

Aplikasi Perbandingan Pengendali P, PI, Dan PID Pada Proses Pengendalian Suhu Dalam Sistem Mini Boiler

Bhakti Yudho S^{1*}, Hera Hikmarika¹, Suci Dwijayanti¹, Purwanto¹

¹Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya, *bhakti_yudho@yahoo.com

ABSTRACT

Nowadays, Industry use boilers in process of steam utilization. To obtain the optimum steam, controlling the combustion temperature is required. In this research, mini boiler is designed, it look like a tube with a length of 80 cm and diameter of 40 cm. The combustion process uses gasses as fuel. System modeling of a mini boiler will be used to get the block diagram of the system based on the function. Then, based on the block diagram, PID controller is designed to control the temperature of the mini boiler combustion air. Input variables consists of temperature and error of the thermocouple readings. While, the output variable is the opening of the control valve. MATLAB software is used to test and simulate the process by designing the system with and without disturbances in the interval of 20 seconds. The result of a measurement and simulation with disturbance as follows:, PI controllers generate the best response, with settling time of 17.17 seconds, rise time of 10-90 % is 8.561 seconds, steady state conditions of 125 oC is 37.72 seconds and no steady state error. Meanwhile PID controller is better than PI controller if there is no disturbance in the system.

Keywords: Mini Boiler, PID controller, settling time, rise time, PI Controller

1. PENDAHULUAN

Teknologi yang baik diperlukan manusia agar dapat meningkatkan efisiensi kerjanya serta menjaga keselamatan sumber daya manusianya itu sendiri. Berbagai macam penemuan peralatan industri yang hingga kini masih menjadi kebutuhan pokok bagi dunia industri seperti motor, generator, kompresor, heater, dan boiler terus dikembangkan dengan optimal agar dapat lebih mempermudah tugas manusia di bidang industri.

Penggunaan boiler dalam dunia industri diperlukan untuk proses-proses yang memerlukan uap dari boiler misalkan untuk pemanasan, proses memasak maupun untuk pembangkit tenaga uap. Boiler mengubah air sebagai masukan untuk diubah menjadi uap melalui proses pemanasan di dalam steam. Untuk mendapatkan uap yang optimal diperlukan sistem kendali boiler yang mengatur besarnya suhu dan tekanan yang dihasilkan di dalam steam tersebut. Salah

satu pengendali yang dapat digunakan pada boiler adalah pengendali Proporsional-Integral-Diferensial (PID).

Penelitian tentang boiler banyak sekali telah dilakukan namun hampir semuanya dilakukan untuk boiler dalam skala besar dan untuk pembangkit tenaga listrik, diantaranya oleh Hossein Reza Karampoorian dan Reza Mohseni (2011) yang membahas tentang sistem multivariabel boiler dan turbin untuk pembangkit listrik [1]. Penelitian lainnya dilakukan oleh F. P. de Mello dan Fellow (1991) yang meneliti tentang pemodelan boiler untuk sistem yang memiliki unjuk kerja dinamis seperti yang ada pada pembangkit listrik[2].

Pada penelitian ini dirancang mini boiler yang dipergunakan pada industri kecil dengan steam yang suhunya tidak terlalu tinggi namun membutuhkan pengendalian temperatur agar steam yang dialirkan memiliki temperatur yang stabil karena permasalahan utama dari mini boiler ini yaitu kestabilan temperatur dan tekanan. Dengan demikian penggunaan pengendali yang baik dan handal diharapkan dapat mengatasi permasalahan tersebut sehingga pemanfaatan steam tersebut untuk proses lebih lanjut juga lebih baik lagi.

2. KERANGKA TEORITIS

A. Boiler[3],[5]

Boiler adalah suatu peralatan yang dioperasikan agar memproduksi uap air sehingga dapat digunakan sebagai sumber tenaga penggerak, alat pemanas, pembersih, penguap cairan dan kegunaan lainnya.

Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam* dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. Pada keseluruhan sistem, tekanan *steam* diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

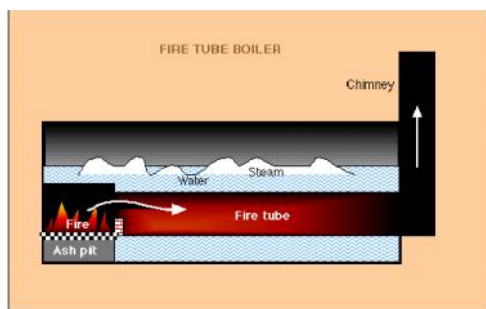
Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi *steam* disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah

Kondensat yang merupakan hasil dari pengembunan *steam* dari proses sampingan dan *Air makeup* (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler dan *plant* proses. Agar mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, *economizer* digunakan untuk memanaskan awal air umpan tersebut.

B. Jenis-Jenis Boiler

a. Fire Tube Boiler

Pada fire tube boiler, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan boiler ada didalam *shell* untuk dirubah menjadi steam. Fire tube boiler biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relative kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, fire tube boiler kompetitif untuk kecepatan steam sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm2. Fire tube boiler dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar fire tube boiler dikonstruksi sebagai paket (diproduksi oleh pabrik) boiler untuk semua bahan bakar.



Gambar 1. Fire Tube Boiler[3]

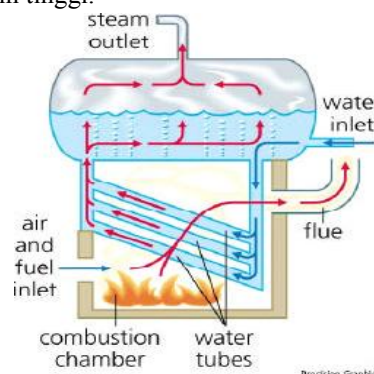
b. Water Tube Boiler

Pada water tube boiler, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk steam pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga. Water tube boiler yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4.500 – 12.000 kg/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak water tube boiler yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk water tube boiler yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket.

Karakteristik water tube boiler sebagai berikut:

- *Forced, induced* dan *balanced draft* membantu untuk meningkatkan efisiensi pembakaran
- Kurang toleran terhadap kualitas air yang dihasilkan *plant* pengolahan air.

- Memungkinkan untuk tingkat efisiensi panas yang lebih tinggi.



Gambar 2. Water Tube Boiler[3]

C. Kesenjangan Energi dan Massa

Untuk menetapkan karakteristik dan kelakuan sistem proses, diperlukan:

1. Himpunan *fundamental dependent quality*, yang nilainya akan menjelaskan keadaan sistem : massa dan energi
2. Himpunan persamaan dari *fundamental variable* pada (1) yang akan menjelaskan bagaimana keadaan sistem berubah terhadap waktu.

Fundamental dependent variable sering kali tidak dapat diukur secara langsung. Sehingga perlu dipilih variabel – variabel lain yang dapat diukur dengan baik, yang jika digabungkan dapat menghasilkan nilai *fundamental variable* yang dibutuhkan. *Fundamental variable* massa, energi, dan momentum dapat ditetapkan dari densitas (ρ), konsentrasi (C), temperatur (T), tekanan (P), dan laju alir (F). Variabel – variabel yang memberikan karakteristik suatu proses disebut sebagai *state variable*, dan nilainya mendefinisikan keadaan dari sistem proses.

Persamaan – persamaan yang menghubungkan *state variable* dengan berbagai *independent variable* disebut persamaan keadaan, yang dapat diturunkan menggunakan prinsip kekekalan (*conservation principle*) terhadap *fundamental quantities*. [4]

$$\left[\frac{\text{akumulasi S}}{\text{dalam sistem}} \right]_{\text{rentang waktu}} = \left[\frac{\text{aliran S}}{\text{masuk ke sistem}} \right]_{\text{rentang waktu}} - \left[\frac{\text{aliran S}}{\text{keluar sistem}} \right]_{\text{rentang waktu}} + \quad (1)$$

$$\left[\frac{\text{jumlah S digenerasikan}}{\text{dalam sistem}} \right]_{\text{rentang waktu}} - \left[\frac{\text{jumlah S dikonsumsi}}{\text{dalam sistem}} \right]_{\text{rentang waktu}}$$

Dengan:

S = Massa Total atau Massa Komponen atau Energi Total

Berdasarkan prinsip kekekalan, dapat disusun persamaan– persamaan keadaan sebagai berikut : [4]

Neraca Massa Total :

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = \sum_{i_inlet} \rho_i F_i - \sum_{j_outlet} \rho_j F_j \quad (2)$$

Dimana :

V menyatakan volume (m³)

F menyatakan laju aliran (kg/s)

ρ menyatakan densitas atau massa jenis (kg/m³)

Persamaan diatas menjelaskan bahwa perubahan massa dalam suatu sistem tiap satuan waktu merupakan selisih dari jumlah perubahan aliran fluida yang masuk ke dalam sistem tersebut persatuan waktu dikurang jumlah perubahan aliran fluida yang keluar sistem tersebut persatuan waktu.

Neraca Energi Total :[4]

$$\frac{dE}{dt} = \sum_{i_inlet} \rho_i F_i h_i - \sum_{j_outlet} \rho_j F_j h_j \pm Q \pm W_s \tag{3}$$

Dimana :

V menyatakan volume (m³)

F menyatakan laju aliran (kg/s)

ρ menyatakan densitas atau massa jenis (kg/m³)

Q menyatakan perubahan panas dalam sistem (J/s)

W menyatakan kerja yang dilakukan sistem (J/s)

h menyatakan enthalpi (J/kg)

Persamaan diatas menjelaskan bahwa perubahan energi dalam suatu sistem tiap satuan waktu merupakan jumlah energi yang masuk ke dalam sistem tiap satuan waktu dikurangi dengan jumlah energi yang keluar sistem tiap satuan waktu dan ditambahkan dengan perubahan panas dalam sistem tersebut serta ditambahkan kerja yang dilakukan oleh sistem tersebut.

D. Control Valve

Valve secara definisi bahasa Indonesia yaitu katup, kran, atau klep, yang mempunyai fungsi sebagai pengatur laju aliran fluida yang melewatinya. Jika katup tersebut diinginkan dapat digerakkan secara otomatis sesuai dengan keinginan maka dibutuhkan katup yang dapat dikendalikan biasa disebut control valve. Umumnya pemodelan control valve sebagai berikut :[8]

$$\frac{P'_z(s)}{P'(s)} = \frac{K_p}{\tau_p s + 1} \tag{4}$$

E. Thermocouple

Thermocouple merupakan salah satu contoh sensor temperatur yang sering digunakan. Secara umum, fungsi alih *thermocouple* sebagai berikut[8] :

$$\frac{T_{ov}}{T_{ox}} = \frac{K_T}{\tau_T s + 1} \tag{5}$$

F. Pengendali [6]

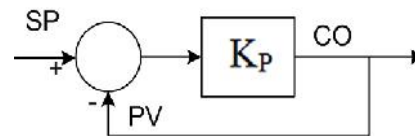
Pengendali PID adalah pengendali yang paling banyak digunakan didalam industri. Pengendali PID telah bertahan sejak lama, dari era sistem analog hingga era sistem digital komputer. Pada kenyataannya, perkembangan teknologi digital dan *software* telah membuat perkembangan yang signifikan terhadap penelitian PID.

- Pengendali *Proportional* (P)

Aksi pengendali proporsional memiliki respon keluaran yang sebanding dengan sinyal kesalahan (*error*) yang dihasilkan, hal ini sesuai dengan perumusan dibawah ini :

$$CO(t) = K_p e(t) \tag{6}$$

Dimana, proporsional respon dapat disesuaikan dengan mengalikan sinyal error terhadap K_p , atau yang disebut dengan proporsional gain. Berikut gambar 3 yang memperlihatkan diagram blok *proportional*.



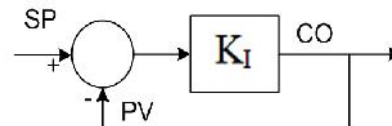
Gambar 3. Diagram blok Pengendali Proportional

- Pengendali *Integral* (I)

Pengendali *integral* digunakan untuk menghilangkan *offset* pada keadaan tunak. *Offset* biasanya terjadi pada *plant* yang tidak mempunyai faktor integrasi (1/s). Berikut ini adalah perumusan pengendali *integral* :

$$CO(t) = K_i \int e(t) dt \tag{7}$$

Disamping menghilangkan sinyal kesalahan keadaan tunak (*offset*), ada kemungkinan pengendali *integral* dapat menimbulkan respon yang berosilasi dengan amplitudo yang mengecil secara perlahan atau bahkan amplitudo yang membesar. Berikut gambar 4 diagram blok pengendali integral.



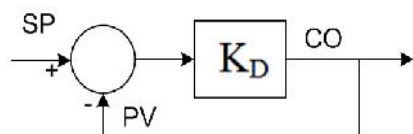
Gambar 4. Diagram blok Pengendali Integral

- Pengendali *Derivative* (D)

Fungsi pengendali *derivative* adalah untuk memprediksi nilai yang akan datang dari kendali sinyal kesalahan (*error*). Berikut ini perumusan pengendali *derivative* :

$$CO(t) = K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{8}$$

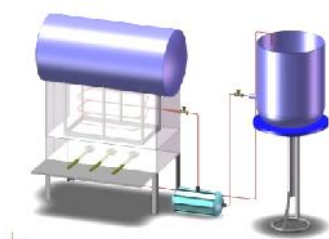
Perumusan terdapat pada pengendali *derivative* ini dihasilkan dari diffrensial atau turunan proses sinyal kesalahan (*error*) yang dijumlahkan dengan menentukan kemiringan sinyal kesalahan dari waktu ke waktu dan mengalikan laju perubahan dengan penguat (*gain*) *derivative* (K_D). Berikut gambar 5 diagram blok pengendali *derivative*.



Gambar 5. Diagram blok Pengendali Derivative

3. METODE RISET

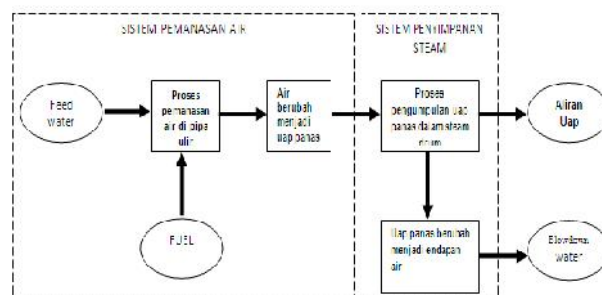
Mini boiler yang digunakan terdiri dari beberapa bagian, yaitu *steam drum*, pipa ulir, dan pipa tegak. *Steam drum* dirancang menyerupai tabung dengan panjang 80 cm dan diameter 40 cm berbahan dasar stenlis dengan ketebalan 3 mm. *Steam drum* berfungsi sebagai tempat penampungan uap yang dihasilkan dari proses pemanasan air. Di bawah *steam drum* terdapat pipa ulir dengan ketebalan 1 mm dan diameter lubang 0,8 cm yang dibuat tiga tingkatan sebagai sebagai jalur input aliran air yang akan dipanaskan. Di bawah *steam drum* juga terdapat pipa tegak yang dibuat mengelilingi pipa ulir dengan jumlah enam tiang sepanjang 15 cm. Pipa tegak ini dihubungkan oleh pipa mendatar berbentuk persegi panjang yang kemudian dihubungkan dengan *steam drum* dan pipa ulir. Pipa tegak ini berfungsi sebagai penyuplai uap ke dalam *steam drum* dari proses pemanasan yang terjadi pada pipa ulir dan juga sebagai tempat pemisah antara air yang berasal dari proses pengembunan uap panas yang mengendap lama dalam *steam drum* yang selanjutnya dipanaskan kembali menjadi uap.



Gambar 6. Perancangan Mini Boiler

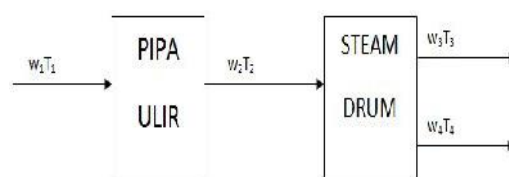
Sistem pemanasan air pada mini boiler ini menggunakan tiga buah tungku api berbahan bakar gas. Sehingga secara umum sistem kerja mini boiler dikelompokkan menjadi dua subsistem, yaitu sistem pemanasan air dan sistem penyimpanan uap panas

(*steam*). Proses dimulai dari sistem pemanasan air saat air yang berasal dari *feedwater* dialirkan melalui pompa menuju pipa ulir yang kemudian dipanaskan oleh api yang dihasilkan dari gas elpiji hingga menjadi uap panas. Selanjutnya proses kerja berlanjut pada sistem penyimpanan uap panas setelah air mencapai titik didih 100°C. Uap panas (*steam*) yang berasal dari pipa ulir akan naik menuju *steam drum* melalui pipa tegak yang menembus badan *steam drum*. Kemudian uap panas ini akan dikumpulkan dalam tabung penampungan uap panas (*steam drum*) hingga menghasilkan tekanan yang diinginkan yaitu sebesar 2 bar. Sebagian uap panas yang telah lama mengendap dalam *steam drum* berubah menjadi air kembali (yang disebut *blowdown water*) akan dikeluarkan melalui pipa pada bagian bawah *steam drum*. Semua sistem di atas selalu bekerja saling berurutan dan kontinu, sehingga jika terdapat gangguan pada sebuah sistem, maka sistem lainnya akan menjadi terganggu pula.



Gambar 7. Skema Sistem Mini Boiler

Pemodelan sistem suatu *plant* dilakukan berdasarkan pada hukum kesetimbangan massa (*mass balance*) dan kesetimbangan energi (*energi balance*). Oleh karena itu, secara sederhana dapat ditentukan variabel yang terdapat pada mini boiler, variabel – variabel tersebut digambarkan dalam diagram blok berikut :



Gambar 8. Variabel Pada Mini Boiler

Dimana :

- w_1 menyatakan laju aliran *feedwater* (kg/s)
- w_2 menyatakan laju aliran *steam* menuju *steam drum* (kg/s)
- w_3 menyatakan laju aliran *steam output* (kg/s)
- w_4 menyatakan laju aliran *blowdown water* (kg/s)
- T_1 menyatakan suhu *feedwater* (oC)
- T_2 menyatakan suhu *steam* yang menuju *steam drum* (oC)
- T_3 menyatakan suhu *steam output* (oC)

- T4 menyatakan suhu *blowdown water* (oC)

Berdasarkan model variabel di atas, maka dapat diperoleh persamaan kesetimbangan massa dan energi sistem :[2]

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = w_i - w_o \tag{9}$$

$$\frac{d(\rho V)}{dt} = w_1 - (w_3 + w_4) \tag{10}$$

$$\frac{d(V)}{dt} = \frac{1}{\rho} \{w_1 - (w_3 + w_4)\} \tag{11}$$

Dimana

w_i menyatakan laju aliran yang masuk ke sistem (kg/s)

w_o menyatakan laju aliran yang keluar sistem (kg/s)

V menyatakan volume *steam* dalam mini boiler (m³)

w_1 menyatakan laju aliran (*flow rate*) *feedwater* (kg/s)

w_3 menyatakan *flow rate steam out* (kg/s)

w_4 menyatakan *flow rate blowdown water* (kg/s)

ρ menyatakan massa jenis air (kg/m³)

Berdasarkan prinsip kekekalan energi (*conservation principle*) mengenai akumulasi zat dalam sistem, kesetimbangan energi total dalam sistem didefinisikan sebagai selisih antara energi yang masuk ke sistem dan keluar sistem, ditambah dengan jumlah energi yang dihasilkan sistem, serta energi yang dikonsumsi oleh sistem. Kesetimbangan energi dapat digambarkan melalui persamaan berikut :

$$C \frac{d\{V\rho(T - T_{ref})\}}{dt} = w_1 C(T_i - T_{ref}) - \{w_3 C(T - T_{ref}) + w_4 C(T - T_{ref})\} + Q \tag{12}$$

$$\frac{d(\rho V C T_3)}{dt} = w_1 C T_1 - (w_3 C T_3 + w_4 C T_4) + Q \tag{13}$$

$$T_3 \frac{d(V)}{dt} + V \frac{d(T_3)}{dt} = \frac{1}{\rho} \left(w_1 T_1 - (w_3 T_3 + w_4 T_4) + \frac{Q}{C} \right) \tag{14}$$

Dimana

T_i menyatakan suhu *feed water* (°C)

T menyatakan suhu *output* (°C)

C menyatakan kalor jenis air (J/kg.°C)

w_1 menyatakan laju aliran *feedwater* (kg/s)

w_3 menyatakan laju aliran *steam out* (kg/s)

w_4 menyatakan laju aliran *blowdown water* (kg/s)

Q menyatakan perubahan energi panas yang terjadi pada sistem (J/s)

T_1 menyatakan suhu *feedwater* (°C)

T_3 menyatakan suhu *steam out* (°C)

T_4 menyatakan suhu *blowdown water* (°C)

Dengan mensubstitusikan persamaan (11) ke dalam persamaan (14), maka diperoleh persamaan berikut :

$$\frac{dT_3}{dt} = T_3 \left\{ \frac{1}{V\rho} (w_4 - w_1) \right\} + \frac{1}{V\rho} \left(w_1 T_1 - w_4 T_4 + \frac{Q}{C} \right) \tag{15}$$

Persamaan (11) dan (15) mewakili karakteristik sistem pada mini boiler berdasarkan kesetimbangan massa dan energi. Dengan menggunakan ekspansi deret taylor persamaan tersebut dapat dilinearisasikan menjadi

$$\frac{dV'(t)}{dt} = \frac{1}{\rho} \left\{ w_1'(t) - (w_3'(t) + w_4'(t)) \right\} \tag{16}$$

$$\frac{dT_3'(t)}{dt} = \frac{1}{\rho} \left(\frac{w_{4,s} - w_{1,s}}{V_s} \right) T_3'(t) + \frac{1}{\rho} \left\{ \frac{w_{1,s}}{V_s^2} (T_{3,s} - T_{1,s}) - \frac{w_{4,s}}{V_s^2} (T_{4,s} - T_{3,s}) \right\} V'(t) \tag{17}$$

$$+ \frac{1}{\rho} \left(\frac{T_{1,s} - T_{3,s}}{V_s} \right) w_1'(t) + \frac{1}{\rho} \left(\frac{T_{3,s} - T_{4,s}}{V_s} \right) w_4'(t) + \left(\frac{w_{1,s}}{\rho \cdot V_s} \right) T_1'(t) - \left(\frac{w_{4,s}}{\rho \cdot V_s} \right) T_4'(t) + \frac{Q'(t)}{V_s \rho C}$$

Dalam penelitian ini pengendalian hanya difokuskan pada pengendalian suhu dalam *steam drum* saja, yaitu pada T_3 . Oleh karena itu, beberapa variabel dianggap konstan. Dalam pembatasan masalah, masukan air dianggap konstan (T_1 dan w_1 konstan). Selain itu, untuk melakukan pengontrolan suhu dalam *steam drum*, maka volume dalam *steam drum* dianggap tetap, dan *blowdown water* (T_4 dan w_4) dianggap sebagai gangguan sistem. Sehingga persamaan (17) berubah menjadi :

$$\frac{dT_3'(t)}{dt} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{w_{1,s} - w_{4,s}}{V_s} \right) T_3'(t) = \frac{Q'(t)}{V_s \rho C} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{T_{3,s} - T_{4,s}}{V_s} \right) w_4'(t) - \frac{1}{\rho} \left(\frac{w_{4,s}}{V_s} \right) T_4'(t) \tag{18}$$

Dengan menggunakan transformasi laplace, persamaan diatas berubah menjadi :

$$T_3'(s) = \frac{Q'(s)}{V_s \rho C s + (w_{1,s} - w_{4,s}) C} + \left\{ \frac{(T_{3,s} - T_{4,s})}{V_s \rho s + (w_{1,s} - w_{4,s})} \right\} w_4'(s) - \left\{ \frac{w_{4,s}}{V_s \rho s + (w_{1,s} - w_{4,s})} \right\} T_4'(s) \tag{19}$$

Dalam penelitian ini, pengontrolan yang dilakukan melalui *control valve* digunakan untuk mengontrol perubahan perpindahan panas yang terjadi pada sistem pemanasan air. Fungsi alih *control valve* diatas hanya membandingkan masukan bukaan *valve* dengan jumlah aliran gas elpiji yang digunakan sebagai bahan bakar. Oleh karena itu, diperlukan suatu blok yang digunakan untuk menghubungkan *plant* dengan *control valve* yaitu perbandingan jumlah aliran gas yang terbakar dengan perubahan perpindahan panas yang terjadi pada sistem pemanasan air dalam pipa ulir.

Pemodelan termokopel yang diperoleh dari data penelitian, maka didapat fungsi alih sebagai berikut :

$$\frac{T_{oy}}{T_{ox}} = \frac{K_T}{\tau_T s + 1} = \frac{0.0411}{0.75s + 1} \quad (20)$$

TABEL 1
KONSTANTA PENYUSUN SISTEM MINI BOILER

parameter	nilai	satuan
V_s	0,1005	m^3
$w_{1,s}$	0,3333	kg/s
$w_{4,s}$	0.0833	kg/s
C	4,184	$kJ/kg^{\circ}C$
ρ	1	kg/m^3
$T_{1,s}$	28	$^{\circ}C$
$T_{3,s}$	125	$^{\circ}C$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode yang telah disebutkan pada bab terdahulu, maka berikut ini merupakan pembahasan dari hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Pada gambar berikut ini ditampilkan hasil rancangan mini boiler yang telah dirancang.

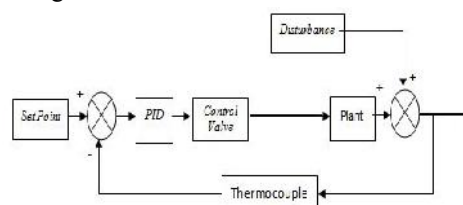


Gambar 9. Hasil perancangan Mini Boiler

Mini boiler yang dibuat menggunakan gas elpiji sebagai bahan bakar untuk sumber panas dan fluida yang digunakan berupa air (H_2O). Tangki penampungan pada mini boiler berbahan stenlis dengan ketebalan 3 mm, ketebalan tangki dimaksudkan agar tangki sebagai tempat penampungan *steam* mampu menahan tekanan

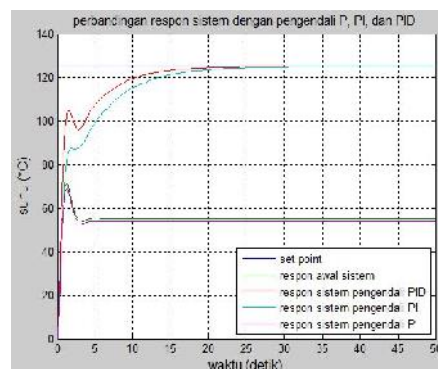
steam yang besar. *Steam drum* berdimensi panjang 80 cm dengan diameter 40 cm. Terdapat serangkaian pipa ulir sebagai jalur air *input* yang akan dipanaskan. Pipa ulir bertujuan mempercepat proses pemanasan air, sehingga air lebih cepat mendidih dan menjadi uap. Pipa yang digunakan berbahan stenlis dengan ketebalan 1 mm dan diameter lubang 0,8 cm. Selain itu, terdapat pula pipa tegak yang mengelilingi pipa ulir. Pipa tegak tersebut berjumlah 6 tiang dihubungkan oleh pipa mendatar berbentuk persegi panjang yang juga terhubung dengan pipa ulir.

Berdasarkan fungsi alih sistem mini boiler, pemodelan *control valve*, dan pemodelan termokopel maka didapatkan diagram blok sistem kendali mini boiler sebagai berikut :



Gambar 10. Diagram blok mini boiler

Berikut adalah hasil perbandingan respon sistem mini boiler dengan pengendali P, PI, dan PID:

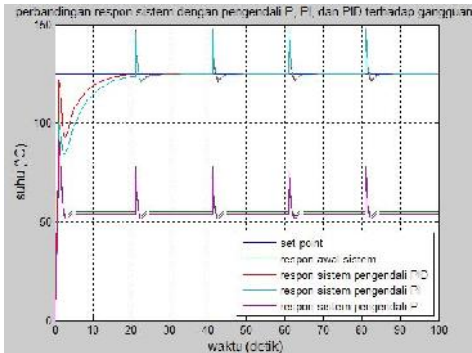


Gambar 11. Perbandingan respon sistem

Dari gambar tersebut, respon sistem mini boiler dengan pengendali PID menghasilkan *settling time*, *rise time*, dan mencapai kondisi *steady state* lebih cepat daripada pengendali PI. Akan tetapi, pengendali PID memiliki *error steady state* sebesar ± 0.1 . Maka respon sistem mini boiler yang paling baik adalah dengan pengendali PI dengan *settling time* 17.17 detik, dan *rise time* 10-90 % sebesar 8.561 detik dengan kondisi *steady state* 125 $^{\circ}C$ pada saat 37.72 detik. Kemudian perlu didapatkan pula respon sistem dengan pengendali tersebut terhadap gangguan.

Pada gambar 12 berikut ini, *pulse generator* yang digunakan sebagai masukan *disturbance* (gangguan sistem) memiliki nilai parameter *amplitude* sebesar 25, *pulse width(% of period)* sebesar 0.5, *phase delay(secs)*

sebesar 1, dan *period(secs)* sebesar 20. Berikut adalah hasil perbandingan respon pengendali P, PI, dan PID sistem mini boiler terhadap gangguan :



Gambar 12. Perbandingan respon sistem terhadap gangguan

Dari gambar tersebut, respon sistem mini boiler dengan pengendali PID terhadap gangguan menghasilkan *settling time*, *rise time*, dan mencapai kondisi *steady state* setelah mengalami *overshoot* lebih cepat daripada pengendali PI. Akan tetapi, pengendali PID memiliki *error steady state* sebesar ± 0.1 . Maka respon sistem mini boiler yang paling baik adalah dengan pengendali PI dengan *settling time* 17.29 detik, *rise time* 10-90 % sebesar 8.684 detik dan *overshoot* 147.5 °C setiap 20 detik yang kembali mencapai keadaan *steady state* 125 °C setelah 17.2 detik setelah gangguan tersebut.

6. PENUTUP

1. Respon sistem mini boiler dengan pengendali PI yang terbaik saat diberikan gangguan yaitu *settling*

time sebesar 17.29 detik, *rise time* 10-90 % sebesar 8.684 detik dan *overshoot* 147.5 °C setiap 20 detik yang kembali mencapai keadaan *steady state* 125 °C setelah 17.2 detik setelah gangguan.

2. Respon tanpa gangguan PID lebih baik karena memiliki *settling time*, *rise time*, dan mencapai kondisi *steady state* lebih cepat daripada pengendali PI.
3. Dari seluruh pengujian respon, pengendali P tidak dapat mencapai *set point* yang diinginkan.

7. REFERENSI

- [1] Hossein R. K., et al. 2011. *Generalized Model Predictive Control for a Multivariable Boiler- Turbine Unit*. 11th International Conference on Control, Automation and Systems. Oct. 26-29,2011 in KINTEX, Gyeonggi-do, Korea. pp. 811-814.
- [2] F. P. de Mello. et al. 1991. *Boiler Models For System Dynamic Performance Studies*. IEEE TransactionS on Power Systems, Vol.6, No.1, February 1991. pp. 66-74
- [3] _____. *Thermal Energy Equipment: Boilers & Thermic Fluid Heaters*. UNEP
- [4] Stephanopoulos, G. 1984. *Chemical Process Control An Introduction to Theory and Practice*. Department of Chemical Engineering Massachusetts Insitute of Technology. New Jersey
- [5] Gilman,G.F (Jerry). 2005. *Boiler Control Systems Engineering*. Triangle Park: ISA
- [6] Manurung, Robert. _____. *TK-352 Pengendalian Proses*. Bandung: Penerbit ITB
- [7] Yu, Cheng Ching. 2006. *Autotuning Of PID Controllers*. Springer Verlag. London
- [8] Seeborg, D. E., Edgar, T. F., & Mellichamp, D. A. (1989). *“Process Dynamics And Control”*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.