

**Perancangan dan Pembuatan Kalorimeter Aliran
(*Flow Calorimeter*) dengan Saluran Gas Pembakaran Berbentuk
Banyak Silinder**

***Design and Manufacturing of Flow Calorimeter with Combustion
Gas Channels Shaped Many Cylinders***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat
Strata-1 Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta**



**Disusun oleh :
ICHWANO RAHARDI
20130130284**

**PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2017**

PERNYATAAN

Dengan ini saya,

Nama : Ichwano Rahardi
Nomor Mahasiswa : 20130130284

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi saya ini adalah asli hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 29 Agustus 2017

Ichwano Rahardi

MOTTO



“Barang siapa bertawakkal pada Allah, maka Allah akan memberikan kecukupan padanya, sesungguhnya Allah lah yang akan melaksanakan urusan (yang dikehendaki)-Nya” (*QS. Ath-Thalaq: 3*)

"Kecerdasan emosi adalah kemampuan merasakan, memahami, dan menerapkan daya kepekaan emosi sebagai sumber energi, informasi, koneksi, dan pengaruh yang manusiawi" (*Robert K. Cooper*)

"Banyak kegagalan dalam hidup ini dikarenakan orang-orang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan keberhasilan saat mereka menyerah" (*Thomas Alva Edison*)

“Setiap perbuatan memiliki konsekuensi dan pertanggung jawaban.
Setiap kebaikan pasti memiliki suatu balasan yang baik.
You will get what you give in this life and the next..”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, sujud syukurku pada-Mu Allah SWT yang senantiasa memberikan kebahagiaan dan kemudahan bagi setiap hamba-Nya yang bersyukur dan berusaha. Petunjuk dan bimbingan-Mu selama hamba menuntut ilmu di Yogyakarta, kota yang begitu jauh dari kampung halaman hamba ini berbuah karya yang hamba persembahkan kepada :

1. Allah SWT dan Rasul-Nya yang memberikan petunjuk jalan dari gelap menuju terang. Terimakasih yaa Allah, tanpa ridho-Mu hamba takkan mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Hamba memohon ampun dan sujud syukur kepada-Mu.
2. Mama dan papa yang selalu memberikan kasih sayang dan do'a tanpa henti. Terimakasih selalu membimbingku dengan penuh kesabaran. Pengorbanan mama dan papa sungguh tak ternilai dan takkan pernah bisa kulupakan.
3. Abang dan adik-adikku yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menuntut ilmu jauh dari kampung halaman. Terimakasih saudara-saudaraku.
4. Semua keluarga besar yang selalu memberikan do'a dan dukungan.
5. Monica Suciagam Safei, S.P. yang selalu menemani, memberikan semangat, dukungan dan do'a tanpa kenal lelah. Terimakasih untuk semua kebaikanmu padaku.
6. Teman-teman yang selalu banyak membantu dan memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini. Terimakasih teman.
7. Almamater Fakultas Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
8. Semua pihak yang belum dapat disebutkan satu persatu. Saya ucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya.

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum wr.wb.

Alhamdulillahirabil'alamin, Segala puji bagi Allah SWT Yang Menguassi segala sesuatu, Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir yang berjudul "**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN KALORIMETER ALIRAN (FLOW CALORIMETER) DENGAN SALURAN GAS PEMBAKARAN BERBENTUK BANYAK SILINDER**" ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dan kerja sama dari berbagai pihak selama proses penyusunan tugas akhir ini. Secara khusus penulis ucapan terimakasih kepada :

1. Bapak Novi Caroko, S.T.,M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Tito Hadji Agung S, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penyusunan tugas akhir.
3. Bapak Thoharudin, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama penyusunan tugas akhir.

4. Bapak Cahyo Budiyantoro, S.T.,M.Sc., selaku Dosen Pengaji yang telah memberikan masukan, koreksi dan saran yang sangat membangun dan bermanfaat bagi penulis.
5. Staf pengajar, Laboran dan Tata Usaha Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
6. Kedua orang tua dan semua keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan agar Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Teman-teman Teknik Mesin yang selalu memberikan bantuan dan semangat selama pengerjaan tugas akhir.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan. Penulis membuka diri untuk menerima kritik dan saran yang bersifat membangun untuk hasil yang lebih baik. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis.

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Yogyakarta, Agustus 2017
Penyusun

Ichwano Rahardi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN	iii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
INTISARI	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Perancangan	2
1.5 Manfaat Perancangan	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Landasan Teori	5
2.2.1 Sifat Termal Zat	5
2.2.2 Alat Uji Kalorimeter	6
2.2.3 Modus Perpindahan Kalor	7
2.2.4 Proses dan Reaksi Pembakaran	10
2.2.5 Entalpi Pembakaran, Entalpi Reaksi dan Entalpi Pembentukan ..	13
2.2.6 Temperatur Nyala Adiabatik	14
2.2.7 Nilai Kalor (<i>Heating Value</i>)	16

2.2.8 Nilai Kalor LPG secara Teoritis	17
BAB III METODE PERANCANGAN DAN PEMBUATAN	20
3.1 Prosedur Perancangan dan Pembuatan	20
3.2 Waktu dan Tempat Perancangan dan Pembuatan	21
3.3 Alat dan Bahan Perancangan dan Pembuatan	21
3.3.1 Alat Perancangan	21
3.3.2 Alat dan Bahan Pembuatan	24
3.4 Diagram Air	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1 Hasil Perancangan	36
4.1.1 Gambar Rakitan (<i>Assembly</i>)	36
4.1.2 Gambar Kerja (<i>Drarwing</i>)	43
4.1.3 Sketsa Kalorimeter Aliran	53
4.2 Fabrikasi dan Perakitan	54
4.2.1 Fabrikasi Tabung Kalorimeter Aliran	54
4.2.2 Fabrikasi Meja	55
4.2.3 Perakitan	55
4.2.4 Hasil Fabrikasi dan Perakitan	56
4.3 Kalibrasi <i>Termocouple</i>	58
4.4 Pengujian Kalorimeter Aliran	64
4.4.1 Hasil Pengujian Kalorimeter Aliran Baru	65
4.4.2 Hasil Pengujian Kalorimeter Aliran Lama	68
4.4.3 Perbandingan Hasil Pengujian	71
4.5 Perhitungan Nilai kalor LPG secara Eksperimental	73
4.5.1 Perhitungan Kalorimeter Baru dan Kalorimeter Lama	75
4.6 Perbandingan Hasil Eksperimental, Teoritis dan Literatur.....	77
4.7 Efisiensi Kalorimeter Aliran Baru	79
BAB V PENUTUP	80
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82

LAMPIRAN 84

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Entalpi pembakaran pada 25°C, 1 atm	14
Tabel 3.1 Spesifikasi notebook Asus tipe X450J	22
Tabel 3.2 Komposisi Stainless Steel tipe 316	24
Tabel 4.1 Data pengamatan kalibrasi <i>termocouple</i>	60
Tabel 4.2 Pengamatan uji kalorimeter aliran (<i>flow calorimeter</i>)	65
Tabel 4.3 Data pengamatan uji kalorimeter aliran baru	66
Tabel 4.4 Data pengamatan uji kalorimeter aliran lama	69
Tabel 4.5 Massa (\dot{m}) komponen-komponen pengujian kalorimeter	75
Tabel 4.6 Suhu (°C) setiap <i>termocouple</i> pada pengujian menit ke-60	75
Tabel 4.7 Kalor jenis (Cp) komponen-komponen pengujian kalorimeter	76
Tabel 4.8 Hasil perhitungan nilai kalor kalorimeter aliran	76
Tabel 4.9 Spesifikasi nilai kalor bahan bakar gas LPG	77
Tabel 4.10 Perbandingan nilai kalor bahan bakar gas LPG	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Flow calorimeter</i>	6
Gambar 2.2 <i>Bomb calorimeter</i>	7
Gambar 2.3 Skema modus perpindahan kalor	10
Gambar 2.4 Skema proses pembakaran	13
Gambar 2.5 Skema sistem pembakaran adiabatik	15
Gambar 3.1 Notebook Asus tipe X-450J	22
Gambar 3.2 <i>Software Autodesk Inventor 2016</i>	23
Gambar 3.3 Plat stainless steel tipe 316	24
Gambar 3.4 Besi plat	25
Gambar 3.5 <i>Burner</i>	26
Gambar 3.6 Regulator	26
Gambar 3.7 Tabung gas LPG 3 kg	27
Gambar 3.8 Selang gas	27
Gambar 3.9 Selang air	28
Gambar 3.10 Aluminium foil	28
Gambar 3.11 <i>Termocouple</i> tipe-K	29
Gambar 3.12 <i>Termo reader</i>	29
Gambar 3.13 <i>Flow meter</i>	30
Gambar 3.14 <i>Force meter</i>	30
Gambar 3.15 <i>Stopwatch</i>	31
Gambar 3.16 <i>Clamp</i>	31
Gambar 3.17 Termometer air	32
Gambar 3.18 Lem plastic steel	32
Gambar 3.19 Lem fox	33
Gambar 3.20 <i>Seal tape</i>	33
Gambar 3.21 Kunci-kunci bengkel	34
Gambar 3.22 Pematik api	34
Gambar 3.23 Diagram alir perancangan dan pembuatan kalorimeter aliran	35
Gambar 4.1 <i>Assembly</i> 3D kalorimeter aliran	36

Gambar 4.2 Komponen-komponen kalorimeter aliran baru	37
Gambar 4.3 Dimensi kalorimeter aliran	38
Gambar 4.4 Desain tabung kalorimeter	39
Gambar 4.5 Desain meja	40
Gambar 4.6 Desain <i>burner</i>	40
Gambar 4.7 Desain tabung gas LPG dan regulator	41
Gambar 4.8 Desain <i>termo reader</i> dan <i>termocouple</i>	42
Gambar 4.9 Desain <i>flow meter</i> dan selang air	42
Gambar 4.10 <i>Drawing assembly</i> tabung kalorimeter aliran baru	44
Gambar 4.11 <i>Drawing part 1</i> tabung kalorimeter	45
Gambar 4.12 <i>Drawing part 2</i> tabung kalorimeter	46
Gambar 4.13 <i>Drawing part 3</i> tabung kalorimeter.....	47
Gambar 4.14 <i>Drawing</i> meja kalorimeter aliran baru	48
Gambar 4.15 <i>Drawing assembly</i> tabung kalorimeter aliran lama	49
Gambar 4.16 <i>Drawing</i> meja kalorimeter aliran lama	50
Gambar 4.17 Komponen-komponen kalorimeter aliran lama	51
Gambar 4.18 Kalorimeter aliran lama	52
Gambar 4.19 Sketsa kalorimeter aliran baru	53
Gambar 4.20 Tabung kalorimeter aliran	54
Gambar 4.21 Meja	55
Gambar 4.22 Kalorimeter aliran baru	57
Gambar 4.23 Proses kalibrasi <i>termocouple</i>	58
Gambar 4.24 Grafik hasil <i>termocouple</i> T_1 terhadap termometer air (T_{st})	61
Gambar 4.25 Grafik hasil <i>termocouple</i> T_2 terhadap termometer air (T_{st})	62
Gambar 4.26 Grafik hasil <i>termocouple</i> T_3 terhadap termometer air (T_{st})	63
Gambar 4.27 Grafik hasil <i>termocouple</i> T_4 terhadap termometer air (T_{st})	64
Gambar 4.28 Grafik massa LPG kalorimeter aliran baru terhadap waktu	67
Gambar 4.29 Grafik suhu gas keluar alat kalorimeter baru terhadap waktu	68
Gambar 4.30 Grafik massa LPG kalorimeter aliran lama terhadap waktu	70
Gambar 4.31 Grafik suhu gas keluar alat kalorimeter lama terhadap waktu	71
Gambar 4.32 Grafik perbandingan suhu gas keluar (T_4) kalorimeter	72

Gambar 4.33 Skema aliran energi sistem kalorimeter	73
Gambar 4.34 Grafik perbandingan nilai kalor	78

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Tabel A-1 *Properties Tables and Charts (SI units) Appendix 1*
- Lampiran 2. Tabel A-2a *Properties Tables and Charts (SI units) Appendix 1*
- Lampiran 3. Tabel A-2b *Properties Tables and Charts (SI units) Appendix 1*
- Lampiran 4. Tabel A-2c *Properties Tables and Charts (SI units) Appendix 1*
- Lampiran 5. Tabel A-3a *Properties Tables and Charts (SI units) Appendix 1*
- Lampiran 6. Tabel A-26 *Properties Tables and Charts (SI units) Appendix 2*
- Lampiran 7. Spesifikasi stainless steel tipe 316 (*aksteel, 2009*)
- Lampiran 8. Perhitungan kalorimeter aliran baru dan kalorimeter aliran lama
- Lampiran 9. *Drawing assembly* tabung kalorimeter aliran baru (A3)
- Lampiran 10. *Drawing part 1* tabung kalorimeter aliran baru (A3)
- Lampiran 11. *Drawing part 2* tabung kalorimeter aliran baru (A3)
- Lampiran 12. *Drawing part 3* tabung kalorimeter aliran baru (A3)
- Lampiran 13. *Drawing meja* kalorimeter aliran baru (A3)

DAFTAR LAMBANG, NOTASI DAN SINGKATAN

AFR	: <i>Air Fuel Ratio</i> aktual
AFR _{st}	: <i>Air Fuel Ratio</i> stoikiometris
m_{udara}	: Massa udara
m_{bb}	: Massa bahan bakar
ϕ	: <i>Equivalence ratio</i>
HV	: <i>Heating value</i>
HHV	: <i>Highest heating value</i>
LHV	: <i>Lowest heating value</i>
$H_{P,gas}$: Kalor produk gas
$H_{P,liquid}$: Kalor produk cair
H_R	: Kalor reaksi
LPG	: <i>Liquid Petroleum Gas</i>
h_f°	: Entalpi pembentukan
Mr	: Massa molar
T ₁	: <i>Termocouple 1</i> (air masuk)
T ₂	: <i>Termocouple 2</i> (air keluar)
T ₃	: <i>Termocouple 3</i> (gas masuk)
T ₄	: <i>Termocouple 4</i> (gas keluar)
T _{st1}	: <i>Termocouple 1</i> (air masuk) terkalibrasi
T _{st2}	: <i>Termocouple 2</i> (air keluar) terkalibrasi
T _{st3}	: <i>Termocouple 3</i> (gas masuk) terkalibrasi
T _{st4}	: <i>Termocouple 4</i> (gas keluar) terkalibrasi
LPM	: Liter per menit
R ²	: Regresi
$\sum \dot{E}_{in}$: Energi masuk
$\sum \dot{E}_{out}$: Energi keluar
\dot{m}	: Massa
Cp	: Kalor jenis
$\eta_{flow\ calorimeter}$: Efisiensi kalorimeter aliran