

Kontrol PID Pada *Steam Mini Plant Boiler* Menggunakan PLC dan HMI

Kurniawan Falahi Akbar, Edi Sulistio Budi, Yulianto

Abstrak - Boiler merupakan bejana yang didesain tertutup untuk mengubah air menjadi uap air yang bertekanan. Secara tidak langsung ketinggian dan volume air berpengaruh dalam pengaturan tekanan di dalam boiler. Untuk mencegah terjadinya overpressure dibutuhkan perangkat kontrol yang stabil agar sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Kontrol PID pada PLC (Programmable Logic Controller) dan HMI (Human Machine Interface) dapat digunakan sebagai alat untuk mengontrol sistem yang stabil dan memonitoring kinerja sistem secara real time.

Pengaturan tekanan pada boiler dirancang oleh beberapa komponen yang terdiri dari: Motor Servo, Sensor tekanan (mpx5700ap), PLC dan HMI. Sistem ini berfungsi untuk mengontrol tekanan pada boiler sesuai dengan setpoint agar tidak terjadi overpressure. Dari data hasil pengujian didapatkan nilai konstanta PID $K_p = 28.01$, $K_i = 0.46$, dan $K_d = 1.68$ untuk mendapatkan sistem yang stabil pada boiler yang ditampilkan dalam HMI dengan waktu respon sebesar 0.25 detik.

Kata Kunci : PLC, HMI, motor servo, sensor tekanan.

I. PENDAHULUAN

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap. Uap diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Pada umumnya hal yang mempengaruhi terbentuknya tekanan yang ada dalam *boiler* ialah tabung yang tertutup rapat tanpa ada kebocoran, pemanas yang digunakan untuk memanaskan air, dan air sebagai obyek yang dipanaskan agar terciptanya tekanan uap air didalam tabung *boiler*.

Untuk menjaga kondisi sistem agar tetap berada pada kondisi yang diinginkan, maka diperlukan perangkat kontrol yang dapat diterapkan, salah satu perangkat kontrol modern yang dapat diterapkan dalam berlangsungnya proses produksi

di industri saat ini adalah PLC (*Programmable Logic Controller*) sebagai controller dan HMI (*Human Machine Interface*) sebagai alat untuk memonitoring kinerja sistem secara *real time*. PLC sering digunakan karena memiliki input dan output yang banyak, sedangkan HMI juga digunakan untuk mempermudah pengawasan, pengontrolan dan memberikan gambaran kondisi plant secara real time. Pengaturan tampilan HMI disesuaikan dengan bentuk plant yang ada. Pengaturan tombol dan indikator pada HMI disesuaikan dengan alamat pada program PLCnya. Komponen-komponen elektronik berupa sensor maupun aktuator pun dapat dihubungkan pada PLC agar mudah untuk dikontrol.

Pengontrolan PID terdiri dari P (Proportional), I (Integral), dan D (Derivative) yang secara keseluruhan bertujuan untuk mempercepat respon sistem dan menghasilkan respon sistem yang terbaik. Kontroler ini dipilih karena mampu memberikan respon pengendalian yang baik, kesederhanaan struktur dalam tuning parameter kontrolnya dan umum digunakan dalam dunia industri.

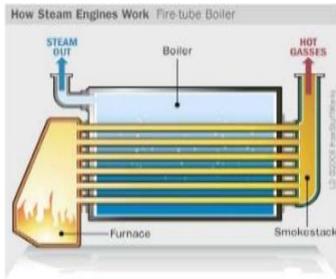
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Steam Boler*

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) [1]. *Boiler* atau ketel *steam* adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar [2]. *Boiler* mengubah energi – energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. *Boiler* dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. *Boiler* terdiri dari 2 komponen utama, yaitu :

1. *Furnace* (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
2. *Steam Drum* yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial *steam* (energi panas). Terdapat 2 jenis *steam boiler* salah satunya ialah *Fire Tube Boiler*, nyala api dan gas panas yang dihasilkan dari pembakaran, mengalir melalui pipa – pipa api yang dikelilingi oleh air. Panas kemudian dikonduksikan melalui dinding pipa dari gas panas ke air di sekeliling pipa tersebut [3].

Kurniawan Falahi Akbar adalah Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: falahirock@gmail.com
Edi Sulistio Budi dan Yulianto adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang email: edisulistiobudi@yahoo.com, yulianto_poltek@yahoo.com



Gambar 1. Ketel uap pipa api [4]

2.2 Sensor Tekanan MPX (Manifold Absolute Pressure)

Sensor MPX 5700 AP adalah port tunggal, mutlak silikon sensor tekanan terintegrasi dalam paket SIP 6 pin yang merupakan yaitu sensor tekanan yang dapat membaca tekanan udara dalam suatu manifold. Sensor MPX 5700 AP dilengkapi oleh rangkaian pengkondisian sinyal dan temperatur kalibrator. Pengolahan bipolar di dalam transistor memberikan tingkat analog sinyal output yang akurat dan tinggi yang sebanding dengan tekanan diterapkan, sehingga sensor mpx 5700 ap memiliki 2,5% kesalahan maksimum lebih dari 0 ° C hingga 85 ° C, tekanan berkisar dari 15KPa ke 700Kpa, pasokan rentang tegangan dari 4.75VDC ke 5.25VDC, sensitivitas 1.0 kPa (kiloPascal) setara dengan 0.145 psi, dan operasi rentang suhu dari -40 ° C sampai 125 ° C.



Gambar 2. Sensor Tekanan MPX5700AP [5]

Perubahan tekanan pada kantung menyebabkan perubahan posisi inti kumparan sehingga mengakibatkan perubahan induksi magnetik pada kumparan. Kumparan yang digunakan adalah kumparan CT (center tap), dengan demikian apabila inti mengalami pergeseran maka induktansi pada salah satu kumparan bertambah sementara induktansi pada kumparan yang lain berkurang. Kemudian pengubah sinyal berfungsi untuk mengubah induktansi magnetik yang timbul pada kumparan menjadi tegangan yang sebanding.

2.3 Motor Servo MG996R

Motor servo adalah sebuah perangkat sebagai aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik loop tertutup (servo), sehingga dapat di set-up atau di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor. Motor servo merupakan perangkat yang terdiri dari motor DC, serangkaian gear, rangkaian kontrol dan potensiometer. Serangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan potensiometer dengan perubahan resistansinya saat motor berputar berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo.



Gambar 3. Motor Servo MG996R [6]

Motor servo adalah motor yang mampu bekerja dua arah (CW dan CCW) dimana arah dan sudut pergerakan rotornya dapat dikendalikan dengan memberikan variasi lebar pulsa (duty cycle) sinyal PWM pada bagian pin kontrolnya. Motor servo standard (servo rotation 180°) adalah jenis yang paling umum dari motor servo, dimana putaran poros outputnya terbatas hanya 90° kearah kanan dan 90° kearah kiri. Dengan kata lain total putarannya hanya setengah lingkaran atau 180°.

2.5 Mikrokontroler AVR ATmega328

Mikrokontroler adalah sebuah komputer kecil (“special purpose computers”) di dalam satu IC yang berisi CPU, memori, timer, saluran komunikasi serial dan parallel, Port input/output, ADC. Mikrokontroler digunakan untuk suatu tugas dan menjalankan suatu program.

Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain:

- 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus clock.
- 32 x 8-bit register serba guna.
- Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 MHz.
- 32 KB Flash memory dan pada arduino memiliki bootloader yang menggunakan 2 KB dari flash memory sebagai bootloader.
- Memiliki EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanen karena EEPROM tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.
- Memiliki SRAM (Static Random Access Memory) sebesar 2KB.
- Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (Pulse Width Modulation) output.
- Master / Slave SPI Serial interface.

Konfigurasi pada pin ATmega 328 sebagai berikut:

(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	7	22	GND
GND	8	21	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)

Gambar 4. Konfigurasi Pin ATmega 328 [7]

2.5 PLC (Programmable Logic Control)

PLC adalah sebuah komputer yang khusus dirancang untuk mengontrol suatu proses atau mesin. Berdasarkan namanya PLC adalah *Programmable* menunjukkan kemampuan dalam hal memori untuk menyimpan program yang telah dibuat yang dengan mudah diubah-ubah fungsi atau kegunaannya. *Logic* menunjukkan kemampuan dalam memproses input secara aritmatik dan *logic* (ALU), yakni melakukan operasi membandingkan, menjumlahkan, mengalikan, membagi mengurangi, negasi, AND, OR dan lain sebagainya. *Controller* menunjukkan kemampuan dalam mengontrol dan mengatur proses sehingga menghasilkan *output* yang diinginkan [8].

Fungsi dan kegunaan PLC sangat luas. Dalam prakteknya PLC dapat dibagi secara umum dan khusus. Secara umum fungsi PLC adalah sebagai berikut :

1. Sekuensial Kontrol

PLC memproses input sinyal biner menjadi *output* yang digunakan untuk keperluan pemrosesan teknik secara berurutan (*sekuensial*), disini PLC menjaga agar semua step atau langkah dalam proses sekuensial berlangsung dalam urutan yang tepat.

2. Monitoring Plant

Memonitor status suatu sistem (misalnya temperatur, tekanan, tingkat ketinggian) dan mengambil tindakan yang diperlukan sehubungan dengan proses yang dikontrol misalnya nilai sudah melebihi batas atau menampilkan pesan tersebut pada operator.

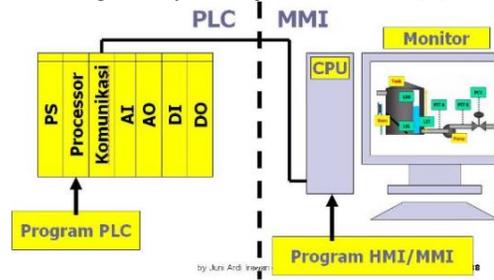
Sedangkan fungsi PLC secara khusus adalah dapat memberikan input ke CNC (*Computerized Numerical Control*). Beberapa PLC dapat memberikan input ke CNC untuk kepentingan pemrosesan lebih lanjut. CNC bila dibandingkan dengan PLC mempunyai ketelitian yang lebih tinggi dan lebih mahal harganya. CNC biasanya dipakai untuk proses *finishing*, membentuk benda kerja, *moulding* dan sebagainya.

Prinsip kerja PLC adalah menerima sinyal masukan proses yang dikendalikan lalu melakukan serangkaian instruksi logika terhadap sinyal masukan tersebut sesuai dengan program yang tersimpan dalam memori lalu menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan aktuatur atau peralatan lainnya.

2.6 HMI (Human Machine Interface)

HMI adalah unit control terpusat untuk fasilitas manufaktur yang dilengkapi dengan penerima data, *event logging*, *video feed*, pemicu. HMI digunakan untuk mengakses sistem setiap saat untuk berbagai tujuan, misalnya untuk menampilkan kesalahan mesin, menampilkan status proses, menampilkan jumlah produk, dan tempat dimana *user* melakukan mengendalikan mesin yang ada pada plant. Penggunaan HMI memiliki beberapa keuntungan, misalnya penggunaan kode warna sehingga memudahkan identifikasi, penggunaan ikon atau gambar sehingga mudah dikenali, dan layar yang dapat dirubah-rubah sehingga memungkinkan untuk pembuatan level akses masuk ke sistem.

Pada sistem manufaktur HMI harus bekerja secara terintegrasi dengan PLC. PLC akan mengambil informasi dari sensor, dan mengubahnya ke aljabar Boolean. [9].



Gambar 5. Hubungan PLC dan HMI [10]

2.7 Pressure Gauge

Pressure gauge merupakan sebuah alat yang dapat digunakan sebagai penanda besarnya tekanan fluida yang terdapat dalam sebuah alat proses atau perpipaan. Banyak orang yang berposisi sebagai pengawas atau petugas pengecekan menggunakan *pressure gauge* saat melakukan penelitian terhadap kerja dari alat-alat industri. *Pressure gauge* dapat memantau apakah alat-alat tersebut dapat bekerja sesuai dengan kapasitasnya atau apakah suhu yang diperlukan dalam proses kerja telah sesuai atau belum. *Pressure gauge* berfungsi sebagai alat ukur tekanan. Dipasang pada pipa, tanki, atau separator untuk mengukur/ membaca nilai tekanan proses.

Nilai satuan ukur yang biasa dipakai di lapangan adalah psi (*pound/in²*) dan *water column* (in H₂O). Saat membuka/ menutup sebuah kerangan (*valve*), pastikan ketahui nilai tekanan dari proses agar terhindar dari kecelakaan. Dan jika ingin hendak melakukan pengosongan (*bleeding*) sebuah separator, tanki atau pipa, pastikan *pressure gauge* harus menunjukkan nilai 0 psi, sebelum meneruskan pekerjaan membuka separator tanki atau pipa tersebut. Pemasangan dan pemilihan *pressure gauge*.



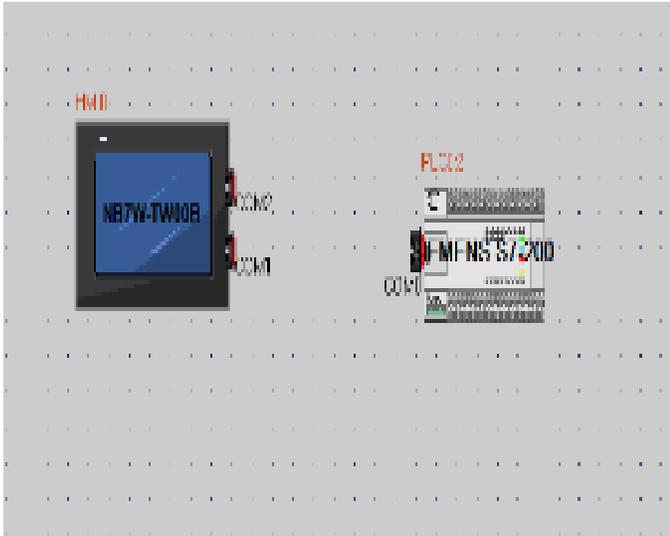
Gambar 6. Pressure Gauge [11]

2.8 Sistem Kontrol PID

Sistem Kontrol PID (*Proportional – Integral – Derivative controller*) merupakan kontroler untuk menentukan presisi suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik adanya umpan balik pada sistem tersebut (*Feed back*). Sistem kontrol PID terdiri dari tiga buah cara pengaturan yaitu kontrol P (*Proportional*), D (*Derivative*) dan I (*Integral*), dengan masing – masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam implementasinya masing – masing cara dapat bekerja sendiri maupun gabungan diantaranya. Dalam perancangan sistem kontrol PID yang perlu dilakukan adalah mengatur parameter P, I atau D agar tanggapan sinyal keluaran sistem terhadap masukan tertentu sebagaimana yang diinginkan [12].

3.6 Perancangan Wiring HMI NB7W-TW000B

HMI digunakan sebagai interface proses plant dengan tampilan monitoring secara visual untuk menghubungkan antara *user* dengan mesin sehingga dapat memudahkan pengoperasian sistem plant oleh operator. Perancangan program pada HMI OMRON tipe NB7W-TW00B menggunakan *software* khusus yaitu NB-Designer dengan jenis tampilan grafis yang interaktif untuk menampilkan data hasil pengukuran, pengontrolan dan penggambaran proses plant yang berlangsung secara real time dengan cara mengakses alamat yang ada pada PLC Siemens S7-200. Untuk menghubungkan HMI OMRON dengan PLC Siemens dilakukan menggunakan komunikasi serial RS485.



Gambar 12. Rangkaian Gambar HMI dengan Perangkat PLC

IV. HASIL DAN ANALISA

4.1 Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

Pengujian sensor tekanan MPX 5700AP dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor tekanan yang ditampilkan pada HMI dengan hasil pembacaan dengan alat ukur *manometer*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai *error* yang dibaca oleh sensor dengan alat ukur *manometer*. Pengujian dilakukan dengan melakukan perubahan tekanan setiap kenaikan 0,2 bar seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Dari Tabel 1 pada proses pengujian sensor MPX5700AP dilakukan dengan cara membandingkan keluaran sensor yang tampil HMI dengan manometer menggunakan satuan Psi. semakin besar nilai pembacaan maka semakin besar nilai tegangan yang didapatkan. Pembacaan tegangan sensor menggunakan fungsi dari ADC (*Analog to Digital Converter*). Dari hasil percobaan didapatkan nilai *error* rata-rata sebesar 0.97 %. Semakin besar nilai tekanan yang terbaca maka semakin besar nilai tegangan yang didapatkan oleh mikrokontroler yang dihubungkan dengan HMI pada sistem.

Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor Tekanan MPX5700AP

No	Pembacaan Tekanan Manometer (psi)	Pembacaan Tekanan pada HMI (psi)	Tegangan Output (V)	Error (%)
1.	0	0.70	0.43	0
2.	5	5.15	0.55	3
3.	10	9,8	0.74	2
4.	15	14,9	0.97	0.6
5.	20	19,7	1.28	1.5
6.	25	25,12	1.51	0.48
7.	30	29,6	1.88	1.33
8.	35	34,8	1.92	0.57
9.	40	39,5	2.01	1.25
10.	45	44,8	2.37	0.44
11.	50	50,1	2.5	0.2
12.	55	54,7	2.66	0.54
13.	60	61.2	2,8	2
Error rata-rata (%)				0.97

4.2 Pengujian Motor Servo

Pada pengujian motor servo ini berfungsi untuk mengetahui berapa derajat putaran pada motor servo. Sudut tersebut dibentuk melalui perubahan sinyal yang diberikan pada *input* motor servo dengan pada pemberian sinyal sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Motor Servo

No	Pembacaan sudut elektrik	Pembacaan sudut manual	Tegangan (V)
1	0	0	0
2	10	10	1
3	20	21	1.4
4	30	31	2
5	40	42	2.6
6	50	51	2.9
7	60	62	3.34
8	70	71	3.91
9	80	80	4.38
10	90	90	5.02

Dari Tabel 2 pada hasil pengujian motor servo didapatkan dalam mengatur sudut poros pergerakan motor servo dilakukan dengan menggubah nilai tegangan masukan dalam program. Semakin besar tegangan yang di atur maka semakin besar nilai putaran sudut dari motor servo MG996R. Percobaan juga dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan sudut motor servo yang dikendalikan dengan elektrik yang dibandingkan dengan pembacaan manual untuk mengetahui *error* perputaran dari motor servo. Dari hasil percobaan di dapatkan motor servo yang dapat berputar 90⁰ dengan tegangan maksimal 5.02 Volt.

4.3 Pengujian HMI

Pengujian HMI bertujuan untuk mengetahui dan memastikan sistem HMI yang dirancang sudah sesuai dengan sistem HMI yang ditentukan. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengecekan pada perangkat HMI, meliputi memastikan catu daya yang dibutuhkan HMI sesuai dengan kebutuhan yaitu 24 VDC, konfigurasi komunikasi antara HMI dan PLC telah dilakukan dengan benar dan sesuai yaitu menggunakan komunikasi serial RS 485 dan konfigurasi alamat pada software HMI telah sesuai dengan alamat *input/output* pada ladder diagram PLC.



Gambar 13. Hasil Pengujian Pengiriman Data Menggunakan WiFi

Pengujian fungsi HMI dilakukan dengan membandingkan waktu respon *input* dan *output* yang ada pada HMI dengan tombol manual yang ada di plant. Saat tombol HMI ditekan, mulai dihitung waktu yang dibutuhkan untuk mengaktifkan sistem, kemudian dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan saat tombol manual yang ada di plant ditekan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian HMI

No.	Pengujian Ke-	Waktu Respon (s)		Selisih (s)
		HMI	Manual	
1.	1	0,9	0,21	0,69
2.	2	1	0,18	0,82
3.	3	0,8	0,2	0,6
4.	4	1,2	0,19	1,01
5.	5	0,9	0,17	0,73

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 3 diatas, dapat disimpulkan bahwa rata-rata selisih waktu respon antara HMI dengan Manual adalah sebesar 0,77. Hal ini masih masih dalam toleransi karena selisih waktu rata-rata tidak lebih dari 1s, sehingga penggunaan HMI tetap dapat berfungsi dengan baik dan tidak mengganggu kinerja sistem secara keseluruhan.

4.4 Pengujian Kontrol PID

Pengujian Kontrol PID dilakukan untuk membandingkan nilai parameter antara sistem tanpa kontroler dengan sistem dengan kontroler PID. Kontrol PID memiliki fungsi untuk mengatur tekanan dalam mini *boiler* dengan mengatur waktu

penyalan *heater*. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengambil sample data dari pengujian respon tekanan terhadap waktu menggunakan kontroler PID.

Dari pengujian kontrol PID, pengambilan data dilakukan dengan memberikan kontrol pada sistem terhadap set point 15 psi. Hasil dari respon sistem tanpa kontroler PID dapat dilihat pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Grafik Respon Sistem Kontrol PID

Berdasarkan gambar 14 diatas, diperoleh nilai $K_p = 28.01$, $T_i = 1$ menit (60 s) dan $T_d = 0.001$ menit (0.06 s). dengan diperolehnya nilai k_p , T_i dan T_d tersebut dapat diketahui nilai K_p , K_i dan K_d yaitu $K_p = 28.01$, $K_i = 0.46$ dan $K_d = 1.68$.



Gambar 15. Grafik Kontrol PID Steady State

Dari gambar 15, apabila tekanan di buat ≥ 15 psi akan menghasilkan grafik yang stabil. Hal ini dipengaruhi oleh pemilihan nilai K_p , k_i dan K_d yang sesuai. Selain itu juga dipengaruhi oleh faktor miniplant yang baik sehingga dapat menghasilkan respon sistem yang baik juga.

Setelah diperoleh grafik respon sistem seperti ditunjukkan pada gambar 14 diatas, respon sistem pada kontrol pengaturan tekanan menunjukkan sistem yang stabil dengan nilai $K_p = 28.01$, $K_i = 0.46$ dan $K_d = 1.68$. Diperoleh

karakteristik *error steady state* = 0.6 %, *time rise* (T_r) = 1 s, *time delay* (T_d) = 0.5 s, *time peak* (T_p) = 6 s, *settling time* (T_s) = 18 s, dan maksimum *overshoot* (M_p) = 14 %.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Secara umum dari hasil perencanaan dan pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa sistem yang telah dibuat dapat berjalan dengan baik dan sesuai rencana perancangan sehingga dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Pada pengujian kontrol PLC dan HMI, PLC mampu memberikan kinerja yang baik dan akurat untuk setiap perubahan sistem miniplant *boiler* hal ini dapat diketahui dari percobaan dengan tekanan *supply* 15 psi menghasilkan grafik yang stabil pada tekanan 15.1 psi dengan nilai *error steady state* 0.6 %.
2. Dari data hasil pengujian didapatkan nilai konstanta nilai kontrol PID yang meliputi nilai $K_p = 28.01$, $K_i = 0.46$, dan $K_d = 1.68$. Dari konstanta nilai tersebut menghasilkan sebuah sistem yang stabil sesuai dengan gambar grafik 14
3. HMI digunakan untuk memonitor proses pengaturan tekanan pada *miniplant boiler* dapat memberikan tampilan visual yang *real time* dan presisi untuk setiap respon input dan *output* dengan rata-rata interval waktu respon sebesar 0,25 *second*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada sistem pengaturan tekanan mini *boiler* menggunakan PLC dan HMI, maka saran dari penulis untuk pengembangan penelitian tentang alat ini lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Untuk pengembangan berikutnya sebelum mencari pemodelan, sebaiknya mengetahui karakteristik dari sensor tekanan dengan *range* suhu yang lebih tinggi lagi agar tekanan dapat diuji lebih besar lagi pada *boiler*. Hal ini dikarenakan pada sensor MPX 5700 AP hanya memiliki *range* suhu sampai 120 °C. sedangkan untuk menghasilkan tekanan yang besar dibutuhkan pemanasan dengan suhu yang lebih tinggi lagi.
2. Pengembangan alat juga dapat dilakukan dengan menggunakan komunikasi jarak jauh seperti DCS atau SCADA sehingga lebih menyerupai implementasi pada dunia industri.
3. Agar sistem bekerja saling berpengaruh antar obyek yang dikontrol, kedepannya dapat menggunakan kontrol sistem secara cascade.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muin, Syamsir A. 1988. Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap). Jakarta: Rajawali Pers.
- [2] Yohana E dan Askhabulyamin. 2009. Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas Pada *Boiler* Ebara HKL 1800 KA. Rotasi, Volume 11 No. 3. Hal: 13-16
- [3] Raharjo W. D dan Karnowo. 2013. Mesin Konversi Energi. Semarang: Universitas Negeri Semarang Press.
- [4] Raharjo C.Y. Perencanaan Katep Uap Pipa Api Dengan Kapasitas 25 Ton/Jam Dengan Bahan Bakar Batubara. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [5] <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPX5700.pdf>
- [6] <https://components101.com/motors/mg996r-servo-motor-datasheet>
- [7] <https://id.wikipedia.org/wiki/ATMega8535>
- [8] Setiawan, Mohammad Randy. 2016. Sistem Pengaturan Suhu *Boiler* Pada Steamer Baglog dengan Kontrol PID Menggunakan PLC dan HMI.
- [9] Bolton, William. 2003. *Programmable Logic Controller (PLC)* Sebuah Pengantar Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga
- [10] Febriyanto. Efektivitas Pembelajaran Berbasis Masalah Berbantuan Trainee Human Machine Interface Untuk Peningkatan Kompetensi Perakitan Sistem PLC SMK N 2 Depok. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- [11] https://www.ashcroft.eu/pictures/pdf/datasheet_1109_process_press_gauge.pdf
- [12] Arifin .2015. *Controller PID*. Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [13] Yudianto H. Perancangan Sistem Kontrol PID Menggunakan Simulink. Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. 2011