



**TUGAS AKHIR - TF 141581**

# **PERANCANGAN SISTEM KONTROL DUA BURNER YANG DIOPERASIKAN SECARA PARALEL PADA BOILER**

**VEBBY ARGA PRADANA  
NRP. 2414 105 045**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA  
NIPN. 19650309 199002 1 001**

**JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**



FINAL PROJECT - TF 141581

***CONTROL SYSTEM DESIGN OF TWO BURNER  
OPERATED IN PARALLEL TO BOILER***

VEBBY ARGA PRADANA  
NRP. 2414 105 045

Advisor Lecturer  
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA  
NIPN. 19650309 199002 1 001

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2016

**LEMBAR PENGESAHAN**

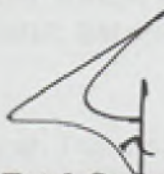
**PERANCANGAN SISTEM KONTROL DUA BURNER  
YANG DIOPERASIKAN SECARA PARALEL  
PADA BOILER**

**TUGAS AKHIR**

**Oleh:  
VEBBY ARGAS PRADANA  
NRP. 2414 105 045**

**Surabaya, 29 Juli 2016**

**Menyetujui,  
Dosen Pembimbing**



**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA**  
**NIPN. 19650309 199002 1 001**

**Mengetahui,  
Ketua Jurusan  
Teknik Fisika FTI-ITS**

**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D**  
**NIPN. 19780902 200312 1 002**



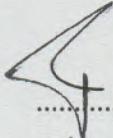

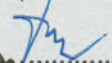
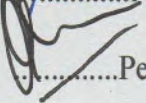
**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PERANCANGAN SISTEM KONTROL DUA BURNER**  
**YANG DIOPERASIKAN SECARA PARALEL**  
**PADA BOILER**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**VEBBY ARGA PRADANA**  
**NRP. 2414 105 045**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- |                                   |   |                  |
|-----------------------------------|---|------------------|
| 1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA |   | .....Pembimbing  |
| 2. Totok Ruki Biyanto, Ph.D       |  | .....Penguji I   |
| 3. Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc     |  | .....Penguji II  |
| 4. Gunawan Nugroho, ST, MT, Ph.D  |  | .....Penguji III |

**SURABAYA**  
**JULI, 2016**

# PERANCANGAN SISTEM KONTROL DUA BURNER YANG DIOPERASIKAN SECARA PARALEL PADA BOILER

**Nama Mahasiswa** : Vebby Arga Pradana  
**NRP** : 2414 105 045  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA

## Abstrak

Boiler M5301 pada salah satu pabrik petrokimia di Gresik berjenis package boiler dimana menghasilkan uap bertekanan rendah. Pada boiler M5301 dilengkapi dua burner yang dioperasikan secara paralel. Namun permasalahannya *supply* bahan bakar gas pada masing-masing burner tersebut berbeda, namun gas buang dari kedua burner digabung menjadi satu yang akibatnya menyulitkan pengguna untuk mengetahui kinerja dari masing-masing burner. Prinsip kerja dari kedua burner yang dioperasikan secara paralel ini menggunakan metode *primary and secondary*, artinya burner 1 sebagai burner *primary* beroperasi secara penuh kemudian di-*supply* dengan menggunakan burner 2 sebagai burner *secondary*. Oleh karena itu, diperlukan sistem kontrol yang dapat mengatur operasi kedua burner untuk mencapai temperatur *steam* dengan setpoint 167,6 °C yaitu dengan menggunakan *logic solver*. Sebuah sistem kontrol dimana bekerja berdasarkan logika hubungan sebab akibat yang berfungsi sebagai pasangan aksi kondisi dari sebuah proses. Selain itu diperlukan pengendalian tekanan *steam* secara independen dengan setpoint 7,5 Bar menggunakan kontroler PI. Melalui hasil simulasi menggunakan *logic solver*, diperoleh karakteristik respon: *settling time* 9,8825 s, *error steady state* (ess) 0,06213 %, dan *rise time* (tr) 4,0233 s dengan *flow* bahan bakar sebesar 0,697 Kg/s pada burner 1 dengan bukaan *valve* penuh 100% dan 0,02969 Kg/s pada burner 2 dengan bukaan *valve* 42,6 %. Sedangkan hasil simulasi kontroler PI didapatkan: *settling time* 13,6052 s, *error steady state* (ess) 0,1998 %, dan *rise time* (tr) 9,5051 s. Dari hasil simulasi diperoleh hasil bahwa perancangan sistem kontrol menggunakan *logic solver* dan kontroler PI ini mampu mengoperasikan dua burner yang dioperasikan secara paralel sebagaimana mestinya dan hasilnya temperatur dan tekanan *steam* dapat mencapai *setpoint* sesuai dengan yang diharapkan.

**Kata kunci** : Paralel burner, boiler, *logic solver*, kontroler PI

## **CONTROL SYSTEM DESIGN OF TWO BURNER OPERATED IN PARALLEL TO BOILER**

**Name** : *Vebby Arga Pradana*  
**NRP** : *2414 105 045*  
**Departement** : *Physics Engineering FTI-ITS*  
**Advisor Lecturer** : *Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA*

### **Abstract**

*Boiler M5301 at one of petrochemical plant in Gresik type package boilers which generate low pressure steam. In the boiler M5301 is equipped with two burners which are operated in parallel. But the problem is the supply of fuel gas to each burner is different, but the exhaust gases from the second burner merged into one that is consequently difficult for users to determine the performance of each burner. The working principle of the two burners operated in parallel using primary and secondary methods, means burner 1 as the primary burner fully operational then supply by using the burner 2 as a secondary burner. Therefore, the necessary control systems to regulate operation of both burners to achieve setpoint temperature steam with 167.6 °C by using logic solver. A control system in which the work is based on the logic of causality which serves as a pair of action conditions of a process. Also required steam pressure control independently with a setpoint of 7.5 Bar using a PI controller. Through the simulation results using logic solver, the response characteristics obtained as follows: 9.8825 s settling time, steady state error (ess) 0.06213 %, and a rise time (tr) 4.0233 s with fuel flow amounted to 0.697 Kg/s the burner 1 with the valve fully 100 % and 0.02969 kg/s at the burner 2 with the valve 42.6 %. While the PI controller simulation results obtained: 13.6052 s settling time, steady state error (ess) 0.1998 %, and the rise time (tr) 9.5051 s. From the simulation results showed that the control system design using logic solver and PI controller is able to operate two burners which are operated in parallel as they should and as a result of temperature and pressure steam can reach setpoint as expected.*

**Keywords** : *Parallel burner, boiler, logic solver, PI controller*

## KATA PENGANTAR



Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, serta hidayah-Nya, dan juga tak lupa mengucapkan shalawat serta salam kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW yang telah menuntun ke jalan yang terang sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya dengan judul :

### **PERANCANGAN SISTEM KONTROL DUA BURNER YANG DIOPERASIKAN SECARA PARALEL PADA BOILER**

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikannya dan memperoleh gelar Sarjana Teknik, Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, MSi, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Bapak Hendra Cordova, ST. MT selaku Dosen Wali dan yang telah memberikan arahan selama menjalani masa perkuliahan hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa bersabar, dan membantu dalam pembimbingan tugas akhir ini sampai selesai.

4. Bapak Ir. Riza Perkasa Putera selaku Direktur Perusahaan yang telah berkenan memberikan izin dalam pengambilan data tugas akhir di perusahaan.
5. Bapak Ishom Maulidi selaku Manager Teknik & Engineering Perusahaan yang telah memberikan kita arahan dalam pengambilan data tugas akhir di perusahaan.
6. Bapak Rachmad Subandi (Bapak Didik) dan Bapak Supra yang sudah meluangkan waktunya membantu dalam memperoleh data tugas akhir serta *sharing* mengenai perusahaan.
7. Kedua orang tua tercinta (H. Heriono dan Hj. Susianah), terima kasih atas segala dukungan dan kepercayaan baik moril, spiritual, dan material. Semoga selalu dilimpahkan rahmat dan hidayah-Nya.
8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Fisika beserta karyawan atas ilmu dan dedikasinya.
9. Nugroho Raharjo Assidqi dan Miftakhul Asrori yang sama-sama berjuang memperoleh data operasional pabrik di perusahaan untuk keperluan tugas akhir.
10. Teman-teman seperjuangan Program Studi S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya tahun 2014 yang saling memberikan motivasi untuk terus berjuang hingga akhir.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tentunya masih banyak kekurangan baik menyangkut isi maupun bahasa yang digunakan sehingga tidak menutup kemungkinan bagi penulis untuk menerima kritik maupun saran yang membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Besar harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 29 Juli 2016



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Gas Burner.....	5
2.2 Rasio Kontrol.....	6
2.3 Boiler.....	8
2.4 Hukum Kesetimbangan Energi.....	11
2.5 Dasar Sistem Pengendalian.....	13
2.6 <i>Feedback Close Loop Control</i> .....	14
2.7 Mode kontrol.....	16
2.8 <i>Logic Solver</i> .....	18
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Alur penelitian.....	21
3.2 <i>Piping and Instrumentation Diagram (P&amp;ID)</i> .....	22
3.3 Pemrograman dan Simulasi <i>Plant</i> dengan Menggunakan Hysys.....	23
3.4 Pemodelan Matematis.....	28
3.5 Desain dan Diagram Blok Sistem Kontrol Temperatur Berbasis <i>Logic Solver</i> .....	41

4. Bapak Ir. Riza Perkasa Putera selaku Direktur Perusahaan yang telah berkenan memberikan izin dalam pengambilan data tugas akhir di perusahaan.
5. Bapak Ishom Maulidi selaku Manager Teknik & Engineering Perusahaan yang telah memberikan kita arahan dalam pengambilan data tugas akhir di perusahaan.
6. Bapak Rachmad Subandi (Bapak Didik) dan Bapak Supra yang sudah meluangkan waktunya membantu dalam memperoleh data tugas akhir serta *sharing* mengenai perusahaan.
7. Kedua orang tua tercinta (H. Heriono dan Hj. Susianah), terima kasih atas segala dukungan dan kepercayaan baik moril, spiritual, dan material. Semoga selalu dilimpahkan rahmat dan hidayah-Nya.
8. Bapak dan Ibu dosen Jurusan Teknik Fisika beserta karyawan atas ilmu dan dedikasinya.
9. Nugroho Raharjo Assidqi dan Miftakhul Asrori yang sama-sama berjuang memperoleh data operasional pabrik di perusahaan untuk keperluan tugas akhir.
10. Teman-teman seperjuangan Program Studi S1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya tahun 2014 yang saling memberikan motivasi untuk terus berjuang hingga akhir.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tentunya masih banyak kekurangan baik menyangkut isi maupun bahasa yang digunakan sehingga tidak menutup kemungkinan bagi penulis untuk menerima kritik maupun saran yang membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini. Besar harapan penulis semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 29 Juli 2016

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	<i>Package boiler</i> .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Ilustrasi perpindahan panas pada boiler jenis <i>shell and tube</i> .....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Ilustrasi kesetimbangan energi .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Kurva <i>steam</i> jenuh ( <i>saturated steam</i> ).....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Diagram blok sistem pengendalian terbuka ( <i>open loop</i> ).....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Diagram blok sistem pengendalian tertutup ( <i>close loop</i> ).....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Desain sistem pengendalian temperatur .....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Diagram blok sistem pengendalian temperatur	15
<b>Gambar 2.9</b>	Desain sistem pengendalian tekanan .....	15
<b>Gambar 2.10</b>	Diagram blok sistem pengendalian tekanan ....	16
<b>Gambar 2.11</b>	Diagram blok kontroler <i>proportional</i> .....	16
<b>Gambar 2.12</b>	Diagram blok kontroler <i>integral</i> .....	17
<b>Gambar 2.13</b>	Diagram blok kontroler <i>derivative</i> .....	17
<b>Gambar 2.14</b>	Diagram blok kontroler PID.....	18
<b>Gambar 2.15</b>	Tabel kebenaran ( <i>truth table</i> ) pada simulink...	20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram alir penelitian .....	21
<b>Gambar 3.2</b>	<i>Piping and Instrumentation Diagram</i> (P&ID) <i>plant</i> .....	23
<b>Gambar 3.3</b>	<i>Material stream</i> natural gas & udara.....	24
<b>Gambar 3.4</b>	Pemilihan basis fluid package EOS peng-robinson .....	24
<b>Gambar 3.5</b>	Konversi reaksi ideal pada gas metana, etana dan propana .....	25
<b>Gambar 3.6</b>	Tampilan burner pada hysys.....	26
<b>Gambar 3.7</b>	Tampilan <i>heat exchanger</i> pada hysys.....	26
<b>Gambar 3.8</b>	Pemrograman dan simulasi plant dengan menggunakan hysys .....	27
<b>Gambar 3.9</b>	Proses dinamika pada boiler .....	28
<b>Gambar 3.10</b>	<i>Equation Of State</i> Peng-Robinson .....	31
<b>Gambar 3.11</b>	Pemodelan boiler pada simulink.....	32
<b>Gambar 3.12</b>	Proses dinamika pada burner .....	32

<b>Gambar 3.13</b>	Pemodelan burner pada simulink.....	33
<b>Gambar 3.14</b>	Diagram blok <i>temperature transmitter</i> .....	34
<b>Gambar 3.15</b>	Pemodelan <i>temperature transmitter</i> pada simulink .....	35
<b>Gambar 3.16</b>	Diagram blok <i>pressure transmitter</i> .....	36
<b>Gambar 3.17</b>	Pemodelan <i>pressure transmitter</i> pada simulink .....	37
<b>Gambar 3.18</b>	Diagram blok <i>control valve</i> .....	38
<b>Gambar 3.19</b>	Pemodelan <i>control valve</i> pada simulink.....	41
<b>Gambar 3.20</b>	Desain sistem kontrol temperatur berbasis <i>logic solver</i> .....	42
<b>Gambar 3.21</b>	Diagram blok sistem kontrol temperatur berbasis .....	42
<b>Gambar 3.22</b>	Algoritma sistem kontrol berbasis <i>logic solver</i> .....	43
<b>Gambar 3.23</b>	Sistem kontrol temperatur berbasis <i>logic solver</i> .....	46
<b>Gambar 3.24</b>	Desain sistem kontrol tekanan berbasis kontroler PI.....	47
<b>Gambar 3.25</b>	Diagram blok sistem kontrol berbasis kontroler PI.....	48
<b>Gambar 3.26</b>	Sistem kontrol tekanan berbasis kontroler PI ..	49
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik pengaruh rasio bahan bakar terhadap temperatur pada burner 1 .....	52
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik pengaruh rasio bahan bakar terhadap temperatur pada burner 2 .....	54
<b>Gambar 4.3</b>	Simulasi uji step pada boiler.....	55
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik uji step boiler.....	56
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik respon uji step boiler (temperatur) .....	56
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik respon uji step boiler (tekanan) .....	56
<b>Gambar 4.7</b>	Simulasi uji step pada burner 1.....	57
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik uji step burner 1 .....	58
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik respon uji step burner 1 .....	58
<b>Gambar 4.10</b>	Simulasi uji step apada burner 2.....	59
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik uji step burner 2.....	59
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik respon uji step burner 2 .....	59

<b>Gambar 4.13</b>	Simulasi uji step pada <i>temperatur transmitter</i> .	60
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik uji step <i>temperature transmitter</i> .....	61
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik respon uji step <i>temperature transmitter</i>	61
<b>Gambar 4.16</b>	Simulasi uji step pada <i>pressure transmitter</i> .....	62
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik uji step <i>pressure transmitter</i> .....	62
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik respon uji step <i>pressure transmitter</i> .....	63
<b>Gambar 4.19</b>	Simulasi uji step pada <i>control valve</i> .....	64
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik uji step <i>control valve</i> .....	64
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik respon uji step <i>control valve</i> .....	64
<b>Gambar 4.22</b>	Grafik uji step <i>open loop</i> (u1).....	65
<b>Gambar 4.23</b>	Grafik uji step <i>open loop</i> (u2).....	66
<b>Gambar 4.24</b>	Grafik respon uji <i>open loop control valve 1</i> ....	66
<b>Gambar 4.25</b>	Grafik respon uji <i>open loop control valve 2</i> ....	67
<b>Gambar 4.26</b>	Grafik respon uji <i>open loop burner</i> .....	67
<b>Gambar 4.27</b>	Grafik respon uji <i>open loop boiler</i> (temperatur) .....	68
<b>Gambar 4.28</b>	Grafik respon uji <i>open loop boiler</i> (tekanan)...	68
<b>Gambar 4.29</b>	Simulasi uji step <i>logic solver</i> .....	69
<b>Gambar 4.30</b>	Grafik uji step <i>logic solver</i> .....	70
<b>Gambar 4.31</b>	Grafik respon uji step u1 <i>logic solver</i> .....	71
<b>Gambar 4.32</b>	Grafik respon uji step u2 <i>logic solver</i> .....	71
<b>Gambar 4.33</b>	Grafik respon <i>close loop</i> pada <i>control valve 1</i>	73
<b>Gambar 4.34</b>	Grafik respon <i>close loop</i> pada <i>control valve 2</i>	73
<b>Gambar 4.35</b>	Grafik respon <i>close loop</i> pada burner.....	71
<b>Gambar 4.36</b>	Grafik respon <i>close loop</i> pada boiler (temperatur) .....	73
<b>Gambar 4.37</b>	Grafik respon <i>close loop</i> pada boiler (tekanan)	73

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Hubungan tabel aksi-kondisi pada <i>truth tabel</i> .....	17
<b>Tabel 3.1</b>	Spesifikasi komponen pada <i>plant</i> .....	25
<b>Tabel 3.2</b>	Aksi pengendali kontroler.....	44
<b>Tabel 3.3</b>	Tabel kondisi pada <i>truth table</i> .....	45
<b>Tabel 3.4</b>	Tabel aksi pada <i>truth table</i> .....	45
<b>Tabel 3.5</b>	Karakteristik sistem kontrol PID .....	48
<b>Tabel 4.1</b>	Pengaruh rasio perbandingan terhadap temperatur burner 1 .....	51
<b>Tabel 4.2</b>	Pengaruh rasio perbandingan terhadap temperatur burner 2.....	53
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil simulasi uji step <i>logic solver</i> .....	72

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dalam proses di industri, boiler merupakan bagian penting yang berfungsi menghasilkan uap untuk digunakan dalam berbagai proses operasi. Salah satu pabrik petrokimia di Gresik, uap yang dihasilkan dari boiler digunakan untuk menunjang proses produksi *Sodium Tripolyphosphate* (STPP). Boiler yang digunakan yaitu berjenis *package boiler*, dimana jenis boiler yang semua komponennya sudah disusun sebagai paket lengkap oleh produsen boiler tersebut sehingga customer hanya mengoperasikannya saja. Pada pabrik tersebut terdapat satu boiler yakni boiler M5301 yang beroperasi menghasilkan uap bertekanan rendah (*saturated steam*), namun pada boiler tersebut terdapat dua burner yang dioperasikan secara paralel. Dalam kondisi dilapangan, *supply* bahan bakar gas pada masing-masing burner berbeda, akan tetapi *exhaust gas* (gas buang) dari masing-masing burner digabung menjadi satu. Akibatnya menyulitkan pengguna untuk mengetahui kinerja dari masing-masing burner. Dengan kondisi seperti itu, maka operator melakukan pengaturan terhadap laju aliran bahan bakar gas pada kedua burner secara manual dengan melihat warna nyala api yang terdapat pada kedua burner serta memperhatikan keluaran asap yang keluar dari *stack* (cerobong). Hal ini mengindikasikan bahwa adanya pengaturan rasio udara dan bahan bakar gas yang tidak tepat dan sistem kontrol pada kedua burner tersebut belum terintegrasi dengan baik.

Prinsip kerja dari kedua burner yang dioperasikan secara paralel ini menggunakan metode *primary* and *secondary*, artinya burner 1 sebagai burner *primary* beroperasi secara penuh kemudian di-*supply* dengan menggunakan burner 2 sebagai burner *secondary*. Dengan kondisi seperti itu diperlukan sebuah sistem yang dapat mengatur kerja *secondary* burner untuk menjaga temperatur steam pada boiler. Hal ini tidak dapat dilakukan dengan sistem kontrol yang ada saat ini, oleh karena itu perlu dirancang sistem kontrol yang tepat yaitu dengan menggunakan *logic solver*,

sebuah sistem kontrol berbasis *database* (kondisi operasi *primary* burner, kondisi operasi *secondary* burner dan kondisi boiler dalam hal ini temperatur *saturated steam* yg diproduksi), dan mesin penalar (*Inference Engine*) dari data kondisi operasi yang termonitor dalam penalaran pasangan kondisi yang ada di *database* guna memutuskan aksi kendali (u).

Selain itu pada boiler terdapat variabel proses tekanan yang perlu dikendalikan, dimana tekanan dan temperatur saling terkait dikarenakan produk *steam* boiler berupa *saturated steam*, sehingga sistem pengendalian tekanan dan sistem pengendalian temperatur dirancang secara independen. Perancangan sistem kontrol yang digunakan untuk variabel proses tekanan *steam* ini menggunakan kontroler Proportional Integral (PI). Dengan adanya perancangan sistem kontrol berbasis *logic solver* sebagai referensi temperatur dan kontroler PI sebagai referensi tekanan ini nantinya akan didapatkan produk *saturated steam* sesuai dengan kebutuhan yang diharapkan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana mengetahui kinerja dari masing-masing burner pada boiler?
2. Bagaimana merancang sistem kontrol pada dua burner yang dioperasikan secara paralel?
3. Bagaimana kinerja sistem kontrol yang diimplementasikan pada dua burner yang dioperasikan secara paralel?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui kinerja dari masing-masing burner pada boiler.
2. Merancang sistem kontrol pada dua burner yang dioperasikan secara paralel.
3. Mengetahui kinerja sistem kontrol yang diimplementasikan pada dua burner yang dioperasikan secara paralel.



#### 1.4 Batasan Masalah

Untuk mempertajam dan memfokuskan permasalahan dalam Tugas Akhir ini, beberapa batasan masalah yang diambil diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Data operasional dan spesifikasi pada boiler dan gas burner diperoleh dari salah satu pabrik petrokimia di Gresik.
2. Perancangan *plant* disimulasikan dengan menggunakan *software* HYSYS 7.3.
3. Variabel proses yang menjadi acuan referensi adalah temperatur *steam* dengan sistem kontrol berbasis *logic solver* dan temperatur *steam* dengan kontroler *Proportional Integral* (PI).
4. Simulasi implementasi sistem kontrol berbasis *logic solver* ini disimulasikan menggunakan *simulink* MATLAB 2011a.

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**

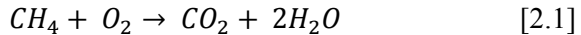
## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gas Burner

Gas burner pada boiler merupakan komponen fungsional yang menyediakan *input* berupa panas dari hasil pembakaran antara bahan bakar gas (natural gas/gas alam) dengan udara. Peran penting dari gas burner adalah sebagai berikut.

1. Menyediakan panas untuk boiler
2. Sebagai kontrol suhu *outlet* atau tekanan pada boiler
3. Membakar bahan bakar seefisien mungkin untuk menjaga konsumsi bahan bakar rendah

Gas alam terutama terdiri dari gas methane ( $CH_4$ ) bila dicampur dengan udara dengan jumlah yang tepat kemudian dipanaskan sampai suhu pembakaran, maka akan terbakar dengan sempurna. Berikut ini reaksi antara gas methane dengan udara.



Dari reaksi [2.1] jelas nampak bahwa gas *methane* dapat bereaksi sempurna dengan udara jika memenuhi rasio yang tepat. Untuk itu diperlukan pengaturan rasio antara udara (*air*) dan bahan bakar (*fuel*) dalam memenuhi persamaan reaksi kimia dari persamaan [2.1] tersebut, atau bisa disebut juga stoichiometric.

$$AFR_{stoich} = \left( \frac{m_{air}}{m_{fuel}} \right)_{stoich} = 17,2 \quad [2.2]$$

*Combustion control system* pada gas burner ini memiliki peranan yang sangat penting dalam meningkatkan efisiensi dari boiler serta berfungsi menjaga komposisi udara dan bahan bakar yang tepat sehingga terjadi proses pembakaran sempurna. Jika jumlah udara yang digunakan terlalu sedikit, maka akan menyebabkan:

1. Tidak terbakarnya bahan bakar di ruang bakar
2. Rendahnya efisiensi pembakaran
3. Tingginya emisi gas karbon dioksida

Sebaliknya, jika jumlah udara yang digunakan berlebihan, maka akan menyebabkan:

1. Menurunnya temperatur produk
2. Berkurangnya emisi pembakaran

Dalam kenyataannya, jarang sekali proses pembakaran sempurna sebagai akibat tidak tepatnya rasio control udara dan bahan bakar yang direaksikan, sehingga timbul *Excess Air* (EA).

$$EA = \frac{m_{air.actual}}{m_{air.stoich}} - 1 \quad [2.3]$$

Kondisi hasil pembakaran dapat ditinjau dari hasil pengukuran emisi gas buang. Dengan mengamati sisa kadar oksigen ( $O_2$ ), dapat diketahui indikator sempurna atau tidaknya proses pembakaran tersebut. Prosentase oksigen pada gas sisa untuk pembakaran yang optimal untuk bahan bakar gas alam berada di rentang 1.5% - 3%.<sup>[6]</sup> Sedangkan untuk kalor yang dihasilkan oleh burner dapat ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$Q = m_{fuel} \dot{x} HHV_{fuel} \quad [2.4]$$

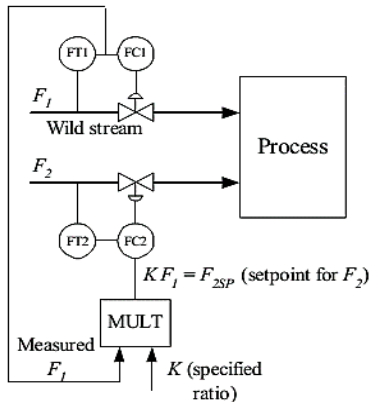
Keterangan:

- $Q$  = Kalor yang dihasilkan oleh burner (kJ)  
 $m_{fuel}$  = Laju massa bahan bakar gas (kg/hr)  
 $HHV_{fuel}$  = Nilai HHV dari bahan bakar gas (kJ/kg)

## 2.2 Rasio Kontrol

Sistem pengendalian rasio (*ratio control*) adalah sistem pengendalian yang lazim digunakan di suatu proses yang menghendaki komposisi campuran dua komponen atau lebih dengan suatu perbandingan tertentu. Sebagai contoh, perbandingan laju aliran dua reaktan yang masuk kedalam reaktor, perbandingan laju refluks dan distilat dalam kolom distilasi, pencampuran dua cairan, perbandingan bahan bakar dan udara, dll. Berikut ini

merupakan struktur sistem pengendalian rasio antara laju aliran udara dan laju aliran bahan bakar pada burner.



**Gambar 2.6** *Flow ratio control*

Tujuan dari rasio control adalah untuk mengendalikan laju aliran ( $F_2$ ) sehingga antara laju aliran ini dengan laju aliran yang lain ( $F_1$ ) adalah

$$F_2 = K \cdot F_1 \quad [2.5]$$

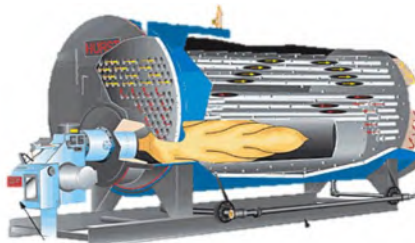
Dimana  $K$  adalah rasio tertentu yang telah dihitung sebagai rasio yang optimal dari model proses, atau lebih dikenal dengan sebutan AFR (*Air-Fuel Ratio*). *Setpoint* dari laju aliran  $F_2$  dihitung sebagai  $K$  kali nilai yang diukur dari  $F_1$  yang dilambangkan dengan “*wild stream*”. Angka ini menunjukkan loop control dari  $F_1$ . *Setpoint* dari  $F_1$  dapat dihitung dari tingkat produksi yang ditentukan dari proses. Kontrol rasio kemudian akan memastikan rasio antara laju aliran seperti yang ditentukan. Perhitungan rasio kontrol untuk menghitung rasio aktual adalah sebagai berikut.

$$K_{actual} = \frac{F_2}{F_1} \quad [2.6]$$

### 2.3 Boiler

Boiler merupakan suatu bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan dengan cara memanaskan air hingga berubah fasa menjadi uap, setelah itu menaikkan temperatur uap hingga mencapai titik jenuh (*saturated steam*). Ada beberapa macam jenis daripada boiler salah satunya adalah berjenis *package boiler*. dimana boiler ini sudah disediakan dari industri pembuatan boiler dalam bentuk paket. Untuk pengoperasian boiler cukup menambahkan pipa uap, pipa air, suplai bahan bakar dan instalasi listrik. Secara umum boiler ini berupa *shell and tube* dan prinsip kerja sesuai dengan *fire tube boiler* dimana proses pengapian terjadi didalam pipa, panas yang dihasilkan dari pengapian tersebut akan dihantarkan langsung kedalam boiler yang berisi air.

Adapun boiler berjenis *package boiler* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.1** *Package boiler*

Beberapa komponen-komponen utama pada *package Boiler* adalah sebagai berikut.

1. *Burner*

Adalah komponen boiler tempat terjadinya proses pembakaran antara bahan bakar dengan udara, dimana proses pembakaran ini terjadi di ruang pembakaran (*combustion chamber*).

2. *Heat exchanger*

Adalah komponen boiler dimana terjadi proses perpindahan panas dari api ke air dalam tubing boiler.

### 3. *Control*

- Mengatur pemantik api (*ignition*) pembakaran di ruang bakar
- Mengatur besar kecilnya api burner (*burner firing rate*)
- Mengatur *supply gas*
- Mengatur *supply udara*
- Mengatur *exhaust draft*
- Mengatur temperatur *boiler feed water*
- Mengatur tekanan uap
- Mengatur tekanan boiler

Sedangkan untuk parameter-parameter proses yang harus diperhatikan pada boiler adalah sebagai berikut.

#### 1. Aliran uap (*steam flow*)

Yaitu banyaknya uap yang harus dihasilkan boiler pada tingkat pengoperasian aliran uap maksimum yang bisa dijalankan secara berkelanjutan. Jika melebihi tingkat ini bisa merusak peralatan atau meningkatkan biaya perawatan.

#### 2. Tekanan boiler

Untuk mendapatkan hasil produk *steam* yang sesuai dengan kebutuhan, maka tekanan *steam* yang dihasilkan pun harus sesuai dengan kebutuhan beban. Dalam hal ini, tekanan *steam* dapat diatur melalui burner.

#### 3. Temperatur uap

Dalam proses konversi wujud dari cair menjadi uap, air perlu dipanaskan dalam burner. Panas yang dihasilkan dari proses pembakaran dalam burner tersebut juga harus diperhatikan agar suhu uap yang dihasilkan memenuhi standar yang ditentukan. Karena jika suhu uap kurang maka efisiensi akan turun tapi jika terlalu tinggi akan berpengaruh pada gas buangnya.

#### 4. Efisiensi boiler

Efisiensi termal adalah indikator seberapa baik kemampuan input panas boiler untuk menghasilkan uap pada suhu dan tekanan yang diminta. Adanya prinsip ekonomi dan biaya

bahan bakar membuat *plant* harus beroperasi seefisien mungkin.

5. *Fuel analysis*

Analisa ini dilakukan untuk mengetahui kandungan oksigen, hidrogen dan karbon yang terdapat dalam bahan bakar yang digunakan. Karena kualitas bahan bakar dulu dengan sekarang bisa sangat berbeda. Perbedaan ini berpengaruh terhadap kebutuhan udara dan panas yang dilepaskan di ruang bakar, begitu juga dengan massa aliran gas buang yang meninggalkan ruang bakar.

6. *Feedwater temperature*

Perubahan suhu air yang masuk ke boiler menentukan tingkat pembakaran yang diperlukan di burner, lebih lanjut akan mempengaruhi panas yang dihasilkan dan banyaknya massa aliran.

7. *Excess air*

Banyaknya udara yang masuk ruang bakar berpengaruh terhadap jumlah panas yang dibawa dari burner (*dry gas loss*), banyaknya udara yang keluar merupakan faktor penting untuk menghitung efisiensi boiler.

Kalor yang dihasilkan oleh burner selanjutnya dipergunakan untuk memanasi air menjadi uap, kemudian temperatur uap dinaikkan sampai mencapai titik jenuh (*saturated steam*).<sup>[5]</sup>

$$Q_{output} = Q_{input} \quad [2.7]$$

Dimana:

$Q_{output}$  : Kalor yang dihasilkan oleh burner (hasil pembakaran antara gas dengan udara)

$$Q_{output} = \dot{m}_{fuel} \times HHV_{fuel} \quad [2.8]$$

Keterangan:

$\dot{m}_{fuel}$  : Laju bahan bakar (kg/hr)

$HHV_{fuel}$  : High Heating Value (kJ/kg)

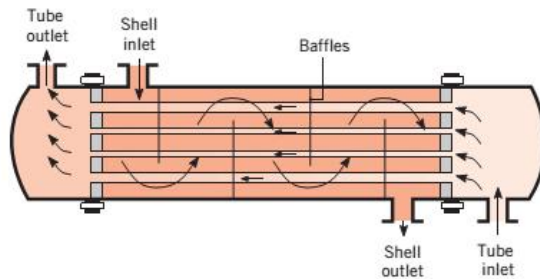


$Q_{input}$  : Kalor yang diterima air untuk berubah wujud menjadi uap (*steam*) dan jika tetap diberikan, maka akan dipergunakan untuk menaikkan temperaturnya sampai mencapai titik jenuh (*saturated steam*).

$$Q_{input} = m_{steam} \times (h_{steam} - h_{feed\ water}) \quad [2.9]$$

Keterangan:

$Q_{steam}$  : Massa uap yang diproduksi (kg/hr)  
 $h_{steam}$  : Entalphy saturasi uap (kCal/kg)  
 $h_{feed\ water}$  : Entalphy air (kJ/kg)

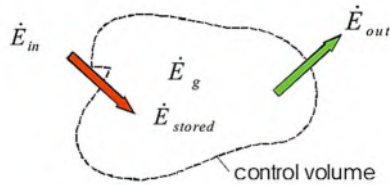


**Gambar 2.2** Ilustrasi perpindahan panas pada boiler jenis *shell and tube*<sup>[1]</sup>

## 2.4 Hukum Kesetimbangan Energi

Dasar yang digunakan untuk memodelkan *plant* ini adalah hukum kesetimbangan energi. Segala proses yang terjadi pada *plant* dimodelkan dalam bentuk persamaan matematika, sehingga proses yang terjadi di dalam *plant* bisa diartikan secara fisis. Hukum kesetimbangan energy menyatakan bahwa laju perubahan energi yang tersimpan didalam suatu sistem adalah sebanding dengan laju perubahan energi yang masuk kedalam sistem dijumlahkan dengan energi yang dibangkitkan (*generated*) oleh sistem itu sendiri kemudian dikurangi dengan laju perubahan energi yang keluar dari sistem.<sup>[1]</sup>

$$\dot{E}_{st} \equiv \frac{d(E)}{dt} = \dot{E}_{in} + \dot{E}_g + \dot{E}_{out} \quad [2.10]$$



**Gambar 2.3** Ilustrasi kesetimbangan energi<sup>[1]</sup>

Keterangan:

$$\dot{E}_{st} \text{ atau } \frac{d(E)}{dt} = \rho V c \frac{dT}{dt}$$

= Laju perubahan energi yang tersimpan (*storage*) dalam sistem (kJ/Kg)

$$\dot{E}_{in} = \dot{m}_{in} c_{in} T_{in}$$

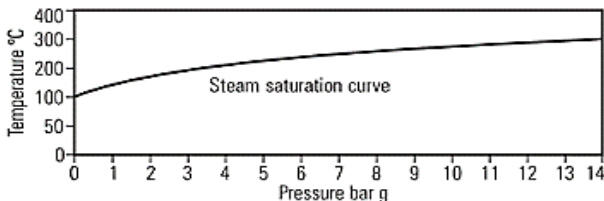
= Laju perubahan energi yang masuk sistem (kJ/Kg)

$$\dot{E}_{out} = \dot{m}_{out} c_{out} T_{out}$$

= Laju perubahan energi yang keluar sistem (kJ/Kg)

$\dot{E}_g$  = Energi yang dibangkitkan (*generated*) oleh proses pada suatu sistem itu sendiri. Biasanya energi ini ditimbulkan oleh proses-proses kimia, listrik, elektromagnetik, dan nuklir (kJ/Kg)

Pada tekanan atmosfer suhu jenuh air adalah 100 °C, jika tekananya bertambah maka akan ada penambahan lebih banyak panas dan peningkatan suhu tanpa perubahan fase. Dengan adanya kenaikan tekanan secara efektif akan meningkatkan entalpi air dan suhu jenuhnya. Hubungan antara suhu jenuh dan tekanan dikenal sebagai kurva steam jenuh.



**Gambar 2.4** Kurva *steam* jenuh (*saturated steam*)

## 2.5 Dasar Sistem Pengendalian

Pengertian kontrol atau pengaturan adalah proses atau upaya untuk mencapai tujuan. Tujuan yang diinginkan dari proses tersebut adalah agar plant dapat berjalan pada kondisi yang diinginkan. Pada dasarnya sistem pengendalian dibagi menjadi dua macam, yaitu sistem pengendalian terbuka (*open loop*) dan sistem pengendalian tertutup (*close loop*). Perbedaan mendasar antara kedua sistem pengendalian ini adalah adanya umpan balik (*feedback*) berupa informasi variabel yang diukur pada sistem pengendalian *close loop*, sedangkan pada sistem pengendalian terbuka tidak terdapat umpan balik mengenai variabel yang diukur.

### 2.5.1 Sistem pengendalian terbuka (*open loop control*)

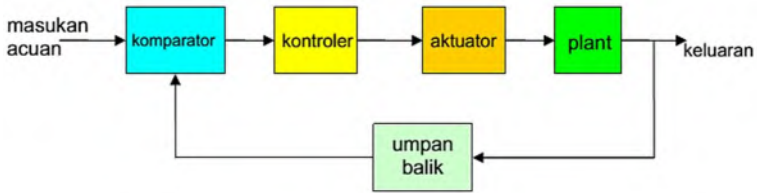
Sistem pengendalian terbuka (*open loop control*) adalah suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi kontrol. Artinya, dalam sistem kontrol ini keluarannya tidak dapat digunakan sebagai umpan balik dalam masukan. Adapun diagram blok sistem pengendalian terbuka dapat digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 2.5** Diagram blok sistem pengendalian terbuka (*open loop*)<sup>[9]</sup>

### 2.5.2 Sistem pengendalian tertutup (*close loop control*)

Sistem pengendalian tertutup (*close loop control*) adalah suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Sistem kontrol *close loop* juga merupakan sistem kontrol berumpan balik. Selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik akan diumpangkan ke controller untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati kondisi yang diinginkan. Adapun diagram blok sistem pengendalian tertutup dapat digambarkan sebagai berikut.



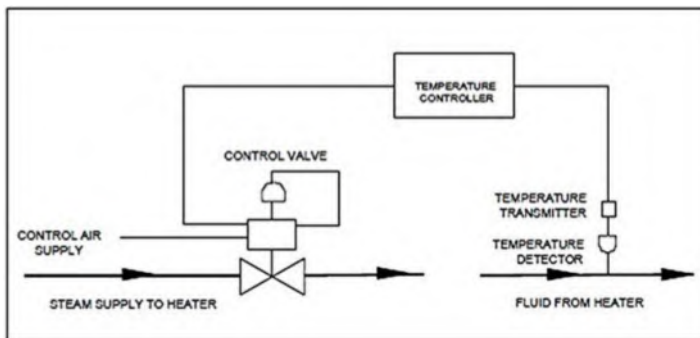
**Gambar 2.6** Diagram blok sistem pengendalian tertutup (*closed loop*)<sup>[9]</sup>

## 2.6 Feedback Close Loop Control

Sebelumnya sudah dijelaskan mengenai *close loop control* dimana merupakan sistem kontrol berumpan balik sebagai upaya untuk menjaga/mencapai kondisi yang diinginkan pada suatu sistem dengan mengubah-ubah variabel tertentu yang dipilih. Adapun contoh dari dari pengendalian *feedback close loop* ini adalah sebagai berikut.

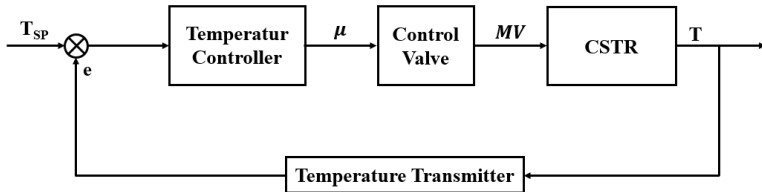
### 2.6.1 Sistem pengendalian temperatur

Salah satu contoh variabel proses yang perlu dikendalikan pada boiler adalah temperatur. Temperatur steam yang keluar dikendalikan sedemikian hingga sama dengan setpoint yang diinginkan dengan cara memanipulasi laju aliran bahan bakar yang menuju burner sehingga nantinya diperoleh kalor yang tepat untuk menghasilkan temperatur *steam* yang diharapkan.



**Gambar 2.7** Desain sistem pengendalian temperatur<sup>[8]</sup>

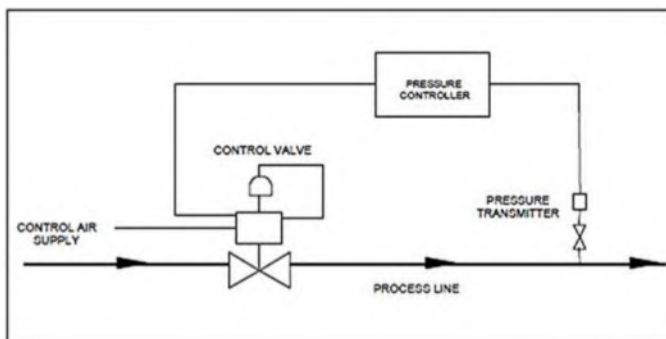
Adapun diagram blok dari sistem pengendalian temperatur ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.8** Diagram blok sistem pengendalian temperatur

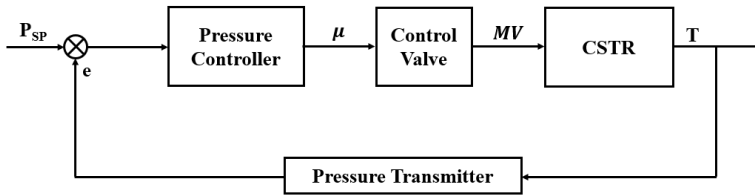
### 2.6.2 Sistem pengendalian tekanan

Contoh lain sistem variabel proses yang perlu dikendalikan pada boiler adalah tekanan. Tekanan dari pada *steam* perlu untuk diperhatikan dikarenakan dapat membahayakan *plant* apabila tekanan melebihi batas maksimum (*overpressure*) didalam boiler. Pengendalian tekanan *steam* dilakukan dengan cara memanipulasi bukaan *valve* dari *steam* yang keluar agar *plant* dapat berjalan dalam kondisi stabil.



**Gambar 2.9** Desain sistem pengendalian tekanan<sup>[8]</sup>

Adapun diagram blok dari sistem pengendalian tekanan ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 2.10** Diagram blok sistem pengendalian tekanan

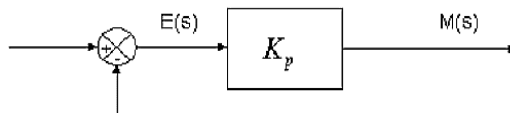
## 2.7 Mode Kontrol

Sistem pengendalian proses adalah gabungan dari komponen-komponen yang digunakan untuk mempertahankan variabel yang dikendalikan (*process variable*) pada suatu nilai tertentu (*setpoint*). Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi suatu sistem pengendalian proses telah menggunakan sebuah kontroler elektronik yang bekerja secara otomatis. Inti utama dari sistem pengendalian adalah menjaga suatu variabel proses agar selalu sama atau mendekati nilai *setpoint*, sehingga sistem tersebut bisa dikatakan berjalan dengan stabil.

Ada beberapa macam mode kontrol yang digunakan dalam proses kontrol di dunia industri salah satunya adalah mode kontrol PID. Adapun secara umum penjelasan dari mode kontrol tersebut adalah sebagai berikut.

### 1. Pengontrol *Proportional*

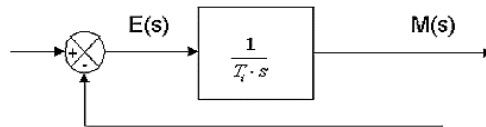
Pengontrol *proportional* memiliki keluaran yang sebanding atau proporsional dengan besarnya sinyal kesalahan (selisih antara besaran yang diinginkan dengan harga aktualnya). Secara lebih sederhana dapat dikatakan bahwa keluaran pengontrol *proportional* merupakan perkalian antara konstanta *proportional* dengan masukannya.



**Gambar 2.11** Diagram blok kontroler *proportional*

## 2. Pengontrol *Integral*

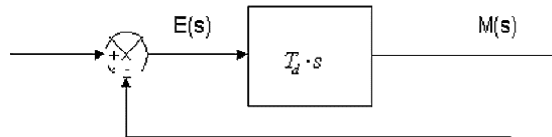
Pengontrol *integral* berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan keadaan stabil nol. Jika sebuah *plant* tidak memiliki unsur integrator ( $1/s$ ), pengontrol *proportional* tidak mampu menjamin keluaran sistem dengan kesalahan keadaan stabilnya nol. Dengan pengontrol *integral*, respon sistem dapat diperbaiki, yaitu mempunyai kesalahan keadaan stabilnya nol.



**Gambar 2.12** Diagram blok kontroler *integral*

## 3. Pengontrol *Derivative*

Keluaran pengontrol *derivative* memiliki sifat seperti halnya suatu operasi differensial. Perubahan yang mendadak pada masukan pengontrol, akan mengakibatkan perubahan yang sangat besar dan cepat. Pengontrol *derivative* umumnya dipakai untuk mempercepat respon awal suatu sistem, tetapi tidak memperkecil kesalahan pada keadaan stabilnya..

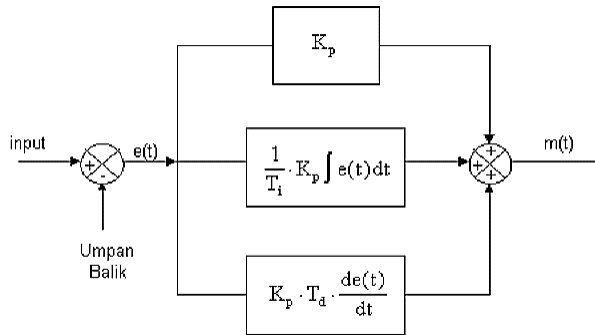


**Gambar 2.13** Diagram blok kontroler *derivative*

## 3. Pengontrol *Proportional Integral Derivative* (PID)

Setiap kekurangan dan kelebihan dari masing-masing pengontrol P, I dan D dapat saling menutupi dengan menggabungkan ketiganya secara parallel menjadi pengontrol *proposional plus integral plus derivative* (pengontrol PID). Elemen-elemen pengontrol P, I dan D masing-masing secara keseluruhan bertujuan untuk

mempercepat reaksi sebuah sistem, menghilangkan *offset* dan menghasilkan perubahan awal yang besar



**Gambar 2.14** Diagram blok kontroler PID

## 2.8 Logic Solver

*Logic solver* merupakan salah satu komponen daripada *safety instrumented system* yang berfungsi untuk mencapai atau mempertahankan keadaan aman dari proses ketika kondisi proses tidak dapat diterima atau berbahaya. Sistem kontrol ini merupakan suatu kontroler yang bekerja berdasarkan logika (*logic solver*) yang bersifat *event-driven* pada suatu *plant*.<sup>[7]</sup> Berbeda dengan mode kontrol yang lain seperti PID. Perbedaan mendasar dari kontroler ini adalah bila pada mode kontrol P, PI dan PID, keluaran sinyal kontrol tidak dapat ditentukan sendiri, melainkan diperoleh melalui perhitungan sinyal *error* terhadap masing-masing fungsi alih dari blok mode kontrol itu sendiri. Sedangkan pada *logic solver*, keluaran sinyal kontrol ( $\mu$ ) sudah ditentukan terlebih dahulu.

Penentuan nilai sinyal kontrol *logic solver* ini didasari oleh hasil pengujian secara *open loop* untuk dapat diketahui berapa nilai sinyal kontrol yang sesuai untuk membuka *control valve* sehingga variabel proses yang dikendalikan mampu mencapai *setpoint*. Algoritma sistem kontrol berbasis *logic solver* ini dibangun berdasarkan logika kontrol yang diinginkan untuk mengatur suatu sistem tertentu. Prinsipnya adalah dengan mengetahui *range* sinyal kontrol tertentu untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan.



Sistem kontrol ini pada dasarnya berisi sebuah perintah sebab-akibat yang berfungsi sebagai pasangan aksi-kondisi dari sebuah proses. Pasangan aksi-kondisi dapat disusun melalui deskripsi kondisi yang kemudian diartikan oleh kontroler melalui tabel aksi atau dapat kita sebut sebagai *inference machine*. Tabel kondisi adalah suatu kumpulan atau *database* deskripsi kondisi daripada *truth table* (tabel kebenaran) sebagai interpretasi kejadian yang mungkin terjadi pada saat model yang dibuat disimulasikan. Respon daripada kondisi-kondisi yang terjadi ini disebut sebagai aksi. Untuk lebih jelasnya dapat diamati melalui tabel berikut.

**Tabel 2.1** Hubungan tabel aksi-kondisi pada *truth table*<sup>[10]</sup>

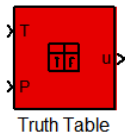
Condition Table:						
	Description	Condition	D1	D2	D3	D4
1	x is equal to 1	x == 1	T	F	F	-
2	y is equal to 1	y == 1	F	T	F	-
3	z is equal to 1	z == 1	F	F	T	-
	Actions: Specify a row from the Action Table		A1	2	A3	4

Action Table:		
#	Description	Action
1	set t to 1	A1: t=1;
2	set t to 2	A2: t=2;
3	set t to 3	A3: t=3;
4	set t to 4	A4: t=4;

Kondisi “T” (*True*) adalah kondisi dimana kondisi yang dideskripsikan bernilai 1 (satu), untuk “F” (*False*) bernilai nol (0) sedangkan “-“ (antara 1 dan 0) adalah kondisi *default*. Kondisi default ini adalah kondisi dimana kedua kemungkinan nilai 0 dan 1 menjadi sebuah pilihan. Pada tabel kebenaran, kondisi *default* diterjemahkan pada kolom terakhir dan baris terakhir dan harus ada disetiap pembuatan *logic solver*.

Melalui pembuatan konfigurasi pada tabel kebenaran maka pada simulink akan muncul gambar *toolbox* seperti pada gambar berikut pada simulink matlab.



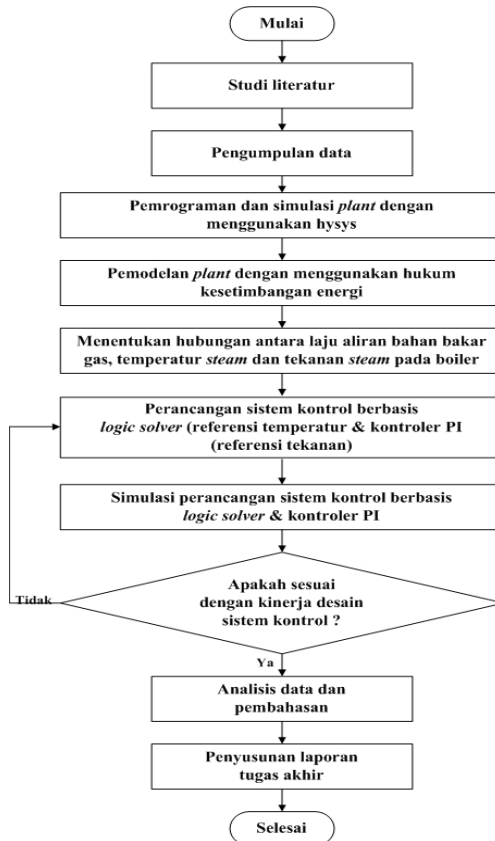
**Gambar 2.15** Tabel kebenaran (*truth table*) pada simulink<sup>[10]</sup>

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah penelitian, mulai dari diagram blok sistem pengendalian hingga perancangan sistem kontrol berbasis *logic solver* (referensi temperatur) dan kontroler PI (referensi tekanan).

### 3.1 Alur penelitian

Adapun alur pada penelitian tugas akhir ini dapat ditunjukkan pada diagram alir berikut.



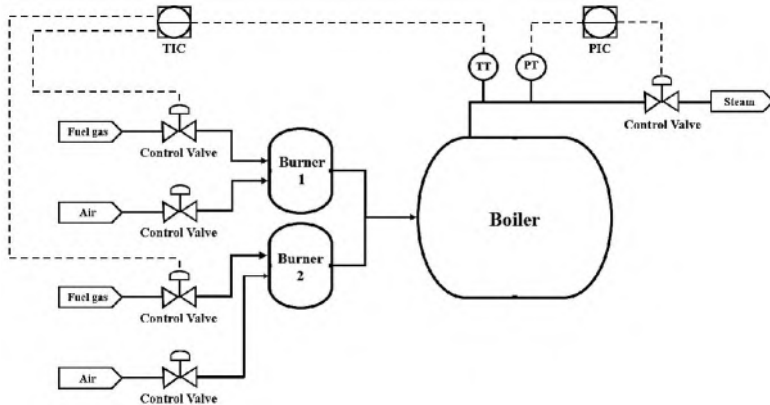
**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian

Adapun tahapan-tahapan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut. Pertama melakukan studi literatur mengenai *plant* melalui gambar P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*) serta mencari sumber-sumber sebagai bahan studi literatur, baik dalam bentuk jurnal/*thesis* maupun *text-book*. Langkah selanjutnya adalah pengumpulan data dimana data yang diambil yaitu berupa data *existing plant* pada saat beroperasi. Kemudian melakukan perancangan dan simulasi *plant* dengan menggunakan *software* hysys berdasarkan PFD (*Process Flow Diagram*) untuk mengamati proses apa saja yang terjadi didalamnya. Kemudian membuat model matematis *plant* yang merepresentasikan proses dinamika yang terjadi didalam *plant* berdasarkan hukum kesetimbangan energi. Pemodelan ini dilakukan untuk memperkuat penjelasan mengenai proses yang terjadi pada simulasi hysys. Selanjutnya dilakukan identifikasi mengenai variabel proses apa saja yang terlibat didalam proses tersebut, dalam hal ini variabel proses yang terlibat adalah laju aliran bahan bakar gas serta temperatur *steam* dan tekanan *steam* pada boiler. Kemudian dilakukan perancangan sistem kontrol berbasis *logic solver* dimana dengan memanipulasi laju aliran bahan bakar gas melalui referensi temperatur *steam* dan berbasis kontroler PI dimana memanipulasi bukaan *control valve* melalui referensi tekanan *steam*. Selanjutnya mensimulasikan perancangan sistem kontrol berbasis *logic solver* dengan menggunakan simulink matlab untuk mengetahui apakah simulasi yang dilakukan sesuai dengan kinerja desain sistem kontrol berbasis *logic solver* dan kontroler PI atau tidak. Jika tidak, maka dilakukan perancangan ulang sistem kontrol dan jika iya, maka langsung menuju ke tahap selanjutnya yakni analisis data dan pembahasan terhadap pengujian yang telah dilakukan. Kemudian diakhiri dengan penyusunan laporan tugas akhir.

### **3.2 *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)***

Untuk dapat menjelaskan secara detail mengenai alur proses pada *plant*, maka diperlukan *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID). Dengan membaca P&ID maka akan tahu jalur pipa, *valve*,

*instrument*, dan *equipment* apa saja yang digunakan untuk merancang *plant* tersebut. Adapun P&ID *plant* yang dibahas dalam topik tugas akhir ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.2** *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) plant*

Penjelasan secara umum dari gambar P&ID diatas adalah sebagai berikut. Bahan bakar dan gas diinjeksikan dengan udara melalui *valve* menuju masing-masing burner untuk digunakan pada proses pembakaran. Kalor yang dihasilkan dari kedua burner nantinya akan digunakan untuk memanaskan air sehingga dapat berubah fasa menjadi *steam* untuk didistribusikan menuju proses selanjutnya. Untuk menjaga temperatur dan tekanan *steam*, maka diperlukan kontroler berupa TIC dan PIC agar sistem berjalan dengan stabil dan mencapai *setpoint* dari tekanan dan temperatur *steam* yang diinginkan.

### 3.3 Pemrograman dan Simulasi *Plant* dengan Menggunakan Hysis

*Plant package boiler* dirancang berdasarkan *Process Flow Diagram* (PFD) di salah satu prabrik petrokimia di gresik dengan menggunakan simulasi hysys. Dalam penelitian tugas akhir ini data yang didapat yakni data operasional (*existing*) lapangan. Pada *plant* tersebut dijalankan dalam keadaan *steady-state*. Hal tersebut

bertujuan untuk mendapatkan *output* yang sesuai dan mudah dikalkulasi secara analitik dalam menentukan kinerja sistem.

Dalam simulasi yang dilakukan pada hysys, material stream yang digunakan adalah metana, oksigen, karbon dioksida, nitrogen, dan senyawa penyusun lainnya sesuai dengan data propertis lapangan. Adapun komposisi material stream dengan jumlah mol penyusunnya dapat dilihat pada gambar berikut.

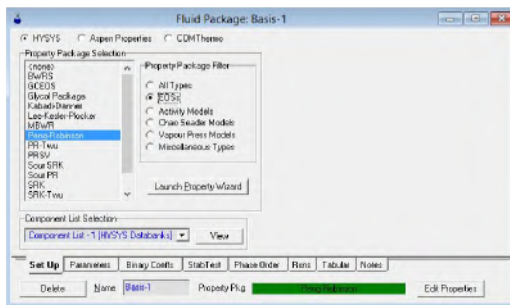
The image shows two screenshots of the HYSYS software interface. The left screenshot is titled 'Material Stream: Gas' and the right is 'Material Stream: Air'. Both show a 'Worksheet' with 'Mole Fractions' for various components. The total for both streams is 1.00000.

Component	Mole Fraction
Metana	0.8118
Oxygen	0.0000
CO2	0.0000
N2	0.0000
H2O	0.0000
Nitrogen	0.0000
Ethane	0.0274
Propane	0.0017
i-butane	0.0017
n-butane	0.0051
isobutane	0.0017
pentane	0.0017
hexane	0.0017
Total	1.00000

Component	Mole Fraction
Metana	0.0000
Oxygen	0.2100
CO2	0.0000
N2	0.0000
H2O	0.0000
Nitrogen	0.7900
Ethane	0.0000
Propane	0.0000
i-butane	0.0000
n-butane	0.0000
isobutane	0.0000
pentane	0.0000
hexane	0.0000
Total	1.00000

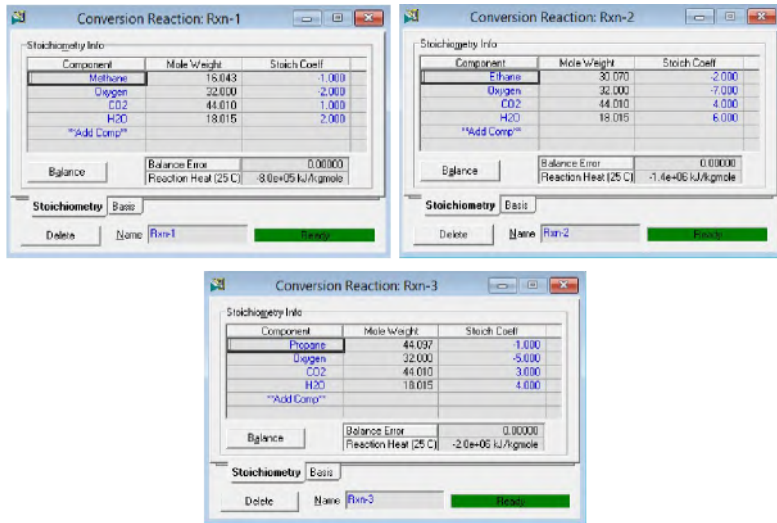
**Gambar 3.3** Material stream natural gas & udara

Selanjutnya pemilihan EOS atau pemilihan persamaan keadaan termodinamika. Dalam pemilihan ini, digunakan *fluid package* peng-robinson. Pemilihan ini digunakan karena basis perhitungan dalam simulasinya berdasarkan informasi dari pengembang hysys, EOS peng-robinson direkomendasikan untuk dipakai dalam aplikasi minyak, gas, dan petrokimia. Adapun gambar pemilihan basis *fluid package* dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.4** Pemilihan basis *fluid package* EOS peng-robinson

Kemudian menuju tahap *reactions*. Tahap ini merupakan tahap dimana proses terjadinya proses konversi reaksi pada gas penyusun untuk membentuk reaksi ideal (reaksi stoichiometric). Adapun konversi reaksi ideal pada gas penyusun tersebut dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



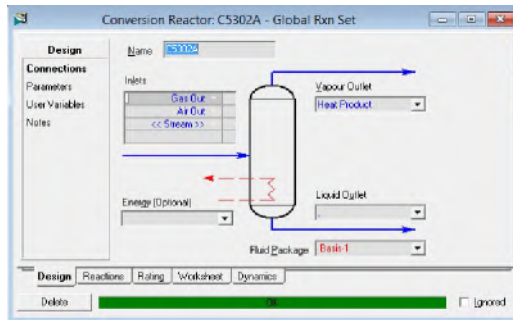
**Gambar 3.5** Konversi reaksi ideal pada gas metana, etana dan propana

Setelah selesai semuanya, kemudian menuju tahap simulasi proses. Komponen yang diperlukan kemudian dimasukkan menuju lembar kerja PFD selanjutnya dilakukan spesifikasi sesuai dengan *tag number* pada tiap komponen tersebut. Adapun spesifikasi komponen pada *plant* tersebut adalah sebagai berikut.

**Tabel 3.1** Spesifikasi komponen pada *plant*

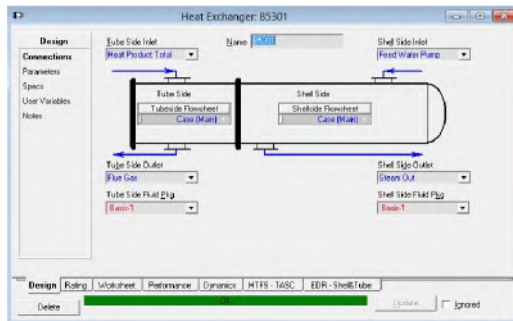
No	Komponen	Tag Number
1	Conversion reaction (burner 1)	C5302A
2	Conversion reaction (burner 2)	C5320B
3	Heat exchanger (boiler)	B5301

Pada komponen burner, *input* yang dibutuhkan yaitu bahan bakar gas dan udara. Kemudian konversi reaksi yang telah dibuat, selanjutnya dimasukkan sehingga pada burner terjadi reaksi pembakaran. Adapun tampilan burner pada hysys dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.6** Tampilan burner pada hysys

Komponen selanjutnya yaitu *heat exchanger* (penukar panas) dimana komponen ini merepresentasikan boiler yang berfungsi untuk mengubah fasa dari air (*feedwater*) menjadi uap (*steam*). Adapun tampilan gambar pada *heat exchanger* dapat ditunjukkan pada gambar berikut.

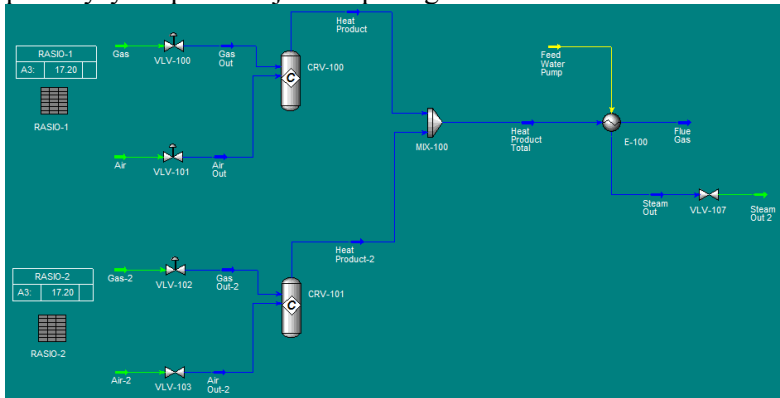


**Gambar 3.7** Tampilan *heat exchanger* pada hysys

Model yang dirancang pada hysys kemudian divalidasi dengan data operasional yang mengacu pada PFD di salah satu pabrik petrokimia di gresik tersebut. Dengan memperhatikan aliran



fluida yang masuk dan keluar, dapat dianalisa proses yang terjadi pada *plant*. Selain memperhatikan data operasional, *material stream* yang masuk dan keluar juga harus ditentukan sesuai dengan datasheet desain. Adapun tampilan dari *plant* yang telah dirancang pada hysys dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.8** Pemrograman dan simulasi *plant* dengan menggunakan hysys

Kemudian langkah berikutnya dilakukan pengambilan data dari variasi perubahan laju aliran terhadap temperatur burner. Yang perlu diperhatikan dalam perancangan ini adalah pengaruh perubahan rasio antara laju aliran bahan bakar gas dengan udara. Dalam proses pembakaran pada boiler dibutuhkan sejumlah udara dan bahan bakar dengan komposisi atau rasio tertentu sehingga terjadi proses pembakaran sempurna. Oleh karena itu, perlu adanya rasio yang tepat untuk proses pembakaran bisa terjadi dengan optimal.

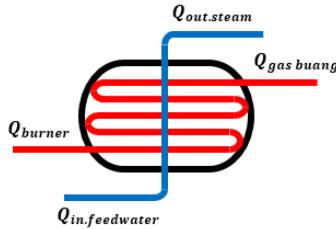
Setelah dilakukan pengambilan data pada hysys maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui laju perpindahan panas dari aliran fluida. Untuk mendapatkan kejelasan mengenai proses yang terjadi pada *plant*, maka dapat dibuat model matematis pada tiap komponen.

### 3.4 Pemodelan Matematis

Pada sub-bab berikut akan dijabarkan model matematis masing-masing komponen yang merepresentasikan kondisi dinamik pada *plant*. Model matematis yang digunakan berdasarkan hukum kesetimbangan energi.

#### 3.4.1 Pemodelan matematis boiler

Hukum kesetimbangan energi yang terjadi pada boiler dapat diilustrasikan melalui gambar 3.13 sebagai berikut.



**Gambar 3.9** Proses dinamika pada boiler

Dari proses dinamika pada gambar 3.9, maka persamaan hukum kesetimbangan energi pada boiler dapat ditulis:

$$\left[ \begin{array}{c} \text{Laju energi} \\ \text{yang} \\ \text{terakumulasi} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} \text{Kalor hasil} \\ \text{pembakaran} \\ \text{dari burner} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Laju energi} \\ \text{input} \\ \text{feedwater} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Laju energi} \\ \text{output} \\ \text{steam} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{kalor} \\ \text{laten} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{c} \text{Laju energi} \\ \text{dari} \\ \text{gas buang} \end{array} \right]$$

$$Q_{boiler} = Q_{burner} - Q_{in.feedwater} - Q_{out.steam} - Q_{laten} - Q_{gas\ buang} \quad [3.1]$$

Dari persamaan diatas dijabarkan terlebih dahulu untuk masing-masing nilai  $Q$  sebagai berikut.

$$\dot{m}_{boiler} \cdot Cp \cdot \frac{dT}{dt} = Q_{burner} - \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (100 - T_1) - \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_2 - 100) - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4 \quad [3.2]$$

$$V_{boiler} \cdot \rho_v \cdot Cp_2 \cdot \frac{dT}{dt} = Q_{burner} - \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (100 - T_1) - \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_2 - 100) - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4 \quad [3.3]$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_{burner} - \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (100 - T_1) - \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_2 - 100) - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4}{V_{boiler} \cdot \rho_v \cdot Cp} \quad [3.4]$$

Keterangan:

$Q_{burner}$	=	Kalor yang dihasilkan oleh burner (J/s)
$V_{boiler}$	=	Volume boiler ( $m^3$ )
$\rho_v$	=	Massa jenis <i>steam</i> pada boiler ( $Kg/m^3$ )
$Cp_1$	=	Kalor spesifik <i>feedwater</i> ( $J/Kg.^{\circ}C$ )
$Cp_2$	=	Kalor spesifik <i>steam</i> ( $J/Kg.^{\circ}C$ )
$\dot{m}_1$	=	Laju aliran massa <i>feedwater</i> ( $Kg/s$ )
$\dot{m}_2$	=	Laju aliran massa <i>steam</i> ( $Kg/s$ )
$\dot{m}_3$	=	Laju aliran massa laten ( $Kg/s$ )
$\dot{m}_4$	=	Laju aliran massa gas buang ( $Kg/s$ )
$h_1$	=	Entalphy laten ( $J/Kg$ )
$h_2$	=	Entalphy gas buang ( $J/Kg$ )
$T_1$	=	Temperatur <i>input feedwater</i> pada boiler ( $^{\circ}C$ )
$T_2$	=	Temperatur <i>output steam</i> pada boiler ( $^{\circ}C$ )

Dari data operasional diperoleh nilai untuk masing–masing konstanta adalah sebagai berikut. Dengan  $V_{boiler}$  adalah sebesar 0,6 m<sup>3</sup> dan massa jenis *steam* adalah sebesar 0,923 Kg/m<sup>3</sup>, untuk *feedwater* laju aliran massanya sebesar 1,9368 Kg/s dengan kalor spesifik sebesar 4213 J/Kg.<sup>0</sup>C dan temperatur input sebesar 95 <sup>0</sup>C. Untuk *steam*, laju aliran massanya sebesar 1,9368 Kg/s dengan kalor spesifik sebesar 4213 J/Kg.<sup>0</sup>C. Untuk kalor laten, laju aliran massanya sebesar 1,9368 dengan *enthalpy* sebesar 2257000 J/Kg. Sedangkan untuk gas buang, laju aliran massanya sebesar 1,73376 J/Kg dengan *enthalpy* sebesar 516880. Dengan demikian model matematis pada boiler dapat ditulis:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_{burner} - \dot{m}_1 \cdot Cp_1 \cdot (100 - T_1) - \dot{m}_2 \cdot Cp_2 \cdot (T_2 - 100) - \dot{m}_3 \cdot h_3 - \dot{m}_4 \cdot h_4}{V_{boiler} \cdot \rho_v \cdot Cp}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{Q_{burner} - 1,9368 \cdot 4213 \cdot (100 - 95) - 1,9368 \cdot 4450 (T_2 - 100) - 1,9368 \cdot 2257000 - 1,73376 \cdot 516880}{0,6 \cdot 0,923 \cdot 4450} \quad [3.5]$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk mencari besarnya tekanan *steam* pada boiler. Untuk mengetahui tekanan *steam* ini diperoleh melalui *Equation Of State* (EOS) peng-robinson. Dengan

memperoleh nilai temperatur yang didistribusikan oleh boiler, maka perhitungan nilai tekanan didapatkan melalui persamaan berikut.

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V(V+b)+b(V-b)} \quad [3.6]$$

Keterangan:

$P$  = Tekanan (Bar)

$T$  = Temperatur (K)

$V$  = Volume ( $m^3$ )

$R$  = Konstanta gas ideal (8,314413 J/mol-K)

$a$  &  $b$  = Konstan sebagai fungsi temperatur

$$a(T) = 0,45724 \frac{R^2 \cdot T^2}{P_c} \left( 1 + k \left( 1 - \sqrt{\frac{T}{T_c}} \right) \right)^2 \quad [3.7]$$

$$b(T_c) = 0,07780 \frac{R \cdot T_c}{P_c} \quad [3.8]$$

$$k = 0,37464 + 1,5422\omega - 0,26922\omega^2 \quad [3.9]$$

Keterangan:

$T_c$  = Temperatur kritis *feedwater* (K)

$P_c$  = Tekanan kritis *feedwater* (Bar)

$\omega$  = Faktor asentrik *feedwater*

Jika dari data yang diperoleh dimasukkan kedalam persamaan tersebut maka dapat ditulis:

$$k = 0,37464 + 1,5422 \cdot 0,344 - 0,26922 \cdot 0,344^2 \quad [3.10]$$

$$k = 0,37464 + 0,53052 + 0,03186$$

$$k = 0,93702$$

$$b(T_c) = 0,07780 \frac{8,314413 \cdot 647,3}{220,9} \quad [3.11]$$

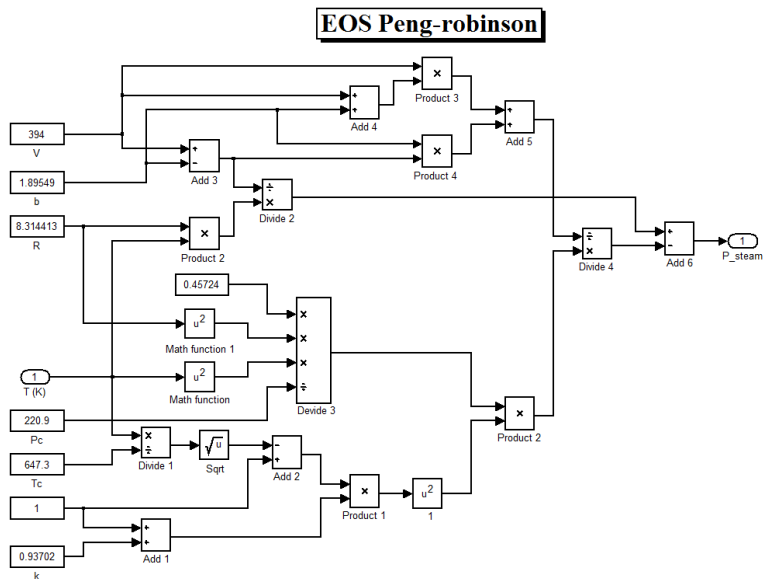
$$b(T_c) = 1,89549$$

$$a(T) = 0,45724 \frac{8,314413^2 \cdot T^2}{220,9} \left( 1 + 0,93702 \left( 1 - \sqrt{\frac{T}{647,3}} \right) \right)^2 \quad [3.12]$$

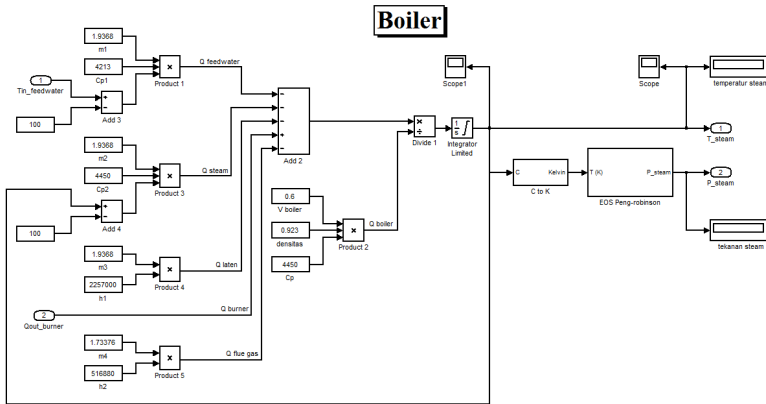
Sehingga dapat dituliskan:

$$P = \frac{8,314413 \cdot T}{394 - 1,89549} - \frac{0,45724 \frac{8,314413^2 \cdot T^2}{220,9} \left( 1 + 0,93702 \left( 1 - \sqrt{\frac{T}{647,3}} \right) \right)^2}{394 (394 + 1,89549) + 1,89549 (394 - 1,89549)} \quad [3.13]$$

Kemudian dari persamaan hasil persamaan [3.5] dan persamaan [3.13] diatas, maka selanjutnya dilakukan perancangan boiler pada simulink seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.10** Equation Of State Peng-Robinson

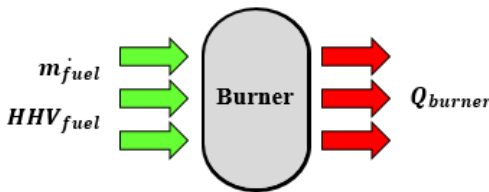


**Gambar 3.11** Pemodelan boiler pada simulink

### 3.4.2 Pemodelan matematis burner

Untuk memperoleh kalor atau panas yang diperoleh dari hasil pembakaran, maka diperlukan burner. Dalam hal ini terdapat dua burner yang dioperasikan namun kedua burner ini beroperasi dengan metode *primary secondary*. Artinya burner 1 beroperasi secara penuh terlebih (*primary*) dahulunya selanjutnya di-*supply* dengan menggunakan burner 2 (*secondary*).

Proses dinamika yang terjadi pada burner dapat dijelaskan pada gambar berikut.



**Gambar 3.12** Proses dinamika pada burner

Dari proses dinamika pada gambar 3.12, maka persamaan hukum kesetimbangan energi pada burner dapat ditulis:

$$Q_{burner} = \dot{m}_{fuel} \cdot HHV_{fuel} \quad [3.14]$$

Keterangan:

$Q_{burner}$  = Kalor yang dihasilkan oleh burner (J/s)

$\dot{m}_{fuel}$  = Laju bahan bakar (Kg/s)

$HHV$  = Nilai HHV dari bahan bakar gas (J/kg)

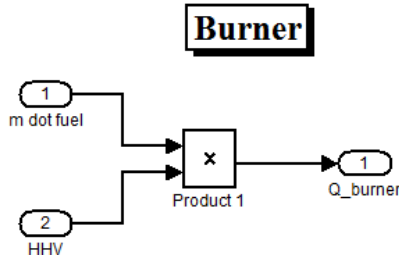
Dari data operasional diperoleh nilai untuk *High Heating Value* (HHV) dari bahan bakar gas sebesar 58442000 J/Kg pada masing-masing burner. Dengan demikian model matematis pada burner 1 (*primary*) dan burner 2 (*secondary*) dapat ditulis sebagai berikut.

$$Q_{burner} = \dot{m}_{fuel} \cdot HHV_{fuel}$$

$$Q_{primary} = \dot{m}_{primary} \cdot 58442000 \quad [3.15]$$

$$Q_{secondary} = \dot{m}_{secondary} \cdot 58442000 \quad [3.16]$$

Melalui model matematis burner 1 (*primary*) dan burner 2 (*secondary*) pada persamaan diatas maka dilakukan pemodelan dengan menggunakan simulink sebagai berikut.



**Gambar 3.13** Pemodelan burner pada simulink

### 3.4.3 Pemodelan matematis *temperature transmitter*

Untuk dapat membaca temperatur yang dihasilkan dari ruang bakar burner serta mentransmisikan sinyal pembacaan menuju *control room* maka diperlukan *temperature transmitter*. *Input* dari *temperature transmitter* ini berupa besaran fisis temperatur dengan *range* 0-1000 °C untuk dikonversi menjadi arus listrik dengan *range* 4-20 mA. Adapun model matematis dari *temperature transmitter* adalah sebagai berikut.

$$\frac{u(s)}{T(s)} = \frac{K_T}{\tau_T s + 1} \quad [3.17]$$

Keterangan:

- $u(s)$  = Sinyal *output temperature transmitter* (mA)  
 $T(s)$  = Temperatur yang terbaca ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $K_T$  = *Gain temperature transmitter*  
 $\tau_T$  = *Time constant temperature transmitter*

Dikarenakan hubungan antara *input temperature transmitter* dengan *output* bersifat linier, maka untuk menentukan *gain* dari *temperature transmitter* digunakan persamaan linier yang merubah besaran fisis (temperatur) menjadi besaran arus listrik (mA) seperti pada persamaan berikut.

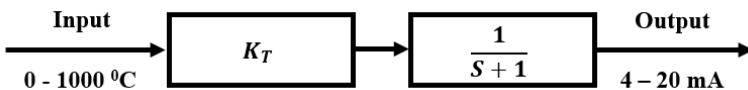
$$K_T = \frac{y-4}{16} = \frac{x-0}{1000} \quad [3.18]$$

$$K_T = y = 0,016 x + 4$$

Dimana:

- $y = u(s)$  = *Output temperature transmitter (mA)*  
 $x$  = *Input temperature transmitter ( $^{\circ}\text{C}$ )*

Besarnya *gain* dan bias *transmitter* dapat ditentukan melalui persamaan linier yang menghubungkan *range input* dan *range output* dari *transmitter*. Besarnya *time constant* untuk *temperature transmitter* ini adalah 1 detik. Dari ilustrasi tersebut, diagram blok mekanisme konversi sinyal *input* sampai sinyal *output temperature transmitter* dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



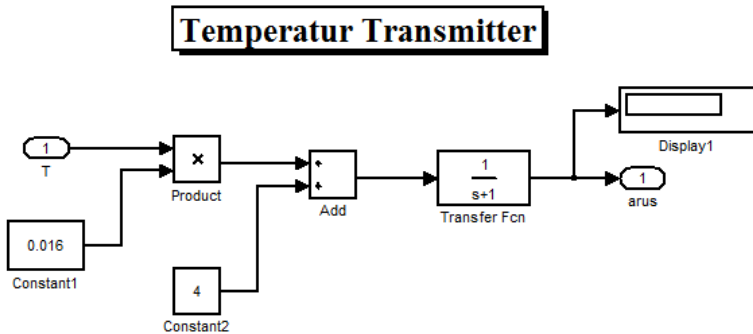
**Gambar 3.14** Diagram blok *temperature transmitter*



Dengan mensubstitusikan persamaan [3.18] pada persamaan [3.17] maka didapatkan model matematis dari *temperature transmitter* dengan karakteristik linear adalah sebagai berikut.

$$\frac{u(s)}{T(s)} = \frac{0,016 u(s)+4}{s+1} \quad [3.19]$$

Dari diagram blok pada gambar 3.14 serta mengacu pada persamaan [3.19], maka pemodelan *temperature transmitter* secara keseluruhan apabila di terapkan pada simulink menjadi seperti pada gambar berikut.



**Gambar 3.15** Pemodelan *temperature transmitter* pada simulink

#### 3.4.4 Pemodelan matematis *pressure transmitter*

Untuk dapat membaca tekanan *steam* yang dihasilkan oleh boiler serta mentransmisikan sinyal pembacaan menuju *control room* maka diperlukan *pressure transmitter*. *Input* dari *pressure transmitter* ini berupa besaran fisis tekanan dengan *range* 0-25 Bar untuk dikonversi menjadi arus listrik dengan *range* 4-20 mA. Secara umum model matematis dari *pressure transmitter* dapat didekati dengan sistem orde 1 sebagaimana pada persamaan berikut.

$$\frac{u(s)}{P(s)} = \frac{K_P}{\tau_P s + 1} \quad [3.20]$$

Keterangan:

$P(s)$  = Tekanan yang terbaca (Bar)

$u(s)$  = Sinyal *output pressure transmitter* (mA)

$K_T$  = *Gain pressure transmitter*

$\tau_P$  = *Time constant pressure transmitter*

Dikarenakan hubungan antara *input pressure transmitter* dengan *output* bersifat linier, maka untuk menentukan *gain* dari *pressure transmitter* digunakan persamaan linier yang merubah besaran fisis (tekanan) menjadi besaran arus listrik (mA) seperti pada persamaan berikut.

$$K_p = \frac{y-4}{16} = \frac{x-0}{25} \quad [3.21]$$

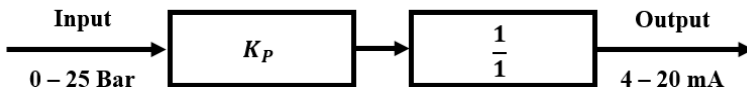
$$K_p = y = 0,64 x + 6,25$$

Dimana :

$y = u(s)$  = *Output pressure transmitter (mA)*

$x$  = *Input pressure transmitter (Bar)*

Besarnya *gain* dan bias *transmitter* dapat ditentukan melalui persamaan linier yang menghubungkan *range input* dan *range output* dari *transmitter*. Dengan mengasumsikan tekanan sebagai variabel proses yang perubahannya sangat cepat maka *time constant* dapat diabaikan. Dengan menggunakan ilustrasi tersebut maka diagram blok mekanisme konversi sinyal *input* sampai sinyal *output pressure transmitter* dapat ditunjukkan pada gambar berikut.

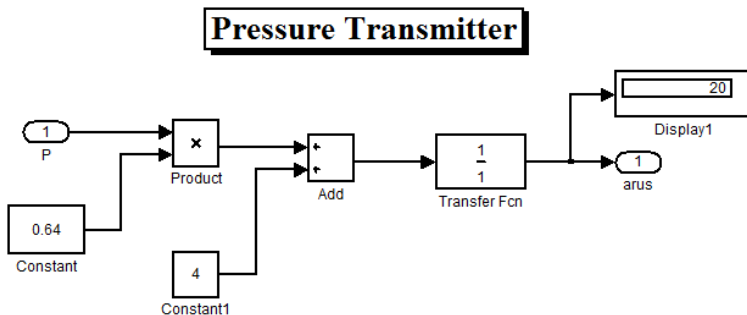


**Gambar 3.16** Diagram blok *pressure transmitter*

Dengan mensubstitusikan persamaan [3.21] pada persamaan [3.20] maka didapatkan model matematis dari *pressure transmitter* dengan karakteristik linear adalah sebagai berikut.

$$\frac{u(s)}{P(s)} = \frac{0,64 u(s)+6,25}{1} \quad [3.22]$$

Dari diagram blok pada gambar 3.16 diatas, serta mengacu pada persamaan [3.22] maka pemodelan *pressure transmitter* secara keseluruhan apabila di terapkan pada simulink menjadi seperti pada gambar berikut.



**Gambar 3.17** Pemodelan *pressure transmitter* pada simulink

### 3.4.5 Pemodelan matematis *control valve*

Untuk mengontrol laju aliran bahan bakar menuju burner maka digunakan *control valve*. *Control valve* yang digunakan adalah jenis *linear control valve*. *Control valve* tersebut digunakan untuk mengatur laju aliran bahan bakar gas yang menuju burner. I/P converter, menerima input sinyal elektrik 4–20 mA yang diubah menjadi sinyal pneumatik 3–15 psi dimana berfungsi untuk menggerakkan *stem* membuka dan menutup 0–100 % dalam mengatur laju aliran bahan bakar gas. Adapun model matematis dari *control valve* sebagai berikut.

$$\frac{\dot{m}(s)}{u(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} \quad [3.23]$$

Keterangan:

$\dot{m}(s)$  = Laju aliran bahan bakar yang termanipulasi (Kg/hr)

$u(s)$  = Sinyal masukan *control valve* (mA)

$K_v$  = *Gain control valve*

$\tau_v$  = *Time constant control valve* (s)

Untuk menentukan gain total dari *control valve*, digunakan persamaan sebagai berikut.

$$K_{total} = K_{I/P} \cdot K_{actuator} \quad [3.24]$$

Dimana,

$$K_{I/P} = \frac{\text{Span tekanan I/P}}{\text{Span sinyal kontrol}} \quad [3.25]$$

$$K_{actuator} = \frac{d}{dx} f(x) \frac{\dot{m}_{max}}{\text{span tekanan I/P}} \quad [3.26]$$

Dengan nilai  $\dot{m}_{max}$  pada *control valve* 1 dan *control valve* 2 sebesar 0,0697 Kg/s, maka diagram blok mekanisme konversi sinyal *input control valve* sampai *output control valve* dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.18** Diagram blok *control valve*

Mengacu dari persamaan [3.25] dan [3.26], maka diperoleh persamaan:

$$K_{I/p} = \frac{y-3}{12} = \frac{x-4}{16} \quad [3.27]$$

$$K_{I/p} = y = \frac{3}{4} x$$

$$K_{actuator} = \frac{y-0}{m_{\dot{m}max}} = \frac{x-3}{12} \quad [3.28]$$

$$K_{actuator} = y = \frac{1}{12} m_{\dot{m}max} x - \frac{1}{4} m_{\dot{m}max}$$

Sehingga apabila  $K_{I/p}$  dan  $K_{actuator}$  disubstitusikan pada persamaan [3.24], maka diperoleh *gain total control valve*:

$$K_v = \frac{3}{4} x \cdot \frac{1}{12} m_{\dot{m}max} - \frac{1}{4} m_{\dot{m}max} \quad [3.29]$$

Kemudian besar *time constant control valve* dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$\tau_v = T_v (\Delta V + R_v) \quad [3.30]$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \text{fraksi Perubahan Control valve} \\ &= \frac{m_{\dot{m}max} - m_{\dot{m}min}}{m_{\dot{m}max}} \end{aligned} \quad [3.31]$$

$$\begin{aligned} R_v &= \text{Perbandingan Time Constant inherent dengan Time Stroke} \\ &= 0.03 \text{ (untuk diaphragma)} \\ &= 0.3 \text{ (untuk piston)} \end{aligned}$$

Sedangkan nilai  $T_v$  dapat diperoleh dari persamaan berikut.

$$T_v = \frac{Y_c}{C_v} \quad [3.32]$$

Dimana:

$Y_c$  = Faktor *Stroking Time Valve*  
= 0,676

$C_v$  = koefisien aliran dari aksesoris *Valve*  
= 0,39 ( untuk jenis *Positioner I/P* )

Sehingga, dengan mengacu pada persamaan [3.30] maka untuk nilai *time constant control valve* adalah:

$$\tau_{cv} = \frac{0.679}{0.39} \left[ \left( \frac{0.0697 - 0}{0.0697} \right) + 0.03 \right] \quad [3.33]$$

$$\tau_{cv} = 1.79s$$

Karena karakteristik *control valve* yang linier, maka didapati adanya bias sebagaimana dalam persamaan linier terdapat adanya gradien dan konstanta bias. Kemudian nilai ini dikalikan dengan nilai karakteristik dari *control valve* yang dikembangkan oleh F. G. Shinsky. Persamaan karakteristik *control valve* dapat ditulis melalui persamaan berikut.

$$Y = \frac{x}{L+(1-L)x} \quad [3.34]$$

Keterangan:

$Y$  = Persamaan karakteristik *control valve*

$x = u(s)$  = Masukan *control valve* (mA)

$L$  = ketika  $L = 1$  , untuk tipe *linear*

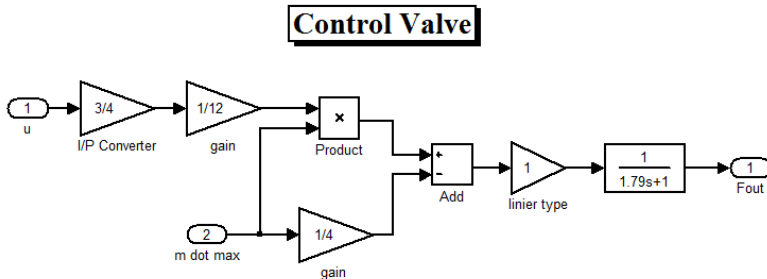
$0 < L < 1$  , untuk tipe *quick opening*

$L > 1$  , untuk tipe *equal percentage*

Dengan mensubstitusikan persamaan [3.29] dan persamaan [3.33] pada persamaan [3.23] maka didapatkan model matematis dari *control valve* dengan karakteristik linier adalah sebagai berikut.

$$\frac{\dot{m}(s)}{u(s)} = \frac{\left( \frac{3}{4} u(s) \cdot \frac{1}{12} \cdot 0,0697 - \frac{1}{4} \cdot 0,0697 \right) 1}{0,79s + 1} \quad [3.35]$$

Dengan model matematis pada persamaan [3.35], maka bila diterapkan pada simulink menjadi seperti gambar berikut.



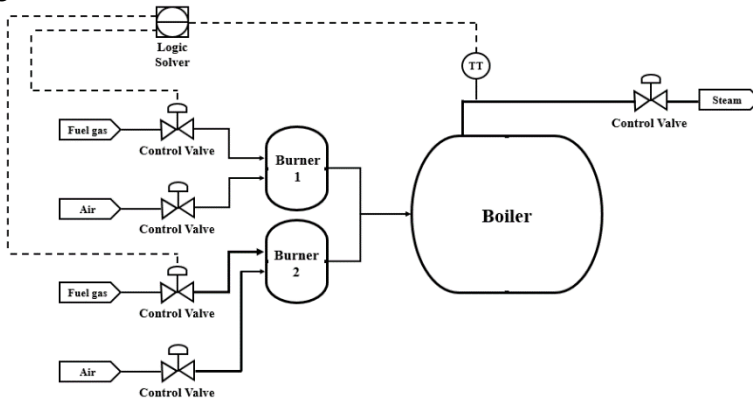
**Gambar 3.19** Pemodelan *control valve* pada simulink

### 3.5 Desain dan Diagram Blok Sistem Kontrol Temperatur Berbasis *Logic Solver*

Agar diperoleh produk *steam* sesuai dengan kriteria yang diinginkan, diperlukan suatu pengendalian dengan beberapa variabel proses pada boiler. Variabel proses tersebut adalah temperatur *steam* dan tekanan *steam* pada boiler. Untuk variabel proses temperatur *steam* dapat memanfaatkan manipulasi laju aliran bahan bakar gas yang diinjeksikan menuju burner. Sedangkan untuk variabel proses tekanan *steam* dapat memanfaatkan bukaan *control valve* agar tekanan *steam* dapat mencapai *setpoint* yang diinginkan.

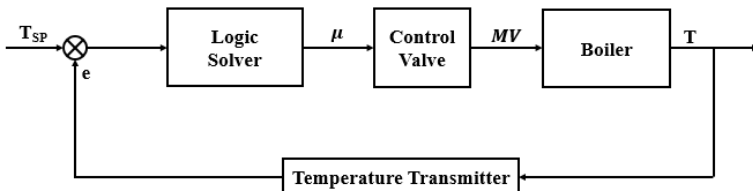
Namun permasalahan yang timbul di lapangan adalah sistem kontrol pada kedua burner tersebut belum terintegrasi dengan baik sehingga terkadang temperatur *steam* pada boiler sering melewati *setpoint*. Oleh karena itu dilakukan sistem kontrol berbasis *logic solver* dimana nantinya akan memonitoring variabel proses berupa temperatur *steam* agar diperoleh produk *steam* dengan temperatur sesuai yang diharapkan. Selain itu, sistem kontrol ini digunakan untuk mengoperasikan dua burner yang diparalel dengan metode *primary* and *secondary*, artinya burner 1 sebagai burner *primary* beroperasi secara penuh kemudian di-*supply* dengan menggunakan burner 2 sebagai burner *secondary* sebagai burner yang dikontrol untuk menjaga temperatur *steam* pada boiler. Adapun desain dari

sistem kontrol temperatur berbasis *logic solver* ini dapat lihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.20** Desain sistem kontrol temperatur berbasis *logic solver*

Dari desain sistem kontrol berbasis *logic solver* diatas dapat diamati bahwa kontroler dirancang memiliki referensi temperatur *steam*. Dari referensi temperatur ini selanjutnya dilakukan perancangan melalui tabel aksi kontroler. Tabel aksi pengendali ini menjadi acuan aksi yang dilakukan kontroler ketika referensi sesuai atau tidak sesuai dengan *setpoint* dengan memanipulasi laju aliran pada bahan bakar gas. Dengan begitu diagram blok dari sistem pengendalian temperatur ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



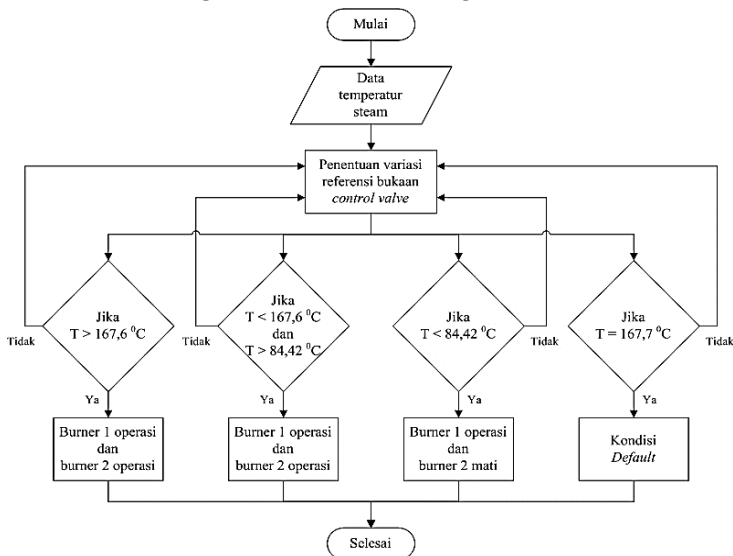
**Gambar 3.21** Diagram blok sistem kontrol temperatur berbasis *logic solver*



### 3.6 Perancangan Sistem Kontrol Temperatur Berbasis *Logic Solver*

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, dalam perancangan sistem kontrol berbasis *logic solver* ini yang harus menjadi perhatian adalah referensi temperatur pada *steam*. Untuk *setpoint* ditentukan berdasarkan kondisi yang ada di lapangan, dimana untuk tekanan *steam* adalah sebesar 6,5 bar *gauge*. Dengan pengukuran tekanan tersebut, maka tekanan absolut yang digunakan sebagai *setpoint* adalah 7,5 Bar ( $P_{absolut} = P_{gauge} + P_{atm}$ ). Dalam tabel *properties of saturated water (liquid-vapor)* in SI unit, dengan tekanan *steam* sebesar 7,5 bar diperoleh temperatur sebesar 167,6 °C sebagai *setpoint* yang ingin dicapai. Sedangkan *setpoint* temperatur 84,42 °C merupakan batas maksimum temperatur *steam* yang dihasilkan oleh burner 1 (*primary*).

Sistem kontrol berbasis *logic solver* dibuat atas dasar implementasi dari diagram alir perancangan penelitian. Tabel aksi pengendali kontroler ini menjadi acuan dalam membuat algoritma kontrol sebagai respon dari *error*. Adapun algoritma dari sistem kontrol berbasis *logic solver* adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.22** Algoritma sistem kontrol berbasis *logic solver*

Dari diagram alir yang telah dibuat, dapat diamati bahwa pada dasarnya terdapat empat macam variasi kondisi yang memungkinkan terjadi. Empat kondisi ini yang mendasari karakteristik sinyal *error* yang nantinya diterima. Dengan menerima dua sinyal *inputan error* sebagai referensi akibat respon variabel proses yang terlibat, maka diperlukan perhitungan sinyal kontrol yang tepat melalui pemodelan matematis pada sistem. *Logic solver* menerima *inputan* berupa *error* temperatur. *Error* ini adalah selisih antara *setpoint* dengan variabel proses dimana nantinya yang menjadi acuan bagi *logic solver*. Dari variabel proses yang tidak sesuai *setpoint* inilah yang dijadikan sebagai referensi *logic solver* dalam menghasilkan sinyal kontrol  $u$ .

**Tabel 3.2** Aksi pengendali kontroler

Variabel proses	Temperatur <i>steam</i>	Aksi
Temperatur	$T > 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Burner 1 beroperasi dan burner 2 beroperasi
	$T > 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $T > 84,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Burner 1 beroperasi dan burner 2 beroperasi
	$T < 84,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Burner 1 beroperasi dan burner 2 mati
	$T = 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Tidak ada aksi (kondisi <i>default</i> )

Dari kondisi-kondisi yang telah dijelaskan diatas, kemudian dilakukan perancangan *logic solver* melalui simulink matlab dengan menggunakan *truth tabel* (tabel kebenaran) dalam kondisi *state flow*. Pada *state flow truth tabel* ini, kondisi-kondisi yang ingin dirancang berdasarkan gambar diagram alir 3.23 dan tabel 3.2 yang kemudian diinterpretasikan melalui tabel kondisi dan tabel aksi. Tabel kondisi berisi mengenai kondisi proses apa saja yang nanti akan terjadi sebagai referensi *logic solver* untuk melakukan aksi. Sedangkan tabel aksi adalah interpretasi dari aksi *logic solver* dalam menanggapi *inputan* berupa referensi temperatur.

**Tabel 3.3** Tabel kondisi pada *truth table*

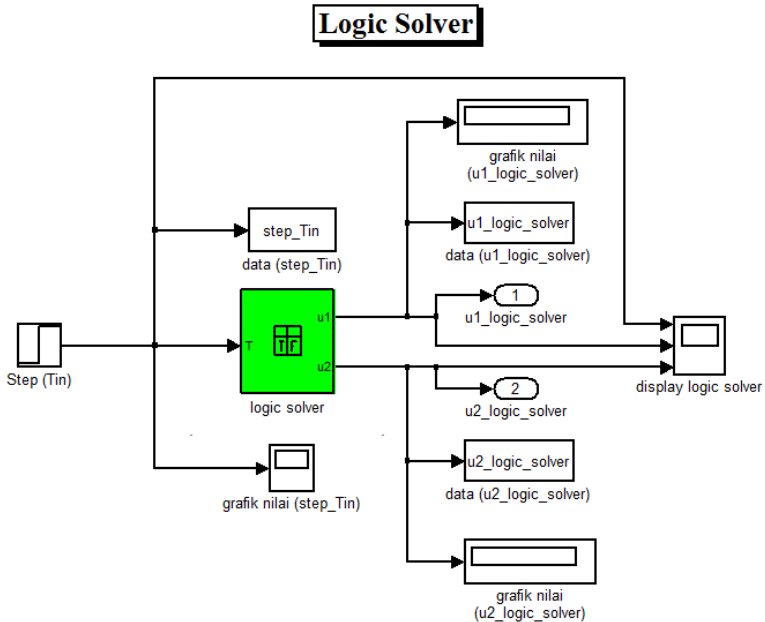
Condition Table							
	Description	Condition	D1	D2	D3	D4	
1	Jika $T > 167,6$ C	kondisi_A1: $T > 0.001814$	T	F	F	-	
2	Jika $T < 167,6$ C dan $T > 84.42,3$ C	kondisi_A2: $T < 0.001814 \text{ \& \& } T > 1.333$	F	T	F	-	
3	Jika $T < 84.42$ C	kondisi_A3: $T < 1.333$	F	F	T	-	
		Actions: Specify a row from the Action Table	A1	A2	A3	A4	

Untuk tabel kondisi pada *truth table* dapat diamati melalui deskripsi untuk masing-masing kondisi. Kolom D1 sampai dengan D8 merupakan kolom kebenaran yang merepresentasikan kondisi mana yang sedang terjadi pada saat kontroler disimulasikan. Huruf T diartikan sebagai kondisi benar (*True*) dan F kondisi salah (*False*). Untuk lebih mudahnya diambil salah satu contoh pada tabel 3.3, misalnya pada kondisi pertama dimana T tidak sesuai *setpoint* (temperatur melebihi *setpoint*) pada kolom D1 diberi index T (*True*) dan D2 sampai D8 diberi index F (*False*). Itu artinya untuk deskripsi kondisi pertama diwakili oleh kolom D1 yang apabila ditarik lurus ke bawah (hingga baris kedelapan) diberi index A1, demikian seterusnya. Sedangkan pada kolom D9 dari baris pertama hingga baris kedelapan diberi tanda (-) dan diberi index A9 dimana untuk kondisi tersebut merupakan kondisi *default logic solver*.

**Tabel 3.4** Tabel aksi pada *truth table*

Action Table		
#	Description	Action
1	set u_A1	A1: u1=20; u2=10.816;
2	set u_A2	A2: u1=20; u2=10.816;
3	set u_A3	A3: u1=20; u2=10.816;
4	set u_A4 (Default)	A4: u1=20; u2=10.816;

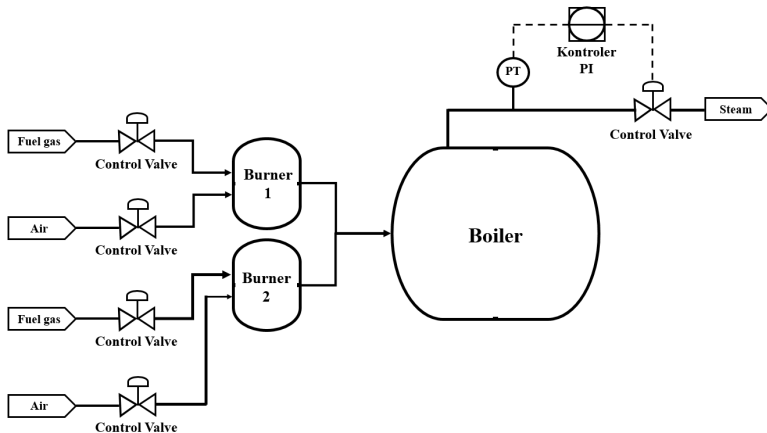
Untuk tabel aksi pada *truth table* dibagi menjadi empat bagian dimana untuk aksi pertama sampai dengan aksi kedelapan merupakan aksi yang dilakukan berdasarkan pada tabel kondisi. Misalnya pada aksi pertama, dimana aksi yang dilakukan berdasarkan index A1 yaitu tabel kondisi baris pertama (tabel 3.3), maka sinyal u *logic solver* untuk u1 sebesar 20 mA dan u2 sebesar 10,816 mA, demikian seterusnya. Nilai u1 mA dan u2 tersebut adalah nilai u yang diperlukan untuk menginjeksikan sejumlah laju aliran bahan bakar gas tertentu pada masing-masing burner agar sesuai dengan setpoint yang diinginkan. Dengan mengacu pada gambar 3.23 dan tabel 3.2, 3.3 dan 3.4, maka selanjutnya dirancang sistem kontrol berbasis *logic solver* seperti pada gambar berikut.



**Gambar 3.23** Sistem kontrol temperatur berbasis *logic solver*

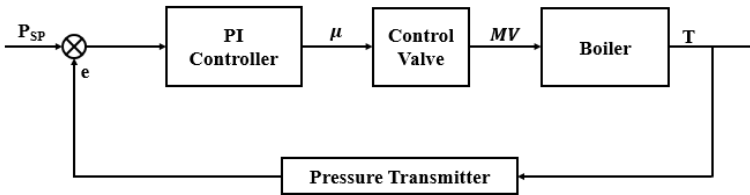
### 3.7 Desain dan Diagram Blok Sistem Kontrol Tekanan Berbasis Kontroler PI

Selain dari variabel proses temperatur terhadap *steam* yang perlu dikontrol pada boiler, variabel kontrol yang perlu diperhatikan lainnya adalah tekanan *steam*. Tujuan dari kontrol tekanan ini adalah untuk menjaga kestabilan sistem dan diperoleh tekanan *steam* sesuai dengan setpoint yang diinginkan untuk nantinya didistribusikan dan dibagi kebeberapa *equipment* atau *instrument* yang membutuhkan. Adapun desain dari sistem kontrol tekanan berbasis kontroler PI ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.24** Desain sistem kontrol tekanan berbasis kontroler PI

Dari desain sistem kontrol tekanan berbasis kontroler PI diatas dapat diamati bahwa kontroler dirancang memiliki referensi tekanan *steam*. Dari referensi inputan tekanan *steam* ini selanjutnya dibuat aksi kontrol dengan memanipulasi bukaan dari *control valve*. Dengan begitu diagram blok dari sistem pengendalian tekanan ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.25** Diagram blok sistem kontrol berbasis kontroler PI

### 3.8 Perancangan Sistem Kontrol Tekanan Berbasis Kontroler PI

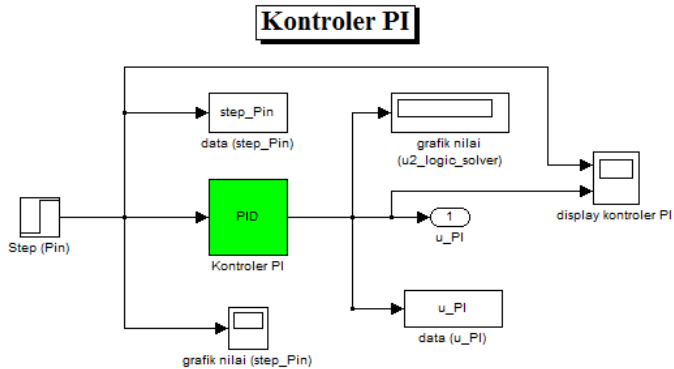
Perancangan sistem kontrol berbasis kontroler PI ini bertujuan untuk menentukan parameter aksi kontrol *proportional integral* pada *plant*. Proses ini dilakukan dengan cara *trial and error*. Keunggulan menggunakan cara ini adalah dalam penggunaannya tidak perlu identifikasi *plant* sehingga dalam penentuan parameter *plant* dilakukan dengan melihat respon grafis atau dari analitis yaitu dengan cara mencoba-coba memberikan konstanta PI pada formulanya hingga diperoleh hasil yang diinginkan dengan mengacu pada karakteristik masing-masing kontrol. Adapun karakteristik dari kontrol PI dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 3.5** Karakteristik sistem kontrol PID

Respon Loop Tertutup	Waktu Naik	Overshoot	Waktu Turun	Kesalahan Keadaan Tunak
$K_p$	Menurun	Meningkat	Perubahan Kecil	Menurun
$K_i$	Menurun	Meningkat	Meningkat	Hilang
$K_d$	Perubahan Kecil	Menurun	Menurun	Perubahan Kecil

Nilai konstanta perhitungan PI di tuning secara *trial and error*, proses ini dilakukan dengan metode mencoba-coba eksperimental nilai *proportional* dan *integral* pada formula PI hingga ditemukan hasil sistem yang stabil. Setelah dilakukan variasi konstanta *proportional* dan *integral* dengan mengacu pada karakteristik dari masing-masing kontrol, maka didapatkan

konstanta yang tepat dengan nilai  $P = 11,613$  dan nilai  $I = 0,000004$  untuk mengakomodasi pengendalian tekanan pada boiler. Adapun perancangan sistem kontrol tekanan berbasis kontroler PI dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 3.26** Sistem kontrol tekanan berbasis kontroler PI

**“Halaman ini sengaja dikosongkan”**



## BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab IV ini akan dilakukan analisis terhadap hasil dari simulasi hysys dan simulasi model matematis yang telah dibuat sebelumnya pada bab III. Dari analisis ini kemudian dilakukan pembahasan mengenai hasil dari simulasi hysys maupun simulasi model matematis, baik per komponen maupun secara keseluruhan.

### 4.1 Pengujian Simulasi Hysys

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa tujuan dari perancangan simulasi hysys ini adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan rasio antara laju aliran bahan bakar gas dengan udara untuk mendapatkan proses pembakaran yang optimal. Dengan data yang telah tervalidasi, kemudian dilakukan variasi perubahan dari rasio perbandingan terhadap temperatur *output* burner. Variasi rasio perbandingan yang diuji yaitu antara 1:14 hingga 1:20 yang dibuat dalam bentuk tabel berikut.

#### ➤ Pada burner 1

Dengan data laju aliran bahan bakar gas sebesar 153 Kg/hr pada burner 1, maka didapatkan data seperti berikut.

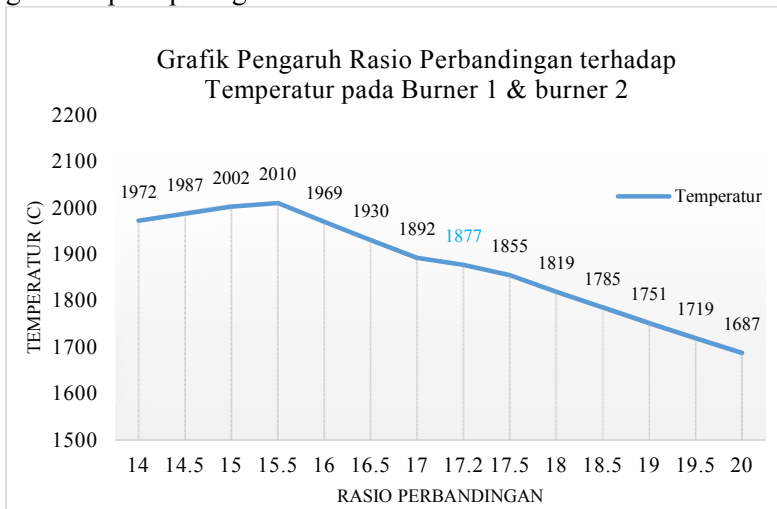
**Tabel 4.1** Pengaruh rasio perbandingan terhadap temperatur burner 1

No	Rasio Perbandingan		Laju Aliran		Temperatur Burner 1 (°C)
	Gas	Udara	Gas (Kg/hr)	Udara (Kg/hr)	
1	1	14	153	2142	1972
2	1	14.5	153	2218.5	1987
3	1	15	153	2295	2002
4	1	15.5	153	2371.5	2010
5	1	16	153	2448	1969
6	1	16.5	153	2524.5	1930
7	1	17	153	2601	1892
8	1	17.2	153	2631.5	1877

(lanjutan)

No	Rasio Perbandingan		Laju Aliran		Temperatur Burner 1 (°C)
	Gas	Udara	Gas (Kg/hr)	Udara (Kg/hr)	
9	1	17.5	153	2677.5	1855
10	1	18	153	2754	1819
11	1	18.5	153	2830.5	1785
12	1	19	153	2907	1751
13	1	19.5	153	2983.5	1719
14	1	20	153	3060	1687

Dari hasil data pada tabel 4.1, kemudian dibuat dalam bentuk grafik seperti pada gambar berikut.



**Gambar 4.1** Grafik pengaruh rasio bahan bakar terhadap temperatur pada burner 1

Dari grafik pada gambar 4.1 dapat dilakukan dianalisis bahwa adanya pengaruh antara rasio perbandingan laju aliran bahan bakar gas dengan udara terhadap temperatur *output* burner.

Pada tabel 4.1 terdapat arsiran warna biru yang menunjukkan rasio perbandingan antara laju aliran bahan bakar gas dan udara dalam kondisi stoichiometric (kondisi ideal) dengan  $AFR_{stoich}$  sebesar 17,2. Semakin besar rasio perbandingan maka akan semakin kecil temperatur yang dihasilkan oleh burner. Kondisi ini terjadi karena jumlah udara (oksigen) berlebih yang dapat menyebabkan terserapnya energi dalam pembakaran dan sisa gas buang ini akan akan dibuang melewati *stack*, sehingga sebagian energi yang dihasilkan terbuang dan menyebabkan temperatur burner menurun.

Begitu pula sebaliknya, apabila semakin kecil rasio perbandingan maka akan semakin besar temperatur yang dihasilkan oleh burner. Kondisi ini terjadi karena jumlah udara (oksigen) terlalu sedikit untuk mengubah bahan bakar hidrokarbon menjadi karbon dioksida dan air. Jumlah udara yang terlalu sedikit ini dapat diartikan pemborosan bahan bakar, karena tidak semua bahan bakar yang digunakan terbakar menjadi energi. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan laju aliran bahan bakar gas sebesar 153 Kg/hr, temperatur maksimum pada burner 1 di berada di rasio perbandingan 1:15,5 yaitu sebesar 2010 °C. Sedangkan temperatur minimum berada di rasio perbandingan 1:20 yaitu sebesar 1687 °C.

➤ **Pada burner 2**

Dengan data laju aliran bahan bakar gas sebesar 210 Kg/hr pada burner 1, maka didapatkan data seperti berikut.

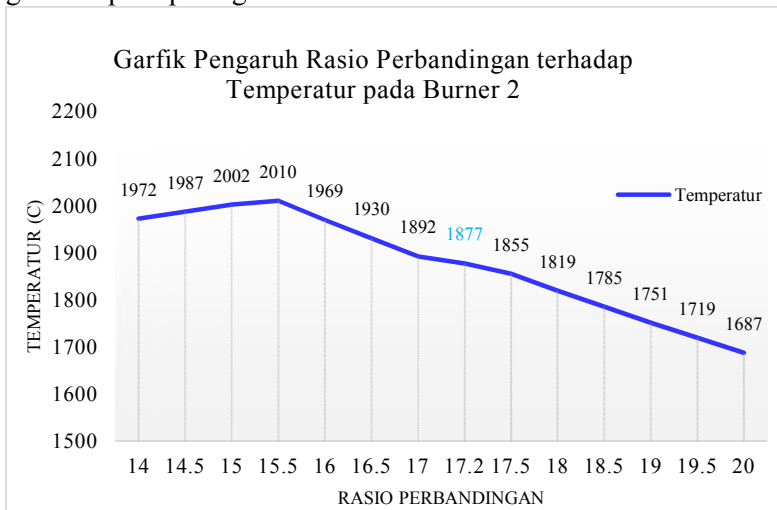
**Tabel 4.2** Pengaruh rasio perbandingan terhadap temperatur burner 2

No	Rasio Perbandingan		Laju Aliran		Temperatur Burner 2 (°C)
	Gas	Udara	Gas (Kg/hr)	Udara (Kg/hr)	
1	1	14	210	2940	1972
2	1	14.5	210	3045	1987
3	1	15	210	3150	2002
4	1	15.5	210	3255	2010
5	1	16	210	3360	1969

(lanjutan)

No	Rasio Perbandingan		Laju Aliran		Temperatur Burner 2 (°C)
	Gas	Udara	Gas (Kg/hr)	Udara (Kg/hr)	
6	1	16.5	210	3465	1930
7	1	17	210	3570	1892
8	1	17.2	210	3612	1877
9	1	17.5	210	3675	1855
10	1	18	210	3780	1819
11	1	18.5	210	3885	1785
12	1	19	210	3990	1751
13	1	19.5	210	4095	1719
14	1	20	210	4200	1687

Dari hasil data pada tabel 4.2, kemudian dibuat dalam bentuk grafik seperti pada gambar berikut.



**Gambar 4.2** Grafik pengaruh rasio bahan bakar terhadap temperatur pada burner 2

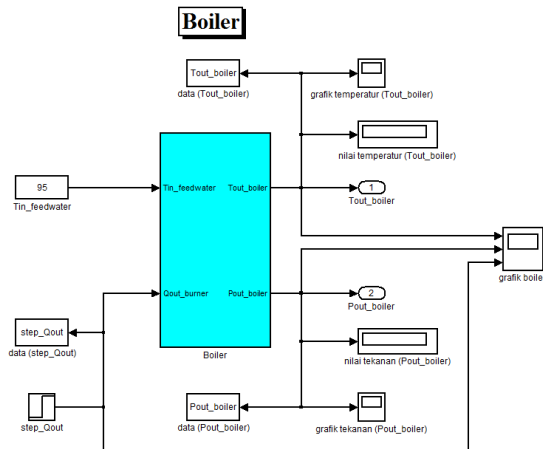
Dari grafik pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa terjadinya kesamaan hasil data temperatur *output* burner 2 dengan temperatur *output* burner 1. Hal ini disebabkan karena rasio perbandingan antara burner 1 dan burner 2 sama walaupun dengan laju aliran pada masing-masing burner berbeda.

## 4.2 Pengujian Pemodelan Matematis Komponen

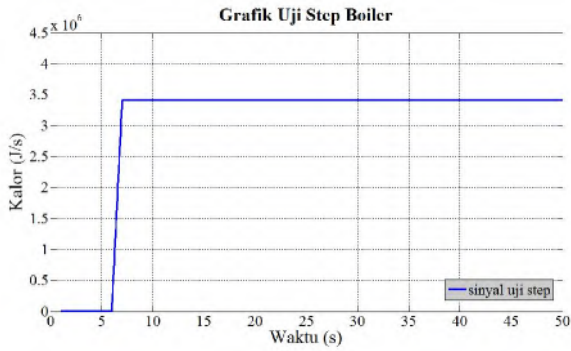
Sebelum dilakukan pengujian secara menyeluruh, maka sebelumnya dilakukan pengujian untuk masing-masing komponen. Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal uji step. Dari uji step ini akan diperoleh respon dari masing-masing komponen sehingga diketahui tingkat kelogisan dari pemodelan matematis yang telah dibuat.

### 4.2.1 Pengujian pemodelan matematis pada boiler

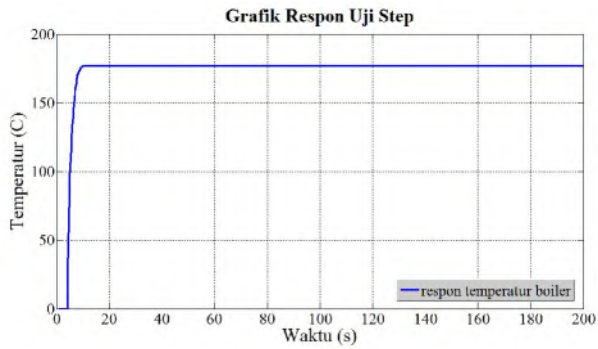
Pada simulasi sinyal uji step boiler, sinyal *input* direpresentasikan sebagai kalor ( $Q$ ) *output* dari burner yang masuk pada boiler. Kalor ini yang digunakan untuk menaikkan temperatur *steam* dari *feedwater* yang masuk melewati boiler sehingga dapat mempengaruhi temperatur *steam* dan tekanan *steam* yang dihasilkan. Temperatur dari *feedwater* sendiri sebesar  $95^{\circ}\text{C}$ . Adapun simulasi uji step, grafik uji step serta grafik respon dari uji step boiler dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



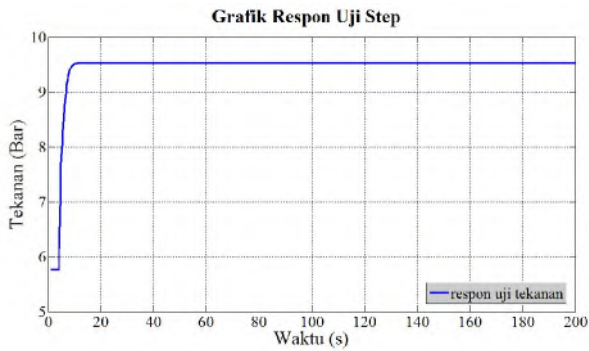
Gambar 4.3 Simulasi uji step pada boiler



**Gambar 4.4** Grafik uji step boiler



**Gambar 4.5** Grafik respon uji step temperatur boiler



**Gambar 4.6** Grafik respon uji step tekanan boiler

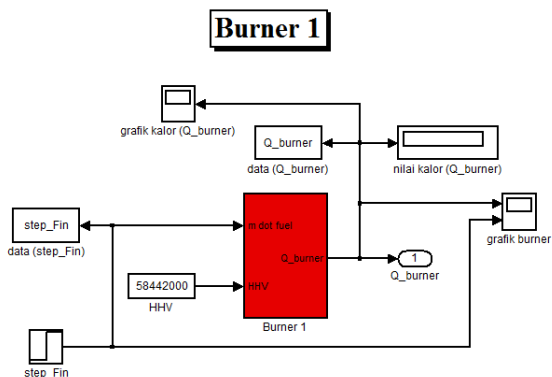
Dari hasil simulasi uji step pada boiler tampak bahwa kalor ( $Q$ ) sebagai *input* uji step yang ditunjukkan pada gambar 4.4 adalah sebesar 5890953.6 J/s. Kalor sebagai *input* ini didapat dari jumlah kalor yang dihasilkan pada burner 1 dan burner 2. Dengan besarnya nilai kalor tersebut, respon temperatur *steam* yang dihasilkan pada boiler sebesar 177,1 °C yang ditunjukkan pada gambar 4.5 dan tekanan *steam* pada boiler sebesar 9,524 Bar pada gambar 4.6. Dari hubungan antara kalor ( $Q$ ) *input* terhadap temperatur *steam* dan tekanan *steam* yang dihasilkan, dapat dikatakan bahwa semakin besar kalor yang dihasilkan oleh burner, maka semakin besar pula temperatur *steam* dan tekanan *steam* yang dihasilkan oleh boiler.

#### 4.2.2 Pengujian pemodelan matematis pada burner

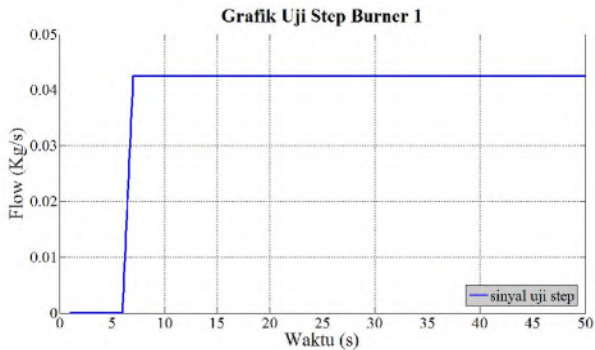
Pada simulasi uji step burner, sinyal *input* direpresentasikan sebagai laju aliran bahan bakar yang keluar dari *control valve*. Dengan simulasi ini nantinya akan diperoleh keluaran temperatur burner sebagai fungsi *flow* bahan bakar yang masuk. Adapun simulasi uji step, grafik uji step serta grafik respon dari uji step burner dapat ditunjukkan pada gambar berikut.

##### ➤ Burner 1

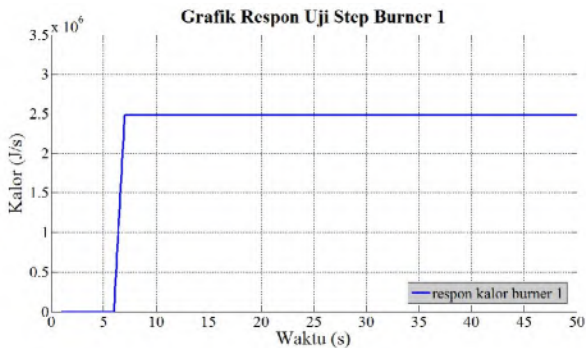
Sesuai dengan data operasional dilapangan, pada burner 1 sinyal uji step yang diberikan dengan laju aliran sebesar 0,0425 Kg/s.



**Gambar 4.7** Simulasi uji step pada burner 1



**Gambar 4.8** Grafik uji step burner 1



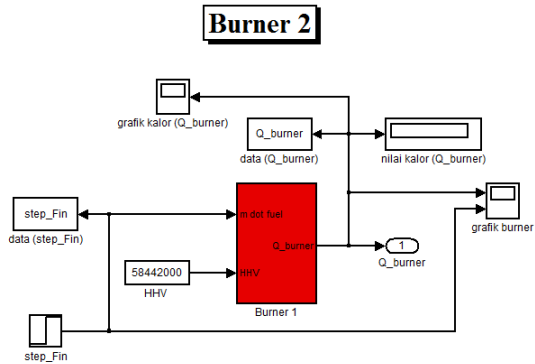
**Gambar 4.9** Grafik respon uji step burner 1

Dari hasil simulasi sinyal uji step pada burner 1, dapat diamati grafik pada gambar 4.8 bahwa sinyal *input* laju aliran yang diberikan sebesar 0,0425 Kg/s. Hasil respon uji step menunjukkan kalor yang dihasilkan oleh burner 1 sebesar  $2,484 \times 10^6$  J/s pada gambar 4.9. Dengan memberikan perubahan terhadap laju aliran bahan bakar, dapat dikatakan bahwa semakin besar laju aliran bahan bakar, maka akan semakin besar kalor yang dihasilkan oleh burner.

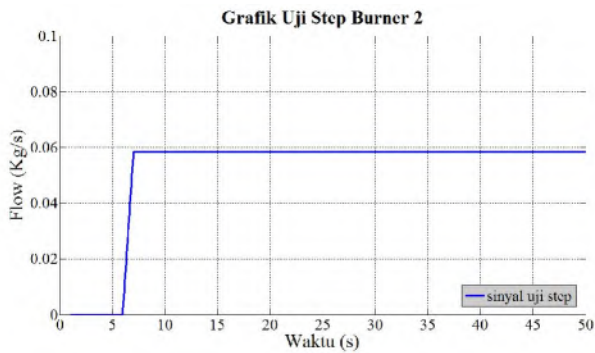
➤ **Burner 2**

Sesuai dengan data operasional dilapangan, pada burner 1 sinyal uji step yang diberikan dengan laju aliran sebesar 0,0583 Kg/s.

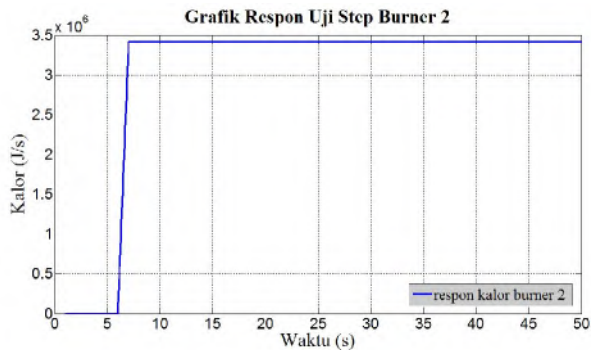




**Gambar 4.10** Simulasi uji step apada burner 2



**Gambar 4.11** Grafik uji step burner 2

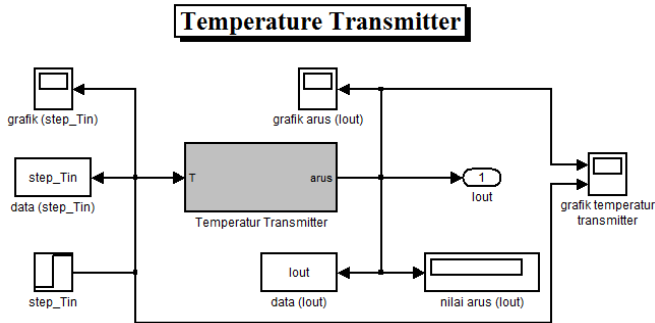


**Gambar 4.12** Grafik respon uji step burner 2

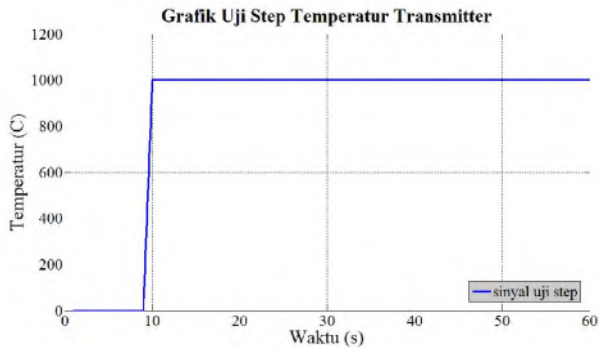
Dari hasil simulasi sinyal uji step pada burner 2, dapat diamati grafik pada gambar 4.11 bahwa sinyal *input* laju aliran yang diberikan sebesar 0,0583 Kg/s. Hasil respon uji step menunjukkan kalor yang dihasilkan oleh burner 2 sebesar  $3,407 \times 10^6$  J/s pada gambar 4.12. Secara keseluruhan, spesifikasi pada burner 1 sama dengan spesifikasi pada burner 2. Dalam kondisi dilapangan, *supply* bahan bakar gas pada burner 1 dan burner 2 berbeda sehingga menyebabkan kalor yang dihasilkan pada masing-masing burner juga berbeda.

#### 4.2.3 Pengujian pada *temperature transmitter*

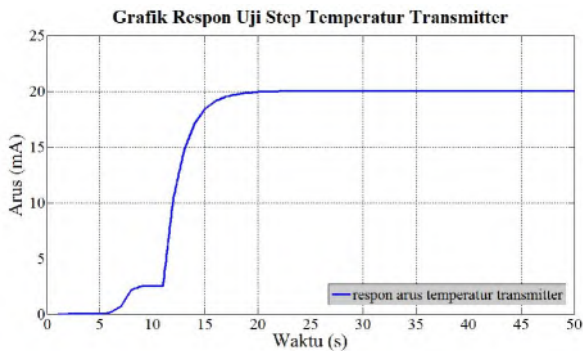
Pada simulasi sinyal uji step *temperature transmitter* ini, sinyal *input* merupakan *range* temperatur yang mampu dibaca oleh *temperature transmitter* yaitu sebesar 0-1000 °C. Dengan simulasi ini akan diperoleh keluaran arus kontrol (mA) sebagai fungsi temperatur pembacaan pada *temperature transmitter*.



**Gambar 4.13** Simulasi uji step pada *temperature transmitter*



**Gambar 4.14** Grafik uji step *temperature transmitter*



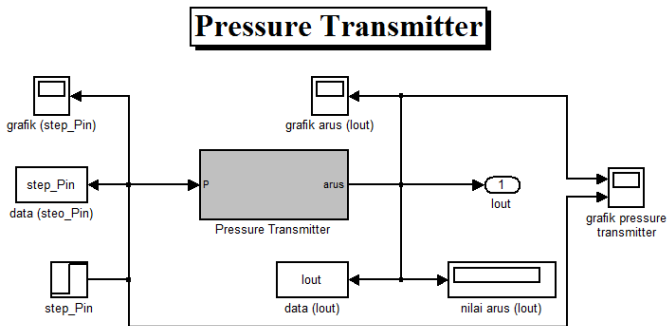
**Gambar 4.15** Grafik respon uji step *temperature transmitter*

Dari hasil simulasi uji step pada *temperature transmitter* tampak bahwa temperatur sebagai *input* uji step yang ditunjukkan pada gambar 4.14 adalah sebesar 1000 °C. Temperatur ini merupakan temperatur maksimum yang mampu dibaca oleh *temperature transmitter*. Dengan nilai uji step pada temperatur sebesar itu, maka arus yang ditransmisikan menuju kontroler sebesar 20 mA seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.15. Apabila temperatur yang dibaca oleh *temperature transmitter* 0 °C, maka sinyal arus kontrol yang ditransmisikan hanya sebesar 4 mA. Dari hubungan antara temperatur pembacaan dan arus kontrol (mA) yang dihasilkan, dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai

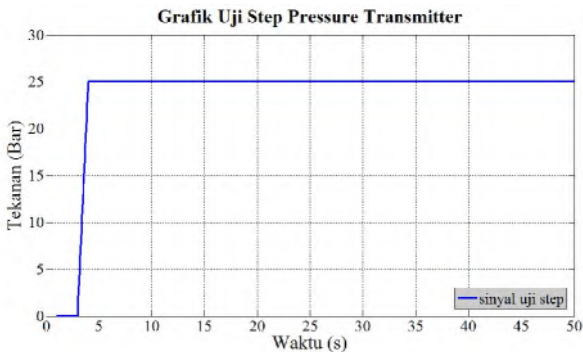
pembacaan temperatur, maka semakin besar pula arus kontrol yang mampu ditransmisikan oleh *temperature transmitter*.

#### 4.2.4 Pengujian pada *pressure transmitter*

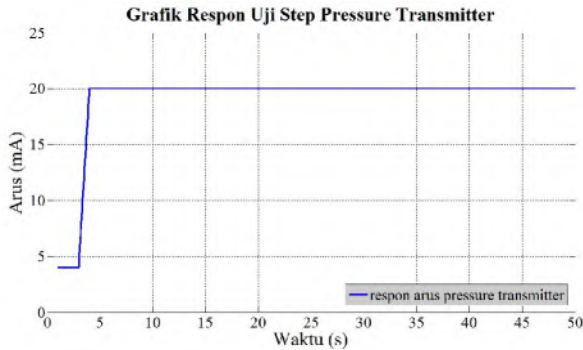
Pada simulasi sinyal uji step *pressure transmitter* ini, sinyal *input* merupakan *range* pressure (tekanan) yang mampu dibaca oleh *pressure transmitter* yaitu sebesar 0-20 Bar. Dengan simulasi ini akan diperoleh keluaran arus kontrol (mA) sebagai fungsi tekanan pembacaan pada *pressure transmitter*.



**Gambar 4.16** Simulasi uji step pada *pressure transmitter*



**Gambar 4.17** Grafik uji step *pressure transmitter*

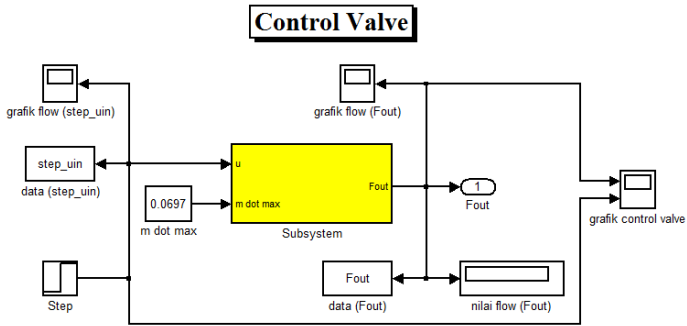


**Gambar 4.18** Grafik respon uji step *pressure transmitter*

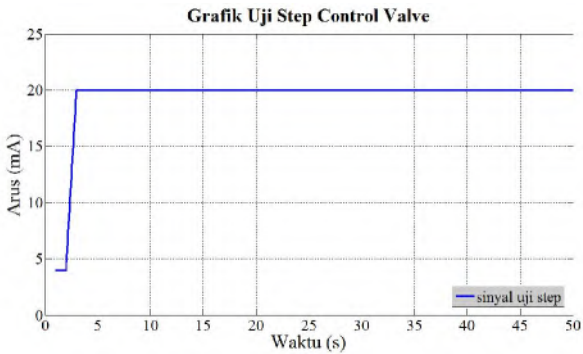
Dari hasil simulasi uji step pada *pressure transmitter* tampak bahwa tekanan sebagai *input* uji step yang ditunjukkan pada gambar 4.17 adalah sebesar 25 Bar. Tekanan ini merupakan tekanan maksimum yang mampu dibaca oleh *pressure transmitter*. Dengan nilai uji step pada tekanan sebesar itu, maka arus yang ditransmisikan menuju kontroler sebesar 20 mA seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18. Apabila tekanan yang dibaca oleh *pressure transmitter* 0 Bar, maka sinyal arus kontrol yang ditransmisikan hanya sebesar 4 mA. Dari hubungan antara tekanan pembacaan dan arus kontrol (mA) yang dihasilkan, dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai pembacaan tekanan, maka semakin besar pula arus kontrol yang mampu ditransmisikan oleh *pressure transmitter*.

#### 4.2.5 Pengujian pemodelan matematis pada *control valve*

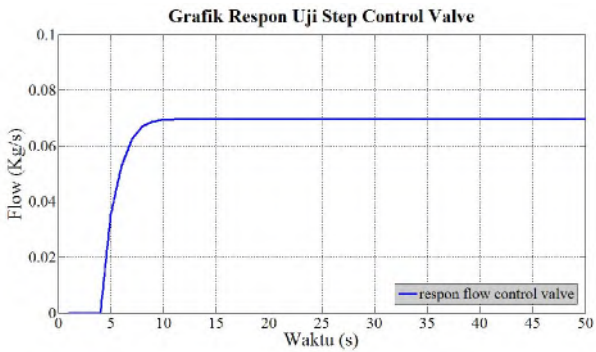
Pada simulasi uji step *control valve*, sinyal *input* direpresentasikan sebagai standar nilai *input* sinyal kontrol yaitu sebesar 4-20 mA. Adapun simulasi uji step, grafik uji step serta grafik respon dari uji step *control valve* dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 4.19** Simulasi uji step pada *control valve*



**Gambar 4.20** Grafik uji step *control valve*

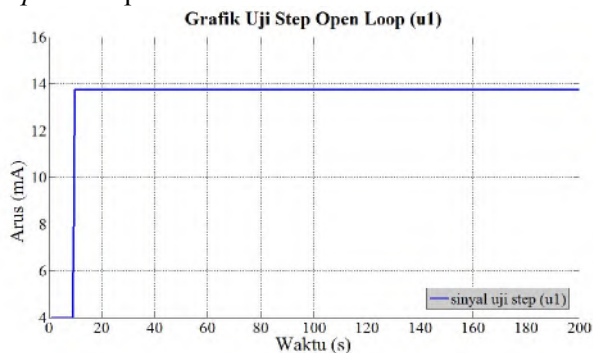


**Gambar 4.21** Grafik respon uji step *control valve*

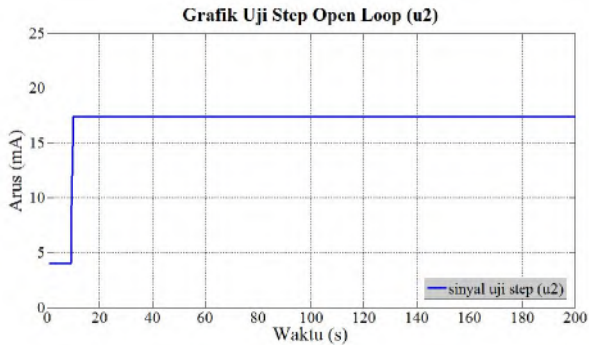
Dari grafik pada gambar 4.20 dapat dilihat sinyal uji step yang digunakan sebagai sinyal *input* untuk *control valve*. Sinyal *input* yang diberikan yaitu sebesar 20 mA, artinya *control valve* bekerja membuka penuh dengan bukaan 100%. Sedangkan bila diberikan sinyal *input* 4 mA, maka *control valve* bekerja untuk menutup penuh dengan bukaan 0%. Kemudian untuk grafik respon laju aliran (*flow*) *control valve* dari sinyal uji step dapat dilihat pada gambar 4.21 dimana dapat diamati bahwa laju bahan bakar maksimum yang keluar dari *control valve* saat bukaannya 100% adalah sebesar 0,0697 kg/s. Bentuk kurva s pada grafik respon *control valve* menunjukkan bahwa sistem orde satu.

### 4.3 Pengujian *Open loop*

Pada sub bab berikut dilakukan pengujian secara *open loop*, dimana masing-masing komponen yang telah diuji digabung menjadi satu namun dalam kondisi tanpa dikontrol. Pengujian *open loop* ini dalam kondisi sistem berjalan normal tanpa adanya perubahan data. Sebagai langkah awal, diberikan sinyal kontrol berupa *input* arus pada *control valve*.

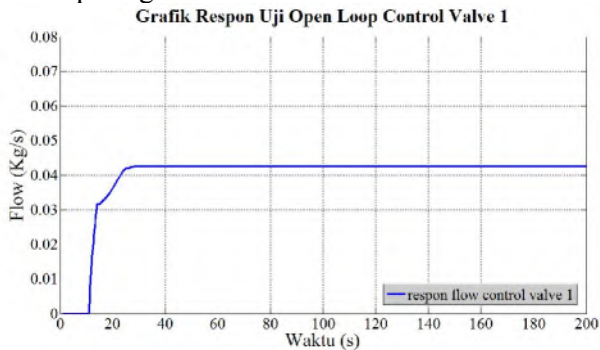


**Gambar 4.22** Grafik uji step *open loop* (u1)



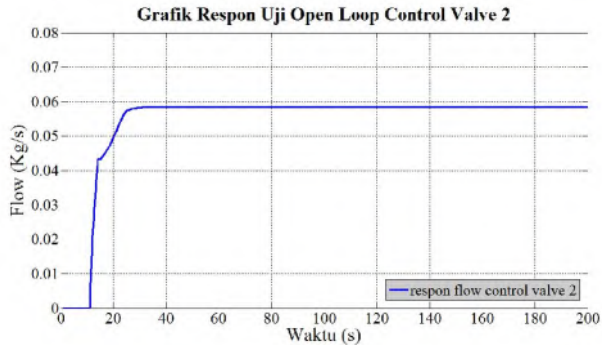
**Gambar 4.23** Grafik uji step *open loop* ( $u_2$ )

Dari kedua *input* yang diberikan pada masing-masing *control valve*, maka respon *flow* pada masing-masing *control valve* dapat dilihat pada gambar berikut.



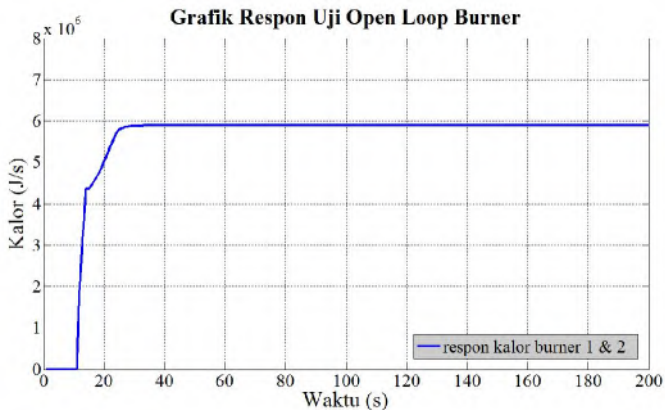
**Gambar 4.24** Grafik respon uji *open loop control valve* 1



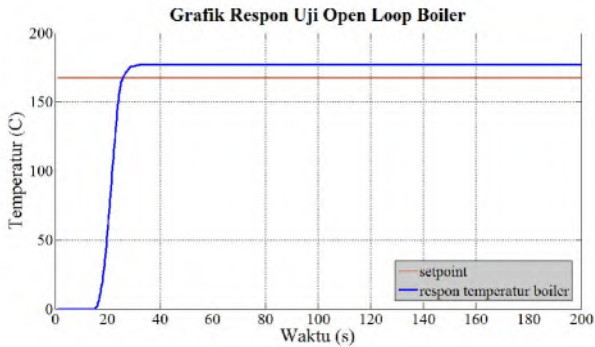


**Gambar 4.25** Grafik respon uji *open loop control valve 2*

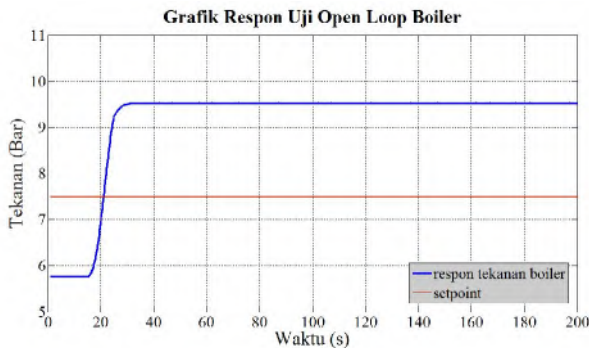
Sinyal *input 1* ( $u_1$ ) yang diberikan untuk *control valve 1* adalah sebesar 13,756 mA yang ditunjukkan pada gambar 4.22. Hal tersebut dilakukan untuk menghasilkan laju aliran bahan bakar sebesar 0,0425 Kg/s pada *control valve 1* sesuai dengan data operasional yang didapat dengan grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.24. Sedangkan untuk sinyal *input 2* ( $u_2$ ) sebesar 17,384 mA digunakan pada *control valve 2* seperti pada gambar 4.23 agar laju aliran yang keluar melewati *control valve* sebesar 0,0583 Kg/s seperti pada grafik respon *flow* pada gambar 4.25.



**Gambar 4.26** Grafik respon uji *open loop burner*



**Gambar 4.27** Grafik respon uji *open loop* boiler (temperatur)



**Gambar 4.28** Grafik respon uji *open loop* boiler (tekanan)

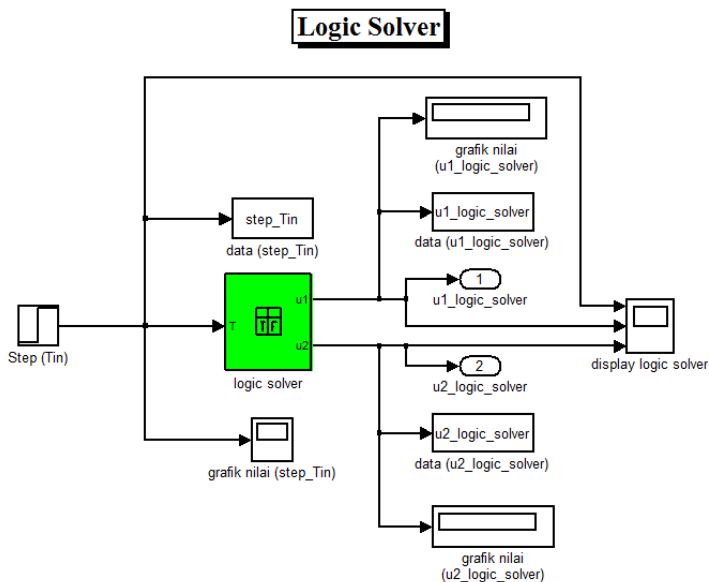
Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa grafik respon sinyal uji step baik pada *control valve*, burner maupun boiler menunjukkan hasil yang sesuai dengan perhitungan manual. Hal tersebut mengindikasikan bahwa model matematis yang telah dirancang merepresentasikan hasil yang sebenarnya. Selain itu, dari pengujian *open loop* ini tampak bahwa temperatur pada burner dan tekanan pada boiler tidak sesuai dengan *setpoint*, sehingga dapat menjadikan acuan dasar mengapa sistem ini perlu dikendalikan.

Hasil dari pengujian didapatkan, jumlah kalor yang dihasilkan pada kedua burner sebesar  $5,891 \times 10^6$  J/s. Dari jumlah kalor dari kedua burner tersebut mampu menghasilkan *steam*

dengan temperatur sebesar  $177,1^{\circ}\text{C}$  dan tekanan sebesar  $9,527$  Bar. Namun pada pengujian *open loop* ini, kedua proses variabel tidak sesuai dengan *setpoint* yang ditentukan (*setpoint* temperatur =  $167,6^{\circ}\text{C}$  dan tekanan =  $7,5$  Bar). Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem kontrol agar kedua proses variabel dapat mencapai *setpoint* yang diinginkan.

#### 4.4 Pengujian Sistem Kontrol Temperatur Berbasis *Logic solver*

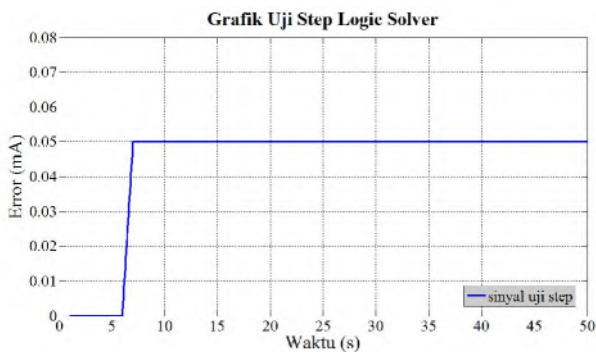
Pada pengujian sistem kontrol berbasis *logic solver* ini akan disimulasikan bagaimana kontroler ini bekerja dalam menerima *input* berupa *error*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa referensi *error* pada *logic solver* yaitu *error* temperatur. Yang dimaksud *error* temperatur disini adalah selisih antara temperatur pada boiler dengan *setpoint* yang ditentukan yaitu sebesar  $167,6^{\circ}\text{C}$ .



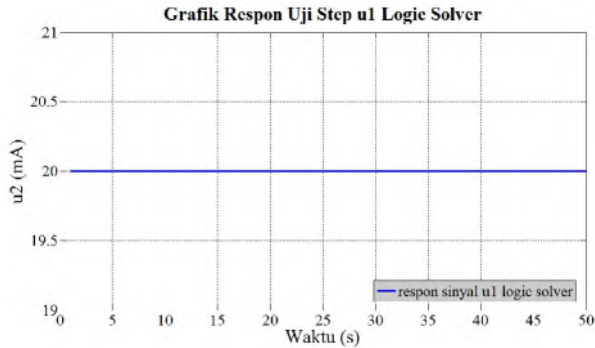
**Gambar 4.29** Simulasi uji step *logic solver*

Dapat diamati pada gambar 4.29 bahwa pengujian sistem kontrol berbasis *logic solver* disimulasikan melalui simulink dengan memberikan sinyal uji step berupa sinyal *input*. Sinyal uji step ini merupakan representasi dari sinyal *error* sebagai sinyal *input* dari *logic solver*. Dalam pengujian *logic solver* ini dilakukan empat macam kombinasi sesuai dengan algoritma, yaitu: pertama temperatur melebihi *setpoint* ( $T > 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), kedua temperatur diantara *setpoint* ( $T < 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $T > 84,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ketiga temperatur kurang dari *setpoint* ( $T < 84,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), dan terakhir temperatur sesuai dengan *setpoint* ( $T = 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

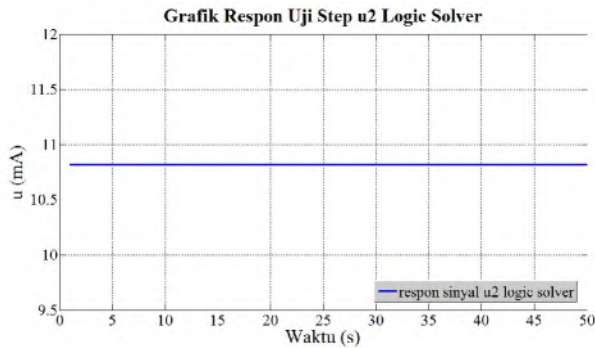
Pada sinyal uji step, diberikan nilai tertentu untuk representasi *error* dari keempat kondisi diatas dimana terdapat selisih antara proses variabel dengan *setpoint*. Namun dalam keempat kondisi ini, aksi kendali yang dilakukan sama yaitu sebesar 20 mA sinyal yang diberikan pada burner 1 sebagai *primary* burner, dan 10,816 mA pada burner 2 sebagai *secondary* burner. Adapun salah satu contoh kondisi dalam pengujian sistem kontrol berbasis *logic solver* ini dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 4.30** Grafik uji step *logic solver*



**Gambar 4.31** Grafik respon uji step u1 *logic solver*



**Gambar 4.32** Grafik respon uji step u2 *logic solver*

Dari hasil simulasi tampak bahwa *input* error dari referensi temperatur sebesar 0,05 mA. Dengan nilai *input* error sebesar itu memberikan sinyal u1 sebesar 20 mA dan u2 sebesar 10,816 mA. Hal ini mengindikasikan bahwa algoritma yang dibuat sesuai dengan hasil simulasi yang telah dilakukan. Seperti yang telah dijelaskan diawal bahwa terdapat empat kombinasi dasar dalam menyusun algoritma sistem kontrol berbasis *logic solver* ini. Hasil dari keempat simulasi dapat dilihat melalui tabel berikut.

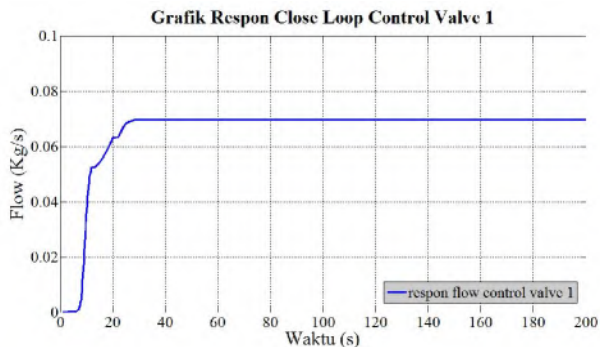
**Tabel 4.3** Hasil simulasi uji *step logic solver*

No	Sinyal Step	Sinyal u (mA)	
	Temperatur	u1	u2
1	$T > 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$	20	10,816
2	$T < 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $T > 84,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$	20	10,816
3	$T < 84,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$	20	10,816
4	$T = 167,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$	20	10,816

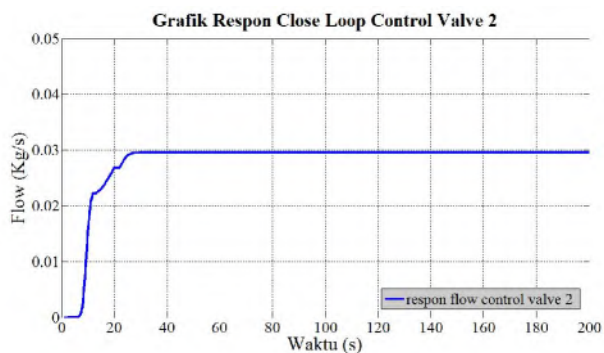
Pada tabel, tampak bahwa untuk temperatur sebagai referensi, sinyal u1 dan u2 yang keluar dari *logic solver* adalah senilai 20 mA dan 10,816 mA. Maksudnya, *output* u1 sebesar 20 mA ini digunakan untuk membuka penuh *control valve* dengan bukaan 100 % sehingga laju aliran yang menuju burner 1 dapat berjalan dengan maksimum sebagai *primary* burner. Sedangkan *output* u2 sebesar 10,816 ini digunakan sebagai *supply* tambahan bahan bakar gas menuju burner 2 agar diperoleh produk *steam* dengan temperatur yang sesuai yang diinginkan.

#### 4.5 Pengujian *Close Loop*

Setelah dilakukan pengujian secara *open loop*, kemudian dilakukan simulasi dengan menggunakan sistem kontrol berbasis *logic solver* sebagai referensi temperatur *steam* dan kontroler PI sebagai referensi tekanan *steam*. Hasil dari simulasi ini dapat memperlihatkan perbedaan respon sistem sebelum dikontrol dan sesudah dikontrol. Pada hasil uji *close loop* ini akan diperoleh respon untuk masing-masing *plant* yang menggambarkan performa seperti pada gambar berikut.

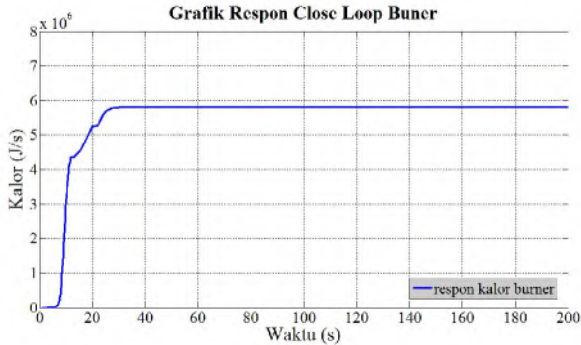


**Grafik 4.33** Grafik respon *close loop* pada *control valve 1*



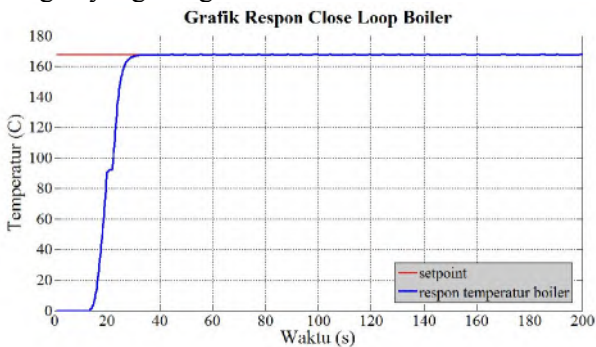
**Grafik 4.34** Grafik respon *close loop* pada *control valve 2*

Tampak melalui hasil simulasi *close loop* dengan kontroler berbasis *logic solver*, dengan memanipulasi laju aliran bahan bakar gas didapatkan respon *control valve 1* pada gambar 4.33 menunjukkan nilai keluaran *flow* bahan bakar gas sebesar 0,0697 Kg/s atau setara dengan 100 % bukaan *control valve* maksimum yang menuju burner 1 sebagai *primary burner*. Sedangkan untuk *control valve 2* menunjukkan nilai keluaran *flow* bahan bakar gas sebesar 0,02969 Kg/s atau setara dengan 42,6 % bukaan *control valve 2* sebagai *secondary burner*.



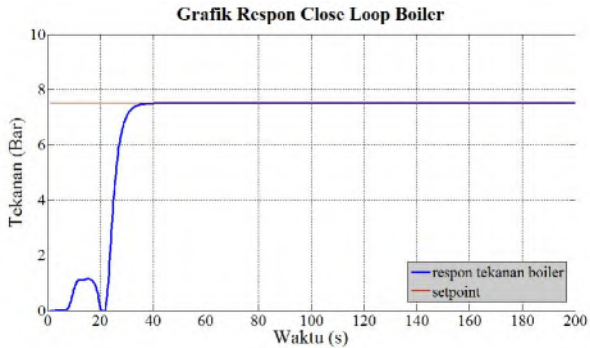
**Grafik 4.35** Grafik respon *close loop* pada burner

Dari hasil simulasi *close loop*, diperoleh grafik respon burner pada gambar 4.35. Injeksi bahan bakar gas sebesar 0,0697 Kg/s oleh *control valve* 1 dan 0,02969 Kg/s oleh *control valve* 2 memberikan kontribusi pada kedua burner untuk menghasilkan jumlah kalor sebesar  $5,809 \times 10^6$  J/s. Kalor tersebut nantinya digunakan untuk memanaskan air untuk memperoleh produk *steam* sesuai dengan yang diinginkan.



**Grafik 4.36** Grafik respon *close loop* pada boiler (temperatur)





**Grafik 4.37** Grafik respon *close loop* pada boiler (tekanan)

Dari simulasi *close loop*, penggunaan sistem kontrol berbasis *logic solver* dengan temperatur sebagai referensi diperoleh karakteristik respon sebagai berikut.

<i>maximum overshoot</i>	= -
<i>settling time</i> (ts)	= 9,8825 s
<i>peak time</i> (tp)	= -
<i>error steady state</i> (ess)	= 0,06213 %
<i>rise time</i> (tr)	= 4,0233 s

Dari simulasi *close loop*, pada gambar tampak bahwa *logic solver* tidak mengalami *maximum overshoot*, hal ini dikarenakan *logic solver* hanya mengeluarkan sinyal kontrol (u) tertentu untuk merespon *error* pada proses variabel. Dengan mengambil temperatur sebagai referensi, artinya adalah *logic solver* memprioritaskan proses variabel temperatur yang harus dicapai *setpoint*-nya. Dapat dilihat pada gambar 4.36 bahwa respon proses variabel temperatur dapat mencapai *setpoint* yang diinginkan yaitu sebesar 167,6 °C. Kemudian untuk grafik respon dapat diamati bahwa *logic solver* membutuhkan waktu 9,8825 s untuk mencapai *settling time* dengan *error steady state* sebesar 0,06213 % dan 4,0233 s untuk mencapai *rise time*.

Sedangkan sistem kontrol berbasis kontroler PI dengan tekanan sebagai referensi diperoleh karakteristik respon sebagai berikut.

<i>maximum overshoot</i>	= -
<i>settling time</i> (ts)	= 13,6052 s
<i>peak time</i> (tp)	= -
<i>error steady state</i> (ess)	= 0,1998 %
<i>rise time</i> (tr)	= 9,5051 s

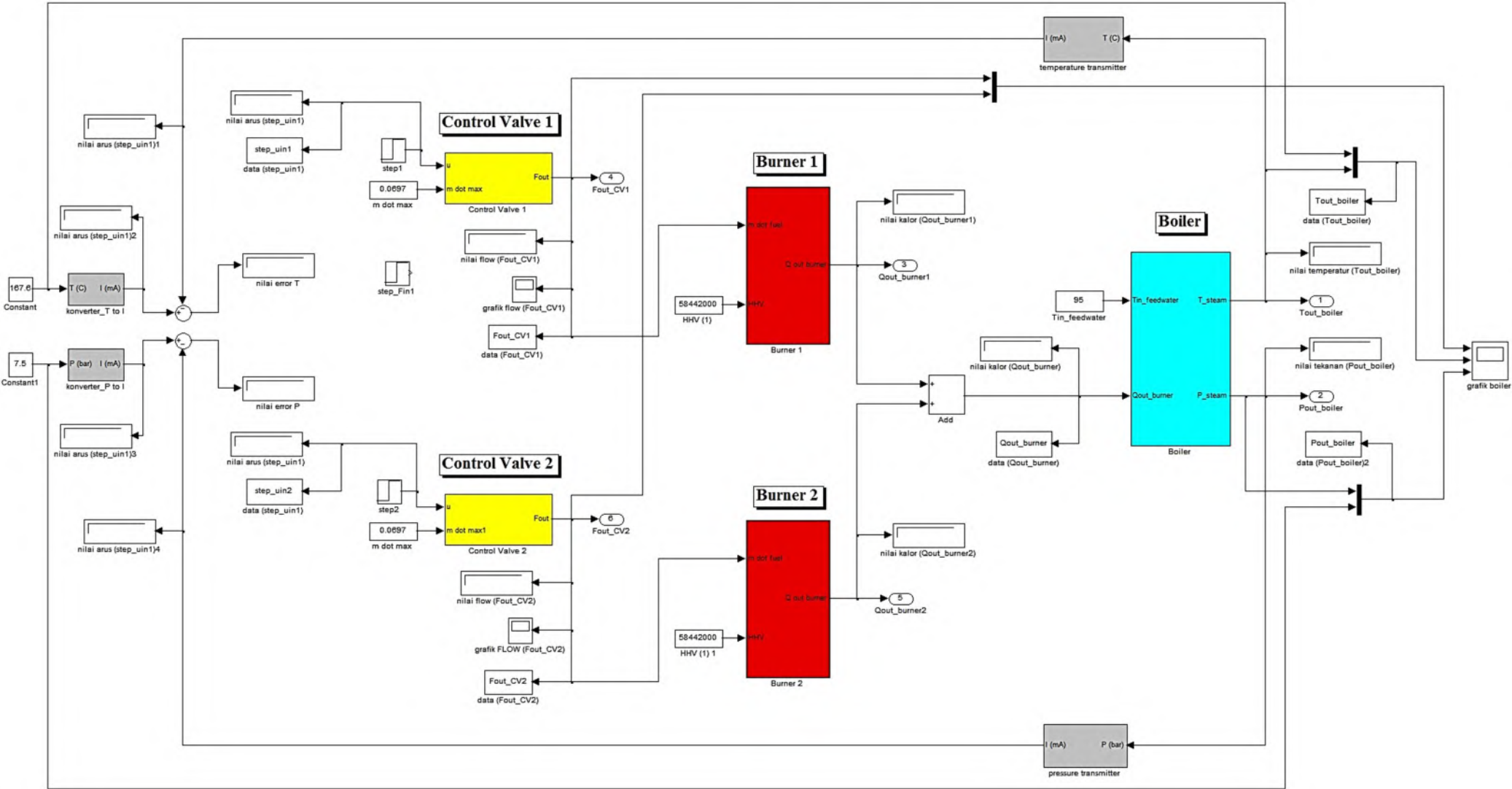
Penggunaan sistem kontrol berbasis kontroler PI ini dapat membuktikan bahwa kontroler dapat mengakomodasi proses variabel tekanan *steam* pada boiler. Walaupun pada awalnya terdapat osilasi yang kecil dan tidak berdampak signifikan, kontroler ini dapat membantu sistem untuk mencapai *setpoint* yang diinginkan yaitu sebesar 7,5 Bar. Kemudian dari grafik respon dapat diamati bahwa *logic solver* membutuhkan waktu 13,6052 s untuk mencapai *settling time* dengan *error steady state* sebesar 0,1998 % dan 9,5051 s untuk mencapai *rise time*.

Tujuan utama dari perancangan sistem sistem kontrol pada dua burner yang dioperasikan secara paralel ini adalah bagaimana sistem kontrol ini mampu mengendalikan variabel temperatur *steam* dan tekanan *steam* sehingga diperoleh respon sistem yang mampu mencapai *setpoint* yang ditentukan.

LAMPIRAN A

SIMULASI *OPEN LOOP* PADA SIMULINK MATLAB

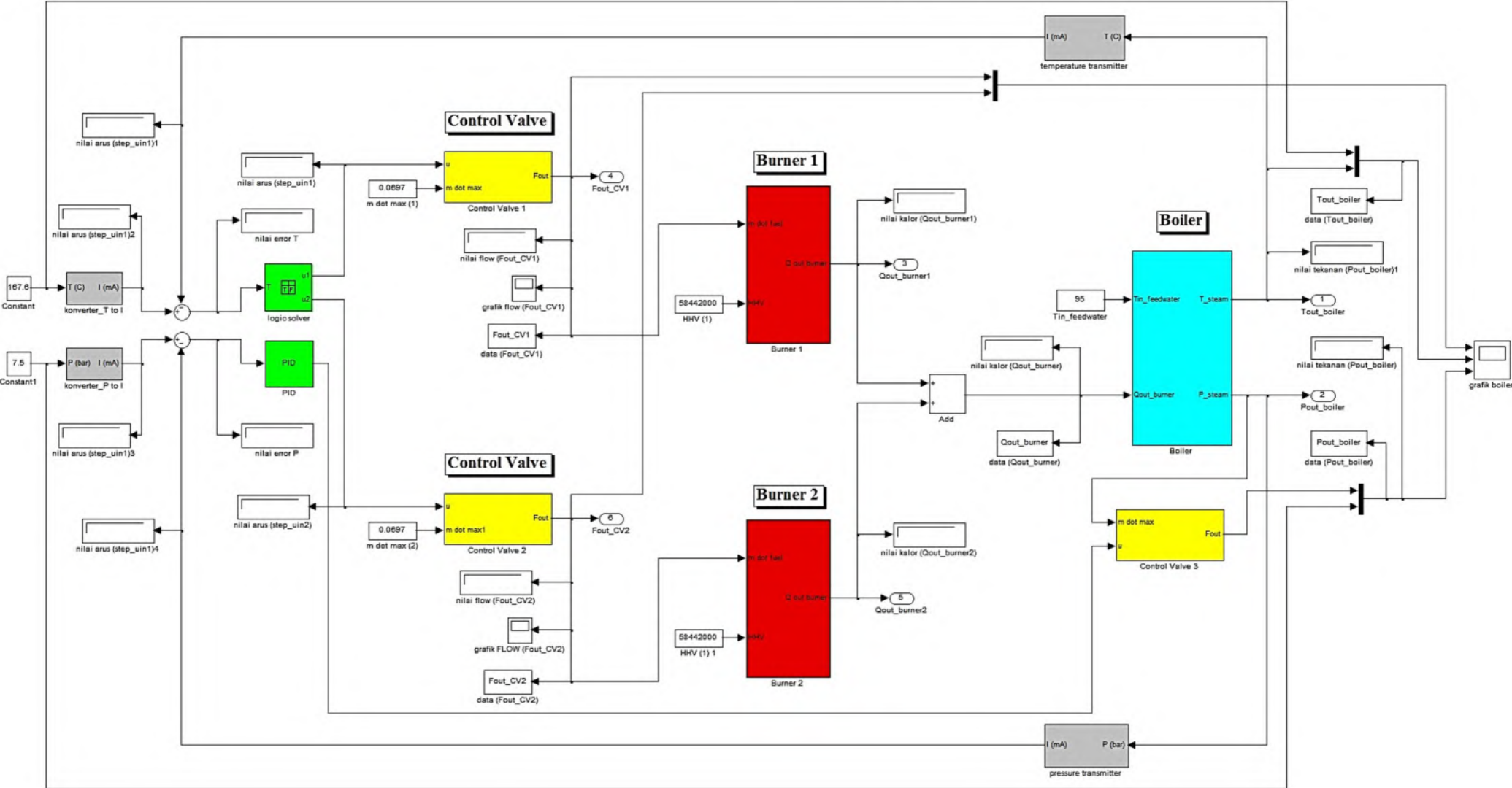
**OPEN LOOP**



LAMPIRAN B

SIMULASI *CLOSE LOOP* PADA SIMULINK MATLAB

**CLOSE LOOP**



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja dari masing-masing burner masih belum bisa beroperasi dengan baik. Hal tersebut dapat dibuktikan bahwa metode pengoperasiannya tidak sesuai dengan yang seharusnya (*primary secondary*). Selain itu, terdapat perbedaan *supply* bahan bakar gas pada masing-masing burner sehingga operator mengaturnya dengan cara manual. Hal tersebut dapat mempengaruhi rasio antara laju aliran udara dan bahan bakar pada proses pembakaran.
2. Perancangan sistem kontrol dilakukan dengan tujuan memonitoring proses variabel yang nantinya digunakan untuk untuk mengendalikan *plant*. Kontroler berbasis *logic solver* bekerja berdasarkan perintah sebab-akibat yang berfungsi sebagai pasangan aksi-kondisi dari sebuah proses melalui *database* pada *truth table* (tabel kebenaran). Sedangkan kontroler PI dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* dengan mengacu pada karakteristik dari masing-masing kontrol.
3. Hasil perancangan sistem kontrol mampu mengoperasikan dua burner yang dioperasikan secara paralel sebagaimana mestinya dengan sistem *primary and secondary* serta dapat mengakomodasi kondisi proses variabel untuk mencapai *setpoint* yang ditentukan dengan karakteristik respon sebagai berikut. Untuk sistem kontrol berbasis *logic solver* didapatkan: *settling time* ( $t_s$ ) = 9,8825 s, *error steady state* ( $ess$ ) = 0,06213 %, dan *rise time* = 4,0233 s. Sedangkan untuk kontroler PI didapatkan: *settling time* ( $t_s$ ) = 13,6052 s, *error steady state* ( $ess$ ) = 0,1998 %, dan *rise time* = 9,5051 s.

## **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diberikan saran bahwa sebaiknya untuk kontroler PI dilakukan dengan menggunakan perhitungan model matematis sebagai pendekatan sehingga tidak memerlukan waktu yang lama untuk mencari nilai konstanta dari proportional dan integral. Selain itu, dengan menggunakan model matematis dapat membantu melihat tanggapan proses berbagai kombinasi parameter dengan variasi masukan yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, Frank P., David P. Dewitt. 1995. **Fundamental of Heat and Mass Transfer**, Second Edition. John Wiley & Sons Inc.
- [2] M.J. Moran and HN Shapiro. 2006. **Fundamental of Engineering Thermodynamics**. Edisi 5, John Wiley & Sons inc.
- [3] Ogata, Katsuhiko; 1997. **Teknik Kontrol Automatik**. Erlangga; Jakarta.
- [4] Gunterus, Frans. 1994. **Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses**. Elex Media Komputindo; Jakarta.
- [5] Soehartanto, Totok. 2015. **Kajian Utilisasi Gas Peralatan PT. Petrocentral**. Teknik Fisika- FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Sudiono, Kodar. 2009. **Perancangan Sistem Kontrol dan Optimasi Rasio Udara dan Bahan Bakar Pada Boiler di PT. Petrokimia Gresik Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan dan Algoritma Genetika**. Teknik Fisika - FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Akbar Wicaksono, Amri. 2010. **Perancangan Sistem Pengendalian Pembakaran Pada Duct Burner Wate Heat Boiler (WHB) berbasis Logic Solver**. Teknik Fisika - FTI, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Suhaila. No. 2013. **Introduction to Boiler Control System**. <http://www.slideshare.net/nosuhaila/introduction-to-boiler-control-systems>. [online] Diakses pada tanggal 26 Mei 2016.
- [9] Anonim. 2016. **Teknik Pengaturan Otomatis**, <https://masdodod.files.wordpress.com/2009/03/bab-12-teknik-pengaturan-otomts.pdf>. [online] Diakses pada tanggal 26 Mei 2016.
- [10] Help MATLAB Simulink R2011a, **Programming a Truth Table**.

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Sidoarjo, pada tanggal 13 Oktober 1992. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Candipari II, SMPN 1 Porong, dan SMAN 3 Pasuruan. Kemudian penulis melanjutkan studi di Program Studi D3 Metrologi dan Instrumentasi, Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya pada tahun 2011. Selanjutnya penulis melanjutkan program S1 Lintas Jalur di Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS Surabaya pada tahun 2014. Bidang minat yang diambil adalah instrumentasi dan kontrol.

Dengan ketekunan dan semangat yang tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis akhirnya berhasil menyelesaikan pengerjaan tugas akhir. Semoga dengan pengerjaan tugas akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia pendidikan serta pengembangan untuk penelitian selanjutnya.

Email : [vebby.arga@gmail.com](mailto:vebby.arga@gmail.com)