



## IMPLEMENTASI CASCADE CONTROL PROSES BAHAN CAIR PADA MINI-PLANT MUTI-PRODUK MULTI-JALUR

Nadaval Hangga<sup>1</sup>, Muhammad Rifa'i<sup>2</sup>, Donny Radianto<sup>3</sup>  
e-mail: [nadavalhangga16@gmail.com](mailto:nadavalhangga16@gmail.com), [muh.rifai@polinema.ac.id](mailto:muh.rifai@polinema.ac.id),  
[donny.radianto@polinema.ac.id](mailto:donny.radianto@polinema.ac.id)

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang

### ABSTRAK

Mini-plant multi-produk multi-jalur adalah suatu mini-plant yang dapat memproses beberapa bahan cair menjadi beberapa produk. Mini-plant ini memiliki beberapa proses yaitu filling, mixing, dan cleaning. Seiring kemajuan teknologi terdapat beberapa kontrol yang dapat diterapkan di berbagai plant. DCS (Distribute Control System) adalah suatu pengembangan sistem kontrol dengan menggunakan komputer dan alat elektronik lainnya agar didapat suatu pengontrol loop sistem lebih terpadu dan dapat dilakukan oleh semua orang dengan cepat dan mudah. Kontrol ini menggunakan komunikasi PROFINET dengan menggunakan SIMATIC PCS7 S7-400 serta I/O ET200SP. mini-plant ini diprogram menggunakan CFC (Continous Function Chart) dan SFC (Sequential Function Chart). Pada proses mixing ini dikontrol menggunakan metode cascade control dengan primary control adalah suhu dan secondary control adalah level. Untuk menggunakan metode cascade control dibutuhkan sensor HC SR04 sebagai sensor level, sensor PT100 sebagai sensor suhu, dan heater sebagai aktuator. Dengan setpoint ketinggian air 18cm dan suhu 60°C, maka untuk mencapai setpoint bersamaan dibutuhkan kontrol PID untuk mengendalikan heater.

Kata kunci: Cascade Control, DCS (Distributr control system), Mini-plant, PID.

### ABSTRACT

*Mini-plant multi-product multi-line is a mini-plant that can process several liquid materials into several products. This mini-plant has several processes, namely filling, mixing, and cleaning. As technology advances, there are several controls that can be applied to various plants. DCS (Distribute Control System) is a control system development using computers and other electronic devices in order to get a loop controller system that is more integrated and can be done by everyone quickly and easily. This control uses PROFINET communication using SIMATIC PCS7 S7-400 and I/O ET200SP. This multi-product, multi-line mini-plant is programmed using CFC (Continous Function Chart) and SFC (Sequential Function Chart). This mixing is controlled using the cascade control method with the primary control being the temperature and the secondary control being the level. To use the cascade control method, an HC SR04 sensor is needed as a level sensor, a PT100 sensor as a temperature sensor, and a heater as an actuator. With a water level setpoint of 18cm and a temperature of 60°C, to achieve the same setpoint, PID control is needed to control the heater. That way we get the value of  $KP = 9$ ,  $TI = 139,57s$ ,  $TD = 50s$ , and error = 1 %.*

### Article History

Received: Juli 2024

Reviewed: Juli 2024

Published: Juli 2024

Plagiarism Checker No 234

Prefix DOI : Prefix DOI :

10.8734/Kohesi.v1i2.365

Copyright : Author

Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).



Keyword: Cascade Control, DCS (Distributr control system), Mini-plant, PID.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di dunia industri begitu cepat. Perkembangan tersebut terus diikuti dengan tingkat persaingan yang semakin tinggi pula. Salah satu bidang yang terus mengalami kemajuan adalah bidang otomasi industri. Berkembangnya sistem otomasi bertujuan untuk menjamin kualitas produk yang di hasilkan, mengurangi waktu produksi dan mengurangi biaya untuk tenaga kerja manusia, sehingga tuntutan proses produksi lebih efisien dan lebih cepat untuk dicapai [1]. Distribute Control System (DCS) mengacu pada sistem kontrol yang biasa digunakan pada sistem manufaktur, proses atau sistem dinamis lainnya dimana elemen kontroler tidak terpusat dilokasi tertentu melainkan terdistribusi seluruhnya dimana setiap sub sistem dikontrol oleh satu atau lebih kontroler [2].

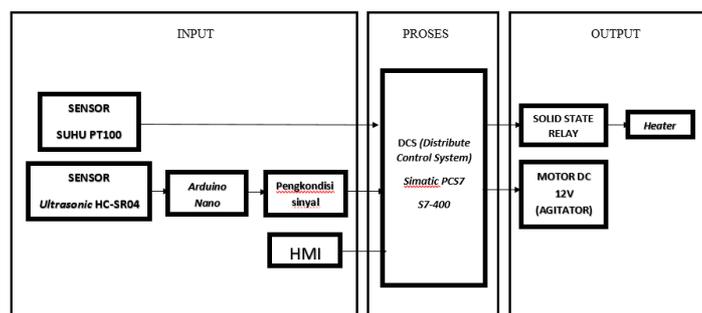
Salah satu sistem industri yang terus mengalami perkembangan adalah bidang manufaktur, khususnya sistem kontrol. Saat ini banyak ditawarkan suatu metode kontrol yang efektif dan mudah untuk diimplementasikan dalam sebuah proses. Sistem kontrol yang saat ini sedang marak digunakan yaitu DCS (Distributed Control System) dan SCADA (Supervisory Control and Data Aqcuisition) yang pada umumnya memanfaatkan PLC (Programmable Logic Control) sebagai kontrolnya [3].

Proses bahan cair merupakan salah satu proses yang sangat umum di sebuah industri yang salah satu prosesnya terdapat pencampuran beberapa bahan cair agar menghasilkan suatu cairan produk. Keberhasilan suatu proses pengolahan bergantung pada efektifitas pengadukan, pengadukan (agitation) menunjukkan gerakan yang terinduksi menurut cara tertentu pada suatu bahan didalam bejana, dimana gerakan itu biasanya mempunyai semacam pola sirkulasi. Untuk mendapatkan hasil pengadukan yang baik dibutuhkan pemasakan suatu bahan di suhu tertentu dan komposisi yang tepat dari setiap bahan yang akan dicampurkan. Sehingga dalam proses pengadukan ini dibutuhkan heater dan agitator yang menyala pada setpoint tertentu. Setpoint ini dapat di kontrol menggunakan DCS dikarenakan setiap bahan yang akan di campurkan memiliki titik didih dan komposisi masing-masing agar mendapatkan hasil yang maksimal. Sensor yang digunakan ialah sensor suhu dan sensor level. Metode yang digunakan dalam proses ini ialah Cascade Control. Cascade Control adalah sistem pengendalian yang dapat dilakukan oleh sistem DCS dimana hal ini diperlukan pada suatu loop kontrol yang membutuhkan satu sistem pengontrolan yang bertingkat. Sistem kontrol ini memiliki memiliki 2 control yaitu primary control dan secondary control. Dimana primary control sebagai control suhu agar mencapai setpoint yang sudah ditetapkan. Sedangkan, secondary control sebagai control aliran air yang sudah dikontrol setpoint-nya pada proses sebelumnya.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Diagram Blok

Diagram blok sistem berfungsi untuk menjelaskan keseluruhan sistem agar dapat mudah dipahami..



Gambar 1 : Blok Diagram Sistem

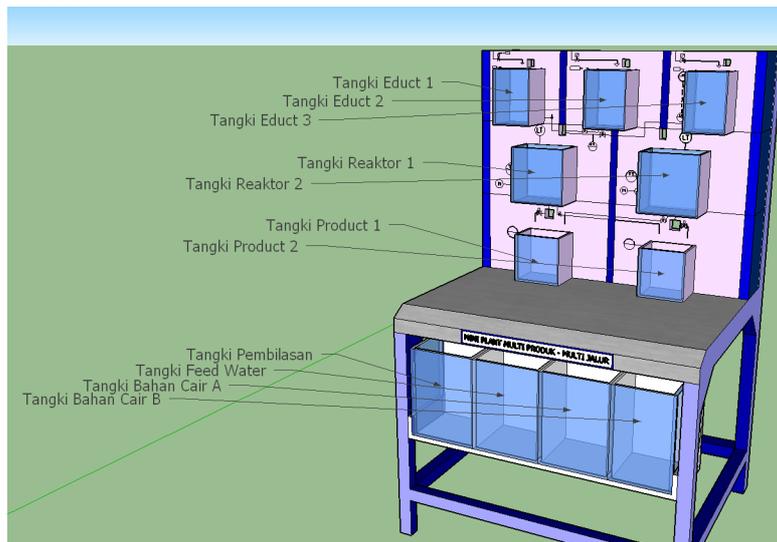
Prinsip kerja dari diagram blok sistem pada gambar 1 adalah sebagai berikut: Input dari sistem ini adalah sensor suhu PT100 dan sensor HC-SR04. Sebelum dikoneksikan ke controller sensor-sensor ini memerlukan pengkondisi sinyal agar output dari sensor dapat dibaca oleh controller sebagai input. Sensor suhu PT100 memiliki output resistansi. Sensor suhu HC-SR04 memiliki output frekuensi sehingga dibutuhkan pengkondisi sinyal agar output menjadi tegangan. Untuk sensor HC-SR04 sebelum masuk ke pengkondisi sinyal memerlukan arduino nano untuk memprogram range output HC-SR04 agar pengkondisi sinyal dapat mengkonversi output dari HC-SR04 menjadi tegangan 0~1V. HMI disini berfungsi monitoring dan memberikan setpoint pada sistem.

Metode yang dilakukan dalam proses ini adalah cascade control. Level merupakan hasil dari primary control sedangkan suhu adalah secondary control. Pemanasan terjadi level terdeteksi pada tangki reaktor. Setpoint suhu berpatokan dengan level bahan cair yang ada pada tangki reaktor. Sehingga ketika level bahan cair pada tangki reaktor 16,5cm maka setpoint suhu adalah 60°C. Ketika setpoint sudah ditetapkan maka proses heating dimulai. Proses heating dilakukan dengan cara mengendalikan heater menggunakan metode PID Ziegler-Nichols 1 atau metode kurva reaksi dengan grafik respon untuk mengetahui kontrol cascade mengendalikan suhu bahan cair pada nilai yang sudah ditetapkan. Tegangan AC yang diterima heater akan berubah nilainya sesuai dengan PWM yang dikeluarkan oleh digital output menuju SSR (Solid State Relay). Ketika suhu bahan cair pada tangki reaktor sudah mencapai setpoint maka proses mixing akan dilakukan selama 1 menit. Berhentinya proses mixing adalah tanda bahwa semua proses yang ada pada tangki reaktor selesai.

## 2.2 Perancangan Mekanik

Berikut ini adalah spesifikasi mekanik sebagai berikut :

- a. Tinggi plant : 200cm
- b. Lebar plant : 50cm
- c. Panjang Plant : 100cm

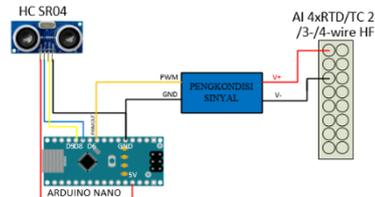


Gambar 2 : mekanik 3D

## 2.3 Perancangan Elektrik

### A. Perancangan Wiring

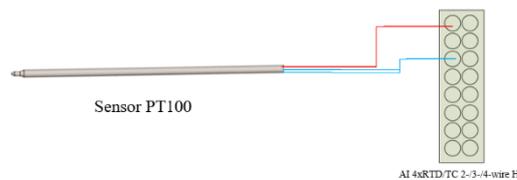
Wiring Sensor HC SR04: Wiring sensor HC SR04 membutuhkan arduino nano dikarenakan memiliki keluaran sensor adalah frekuensi, sedangkan input yang dapat dibaca I/O adalah tegangan. Sehingga dikoneksikan ke arduino nano terlebih dahulu sehingga keluaran menjadi PWM, setelah itu masuk ke pengkondisi sinyal agar dikonversi menjadi tegangan sehingga dapat masuk ke I/O [8].



Gambar 3: Wiring Sensor Ultrasonic HC SR04

Seperti pada gambar 3 I/O yang digunakan adalah analog input 4xRTD/TC 2-/3-/4-wire HF dikarenakan I/O ini dapat membaca tegangan -1~1V.

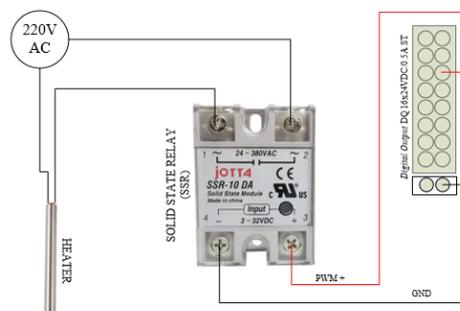
Wiring Sensor PT100: wiring sensor PT 100 seperti pada gambar 13 menunjukkan bahwa PT100 memiliki keluaran yaitu resistansi.



Gambar 4: Wiring Sensor PT100

Seperti pada gambar 4 I/O yang digunakan adalah analog input 4xRTD 2-/3-/4-wire HF dikarenakan analog input ini dapat membaca langsung sensor PT100 2-4 wire secara langsung dengan input yang dibaca analog input resistansi

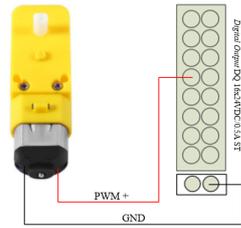
Wiring Heater: wiring heater dilakukan seperti pada gambar 14 menunjukkan bahwa heater sebagai akutator utama pada proses ini. Sehingga heater ini perlu dikontrol. Kontrol ini menggunakan PID. Agar tegangan AC dapat divariabel, maka dibutuhkan SSR (Solid State Relay) [10].



Gambar 5: Wiring Heater

Seperti pada gambar 5 I/O yang digunakan adalah digital output 16x24VDC 0.5A ST dikarenakan I/O ini dapat memberi tegangan output secara fluktuatif 0~24VDC dengan arus 0,5A.

Wiring Motor Agitator 12V: Wiring motor agitator 12V dapat langsung terkoneksi pada I/O seperti pada gambar 15. I/O ini mengeluarkan PWM untuk mengatur kecepatan putar motor.

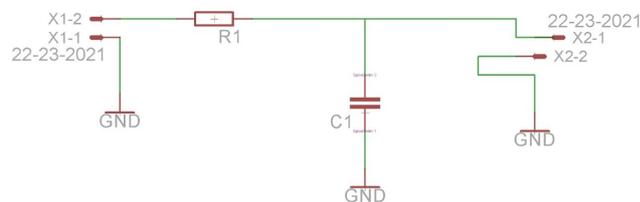


Gambar 6: Wiring Motor Agitator 12V

Seperti pada gambar 6 I/O yang digunakan adalah digital output 16x24VDC 0.5A ST dikarenakan I/O ini dapat memberi tegangan output 12VDC dengan arus 0,5A per channel-nya.

### B. Perancangan Pengkondisi Sinyal PWM Ke Tegangan

Sensor HC SR04 membutuhkan pengkondisi sinyal untuk merubah output sensor menjadi tegangan.

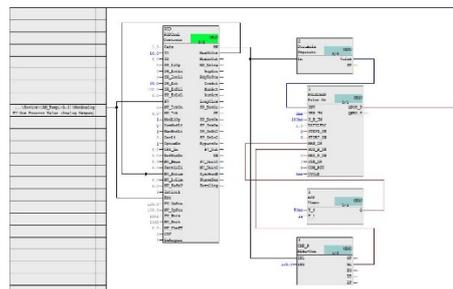


Gambar 7: Rangkaian Pengkondisi Sinyal HC SR04

Gambar 7 berfungsi untuk mengkonversi PWM Out dari arduino menjadi Tegangan 0-1V agar dapat dibaca oleh I/O kontroler. Rangkaian ini akan menyaring sinyal frekuensi tinggi dan meneruskan sinyal frekuensi rendah yang diinginkan, sinyal yang dimaksud adalah sinyal perubahan tegangan.

### C. Perancangan Program

Perancangan Program CFC PID kontrol Heater: Perancangan Program CFC PID ini berfungsi untuk mengontrol Heater agar panas yang dikeluarkan sesuai dengan yang diinginkan. Template blok kontrol PID yang akan digunakan dapat ditemukan pada library yang ada pada software Simatic Manager. Salah satu blok yang digunakan adalah PIDconL, blok tersebut untuk mengontrol PID dengan mengeluarkan sinyal kontinyu (manipulated variable).



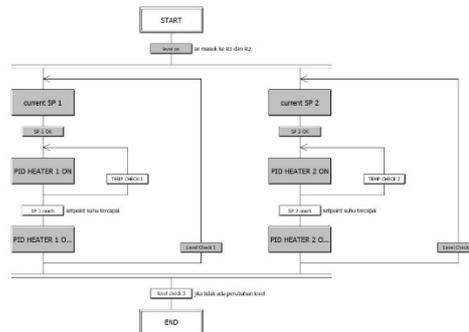
Gambar 8: Program CFC PID kontrol Heater

Pada Gambar 8 merupakan CFC dengan template untuk mengatur PID heater. Pada program ini dapat mengatur  $K_p$ ,  $T_i$ , dan  $T_d$ . Nilai sensor yang terbaca akan dihubungkan ke blok ini untuk menjadi feedback sehingga kontrol PID dapat berjalan sesuai yang diinginkan.

Perancangan Program SFC Untuk Keseluruhan Proses: Perancangan Program SFC Untuk Keseluruhan bahwa program ini bertujuan agar keseluruhan sistem mixing dapat berkerja sesuai dengan sistem yang diinginkan. Kedua reaktor memiliki sistem kerja yang sama dengan sensor



dan aktuator masing-masing. Setiap blok pada SFC berfungsi untuk memanggil blok CFC yang akan digunakan.



Gambar 9: Program SFC Untuk Keseluruhan Proses

Pada gambar 9 program SFC memiliki prinsip kerja sebagai berikut:

Sistem pemanasan akan terjadi ketika syarat level pada blok CFC analog monitor sensor level tercapai. Lalu blok CFC analog monitor sensor suhu akan mendeteksi suhu bahwa suhu belum mencapai setpoint. Ketika suhu belum mencapai setpoint maka blok CFC untuk kontrol PID pada heater menyala. Pemanasan akan dicegah mencapai setpoint ketika level belum mencapai setpoint agar kenaikan suhu dan kenaikan level dapat linear. Ketika syarat setpoint suhu dan level tercapai secara bersamaan maka suhu dijaga dengan cara memberikan blok steady state, disaat bersamaan agitator menyala beberapa detik lalu mati. Kontrol PID pada heater juga mati sehingga heater mati dan sistem selesai. Jika syarat level terbaca 0 maka sistem akan mengalami loop.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

TABEL 1  
 Pengujian Output Tegangan HC SR04

Jarak (cm)	Tegangan (V)	Volume Bahan Cair (L)	Pembacaan DCS	Error (%)
2	0,091	0,425	0,4259	0,2
4	0,10	0,860	0,8608	0,09
5	0,14	1,066	1,0666	0,05
6	0,19	1,261	1,2617	0,05
7	0,25	1,470	1,4702	0,01
8	0,30	1,678	1,6785	0,02
9	0,41	1,852	1,8527	0,03
10	0,46	2,108	2,1088	0,03
12	0,57	2,593	2,5983	0,2
13	0,67	2,814	2,8147	0,02

Dapat dilihat pada tabel 1, pengujian ini berfungsi untuk memastikan apakah output tegangan sudah linear dengan jarak yang ditentukan. Untuk setpoint jarak yang diperlukan untuk proses ini adalah 18cm. tegangan ini berfungsi untuk memberikan input pada I/O.

#### B. Pengujian Sensor PT100

TABEL 2  
 Pengukuran Output Resistansi PT100

Resistansi (ohm)	Suhu (°C)
109,9	25
111,89	30
113,84	35
116,52	42
118,56	47



120,51	52
123,54	60
124,51	63

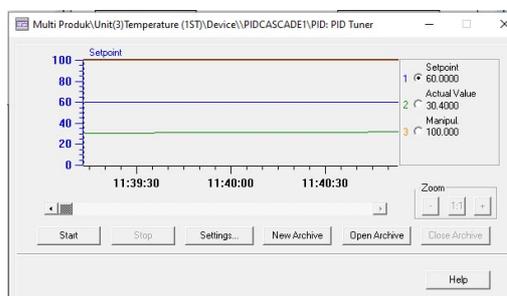
Pengujian ini berfungsi untuk mengkalibrasi dan memastikan apakah output resistansi sudah linear dengan suhu yang ditentukan.

C. Pengujian Cascade Control

**TABEL 3**  
 Hasil Penentuan Setpoint Suhu Terhadap Level Bahan Cair

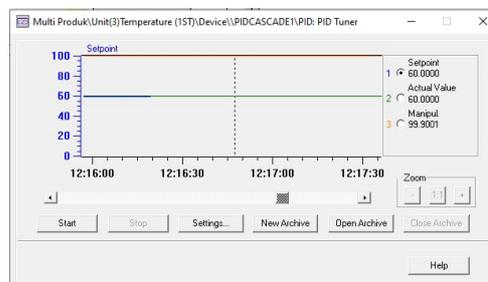
Setpoint (°C)	Level (cm)
30	7
33,158	8
36,316	9
39,474	10
42,632	11
45,79	12
48,948	13
52,106	14
60	16,5

Setelah setpoint suhu sudah ditentukan maka proses heating dapat dilakukan. selain proses heating dalam tangki reaktor juga mempunyai proses yang lain yaitu proses mixing. Syarat utama agar proses mixing berjalan adalah setpoint suhu mencapai 60°C. Dikarenakan pada suhu 60°C level bahan cair pada tangki reaktor ialah 16,5cm sehingga proses mixing dapat berjalan dengan baik.



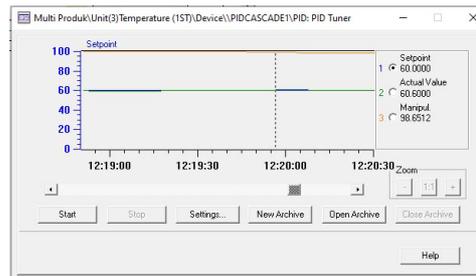
Gambar 10: Proses heating start

Dapat dilihat pada gambar 10 bahwa proses heating dimulai pada jam 11:39:12 pada suhu 30°C dengan setpoint 60°C.



Gambar 11: Proses heating mencapai setpoint

Dapat dilihat pada gambar 11 bahwa proses heating sudah mencapai setpoint pada jam 12:16:47 yang berarti diperlukan waktu selama 2.255s.



Gambar 12: Proses heating mengalami overshoot

Dari pengujian sistem dengan menggunakan  $K_p = 9$ ,  $T_i = 139,57s$ , dan  $T_d = 50s$ . Nilai parameter ini didapatkan dengan fitur yang ada di function chart PIDconL yaitu optimize PID. maka, dapat dilihat pada gambar 4.3 proses heating mengalami overshoot sehingga suhu bahan cair menjadi  $60,6^\circ C$ . Sehingga terdapat error sebesar 1%

#### 4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapat kesimpulan sebagaimana dibawah ini:

- A. DCS PCS7 merupakan kontroller utama pada miniplant multi-produk multi-jalur ini. Software yang digunakan adalah SIMATIC MANAGER dengan memrogram CFC (Continuous Function Chart) dan SFC (Sequential Function Chart). CFC merupakan program utama pada miniplant ini. Namun agar sistem dapat disebut sebagai DCS. Maka CFC perlu diintegrasikan dengan SFC.
- B. Dibutuhkan pengaturan mode pada SIMATIC MANAGER agar analog input dapat membaca output dari sensor yang berupa tegangan dengan range 0-1 VDC untuk sensor ultrasonic HCSR-04 dan resistansi untuk sensor suhu PT100.
- C. Sensor ultrasonic HC SR04 dengan output frekuensi dapat dikonversi menjadi tegangan dengan bantuan arduino nano dan pengkondisi sinyal. Dengan program map yang benar pada arduino nano.
- D. Sistem heating bekerja dengan baik ketika metode cascade control tercapai. Dengan mengendalikan heater agar mencapai setpoint dengan cepat dan akurat. Dengan menggunakan parameter  $K_p = 9$ ,  $T_i = 139,57s$ , dan  $T_d = 50s$ . Sehingga dibutuhkan waktu selama 2.255s dengan overshoot sebesar 1%.
- E. Cascade control terbukti berjalan dengan baik ketika hasil dari primary control yang berupa level bahan cair pada tangki reaktor dapat menjadi acuan secara linear untuk menentukan setpoint pada secondary control yaitu suhu.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada kedua orang tua yang telah mendukung saya dan bapak dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu kepada saya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]Chrisyanto Eko Nugroho, 2015. Sistem SCADA Untuk Pengepakan Produk. Yogyakarta. Universitas Sanata Dharma
- [2]Yusuf Efendi, 2019. Desain dan Verifikasi Kontrol Cascade Pengendali Suhu Berbasis Fuzzy-PID dan PI pada Heat Exchanger.
- [3]Karina Anggraeni, 2021. RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL CASCADE LEVEL DAN FLOW PADA PROSES WATER TREATMENT BERBASIS BORLAND DELPHI. Cepu. Politeknik Energi Dan Mineral Akamigas
- [4]Falahul Mawahib, 2021. ANALISIS SISTEM CONTROL CASCADE LEVEL-FLOW DIESEL DRAWOFF PADA KOLOM DISTILASI C-01 DENGAN METODE ZIEGLER-NICHOLS. Cepu. Politeknik Energi Dan Mineral Akamigas
- [5]Muhamad Ali., MT, 2010. Modul Kuliah Sistem Kendali Terdistribusi. Yogyakarta. Universitas Negeri. Yogyakarta
- [6] Data Sheet SIMATIC S7-400 advanced controller



- [7] Data Sheet 6ES7400-1JA01-0AA0
- [8] Data Sheet 6ES7407-0KA02-0AA0
- [9] Data Sheet 6ES7410-5HM08-0AB0
- [10] Data Sheet SITOP power supply
- [11] Data Sheet 6ES7155-6AR00-0AN0
- [12] Data Sheet AI 4xRTD/TC 2-/3-/4-wire HF
- [13] Data Sheet DQ 16x24VDC/0.5A ST
- [14] Data Sheet Arduino Nano
- [15] Data Sheet HC-SR04
- [16] Hariyadi, 2016. Optimalisasi Kendali PID Pada Sistem Pengaturan Temperatur Proses Pasteurisasi Susu. Malang. Politeknik Negeri Malang
- [17] Wisnu, Ane P R. 2015. Sistem Boiler Dengan Simulasi Permodelan PID. jakarta. universitas pancasila
- [18] Suhendra, Tony. 2018. Kendali Kecepatan Motor DC dengan Metode Pulse Width Modulation menggunakan N-channel Mosfet. tanjung pinang. politeknik senggarang
- [19] Daniel Edo. 2020. IMPLEMENTASI DCS (DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM) PADA MINI PLANT PASTEURISASI SUSU DENGAN METODE PID (PROPOTIONAL INTERGAL DERIVATIVE). Malang. Politeknik Negeri Malang