Integrasi *Field Instrument Device* dengan *Distributed Control System* (DCS) serta Simulasi Tuning PID untuk Pengendalian Level dan Flow pada Tank 11 di Simulator *Boiler Drum Heat Exchanger*

Ahmad Zakky Zuhudi[1*], Muhammad Ghozi Al Ghifari[1], Nurpadmi, M.T.[2]
[1] *Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kota Surabaya*
[2] *Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi, Kabupaten Blora*

INFORMASI NASKAH

Diterima : 7 Mei 2026
Direvisi : 27 Agustus 2026
Disetujui : 29 September 2026
Terbit : 30 September 2026

Email korespondensi:
zakky.zuhudi@gmail.com

Laman daring:
https://doi.org/10.37525/sp/2026-2/2490

ABSTRAK

Penelitian ini membahas tentang integrasi perangkat field instrument dengan sistem Distributed Control System (DCS) serta simulasi tuning PID untuk pengendalian variabel proses level dan flow pada Tank 11 yang merupakan bagian dari simulator *Boiler Drum Heat Exchanger*. Tujuan utama dari integrasi ini adalah untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan pengendalian proses melalui pemantauan dan pengendalian otomatis yang terpusat. Perangkat lapangan seperti transmitter level, transmitter flow, dan control valve dihubungkan dengan DCS untuk memungkinkan pengumpulan data secara real-time serta pelaksanaan kontrol berbasis logika. Tuning PID menjadi bagian penting dalam menentukan kualitas respons level dan flow terhadap perubahan set point maupun gangguan proses. Nilai parameter PID yang belum sesuai dapat menyebabkan respons proses menjadi lambat, overshoot, osilasi, atau waktu pencapaian kondisi tunak/*Steady state* yang lama. Penerapan tuning dengan metode Ziegler–Nichols pada penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai pengaturan parameter kontrol, tetapi juga sebagai upaya untuk meningkatkan performa pengendalian dan memberikan dasar pembanding terhadap nilai *tuning default*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi yang tepat antara field instrument dan DCS mampu menjaga kestabilan level dan flow sesuai dengan parameter yang diinginkan, serta mempermudah troubleshooting dan pemeliharaan sistem. Temuan hasil tuning PID dapat menyesuaikan parameter kontrol dengan karakteristik dinamik masing-masing loop sehingga sistem dapat mencapai set point dengan respons yang lebih cepat dan stabil. Implementasi ini juga memberikan gambaran nyata penerapan teknologi kontrol industri dalam skenario simulasi yang menyerupai kondisi di lapangan.

Kata kunci: DCS, *Field Instrument Device,* Integrasi, *Tuning PID,* Ziegler – Nichols.

PENDAHULUAN

Industri migas dan energi sangat bergantung pada sistem pengendalian yang efisien untuk menjaga kelancaran proses produksi. Salah satu jenis sistem pengendalian yang banyak digunakan di industri adalah Distributed Control System *(DCS).* DCS memungkinkan pemantauan kondisi berbagai perangkat dan parameter proses, seperti temperature, pressure, flow, level, yang menjamin kualitas dan efisiensi operasional. Sistem DCS memberikan keuntungan berupa pengendalian yang lebih efisien, mengurangi risiko kesalahan manusia, dan kemampuan untuk merespons perubahan parameter secara cepat.

Integrasi *field instrument device* dengan Distributed Control System (DCS) adalah salah satu aspek penting yang bertujuan menghubungkan perangkat lapangan ke sistem kontrol pusat agar data variabel fisis proses dapat diterima, diolah, dan ditampilkan melalui antarmuka. Tanpa proses integrasi ini, maka sistem kontrol tidak akan dapat mengakses informasi penting dari lapangan secara langsung, sehingga dapat menyebabkan keterlambatan atau kesalahan dalam pengambilan keputusan operasional (Wang et al., 2020). Integrasi dimulai dengan identifikasi setiap perangkat mulai dari penamaan, kode, alamat sinyal, dan fungsi. Menurut Wang et al. (2020), penggunaan *device model* dalam proses rekayasa DCS memungkinkan pengelolaan perangkat menjadi lebih sistematis dan efisien, serta mempercepat proses integrasi terutama pada sistem berskala besar. Selanjutnya dilakukan tahap penarikan kabel untuk daya, sinyal, ground, serta protokol komunikasi seperti *fieldbus* (RS-485, CAN, Profibus) yang banyak digunakan karena mampu mentransmisikan data secara efisien antar perangkat. Penelitian oleh Fang et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan sistem fieldbus dapat meningkatkan reliabilitas komunikasi data pada lingkungan industri berat seperti pertambangan, dengan mengurangi noise dan mendukung integrasi multiperangkat secara fleksibel. Dalam studi oleh tim Zhou (2023), *fieldbus* berhasil menghubungkan sensor, aktuator, dan kontroler ke dalam DCS dengan penurunan latensi dan peningkatan kualitas komunikasi. Penting juga untuk memperhatikan desain antarmuka pengguna (HMI) yang merepresentasikan kondisi sistem secara visual dan interaktif. Putra et al. (2023), dalam studi integrasi DCS pada sistem siklotron DECY-13, menjelaskan bahwa komunikasi antarmuka dilakukan melalui jalur RS-232 dan Ethernet yang dikembangkan dalam tiga level, yaitu perangkat lapangan, panel kontrol, dan antarmuka operator. Ini menunjukkan bahwa hierarki arsitektur sistem dan modular sangat diperlukan agar sistem beroperasi efektif.

Pengendalian level dan flow merupakan salah satu aspek penting dalam proses industri, terutama tangki penyimpanan dan pengolahan fluida di berbagai plant seperti pada boiler drum heat exchanger. Agar pengendalian yang dihasilkan akurat dan stabil, digunakanlah sistem kontrol PID (Proportional–Integral–Derivative), salah satu metode kendali klasik yang umum digunakan dalam industri. Kontrol PID dapat menyesuaikan parameter level dan flow secara dinamis terhadap perubahan set-point dan gangguan, sehingga dihasilkan respon sistem yang cepat, efisien, dan stabil (Ridho & Irawan, 2018; Wijaya, 2021).

Pada Workshop Instrumentasi PPSDM Migas Cepu, penggunaan *Plant Simulator Boiler Drum Heat Exchanger* memberikan kami kesempatan untuk melakukan pengujian dan simulasi sistem pengendalian seperti yang ada pada real plant. Integrasi perangkat instrumen lapangan dengan DCS pada Tank 11 dalam simulator ini bertujuan untuk mengoptimalkan pengendalian level dan flow dengan memanfaatkan teknologi terkini. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai integrasi perangkat instrumentasi dengan DCS hingga sistem kontrol PID untuk menjaga kestabilan proses serta mengidentifikasi potensi masalah secara lebih cepat dan tepat.

Dalam penelitian ini, tuning PID menjadi bagian penting karena parameter kontrol yang digunakan secara langsung menentukan kualitas respons level dan flow terhadap perubahan set point maupun gangguan proses. Nilai parameter PID yang belum sesuai dapat menyebabkan respons proses menjadi lambat, overshoot, osilasi, atau waktu pencapaian kondisi tunak/*Steady state* yang lebih panjang. Oleh karena itu, tuning PID diperlukan untuk memperoleh parameter Kp, Ti, dan Td yang lebih sesuai dengan

karakteristik dinamik Tank 11. Penerapan tuning dengan metode Ziegler–Nichols pada penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai pengaturan parameter kontrol, tetapi juga sebagai upaya untuk meningkatkan performa pengendalian dan memberikan dasar pembanding terhadap nilai *tuning default*.

Dengan demikian, penelitian ini secara khusus juga bertujuan mengevaluasi pengaruh tuning PID terhadap respons dinamik kontrol level (LIC11) dan flow (FIC11), dengan membandingkan *tuning default* dan tuning Ziegler–Nichols berdasarkan parameter waktu respons T dan dead time L. Untuk mendukung analisis tersebut, diperlukan pemahaman mengenai prinsip dasar sistem kontrol proses, karakteristik pengendalian level dan flow, pengendali PID, metode tuning Ziegler–Nichols, serta parameter respons dinamik yang digunakan sebagai dasar dalam mengevaluasi kinerja sistem pengendalian.

A. Instrumen Lapangan

Instrumen lapangan adalah perangkat yang digunakan dalam otomasi industri dan kontrol proses untuk mengukur, memantau, dan mengontrol berbagai parameter seperti tekanan, suhu, aliran, level, dan variabel penting lainnya dalam suatu sistem. Instrumen dipasang di lapangan secara langsung seperti pipa, tube, boiler, furnace, dan beberapa plant lain yang sejenis dan menyediakan data real-time untuk mengontrol sistem seperti DCS (Distributed Control System) atau PLC (Programmable Logic Controller) untuk operasi yang efisien.

Gardner, A.T. dkk. (2009) mengembangkan instrumen differential pressure yang dilengkapi sistem telemetri nirkabel, untuk pengukuran aliran fluida secara in-situ di batas sedimen-air. Alat ini memungkinkan pemantauan langsung tanpa memerlukan instalasi kabel kompleks, mempermudah pengumpulan data real-time dan meningkatkan fleksibilitas operasi lapangan.

Schmitz et al. (2022) mengkaji beberapa teknik pengukuran mass dan volumetric flow meters pada aplikasi industri (misalnya parabolic trough collector fields). Mereka membandingkan Vortex flow meters (menahan suhu tinggi, tekanan drop rendah), Ultrasonic clamp-on meters (non-intrusive, fleksibel), Pressure-drop meters (mengukur berdasarkan perbedaan tekanan), Coriolis meters (mengukur langsung mass flow, dengan akurasi tinggi). Hasilnya menunjukkan bahwa Coriolis memberikan akurasi terbaik, diikuti vortex dan ultrasonik, walaupun biaya yang diperlukan lebih tinggi.

Wang, J. dkk. (2021) meneliti prototipe downhole thermal flow meter, yang menggunakan pemanasan kawat dan pengukuran perubahan medan suhu untuk menghitung laju aliran fluida di bawah tanah (oil/water wells). Metode ini efektif untuk *multiphase flow*, tanpa menggunakan bagian bergerak, dan stabil di laju aliran rendah (<20 m^3/d).

B. *Distributed Control System*

Distributed Control System (DCS) adalah sistem otomatisasi industri yang digunakan untuk mengontrol dan memantau proses yang kompleks dan terdistribusi secara geografis dalam berbagai jenis industri, seperti pabrik kimia, minyak dan gas, pembangkit listrik, dan lainnya. Secara lebih rinci, DCS adalah sistem kontrol industri berbasis komputer yang dirancang untuk mengendalikan berbagai mesin atau bagian dari pabrik atau proses industri yang tersebar. DCS memungkinkan operator untuk memantau dan mengontrol proses dari jarak jauh, bahkan ketika proses tersebut berlangsung di beberapa lokasi berbeda.

Rifa'i et al. (2021) mengembangkan sistem kontrol PID untuk pengolahan susu (pasteurisasi) menggunakan DCS dan sensor RTD PT100. Hasil tuning PID yaitu Kp=22, Ti=1857,7, Td=97,2 menunjukkan performa sistem yang baik dengan rise time 913 s, overshoot 1,3 °C, dan steady-state error 0,66 %. Jurnal ini memperlihatkan bagaimana PID diimplementasikan dalam DCS untuk menjaga kestabilan suhu dalam proses industri kontinu.

Geng dan Li (2016) mempelajari arsitektur hybrid DCS yang menggabungkan Fieldbus Foundation dengan jaringan Ethernet. Mereka membandingkan dua konfigurasi fungsi PID cascade, yaitu Implementasi penuh pada instrumen lapangan dan Implementasi pada PLC via Ethernet. Hasil

menunjukkan lapisan fungsi terdistribusi pada instrumen (scheme-I) menghasilkan respon tercepat karena minimalnya delay komunikasi. Studi ini memberi wawasan bagaimana arsitektur DCS mempengaruhi performa kontrol.

Rakhman & Feriyonika (2018) menerapkan multi-loop PID yang dikoordinasi oleh DCS untuk pengendalian suhu global melalui tiga Local Control Units (LCUs). Dua metode tuning digunakan (analitis dan Ziegler–Nichols), sedangkan master controller memastikan distribusi setpoint. Metode analitis berhasil mencapai 0% overshoot, meskipun respon lebih lambat daripada metode eksperimental.

C. Kontrol PID

Kontrol PID, singkatan dari Proporsional-Integral-Derivatif, adalah metode kontrol otomatis yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan sistem otomatis untuk mengatur variabel seperti suhu, tekanan, kecepatan, dan lainnya. Kontrol PID bekerja dengan menghitung perbedaan antara nilai yang diukur (variabel proses) dan nilai yang diinginkan (setpoint), kemudian menggunakan perbedaan tersebut untuk menyesuaikan sinyal kontrol yang akan diterapkan pada sistem.

Derugo & Szabat (2015) mengombinasikan PID, logika fuzzy, dan jaringan saraf adaptif untuk mengendalikan sistem non-linier (DC-drive dengan backlash & gesekan). Hasilnya yaitu respon getaran torsional meredam secara efektif pada berbagai kondisi, tanpa memerlukan model matematis rinci.

Iryawan & Prasetiyo (2020) memberikan penelitian tentang aplikasi pada kendaraan udara tak berawak (UAV) fixed-wing untuk kontrol arah (pitch & roll). Temuan yang dihasilkan yaitu neuro-fuzzy PID adaptif lebih tahan gangguan lingkungan seperti angin, dengan settling time lebih cepat dan overshoot lebih rendah dibanding fuzzy-PID biasa.

Wang et al. (2018) mengembangkan fuzzy-PID yang dioptimalkan menggunakan GA, dimulai dari PID konvensional, diterapkan pada sistem orde dua dan motor DC. Hasil simulasinya yaitu convergence lebih cepat, waktu rise & settling time menurun, dengan overshoot sangat minimal.

D. Metode Tuning PID

Tuning PID merupakan proses penentuan parameter pengendali berupa proportional gain (Kp), integral time (Ti), dan derivative time (Td) agar sistem pengendalian mampu memberikan respons yang sesuai terhadap perubahan set point maupun gangguan proses. Pemilihan parameter tuning yang tepat sangat penting karena parameter tersebut memengaruhi kecepatan respons, kestabilan, overshoot, dan kemampuan sistem dalam mempertahankan process variable pada nilai yang diinginkan. Dalam praktik pengendalian proses, terdapat berbagai metode tuning yang dapat digunakan sesuai dengan karakteristik proses dan kebutuhan performa pengendalian. Pada penelitian ini, metode tuning PID yang digunakan adalah Ziegler–Nichols, Adapun metode lain yang umum digunakan dilapangan proses produksi adalah metode trial and error.

1. Metode Trial and Error

Metode trial and error merupakan metode tuning yang dilakukan dengan melakukan penyesuaian nilai Kp, Ti, dan Td secara bertahap berdasarkan respons aktual sistem. Nilai parameter dinaikkan atau diturunkan kemudian respons proses diamati hingga diperoleh kondisi yang dianggap memenuhi kriteria pengendalian. Metode ini relatif sederhana dan tidak memerlukan perhitungan model matematis yang kompleks, tetapi sangat bergantung pada pengalaman operator atau engineer. Kekurangannya adalah proses tuning dapat membutuhkan waktu yang relatif lama dan hasilnya sangat bergantung pada kemampuan orang yang melakukan tuning.

Metode trial and error sesuai digunakan pada sistem yang relatif sederhana dan memungkinkan dilakukan pengujian secara langsung. Namun, untuk penelitian yang membutuhkan perbandingan kuantitatif dan reproduktif, metode berbasis parameter proses seperti Ziegler–Nichols, dapat memberikan pendekatan yang lebih sistematis.

2. Metode Ziegler–Nichols

Metode Ziegler–Nichols merupakan salah satu metode tuning PID yang paling dikenal dan banyak digunakan sebagai metode awal dalam menentukan parameter pengendali. Ziegler–Nichols memiliki pendekatan open-loop atau reaction curve dan closed-loop atau ultimate gain. Pada pendekatan open-loop, karakteristik proses diperoleh dari respons proses terhadap perubahan input, sedangkan pendekatan closed-loop menggunakan kondisi osilasi kritis untuk memperoleh parameter pengendalian. Literatur menyebutkan bahwa metode Ziegler–Nichols menghasilkan aturan untuk menentukan Kp, Ti, dan Td berdasarkan karakteristik transien proses.

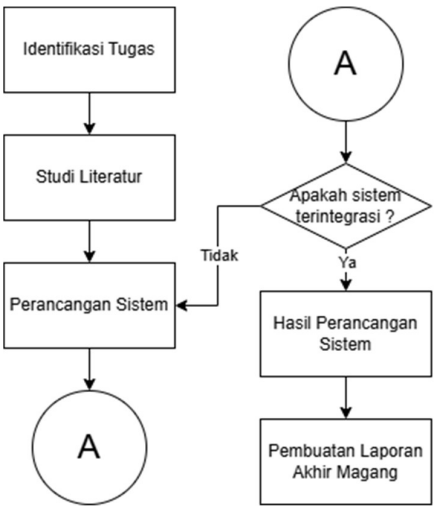
Pada penelitian ini digunakan **metode Ziegler–Nichols pertama (reaction curve/open-loop)**. Parameter penting berupa time constant (T) dan dead time (L) diperoleh dari respons proses, kemudian digunakan untuk menghitung parameter tuning PID. Keunggulan metode ini adalah prosedurnya relatif sederhana dan dapat digunakan sebagai pendekatan awal untuk memperoleh parameter PID berdasarkan karakteristik dinamik aktual proses.

Namun demikian, metode Ziegler–Nichols umumnya menghasilkan tuning yang relatif agresif. Oleh karena itu, hasil tuning perlu dievaluasi kembali berdasarkan respons aktual sistem, terutama dari aspek kecepatan respons, overshoot, osilasi, dan waktu mencapai kondisi tunak. Dengan demikian, penerapan Ziegler–Nichols dalam penelitian ini tidak hanya bertujuan mendapatkan nilai Kp, Ti, dan Td, tetapi juga membandingkan performanya dengan parameter tuning default pada LIC11 dan FIC11.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan proyek ini adalah pendekatan eksperimen yang bertujuan untuk mengintegrasikan perangkat instrumen lapangan dengan Distributed Control System (DCS), serta menerapkan kontrol PID untuk pengendalian level dan flow pada Tank 11 dalam Simulator Boiler Drum Heat Exchanger di PPSDM Migas Cepu. Metodologi penelitian dijelaskan dalam diagram alir sebagai berikut ditunjukkan pada Gambar 1.

Tahap pengujian kontrol dilakukan dalam dua kondisi, yaitu menggunakan parameter tuning default dan menggunakan parameter hasil tuning metode Ziegler–Nichols. Perbandingan kedua kondisi tersebut digunakan untuk menilai apakah penyesuaian parameter PID mampu memperbaiki respons dinamik sistem. Parameter T dan L yang diperoleh dari hasil running digunakan sebagai dasar perhitungan parameter Kp, Ti, dan Td, kemudian hasil tuning diterapkan pada LIC11 dan FIC11 untuk dibandingkan terhadap tuning default.



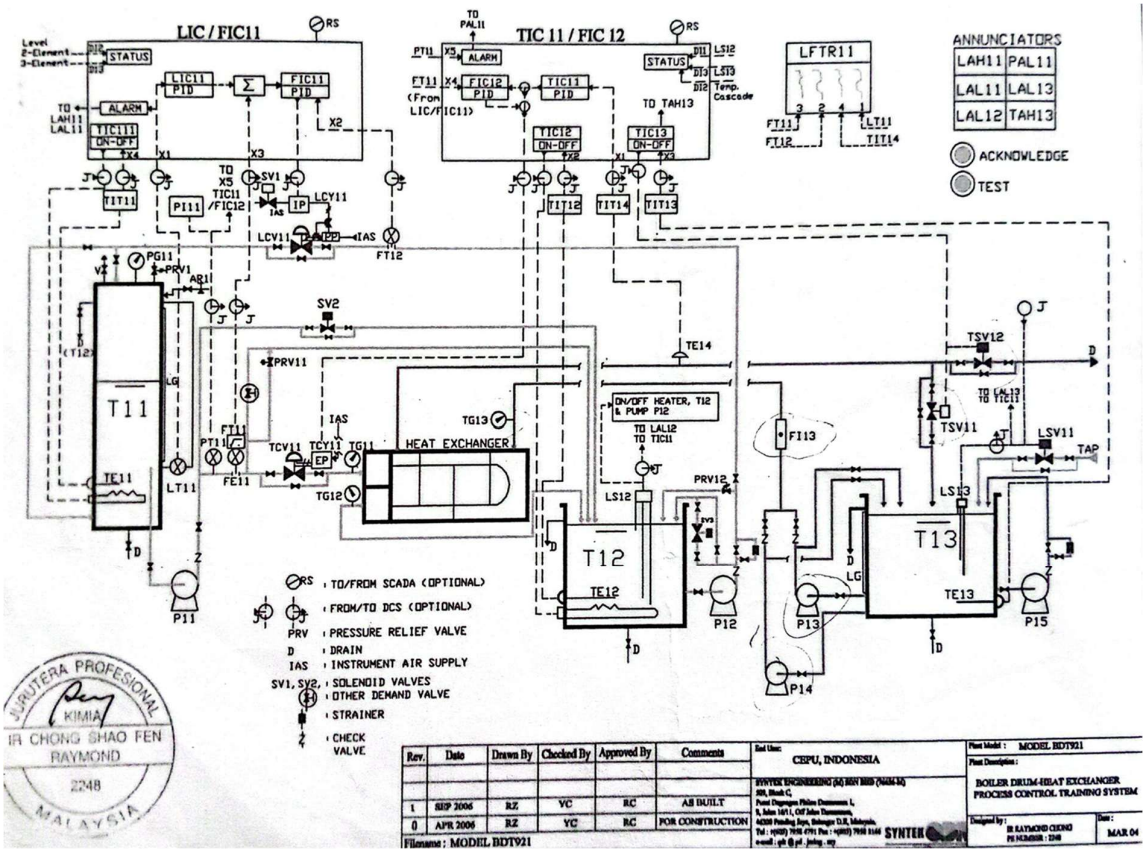
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian dimulai dari mengidentifikasi tugas, melakukan studi literatur, melakukan perancangan sistem, mengintegrasikan sistem mulai dari perangkat lapangan, kontrol panel, hingga antarmuka pengguna, menguji hasil perancangan sistem, dan yang terakhir adalah pembuatan laporan akhir.

Untuk memperkuat desain eksperimental dan memastikan pengujian sistem dapat dievaluasi secara terukur, variabel-variabel penelitian didefinisikan secara eksplisit sebagai berikut:

a. Variabel Kontrol (Independent Variable)
   Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah parameter PID, yaitu proportional gain (Kp), integral time (Ti), dan derivative time (Td). Variabel kontrol ini akan diubah-ubah untuk memperoleh respon dinamik yang optimal pada sistem kontrol level dan flow.
b. Variabel Bebas (Dependent Variable)
   Variabel bebas dalam penelitian ini adalah respon dinamik sistem kontrol level dan flow, yang akan diukur melalui parameter waktu respons (T) dan waktu tengah (L). Variabel bebas ini akan dipengaruhi oleh perubahan parameter PID.
c. Variabel Terikat (Response Variable)
   Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai level dan nilai flow pada Tank 11, yang akan diukur melalui sensor level dan sensor flow. Variabel terikat ini akan dipengaruhi oleh perubahan parameter PID dan variabel bebas.

Adapun dalam perancangan sistem, mengintegrasikan hingga menguji hasil perancangan sistem tersebut didasarkan pada P&ID Boiler drum sebagaimana gambar berikut:



Gambar 2. P&ID Boiler drum

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

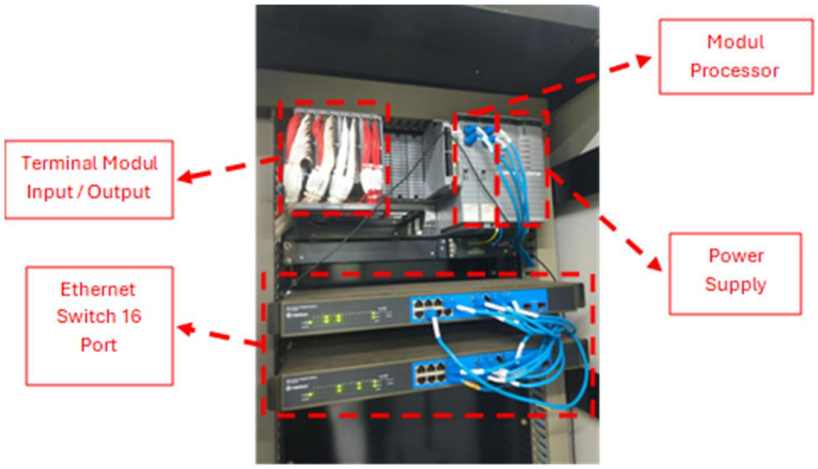
A. Hasil Perancangan Panel *Distributed Control System (DCS)*

Distributed Control System (DCS) yang telah dirancang memiliki tampilan depan dan belakang. Berikut tampilan depan panel DCS yang dapat dilihat hasilnya pada Gambar 3 sebagai berikut.



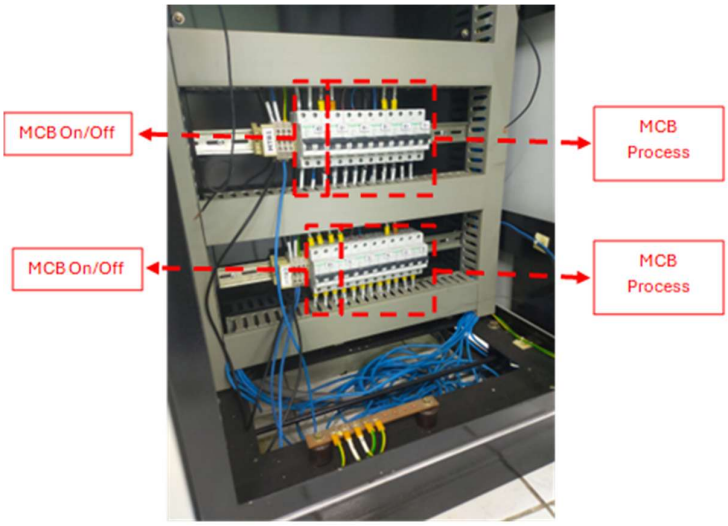
Gambar 3. Tampilan Depan Panel DCS

Pada Gambar 3 sebelah kiri adalah komponen panel bagian atas yang terdiri dari beberapa komponen utama. Berikut adalah komponen – komponen terpasang pada panel atas DCS ditunjukkan Gambar 3 berikut.



Gambar 4. Panel Depan DCS Bagian Atas

Power Supply yang digunakan adalah tipe PW482-10 yang berfungsi untuk memberikan daya pada perangkat internal DCS. Modul Processor yang digunakan adalah tipe CP451-10 S2 yang berfungsi untuk menjalankan fungsi DCS secara keseluruhan. Terminal Modul Input/Output yang digunakan adalah tipe ADV551 P00 S2 yang berfungsi untuk meletakkan alamat input dan output baik perangkat lapangan maupun komponen internal DCS. Dari kiri ke kanan secara berturut – turut yaitu Analog Input, Analog Output, Digital Input, dan Digital Output. Kemudian di bagian bawahnya adalah Ethernet Switch Hub 16 port tipe TEG-160WS yang berfungsi untuk menghubungkan seluruh perangkat ethernet yang berkaitan menjadi satu jaringan dan mengirimkan data sesuai dengan MAC Address masing – masing perangkat yang terkoneksi. Pada panel atas juga terdapat dua power supply dan dua modul processor karena salah satunya menjadi redundant. Sementara pada Gambar 3 sebelah kanan adalah komponen panel bagian bawah yang berfungsi untuk mengaktifkan komponen pada panel DCS menggunakan MCB, ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 5. Panel Depan DCS Bagian Bawah

MCB On/Off digunakan untuk menyalakan dan mematikan *power supply*. Sementara MCB Process digunakan sebagai pengaman jika terjadi arus dan/atau tegangan yang berlebih. Seluruh MCB menggunakan tipe C60N 2 phase yang mampu memutus dan menyambung kabel phase dan kabel netral. Selain panel depan, terdapat juga panel belakang yang ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.



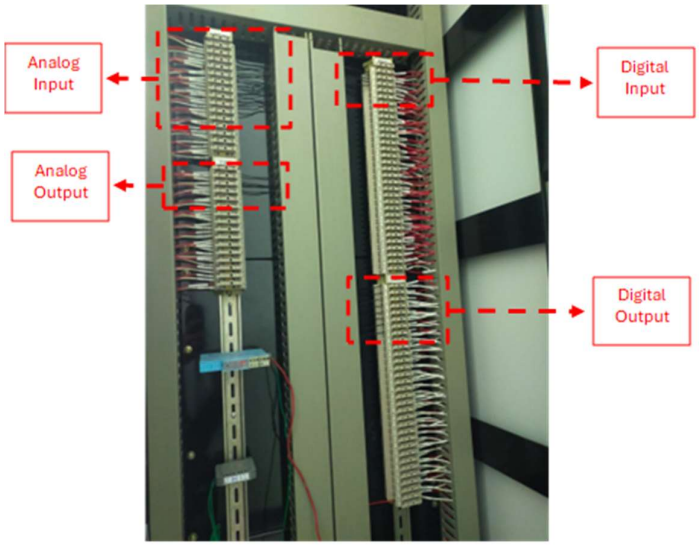
Gambar 6 Tampilan Belakang Panel DCS

Pada Gambar 6 sebelah kiri adalah komponen panel bagian atas yang terdiri dari beberapa komponen utama. Berikut adalah komponen – komponen terpasang pada panel atas DCS ditunjukkan Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Tampilan Belakang DCS Bagian Atas

Power supply digunakan untuk memberikan daya pada komponen – komponen internal panel DCS. Di samping *power supply* terdapat terminal block yang digunakan untuk membagi koneksi daya dari kabel *power supply* ke kabel komponen – komponen terkait. *Power supply* bisa mendapatkan input baik 110 VDC maupun 220 VDC dan mengubahnya menjadi 24 VDC. 24 VDC digunakan karena menjadi standar daya internasional bagi komponen – komponen industri.



Gambar 8 Tampilan Belakang DCS Bagian Bawah

Analog Input diperuntukkan perangkat lapangan dengan output analog 4 – 20 mA seperti transmitter. Analog Output diperuntukkan perangkat lapangan seperti control valve. Digital Input diperuntukkan perangkat lapangan dengan input 1 0 seperti switch, button. Digital Output diperuntukkan perangkat lapangan seperti solenoid valve. Keseluruhan perangkat lapangan berada di plant boiler drum heat exchanger simulator.

B. Hasil Perancangan Perangkat Lapangan

Perangkat lapangan yang digunakan ada dua, yakni DP Transmitter untuk Level dan untuk Flow. DP Transmitter type Level dipasang seperti pada Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9. DPT tipe Level (LT11)

DPT type Level yang terpasang untuk output Tank 11 memiliki spesifikasi berikut dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi DPT tipe Level

Max W.P.	3626 psi / 250 Bar
Supply	10.5 - 55 VDC
Serial No	01537226
Cal.	1000 to 0 mmH_2O
3051	CD2A02A1AB1DEE5H2
Output	4 – 20 mA
Product	Rosemount

DPT type Level juga perlu dilakukan kalibrasi dengan HART dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. Pembacaan DPT tipe Level pada HARTCOM

Dari hasil kalibrasi DPT type Level menggunakan HART, didapatkan nilai yang cukup lengkap seperti dalam Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Data DPT tipe Level pada HART

Address	LT11
PV	-609.223 mmH2O
AO	10.250 mA
LRV	-999.919 mmH2O
URV	0.000 mmH2O
Output	4 – 20 mA
% of range	2.441 %

Berdasarkan nilai – nilai yang telah didapatkan, maka dapat dibuat tabel hasil kalibrasi yang ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3 .Hasil Kalibrasi DPT tipe Level

Sensor	: DPT tipe Level (LT11)
Output	: 4 – 20 mA
LRV	: -1000 mmH2O
URV	: 0 mmH2O

Level %	PV (mmH_2O)	Ideal Output (mA)	Actual Output (mA)	Error (mA)	Error (%)
0%	-1000	4	4.015	0.015	0.09%
25%	-750	8	7.976	-0.024	-0.15%
50%	-500	12	12.031	0.031	0.19%
75%	-250	16	15.982	-0.018	-0.11%
100%	0	20	20.01	0.01	0.06%

DPT tipe Level perlu dikalibrasi agar sinyal yang dihasilkan sesuai dengan nilai besaran fisis pada proses. Sekilas nilai LRV dan URV nampak terbalik, namun ada beberapa alasan mengapa DPT harus dikondisikan seperti itu. Nilai URV lebih tinggi dibandingkan LRV karena pada tube URV diberikan cairan sejenis atau dipasang dengan metode wet leg. Tujuan dari pemasangan metode wet leg adalah ketika fluida melebihi nilai URV, pembacaan tidak menjadi terganggu sehingga dalam kondisi tersebut DPT dapat menampilkan pembacaan tertingginya. Jika dipasang dengan metode dry leg, dikhawatirkan cairan yang masuk ke tube URV dengan kondisi kering dapat mengacaukan pembacaan sebenarnya. Selain itu, juga dilakukan pemasangan DPT type Flow yang dipasang seperti pada Gambar 11 sebagai berikut.



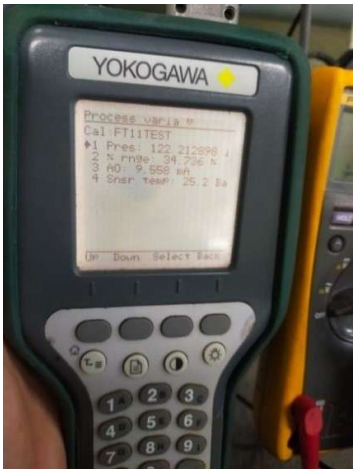
Gambar 2. DPT tipe Flow (FT11)

DPT type Flow yang terpasang untuk input Tank 11 memiliki spesifikasi berikut dalam Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Spesifikasi DPT tipe Flow

Max W.P.	3626 psi / 250 Bar
Supply	10.5 - 55 VDC
Serial No	01537227
Cal.	0 to 1000 inH_2O
3051	CD3A02A1AL5H2
Output	4 – 20 mA
Product	Rosemount

DPT tipe Flow ini difungsikan untuk mengirimkan pembacaan nilai Flow ke DCS serta dapat digunakan untuk mengontrol control valve output Tank 11. DPT type Flow juga perlu dilakukan kalibrasi dengan HART dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 12 sebagai berikut.



Gambar 3. Pembacaan DPT tipe Flow pada HARTCOM

Dari hasil kalibrasi DPT type Flow menggunakan HART, didapatkan nilai yang cukup lengkap seperti dalam Tabel 5 sebagai berikut.

Tabel 5. Data DPT tipe Flow pada HARTCOM

Address	FT11
Pres	122.212898 inH2O
% of range	34.736 %
AO	9.558 mA
Snsr temp	25.2 Ba

Berdasarkan nilai – nilai yang telah didapatkan, maka dapat dibuat tabel hasil kalibrasi yang ditunjukkan pada Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil Kalibrasi DPT tipe Flow

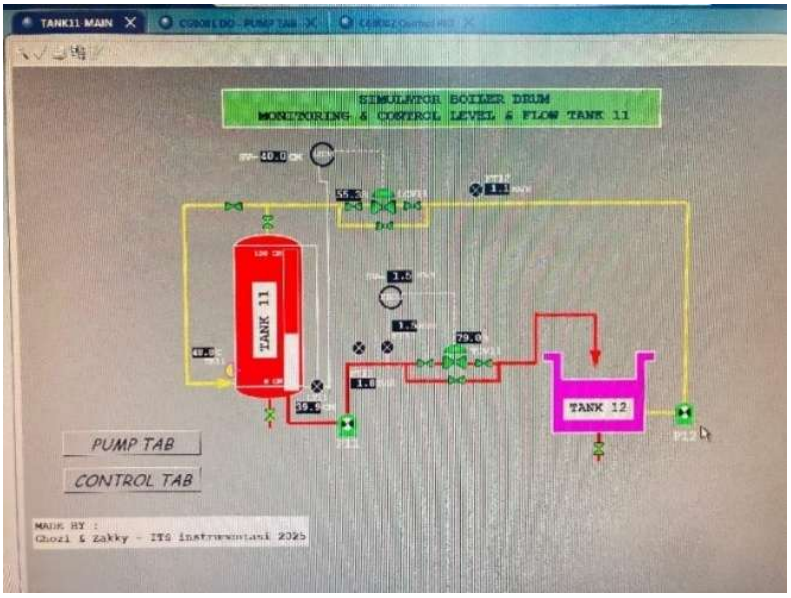
Sensor	**:**	DPT tipe Flow (FT11)
Output	**:**	4 – 20 mA
LRV	**:**	0 m3/h
URV	**:**	6 m3/h

Flow Setpoint (m^3/h)	mA Ideal	mA Terbaca	Flow Aktual (m^3/h)	Error (m^3/h)
0	4	4.012	0.045	0.045
1.5	8	7.956	1.484	-0.016
3	12	11.98	2.988	-0.012
4.5	16	16.035	4.523	0.023
6	20	19.95	5.981	-0.019

DPT tipe Flow perlu dikalibrasi agar sinyal yang dihasilkan sesuai dengan nilai besaran fisis pada proses. Sekilas ada beberapa nilai yang tidak sesuai dengan yang seharusnya, seperti nilai Pres yang muncul, nilai Snsr temp yang muncul, dan pembacaan lain yang tidak sesuai. Seharusnya nilai yang keluar adalah Flow, bukan tekanan maupun temperatur. Hal ini disebabkan terdapat kesalahan komunikasi antara Flow Transmitter dengan HART COM. Beruntungnya, kesalahan komunikasi tersebut tidak sampai memengaruhi address dari FT11 dan Analog Outputnya.

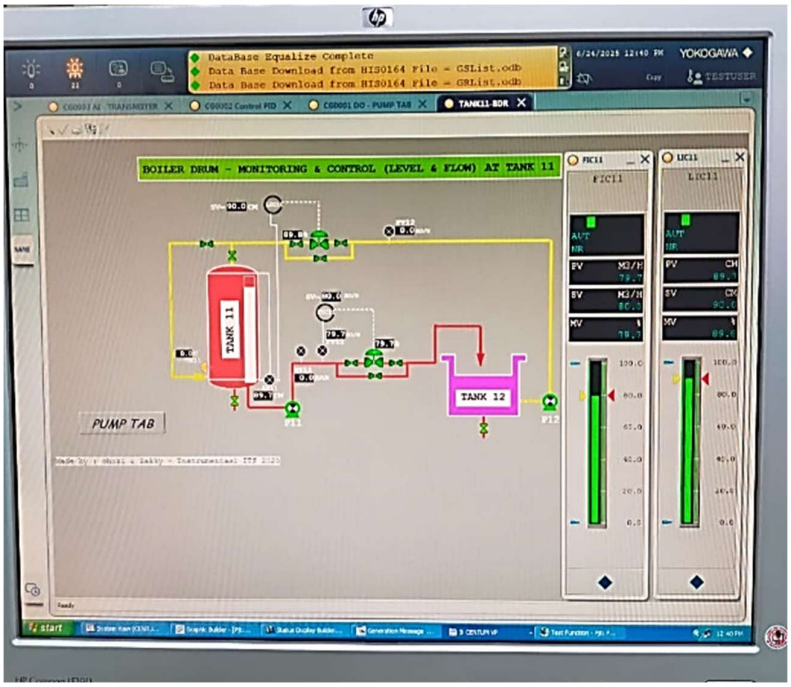
C. Hasil Perancangan Antarmuka Pengguna

Antarmuka Antarmuka pengguna yang telah dirancang pada Human Interface Station (HIS) dapat dilihat pada Gambar 13 sebagai berikut.



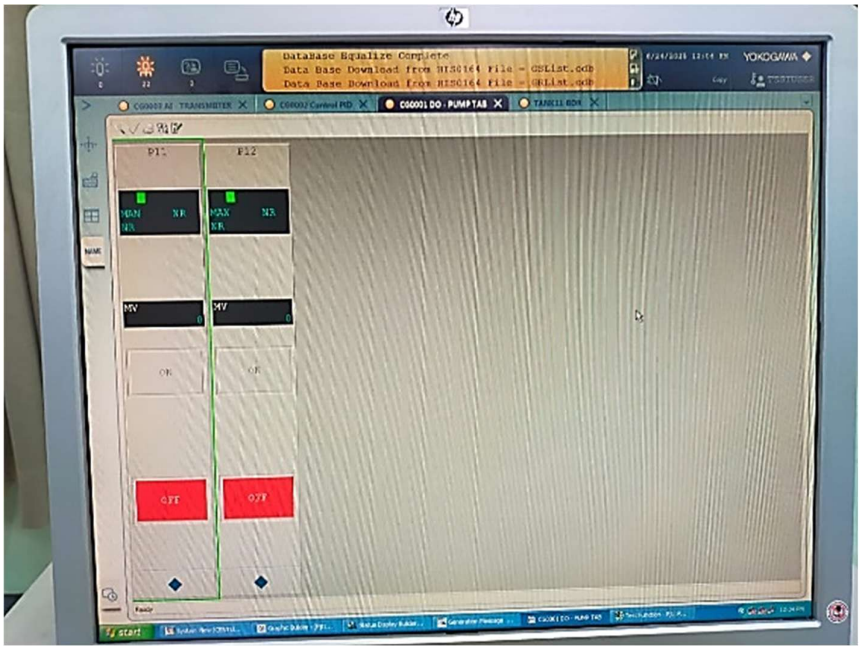
Gambar 4. Tampilan Utama HIS

Tampilan di atas merupakan tampilan utama bagi operator dengan nama TANK11-BDR. Operator agar dapat melihat nilainya Level dan Flow lebih jelas, maka dapat membuka tampilan faceplate dan diletakkan di samping desain GUI seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14 sebagai berikut.



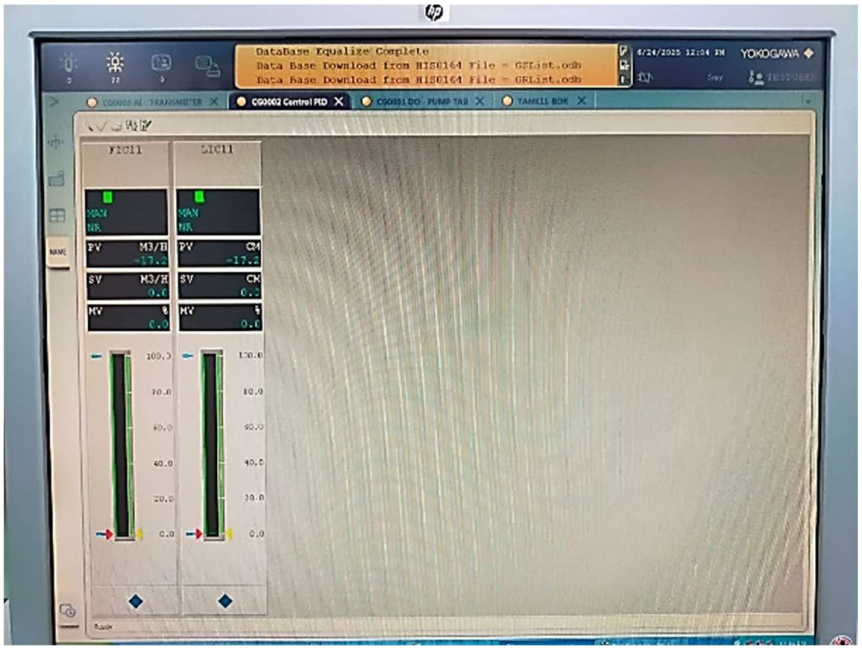
Gambar 5. Tampilan Lengkap HIS

Tampilan di atas adalah tampilan HIS lengkap dengan faceplate Level dan Flow nya. Terdapat pula tampilan yang hanya menampilkan faceplate yng dikelompokkan berdasarkan jenis sinyalnya. Tidak ada faceplate untuk tampilan dari Digital Input (DI) karena memang tidak ada perangkat lapangan yang memberikan sinyal digital pada penelitian kali ini. Berikut adalah tampilan dari faceplate Digital Output (DO) dengan nama CG0001-PUMP TAB ditunjukkan pada Gambar 15 sebagai berikut.



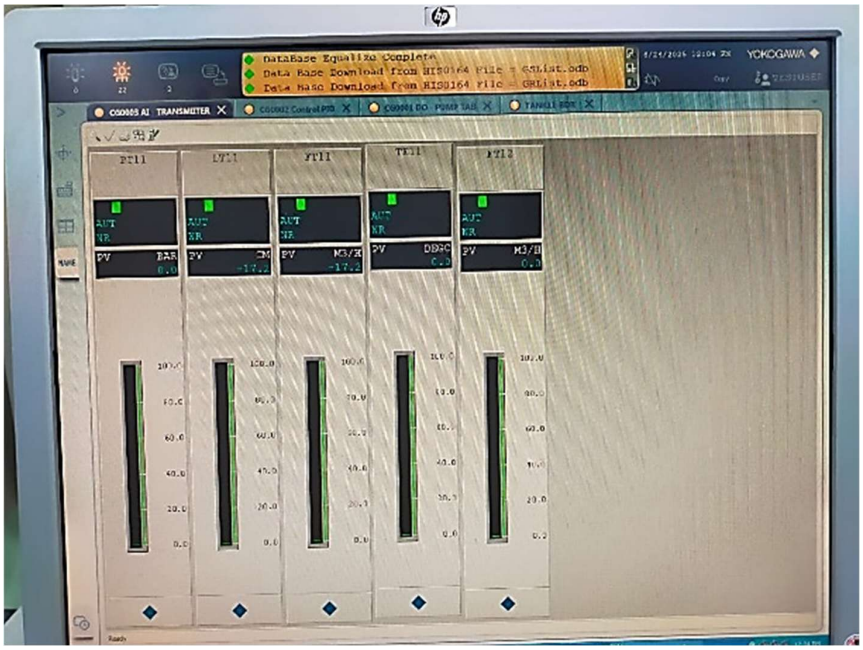
Gambar 6. Faceplate Digital Output

Faceplate Digital Output (DO) menunjukkan status nyala dan mati Pompa P11 dan P12. Operator dapat mengaktifkannya secara manual dengan mengklik tombol ON dan OFF yang tersedia. Ada juga tampilan dari Faceplate Analog Output (AO) dengan nama CG0002 Control PID seperti pada Gambar 16 sebagai berikut.



Gambar 7. Faceplate Analog Output

Faceplate Analog Output (AO) menunjukkan status persentase bukaan Control Valve FIC11 dan LIC11. Operator dapat mengubah nilai kontrol PID secara manual dengan melakukan tuning dan memasukkan nilai Kp, Ti, dan Td nya. Terdapat juga tampilan dari Faceplate Analog Input (AI) dengan nama CG0003 AI-TRANSMITTER yang ditunjukkan pada Gambar 17 berikut.



Gambar 8. Faceplate Analog Input

Faceplate Analog Input (AI) menunjukkan status pembacaan nilai level LT11, nilai flow FT11 dan FT12, tekanan PT11, dan temperatur TE11. Operator dapat mengubah nilai set pointnya secara manual untuk membandingkannya dengan nilai besaran fisis pada proses.

D. Hasil Perancangan Sistem Kontrol PID

Dari hasil running sistem setelah integrasi, maka didapatkan nilai – nilai penting seperti T yang merupakan nilai konstan dan L yang merupakan dead time. Nilai – nilai ini nantinya dapat digunakan untuk dasar perhitungan nilai kontrol PID pada proses, baik pada LIC maupun FIC.

Pengujian pertama yaitu kami menggunakan nilai tuning default pada kedua kontroler. Kontroler LIC11 menggunakan default nilai P = 100, I = 20, dan D = 0 dan dapat dilihat pada Gambar 18 sebagai berikut.



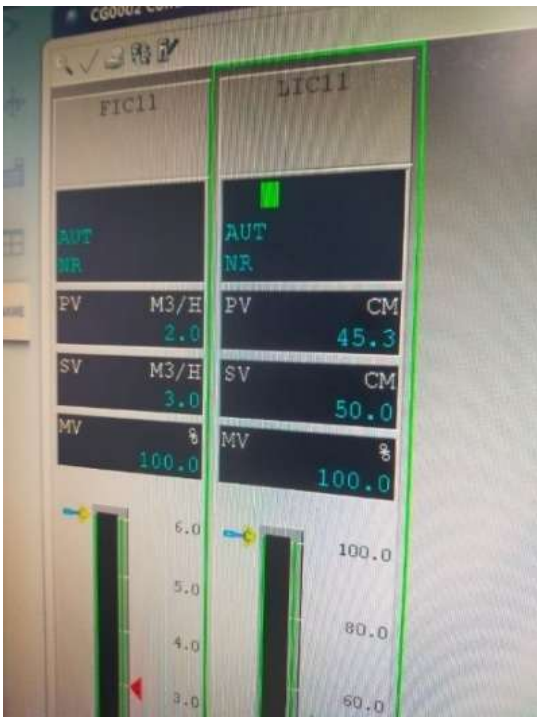
Gambar 9. Tuning Default dan Respon Dinamik pada LIC11

Sementara untuk kontroler FIC11 juga menggunakan default nilai P = 100, I = 20, dan D = 0 dan dapat dilihat pada Gambar 19 sebagai berikut.



Gambar 10. Tuning Default dan Respon Dinamik pada FIC11

Nilai tuning default selanjutnya dioperasikan dengan variabel proses dari nol hingga menyentuh set point. Set point untuk LIC11 adalah 40 cm, dan set point untuk FIC11 adalah 1,5 m3/h. Penentuan nilai set point ini berdasarkan uji coba dimana nilai set point dibuat maksimal sehingga bukaan Control Valve mencapai 100%. Dengan begitu, maka didapatkan maksimal nilai maksimal PV pada LIC11 adalah 45,3 cm dan nilai maksimal PV pada FIC11 adalah 2,0 m3/h. Nilai maksimal tersebut dapat dilihat pada Faceplate Analog Output seperti Gambar 20 berikut.



Gambar 11. Nilai PV Maksimal LIC11 dan FIC11

Pengujian kedua, kami memasukkan nilai PID dengan menggunakan rumus ziegler – nichols. Berdasarkan nilai penting seperti T dan L yang telah didapatkan, maka selanjutnya dapat dilakukan kalkulasi nilai Kp, Ti, Ki, Td, dan Kd dengan rumus – rumus perhitungan ziegler – nichols 1.

Dimulai perhitungan ziegler – nichols 1 untuk LIC11, kami mendapatkan nilai T = 94,29 detik dan L = 13,71 detik. Maka dapat dilakukan kalkulasi nilai Kp seperti berikut.

$$K_p = 1{,}2\frac{T}{L}$$

$$K_p = 1{,}2\frac{94{,}29}{13{,}71}$$

$$\boxed{K_p = 8{,}25295}$$

Berikut adalah kalkulasi untuk nilai Ti dan Ki nya,

$$T_i = 2L$$

$$T_i = 2\,.\,13{,}71$$

$$\boxed{T_i = 27{,}42}$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_i = \frac{8{,}25295}{27{,}42}$$

$$\boxed{K_i = 0{,}30098}$$

Lalu melakukan kalkulasi untuk nilai Td dan Kd nya,

$$T_d = 0{,}5L$$

$$T_d = 0{,}5\,.\,13{,}71$$

$$\boxed{T_d = 6{,}855}$$

$$K_d = K_p\,.\,T_d$$

$$K_d = 8{,}25295\,.\,6{,}855$$

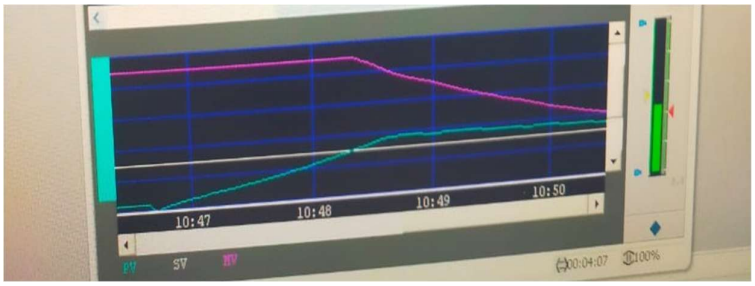
$$\boxed{K_d = 56{,}574}$$

Setelah dilakukan kalkulasi Kp, Ti, Ki, Td, dan Kd seperti di atas, maka selanjutnya memasukkan nilai – nilai tersebut ke dalam kontroler LIC11 ditunjukkan pada Gambar 21 sebagai berikut.

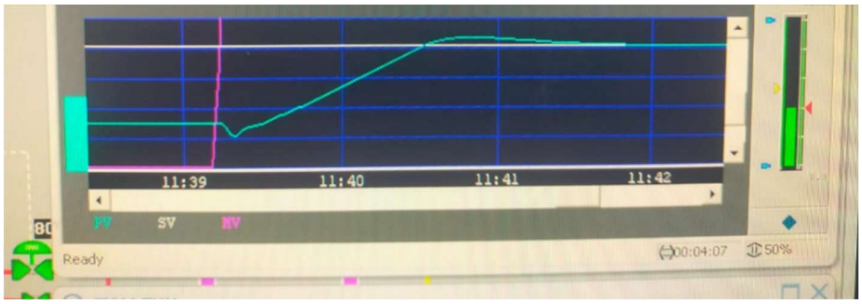


Gambar 12. Nilai Tuning Ziegler – Nichols pada LIC11

Dari hasil pengujian kedua, maka dapat dibandingkan nilai tuning default dengan nilai tuning ziegler – nichols 1. Hasilnya dapat dilihat pada grafik masing – masing tuning seperti pada Gambar 22 dan 23 berikut.



Gambar 13. Respon Dinamik Tuning Default pada LIC11



Gambar 14. Respon Dinamik Tuning Ziegler – Nichols pada LIC11

Dari kedua grafik diatas, terlihat bahwa hasil tuning pada kontroler LIC11 menggunakan metode Ziegler – Nichols menunjukkan lebih baik dibandingkan hasil tuning default. Hal itu dapat dibuktikan ketika menggunakan tuning default (P = 100, I = 20, D = 0), nilai T yang didapatkan sebesar 94,29 detik dan nilai L yang didapatkan sebesar 13,71 detik. Sementara ketika menggunakan hasil tuning ziegler – nichols (P = 8,3 ; I = 27,4 ; D = 6,9), nilai T yang didapatkan sebesar 73,71 detik dan nilai L yang didapatkan sebesar 6,86 detik. Artinya, nilai T yang didapatkan dari running hasil tuning ziegler – nichols lebih cepat 20,58 detik dibandingkan hasil tuning default, dan nilai L yang didapatkan dari running hasil tuning ziegler – nichols lebih cepat 6,85 detik dibandingkan hasil tuning default.

Hasil tersebut menunjukkan pentingnya tuning PID dalam implementasi sistem kontrol berbasis DCS. Parameter default belum tentu sesuai dengan karakteristik dinamik aktual plant, karena setiap loop memiliki karakteristik proses, gain, time constant, dan dead time yang berbeda. Dengan melakukan tuning berdasarkan respons aktual proses, parameter kontrol dapat disesuaikan sehingga pengendali bekerja lebih responsif dalam mencapai set point. Pada LIC11, hasil tuning Ziegler–Nichols menghasilkan penurunan nilai T dan L dibandingkan tuning default. Hal ini menunjukkan bahwa tuning bukan sekadar perubahan nilai Kp, Ti, dan Td, tetapi merupakan langkah penting untuk memperoleh respons pengendalian yang lebih cepat dan sesuai dengan karakteristik proses.

Selanjutnya yaitu melakukan perhitungan ziegler – nichols 1 untuk FIC11, kami mendapatkan nilai T = 17,14 detik dan L = 1,71 detik. Maka dapat dilakukan kalkulasi nilai Kp seperti berikut.

$$K_p = 1{,}2\frac{T}{L}$$

$$K_p = 1{,}2\frac{17{,}14}{1{,}71}$$

$$\boxed{K_p = 12{,}0281}$$

Berikut adalah kalkulasi untuk nilai Ti dan Ki nya,

$$T_i = 2L$$

$$T_i = 2\,.\,1{,}71$$

$$\boxed{T_i = 3{,}42}$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

$$K_i = \frac{12{,}0281}{3{,}42}$$

$$\boxed{K_i = 3{,}51688}$$

Lalu melakukan kalkulasi untuk nilai Td dan Kd nya,

$$T_d = 0{,}5L$$

$$T_d = 0{,}5\,.\,1{,}71$$

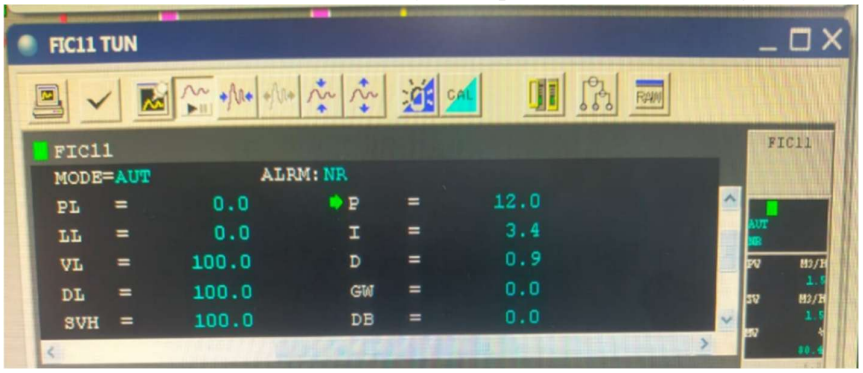
$$\boxed{T_d = 0{,}855}$$

$$K_d = K_p \,.\, T_d$$

$$K_d = 12{,}0281 \,.\, 0{,}855$$

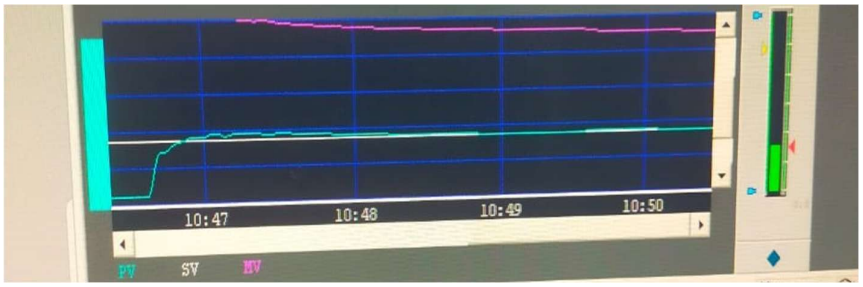
$$\boxed{K_d = 10{,}284}$$

Setelah dilakukan kalkulasi Kp, Ti, Ki, Td, dan Kd seperti di atas, maka selanjutnya memasukkan nilai – nilai tersebut ke dalam kontroler FIC11 ditunjukkan pada Gambar 24 sebagai berikut.

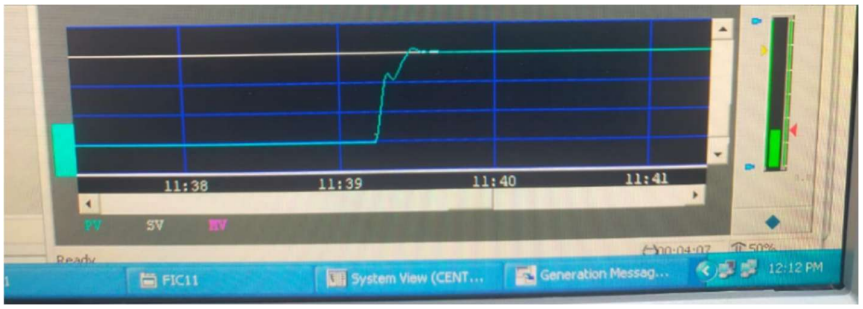


Gambar 15. Nilai Tuning Ziegler – Nichols pada FIC11

Dari hasil pengujian kedua, maka dapat dibandingkan nilai tuning default dengan nilai tuning ziegler – nichols. Hasilnya dapat dilihat melalui grafik masing tuning seperti Gambar 25 dan Gambar 26 berikut.



Gambar 16. Respon Dinamik Tuning Default pada FIC11



Gambar 17. Respon Dinamik Tuning Ziegler – Nichols pada FIC11

Dari kedua grafik diatas, terlihat bahwa hasil tuning pada kontroler FIC11 menggunakan metode Ziegler – Nichols menunjukkan lebih baik dibandingkan hasil tuning default. Hal itu dapat dibuktikan ketika menggunakan tuning default (P = 100, I = 20, D = 0), nilai T yang didapatkan sebesar 17,14 detik dan nilai L yang didapatkan sebesar 1,71 detik. Sementara ketika menggunakan hasil tuning ziegler – nichols (P = 12,0 ; I = 3,4 ; D = 0,9), nilai T yang didapatkan sebesar 13,71 detik dan nilai L yang didapatkan sebesar 1,71 detik. Artinya, nilai T yang didapatkan dari running hasil tuning ziegler – nichols lebih cepat 3,43 detik dibandingkan hasil tuning default, dan nilai L yang didapatkan dari running hasil tuning ziegler – nichols tidak ada perbedaan dibanding hasil tuning default.

Pada FIC11, hasil tuning juga menunjukkan bahwa penyesuaian parameter kontrol memberikan respons yang lebih cepat. Meskipun nilai L tidak berubah, nilai T berkurang dari 17,14 detik menjadi 13,71 detik. Hal ini menegaskan bahwa efektivitas tuning PID perlu dinilai berdasarkan karakteristik masing-masing loop, bukan hanya berdasarkan perubahan seluruh parameter respons. Dengan demikian, tuning PID penting untuk memastikan bahwa pengendalian flow dapat merespons perubahan proses secara tepat tanpa mengorbankan kestabilan sistem.

Pengambilan nilai waktu diambil dari berdasarkan rentang waktu tertampil terhadap panjangnya. Dalam waktu 1 menit, jarak satu garis ke garis lainnya adalah 3,5 cm. Dengan mengetahui perbandingan jarak waktu terhadap jarak garis, maka akan memudahkan dalam mendapatkan variabel seperti T dan L. Kita dapat mengasumsikan jarak garis adalah X.

Seperti pada kontroler LIC11, nilai T pada tuning default sebesar 94,29 detik didapatkan saat jaraknya 5,5 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3{,}5} \cdot 60 = T$$

$$\frac{5{,}5}{3{,}5} \cdot 60 = 94{,}29$$

Dengan kontroler yang sama yaitu LIC11, untuk mendapatkan nilai L pada tuning default sebesar 13,71 detik didapatkan saat jaraknya 0,8 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3{,}5} \cdot 60 = T$$

$$\frac{0{,}8}{3{,}5} \cdot 60 = 13{,}71$$

Masuk ke metode tuning Ziegler – Nichols, untuk LIC11 nilai T sebesar 73,71 detik didapatkan saat jaraknya 4,3 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3{,}5} \cdot 60 = T$$

$$\frac{4{,}3}{3{,}5} \cdot 60 = 73{,}71$$

Dengan metode Ziegler – Nichols untuk LIC 11 pula, nilai L sebesar 6,86 detik didapatkan saat jaraknya 0,4 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3{,}5} \cdot 60 = T$$

$$\frac{0{,}4}{3{,}5} \cdot 60 = 6{,}86$$

Kemudian pada kontroler FIC11, nilai T pada tuning default sebesar 17,14 detik didapatkan saat jaraknya 1,0 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3{,}5} \cdot 60 = T$$

$$\frac{1{,}0}{3{,}5} \cdot 60 = 17{,}14$$

Dengan kontroler yang sama yaitu FIC11, untuk mendapatkan nilai L pada tuning default sebesar 1,71 detik didapatkan saat jaraknya 0,1 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3{,}5} \cdot 60 = T$$

$$\frac{0,1}{3,5} . 60 = 1,71$$

Masuk ke metode tuning Ziegler – Nichols, untuk FIC11 nilai T sebesar 13,71 detik didapatkan saat jaraknya 0,8 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3,5} . 60 = T$$

$$\frac{0,8}{3,5} . 60 = 13,71$$

Dengan metode Ziegler – Nichols untuk FIC11 pula, nilai L sebesar 1,71 detik, juga didapatkan saat jaraknya 0,1 cm dari rumus scaling berikut.

$$\frac{X}{3,5} . 60 = T$$

$$\frac{0,1}{3,5} . 60 = 1,71$$

Jika dikaitkan dengan proses variabel yang ada, maka jenis kontrol yang dapat digunakan yaitu kontrol PI dan PID. Kontrol PI seperti pada tuning default dan kontrol PID seperti pada tuning Ziegler – Nichols. Kedua jenis kontrol ini dapat digunakan terutama pada variabel Level dan Flow. Terlihat perubahan nilai pada Level cenderung lebih lambat dibandingkan dengan perubahan nilai pada Flow. Hal itu dapat terlihat pada grafik – grafik respon dinamik yang telah diperlihatkan pada penjelasan sebelumnya. Hasil dari penelitian ini menunjukkan kontrol PID bisa menghasilkan respon dinamik yang memiliki waktu steady lebih cepat dibandingkan dengan kontrol PI.

Secara praktis, pentingnya tuning PID pada penelitian ini terletak pada upaya memperoleh keseimbangan antara kecepatan respons dan kestabilan proses. Pada sistem industri, respons yang terlalu lambat dapat menyebabkan proses terlambat mencapai kondisi operasi yang diinginkan, sedangkan parameter yang terlalu agresif dapat menimbulkan overshoot dan osilasi. Oleh sebab itu, tuning PID menjadi tahap penting setelah integrasi field instrument dan DCS untuk memastikan bahwa data pengukuran yang sudah benar dapat diterjemahkan menjadi aksi pengendalian yang efektif melalui control valve.

E. Hasil dan Pembahasan/ Diskusi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tuning PID dengan metode Ziegler-Nichols secara konsisten memberikan respons sistem yang lebih cepat dibandingkan tuning default. Secara kuantitatif, nilai T dan L yang lebih kecil mencerminkan bahwa sistem mampu mencapai kondisi steady state dan mengatasi gangguan dengan waktu yang lebih singkat.

Pembahasan yang lebih tajam perlu dilakukan terkait mengapa metode Ziegler-Nichols menghasilkan respons yang lebih cepat. Hal ini dapat dianalisis dari sudut pandang dinamika sistem, khususnya terkait dead time (L) dan konstanta waktu (T). Pada sistem proses, dead time merupakan periode di mana tidak ada respon yang terukur setelah sinyal diberikan, sementara konstanta waktu menunjukkan kecepatan sistem dalam merespons perubahan input.

Metode Ziegler-Nichols didasarkan pada pendekatan open-loop yang mengukur karakteristik proses dari respons terhadap perubahan input, sehingga secara langsung memperhitungkan dead time dan konstanta waktu. Ketika dead time (L) dan konstanta waktu (T) yang diukur dari proses lebih kecil, parameter tuning yang dihasilkan cenderung lebih agresif dan responsif. Hal ini karena parameter Kp, Ti, dan Td yang dihitung dari T dan L menyesuaikan pengendali untuk merespons perubahan dengan lebih cepat, tanpa menunggu waktu yang lama seperti pada sistem dengan dead time dan time constant yang lebih besar.

Secara matematis, semakin kecil nilai L dan T, semakin cepat pula respons sistem karena pengendali mampu mengatasi gangguan dan mencapai setpoint dengan interval waktu yang lebih singkat. Sebaliknya, tuning default yang menggunakan parameter yang tidak didasarkan pada karakteristik aktual sistem cenderung menghasilkan respons yang lebih lambat karena didasarkan pada nilai konstan yang tidak menyesuaikan dengan dinamika proses nyata. Oleh karena itu, Ziegler-Nichols secara tidak langsung menyesuaikan parameter kontrol dengan karakteristik proses yang diukur, sehingga menghasilkan respons yang lebih cepat.

KESIMPULAN

Hasil perancangan integrasi dari plant simulator boiler drum heat exchanger ke DCS hingga antarmuka komputer membuahkan hasil yang memuaskan. Perancangan dimulai dari mengidentifikasi komponen internal panel DCS, mengidentifikasi dan kalibrasi perangkat lapangan, hingga pembuatan desain dan uji coba antarmuka HIS telah dilakukan dan telah terintegrasi ditandai dengan saat mengoperasikan plant, pembacaan dari transmitter masuk ke DCS dan tertampil hingga antarmuka HIS. Aktuator juga mampu menerima sinyal dari DCS yang diberikan masukan dari operator melalui antarmuka HIS.

Hasil dari sistem kontrol level dan flow pada Tank 11 setelah menggunakan kontrol PID adalah lebih baik dibandingkan menggunakan tuning kontrol yang sudah ada. Dengan menggunakan tuning Ziegler – Nichols, didapatkan nilai T dan L yang lebih cepat dibandingkan menggunakan tuning default, sehingga respon dinamik juga lebih cepat dalam mencapai set point. Nilai kontrol PID untuk LIC11 didapatkan P = 8,3 ; I = 27,4 ; D = 6,9. Sementara nilai kontrol PID untuk FIC11 didapatkan P = 12,0 ; I = 3,4 ; D = 0,9. Nilai tuning Ziegler – Nichols didapatkan menggunakan metode pertama. Set point pada LIC11 yaitu 40 cm, dan set point pada FIC11 yaitu 1,5 m3/h.

Temuan tersebut memperlihatkan bahwa tuning PID merupakan komponen penting dalam keseluruhan integrasi instrumentasi–DCS karena keberhasilan komunikasi dan pembacaan variabel proses belum menjamin diperolehnya respons kontrol yang optimal. Tuning diperlukan untuk menyesuaikan parameter kontrol dengan karakteristik dinamik masing-masing loop sehingga sistem dapat mencapai set point dengan respons yang lebih cepat dan stabil.

SARAN / REKOMENDASI

a. Perawatan dan perbaikan alat: Setelah dilakukan penelitian pada plant *boiler drum heat exchanger simulator*, disarankan agar dilakukan perawatan dan perbaikan pada beberapa perangkat lapangan, seperti *Vortex Flow Meter* (FT12) yang tidak mengirimkan sinyal analog 4–20 mA dan terdeteksi *stuck* di 0.000 mA. Selain itu, disarankan agar komputer HIS yang terhubung ke DCS dapat ditambah agar memungkinkan pembagian peran dan akses antara operator dan engineering. Perbaikan juga diperlukan pada elemen panel seperti tombol, *relay*, *fuse*, dan *switch*, khususnya pada *Panel Local Plant* yang mengalami kegagalan respon, seperti tombol Off pada Pompa P11 yang tidak merespons perintah dari DCS melalui komputer HIS.
b. Penerapan di Lapangan: Disarankan agar metode tuning Ziegler-Nichols diterapkan secara langsung pada sistem industri yang memanfaatkan DCS, terutama untuk proses yang membutuhkan respons cepat dan akurat. Sebelum implementasi, sebaiknya dilakukan simulasi dan pengujian lapangan secara hati-hati untuk menyesuaikan parameter agar tidak menimbulkan overshoot atau osilasi berlebihan yang dapat merugikan proses.
c. Penggunaan Metode Tuning Lain: Untuk penelitian lanjutan, disarankan mengeksplorasi metode tuning lain seperti Cohen-Coon yang lebih memperhatikan dead time dan konstanta waktu secara lebih detail, atau menggunakan algoritma cerdas seperti metode optimasi berbasis AI (misalnya

algoritma genetika, pembelajaran mesin) yang mampu menyesuaikan parameter kontrol secara adaptif dan optimal sesuai karakteristik proses yang kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

Ar-Ridho, M., & Irawan, D. (2018). Tuning PID steam drum level controller pada Boiler 52-B-101A di PT Pertamina (Persero) RU VI Balongan berbasis algoritma Firefly. *E-Link: Jurnal Teknik Elektro dan Informatika, 13*(2), 43–48. https://doi.org/10.30587/e-link.v13i2.659

Brenner, A., Hirsch, T., Röger, M., & Pitz-Paal, R. (2021). *State-of-the-art measurement instrumentation and most recent measurement techniques for parabolic trough collector fields*. Energies, 14(21), Article 7166. https://doi.org/10.3390/en14217166

Derugo, D., & Szabat, K. (2015). *Adaptive neuro-fuzzy PID controller for nonlinear drive system*. COMPEL - *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 34(1), 109–122. https://doi.org/10.1108/COMPEL-10-2014-0257

Fang, Z., Li, Y., & Zhao, H. (2023). *Design of Field Bus Control System for Mining*. Applied Sciences, 13(4), 2398. https://www.mdpi.com/2076-3417/13/4/2398

Gardner, A. T., Blakeslee, P. J., & Pohlman, J. W. (2009). *A differential pressure instrument with wireless telemetry for in situ measurement of fluid flow across sediment–water boundaries*. Sensors, 9(7), 5483–5497. https://doi.org/10.3390/s90705483

Geng, L., & Li, W. (2016). *Some thoughts and practice on performance improvement in Distributed Control System based on fieldbus and Ethernet*. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(9), 1–10. https://doi.org/10.1177/1687814016667434

Irmawan, I., & Prasetiyo, A. D. (2020). *Adaptive control of neuro fuzzy PID for fixed wing UAV flight stability*. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI), 9(1), 71–78. https://doi.org/10.22146/jnteti.v9i1.142

Putra, A. B., et al. (2023). *Design of Instrumentation and Control System Integration for* DECY-13 *Cyclotrons Commissioning*. Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi. https://journal.ugm.ac.id/jntet/article/view/81122

Rakhman, E., & Feriyonika, F. (2018). *Distributed Control System applied in temperature control by coordinating multi-loop controllers.* TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control), 16(3), 1331–1338. https://doi.org/10.12928/telkomnika.v16i3.8451

Rifa'i, M., Aripriharta, A., & Edo, D. (2021). Analisis metode PID pada mini plant pasteurisasi susu berbasis sistem DCS. Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik, 1(1), 747–757. https://doi.org/10.17977/um068v1i102021p747-757

Wang, J., Li, Y., & Zhao, Z. (2021). *Flow rate measurement of production profile logging using thermal method*. Water, 13(11), 1453. https://doi.org/10.3390/w13111453

Wang, J., Zhao, Z., Li, Y., & Cheng, X. (2018). *An optimal fuzzy PID controller design based on conventional PID control and nonlinear factors*. *Applied Sciences*, 9(6), 1224. https://doi.org/10.3390/app9061224

Wang, S., Liu, Y., Zhang, Y., & Chen, B. (2020). *Field device integration in DCS engineering using a device model*. IEEE *Transactions on Industrial Informatics*. https://ieeexplore.ieee.org/document/9040215

Wijaya, E. A. (2021). Perancangan sistem kontrol level air steam drum pada boiler PLTU menggunakan Neuro-PID [Skripsi, Politeknik Negeri Semarang]. Repository Universitas Brawijaya. http://repository.ub.ac.id/id/eprint/184506

Zhou, M., Li, T., & Zhang, H. (2023). *Application of Fieldbus Technology to Enable Enhanced Actuator Control of Automated Inspection for Offshore Structures*. Processes, 11(3). https://doi.org/10.3390/pr11030512