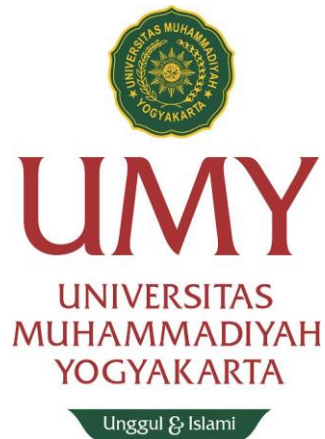


**TUGAS AKHIR**

**PENENTUAN NILAI KALOR EKSPERIMENTAL LPG DAN  
EFISIENSI KALORIMETER ALIRAN DENGAN VARIASI  
UDARA BERLEBIH PADA DEBIT LPG 0,6 LPM**

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



**Disusun Oleh :**

**HARDHANY FAIZ IKHSAN**

**20170130061**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA**

**2021**

## HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir yang saya buat adalah murni hasil karya saya sendiri dan tidak terdapat karya tulis ilmiah yang sudah pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di Perguruan Tinggi dan sepanjang riset saya juga tidak terdapat karya yang sudah ditulis maupun yang dipublikasikan oleh orang lain, kecuali pada penulisan telah disebutkan sumbernya dalam naskah dan daftar pustaka.

Yogyakarta, 7 Januari 2022



Hardhany Faiz Ikhsan

## HALAMAN PERSEMBAHAN



Dengan mengucapkan Alhamdulillahillobbil'alamain, puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat-Nya dan atas dukungan dan doa dari orang-orang tercinta sehingga penulis bisa tetap tegar untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu dengan rasa bahagia dan bangga penulis haturkan terimakasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Kedua orang tua, bapak Suharmanto dan ibu Margiyarni yang selalu berdoa dan memberikan dukungan dalam segala hal apapun. Dalam hal ini penulis hanya dapat mendoakan semoga bapak dan ibu senantiasa diberikan kesehatan dan dibalas oleh Allah atas semua kebaikan, pengorbanan yang telah dilakukan bapak dan ibu, Aamiin.
2. Terimakasih kepada Tito Hadji Agung Santosa, S.T., M.T. dan Dr. Muhammad Nadjib, S.T., M.Eng. yang telah menjadi pembimbing dan mengajari banyak hal sehingga dapat menyelesaikan naskah ini sesuai yang diharapkan.
3. Bapak ibu dosen dan staf serta laboran Program Studi S1 Teknik Mesin yang telah memberikan banyak pengalaman dan bantuan kepada penulis selama berada di lingkungan Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
4. Teman-teman satu kelas (Trah MB) yang selalu membantu selama masa perkuliahan dan telah memberikan suasana baru selama 4 tahun bersama - sama. Semoga kebaikan kalian dibalas oleh Allah S.W.T.
5. Teman-teman seluruh angkatan 2017 yang berjuang bersama semasa perkuliahan.

6. Teman-teman satu kelompok Tugas Akhir Kalorimeter Aliran, mas Fikri, mas Tayuh, dan mas Sagara yang telah membantu selama pengambilan data, pengolahan data, dan penulisan. Semoga semua yang telah dilakukan mendapatkan balasan yang setimpal oleh Allah S.W.T.
7. Teman-teman pengurus HMM yang telah memberi pengalaman dan tambahan ilmu untuk bekal yang akan datang. Terimakasih atas ilmunya yang didapat, semoga kedepannya lebih baik.
8. Teman-teman pengurus Workshop HMM yang telah memberi hidup menjadi berwarna dan telah memberi pengalaman. Terimakasih atas pengalaman yang didapat, semoga kedepannya lebih baik.
9. Teruntuk semua orang yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu terimakasih sebesar-besarnya karena telah menjadi guru dalam kehidupan.

Yogyakarta, 7 Januari 2022



Hardhany Faiz Ikhsan

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kenikmatan serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“Penentuan Nilai Kalor Eksperimental LPG dan Efisiensi Kalorimeter Aliran dengan Variasi Udara Berlebih pada Debit LPG 0,6 LPM”**. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang merupakan suri tauladan kita yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju zaman terang benderang yang penuh ilmu ini. Pada tugas akhir ini penulis melakukan sebuah penelitian tentang penentuan nilai kalor eksperimental LPG dan efisiensi kalorimeter aliran dengan variasi udara berlebih pada debit LPG 0,6 LPM.

Penulis sangat bersyukur karena dapat menyelesaikan tugas akhir yang menjadi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Strata-1 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Selain itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak terkait yang telah membantu penulis dalam proses pembuatan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha untuk menyusun tugas akhir ini dengan sebaik – baiknya, namun penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan. Oleh sebab itu, adanya kritik dan saran yang positif serta membangun dari semua pihak merupakan masukan yang sangat berguna bagi penulis untuk kedepannya dapat memperbaiki penulisan lain di masa yang akan datang.

Yogyakarta, 7 Januari 2022

Penulis



Hardhany Faiz Ikhsan

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iv
<b>INTISARI</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b> .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	4
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 Kalorimeter .....	6
2.2.2 <i>Liquefied Petroleum Gas</i> (LPG) .....	8
2.2.3 Kalor dan Nilai Kalor .....	9
2.2.4 Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor .....	10
2.2.5 Perpindahan Kalor .....	11
2.2.6 Proses Reaksi Pembakaran .....	13
2.2.6.1 Klasifikasi Pembakaran Berdasarkan Sifat Reaksi Kimia .....	14

2.2.7 Entalpi dan Perubahannya .....	16
2.2.8 Suhu Nyala Adiabatik .....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Bahan .....	22
3.2 Alat.....	23
3.3 Tempat Penelitian .....	34
3.4 Prosedur Penelitian .....	34
3.4.1. Pendekatan Penelitian .....	34
3.4.2. Skema Alat Kalorimeter Aliran .....	35
3.4.3. Prosedur Pengujian .....	36
3.4.4. Diagram Alir Pengujian .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>41</b>
4.1 Nilai Kalor Teoritis LPG.....	41
4.2 Kalibrasi .....	44
4.2.1. Hasil Kalibrasi .....	45
4.3 Perhitungan Debit Udara Berlebih ( <i>Excess Air</i> ).....	48
4.3.1. Perhitungan Debit Udara Dengan EA 0% .....	48
4.3.2. Perhitungan Debit Udara Dengan EA 10% .....	49
4.3.3. Perhitungan Debit Udara Dengan EA 20% .....	49
4.3.4. Perhitungan Debit Udara Dengan EA 30% .....	50
4.3.5. Perhitungan Debit Udara Dengan EA 40% .....	51
4.3.6. Perhitungan Debit Udara Dengan EA 50% .....	52
4.3.7. Perhitungan Debit Udara Dengan EA 60% .....	52
4.4 Hasil Pengujian Kalorimeter .....	54
4.4.1. Nilai Kalor Eksperimental LPG.....	54
4.4.1.2. Suhu Standar Thermocouple Pada Variasi EA.....	54
4.4.1.3. Kalor Jenis Setiap Unsur Pada Pembakaran Propana .....	54
4.4.1.4. Massa Molar Pada Pembakaran Propana .....	55
4.4.1.5. Jumlah Mol Pada 1 Kmole Propana .....	56
4.4.1.6. Jumlah Massa Komponen Pada 1 Kmole Propana.....	57

4.4.1.7. Laju Aliran Massa Pada Variasi EA .....	58
4.4.1.8. Perhitungan Nilai Kalor Eksperimental LPG .....	60
4.4.2. Efisiensi Kalorimeter Aliran.....	62
4.5 Hasil Perhitungan .....	63
4.6 Pengaruh Penambahan Udara Berlebih ( <i>Excess Air</i> ).....	64
4.6.1. Perbandingan Data Hasil Pengujian Kalorimeter Aliran .....	64
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	67
5.1 Kesimpulan.....	67
5.2 Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	69
<b>LAMPIRAN</b> .....	72



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kalorimeter Aliran.....	7
Gambar 2.2 Kalorimeter Bom .....	8
Gambar 2.3 LPG ( <i>Liquefied Petroleum Gas</i> ).....	9
Gambar 2.4 Skema Perubahan Entalpi Proses Pembakaran .....	18
Gambar 2.5 Suhu nyala versus rasio udara-bahan bakar .....	19
Gambar 2.6 Efek aerasi pada bentuk api.....	20
Gambar 3.1 <i>Liquefied Petroleum Gas</i> (LPG).....	22
Gambar 3.2 Kalorimeter Aliran.....	23
Gambar 3.3 Rotameter Air .....	24
Gambar 3.4 Rotameter Udara.....	25
Gambar 3.5 Rotameter gas .....	26
Gambar 3.6 Katup ( <i>valve</i> ) .....	26
Gambar 3.7 Kompresor.....	27
Gambar 3.8 Alumunium Foil .....	28
Gambar 3.9 <i>Thermocouple K</i> .....	28
Gambar 3.10 Thermoreader .....	29
Gambar 3.11 Thermometer Air Raksa .....	30
Gambar 3.12 Pemantik Api .....	30
Gambar 3.13 Burner.....	31
Gambar 3.14 Regulator .....	31
Gambar 3.15 Selang Gas.....	32
Gambar 3.16 Selang Air.....	32
Gambar 3.17 Selang Udara .....	33
Gambar 3.18 Clamp.....	33
Gambar 3.19 Skema Kalorimeter Aliran .....	35
Gambar 3.20 Diagram Alir Penelitian .....	37
Gambar 3.21 Diagram Alir Penelitian (lanjutan) .....	38
Gambar 4.1 Hasil Kalibrasi T <sub>1</sub> .....	45
Gambar 4.2 Hasil Kalibrasi T <sub>2</sub> .....	46

Gambar 4.3 Hasil Kalibrasi T <sub>3</sub> .....	46
Gambar 4.4 Hasil Kalibrasi T <sub>4</sub> .....	47
Gambar 4.5 Skema Pembakaran pada <i>Flow Calorimeter</i> .....	60
Gambar 4.6 Perbandingan Nilai Kalor Eksperimental .....	63
Gambar 4.7 Perbandingan Nilai Efisiensi Kalorimeter .....	63

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perubahan molar entalpi pembakaran ( $\Delta H^\circ c$ ).....	18
Tabel 4.1 Persamaan Kalibrasi Pada Setiap <i>Thermocouple</i> .....	47
Tabel 4.2 Debit Udara Pembakaran Pada Kalorimeter.....	53
Tabel 4.3 Suhu Standar <i>Thermocouple</i> .....	54
Tabel 4.4 Kalor Jenis Setiap Unsur Pada Pembakaran Propana.....	55
Tabel 4.5 Jumlah Mol Pada 1 Kmol Propana.....	56
Tabel 4.6 Jumlah Massa Komponen Pada 1 Kmol Propana.....	57
Tabel 4.7 Laju Aliran Massa Pembakaran Propana.....	59
Tabel 4.8 Nilai Kalor Eksperimental LPG.....	61
Tabel 4.9 Nilai Efisiensi Kalorimeter Aliran.....	62
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Kalorimeter Aliran.....	63
Tabel 4.11 Perbandingan Hasil Pengujian Kalorimeter Aliran.....	65

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kalibrasi Suhu Rendah ke Suhu Tinggi .....	72
Lampiran 2. Data Kalibrasi Suhu Tinggi ke Suhu Rendah .....	73
Lampiran 3. Data Kalibrasi Suhu Gabungan .....	74
Lampiran 4. Data Kalibrasi Suhu Gabungan (lanjutan) .....	75
Lampiran 5. Pengujian Debit LPG 0,6 LPM Pada Variasi EA 0 % .....	76
Lampiran 6. Pengujian Debit LPG 0,6 LPM Pada Variasi EA 10 % .....	77
Lampiran 7. Pengujian Debit LPG 0,6 LPM Pada Variasi EA 20 % .....	78
Lampiran 8. Pengujian Debit LPG 0,6 LPM Pada Variasi EA 30 % .....	79
Lampiran 9. Pengujian Debit LPG 0,6 LPM Pada Variasi EA 40 % .....	80
Lampiran 10. Pengujian Debit LPG 0,6 LPM Pada Variasi EA 50 % .....	81
Lampiran 11. Pengujian Debit LPG 0,6 LPM Pada Variasi EA 60 % .....	82
Lampiran. 12 Grafik Suhu $T_2$ dan $T_4$ Pada EA 0% .....	83
Lampiran. 13 Grafik Suhu $T_2$ dan $T_4$ Pada EA 10% .....	84
Lampiran. 14 Grafik Suhu $T_2$ dan $T_4$ Pada EA 20% .....	85
Lampiran. 15 Grafik Suhu $T_2$ dan $T_4$ Pada EA 30% .....	86
Lampiran. 16 Grafik Suhu $T_2$ dan $T_4$ Pada EA 40% .....	87
Lampiran. 17 Grafik Suhu $T_2$ dan $T_4$ Pada EA 50% .....	88
Lampiran. 18 Grafik Suhu $T_2$ dan $T_4$ Pada EA 60% .....	89
Lampiran. 19 Tabel A-1 Termodinamika, Satuan SI (Cengel, 2015) .....	90
Lampiran. 20 Tabel A-2 (b) Termodinamika, Satuan SI (Cengel, 2015).....	91
Lampiran. 21 Tabel A-2 (c) Termodinamika, Satuan SI (Cengel, 2015).....	92
Lampiran. 22 Tabel A-3 (a) Termodinamika, Satuan SI (Cengel, 2015).....	93
Lampiran. 23 Tabel A-26 Termodinamika, Satuan SI (Cengel, 2015) .....	94
Lampiran. 24 Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir .....	95

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Q	: Perpindahan Kalor (J)
m	: Massa zat (kg)
c	: Kalor jenis zat (J/kg°C)
C	: Kapasitas kalor (J/°C)
$\Delta T$	: Perubahan suhu (°C)
$\dot{Q}$	: Laju perpindahan kalor (Watt)
t	: Waktu (detik)
T	: Suhu Mutlak (K)
K	: Konduktivitas termal (W/m.K)
h	: Koefisien konveksi (W/m <sup>2</sup> .K)
A	: Luas permukaan (m <sup>2</sup> )
L	: Panjang (m)
$\sigma$	: $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}.\text{K}^{-4}$ (tetapan <i>Stefan-Boltzmann</i> )
e	: Emisivitas ( $0 \leq e \leq 1$ )
LHV	: <i>Low Heating Value</i> (kJ/kg bahan bakar)
HHV	: <i>High Heating Value</i> (kJ/kg bahan bakar)
$m_w$	: Pengembunan dari massa air setelah proses pembakaran (kg)
$m_{bb}$	: Massa bahan bakar (kg)
$h_{fg,w}$	: Entalpi penguapan air (= 2.441,7 kJ/kg)
AFR	: Massa bahan bakar (kg)
$AFR_{sto}$	: <i>Air Fuel Ratio</i> stoikiometri
$AFR_{akt}$	: <i>Air Fuel Ratio</i> aktual
$m_{air}$	: Massa udara pembakaran (kg)
$m_{fuel}$	: Massa bahan bakar (kg)
$\phi$	: <i>Equivalence Ratio</i> ( $AFR_{sto}/AFR_{akt}$ )
$\Delta H$	: Perubahan entalpi (kJ)
H <sub>P</sub>	: Entalpi produk
H <sub>R</sub>	: Entalpi reaktan

$\Delta H^{\circ}_{\text{rxn}}$	: Entalpi reaksi standar (kJ)
$\Delta H^{\circ}_{\text{f}}$	: Perubahan Entalpi Pembentukan Standar (kJ/mol)
$H^{\circ}_{\text{c}}$	: Perubahan Entalpi Pembakaran Standar (kJ/mol)
$W$	: <i>Work energy transfer</i> oleh perbedaan suhu (kJ/kmol)
$N_{\text{p}}$	: Molar produk
$N_{\text{r}}$	: Molar reaktan
$\bar{h}$	: Entalpi pada suhu kondisi adiabatik (kJ/kmol)
$\bar{h}^{\circ}$	: Entalpi pada suhu tertentu (kJ/kmol)
$EA$	: <i>excess air</i>
$T_1$	: Suhu air masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_2$	: Suhu air keluar ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_3$	: Suhu air udara lingkungan ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_4$	: Suhu gas buang pembakaran ( $^{\circ}\text{C}$ )
$Q_{\text{loss}}$	: Kerugian Kalor (J)
$NK_{\text{LPG}}$	: Nilai Kalor Eksperimental LPG
$\eta_{\text{FC}}$	: Efisiensi <i>flow calorimeter</i>
$H_{\text{P,gas}}$	: Nilai entalpi fasa gas (kJ/kmol)
$H_{\text{P,liquid}}$	: Nilai entalpi fasa cair (kJ/kmol)
$T_{\text{st}}$	: Suhu standar ( $^{\circ}\text{C}$ )
$N$	: Jumlah mol
$\dot{V}_{\text{udara}}$	: Debit Udara (LPM)
$C_{\text{p}}$	: Kalor Jenis (kJ/(kg.K))
$M_{\text{r}}$	: Massa Molar kg/kmol
$A_{\text{r}}$	: Massa Atom Relatif
$\rho_{\text{C}_3\text{H}_8}$	: Massa jenis LPG propana ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho_{\text{Udara}}$	: Massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho_{\text{Air}}$	: Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )