena perlu kondisi HIGH yang ditahan selama setidaknya 0.5 detik. Selain itu, mekanisme tekan dan tahan adalah untuk *debouncing*. Apabila tidak menggunakan mekanisme tekan dan tahan, maka ketika push button ditekan dan dilepas, hal yang sebenarnya terjadi adalah sinyal input terjadi *bouncing*, yaitu nilai input berubah-ubah selama beberapa kali (antara HIGH dan LOW), efek ini dinamakan *chattering* dan mengakibatkan sinyal input akan dibaca oleh arduino seakan akan tombol ditekan beberapa kali. Namun, apabila terdapat mekanisme tekan dan tahan, maka perubahan nilai sinyal input tidak akan dianggap oleh arduino dan tidak akan ada input yang terbaca ganda atau beberapa kali. Setelah arduino menerima input bahwa tombol fill telah

ditekan, maka arduino membuka solenoid NaOH sekaligus memulai timer. Kemudian, terdapat 3 kondisi dimana solenoid NaOH akan ditutup sehingga proses filling selesai. Pertama, apabila kontak switch LSH membuka, maka posisi cairan NaOH berada di atas switch LSH. Kedua, apabila timer telah selesai dan terakhir apabila push button STOP ditekan dimana arduino akan menjalankan kode interrupt untuk menutup solenoid NaOH. Kemudian pengguna akan menekan tombol scrub dan menahannya selama 0.5 detik. Setelah itu, arduino akan membaca input dari switch LSL, apabila kontak LSL terbuka, maka cairan NaOH di bawah kontak LSL, sehingga arduino tidak melanjutkan kode selanjutnya karena kurang cairan NaOH. Jika sebaliknya, maka solenoid CO₂ akan membuka dan timer akan dimulai. Solenoid CO₂, akan ditutup pada 2 kondisi, yaitu apabila timer telah selesai dan apabila tombol STOP ditekan.

Pengujian Kontrol Sekuensial

Perancangan Sistem Kontrol Suhu Tangki NaOH

Komponen

- **Elemen Pemanas**

Berfungsi mengubah energi listrik menjadi panas sehingga mampu meningkatkan suhu tangki

- **RTD Sensor**

Berfungsi sebagai *transducer* yang mampu mengubah input suhu tangki menjadi resistensi. Sensor RTD dipilih karena memiliki akurasi tinggi dan linearitas yang baik dengan repeatabilitas jangka panjang yang baik. [8]

- **Temperatur Transmitter**

Berfungsi mengubah besaran *resistensi* dari RTD menjadi sinyal arus 420 mA

- **Arduino**

Merupakan komponen mikrokontroler yang memproses input untuk menghasilkan output yang sesuai logic

- **Toggle Switch**

Sebagai bentuk input untuk pengguna memulai kendali suhu tangki

- **Relay**

Merupakan komponen yang bertindak sebagai switch dengan input sinyal level rendah dari kontroler untuk pilot lamp

- **Pilot Lamp**

Merupakan lampu indikator apabila proses berjalan

- **AC Dimmer**

Komponen yang berfungsi mengendalikan tegangan sumber AC. Komponen ini terdiri dari TRIAC untuk mengontrol tegangan output sumber AC dan komponen pendeteksi *zero crossing* untuk mensinkronkan tegangan output yang akan diubah dengan tegangan sumber. [9]

- **LCD**

Menampilkan informasi suhu tangki

Penjelasan Sistem Kontrol Suhu Tangki NaOH

Pertama ketika saklar dinyalakan, arduino aktif dan menjalankan program evaporator. Analog input dari arduino akan membaca nilai analog 4-20 mA dari temperatur transmitter menjadi digital 0 - 1023. Range analog ini kemudian diubah ke dalam celcius sesuai dengan range pada temperatur transmitter, maka didapat pembacaan temperatur tangki evaporator dalam celcius. Nilai pembacaan kemudian dibandingkan dengan setpoint dan menghasilkan error. Error ini kemudian akan dibandingkan dengan set point dan apabila error bernilai lebih besar dari jangkauan deadband maksimal, maka AC Dimmer tidak akan memberikan output ke elemen pemanas sehingga tegangan pada elemen pemanas adalah 0 volt dan elemen pemanas akan berhenti melakukan transfer panas. Jika error bernilai lebih kecil dari jangkauan deadband minimal maka AC Dimmer akan memberikan output maksimal ke elemen pemanas sehingga elemen pemanas akan diberikan tegangan 220 VAC dan dapat melakukan transfer panas ke larutan NaOH.

Perancangan Sistem Kontrol Suhu Evaporator

Komponen

Komponen yang digunakan pada sistem kontrol suhu evaporator sama dengan komponen yang digunakan pada kontrol suhu tangki NaOH.

Penjelasan Kendali Suhu Evaporator

Pertama ketika saklar evaporator dinyalakan, arduino aktif dan menjalankan program evaporator. Analog input dari arduino akan membaca nilai analog 4-20 mA dari temperatur transmitter menjadi digital 0 - 1023. Range analog ini kemudian diubah ke dalam celcius sesuai dengan range pada temperatur transmitter, maka

didapat pembacaan temperatur tangki evaporator dalam celcius. Nilai pembacaan kemudian dibandingkan dengan setpoint dan menghasilkan error. Error ini kemudian akan diolah dengan konstanta gain proportional, integral dan derivative untuk dijadikan nilai variabel PID. Nilai PID ini kemudian menjadi pengurang bagi delay maksimal pada firing pin AC Dimmer. Ketika AC Dimmer memberikan informasi bahwa telah terjadi posisi zero, maka dilakukan delay dengan perhitungan delay maksimal dikurang PID.

AC Dimmer sendiri bekerja dengan memberikan interupsi ke arduino setiap posisi zero atau setiap perubahan tegangan positif ke tegangan negatif dan sebaliknya. Sehingga, pada program arduino terdapat 2 kondisi, yaitu CH1 ketika terjadi perubahan tegangan dari negatif ke positif dan CH2 ketika terjadi perubahan tegangan dari positif ke negatif agar posisi zero dapat dideteksi dengan benar.

Kemudian apabila error yang terjadi kurang lebih 2 derajat celcius maka dilakukan sampling sebanyak 5 kali. Ketika sampling lebih dari 5 kali, maka timer akan mulai menghitung mundur selama 10 menit. Setelah itu, apabila timer 10 menit telah selesai atau saklar dimatikan, kontrol PID akan dihentikan sehingga proses evaporasi berhenti.

Pengujian Black Box Testing

Pengujian rancangan sistem kendali akan mengikuti metode menyerupai *black box testing* yaitu suatu metode pengujian dengan cara penguji memberikan beberapa input dan mengamati hasil dari output yang diberikan dan membandingkannya dengan output yang diharapkan. [10]

Table 1 Black Box Testing Kontrol Sekuensial Reaktor

INPUT	EXPECTED OUTPUT
PB Fill ditekan	Relay solenoid NaOH energized selama beberapa waktu sebelum kembali posisi awal
PB Scrub ditekan	Relay solenoid CO2 energized selama beberapa waktu sebelum kembali posisi awal
PB Stop ditekan saat Solenoid CO2 dibuka	Relay solenoid CO2 deenergized
PB Stop ditekan saat Solenoid NaOH dibuka	Relay solenoid NaOH deenergized
kontak LSH ditutup saat Solenoid NaOH dibuka	Relay solenoid NaOH deenergized
kontak LSL dibuka lalu PB Scrub ditekan	Relay solenoid CO2 tidak akan energized

Table 2 Black Box Testing Kendali Suhu Evaporator

INPUT	EXPECTED OUTPUT
Membaca suhu ruangan	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
Membaca suhu air mendidih	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
AC Dimmer dihubungkan ke AC	zero cross terdeteksi
Memberikan output PWM 100 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 220 VAC, lampu terang
Memberikan output PWM 0 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu mati
Memberikan output PWM 50 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 110 VAC, lampu redup
Atur set point 60 derajat celcius	lampu terang penuh dan semakin redup jika suhu mendekati set point 40 dan mati apabila melebihi setpoint

Switch dimatikan	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu redup
Suhu +- 2 dari setpoint	Sample count bertambah
Sample count > 5	Timer mulai menghitung dan jika selesai output PWM 0 persen

Table 3 Black Box Testing Kendali Suhu Tangki NaOH

INPUT	EXPECTED OUTPUT
Membaca suhu ruangan	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
Membaca suhu air mendidih	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
AC Dimmer dihubungkan ke AC	zero cross terdeteksi
Memberikan output PWM 100 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 220 VAC, lampu terang
Memberikan output PWM 0 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu mati
Atur set point 60 derajat celcius	lampu terang penuh di bawah 60 derajat dan mati di atas 61 derajat
Switch dimatikan	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu redup

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Black Box Testing

Berikut adalah tabel hasil dari pengujian black box testing yang telah dilakukan ke rancangan sistem kontrol sekuensial, sistem kendali suhu evaporator dan sistem kendali suhu tangki NaOH.

Table 4 Hasil Black Box Testing Kendali Sekuensial

INPUT	EXPECTED OUTPUT	ACTUAL OUTPUT
PB Fill ditekan	Relay solenoid NaOH energized selama beberapa waktu sebelum kembali posisi awal	Relay solenoid NaOH energized selama beberapa waktu sebelum kembali posisi awal
PB Scrub ditekan	Relay solenoid CO2 energized selama beberapa waktu sebelum kembali posisi awal	Relay solenoid CO2 energized selama beberapa waktu sebelum kembali posisi awal
PB Stop ditekan saat Solenoid CO2 dibuka	Relay solenoid CO2 deenergized	Relay solenoid CO2 deenergized
PB Stop ditekan saat Solenoid NaOH dibuka	Relay solenoid NaOH deenergized	Relay solenoid NaOH deenergized
kontak LSH ditutup saat Solenoid NaOH dibuka	Relay solenoid NaOH deenergized	Relay solenoid NaOH deenergized
kontak LSL dibuka lalu PB Scrub ditekan	Relay solenoid CO2 tidak akan energized	Relay solenoid CO2 tidak akan energized

Table 5 Hasil Black Box Testing Kendali Suhu Tangki NaOH

INPUT	EXPECTED OUTPUT	ACTUAL OUTPUT
Membaca suhu ruangan	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
Membaca suhu air mendidih	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
AC Dimmer dihubungkan ke AC	zero cross terdeteksi	zero cross terdeteksi
Memberikan output PWM 100 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 220 VAC, lampu terang	tegangan output mendekati 220 VAC, lampu terang
INPUT	EXPECTED OUTPUT	ACTUAL OUTPUT
Memberikan output PWM 0 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu mati	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu mati
Atur set point 60 derajat celcius	lampu terang penuh di bawah 60 derajat dan lampu mati di atas 61 derajat celcius	lampu terang penuh di bawah 60 derajat dan lampu mati di atas 61 derajat celcius
Switch dimatikan	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu redup	tegangan output 0 - 10 mVAC, lampu redup

Table 6 Hasil Black Box Testing Kendali Suhu Evaporator

INPUT	EXPECTED OUTPUT	ACTUAL OUTPUT
Membaca suhu ruangan	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
Input	Expected Output	Actual Output
Membaca suhu air mendidih	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer	akurasi +- 2 derajat dengan digital termometer
AC Dimmer dihubungkan ke AC	zero cross terdeteksi	zero cross terdeteksi
Memberikan output PWM 100 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 220 VAC, lampu terang	tegangan output mendekati 220 VAC, lampu terang
Memberikan output PWM 0 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu mati	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu mati
Memberikan output PWM 50 persen duty cycle ke Dimmer	tegangan output mendekati 110 VAC, lampu redup	tegangan output mendekati 110 VAC, lampu redup
Atur set point 60 derajat celcius	lampu terang penuh dan semakin redup jika suhu mendekati set point 40 dan mati apabila melebihi setpoint	lampu terang penuh dan semakin redup jika suhu mendekati set point 40 dan mati apabila melebihi setpoint
Switch dimatikan	tegangan output mendekati 0 VAC, lampu redup	tegangan output 0 - 10 mVAC, lampu redup

Identifikasi Fungsi Alih Evaporator

Untuk mendapatkan fungsi alih secara open loop, diperlukan data-data pembacaan suhu dari RTD dan persentase output daya ke elemen pemanas tiap waktunya. Untuk melakukan record data tersebut maka diperlukan komunikasi antara arduino ke laptop secara serial menggunakan USB dan aplikasi microsoft excel

yang telah diinstall add ins bernama data streamer. Pengambilan data dilakukan dengan memberikan daya elemen pemanas sebesar 15 persen dari maksimal dan merecord pembacaan suhu selama 2.5 jam dengan sample time 1 detik. Setelah mendapatkan data, kemudian data tersebut di import ke aplikasi MATLAB dengan fungsi xlsread, setelah data diimport, maka dibuat 2 matriks bernama input yang merupakan nilai output yang diberikan ke elemen pemanas dan output yang merupakan pembacaan suhu.

Setelah itu dibuat variabel dengan jenis objek iddata dengan fungsi iddata(y,u,Ts) dimana y adalah output, u adalah input, dan Ts adalah waktu sampel (1 detik). Fungsi alih dapat diperkirakan dengan fungsi tfest(iddata,np,nz) dimana iddata adalah objek iddata yang telah dibuat, np adalah jumlah kutub pada fungsi alih, dan nz adalah jumlah zero pada fungsi alih. Fungsi alih dicari sedemikian rupa hingga fit to estimation data di atas 80 persen. Fungsi alih ditemukan dengan fit to estimation data sebesar 94 persen dan memiliki 2 kutub dan 2 zero.

```
From input "u1" to output "y1":
0.03293 (+/- 9.783e07) s^2 + 7.485e-05 (+/- 9.794e07) s + 5.405e-08 (+/- 8.737e-09)
-----
s^2 + 0.002123 (+/- 0.0002818) s + 5.47e-07 (+/- 6.783e-08)
```

Gambar 1 Fungsi Alih Evaporator

Tuning PID dan Hasil

Tuning PID menggunakan Simulink dengan rangkaian di bawah ini dan menggunakan fitur autotuning pada PID controller.



Gambar 2 Rangkaian Simulink

Setelah dilakukan autotuning dengan menggeserkan pengaturan pada slider faster / slower dan aggressive / robust maka didapat beberapa PID yang memiliki karakteristik sesuai yang diinginkan (overshoot kurang atau sekitar 2 persen) dan respon yang cukup cepat dan stabil. Berikut adalah beberapa nilai PID yang ditemukan.

No	Kp	Ki	Kd
1	0.0038	63.35	0
2	4.92	0.00000152	0
3	3.3398	0.004006	0
4	0.7398	0.08006	0.035

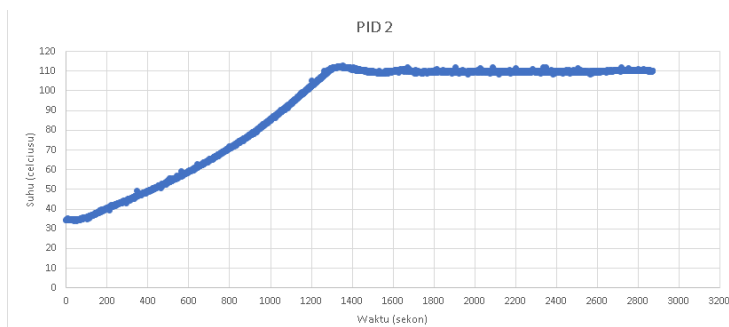
Tabel 1 Konstanta PID Autotuning

Berikut adalah grafik respon suhu 4 konstanta PID dari MATLAB autotuning diterapkan ke elemen pemanas evaporator dengan set point 110 derajat celcius. Hasilnya adalah konstanta PID ke 2 adalah yang terbaik karena memiliki overshoot dan waktu settling time paling rendah. Oleh karena itu, konstanta PID yang akan diterapkan ke sistem evaporator adalah Kp = 4.92, Ki = 0.00000152, Kd = 0.

No	Overshoot (persen)	Dead Time (s)	Rise Time (s)	Settling Time (s)

1	29.9	87	1869	> 3200
2	2.67	102	1286	1426
3	3.409	100	1273	1440
4	21.2	104	1258	2480

Tabel 2 Hasil Penerapan Autotuning



Gambar 3 Grafik Respon PID ke-2

Analisa Produk

Berdasarkan uji coba yang dilakukan menggunakan NaOH konsentrasi 15 M, suhu set point tangki NaOH 70 derajat celsius, suhu set point evaporator 110 derajat celsius dengan waktu 10 menit dan 50 L sampel gas boiler, didapat rata-rata produk Na₂CO₃ sebesar 15 gram atau yield sebesar 96.9 persen.

4. KESIMPULAN

1. Telah dibuat rancangan bangun kontrol penyerapan sample gas boiler dengan NaOH menggunakan arduino, solenoid, elemen pemanas, dan level switch dan telah diuji coba menggunakan NaOH konsentrasi 15 M, suhu set point tangki NaOH 70 derajat celsius, suhu set point evaporator 110 derajat dengan waktu 10 menit menghasilkan rata-rata produk Na₂CO₃ sebesar 15 gram per 50 liter sampel boiler
2. Telah diidentifikasi dan diuji sistem kendali suhu PID evaporator memiliki $K_p = 4.92$, $K_i = 0.00000152$, $K_d = 0$ dan menghasilkan respon dengan overshoot sebesar 2.67 persen, rise time 1286 detik dan settling time 1426 detik

REFERENSI

- [1] KESDM, Indonesia Energy Outlook 2019, JAKARTA: KESDM, 2019.
- [2] J. K. Stolaroff, "CORE UK," 2013. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/display/71291414>.
- [3] ESDM, "Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral," [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/carbon-tax-diterapkan-di-pembangkitan-per-1-april-2022>. [Accessed Agustus 2022].
- [4] G. Nurcahyadi, "Media Indonesia," 16 Desember 2021. [Online]. Available: <https://mediaindonesia.com/ekonomi/458405/pelaku-usaha-berkomitmen-bantu-pemerintah-capai-net-zero-emission>. [Accessed Agustus 2022].
- [5] K. A. d. A. Ahmad, "Energy Technology," US, 2017.
- [6] N. NS, Control System Engineering, US: Wiley, 2014.

- [7] P. Khatri, "Circuit Edges," Januari 2022. [Online]. Available: <https://circuitdigest.com/electronic-circuits/what-is-switch-bouncing-and-how-to-prevent-it-using-debounce-circuit>. [Accessed Agustus 2022].
- [8] O. Engineering, "Omega," 20 Desember 2021. [Online]. Available: <https://www.omega.com/en-us/resources/rtd-vs-thermocouple>. [Accessed Agustus 2022].
- [9] Xukyo, "Arana Corp," 19 April 2021. [Online]. Available: <https://www.aranacorp.com/en/using-an-ac-light-dimmer-with-arduino/>. [Accessed Agustus 2022].
- [10] P. Johnson, "Mend," 24 September 2020. [Online]. Available: <https://www.mend.io/resources/blog/black-box-testing/>.