

**ANALISIS PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN UDARA BLOWER
DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR OLI TERHADAP KUALITAS
PEMBAKARAN PADA KOMPOR OLI**

(Skripsi)

Oleh:

ACEP RAMA SANJAYA

NPM 1915021057



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

**ANALISIS PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN UDARA BLOWER
DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR OLI TERHADAP KUALITAS
PEMBAKARAN PADA KOMPOR OLI**

Oleh:

ACEP RAMA SANJAYA

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2024

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN UDARA BLOWER DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR OLI TERHADAP KUALITAS PEMBAKARAN PADA KOMPOR OLI

Oleh

Acep Rama Sanjaya

Peningkatan penggunaan kendaraan bermotor di Indonesia menyebabkan peningkatan limbah oli bekas. Limbah oli bekas dapat mencemari lingkungan dan menjadi masalah. Pemanfaatan limbah oli bekas sebagai bahan bakar kompor dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Namun, pembakaran oli bekas membutuhkan temperatur yang tinggi dan tekanan udara yang stabil untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh laju aliran udara dan laju aliran bahan bakar oli terhadap kualitas pembakaran yang dihasilkan pada kompor oli bekas. Penelitian ini menggunakan metode analisis data full faktorial untuk menguji pengaruh laju aliran bahan bakar oli dan laju aliran udara terhadap temperatur pembakaran kompor oli bekas. Hasil dari penelitian ini adalah laju aliran udara memiliki pengaruh yang signifikan terhadap temperatur pembakaran pada kompor oli bekas dengan nilai kontribusi sebesar 70,09%. Komposisi terbaik antara campuran bahan bakar oli dengan laju aliran udara untuk menghasilkan temperatur pembakaran tinggi adalah laju aliran oli 5,30 ml/s dan laju aliran udara 14 m/s.

Kata kunci: oli bekas, kompor, full faktorial, nyala api, temperatur.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIATIONS IN BLOWER AIR FLOW RATE AND FUEL OIL FLOW RATE ON THE QUALITY OF COMBUSTION IN OIL STOVES

By

Acep Rama Sanjaya

The increasing use of vehicles in Indonesia has led to an increase in waste oil. Which can pollute the environment and become a problem. Using waste oil as stove fuel can be a solution to overcome this problem. However, the combustion of waste oil requires high temperatures and stable air pressure to achieve perfect combustion. This research aims to analyze the effect of air flow rate and fuel oil flow rate on the quality of combustion produced in used oil stoves. This research uses a full factorial data analysis method to test the effect of fuel oil flow rate and air flow rate on the combustion temperature of used oil stoves. The results of this research show that the air flow rate has a significant influence on the combustion temperature in waste oil stoves, with a contribution value of 70.09%. The best mixture of fuel oil and air flow rate to produce high combustion temperatures is an oil flow rate of 5.30 ml/s and an air flow rate of 14 m/s.

Keywords: waste oil, stoves, full factorial, flame ignition, temperature.

LEMBAR PENGESAHAN

Judul skripsi : ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA BLOWER DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR OLI TERHADAP KUALITAS PEMBAKARAN PADA KOMPOR OLI

Nama Mahasiswa : Acep Rama Sanjaya
Nomor Pokok Mahasiswa : 1915021057
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik



Komisi Pembimbing 1

Komisi Pembimbing 2

Gusri Akhvar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.

Dr. Harmen, S.T., M.T.

NIP. 197108171998021003

NIP. 196906202000031001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik mesin

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin

Gusri Akhvar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.

Novri Tanti, S.T., M.T.

NIP. 197108171998021003

NIP. 197011041997032001

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

Ketua Penguji : Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.



Anggota Penguji : Dr. Harmen, S.T., M.T.



Penguji Utama : Achmad Yahya TP, S.T., M.T



2. Dekan Fakultas Teknik


Dr. Sri Heliy Fitriawan, S.T., M.sc.
NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 22 Januari 2024

LEMBAR PERNYATAAN

Skripsi dengan judul "ANALISIS PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA BLOWER DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR OLI TERHADAP KUALITAS PEMBAKARAN PADA KOMPOR OLI" dibuat sendiri oleh penulis dan bukan merupakan hasil plagiat siapa pun sebagaimana diatur dalam pasal 36 peraturan Akademik Universitas Lampung dengan surat keputusan Rektor No. 13 tahun 2019.

Bandar Lampung, 5 Februari 2024

nbuat pernyataan,



Acep Rama Sanjaya

NPM 1915021057

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Acep Rama Sanjaya, lahir di Tanjung Karang pada tanggal 10 Maret 2000. Penulis merupakan anak ke Tiga dari Bapak Hambali AD dan Ibu Siti Kuraesin. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 3 Werasari hingga tahun 2012, kemudian dilanjutkan di SMPN 1 Sadananya yang selesai pada 2015 dan masuk ke SMKN 2 Kota Tasikmalaya dengan mengambil jurusan Teknik Pemesinan yang lulus pada tahun 2018. Selama menjalani pendidikan SMK, penulis aktif dalam organisasi internal sekolah. Penulis aktif dalam kegiatan Ektrakurikuler Sepak Bola kemudian penulis berkesempatan untuk mewakili sekolah dalam ajang Lomba O2SN dan meraih juara 1 tingkat Kota Tasikmalaya.

Pada tahun 2019, penulis melanjutkan studi S1 Teknik Mesin di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan dan organisasi kemahasiswaan antara lain:

1. Anggota bidang Minat Bakat (MIKAT) Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung (HIMATEM) periode tahun 2020/2021.
2. Panitia acara Mechanical Engineering Expo (MEE) oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin Universitas Lampung (HIMATEM) pada tahun 2021.
3. Staff ahli Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) bidang Pemuda Olah Raga dan Kreativitas Mahasiswa (PORAKRESMA) periode tahun 2021/2022.
4. Panitia acara Engineering Digital Media Training (EDITING) oleh Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) pada tahun 2021.
5. Panitia acara Pengenalan Kehidupan Kampus bagi Mahasiswa Baru (PKKMB) oleh Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) pada tahun 2021.

6. Panitia acara Engineering E-sport oleh Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) pada tahun 2021.
7. Panitia acara Engineering Magazine (ENGIMAGZ) Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik (BEM FT) pada tahun 2021.
8. Anggota Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) Fotografi ZOOM periode tahun 2022/2023.
9. Melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) periode 1 di Cimahi, Jawa Barat pada tahun 2022.
10. Menjadi Koordinator Desa (KORDES) pada Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tahun 2022.
11. Melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PT Kereta Api Indonesia, Divre IV Tanjung Karang dengan judul laporan **“ANALISI GANGGUAN ALIRAN BAHAN BAKAR PADA LOKOMOTIF CC 202 DI PT KERETA API Indonesia (PERSERO) DIVISI REGIONAL IV UPT DEPO LOKOMOTIF BESAR TARAHAN”** pada tahun 2022.
12. Melaksanakan penelitian pada tahun 2023 dengan judul **“ANALISIS PENGARUH VARIASI LAJU ALIRAN UDARA BLOWER DAN LAJU ALIRAN BAHAN BAKAR OLI TERHADAP KUALITAS PEMBAKARAN PADA KOMPOR OLI”** dibawah bimbingan Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Harmen, S.T., M.T.

MOTTO

"Cukuplah Allah menjadi Penolong kami dan Allah adalah sebaik-baik Pelindung"

(Q.S Ali Imran: 173)

"Bersemangatlal hal-hal yang bermanfaat bagimu, minta tolonglah kepada Allah jangan engkau lemah"

(H.R Muslim)

"It always seems impossible until it's done"

(Nelson Mandela)

"Kehidupan keraslah yang paling manis. Dengan begitu kalian akan terselamatkan dari menjadi seorang pemalas"

(Acep Rama Sanjaya)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan lancar dan dalam keadaan sehat. Shalawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada junjungan besar kita, Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wassalam, beserta keluarga dan sahabat. Semoga kita sebagai umatnya, selalu mendapatkan syafaat beliau di akhirat kelak. Karya tulis ini diharapkan dapat menjadi ilmu yang bermanfaat dan bisa dikembangkan. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelas Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Dalam penyusunan skripsi ini tentunya penulis mendapatkan pengalaman dan pembelajaran dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Segala puji bagi Allah SWT atas kelancaran serta kekuatan telah diberikan kepada saya sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan baik secara moral dan materil, khususnya Ayahanda Hambali AD dan Ibunda Siti Kuraesin. Serta Kakak Tersayang Palupi Riana Tunggal Dewi dan Mada Lingga Nugraha serta Reka Aldilana Ramadhan sebagai adik yang selalu menemani selama perkuliahan.
3. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Ibu Novri Tanti, S.T., M.T., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
5. Bapak Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D dan Dr. Harmen, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi.
6. Bapak Achmad Yahya TP, S.T., M.T., selaku Dosen Pembahas Skripsi.
7. Bapak Akhmad Riszal, S.Pd., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing akademik penulis.

8. Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
9. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
10. Keluarga besar CV. Alsintan Muara Kota Metro yang telah membantu dan membimbing penulis dalam melakukan pengambilan data penelitian, khususnya Mas Dani dan Mba Dini yang telah membantu penulis selama penelitian.
11. Tito Valiandra, Muhammad Dayu Juniarto, M. Taqwa Wijaya, Akmal Satria Permana, Muhammad Pandu Wibowo selaku teman seperjuangan terbaik selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi penulis.
12. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2019 yang telah bersama-sama berjuang meraih mimpi, memberikan motivasi, dan memberikan semangat selama perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan di masa mendatang. Akhir kata penulis sangat berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 5 Februari 2024

Penulis,

Acep Rama Sanjaya

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|-------------------------------------|---------|
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR NOTASI | xvi |
| I. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Identifikasi Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 5 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Limbah..... | 6 |
| 2.2 Oli..... | 7 |
| 2.3 Energi dan Bahan Bakar | 10 |
| 2.3.1 Energi..... | 10 |
| 2.3.2 Bahan Bakar..... | 11 |
| 2.4 Karakteristik Bahan Bakar | 11 |
| 2.4.1 Densitas..... | 11 |
| 2.4.2 <i>Spesific Gravity</i> | 12 |
| 2.4.3 Viskositas..... | 12 |
| 2.4.4 <i>Flash Point</i> | 13 |
| 2.5 Pembakaran | 15 |
| a. Waktu Pembakaran..... | 16 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| b. | Temperatur Pembakaran..... | 16 |
| c. | Turbulensi..... | 17 |
| 2.6 | Pembakaran Sempurna dan Tidak Sempurna..... | 17 |
| 2.6.1 | Pembakaran Sempurna | 17 |
| 2.6.2 | Pembakaran Tidak Sempurna | 18 |
| 2.7 | Udara Pembakaran | 19 |
| 2.7.1 | Udara Primer..... | 19 |
| 2.7.2 | Udara Sekunder..... | 19 |
| 2.7.3 | Udara Tersier | 19 |
| 2.8 | <i>Air Fuel Ratio</i> (AFR) | 19 |
| 2.8.1 | Stoikiometri AFR (AFR Stoikiometri) | 20 |
| 2.8.2 | Lean dan Rich AFR | 20 |
| 2.9 | Udara Berlebih (<i>Excess Air</i>)..... | 22 |
| III. | METODE PENELITIAN | 23 |
| 3.1 | Waktu dan Tempat Penelitian | 23 |
| 3.2 | Alur Penelitian..... | 24 |
| 3.3 | Desain Penelitian | 25 |
| 3.4 | Alat dan Bahan | 25 |
| 3.5 | Parameter Penelitian..... | 30 |
| 3.6 | Teknik Pengumpulan Data | 30 |
| 3.6.1. | Prosedur penelitian | 31 |
| 3.7 | Kalibrasi Instrumen | 32 |
| 3.8 | Data Penelitian | 33 |
| 3.9 | Teknik Analisis Data | 33 |
| IV. | HASIL DAN PEMBAHASAN | 36 |
| 4.1 | Data Hasil Penelitian | 36 |
| 4.2 | Analisis Faktorial Desain | 38 |
| 4.1.1 | Uji Identik..... | 38 |
| 4.1.2 | Uji Independen..... | 39 |
| 4.1.3 | Uji Kenormalan (<i>Normality Test</i>)..... | 40 |
| 4.3 | Analisis of Variance (ANOVA) | 41 |
| V. | PENUTUP | 45 |

| | |
|----------------------------|-----------|
| 5.1 Kesimpulan..... | 45 |
| 5.2 Saran..... | 45 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 46 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Limbah | 6 |
| Gambar 2.2 Oli Bekas | 7 |
| Gambar 2.3 Api Merah | 14 |
| Gambar 2.4 Api Biru..... | 14 |
| Gambar 2.5 Api Putih | 15 |
| Gambar 3.1 Diagram alir penelitian..... | 24 |
| Gambar 3.2 <i>Blower</i> | 26 |
| Gambar 3.3 Anemometer | 27 |
| Gambar 3.4 Stopwatch | 28 |
| Gambar 3.5 Gelas Ukur..... | 28 |
| Gambar 3.6 <i>Thermogun</i> | 29 |
| Gambar 4.1 Titik sampel pengukuran temperatur..... | 37 |
| Gambar 4.2 Titik sampel pengukuran laju udara | 37 |
| Gambar 4.3 Uji identik respon temperatur..... | 39 |
| Gambar 4.4 Uji independen respon temperatur. | 40 |
| Gambar 4.5 Uji kenormalan respon temperatur..... | 41 |
| Gambar 4.6 Grafik main effects plot for temperature..... | 44 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan antara solar dengan oli bekas | 9 |
| Tabel 2.2 Kadar logam pada oli baru dan bekas | 10 |
| Tabel 3.1 Waktu Penelitian | 23 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi <i>Blower</i> | 26 |
| Tabel 3.3 Spesifikasi Anemometer | 27 |
| Tabel 3.4 Spesifikasi <i>Thermogun</i> | 29 |
| Tabel 3.5 Parameter Pengujian | 30 |
| Tabel 3.6 Simbol Urutan Percobaan | 32 |
| Tabel 3.7 Data hasil pembakaran | 33 |
| Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan | 36 |
| Tabel 4.2 ANOVA temperatur pembakaran | 42 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|-----------|-------------------------------------|
| AFR | : Air fuel ratio |
| $AFR a$ | : Air fuel ratio aktual |
| $AFR s$ | : Air fuel ratio stoikiometri |
| FAR | : Fuel air ratio |
| $FAR a$ | : Fuel air ratio aktual |
| $FAR s$ | : Fuel air ratio stoikiometri |
| m | : Massa (kg) |
| ma | : Massa udara (kg) |
| mf | : Massa bahan bakar (kg) |
| mO_2 | : massa oksigen, kg |
| XO_2 | : Kadar oksigen (kg) |
| XN_2 | : Kadar nitrogen (kg) |
| Mf | : Massa molar bahan bakar (kg/kmol) |
| Nf | : Bilangan mol bahan bakar (kmol) |
| \dot{N} | : Bilangan mol (kmol) |
| $CxHy$ | : Bahan bakar hidrokarbon |
| η | : Efisiensi pembakaran (%) |
| Φ | : Rasio ekivalen |

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan kendaraan bermotor sebagai alat transportasi di Indonesia mengalami pertumbuhan yang signifikan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS, 2020), terdapat 136.137.451 unit kendaraan bermotor yang terdiri dari 115.023.039 sepeda motor (84,5%), 15.797.746 mobil (11,60%), 5.797.746 mobil barang (3,73%) dan 233.261 mobil penumpang (0,17%). Meskipun hal ini dapat mendukung pemerataan ekonomi masyarakat, namun peningkatan penggunaan kendaraan bermotor dapat mempengaruhi peningkatan pencemaran lingkungan (Rina dkk., 2018). Salah satu diantara limbah yang dapat mencemari adalah limbah oli mesin kendaraan bermotor (Azteria & Gani, 2020). Oli memiliki peran sebagai zat pelumas untuk mesin kendaraan bermotor dan hanya dapat digunakan untuk jangka waktu tertentu. Setelah itu, mesin perlu mengalami peremajaan dengan penggantian oli yang sudah menurun kualitasnya dengan yang baru. Oleh karena itu, oli yang sudah tidak berguna tersebut dianggap sebagai limbah dan termasuk dalam kategori B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang dapat mencemari lingkungan (Azharuddin dkk., 2020)

Pembuangan limbah oli ke lingkungan dapat menghambat resapan air dan laju difusi dalam tanah, serta membentuk suatu emulsi minyak di permukaan tanah yang menghambat pertumbuhan tanaman (Pratama dkk., 2020). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 18 tahun 1999, tentang limbah dan pengelolaan limbah, pemanfaatan limbah dan pengolahan limbah untuk di jadikan barang yang lebih berharga dan bermanfaat, maka sebagai salah satu pengelolaan oli bekas agar dapat

dimanfaatkan yaitu menjadi bahan bakar kompor. Oli mengandung senyawa hidrokarbon yang terdiri dari unsur karbon (C) dan hydrogen (H) dalam ikatan rantai karbon yang mudah terbakar. Karena kemampuan mudah terbakarnya, oli dapat dijadikan sebagai alternatif sumber energi (Sumantri dkk., 2016).

Beberapa proses pembakaran seperti pada pembuatan aspal, arang dan pirolisis umumnya membutuhkan temperatur yang cukup tinggi dan waktu pembakaran yang cukup lama. Tentunya untuk mendapatkan temperatur tinggi dan waktu pembakaran yang lama tersebut, dibutuhkan bahan bakar yang tidak sedikit. Namun, penggunaan kayu bakar secara berlebihan dapat menyebabkan erosi dan bahkan longsor karena penebangan pohon yang tidak terkendali. Sedangkan penggunaan minyak tanah dan LPG yang terlalu banyak dapat menyebabkan cadangan energi dan bahan bakar semakin menipis, dan berdampak pada kenaikan harga bahan bakar bagi rumah tangga golongan menengah ke bawah (Trihiditia dan Agustiawan, 2019). Oleh karena itu, sebagai alternatif, penelitian tugas akhir ini mengusulkan penggunaan kompor berbahan bakar oli bekas yang dikombinasikan dengan blower sebagai solusi untuk mengatasi masalah ini.

Dalam proses pembakaran oli, campuran udara-bahan bakar yang seimbang mengalir ke dalam ruang bakar. Diketahui bahwa pencampuran udara-bahan bakar yang tidak optimal dapat menyebabkan peningkatan produksi asap hitam atau pembakaran yang tidak sempurna. Oleh karena itu, penting untuk menentukan tingkat pencampuran bahan bakar-udara yang sesuai. Faktor kunci yang mempengaruhi pencampuran bahan bakar-udara yang optimal adalah pencocokan atomisasi bahan bakar dan bidang aliran. Dengan cara ini, keseragaman campuran udara-bahan bakar dapat dicapai sehingga pembakaran dapat berjalan secara efisien (Kuo, 2005).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Mafruddin dkk., 2022) tekanan udara memiliki pengaruh yang signifikan dalam proses pembakaran

oli bekas untuk mencapai temperatur yang optimal. Pada penggunaan oli bekas, jika volume udara dan bahan bakar tidak sesuai, hal ini dapat menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna dan mengeluarkan asap tebal. Penelitian juga dilakukan oleh Gilang dkk pada tahun 2020. Pada proses pembakaran menggunakan pelumas yang masih baru dengan tingkat viskositas yang lebih rendah dapat membantu menghasilkan pembakaran yang lebih optimal.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Mafrudin dkk (2022) terdapat kelemahan dimana tekanan udara yang digunakan untuk meniup api di dalam tungku tidak stabil. Hal ini karena menggunakan tekanan yang dihasilkan oleh uap air yang dipanaskan dalam tungku sehingga tekanannya cenderung tidak stabil dan sulit dikontrol. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisis pada kontrol aliran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam tungku pembakaran, agar dapat tercapai pembakaran dengan temperatur yang maksimal. Untuk meningkatkan temperatur oli bekas dan menurunkan tingkat viskositas sebelum dibakar, maka dilakukan modifikasi pada saluran oli sebelum masuk ke dalam tungku pembakaran. Hal ini diharapkan dapat membantu agar oli bekas dapat terbakar dengan lebih mudah dengan adanya *pre-heating* sebelum digunakan sebagai bahan bakar.

1.2 Identifikasi Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang diidentifikasi adalah ketidakstabilan temperatur pada pembakaran dikarenakan perbandingan bahan bakar yang masuk dan tekanan udara yang belum diketahui. Selain itu, komposisi antara bahan bakar dan udara yang menghasilkan temperatur maksimum belum diketahui.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh laju aliran udara dan laju aliran bahan bakar oli terhadap kualitas pembakaran yang dihasilkan pada kompor oli bekas.
2. Mendapatkan komposisi terbaik antara campuran bahan bakar oli dengan kecepatan udara blower sehingga tercipta pembakaran yang sempurna pada kompor oli.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengurangi limbah kendaraan bermotor.
2. Sebagai alternatif bagi masyarakat dalam pengolahan limbah oli menjadi bahan bakar kompor.
3. Memberikan informasi pembakaran oli bekas agar menciptakan nyala api yang sempurna sehingga asap yang ditimbulkan minimal.

1.5 Batasan Masalah

Banyaknya faktor-faktor yang mempengaruhi temperatur dan hasil pembakaran pada kompor oli ini maka untuk menjaga arah tujuan dari penelitian ini dibatasi pembahasan masalah pada kriteria berikut:

1. Bahan yang digunakan untuk tungku kompor oli adalah besi baja ST-44.
2. Menggunakan oli bekas kendaraan bermotor.
3. Tidak spesifik membahas fenomena pembakaran.
4. Memvariasikan laju aliran bahan bakar dan laju aliran blower.
5. Volume bahan bakar oli sebesar $\frac{1}{2}$ liter.
6. Start penyalaan api menggunakan tisu yang dibakar.

7. Mencari temperatur maksimum dari variasi komposisi udara dan bahan bakar dengan *Analysis of Variance*.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Berisi uraian latar belakang masalah secara jelas, tujuan yang memaparkan diadakannya penelitian ini, batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini agar hasil penelitian lebih terarah, serta sistematika penulisan yang digunakan pada penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi landasan teori yang menunjang pada penelitian dan merupakan teori-teori dasar atau literatur yang menjadi pedoman penelitian antara lain limbah, oli, energi dan bahan bakar, karakteristik bahan bakaran dan pembakaran.

III. METODE PENELITIAN

Berisi tempat dan waktu penelitian, alur penelitian, desain penelitian, Alat dan bahan, parameter penelitian, teknik pengumpulan data, kalibrasi instrumen, data penelitian dan teknik analisis data.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisikan data hasil penelitian, analisis faktorial desain dan *analysis of variance*.

V. PENUTUP

Berisi simpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan saran.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Limbah didefinisikan sebagai bahan atau zat yang tidak diinginkan, tidak memiliki nilai, atau tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh pemiliknya, yang memerlukan pengelolaan atau pembuangan karena tidak memiliki kegunaan langsung atau berpotensi membahayakan manusia, hewan, atau lingkungan. Limbah dapat berupa bahan padat, cair, atau gas yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia, termasuk industri, pertanian, rumah tangga, dan sektor layanan.



Gambar 2.1 Limbah

(Sumber: Fajriyah dan Wardhani, 2020)

Dalam bukunya yang berjudul "*Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory*" (2012), White memberikan pengertian limbah mencakup karakteristik limbah sebagai sesuatu yang tidak diinginkan, tidak memiliki nilai, atau berpotensi membahayakan, dan pentingnya pendekatan terintegrasi dalam pengelolaan limbah untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kesehatan manusia.

Agamuthu menekankan bahwa pengelolaan limbah merupakan aspek penting dalam upaya untuk meminimalkan dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pendekatan terintegrasi dalam pengelolaan limbah melibatkan langkah-langkah seperti pengurangan sumber limbah, penggunaan teknologi yang tepat untuk pengelolaan limbah, daur ulang atau penggunaan kembali bahan limbah, serta pemrosesan limbah yang aman dan efektif (White dkk., 2012).

2.2 Oli

Oli adalah sebuah cairan pelumas yang digunakan dalam berbagai mesin untuk mengurangi gesekan antara permukaan yang saling bergerak. Oli memiliki beberapa fungsi penting, seperti melumasi, mendinginkan, membersihkan, dan melindungi mesin dari korosi. Oli juga membantu dalam mengurangi keausan dan memperpanjang umur mesin (Pirro dkk., 2017). Komponen utama dalam oli adalah basis oli dan aditif.



Gambar 2.2 Oli Bekas

(Sumber: Azharuddin dkk., 2020)

Basis oli dapat berasal dari berbagai sumber, seperti minyak bumi, minyak nabati, atau minyak sintetis. Aditif ditambahkan ke basis oli untuk meningkatkan kinerja dan sifat-sifat pelumasnya. Aditif dapat memberikan

perlindungan terhadap oksidasi, pengikisan, keausan, dan pembentukan endapan dalam mesin (Hidayat dan Basyirun, 2020).

Oli memiliki beberapa sifat penting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan dan penggunaannya. Beberapa sifat tersebut meliputi:

1. Indeks Viskositas: Indeks viskositas mengukur kemampuan oli untuk mempertahankan viskositas pada temperatur yang berbeda. Indeks viskositas yang tinggi menunjukkan bahwa oli akan tetap kental pada temperatur tinggi, sementara indeks viskositas rendah menunjukkan bahwa oli akan lebih encer pada temperatur tinggi.
2. Titik Nyala: Titik nyala adalah temperatur terendah di mana oli dapat melepaskan uap yang dapat terbakar saat terkena nyala api atau panas. Titik nyala yang tinggi menunjukkan tingkat keamanan yang lebih tinggi.
3. Stabilitas Oksidasi: Stabilitas oksidasi mengacu pada kemampuan oli untuk tidak teroksidasi atau rusak oleh oksigen pada temperatur tinggi. Oli dengan stabilitas oksidasi yang tinggi memiliki umur simpan yang lebih lama.
4. Kemampuan Pelumasan: Kemampuan pelumasan mengacu pada kemampuan oli untuk membentuk lapisan pelumas di antara permukaan yang saling bergerak, mengurangi gesekan dan keausan. Oli yang baik harus memiliki kemampuan pelumasan yang tinggi untuk melindungi mesin (Hasbi dkk., 2019).

Dalam oli bekas terdapat nilai kalor, yang merupakan jumlah panas/kalori yang dihasilkan dari pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara/oksigen pada penelitian yang dilakukan oleh (Hudoyo dkk., 2013) dimana nilai kalor rata-rata pada oli bekas sebesar 350,00 kalori/gram. Terdapat dua jenis oli bekas umum, yaitu oli bekas industri (*light industrial oil*) dan oli hitam (*black oil*). Oli bekas industri cenderung lebih bersih dan dapat dibersihkan dengan relatif mudah melalui penyaringan dan pemanasan sederhana (Raharjo, 2007). Sementara itu, oli hitam berasal dari pelumasan otomotif. Oli yang telah digunakan dalam waktu lama cenderung kehilangan karakteristiknya, menjadi lebih encer, dan tidak lagi cocok digunakan. Penggunaan oli dalam jangka waktu lama juga mengakibatkan beban termal

dan mekanis yang lebih tinggi. Oli hitam mengandung partikel logam dan sisa pembakaran. Seiring dengan pemakaian yang lama, sifat fisik dan kimia oli akan mengalami perubahan karena temperatur dan tekanan yang tinggi, sehingga tidak lagi memenuhi persyaratan sebagai pelumas, terutama dalam hal viskositas yang terlalu rendah.

Meskipun oli bekas dapat didaur ulang, proses daur ulang tidak dapat mengembalikan oli tersebut ke kondisi yang sempurna. Setelah dilakukan pembersihan dari kotoran, oli bekas diharapkan memiliki karakteristik yang mirip dengan bahan bakar diesel, seperti *light diesel oil* (LDO). Berikut adalah tabel perbandingan antara solar dan bahan bakar yang mirip solar yang dihasilkan dari limbah oli bekas (Raharjo, 2009):

Tabel 2.1 Perbandingan antara solar dengan oli bekas

| No | Jenis perbandingan | Solar | Oli Bekas |
|----|---|---------|-----------|
| 1 | Massa jenis pada 15 °C (kg/m ³) | 820-845 | 818 |
| 2 | Viskositas pada 40 °C (mm ² /s) | 2-4.5 | 3.49 |
| 3 | Titik nyala (°C) | >55 | 57 |
| 4 | Sulfur (ppm) | 50 | 3500 |
| 5 | Air (mg/kg) | <200 | 130 |
| 6 | Nilai pemanasan rendah | 42.700 | 43.500 |
| 7 | Temperatur pada 250 °C, volume maks (%v/v) | 65 | 20 |
| 8 | Temperatur pada 250 °C, volume min (%v/v) | 85 | 90 |
| 9 | Volume mencapai 95%, temperatur maks (°C) | 360 | 360 |

Minyak pelumas bekas menunjukkan perbedaan kandungan logam dibandingkan dengan minyak pelumas baru, termasuk elemen-elemen seperti Fe, Cu, dan Zn. Terdapat peningkatan dalam konsentrasi logam besi (Fe), tembaga (Cu), dan seng (Zn) pada minyak pelumas bekas. Namun,

konsentrasi timbal (Pb) tetap konsisten antara kedua jenis minyak pelumas tersebut. Kandungan kimia ini memberikan dasar bagi kemampuan minyak pelumas bekas untuk berfungsi sebagai bahan bakar (Supriyanto dkk., 2018). Berdasarkan analisis yang dilakukan oleh (Dahlan dkk., 2014) dapat dilihat pada tabel 2.2 menampilkan komparasi kandungan logam, termasuk Al, Fe, Mn, Zn, dan Cu, antara minyak pelumas bekas dan baru dari kendaraan bermotor.

Tabel 2.2 Kadar logam pada oli baru dan bekas

| No | Sampel | Al | Fe | Mn | Zn | Cu |
|----|-----------|------|------|-------|------|------|
| 1 | Oli Baru | 0,59 | 1,73 | 0,218 | 0,31 | 1,42 |
| 2 | Oli Bekas | 0,8 | 3,3 | 0,8 | 3,3 | 5,5 |

2.3 Energi dan Bahan Bakar

2.3.1 Energi

Dalam ilmu fisika, energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja atau menghasilkan perubahan (Serway dan Jewett, 2013). Ada beberapa bentuk energi yang umum dikenal, antara lain:

1. Energi kinetik: Energi yang dimiliki oleh objek bergerak karena gerakan dan kecepatannya.
2. Energi potensial: Energi yang dimiliki oleh suatu benda akibat adanya pengaruh tempat atau kedudukan dari benda tersebut.
3. Energi termal: Energi yang terkait dengan temperatur dan panas.
4. Energi listrik: bentuk energi yang dihasilkan oleh pergerakan partikel bermuatan, seperti elektron, dalam suatu rangkaian listrik.
5. Energi kimia: Energi yang terkait dengan ikatan kimia dalam zat-zat.

2.3.2 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah zat yang digunakan untuk menghasilkan energi melalui proses pembakaran atau reaksi kimia. Bahan bakar dapat digunakan dalam mesin pembakaran dalam dan pembakaran luar untuk menghasilkan tenaga atau energi yang berguna (Moran dkk., 2018). Beberapa jenis bahan bakar yang umum digunakan adalah:

1. Bahan bakar fosil: Bahan bakar yang berasal dari sisa-sisa organisme hidup, seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara.
2. Bahan bakar biomassa: Bahan bakar yang berasal dari sumber-sumber organik, seperti kayu, limbah pertanian, dan limbah makanan.
3. Bahan bakar nuklir: Bahan bakar yang menggunakan reaksi nuklir untuk menghasilkan energi, seperti uranium dan plutonium.
4. Bahan bakar terbarukan: Bahan bakar yang diperoleh dari sumber energi terbarukan, seperti matahari, angin, air, panas bumi dan biomassa.

2.4 Karakteristik Bahan Bakar

Menurut Kristanto (2020), karakteristik bahan bakar cair meliputi:

2.4.1 Densitas

Densitas adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi densitas suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Densitas rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki densitas lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki densitas lebih

rendah. Densitas serupa dengan sifat-sifat baik tegangan permukaan dan viskositas. Densitas didefinisikan sebagai perbandingan massa bahan bakar terhadap volume bahan bakar. Dimana densitas ini sangat berpengaruh pada perhitungan kuantitatif dan pengkajian kualitas penyalaan.

2.4.2 *Specific Gravity*

Specific gravity adalah perbandingan berat sejumlah volume minyak bakar terhadap berat air untuk volume yang sama pada temperatur tertentu. Dimana nilai *specific gravity* dari air ditentukan sama dengan satu.

2.4.3 Viskositas

Viskositas adalah salah satu sifat utama minyak dan dapat diukur melalui indeks viskositas. Indeks viskositas adalah angka empiris yang digunakan untuk menunjukkan ketergantungan temperatur viskositas kinematik minyak. Rendah indeks viskositas menandakan perubahan yang relatif besar dengan temperatur. Nilai dapat ditentukan oleh membandingkan nilai viskositas kinematik minyak pada 40°C dan 100°C dan prosedur perhitungan dijelaskan dalam ASTM D2770. Keakuratan indeks viskositas sangat tergantung pada pengukuran viskositas kinematik (Yunus dkk., 2013). Viskositas yang terlalu tinggi akan membuat bahan bakar teratomisasi menjadi tetesan yang lebih besar sehingga akan mengakibatkan deposit pada mesin. Tetapi apabila viskositas terlalu rendah akan memproduksi spray yang terlalu halus sehingga terbentuk daerah *rich zone* yang menyebabkan terjadinya pembentukan jelaga atau asap hitam (Wróbel dkk., 2019).

2.4.4 *Flash Point*

Flash point (titik nyala atau titik kilat) adalah titik temperatur terendah yang menyebabkan bahan bakar dapat menyala. Penentuan titik nyala ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Pada standart ASTM biodiesel merupakan nilai *flash point* minimal karena untuk mengeliminasi kontaminasi methanol akibat proses konversi minyak nabati yang tidak sempurna (Janès dan Chaineaux, 2015).

Flash point didefinisikan sebagai temperatur terendah di mana cairan menghasilkan uap yang mudah terbakar dan dapat dinyalakan di udara dengan nyala api di atas permukaannya. Titik nyala ditentukan secara eksperimental dengan memanaskan sebuah alat berisi cairan yang diuji. Nyala api diberikan secara berkala ke permukaan suatu cairan. Jika sebuah *flash* terjadi di ketel, itu menunjukkan bahwa temperatur cairan yang diuji telah mencapai atau melebihi titik nyala. Penentuan titik nyala eksperimental dijelaskan dalam banyak standar nasional dan internasional, yang berbeda dalam cakupannya dan dalam kondisi eksperimental yang ditentukan. (Agnes J, 2013)

Jenis bahan bakar dan pencampurannya mempengaruhi nyala warna api yang dihasilkan. Menurut Andreansyah (2017), api memiliki beberapa warna dasar, antara lain:

1. Api Merah

Api merah atau kuning bisa kita lihat saat pembakaran korek api atau kayu bakar. Dibanding warna lain, api jenis ini merupakan api dengan tingkat kepanasan paling rendah, yaitu kurang dari 1000 °C.



Gambar 2.3 Api Merah

2. Api Biru

Api biru memiliki temperatur sekitar kurang dari 2000 °C. Kita bisa melihat api ini di dapur saat menyalakan kompor gas. Api jenis ini sudah mengalami pembakaran sempurna. Api biru memiliki tingkat kepanasan yang lebih tinggi dibandingkan api merah.



Gambar 2.4 Api Biru

3. Api Putih

Api warna putih memang jarang atau susah dilihat dengan mata langsung. Api ini memiliki temperatur diatas 2000 °C. Karena tingkat kepanasannya yang tinggi api jenis ini biasa digunakan di dalam dunia perindustrian.



Gambar 2.5 Api Putih

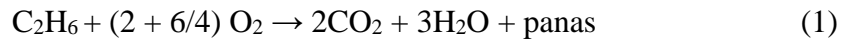
Secara kimia, pembakaran secara umum dijelaskan sebagai formula berikut: Bahan Bakar + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$. Dari formula kimia tersebut, bisa dilihat bahwa api memerlukan Oksigen agar bisa terbentuk. Karena itulah sejauh ini reaksi kimia api diketahui hanya bisa ada di Bumi, planet yang memiliki kandungan Oksigen yang cukup tinggi untuk menyokong proses reaksi kimia api.

Kandungan Oksigen di dalam pembakaran dapat mempengaruhi warna api. Apabila kandungan Oksigen di dalam reaksi kimia api rendah, maka api akan cenderung berwarna kekuningan. Sedangkan, apabila kandungan Oksigennya tinggi, api akan cenderung berwarna biru. Warna api ini merupakan radiasi dari proses oksidasi pembakaran yang juga dapat menunjukkan tingkat energi dan temperatur api tersebut.

2.5 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan oksigen dalam kehadiran temperatur tinggi (Turns dan Haworth, 2021). Proses pembakaran melibatkan tiga unsur penting yang dikenal sebagai "tiga elemen api" yaitu bahan bakar, oksigen, dan sumber panas. Ketika bahan bakar teroksidasi dengan oksigen akan terbentuk api dan sejumlah energi berbentuk panas akan dilepaskan. Proses ini melibatkan berbagai reaksi kimia

kompleks yang mencakup tahap awal penghantaran, tahap penyalaan, tahap pembakaran primer, dan tahap pembakaran sekunder (Kuo, 2005). Reaksi kimia pembakaran dapat diringkas dengan rumus umum berikut:



Reaksi ini menghasilkan karbon dioksida (CO_2), uap air (H_2O), dan membebaskan energi dalam bentuk panas.

Pembakaran juga memiliki beberapa karakteristik. Karakteristik pembakaran mencakup beberapa parameter penting seperti temperatur api, kecepatan pembakaran, efisiensi pembakaran, emisi, dan distribusi temperatur (Glassman dan Yetter, 2008). Temperatur api menggambarkan tingkat kepanasan api yang dihasilkan selama pembakaran, sedangkan kecepatan pembakaran mengacu pada kecepatan di mana bahan bakar terbakar. Efisiensi pembakaran mengukur sejauh mana energi bahan bakar dikonversi menjadi energi panas yang berguna, sedangkan emisi merujuk pada polutan yang dihasilkan selama proses pembakaran. Distribusi temperatur menggambarkan sejauh mana panas terdistribusi secara merata dalam sistem pembakaran (Turns dan Haworth, 2021).

a. Waktu Pembakaran

Untuk mencapai pembakaran yang sempurna, penting bagi bahan bakar dalam ruang bakar berada dalam zona pembakaran selama periode waktu yang memadai. Proses kimia pembakaran memerlukan durasi yang disebut sebagai waktu pembakaran.

b. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran merupakan variabel yang tergantung pada karakteristik khusus dari bahan bakar yang digunakan. Untuk mencapai pembakaran yang efisien, penting bahwa temperatur dalam ruang bakar harus berada pada tingkat yang lebih tinggi daripada temperatur yang dibutuhkan untuk proses penyalaan.

c. Turbulensi

Turbulensi memiliki peran yang signifikan dalam mempengaruhi proses pembakaran. Untuk memfasilitasi kontak langsung antara oksigen dalam udara dan bahan bakar, diperlukan turbulensi dalam bentuk pemusaran aliran udara, yang menghasilkan pencampuran yang efisien antara udara dan bahan bakar. Keberagaman campuran bahan bakar dan udara ini memungkinkan terjadinya pembakaran yang sempurna.

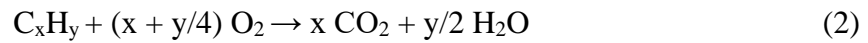
2.6 Pembakaran Sempurna dan Tidak Sempurna

Pembakaran adalah proses kimia yang melibatkan reaksi antara bahan bakar dan oksidator (biasanya oksigen dalam udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Pembakaran dapat terjadi dalam tiga fase yang berbeda, yaitu fase pra-pembakaran, fase pembakaran utama, dan fase akhir. Fase pra-pembakaran melibatkan pemanasan dan penguapan bahan bakar, dan pencampuran dengan oksigen. Fase pembakaran utama adalah ketika reaksi kimia aktual terjadi, dan fase akhir adalah ketika reaksi kimia menurun dan akhirnya berhenti. Pembakaran bisa terjadi dalam dua bentuk utama: pembakaran sempurna dan pembakaran tidak sempurna.

2.6.1 Pembakaran Sempurna

Pembakaran sempurna adalah reaksi pembakaran di mana bahan bakar terbakar sepenuhnya. Dalam pembakaran sempurna, oksigen yang cukup tersedia memungkinkan bahan bakar untuk bereaksi sepenuhnya, menghasilkan jumlah maksimum energi dan menghasilkan produk sisa yang relatif tidak berbahaya seperti karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O).

Untuk hidrokarbon (seperti bensin, gas alam, atau minyak), persamaan umum untuk pembakaran sempurna adalah:



Reaksi Pembakaran Karbon (C) sempurna



2.6.2 Pembakaran Tidak Sempurna

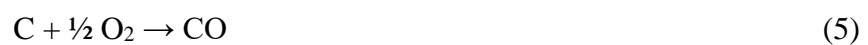
Pembakaran tidak sempurna terjadi ketika pasokan oksigen tidak cukup untuk memungkinkan bahan bakar terbakar sepenuhnya. Dalam situasi ini, beberapa bahan bakar mungkin tidak terbakar, dan produk pembakaran lainnya selain CO₂ dan H₂O mungkin dihasilkan. Produk-produk ini bisa berupa karbon monoksida (CO), hidrokarbon tidak terbakar (C_mH_n), dan partikel karbon atau jelaga (C).

Persamaan umum untuk pembakaran tidak sempurna hidrokarbon adalah:



dimana z kurang dari $(x + y/4)$, menunjukkan kekurangan oksigen.

Reaksi Pembakaran karbon tidak sempurna



Penting untuk dicatat bahwa pembakaran tidak sempurna dapat menghasilkan gas berbahaya seperti karbon monoksida, yang bisa berbahaya atau fatal bagi manusia jika dihirup dalam jumlah besar.

Mengetahui perbedaan antara pembakaran sempurna dan tidak sempurna sangat penting, terutama dalam aplikasi teknik dan lingkungan, karena hal tersebut mempengaruhi efisiensi energi dan emisi polutan (Heywood, 2010).

2.7 Udara Pembakaran

Pembakaran adalah suatu reaksi yang memerlukan tiga komponen, yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas atau nyala api. Oksigen yang diperlukan dalam proses pembakaran diambil dari udara. Udara yang disuplai ke dalam ruang bakar untuk memenuhi kebutuhan komponen pembakaran disebut sebagai udara pembakaran. Udara pembakaran dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis.

2.7.1 Udara Primer

Udara primer merupakan udara yang memiliki fungsi sebagai media transportasi bahan bakar dari mill menuju ruang bakar. Udara primer juga dapat berfungsi sebagai pengering bahan bakar serta menjadi suplai oksigen sebesar 30% dari pembakaran total.

2.7.2 Udara Sekunder

Merupakan udara yang diinjeksi ke dalam ruang bakar dengan tujuan untuk memenuhi kadar oksigen dalam ruang bakar serta menciptakan aliran udara yang berputar (turbulen).

2.7.3 Udara Tersier

Dalam penggunaan boiler, penggunaan udara sekunder dapat dibagi lagi. Untuk turbulensi tambahan dibutuhkannya udara tambahan yaitu udara tersier. Udara tersier merupakan udara yang diberikan pada sudut tajam atau bahkan tegak lurus terhadap nyala api sehingga dapat menyebabkan turbulensi yang cukup agresif.

2.8 *Air Fuel Ratio* (AFR)

Rasio Udara-Bahan Bakar, atau *Air-Fuel Ratio* (AFR) adalah rasio antara massa udara dan massa bahan bakar yang ada dalam campuran yang dibakar dalam mesin pembakaran internal atau sistem pembakaran lainnya. AFR sangat penting dalam menentukan efisiensi dan emisi dari proses pembakaran (Heywood, 2010). Perbandingan campuran bahan bakar dan udara

memainkan peran krusial dalam menentukan hasil pembakaran yang akan mempengaruhi karakteristik dari api yang dihasilkan. Campuran bahan bakar yang mengikuti stoikiometri memiliki potensi untuk menghasilkan kecepatan pembakaran tertinggi. Kecepatan pembakaran ini menjadi salah satu aspek penting yang dapat memengaruhi kualitas api selama proses pembakaran.

Dalam penelitian oleh Xue dkk. pada tahun 2020, dikemukakan bahwa penggunaan rasio pembakaran yang berlebih dapat memiliki dampak pada emisi yang dihasilkan selama proses pembakaran. Rasio udara pembakaran yang berlebih tersebut memiliki efek mengurangi kadar karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dalam proses pembakaran. Selain itu, dampak lainnya adalah mengurangi kadar nitrogen oksida (NO) yang terbentuk sebagai hasil dari pembakaran.

2.8.1 Stoikiometri AFR (AFR Stoikiometri)

Rasio udara-bahan bakar di mana semua bahan bakar akan terbakar sepenuhnya dengan semua oksigen yang tersedia disebut AFR stoikiometri. Dalam kondisi ini, tidak ada oksigen atau bahan bakar yang berlebih. Untuk bensin, AFR stoikiometri adalah sekitar 14.7:1, artinya 14.7 kg udara dibutuhkan untuk membakar 1 kg bensin.

2.8.2 Lean dan Rich AFR

1. *Lean Mixture*: Jika AFR lebih besar dari rasio stoikiometri, campuran tersebut disebut "*lean*" (kurang bahan bakar). Campuran *lean* dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar tetapi dapat menurunkan tenaga dan meningkatkan temperatur pembakaran, yang bisa merusak mesin.
2. *Rich Mixture*: Sebaliknya, jika AFR lebih kecil dari rasio stoikiometri, campuran tersebut disebut "*rich*" (lebih banyak bahan bakar). Campuran *rich* dapat meningkatkan tenaga dan menurunkan temperatur pembakaran, tetapi mengurangi efisiensi bahan bakar dan menghasilkan lebih banyak emisi.

Persamaan dalam kalkulasi kandungan rasio bahan bakar dan udara dapat ditulis menjadi:

$$AFR = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{Ma\dot{N}}{Mf\dot{N}f} \quad (6)$$

Dimana nilai dari AFR merupakan hasil perbandingan antara massa udara dengan massa bahan bakar yang digunakan pada reaksi pembakaran. Apabila pada nilai actual lebih besar dari nilai AFR, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan sistem dalam proses pembakaran.

Reaksi pembakaran juga memiliki rasio antara bahan bakar dengan udara yang dinamakan FAR (*fuel air ratio*) dengan persamaan:

$$FAR = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} = \frac{Mf\dot{N}f}{Ma\dot{N}} \quad (7)$$

Setelah mengetahui AFR dan FAR maka didapatkan rasio ekivalen pembakaran ϕ . Rasio ekivalen adalah perbandingan antara rasio udara – bahan bakar (AFR) stoikiometrik dengan rasio udara – bahan bakar (AFR) actual atau dapat menjadi sebagai pembanding rasio bahan bakar – udara (FAR) actual dengan stoikiometrik.

$$\phi = \frac{AFR_s}{AFR_a} = \frac{FAR_a}{FAR_s} \quad (8)$$

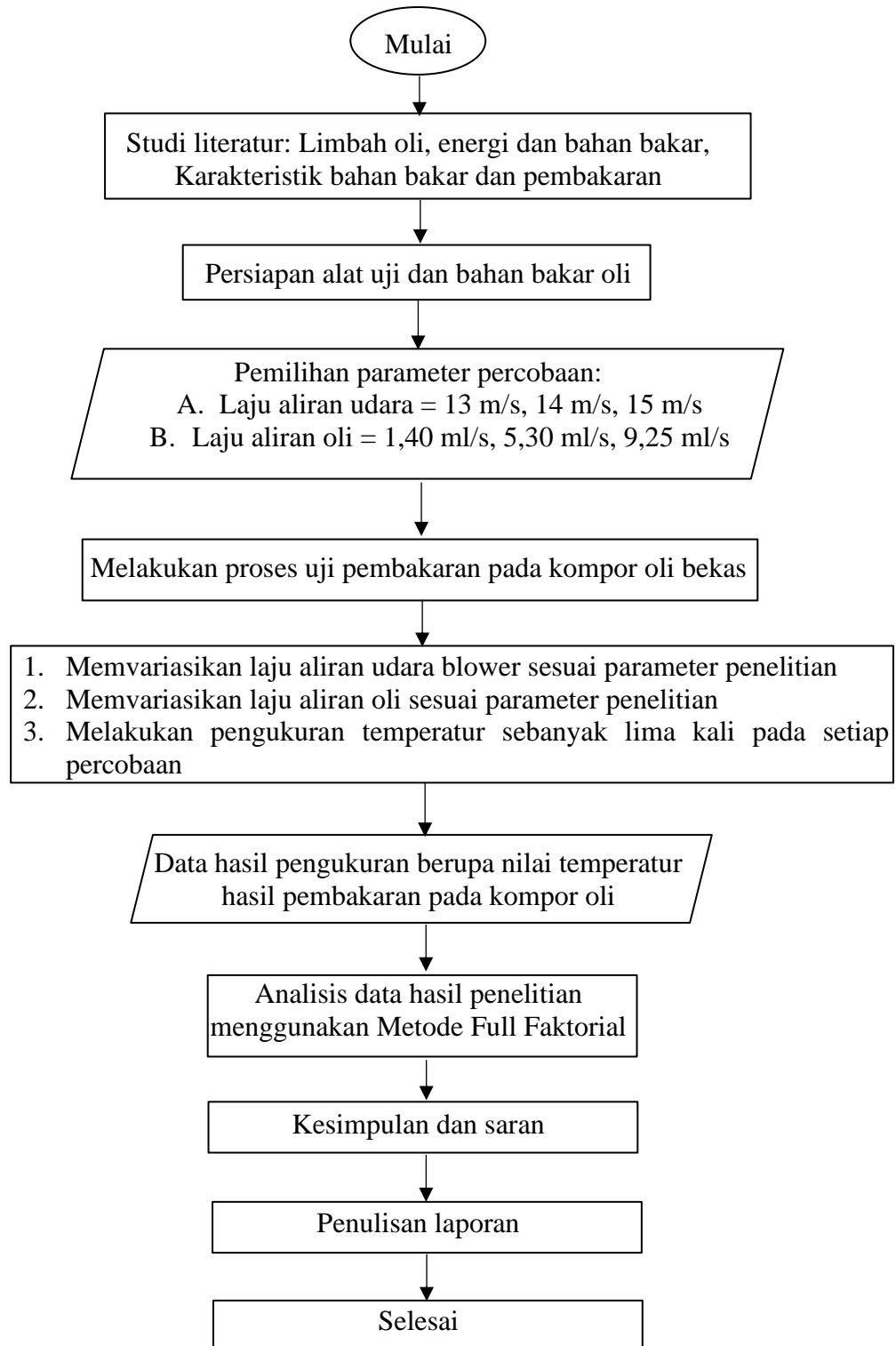
- $\phi > 1$ terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut sebagai kaya bahan bakar (*fuel - rich mixture*).
- $\phi < 1$ campurannya disebut sebagai campuran miskin bahan bakar (*fuel - lean mixture*).
- $\phi = 1$ merupakan kondisi dimana campuran stoikiometrik (pembakaran sempurna)

2.9 Udara Berlebih (*Excess Air*)

Dalam proses pembakaran, pencampuran yang tepat antara bahan bakar dan udara seringkali menjadi tantangan. Untuk mencapai reaksi pembakaran yang optimal, diperlukan pemberian udara dalam jumlah yang berlebihan guna memastikan pembakaran yang sempurna. Konsep "udara berlebih" merujuk pada jumlah udara yang diberikan dalam jumlah yang lebih besar daripada kebutuhan teoritis untuk pembakaran. Produk akhir dari proses pembakaran dapat dinyatakan dalam bentuk persentase udara berlebih.

3.2 Alur Penelitian

Alur pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram alur di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk menyelidiki pengaruh laju aliran udara terhadap temperatur pembakaran oli bekas pada kompor oli. Eksperimen didefinisikan sebagai serangkaian percobaan yang dilakukan dengan mengubah variabel input proses atau sistem secara terencana, sehingga penyebab dan faktor-faktor yang menyebabkan perubahan pada *output* dapat diidentifikasi. Prosedur penelitian yang dilakukan untuk mengungkapkan hubungan sebab-akibat antara dua variabel atau lebih dengan mengendalikan pengaruh variabel lainnya. Metode ini melibatkan pemberian variabel bebas secara sengaja kepada objek penelitian untuk mengamati akibatnya terhadap variabel terikat.

3.4 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kompor oli bekas

Kompor oli berfungsi sebagai objek utama dalam penelitian pembakaran. Dalam penelitian ini kompor oli digunakan untuk mensimulasikan proses pembakaran oli bekas yang umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Tujuannya adalah untuk memahami karakteristik pembakaran, kinerja, emisi, dan efisiensi energi yang terkait dengan penggunaan oli bekas sebagai bahan bakar. Selain itu, kompor oli juga digunakan untuk mengumpulkan data empiris terkait dengan pembakaran, seperti temperatur, kecepatan pembakaran, dan konsumsi energi. Dengan menggunakan kompor oli, penelitian ini dapat mengamati dan mengukur pengaruh variabel-variabel tertentu dalam proses pembakaran dan karakteristiknya.

2. *Blower*

Blower digunakan untuk mengatur aliran udara yang masuk ke dalam kompor oli bekas. Udara adalah salah satu komponen penting dalam proses pembakaran yang mempengaruhi kualitas pembakaran, efisiensi, dan emisi yang dihasilkan. *Blower* membantu dalam mengatur jumlah dan kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam kompor oli, sehingga dapat mengoptimalkan pembakaran dan mengendalikan parameter yang terkait.



Gambar 3.2 *Blower*

Tabel 3.2 Spesifikasi *Blower*

| | |
|----------------|----------|
| Merek blower | Nankai |
| <i>Watt</i> | 150 watt |
| <i>Voltage</i> | 220V |
| <i>Cycle</i> | 50/60 |
| <i>Ampere</i> | 1 A |

3. Anemometer

Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan aliran udara yang masuk ke dalam kompor oli bekas. Kecepatan udara merupakan faktor kritis dalam proses pembakaran yang mempengaruhi pembakaran yang efisien, distribusi udara yang merata, dan kualitas pembakaran secara keseluruhan. Anemometer membantu dalam mengukur kecepatan aliran

udara dengan akurat, memungkinkan peneliti untuk memantau dan mengontrol variabel tersebut selama pengujian.



Gambar 3.3 Anemometer

Tabel 3.3 Spesifikasi Anemometer

| | |
|------------------------------|--------------------------------|
| Merek Anemometer | Benetech GM8902 |
| <i>Operating Temperature</i> | 0°C ~ +50°C (32°F ~ 122°F) |
| <i>Operating Humidity</i> | <= 80%RH |
| <i>Store Temperature</i> | -40°C ~ +60°C (-40°F ~ 140°F) |
| <i>Unit of Velocity</i> | m/s, ft/min, knots, km/hr, mph |

4. *Stopwatch*

Stopwatch berfungsi untuk mengukur durasi atau waktu yang diperlukan dalam proses pembakaran pada kompor oli dan menghitung waktu yang diperlukan untuk menghitung laju aliran oli bekas ke ruang bakar. Hal ini membantu dalam mencatat waktu pembakaran secara akurat dan memungkinkan untuk mengamati dan menganalisis proses pembakaran dengan lebih teliti.



Gambar 3.4 *Stopwatch*

5. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume bahan bakar yang digunakan pada setiap percobaan. Dalam penelitian ini, gelas ukur digunakan untuk mengukur jumlah oli bekas yang akan digunakan sebagai bahan bakar pada kompor oli. Pengukuran volume yang akurat penting untuk menjaga konsistensi dan keandalan hasil percobaan.



Gambar 3.5 Gelas ukur

6. *Thermometer infrared*

Thermometer infrared berfungsi untuk mengukur temperatur api yang dihasilkan selama pembakaran pada kompor oli bekas. Dengan

menggunakan teknologi inframerah, thermometer ini dapat mendeteksi dan mengukur temperatur dengan cepat dan non-kontak. Pengukuran temperatur api yang akurat dan *real-time* sangat penting dalam memahami karakteristik pembakaran oli bekas dan mengevaluasi efisiensi pembakaran. *Thermometer infrared* juga digunakan untuk memantau distribusi temperatur di sekitar api pembakaran. Dengan melakukan pengukuran pada titik-titik tertentu dalam sistem pembakaran, maka dapat diperoleh informasi tentang sejauh mana panas terdistribusi secara merata atau apakah ada zona panas yang tidak diinginkan. Hal ini membantu dalam mengoptimalkan pembakaran dan memahami faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi temperatur.



Gambar 3.6 *Thermogun*

Tabel 3.4 Spesifikasi *Thermogun*

| | |
|--------------|---|
| Rentang ukur | -18 °C s.d 1350 °C |
| Akurasi | ±2% / ±2 °C |
| Unit | Celcius dan Farenheit |
| Fitur | <i>Emmisitivity Adjustment</i> (pemilihan jenis material yang diukur) |

7. Oli bekas sebagai bahan penelitian dan bahan bakar kompor.

Oli bekas digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran di kompor oli bekas. Oli bekas dimanfaatkan sebagai sumber energi yang akan dibakar untuk menghasilkan panas dan menguji proses pembakaran pada kompor oli.

3.5 Parameter Penelitian

Parameter penelitian dilaksanakan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan udara terhadap temperatur dan kualitas nyala api pada kompor oli bekas. Pengujian mencakup berbagai variasi laju aliran udara blower dengan kecepatan 13 m/s, 14 m/s, 15 m/s dan laju aliran bahan bakar 1,40 ml/s, 3,50 ml/s, 9,25 ml/s merujuk pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Junaidi dkk., 2021) sehingga dapat diketahui temperatur yang diperoleh. Pengukuran temperatur dilakukan dengan menggunakan alat *thermometer infrared* sedangkan nyala api dilakukan dengan uji visual.

Tabel 3.5 Parameter Pengujian.

| Faktor | Level | | |
|--------------------------------|-------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Laju Aliran Udara (m/s) | 13 | 14 | 15 |
| Laju Aliran Bahan Bakar (ml/s) | 1,40 | 5,30 | 9,25 |

3.6 Teknik Pengumpulan Data

Sebelum memulai pengambilan data, perlu dilakukan tahapan penelitian dengan menggunakan metode observasi. Observasi adalah metode pengumpulan data yang melibatkan pengamatan langsung. Peneliti melakukan pengamatan dan mencatat data secara langsung, sehingga penelitian dimulai dengan langkah-langkah berikut ini.

3.6.1. Prosedur penelitian

Proses pada penelitian analisis pembakaran pada kompor oli bekas ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan kompor oli bekas yang sudah didesain dan dibuat sesuai rancangan yang terlampir pada Lampiran 1.
2. Menyiapkan alat dan bahan guna penelitian.
3. Memasang aliran selang kran untuk bahan bakar oli bekas.
4. Memasang pipa untuk mengalirkan udara *blower*.
5. Menentukan bukaan katup udara blower untuk variasi parameter yang ditentukan. Kemudian menandainya.
6. Menuangkan oli bekas yang sudah disaring terlebih dahulu ke dalam gelas ukur yang sudah di pasang kran.
7. Menyalakan api dengan menggunakan tisu yang dibakar didalam tungku.
8. Setelah api menyala dengan stabil buka kran penyalur udara dan kran oli.
9. Memvariasikan udara untuk *blower* yaitu dengan laju aliran 13 m/s, 14 m/s dan 15 m/s.
10. Kendalikan debit bahan bakar oli yang masuk ke dalam kompor dengan laju aliran 1,40 ml/s, 5,30 ml/s dan 9,25 ml/s.
11. Ambil data temperatur pada *thermometer infrared* sesuai variasi laju aliran udara dari blower. Data temperatur diambil sebanyak 5 kali untuk setiap percobaan
12. Mengamati bentuk nyala api pada kompor.
13. Mengulangi langkah 9 dan 10 sampai semua kombinasi variasi faktor antara laju aliran udara dan laju aliran oli terpenuhi.
14. Melakukan pengolahan data yang telah dikumpulkan dan selanjutnya dianalisis dengan *software minitab 19*.

Tabel 3.6 Simbol Urutan Percobaan.

| Percobaan | Faktor | |
|-----------|--------|---|
| | A | B |
| 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 3 |
| 4 | 2 | 1 |
| 5 | 2 | 2 |
| 6 | 2 | 3 |
| 7 | 3 | 1 |
| 8 | 3 | 2 |
| 9 | 3 | 3 |

Dari tabel ini didapatkan urutan percobaan yang perlu dilakukan dari kombinasi antar faktor dan level yang sudah ada. Sehingga percobaan dapat dilakukan secara lebih sistematis.

3.7 Kalibrasi Instrumen

Secara sederhana, kalibrasi adalah proses untuk menentukan kebenaran relatif dari nilai yang ditunjukkan oleh alat pengukur dan materi pengukur dengan membandingkannya terhadap standar pengukuran yang dapat ditelusuri ke standar nasional atau internasional (ISO/IEC Guide 17025:2005). Pada pengujian ini kalibrasi dilakukan pada alat thermometer gun dengan melakukan pengukuran pada 2 benda dengan temperatur berbeda yaitu air mendidih yang diketahui temperturnya berada sekitar 100°C dan juga air es yang diketahui temperturnya dibawah 0°C, data pengujian tersedia pada lampiran 5.

3.8 Data Penelitian

Data yang dikumpulkan dengan menggunakan alat *thermometer infrared* untuk mengukur *output* temperatur pada kompor oli berdasarkan kecepatan dari udara *blower*, pengendalian debit bahan bakar masuk menggunakan katup serta nyala api yang dilakukan dengan uji visual. Kemudian dimasukkan ke dalam tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Data hasil pembakaran.

| Percobaan | Laju Aliran Oli (ml/s) | Laju Aliran Udara (m/s) | Temperatur Pembakaran (°C) |
|-----------|------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 1 | 1,40 | 13 | |
| 2 | | 14 | |
| 3 | | 15 | |
| 4 | 5,30 | 13 | |
| 5 | | 14 | |
| 6 | | 15 | |
| 7 | 9,25 | 13 | |
| 8 | | 14 | |
| 9 | | 15 | |

3.9 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data *full factorial* akan digunakan pada penelitian ini. Teknik analisis data *full factorial* adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji pengaruh simultan dari beberapa faktor yang mungkin mempengaruhi hasil penelitian. Dalam analisis *full factorial*, semua kombinasi mungkin dari faktor-faktor tersebut dieksplorasi dan diuji, sehingga memungkinkan identifikasi pengaruh individu dan interaksi antar faktor.

Pada penelitian ini, teknik analisis data *full factorial* digunakan untuk memahami bagaimana berbagai faktor mempengaruhi pembakaran pada

kompur oli bekas. Faktor-faktor yang mungkin diamati termasuk temperatur, jenis bahan bakar, komposisi bahan bakar, dan kecepatan aliran udara. Dalam analisis ini, setiap faktor memiliki beberapa tingkat atau kondisi yang berbeda. Dengan demikian, teknik analisis data *full factorial* memungkinkan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran pada kompor oli bekas dan memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik dan efisiensi pembakaran pada kompor oli bekas.

Berikut adalah langkah-langkah untuk menganalisis data penelitian mengenai pengaruh variasi kecepatan udara *blower* dan laju aliran bahan bakar oli terhadap kualitas pembakaran pada kompor oli menggunakan metode ANOVA *for means* dengan metode *full factorial* dalam *software Minitab 19*:

1. Siapkan data penelitian:
 - Kumpulkan data yang mencakup variasi kecepatan udara *blower* dan laju aliran bahan bakar oli.
 - Pastikan data terstruktur dengan kolom yang jelas mengidentifikasi faktor dan levelnya, serta kolom untuk mengukur kualitas pembakaran.
2. Buka Minitab 19 dan impor data:
 - Buka Minitab 19 dan impor data penelitian ke dalam *worksheet*.
3. Setel faktor dan level:
 - Buat kolom dalam *worksheet* untuk faktor "Laju Aliran Udara" dan "Laju Aliran Bahan Bakar Oli".
 - Masukkan level-level yang akan diuji untuk masing-masing faktor.
4. Analisis ANOVA:
 - Pilih "*Stat*" di menu utama Minitab dan pilih "ANOVA" > "*General Full Factorial*".
 - Pilih variabel kualitas pembakaran sebagai "*Response*" dan pilih faktor-faktor yang ingin dianalisis.
 - Klik "OK" untuk menjalankan analisis ANOVA.

5. Interpretasi hasil analisis:

- Minitab akan menampilkan hasil analisis ANOVA yang mencakup nilai-nilai seperti *sum squares*, *degree of freedom*, *mean squares*, *F-value*, dan *p-value*.
- Perhatikan nilai *p-value* untuk setiap faktor dan interaksi. Jika nilai *p-value* kurang dari tingkat signifikansi yang ditentukan sebelumnya (misalnya, 0.05), maka terdapat perbedaan yang signifikan antara level-level faktor tersebut.
- Jika ada faktor-faktor yang signifikan, perhatikan juga efek-efek yang terlibat dan arah pengaruhnya.

6. Visualisasi hasil:

- Gunakan Minitab untuk membuat grafik atau plot yang relevan untuk memvisualisasikan hasil analisis ANOVA, seperti grafik *main effects* atau *interaction plots*.

7. Kesimpulan dan rekomendasi:

- Berdasarkan hasil analisis ANOVA, buat kesimpulan mengenai pengaruh variasi kecepatan udara blower dan laju aliran bahan bakar oli terhadap kualitas pembakaran pada kompor oli.
- Jika ada faktor yang signifikan, rekomendasikan pengaturan level faktor yang optimal untuk mencapai kualitas pembakaran yang diinginkan.
- Jika ada interaksi antara faktor-faktor, analisis lebih lanjut dapat diperlukan untuk memahami hubungan kompleks di antara mereka.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian pengaruh laju aliran oli dan laju udara blower terhadap temperatur pembakaran pada kompor oli bekas adalah sebagai berikut:

1. Laju aliran udara blower dan laju aliran bahan bakar oli berpengaruh terhadap kualitas pembakaran yang dihasilkan pada kompor oli bekas. Faktor laju aliran udara berpengaruh signifikan terhadap variabel respon temperatur yaitu sebesar 70,09%. Artinya, 70,09% dari variasi temperatur pembakaran disebabkan oleh variabel laju aliran udara. Sedangkan 19,43% sisanya disebabkan oleh variabel laju aliran bahan bakar oli dan faktor-faktor lain yang tidak teramati.
2. Berdasarkan hasil *Analisis of Variance* yang disajikan pada grafik *Main Effect Plot* dapat disimpulkan bahwa komposisi terbaik antara campuran bahan bakar oli dengan laju aliran udara blower untuk menghasilkan temperatur pembakaran tinggi pada kompor oli bekas adalah. Laju aliran oli 5,30 ml/s dan Laju aliran udara 14 m/s.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan setelah melaksanakan penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dalam pengembangan pada penelitian selanjutnya diantaranya :

1. Melakukan pemanasan terlebih dahulu pada kompor oli untuk memastikan oli pada saluran coil sudah terpanaskan sehingga tidak

menyumbat dan mempengaruhi laju aliran oli pada saat pengujian dilaksanakan.

2. Hasil analisis pada pengaruh laju aliran udara blower dan laju aliran oli terhadap hasil pembakaran pada kompor oli bekas ini baru mengetahui komposisi terbaik antara laju aliran udara dan laju aliran oli untuk mendapatkan temperatur tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut pengaruh dari kombinasi yang optimal antara laju aliran udara blower dan laju aliran oli terhadap emisi yang dihasilkan pembakaran pada kompor oli bekas.
3. Pada penelitian ini pengukuran temperatur menggunakan alat berupa *thermometer infrared* yang memiliki kepraktisan dan pengukuran yang cepat, namun pada penggunaan *thermometer infrared* faktor lingkungan seperti kelembaban dan debu dapat mempengaruhi akurasi pengukuran pada beberapa model thermometer. Untuk itu pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan alat pengukuran yang berbeda seperti *thermokopel stick* sehingga diharapkan hasil pengukuran temperatur pembakaran lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Azharuddin, Anwar Sani, A., & Ade Ariasya, M. (2020). Proses Pengolahan Limbah B3 (Oli Bekas) Menjadi Bahan Bakar Cair Dengan Perlakuan Panas Yang Konstan. *Jurnal AUSTENIT*, 12(2), 48–53.
- Azteria, V., & Gani, R. A. (2020). Pengelolaan Limbah Minyak Pelumas Sebagai Upaya Pengendalian Pencemaran Lingkungan. *BIOLINK (Jurnal Biologi Lingkungan Industri Kesehatan)*, 6(2), 178–185. <https://doi.org/10.31289/biolink.v6i2.2725>
- Dahlan, M. H., Setiawan, A., & Rosyada, A. (2014). Pemisahan Oli Bekas Dengan Menggunakan Kolom Filtrasi Dan Membran Keramik Berbahan Baku Zeolit Dan Lempung. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(1), 38–45.
- Gilang, O., & Ramadhan, W. (2020). *Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Temperatur Pembakaran Oli Bekas Pada Kompor. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin.*
- Glassman, I., & Yetter, R. A. (2008). *Combustion*. Academic Press.
- Hasbi, M., Lilis, L., Prinob, A., & Ld. Asman, D. (2019). Pemanfaatan Minyak Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 355–360.
- Heywood, J. B. (2010). *Internal Combustion Engine Fuindamentals*. Mcgraw Hill.
- Hidayat, R. A., & Basyirun. (2020). Pengaruh Jenis Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Kompor Pengecoran Logam Terhadap Waktu Konsumsi Dan Suhu Maksimal Pada Pembakaran. *Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 5(2), 103–108. <https://journal.uny.ac.id/index.php/dynamika/issue/view/1939>
- Hudoyo, R., Rai Suci Shanti A, M. N., Setiawan, A., (2013). *Pengujian Pengaruh*

Penambahan Material Pengotor Oli Bekas Jenuh Sebagai Identifikasi Kandungan Energi Pada Oli Murni. Studi Fisika, P., Pendidikan Fisika, dan, Sains dan Matematika, F., & Kristen Satya Wacana. 4(1).

Janès, A., & Chaineaux, J. (2015). *Experimental Determination of Flash Points of Flammable Liquid Aqueous Solutions.*

Junaidi, J., Kurniawan, E., & Lasmana, A. (2021). Analisis Laju Aliran Udara dan Laju Aliran Massa Bahan Bakar Terhadap Beban Pembakaran Sampah pada Incinerator Berbahan Bakar Limbah Oli Bekas. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 5(1), 17. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v5i1.838>

Kristanto, D. A. (2020). Pembakaran dan Karakteristik Bahan Bakar Cair. *Academia.Edu*, 1(1), 1–4.

Kuo, K. K. (2005). Principles of Combustion. In *Combustibility of Plastics* (second). Jhon Wiley and Sons, Inc. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-6614-0_3

Mafruddin, Ridhuan, K., Budiyanto, E., Atiq Mubarak, M., & Bagus Pratama, N. (2022). Pengaruh Laju Aliran Udara Dan Lubang Uap Air Terhadap Kinerja Kompor Dengan Bahan Bakar Oli Bekas. *TURBO*, 11(2), 308–316. <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo>

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 9th Edition EPUB Reg Card Loose-Leaf Print Companion Set.* Wiley.

Nyoman Suparta, I., Guhhri, A., & Septiadi, W. N. (2015). *Daur Ulang Oli Bekas Menjadi Bahan Bakar Diesel dengan Proses Pemurnian Menggunakan Media Asam Sulfat dan Natrium Hidroksida* 1(2).

Pirro, D. M., Webster, M., & Daschner, E. (2017). *Lubrication Fundamentals, Revised and Expanded.* CRC Press.

Pratama, A., Basyirun, B., Atmojo, Y. W., Ramadhan, G. W., & Hidayat, A. R. (2020). Rancang Bangun Kompor (Burner) Berbahan Bakar Oli Bekas. *Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, 19(2), 95.

<https://doi.org/10.20961/mekanika.v19i2.42378>

- Raharjo, W. P. (2007). Pemanfaatan Tea (Three Ethyl Amin) Dalam Proses Penjernihan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Pada Peleburan Aluminium The Use Of Tea (Three Ethyl Amin) In Ex-Oil Filtering Process As The Material For Alumunium Melting. In *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi* (Vol. 8, Issue 2).
- Raharjo, W. P. (2009). Pemanfaatan Oli Bekas Dengan Pencampuran Minyak Tanah Sebagai Bahan Bakar Pada Atomizing Burner The Use Of Trace Oil With Petroleum Blanded As Fuel In Burner Atomizing. In *Jurnal Penelitian Sains & Teknologi* 10(2).
- Rina, A., Astuti, A., Fathurrahman, I., Yani, S., & Sabara, Z. (2018). Alat Penyaring Karbon Monoksida Pada Knalpot Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Adsorben Alami Ekstrak Daun Trembesi. *Journal Of Chemical Process Engineering*, 03(01), 38–42.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2013). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning.
- Sumantri, B., Santiko, H., Djakfar, L., & Bowoputro, H. (2016). *Pengaruh Peremaja Oli Bekas Dan Solar Terhadap Karakteristik Marshall Perkerasan Daur Ulang Dengan Asbuton*.
- Supriyanto, A., Maksum, H., & Putra, D. S. (2018). Perbandingan Penggunaan Berbagai Jenis Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor 4 Langkah. Jurusan Teknik Otomotif. Universitas Negeri Padang. Sumatra Barat. *Automotive Engineering Education Journal*, 1(2).
- Trihiditia, R., & Agustawan, L. M. (2019). Efektifitas Rancang Bangun Alat (Burner) Oli Bekas Dalam Mendukung Proses Sterilisasi Media Jamur Tiram. *Pro-Stek*, 1(2), 96–105.
- Turns, S. R., & Haworth, D. C. (2021). *An introduction to combustion : concepts and applications*. New York, Ny [U.A.] Mcgraw-Hill.
- White, P. R., Franke, M., & Hindle, P. (2012). *Integrated Solid Waste Management:*

A Lifecycle Inventory. Springer Science & Business Media.

Wróbel, M., Jewiarz, M., & Szlęk, A. (2019). *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation*. Springer.

Yunus, S., Rashid, A. A., Abdullah, N. R., Mamat, R., & Latip, S. A. (2013). Emissions of transesterification Jatropha-Palm blended biodiesel. *Procedia Engineering*, 68(December 2014), 265–270. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.178>