

Perancangan dan Realisasi Sistem Kendali *Furnace* Menggunakan *Ratio Control* Berbasis *Distributed Control System* Centum VP R05.04.20

Listi Restu Triani¹⁾, Asep Najmurrokhman^{2*)}

¹⁾Pusat Riset dan Teknologi Atmosfer
Organisasi Riset Penerbangan dan Antariksa, Badan Riset dan Inovasi Nasional
Jl. Dr. Djunjunan No 133 Bandung, 40173 Jawa Barat

²⁾Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani
Jalan Terusan Jend. Sudirman, Cimahi 40531

*)Korespondensi : asep.najmurrokhman@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Dalam industri pengolahan minyak dan gas, sistem kendali yang andal sangat penting untuk menjamin efisiensi energi dan keselamatan operasi. Salah satu elemen krusial adalah pengendalian rasio udara-bahan bakar (*air-to-fuel ratio*) dalam proses pembakaran pada furnace. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem kendali furnace menggunakan strategi *ratio control* berbasis *Distributed Control System (DCS) Centum VP R5.04.20* dari Yokogawa. Sistem dirancang untuk mengatur laju aliran massa udara dan bahan bakar secara presisi agar diperoleh efisiensi pembakaran optimal serta emisi minimal. Pengendalian dilakukan melalui konfigurasi PID di dalam DCS, dengan parameter *tuning* yang dioptimalkan untuk mencapai kestabilan proses. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dalam kondisi stabil pada *ratio gain* sebesar 2,5, serta dengan parameter PID masing-masing pengendali, yaitu FIC102 ($P=100$, $I=10$, $D=0$) dan PIC201 ($P=180$, $I=60$, $D=0$). Sistem ini berhasil meningkatkan respons kendali dan efisiensi operasi *furnace*, sekaligus memberikan dasar bagi penerapan kontrol otomatisasi yang lebih canggih di masa depan.

Kata kunci : *distributed control system*, PID, *ratio control*, sistem kendali *furnace*

Abstract

In the oil and gas processing industry, a reliable control system is essential to ensure energy efficiency and operational safety. One of the critical elements is the control of the air-to-fuel ratio in the combustion process of the furnace. This study aims to design and implement a furnace control system using a ratio control strategy based on the Yokogawa Distributed Control System (DCS) Centum VP R5.04.20. The system is designed to precisely regulate the mass flow rates of air and fuel to achieve optimal combustion efficiency and minimize emissions. Control is executed via PID configuration within the DCS, with parameter tuning optimized to maintain process stability. The implementation results indicate that the system operates under stable conditions with a ratio gain of 2.5, and PID parameters for FIC102 ($P=100$, $I=10$, $D=0$) and PIC201 ($P=180$, $I=60$, $D=0$). The system successfully improves control response and furnace operational efficiency, while also providing a foundation for the future adoption of more advanced automation systems.

Keywords : *distributed control system*, furnace control system, PID, *ratio control*

Info Makalah:

Dikirim : 06-10-2025;
Revisi 1 : 06-25-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-28-2025.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-81321815649
e-mail : asep.najmurrokhman@lecture.unjani.ac.id

I. PENDAHULUAN

Dalam industri pengolahan minyak, sistem pengendalian menjadi sesuatu yang sangat penting [1]–[3]. Keberadaanya digunakan untuk mendapatkan proses pengolahan yang efektif dan efisien serta menjamin keselamatan (*safety*) proses industri di lapangan. Proses tersebut diharapkan mendapatkan hasil pengolahan yang optimal, yaitu mendapatkan hasil produk yang berkualitas dengan biaya produksi yang relatif kecil.

Kualitas yang baik dapat dicapai dengan tingkat kestabilan dari proses tersebut, dimana kestabilan dapat dicapai dengan mengurangi nilai *error* pada setiap bagian proses. Salah satu bagian dari unit pengolahan minyak adalah *furnace*. *Furnace* (tungku) pada industri pengolahan, khususnya di sektor minyak dan gas maupun pabrik kimia, memiliki peran penting dalam menyediakan energi panas untuk berbagai proses seperti distilasi, *reforming*, dan *cracking*. Pada bagian ini terjadi proses pembakaran minyak mentah (*crude oil*) dengan radiasi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar seperti gas alam dan solar. Hasil dari pengolahan diteruskan ke bagian evaporator sebelum ke bagian fraksinasi untuk proses pemisahan minyak berdasarkan fraksinya sehingga akan didapatkan produk sesuai dengan yang diharapkan. Setiap unit *furnace* memiliki satu atau lebih sistem pengendalian untuk menjaga agar semua proses berada dalam kondisi stabil. Kinerja dan keselamatan *furnace* sangat bergantung pada sistem kendali yang baik, sebab kendali yang tidak memadai dapat menimbulkan ketidakefisienan energi, peningkatan emisi, dan kerusakan peralatan serta risiko keselamatan tinggi [4]. Salahsatu bentuk strategi pengendalian berupa kendali rasio (*ratio control*) yang terbukti efektif dalam menjaga rasio udara-bahan bakar (*air-to-fuel*) yang tepat selama proses pembakaran. Kendali rasio yang akurat memastikan pembakaran sempurna, meminimumkan kelebihan udara, dan mengurangi pembentukan polutan seperti CO dan NO_x, sehingga meningkatkan efisiensi bahan bakar dan memenuhi regulasi lingkungan [5].

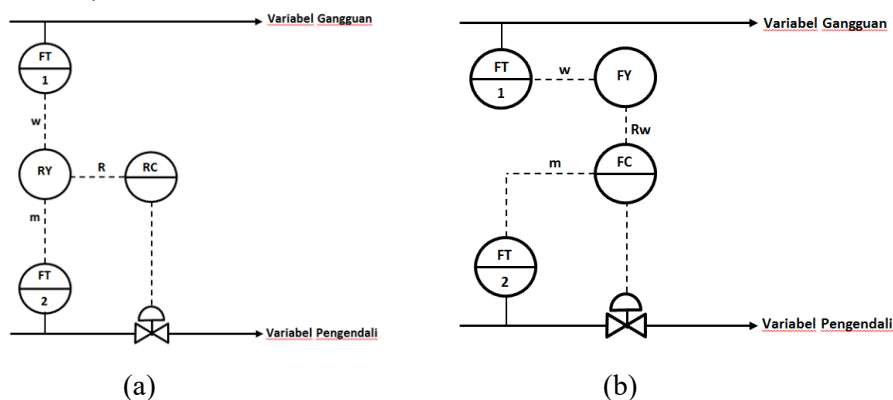
Kendali rasio (*ratio control*) adalah sistem pengendalian yang lazim dipakai di suatu proses yang menghendaki komposisi campuran dua komponen atau lebih dengan suatu perbandingan tertentu [6]. Contoh *ratio control* adalah pencampuran komponen A dan B dengan perbandingan tertentu, dimana hasil perbandingan yang dikehendaki harus selalu sama, maka didapat nilai $K = A/B$. Aplikasi penggunaan *ratio control* diantaranya adalah perbandingan laju alir dua reaktan yang masuk kedalam reaktor, pencampuran dua cairan, perbandingan bahan bakar dan udara, perbandingan laju refluks dan distilat dalam kolom distilasi, dan lain-lain. Ada dua metode pengendalian rasio seperti diberikan dalam Gambar 1. Metode pertama membandingkan dua aliran yang diperlihatkan pada Gambar 1(a). Nilai rasio diberikan oleh persamaan (1) berikut

$$R = \frac{m}{w} \quad (1)$$

dan *gain* proses dihitung melalui rumus (2) berikut

$$K_p = \frac{dR}{dm} = \frac{1}{w} \quad (2)$$

Karena hubungan antara *gain* (K_p) dan gangguan (w) tidak linier, model pertama ini tidak bisa digunakan dalam praktik. Agar bisa diterapkan dalam praktik, maka model kedua dibangun dengan mengubah konfigurasi menjadi bentuk kedua seperti diberikan dalam Gambar 1(b), yaitu dengan mengalikan nilai gangguan dengan bilangan atau faktor rasio, kemudian hasilnya dikirim ke *setpoint* pengendali aliran. Dengan model seperti ini maka pengendali rasio merupakan tipe khusus dari pengendali umpan maju (*feedforwards control*).



Gambar 1. Metode kendali *ratio* (a) RY-faktor rasio; (b) FY-faktor rasio

Dalam sistem pembakaran baik di *boiler* maupun *furnace*, untuk menjamin agar bahan bakar dapat habis terbakar, maka udara yang dimasukkan ke ruang bakar harus berlebih (*excess*) dalam jumlah tertentu sesuai hukum stoikiometri [7]. Semakin banyak *excess* udara maka banyak energi yang terbuang sehingga tidak ekonomis, sebaliknya sedikit *excess* udara akan menyebabkan sebagian bahan bakar

tidak terbakar yang bisa membahayakan. Dengan demikian, diperlukan upaya menjaga *excess* udara pada nilai yang optimal melalui penggunaan *air/fuel ratio control* (perbandingan antara udara/bahan bakar).

Di lain pihak, implementasi sistem otomatisasi menggunakan prinsip *distributed control system* (DCS) menjadi fundamental karena kemampuan pemantauan secara *real-time*, pencatatan (*logging*), dan pengendalian secara lingkaran tertutup [8]. Yokogawa Centum VP R5.04.20 adalah salah satu platform DCS modern yang menawarkan ketahanan, skalabilitas, dan dukungan strategi kontrol kompleks seperti PID dan *ratio control* [9]. Beberapa penelitian terkini telah meninjau efektivitas DCS dalam optimasi *loop* pengendalian proses, misalnya [10]–[12]. Athappan *et al.* (2021) menerapkan pengendalian suhu dalam industri proses menggunakan platform DCS Yokogawa Centum VP [10]. Sementara itu, Qu dan You (2021) berhasil mengintegrasikan DCS untuk kendali suhu sintering *furnace* berbasis PID dan diagnosis kesalahan [11], sedangkan Yawisit (2025) melakukan analisis kinerja Centum-VP dalam pengaturan *control loop* dan menunjukkan peningkatan stabilitas proses [12]. Sementara itu, penelitian CFD oleh Tutar *et al.* (2025) menunjukkan hubungan antara geometri *furnace* dan distribusi massa pada proses reforming [13]. Selain itu, strategi MPC (*Model Predictive Control*) dan DMC (*Dynamic Matrix Control*) juga telah diusulkan guna meningkatkan kontrol rasio dan emisi [14], [15]. Meskipun implementasi rasio kontrol dalam literatur akademik dan industri semakin banyak, studi yang menyajikan perancangan dan realisasi sistem kendali furnace berbasis DCS Centum VP dengan *tuning* PID dan parameter rasio di lapangan masih terbatas. Dalam industri proses modern, integrasi DCS dengan pengendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) tetap menjadi pendekatan utama untuk mencapai kendali yang presisi dan stabilitas operasional. DCS memungkinkan desentralisasi pengendalian, meningkatkan keandalan sistem, dan memfasilitasi integrasi dengan teknologi canggih seperti *digital twin* dan kecerdasan buatan (AI) untuk optimasi proses secara *real-time*. Pengendali PID, dengan struktur sederhana namun efektif, digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pengendalian suhu, tekanan, dan aliran, serta dalam sistem pembakaran dan reaktor kimia. Kemajuan terkini mencakup pengembangan metode *tuning* otomatis berbasis pembelajaran penguatan (*reinforcement learning*) untuk meningkatkan kinerja dan adaptabilitas pengendali PID dalam kondisi operasi yang dinamis. Selain itu, integrasi DCS dengan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) dan *Programmable Logic Controller* (PLC) memperluas kemampuan pemantauan dan kendali jarak jauh, meningkatkan efisiensi dan responsivitas sistem. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mendesain sistem *ratio control* berbasis DCS Centum VP R5.04.20 untuk *furnace* pada industri proses, mengimplementasikan konfigurasi PID dan *ratio gain* sesuai kebutuhan nyata di instalasi proses, dan mengevaluasi kestabilan operasional dan efisiensi pembakaran melalui *data trend* dan pengukuran lapangan.

II. METODE

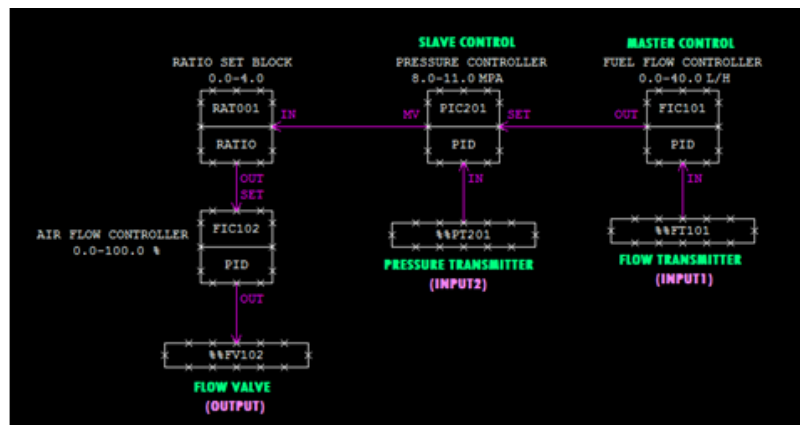
Sistem kendali *ratio control* yang dirancang diberikan dalam diagram skematik yang diberikan dalam Gambar 1. Simbol dan arti yang digunakan dalam Gambar 2 diberikan dalam Tabel 1. Sementara itu, diagram blok sistemnya diberikan dalam Gambar 3. Sebuah pengendali rasio (*ratio control*) adalah tipe khusus dari pengendali *feedforward* di mana gangguan pada sistem diukur dan rasionya dijaga pada *set point* yang diinginkan dengan mengendalikan salah satu aliran. Aliran lainnya yang tidak terkendali disebut aliran *wild* (*wild stream*). Rasio laju alir dua aliran dijaga pada rasio yang diinginkan dengan mengendalikan laju aliran sebuah aliran. Laju aliran diukur melalui *flow transmitter* (FT). Aliran yang dikendalikan pada sistem kendali *furnace* adalah aliran dari bahan bakar. Aliran dari bahan bakar ini dideteksi oleh *flow transmitter* (FT101) dan selanjutnya dikendalikan oleh pengendali aliran (FIC101). Aliran *wild* (*wild stream*) dari sistem *furnace* ini adalah aliran udara.

Sistem kendali *ratio* pada sistem kendali *furnace* ini merupakan sistem *cascade*. Pengendali pertama yang berperan sebagai *master control* adalah sebuah *flow indicator controller* dan pengendali kedua yang berperan sebagai *slave control* adalah *pressure indicator controller* dimana keduanya merupakan tipe pengendali PID. Output dari sistem *cascade* ini akan menjadi input bagi *ratio controller*. Di dalam DCS Yokogawa, blok PID hanya memiliki 1 buah koneksi untuk nilai input, satu buah koneksi untuk nilai output, dan satu buah koneksi untuk nilai *set point*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa blok PID di DCS Yokogawa mampu menghitung satu besaran saja. Gambar 4 menunjukkan penjelasan mengenai koneksi di dalam blok PID. Di dalam blok PID Yokogawa, terdapat penyebutan yang berbeda untuk input, output, dan *set point*. Input ditandai dengan PV (*process variable*) adalah nilai aktual di lapangan. Nilai yang masuk ke dalam DCS adalah sebesar 4 - 20 mA. Nilai 4 mA dikonversi oleh DCS menjadi

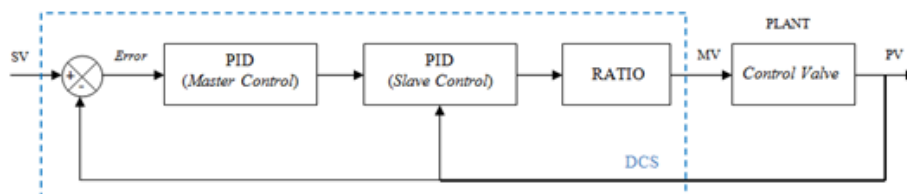
nilai terendah dan nilai 20 mA dikonversi menjadi nilai tertinggi. Sementara itu, output dinyatakan dengan MV (*manipulated variable*) yang bernilai antara 0 - 100 % yang kemudian nilai tersebut akan diteruskan menjadi persen bukaan *valve*, sedangkan *set point* ditandai dengan SV (*set variable*) merupakan nilai yang diinginkan untuk membuat sistem tersebut bekerja secara stabil. Di dalam DCS Yokogawa, nilai-nilai dari PV, MV, dan SV dapat dilihat pada *instrument faceplate*, seperti diberikan dalam Gambar 5.

Tabel 1. Arti simbol dalam Gambar 1

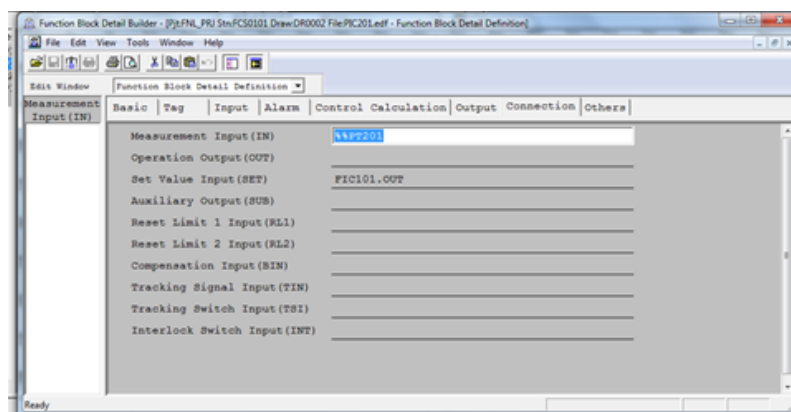
Simbol	Arti
FT101	<i>Flow Transmitter 101</i>
FIC101	<i>Flow Indicator Controller 101</i>
FIC102	<i>Flow Indicator Controller 102</i>
PT201	<i>Pressure Transmitter 201</i>
PIC201	<i>Pressure Indicator Controller 201</i>
RAT001	<i>Ratio Control 001</i>
FV102	<i>Flow Valve 102</i>
PV	<i>Proses Variable</i>
SV	<i>Set Variable</i>
MV	<i>Manipulated Variable</i>



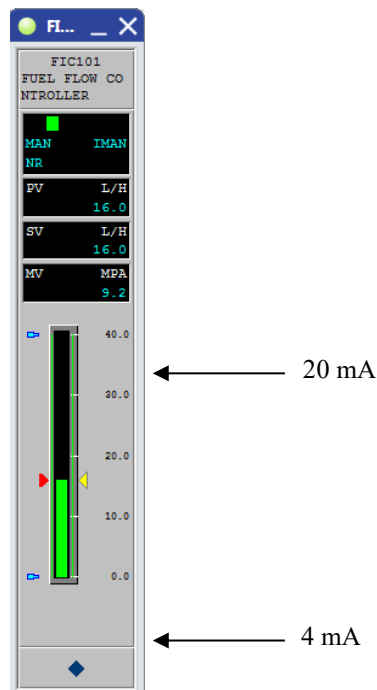
Gambar 2. Diagram skematik sistem ratio control *furnace*



Gambar 3. Diagram blok sistem kendali *furnace* dengan DCS



Gambar 4. Koneksi Blok PID dalam DCS

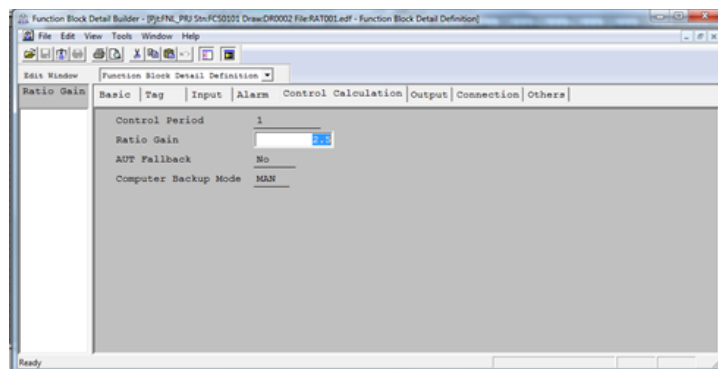


Gambar 5. Instrument Faceplate

Blok *Ratio* pada DCS Yokogawa mendefinisikan rasio untuk mengendalikan dua jumlah kendalian. Blok *Ratio* berfungsi untuk pemrosesan input, pemrosesan perhitungan kontrol, pemrosesan output, dan pemrosesan alarm. Pada sistem kendali *furnace*, blok *ratio* ini berfungsi untuk mengendalikan dua kendalian yaitu aliran dari bahan bakar dan udara yang diperlukan pada proses pembakaran (*combustion*). Pada perhitungan rasio, proses perhitungan dilakukan untuk menentukan kalkulasi nilai output (CALC) dengan mengalikan *process variable* (PV) dengan nilai *set point* ratio efektif (SV_e) mengikuti persamaan (3).

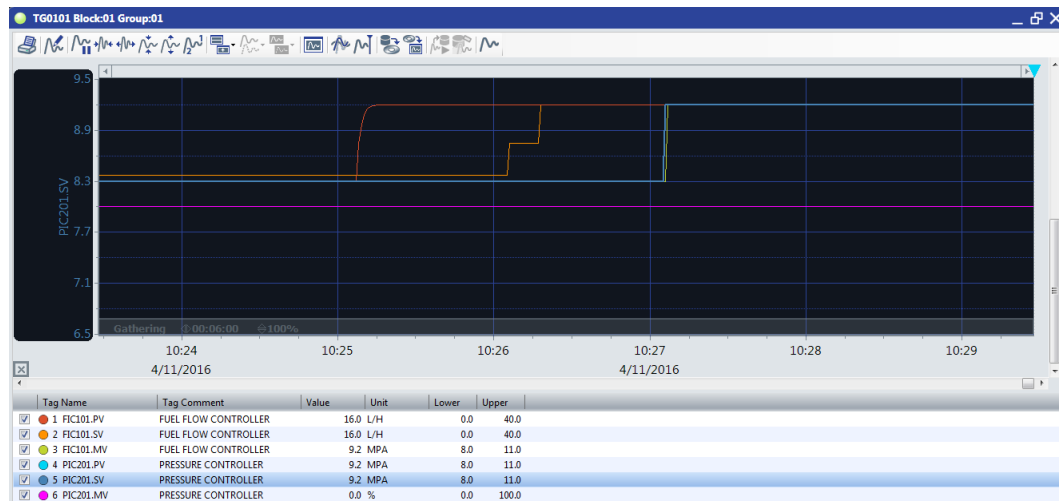
$$CALC_n = KR \cdot SV_e \cdot PV_n + BIAS \quad (3)$$

dengan $CALC_n$ menandai nilai aktual kalkulasi output, PV_n menyatakan nilai aktual *process variable*, SV_e adalah nilai *set point* rasio efektif, dan KR merupakan *ratio gain*. Sementara itu, BIAS merupakan nilai bias yang diset dalam perhitungan nilai output. Nilai *set point* rasio efektif (SV_e) adalah nilai *set point* rasio (SV) yang telah diproses melalui aksi *ramp* nilai *setpoint*. Nilai *ratio gain* (KR) tidak akan berubah bahkan ketika batas atas/bawah dari *process variable* (PV) dan nilai kalkulasi output ($CALC_n$) berubah. Nilai *Ratio Gain* (KR) harus diubah ketika engineering unit dari *process variable* (PV) dan nilai kalkulasi output ($CALC_n$) atau *set point* (SV) dari *ratio* berubah, karena *ratio gain* (KR) dikalkulasi berdasarkan koefisien unit konversi dari nilai-nilai tersebut. Tampilan untuk *setting ratio gain* pada DCS Centum VP diperlihatkan pada Gambar 6.



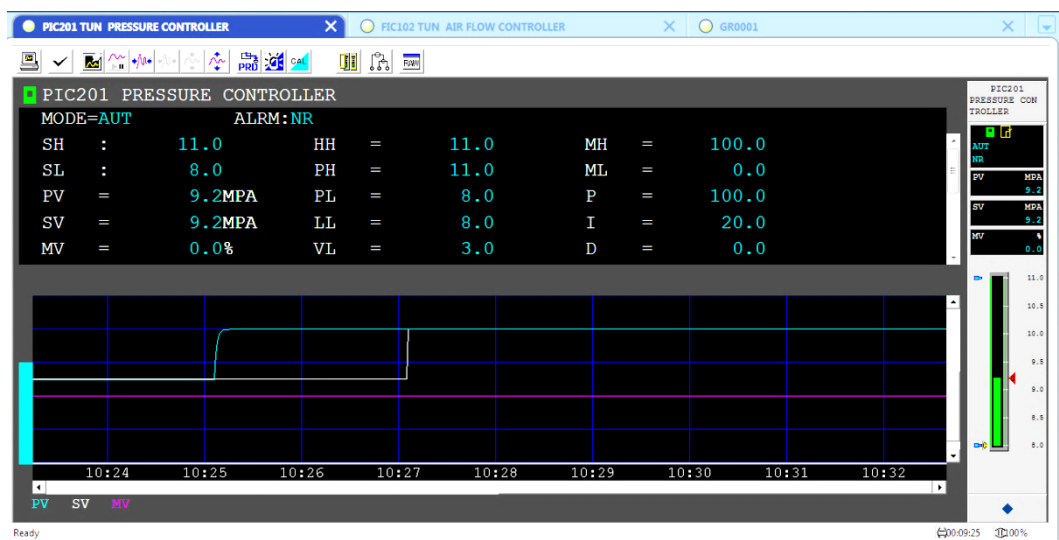
Gambar 6. Tampilan Setting Ratio Gain

Selanjutnya, data proses dapat diakuisi dan respon dari sistem ditampilkan dalam bentuk *trend data*. Tampilan dari *trend data* diperlihatkan pada Gambar 7.



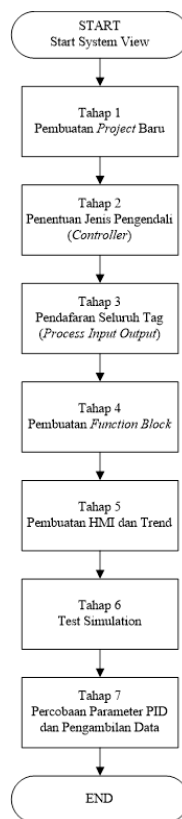
Gambar 7. Tampilan *data trend*

Pada tampilan tersebut akan ditampilkan data aktual di lapangan berikut dengan *set point* yang di berikan. Dengan tampilan tersebut maka dapat terlihat respon sistem setelah dilakukan tuning PID. Untuk memberikan nilai P, I, dan D dilakukan melalui satu tampilan yang disebut sebagai *tuning parameter* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8. Pada tampilan tersebut, besar nilai dari masing-masing parameter P, I, dan D dapat diatur. Standar nilai yang telah diberikan DCS Yokogawa adalah $P = 100$, $I = 20$, dan $D = 0$. Namun nilai tersebut bukan merupakan nilai yang sudah pasti digunakan di semua jenis proses. Dengan kata lain, perlu dilakukan pengaturan sesuai dengan karakteristik proses yang diinginkan.



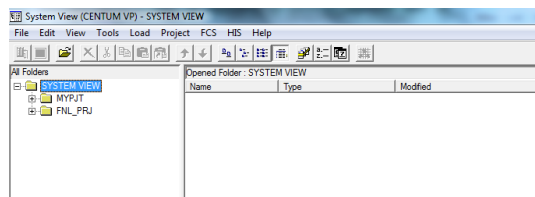
Gambar 8. Tampilan *tuning parameter*

Tahapan untuk memperoleh hasil dari sistem yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya mengikuti diagram alir pada Gambar 9. Urutan proses tersebut meliputi pembuatan project baru di DCS Centum VP, mendefinisikan jenis kontroler yang dibutuhkan, mendaftarkan keseluruhan *tag* yang dibutuhkan dalam sistem tersebut, membuat *Function Block* untuk pengendali, membuat fungsi HMI dan *trend*, serta melakukan simulasi tes.



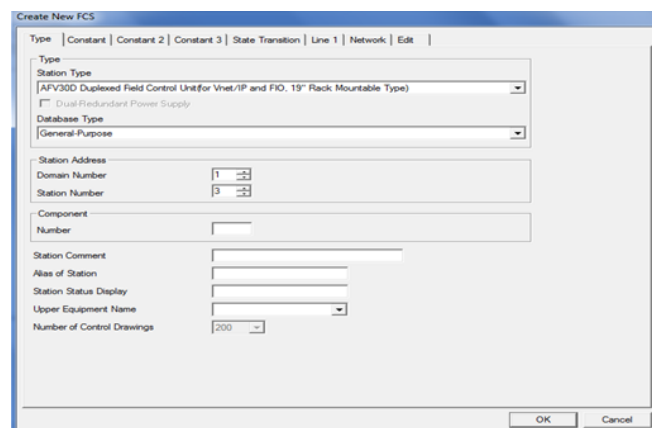
Gambar 9. Diagram alir dalam merealisasikan sistem kendali *furnace* dengan DCS

Tahap pertama dalam merealisasikan sistem adalah melakukan *setting* proyek baru. Gambar 10 menunjukkan tampilan dari *System view*. *System view* adalah bagian di dalam *software* DCS Yokogawa yang berfungsi untuk membuat keseluruhan konfigurasi yang dibutuhkan dalam suatu proyek.



Gambar 10. Tampilan *System View*

Tahap berikutnya adalah menentukan tipe pengendali. Gambar 11 menunjukkan konfigurasi pengendali. Pada tampilan ini, dilakukan konfigurasi dari jenis pengendali yang digunakan dalam suatu proyek.



Gambar 11. Konfigurasi Pengendali

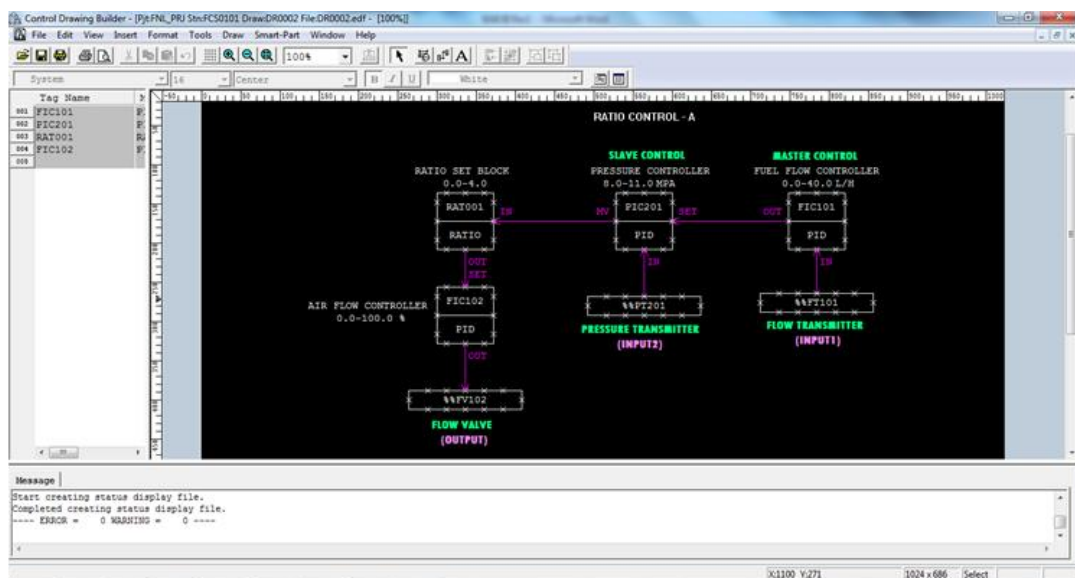
Selanjutnya adalah proses *tagging* untuk menyatakan input dan output. Pada bagian ini dilakukan pendaftaran keseluruhan input dan output yang dibutuhkan di dalam suatu proyek. Input dan output tersebut sudah terkoneksi sebelumnya dengan *hardware* DCS di *control room*. Gambar 12 menunjukkan proses pendaftaran input dan output dari sistem yang dikendalikan.

Tag Name	Signal	Description	Low Limit	High Limit	Unit	Set Details	PID Tag Name	Label
N001101	Input	Flow Transmitter 101	4	20 mA	Bo		NAPT01	
N001102	Input	Pressure Transmitter 201	4	20 mA	Bo			
N001103	Input		4	20 mA	Bo			
N001104	Input		4	20 mA	Bo			
N001105	Input		4	20 mA	Bo			
N001106	Input		4	20 mA	Bo			
N001107	Input		4	20 mA	Bo			
N001108	Input		4	20 mA	Bo			
N001109	Input		4	20 mA	Bo			
N001110	Input		4	20 mA	Bo			
N001111	Input		4	20 mA	Bo			
N001112	Input		4	20 mA	Bo			
N001113	Input		4	20 mA	Bo			
N001114	Input		4	20 mA	Bo			
N001115	Input		4	20 mA	Bo			
N001116	Input		4	20 mA	Bo			

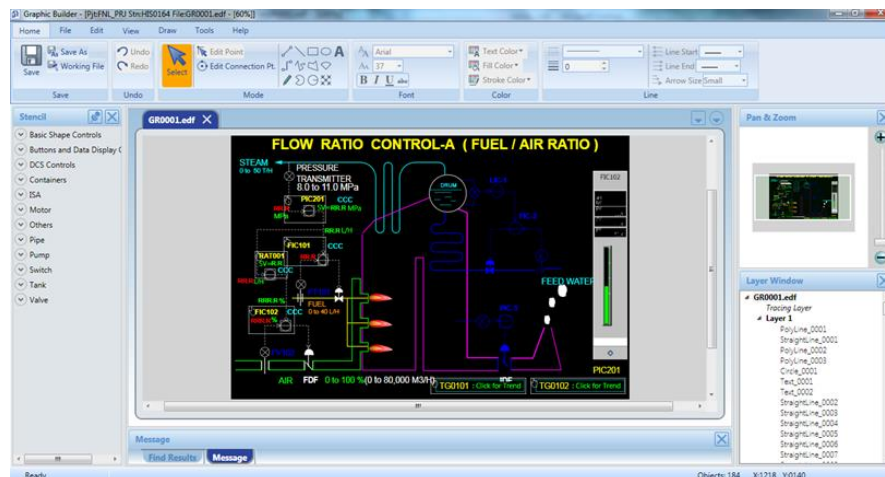
Tag Name	Signal	Description	Low Limit	High Limit	Unit	Set Details	PID Tag Name	Label
N001201	Output	Control Valve 102	4	20 mA	Direct Output		NAPT02	
N001202	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001203	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001204	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001205	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001206	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001207	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001208	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001209	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001210	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001211	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001212	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001213	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001214	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001215	Output		4	20 mA	Direct Output			
N001216	Output		4	20 mA	Direct Output			

Gambar 12. Proses *tagging* untuk input dan output

Tahap berikutnya adalah pembuatan *function block* dan pembuatan HMI. Pada bagian *function block* ini, berbagai tipe jenis kontrol dapat dibuat dan dalam konteks penelitian ini dibuat *ratio control*, sedangkan HMI digunakan untuk melihat kondisi aktual di lapangan. Pembuatan *function block* dan HMI diperlihatkan dalam Gambar 13 dan 14.



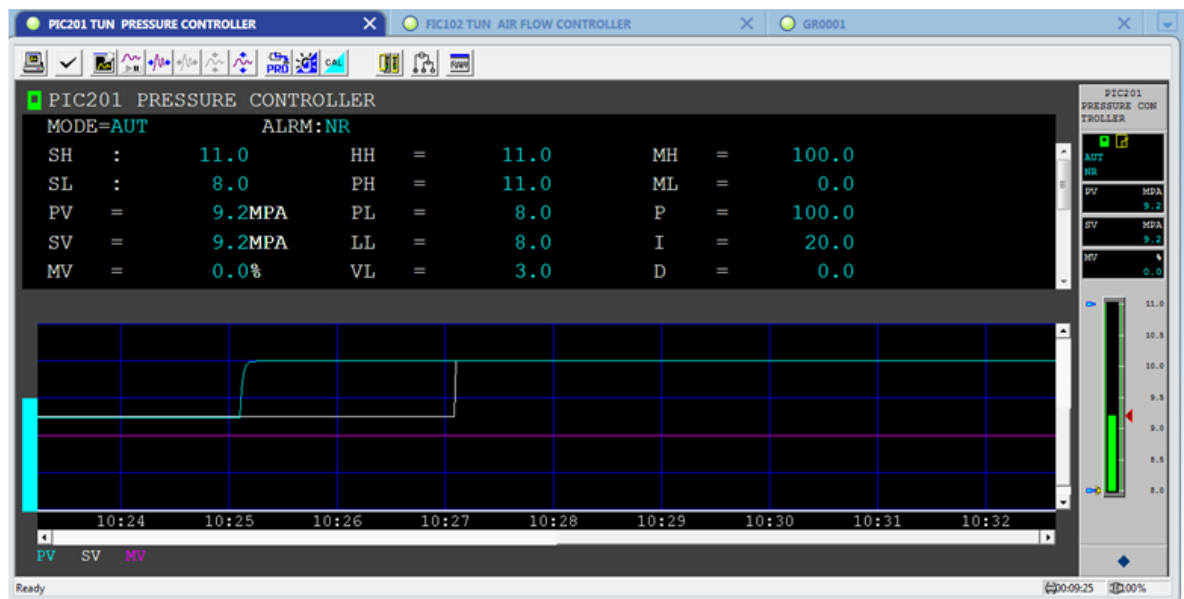
Gambar 13. *Function block* dalam sistem kendali *furnace* dengan DCS



Gambar 14. Desain HMI

Tahap terpenting lainnya adalah penentuan nilai (*tuning*) parameter dalam blok pengendali PID seperti ditunjukkan dalam Gambar 15. Penentuan nilai ini dilakukan secara coba-coba. Metoda tersebut dilakukan dengan cara mencoba berulang kali nilai-nilai parameter sampai ditemukan respon sistem yang terbaik. Dalam proyek ini, tipe pengendalinya adalah PI dan prosedur penentuan nilai parameternya mengikuti urutan sebagai berikut:

- Kondisi proses pada *plant* dalam keadaan *running*.
- Kondisikan sistem kendali pada posisi manual, kemudian tunggu hingga keadaan PV berada di nilai yang mencukupi untuk dilakukan *tuning*.
- Kondisikan sistem kendali pada mode auto.
- Ubah-ubah nilai paramater pengendali hingga menemukan nilai yang terbaik berdasarkan sinyal osilasi terhadap *setpoint* pada grafik *trend*.
- Lihat hasil *feedback* dari plant (PV) setelah dilakukan perubahan nilai pengendali.
- Ulangi langkah sebelumnya sehingga diperoleh kondisi respon sistem yang terbaik yakni respon yang cepat, *overshoot* sekecil mungkin, dan *offset* sekecil mungkin.



Gambar 15. Simulasi tes

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Penentuan sistem ratio control pada furnace

Sebuah kontrol rasio (*ratio control*) memainkan peranan penting dalam operasi yang aman dan menguntungkan pada *fired heater, boiler, furnace*, dan proses pembakaran bahan bakar yang serupa. Hal ini karena rasio udara-ke-bahan bakar (*air-to-fuel*) di zona pembakaran proses tersebut secara langsung berdampak pada efisiensi pembakaran bahan bakar dan emisi lingkungan. Pada sistem yang dirancang, laju aliran bahan bakar disesuaikan untuk mempertahankan tekanan di *steam header*. Tekanan pada *steam header* dikendalikan untuk memperoleh operasi yang efisien dalam proses pembakaran. Operasi yang efisien dapat diperoleh apabila energi panas berguna secara maksimal jika diberikan udara ke zona pembakaran pada tingkat aliran massa yang benar sesuai untuk laju aliran massa bahan bakar untuk *burner*. Aliran massa dari udara dan bahan bakar inilah yang selanjutnya dikendalikan dengan sistem *ratio control*. Dengan aliran yang dikendalikan adalah aliran bahan bakar dan aliran *wild (wild stream)* adalah aliran udara.

Jika rasio udara terlalu sedikit dapat meningkatkan polusi dan membuang bahan bakar. Rasio udara/bahan bakar yang terlalu kecil menyebabkan pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar. Jika ketersediaan oksigen yang berkurang, gas buang beracun termasuk karbon monoksida akan terbentuk. Jika rasio

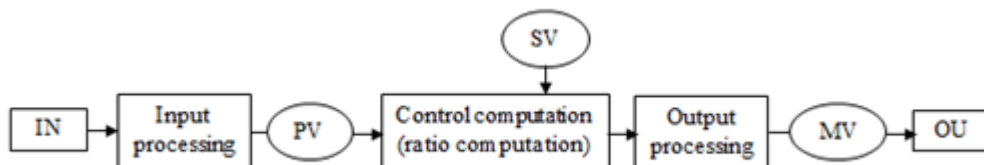
udara/bahan bakar terus berkurang, hanya sebagian bahan bakar yang terbakar dan bahan bakar yang tidak terbakar dapat muncul dalam cerobong. Hal ini ditampakkan sebagai asap dan jelaga. Pembakaran tidak sempurna juga berarti membuang-buang bahan bakar. Jika rasio udara terlalu besar akan membuang bahan bakar. Jika rasio udara/bahan bakar meningkat di atas yang diperlukan untuk pembakaran sempurna, tambahan nitrogen dan oksigen yang tidak diperlukan menyerap energi panas, menurunkan suhu api dan gas di zona pembakaran. Jika suhu operasi turun, *burner* kurang mampu mengekstrak energi panas berguna untuk penerapan yang dimaksudkan. Jadi, ketika rasio udara/bahan bakar terlalu tinggi akan diproduksi surplus udara panas. Udara panas ini hanya membawa energi panas dan keluar cerobong *exhaust* sebagai keuntungan yang hilang.

B. Analisis function block pada sistem kendali ratio control

Merujuk kepada Gambar 2, terdapat tiga buah blok PID yang berbeda besarannya. Analisis diperlukan agar dapat dipastikan untuk seluruh koneksi dari PV, SV dan MV telah sesuai dengan konsep kerja *cascade control*. Selain itu digunakan juga blok RATIO, dimana inputnya berasal dari blok PID yang berfungsi sebagai *pressure controller* dan hasil outputnya digunakan sebagai SV pada blok PID untuk *flow controller* dari udara.

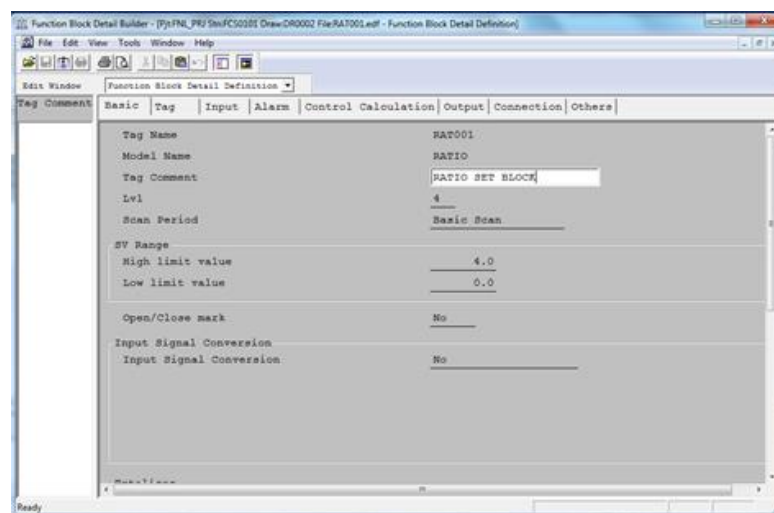
C. Analisis pada blok RATIO

Blok Ratio merupakan salah satu blok kendali yang terdapat pada *function block* DCS Yokogawa. Output dari blok RATIO adalah *manipulated output value* (MV) yang mengikuti perubahan *process variable* (PV) dikali dengan *ratio set value*. Ratio blok mendefinisikan rasio untuk mengendalikan dua jumlah kendalian. Secara garis besar, diagram blok dari blok ratio diperlihatkan pada Gambar 16.



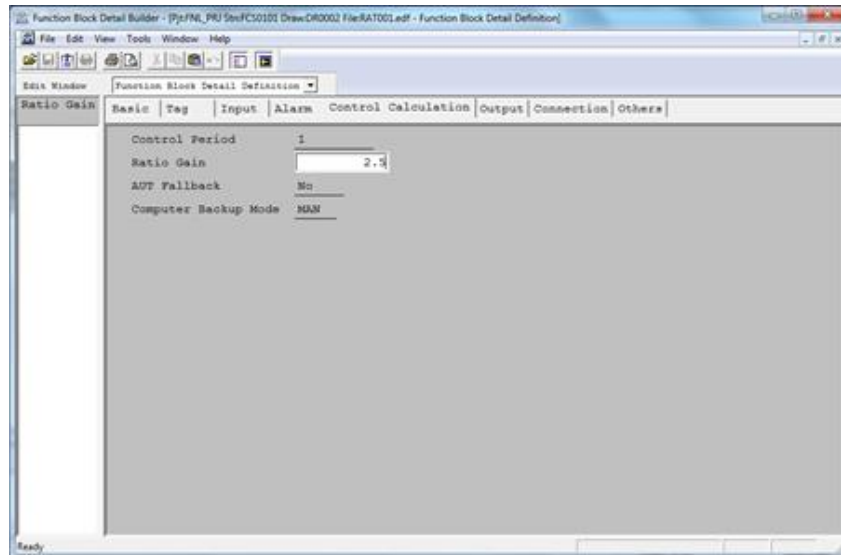
Gambar 16. Diagram blok kontrol rasio

Ada beberapa parameter yang ditentukan dalam RATIO blok, yaitu *Setpoint Value* (SV) *Range*, *ratio gain*, dan koneksi input-output. Penentuan *setpoint value* (SV) *range* menggunakan *function block detail builder*. Setting *default* untuk *setpoint ratio* adalah 0.0 hingga 4.0. Pada sistem yang direalisasikan, nilai *setpoint value* (SV) *range* berada pada nilai *setting default* seperti diperlihatkan dalam Gambar 17.



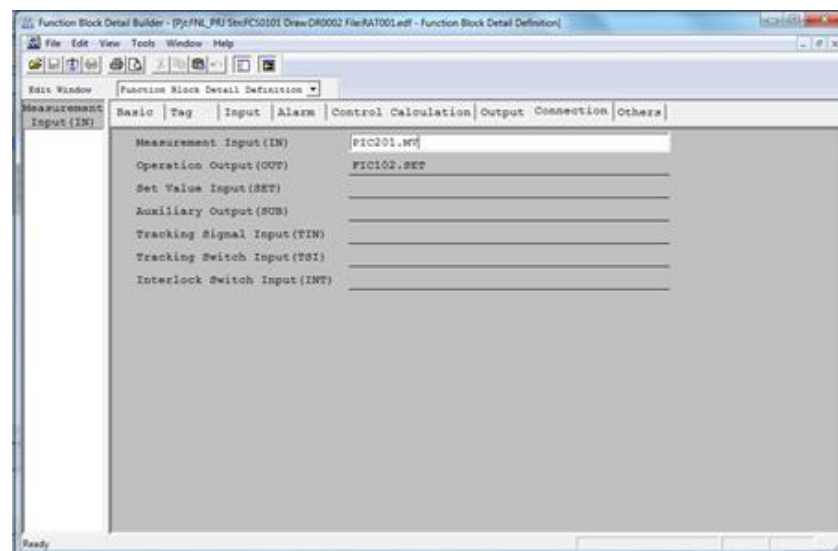
Gambar 17. *Setpoint Value* (SV) *Range*

Sementara itu, *ratio gain* dispesifikasikan 7 digit atau kurang untuk nilai angka, dimana tanda dan titik 81ecimal menempati masing-masing 1 digit. Nilai *default* dari *ratio gain* adalah 1,0. Pada sistem yang telah direalisasikan nilai *ratio gain* yang digunakan adalah 2,5 seperti diperlihatkan pada Gambar 18.



Gambar 18. *Setting Ratio Gain*

Pada realisasi sistem yang telah dibuat, koneksi input dan output dari blok ratio berasal dari blok PID. Koneksi input berasal dari *Pressure Controller* (PIC201) dan koneksi output terhubung dengan *Flow Controller* (FIC102) seperti diberikan dalam Gambar 19.



Gambar 19. Koneksi Input dan Output Blok Ratio

D. Penentuan parameter pengendali PID

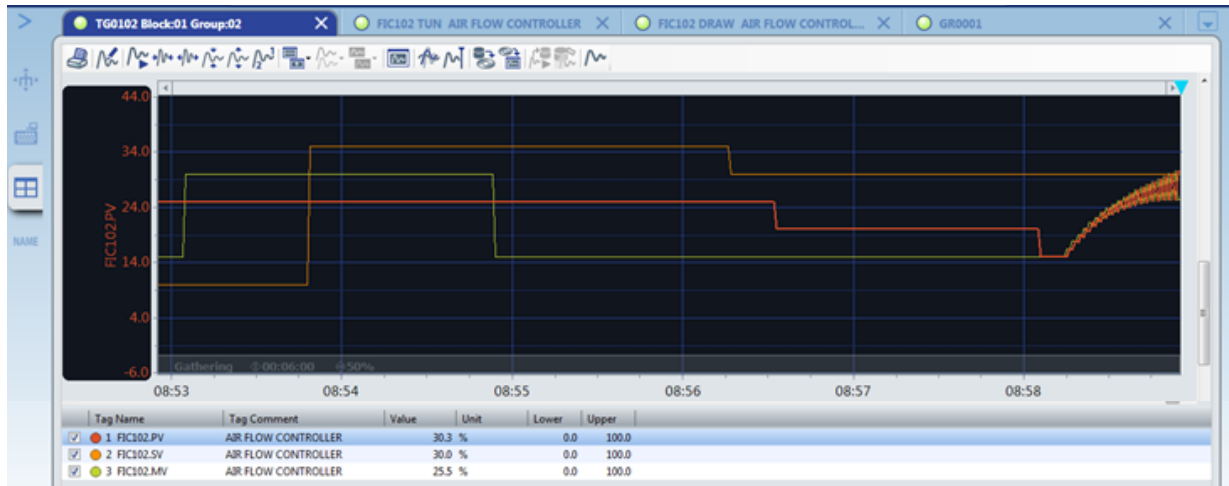
Setelah seluruh tahapan sebelumnya telah bekerja secara normal, maka langkah selanjutnya adalah melakukan penentuan parameter pengendali PID agar respon sistem bekerja dengan baik. Dalam implementasi sistem, parameter pengendali yang digunakan hanya parameter proporsional (P) dan integral (I). Kontroler tipe proporsional (P) memiliki aksi kontrol yang proporsional terhadap sinyal kesalahan, dinyatakan dalam K_p (*Proportional Gain*) atau PB (*Proportional Band*). Karakteristik dari kontroler proporsional ini adalah :

- Proportional Band ($>$) : semakin besar offset-nya dan respons bergerak lambat.
- Proportional Band ($<$) : semakin besar kemungkinan osilasi terjadi (peredaman osilasi kecil) dan mempercepat *rise time*.

Sementara itu, kontroler tipe Integral (I) memiliki aksi kontrol yang diperoleh dengan operasi integral dari sinyal kesalahan. Paramernya dinyatakan dalam *integral time* (τ_i). Karakteristik dari kontroler integral ini adalah :

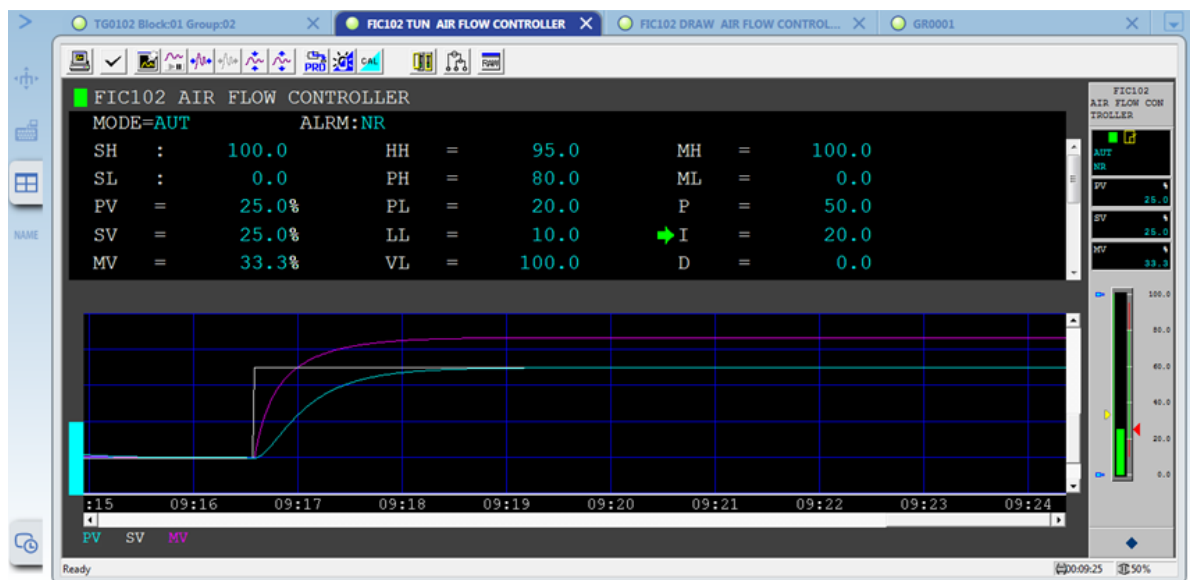
- *integral time* ($>$) : akan menghilangkan *offset* yang terjadi.
- *integral time* ($<$) : terjadi osilasi pada saat bagian integral menghilangkan *offset*, serta timbulnya *overshoot* apabila ada perubahan beban.

Dalam eksperimen ini, dilakukan perbandingan hasil *tuning* parameter pengendali terhadap kinerja sistem kendali yang diukur dari respon waktunya. Grafik pada Gambar 20 menunjukkan bentuk respon waktu sistem pada kendali *flow* sebelum pengendali FIC102 bekerja.



Gambar 20. Kondisi awal respon sistem sebelum pengendali FIC102 bekerja

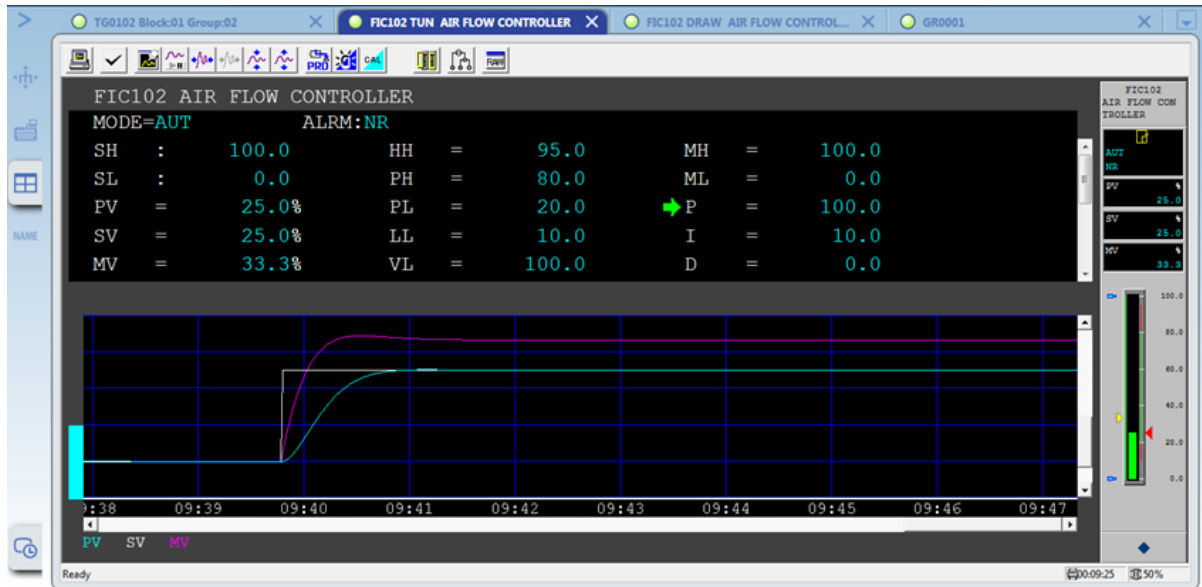
Saat dilakukan *tuning* parameter dengan nilai parameter $P = 50$, $I = 20$, dan $D = 0$ diperoleh grafik respon waktu seperti diberikan dalam Gambar 21. Dari hasil tersebut, diperoleh grafik dengan tipe respon berbentuk *critically damped* dengan ukuran kinerja *rise time* sekitar 2 menit 58 detik dan tidak terjadi *overshoot*.



Gambar 21. *Tuning* FIC102 dengan parameter $P = 50$, $I = 20$ dan $D = 0$

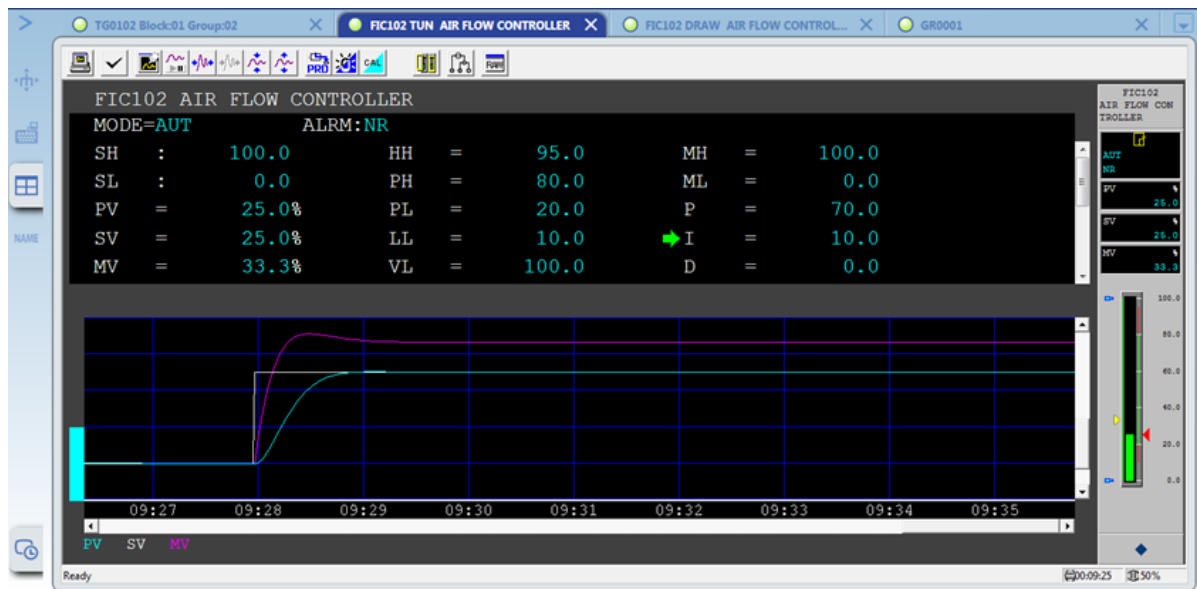
Eksperimen berikutnya dilakukan dengan melakukan *tuning* nilai parameter $P = 100$, $I = 10$, dan $D = 0$ dan diperoleh grafik respon waktu seperti diperlihatkan dalam Gambar 22. Hasil tersebut menunjukkan bentuk respon *underdamped* dengan waktu yang diperlukan untuk sistem mencapai SV (*rise time*) sekitar 1 menit 10 detik, sedangkan waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai nilai maksimum (*peak time*)

sekitar 1 menit 26 detik. Sementara itu, nilai *settling time* sebesar 1 menit 53 detik dan *maximum overshoot* sekitar 0,2 %.



Gambar 22. *Tuning* FIC102 dengan parameter $P = 100$, $I = 10$, dan $D = 0$

Eksperimen lainnya dilakukan dengan *tuning* parameter $P = 70$, $I = 10$, dan $D = 0$ dan diperoleh grafik seperti pada Gambar 23. Dengan *tuning* parameter nilai tersebut, respon waktunya berbentuk *underdamped* dengan kinerja respon waktu *rise time* sekitar 58 detik, *peak time* sekitar 1 menit 14 detik, *settling time* sekitar 1 menit 34 detik, dan *maximum overshoot* sekitar 0,2 %.



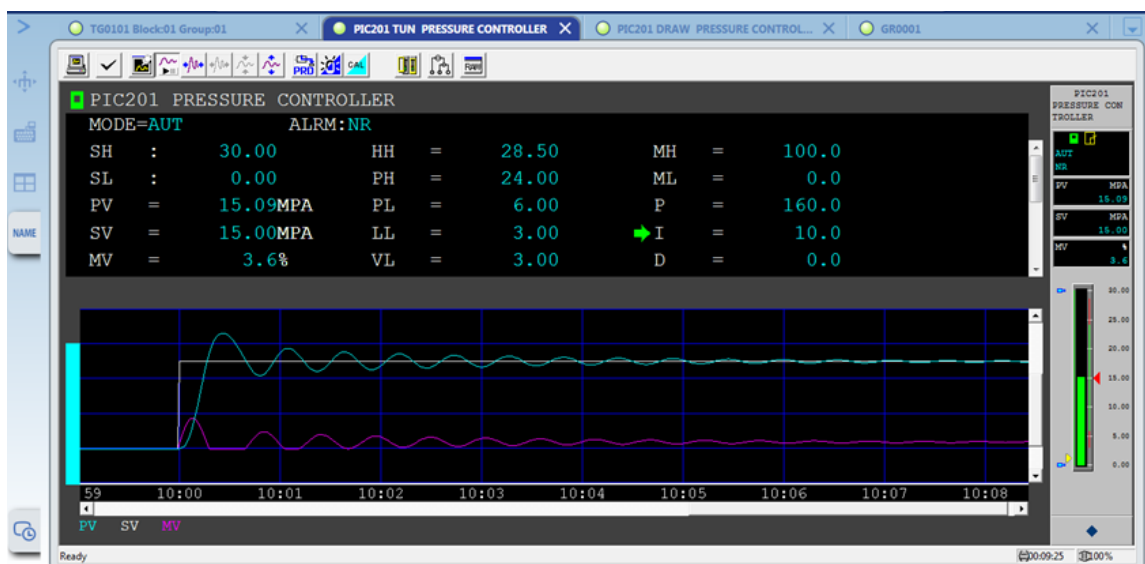
Gambar 23. *Tuning* FIC102 dengan parameter $P = 70$, $I = 10$, dan $D = 0$

Selanjutnya, hasil *tuning* parameter PID pada kontrol *flow* FIC102 yang diuraikan di atas disajikan pada Tabel 2.

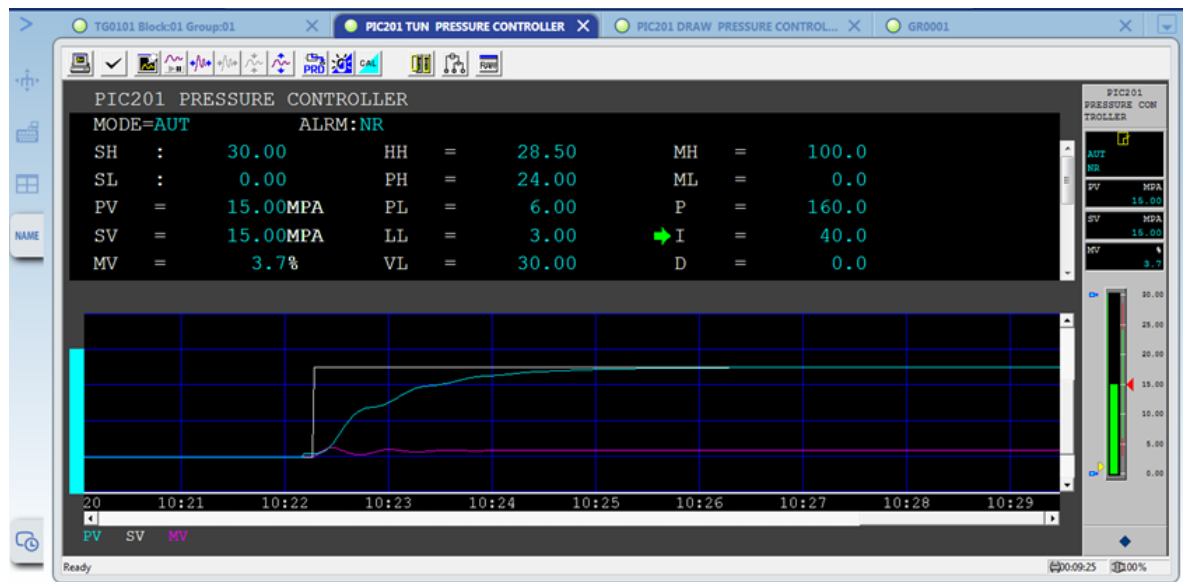
Tabel 2. *Tuning* parameter pengendali PID pada Kontrol *Flow* (FIC102)

Parameter	Tuning			Keterangan
	1	2	3	
Scale High (SH)	100%	100%	100%	Maksimum range <i>transmitter</i>
Scale Low (SL)	0%	0%	0%	Minimum range <i>transmitter</i>
High High Alarm (HH)	95%	95%	95%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 95%
High Alarm (HI)	80%	80%	80%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 80%
Low Alarm (LO)	20%	20%	20%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 20%
Low Low Alarm (LL)	10%	10%	10%	Alarm akan aktif pada saat <i>flow</i> mencapai nilai 10%
Proporsional (P)	50	100	70	
Integral (I)	20	10	10	
Set Value (SV)	25%	25%	25%	
Respon sistem	Nilai Offset rendah	Nilai Offset rendah	Nilai Offset rendah	
	Respon mengejar SV lambat	Respon mengejar SV cepat	Respon mengejar SV cepat	

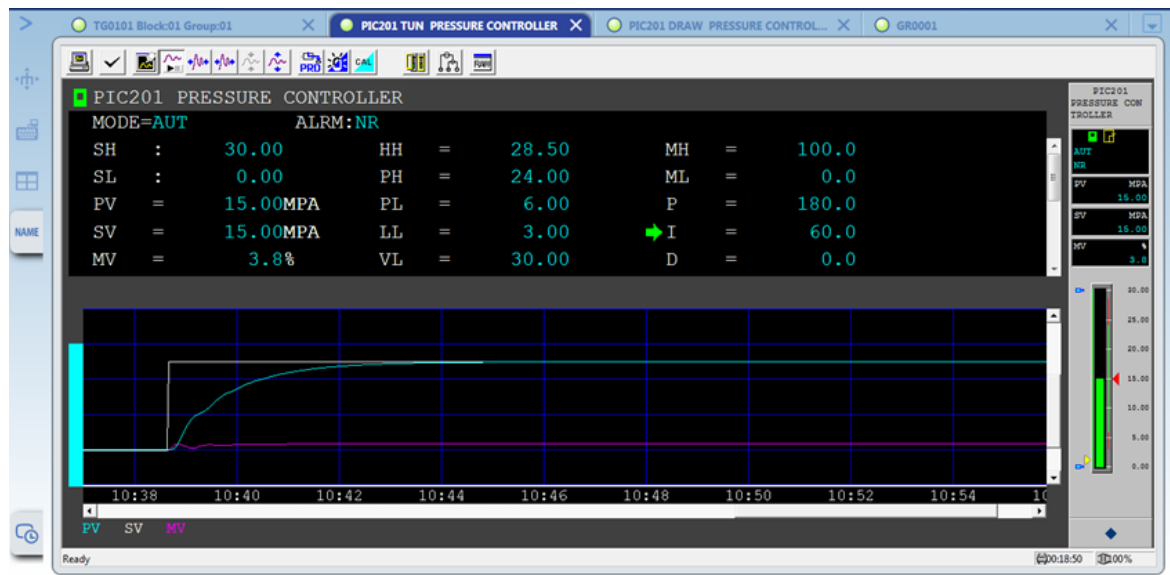
Selain pengendalian *flow*, eksperimen juga dilakukan untuk pengendalian *pressure* dengan pengendali PIC201. Sama halnya dengan pengendalian *flow*, *tuning* parameter PID untuk pengendalian *pressure* juga dilakukan dengan menguji coba tiga kombinasi parameter PID yaitu P = 160, I = 10, D = 0; P = 160, I = 40, D = 0; dan P = 180, I = 60, D = 0. Respon waktu dari sistem untuk setiap *tuning* parameter PID diperlihatkan dalam Gambar 24-26. Untuk nilai parameter P = 160, I = 10, D = 0, bentuk responnya adalah *underdamped* dengan nilai *rise time* sekitar 15 detik, *peak time* dicapai dalam 5 detik, *settling time* sekitar 13 menit 9 detik, dan nilai *maximum overshoot* adalah 4.67 MPa. Untuk nilai parameter P = 160, I = 40, D = 0, bentuk responnya menjadi *critically damped* dengan nilai *rise time* 5 menit 56 detik. Sementara itu, untuk parameter P = 180, I = 60, D = 0, bentuk responnya *critically damped* dengan nilai *rise time* sekitar 8 menit 48 detik.



Gambar 24. *Tuning* PIC201 dengan parameter P = 160, I = 10 dan D = 0.



Gambar 25. Tuning PIC201 dengan parameter $P = 160$, $I = 40$ dan $D = 0$.



Gambar 26. Tuning PIC201 dengan parameter $P = 180$, $I = 60$ dan $D = 0$.

Hasil *tuning* parameter PID pada kontrol *pressure* PIC201 yang diuraikan di atas disajikan pada Tabel 3.

IV. KESIMPULAN

Sistem kendali *furnace* menggunakan DCS Centum VP R5.04.20 telah berhasil direalisasikan dengan menggunakan pengendali PI. Untuk FIC102 kondisi stabil diperoleh dengan nilai $P = 100$ dan $I = 10$, sedangkan untuk PIC201 kondisi stabil diperoleh dengan nilai $P = 180$ dan $I = 60$. Dengan menggunakan kendali PI diperoleh respon sistem yang diinginkan, yaitu nilai *offset* yang rendah dan respon PV mengejar SV lebih cepat. Selain itu, pengendalian *furnace* menggunakan metode *ratio control*, dimana *ratio* yang dikendalikan adalah aliran bahan bakar dan udara. Aliran bahan bakar sebagai aliran yang dikendalikan dan aliran udara sebagai aliran *wild (wild stream)*. Nilai parameter PI untuk mengendalikan besaran *flow* dan *pressure* telah diperoleh melalui proses *tuning parameter* agar respon sistem berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

Penelitian lanjutan yang mungkin dilakukan adalah dengan menerapkan metode klasik tetapi praktis dalam melakukan proses *tuning* parameter pengendali PID seperti Ziegler-Nichols atau menerapkan metode kendali dengan pendekatan kecerdasan buatan seperti logika fuzzy atau jaringan syaraf tiruan.

Tabel 3. *Tuning* parameter pengendali PID pada Kontrol Pressure (PIC201)

Parameter	<i>Tuning</i>			Keterangan
	1	2	3	
Scale High (SH)	30MPa	30MPa	30MPa	Maksimum range transmitter
Scale Low (SL)	0MPa	0MPa	0MPa	Minimum range transmitter
High High Alarm (HH)	28.5MPa	28.5MPa	28.5MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 28.5MPa
High Alarm (HI)	24MPa	24MPa	24MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 24MPa
Low Alarm (LO)	6MPa	6MPa	6MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 6MPa
Low Low Alarm (LL)	3MPa	3MPa	3MPa	Alarm akan aktif pada saat pressure mencapai nilai 3MPa
P	160	160	180	
I	10	40	60	
Set Value (SV)	15MPa	15MPa	15MPa	
Respon sistem	Nilai Offset tinggi	Nilai Offset rendah	Nilai Offset rendah	
	Respon mengejar SV cepat dan terjadi osilasi	Respon mengejar SV relatif lambat dan terjadi osilasi	Respon mengejar SV relatif lambat	

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani dan Pusat Riset dan Teknologi Atmosfer Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan fasilitas dalam melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. H. Khisty, "SCADA Systems in Oil and Gas : Driving Innovation and Efficiency in the Digital Age," *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 8, pp. 96–107, 2024.
- [2] L. Zhang and J. Wang, "Intelligent safe operation and maintenance of oil and gas production systems : Connotations and key technologies," *Nat. Gas Ind. B*, vol. 10, no. 3, pp. 293–303, 2023, doi: 10.1016/j.ngib.2023.05.006.
- [3] A. S. Allahloh, M. Sarfraz, A. M. Ghaleb, and S. Mejjaouli, "IIoT-Based Intelligent Process Control for Crude Oil Separation : Investigating the Impact of Model-Based Control and Genetic Algorithms," *J. Sensors*, vol. 2023, no. 1909835, pp. 1–20, 2023, doi: 10.1155/2023/1909835.
- [4] A. U. Mentsiev and I. A. Mutaev, "Automation and control of thermal processes in the furnace," in *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 734, 2020, p. 012212, doi: 10.1088/1757-899X/734/1/012212.
- [5] S. Skogestad, "Ratio control : Theoretical basis and practical implementation," 2025. [Online]. Available: [https://skoge.folk.ntnu.no/publications/2025/skogestad-ratio-control/Ratio_control\(8\).pdf](https://skoge.folk.ntnu.no/publications/2025/skogestad-ratio-control/Ratio_control(8).pdf).
- [6] E. T. A. B. A. Alobaidi and O. A. Alqahtani, "Feed forward and Ratio control," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 12, no. 11, pp. 95–99, 2022, doi: 10.9790/9622-12119599.
- [7] L. S. Paraschiv, A. Serban, and S. Paraschiv, "Calculation of combustion air required for burning solid fuels (coal / biomass / solid waste) and analysis of flue gas composition," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 36–45,

- 2020, doi: 10.1016/j.egy.2019.10.016.
- [8] M. Tkáčik, J. Jadlovsky, S. Jadlovská, A. Jadlovská, and T. Tkáčik, “Modeling and Analysis of Distributed Control Systems: Proposal of a Methodology,” *Processes*, vol. 12, no. 5, pp. 1–20, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/pr12010005>.
- [9] -----, “OpreX Control – Distributed Control System (DCS).” <https://www.yokogawa.com/id/solutions/products-and-services/control/control-and-safety-system/distributed-control-systems-dcs/>.
- [10] V. Athappan, M. Saravanabalaji, and S. Ranganathan, “Real Time Temperature Process Plant Automation Using Yokogawa DCS Centum VP,” in *International Conference on Advancements in Electrical, Electronics, Communication, Computing and Automation (ICAECA)*, 2021, pp. 1–6, doi: 10.1109/ICAECA52838.2021.9675780.
- [11] N. Qu and W. You, “Design and fault diagnosis of DCS sintering furnace’s temperature control system for edge computing,” *PLoS One*, vol. 16, no. 7, p. e0253246, 2021, doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253246>.
- [12] T. Yawisit, “Performance Analysis of Distributed Control System: Implementation and Optimization of Yokogawa Centum-VP,” King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2025.
- [13] M. Tutar *et al.*, “Optimized CFD modelling and validation of radiation section of an industrial top-fired steam methane reforming furnace,” *Comput. Chem. Eng.*, vol. 155, p. 107504, 2021, doi: 10.1016/j.compchemeng.2021.107504.
- [14] T. Lee, E. Han, U.-C. Moon, and K. Y. Lee, “Supplementary Control of Air-Fuel Ratio Using Dynamic Matrix Control for Thermal Power Plant Emission,” *Energies*, vol. 13, no. 226, pp. 1–15, 2020.
- [15] S. Li and Y. Wang, “Performance Assessment of a Boiler Combustion Process Control System Based on a Data-Driven Approach,” *Processes*, vol. 6, no. 200, pp. 1–35, 2018, doi: 10.3390/pr6100200.