

TUGAS AKHIR
PENENTUAN NILAI KALOR EKSPERIMENTAL LPG DENGAN
VARIASI UDARA BERLEBIH PADA 0,3 LPM DEBIT LPG DAN 0,5 LPM
DEBIT AIR

Diajukan guna memenuhi persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Teknik



UMY
UNIVERSITAS
MUHAMMADIYAH
YOGYAKARTA

Unggul & Islami

Disusun Oleh :

GONDHAN RIKI SAPUTRO

20190130158

PROGRAM STUDI S-1 TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
2023

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya,

Nama : Gondhan Riki Saputro

Nomor Mahasiswa : 20190130158

Saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa tugas akhir ini merupakan hasil karya saya sendiri dan belum pernah ada yang mempublikasikan guna memenuhi gelar S-1. Sepanjang penelitian ini, tidak terdapat karya yang sudah pernah ditulis maupun dipublikasikan oleh orang lain kecuali sudah tercantum sumbernya di daftar pustaka.

Yogyakarta, 11 September 2023



Gondhan Riki Saputro

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbilalamin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan baik. Penulis mengucapkan terimakasih yang tulus kepada:

1. Kedua orang tua. Bapak Gunarto dan Ibu Sri Suwarni yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, doa, dan semangat dalam setiap langkah hidup penulis.
2. Dosen pembimbing saya, Bapak Tito Hadji Agung Santosa, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing 1 dan Bapak Teddy Nurcahyadi, S.T., M.Eng., Ph.D. sebagai dosen pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan pengetahuan yang sangat berharga selama proses penulisan tugas akhir.
3. Dosen, staf, serta laboran Program Studi S-1 Teknik Mesin yang telah memberikan berbagai ilmu, pengalaman, dan dukungan berharga selama penulis berada dalam lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
4. Saudara kandung saya, Lendy Huda Prabowo dan Fiki Riyan Ramadhan yang telah memberikan dukungan, kebersamaan, dan semangat selama proses penulisan tugas akhir.
5. Teman-teman satu tim tugas akhir kalorimeter aliran, Mas Rido, Mas Ageng, Mas Deni, Mas Anggi, dan Mas Anwar.
6. Teman-teman kelas D (Mawar D) yang telah banyak membantu dan berdinamika selama 4 tahun.
7. Semua orang yang terlibat dan tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Yogyakarta, 11 September 2023



Gondhan Riki Saputro

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat serta hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “Penentuan Nilai Kalor Eksperimental LPG dengan Variasi Udara Berlebih pada 0,3 LPM Debit LPG dan 0,5 LPM Debit Air.” Tugas akhir ini berisi pengujian terhadap bahan bakar berjenis LPG (*Liquefied Petroleum Gas*) yang bertujuan untuk mengetahui nilai kalor eksperimental dengan variasi udara berlebih.

Penulis bersyukur karena telah menyelesaikan tugas akhir ini sebagai syarat untuk mendapatkan gelar sarjana dan menyelesaikan jenjang studi Strata-1 di Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penulis juga mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan juga saran yang sifatnya membangun dari semua pihak untuk memperbaiki tugas akhir ini agar lebih baik dimasa yang akan datang. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan nantinya dapat digunakan untuk referensi pada penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 11 September 2023

Penulis



Gondhan Riki Saputro

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | iv |
| INTISARI..... | v |
| <i>ABSTRACT</i> | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II LANDASAN TEORI | 5 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka | 5 |
| 2.2 Dasar Teori..... | 6 |
| 2.2.1 Standar Pengujian Bahan Bakar Gas..... | 6 |
| 2.2.2 Nilai Kalor LPG | 7 |
| 2.2.3 Kalorimeter | 8 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.4 LPG | 10 |
| 2.2.5 Perpindahan Kalor dan Nilai Kalor..... | 11 |
| 2.2.6 Kalor Jenis dan Kapasitas Kalor | 12 |
| 2.2.7 Perpindahan Kalor..... | 13 |
| 2.2.8 Proses Reaksi Pembakaran..... | 15 |
| 2.2.9 Entalpi dan Perubahannya..... | 17 |
| 2.2.10 Kalibrasi | 18 |
| 2.2.11 Akurasi dan Presisi..... | 19 |
| 2.2.12 Perhitungan Nilai Kalor LPG Secara Eksperimental | 19 |
| 2.2.13 Efisiensi Alat Kalorimeter Aliran | 20 |
| BAB III METODE PENELITIAN..... | 21 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 21 |
| 3.2 Tempat Penelitian..... | 22 |
| 3.3 Alat..... | 22 |
| 3.4 Bahan | 28 |
| 3.5 Skema Alat Kalorimeter Aliran | 29 |
| 3.6 Prosedur Penelitian..... | 30 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 31 |
| 4.1 Nilai Kalor LPG Teoritis..... | 31 |
| 4.2 Hasil Kalibrasi..... | 32 |
| 4.3 Perhitungan Debit Udara Berlebih (<i>Excess Air</i>) | 35 |
| 4.3.1 Debit Udara pada Variasi <i>Excess Air</i> 0% | 35 |
| 4.3.2 Debit Udara pada Variasi <i>Excess Air</i> 10% | 36 |
| 4.3.3 Debit Udara pada Variasi <i>Excess Air</i> 20% | 37 |
| 4.3.4 Debit Udara pada Variasi <i>Excess Air</i> 30% | 37 |

| | |
|--|----|
| 4.3.5 Debit Udara pada Variasi <i>Excess Air</i> 40% | 38 |
| 4.3.6 Debit Udara pada Variasi <i>Excess Air</i> 50% | 38 |
| 4.3.7 Debit Udara pada Variasi <i>Excess Air</i> 60% | 39 |
| 4.4 Perhitungan Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi Kalorimeter Aliran . | 40 |
| 4.4.1 Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi pada Variasi EA 0% | 40 |
| 4.4.2 Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi pada Variasi EA 10% | 43 |
| 4.4.3 Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi pada Variasi EA 20% | 46 |
| 4.4.4 Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi pada Variasi EA 30% | 49 |
| 4.4.5 Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi pada Variasi EA 40% | 52 |
| 4.4.6 Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi pada Variasi EA 50% | 55 |
| 4.4.7 Nilai Kalor Eksperimental dan Efisiensi pada Variasi EA 60% | 58 |
| 4.5 Hasil Pengujian Kalorimeter | 62 |
| 4.6 Akurasi Alat Ukur | 63 |
| 4.6.1 Nilai Kalor Eksperimental LPG dengan Akurasi Minimal. | 63 |
| 4.6.2 Nilai Kalor Eksperimental LPG dengan Akurasi Maksimal. | 65 |
| 4.6.3 Grafik Perhitungan dengan Akurasi Minimal dan Maksimal. | 67 |
| 4.7 Pengaruh Udara Berlebih (<i>Excess Air</i>) dalam Pembakaran | 68 |
| 4.8 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya | 69 |
| BAB V PENUTUP..... | 71 |
| 5.1 Kesimpulan | 71 |
| 5.2 Saran..... | 72 |
| DAFTAR PUSTAKA | 73 |
| LAMPIRAN..... | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Skema Kalorimeter Aliran (Holman, 2011)..... | 8 |
| Gambar 2. 2 Kalorimeter Aliran | 9 |
| Gambar 2. 3 Penampang Kalorimeter Bom (Abdul Jameel et al., 2022)..... | 10 |
| Gambar 2. 4 LPG (<i>Liquefied Petroleum Gas</i>) | 10 |
| Gambar 2. 5 Perubahan Entalpi Proses Pembakaran | 18 |
| Gambar 2. 6 Skema Aliran Energi pada Sistem Kalorimeter Aliran | 19 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian | 22 |
| Gambar 3. 2 Tabung Kalorimeter | 22 |
| Gambar 3. 3 Rotameter Air..... | 23 |
| Gambar 3. 4 Rotameter Udara | 23 |
| Gambar 3. 5 Rotameter Gas | 23 |
| Gambar 3. 6 Termokopel | 23 |
| Gambar 3. 7 Data Logger..... | 24 |
| Gambar 3. 8 Alumunium Foil | 24 |
| Gambar 3. 9 Kompor Listrik..... | 24 |
| Gambar 3. 10 Panci..... | 25 |
| Gambar 3. 11 Termometer Air Raksa | 25 |
| Gambar 3. 12 Selang Air..... | 25 |
| Gambar 3. 13 Selang Udara | 25 |
| Gambar 3. 14 Selang Gas..... | 26 |
| Gambar 3. 15 Katup | 26 |
| Gambar 3. 16 <i>Burner</i> | 26 |
| Gambar 3. 17 Kompresor..... | 26 |
| Gambar 3. 18 Pemantik Api..... | 27 |
| Gambar 3. 19 Xnote Stopwatch | 27 |
| Gambar 3. 20 Klem..... | 27 |
| Gambar 3. 21 Regulator | 27 |
| Gambar 3. 22 Skema Alat Kalorimeter Aliran..... | 29 |
| Gambar 4. 1 Hasil Kalibrasi T_1 | 33 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4. 2 Hasil Kalibrasi T_2 | 33 |
| Gambar 4. 3 Hasil Kalibrasi T_3 | 34 |
| Gambar 4. 4 Hasil Kalibrasi T_4 | 34 |
| Gambar 4. 5 Grafik Perbandingan Nilai Kalor dengan <i>Excess Air</i> | 62 |
| Gambar 4. 6 Grafik Perbandingan Efisiensi dengan <i>Excess Air</i> | 63 |
| Gambar 4. 7 Grafik Perhitungan Nilai Kalor dengan Menggunakan Akurasi Minimal dan Maksimal | 67 |
| Gambar 4. 8 Grafik Perhitungan Efisiensi dengan Menggunakan Akurasi Minimal dan Maksimal..... | 67 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Nilai Kalor Teoritis dan PT. Pertamina | 8 |
| Tabel 3. 1 Alat Penelitian..... | 22 |
| Tabel 4. 1 Hasil Kalibrasi Termokopel | 35 |
| Tabel 4. 2. Debit Udara Berlebih | 40 |
| Tabel 4. 3. Hasil Pengujian Kalorimeter | 62 |
| Tabel 4. 4 Suhu pada Akurasi Minimal | 64 |
| Tabel 4. 5 Debit pada Akurasi Minimal..... | 64 |
| Tabel 4. 6 Nilai Kalor dan Efisiensi pada Akurasi Minimal..... | 65 |
| Tabel 4. 7 Suhu pada Akurasi Maksimal | 65 |
| Tabel 4. 8 Debit pada Akurasi Maksimal..... | 66 |
| Tabel 4. 9 Nilai Kalor dan Efisiensi pada Akurasi Maksimal..... | 66 |
| Tabel 4. 10 Hasil Beberapa Penelitian Kalorimeter..... | 69 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|--|-----|
| Lampiran 1. Data Kalibrasi $T_{st,1}$ | 76 |
| Lampiran 2. Data Kalibrasi $T_{st,2}$, $T_{st,3}$, dan $T_{st,4}$ | 77 |
| Lampiran 3. Data Pengujian dengan Variasi <i>Excess Air</i> 0% | 78 |
| Lampiran 4. Data Pengujian dengan Variasi <i>Excess Air</i> 10% | 82 |
| Lampiran 5. Data Pengujian dengan Variasi <i>Excess Air</i> 20% | 86 |
| Lampiran 6. Data Pengujian dengan Variasi <i>Excess Air</i> 30% | 90 |
| Lampiran 7. Data Pengujian dengan Variasi <i>Excess Air</i> 40% | 94 |
| Lampiran 8. Data Pengujian dengan Variasi <i>Excess Air</i> 50% | 98 |
| Lampiran 9. Data Pengujian dengan Variasi <i>Excess Air</i> 60% | 102 |
| Lampiran 10. Grafik T_2 dan T_4 pada Variasi <i>Excess Air</i> 0% | 106 |
| Lampiran 11. Grafik T_2 dan T_4 pada Variasi <i>Excess Air</i> 10% | 107 |
| Lampiran 12. Grafik T_2 dan T_4 pada Variasi <i>Excess Air</i> 20% | 108 |
| Lampiran 13. Grafik T_2 dan T_4 pada Variasi <i>Excess Air</i> 30% | 109 |
| Lampiran 14. Grafik T_2 dan T_4 pada Variasi <i>Excess Air</i> 40% | 110 |
| Lampiran 15. Grafik T_2 dan T_4 pada Variasi <i>Excess Air</i> 50% | 111 |
| Lampiran 16. Grafik T_2 dan T_4 pada Variasi <i>Excess Air</i> 60% | 112 |
| Lampiran 17. Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir | 113 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|-------------|---|
| LPM | : Liter per menit |
| LPG | : <i>Liquefied petroleum gas</i> |
| Q | : Perpindahan kalor (J) |
| m | : Massa zat (kg) |
| cp | : Kalor jenis (J/kg°C) |
| C | : Kapasitas kalor (J/°C) |
| ΔT | : Perubahan temperatur (°C) |
| LHV | : <i>Low Heating Value</i> (kJ/kg bahan bakar) |
| HHV | : <i>High Heating Value</i> (kJ/kg bahan bakar) |
| m_w | : Massa air yang mengembun setelah proses pembakaran (kg) |
| m_{bb} | : Massa bahan bakar (kg) |
| $h_{fg,w}$ | : Entalpi penguapan air (2.441,7 kJ/kg) |
| \dot{Q} | : Laju perpindahan kalor (Watt) |
| t | : Waktu (detik) |
| k | : Konduktivitas Termal (W/m ² .K) |
| A | : Luas permukaan (m ²) |
| L | : Panjang (m) |
| h | : Koefisien konveksi (W/m ² .K) |
| σ | : $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ (tetapan <i>Stefan-Boltzmann</i>) |
| T | : Temperatur mutlak (K) |
| e | : Emisivitas ($0 \leq e \leq 1$) |
| AFR | : Rasio massa antara udara dan bahan bakar |
| m_{air} | : Massa udara (kg) |
| m_{fuel} | : Massa bahan bakar (kg) |
| \emptyset | : Nilai <i>Equivalence Ratio</i> |
| ΔH | : Perubahan entalpi (kJ) |

| | |
|----------------------|--|
| H_P | : Entalpi produk |
| H_R | : Entalpi reaktan |
| EA | : <i>Excess air</i> |
| ΔH°_f | : Perubahan entalpi pembentukan standar (kJ/kmol) |
| ΔH°_c | : Perubahan entalpi pembakaran standar (kJ/kmol) |
| atm | : Atmosfer |
| NK | : Nilai kalor (kJ/kg) |
| \dot{m} | : Laju aliran massa (kg/s) |
| T_1 | : Suhu air masuk ($^{\circ}\text{C}$) |
| T_2 | : Suhu air keluar ($^{\circ}\text{C}$) |
| T_3 | : Suhu ruangan/atmosfer ($^{\circ}\text{C}$) |
| T_4 | : Suhu gas hasil pembakaran ($^{\circ}\text{C}$) |
| T_{st} | : Suhu standar ($^{\circ}\text{C}$) |
| N_P | : Jumlah molar produk |
| N_R | : Jumlah molar reaktan |
| h° | : Entalpi pada suhu tertentu (kJ/kmol) |
| \dot{V} | : Debit/laju aliran volume (LPM) |
| N | : Jumlah mol |
| Mr | : Massa molar (kg/kmol) |
| \dot{E}_{in} | : Energi masuk |
| \dot{E}_{out} | : Energi keluar |
| ρ | : Massa jenis (kg/m^3) |
| η_{FC} | : Efisiensi <i>flow calorimeter</i> (%) |