

**OPTIMASI PEMBAKARAN MINYAK JELANTAH/WASTE COOKING OIL
DENGAN PENAMBAHAN *PREHEATER* PADA *BURNER* DAN
FILTRASI PADA MINYAK JELANTAH**

TESIS



NAMA : ARIS MARGONO

NPM : 2025022002

**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

OPTIMASI PEMBAKARAN MINYAK JELANTAH/*WASTE COOKING OIL* DENGAN PENAMBAHAN *PREHEATER* PADA *BURNER* DAN FILTRASI PADA MINYAK JELANTAH

Oleh

Aris Margono

Dari tahun 2015 hingga 2020, konsumsi minyak goreng sawit tingkat rumah tangga di Indonesia rata-rata meningkat sebesar 2,32% per tahun. Kondisi ini menimbulkan permasalahan baru terhadap dampak yang ditimbulkan akibat sisa pemakaian minyak goreng. Gaya hidup yang konsumtif dan budaya kuliner menyebabkan terjadi peningkatan pemakaian minyak goreng sehingga menghasilkan produk sisa minyak jelantah/*Waste Cooking Oil (WCO)* yang dibuang ke lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh sifat fisis WCO setelah dilakukan *treatment* penyaringan menggunakan media zeolit dan ampas tebu. WCO digunakan sebagai bahan bakar pada proses pembakaran luar (*Eksternal Combustion*). Pembuatan *burner* dengan penambahan *preheater* digunakan untuk menyesuaikan karakteristik bahan bakar WCO yang mempunyai viskositas yang tinggi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan *treatment* terhadap WCO dan melakukan penambahan *preheater* pada *burner*. Penyaringan WCO dilakukan dengan bahan penyaring zeolit dan ampas tebu dengan perbandingan WCO dan bahan penyaring 5:1.

Hasil penelitian menunjukkan penyaringan WCO mampu memperbaiki sifat fisis bahan bakar yaitu zeolit mampu mengurangi kandungan air dari 3,58% menjadi 0,17% dan kandungan kotoran dari 3,12% menjadi 2,85% sedangkan ampas tebu mampu mengurangi kandungan air dari 3,59% menjadi 1,51% dan kandungan kotoran 3,12% menjadi 3,06%. Penyaringan menggunakan media zeolit memberikan hasil yang lebih baik daripada dengan ampas tebu. Kemampuan zeolit dalam mengurangi kandungan air mencapai 95% sedangkan ampas tebu 57%. Kemampuan zeolit dalam mengurangi kandungan kotoran mencapai 20% sedangkan ampas tebu 12%. Kandungan air dan kandungan kotoran berpengaruh terhadap distribusi temperatur api pada *burner*. Temperatur selubung api pada posisi 5 cm di atas ujung nosel (T1), dan 8 cm diujung nosel (T2) yaitu penyaringan dengan zeolit dengan tekanan 5 bar diperoleh T1 dan T2 rata-rata 869 °C dan 663 °C, tekanan 4 bar rata-rata 698 °C dan 493 °C, tekanan 3 bar rata-rata 633 °C dan 428°C. Penyaringan dengan ampas tebu pada tekanan 5 bar diperoleh T1 dan T2 rata-rata 788 °C dan 582 °C, tekanan 4 bar rata-rata 674 dan 468, dan pada tekanan 3 bar rata-rata 583°C dan 377°C.

Kata kunci : *WCO, burner, penyaringan, pembakaran*

Halaman Judul

**OPTIMASI PEMBAKARAN MINYAK JELANTAH/*WASTE COOKING OIL*
DENGAN PENAMBAHAN *PREHEATER* PADA *BURNER* DAN
FILTRASI PADA MINYAK JELANTAH**

Oleh

ARIS MARGONO

Tesis

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

Pada

**Program Pascasarjana Magister Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

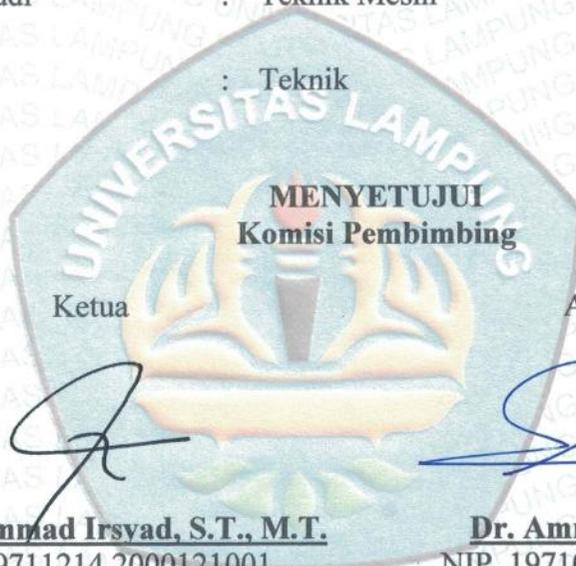
Judul Tesis : **Optimasi Pembakaran Minyak Jelantah/Waste Cooking Oil Dengan Penambahan Preheater Pada Burner Dan Filtrasi Pada Minyak Jelantah.**

Nama Mahasiswa : **Aris Margono**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2025022002

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



Ketua

Anggota

Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.

NIP. 19711214 2000121001

Dr. Amrul, S.T., M.T.

NIP. 197103311999031003

MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin

Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 197103311999031003

Gusri A. Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197108171998021003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Dr. Muhammad Irsyad, S.T., M.T.**

Anggota Penguji

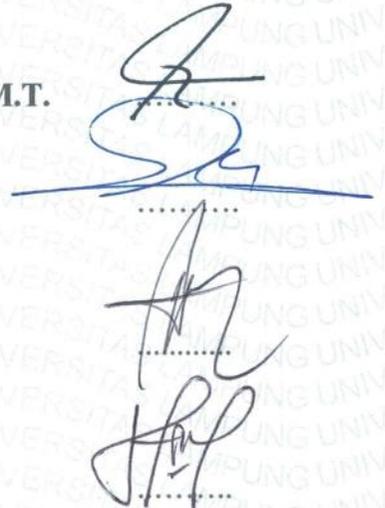
: **Dr. Amrul, S.T., M.T.**

Penguji Utama I

: **Amrizal, S.T., M.T., Phd.**

Penguji Utama II

: **Dr. Harmen, S.T., M.T.**

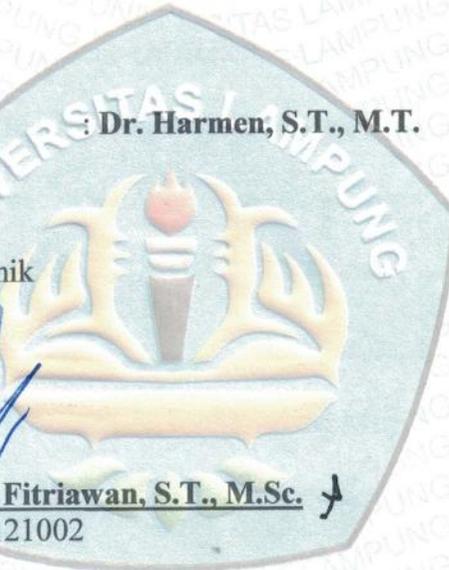


2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP 197509282001121002



3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 17 Juni 2023

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiat, saya bersedia tesis (MAGISTER) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 170).

Bandar Lampung, 17 Juni 2023

Yang Membuat,



Aris Margono
NPM 2025022002

PERSEMBAHAN

Dengan puji syukur kehadirat Allah SWT, Penulis persembahkan karya ini untuk :

1. Orang tuaku Alm. Prpto Wiyono, Ibu Surati dan Ibu Siti Zuhdiyah yang telah mendidik, membesarkan, mendewasakanmu dalam bersikap.
2. Istriku tercinta, almarhum Ulfa Diena Arifah, S.T., serta anak-anakmu Arfa Faqih Haidar, Alyaa Fauziah Khusnayain, Ahmad Fadhil Hakim, dan Aisyah Khamila Husna, terima kasih selalu mengisi hari-harimu dengan penuh keceriaan dan kebahagiaan.
3. Seluruh keluarga besar di Wonogiri dan di Solo atas segala motivasi dan dukungannya dalam menyelesaikan kuliah Magister Teknik Mesin.
4. Rekan kerja saya kantor direksi PTPN VII, atas *support* dan dukungannya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kawan-kawan seperjuangan Angkatan 2020 Magister Teknik Mesin Universitas Lampung, terimakasih atas segala bantuan dan kekompakannya.

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Wonogiri Provinsi Jawa tengah pada tanggal 08 Juli 1979 sebagai anak ke-lima dari enam bersaudara, dari Bapak Prpto Wiyono dan Ibu Surat

Pendidikan sekolah dasar di SD Pule I Wonogiri diselesaikan pada tahun 1992, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 1 Wonogiri selesai pada tahun 1995, Sekolah Menengah Atas di SMAN 3 Surakarta selesai tahun 1998 serta Pendidikan S-1 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada selesai di tahun 2005. Selama kuliah penulis pernah mengikuti kerja praktek/magang di perusahaan pertambangan batubara di PT. Bukit Asam Tbk, mengikuti pekerjaan *part time* pada PT. Surveyor Indonesia, Tahun 2020, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Pasca Sarjana Universitas Lampung pada Program Magister Teknik Jurusan Magister Teknik Mesin. Penulis memiliki pengalaman pekerjaan di Bagian *Engineering* Asian Agri International di Medan pada tahun 2005 sampai dengan 2009, kemudian ke Bagian Teknik Boiler Pabrik Gula Bungamayang pada tahun 2009-2015, dan saat ini Penulis ditempatkan di Kantor Direksi PT. Perkebunan Nusantara VII Bagian Pengawasan Operasioal Teknik dan Pengolahan yang membawahi seluruh unit pabrik dan kebun di regional Lampung, Sumatra Selatan dan Bengkulu.

Moto Hidup

"Jangan hanya berterima kasih kepada Allah ketika semuanya berjalan baik."

"Bersyukurlah karena kegagalan adalah cara Tuhan mengajari kita arti kesungguhan, bersemangat dan pantang menyerah."

"Ketahuilah bahwa rasa syukur merupakan tingkatan tertinggi, dan ini lebih tinggi daripada kesabaran, ketakutan (khauf), dan keterpisahan dari dunia (zuhud)." (Imam Al-Ghazali)

"Laa haula wala quwwata illa billah"
Tidak ada daya dan tidak pula kekuatan kecuali karena Allah"

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul “Optimasi Pembakaran Minyak Jelantah/*Waste Cooking Oil* Dengan Penambahan *Preheater* Pada *Burner* Dan Filtrasi Pada Minyak Jelantah” ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Teknik Mesin Universitas Lampung.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya, kepada :

1. Gusri Akhyar Ibrahim, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Magister Teknik Mesin atas kesempatan yang diberikan dalam menuntut ilmu di Universitas Lampung.
2. Dr. M.Irsyad, S.T., M.T., dosen pembimbing utama atas arahan dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi dalam proses penyelesaian tesis ini.
3. Dr. Amrul, S.T., M.T., selaku Dosen pembimbing kedua atas bimbingan dan arahan dalam proses penyelesaian tesis ini.
4. Dr. Harmen, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan demi penyempurnaan tesis ini selama proses pengujian.
5. Dr. Amrizal, S.T., M.T., PhD. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan arahan dan perbaikan tesis selama berlangsungnya penelitian.

6. Orang tuaku Alm. Prapto Wiyono, Ibu Surati dan Ibu Siti Zuhdiyah yang telah mendidik, membesarkan, mendewasakanmu dalam bersikap.
7. Istri ku tercinta, almarhum Ulfa Diena Arifah, S.T., pesanmu untuk saya bisa sekolah Pascasarjana telah tertunaikan, semoga kuburmu selalu diterangi dan menjadi taman-taman surga. Untuk anak-anakku Arfa Faqih Haidar, Alyaa Fauziah Khusnayain, Ahmad Fadhil Hakim dan Aisyah Khamila Husna, terima kasih selalu mengisi hari-hariku dengan penuh keceriaan dan kebahagiaan.
8. Keluarga besar di Wonogiri dan Solo, terimakasih atas *support* yang diberikan dalam proses belajar ini.
9. Kawan-kawan seperjuangan Angkatan 2020 Magister Teknik Mesin Universitas Lampung, terimakasih atas segala bantuan dan kekompakannya.
10. Teman-teman Kantor direksi PTPN VII dan seluruh unit di Lampung, Sumatra Selatan dan Bengkulu atas kerjasamanya, kalian sungguh luar biasa.

Akhir kata, penulis menyadari akan kekurangan dan kelemahan dalam penyajian tesis ini, oleh karena itu Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak yang sifat membangun dan sangat demi perbaikan di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 17 Juni 2023
Penulis

Aris

Margono

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR SIMBOL.....	vii
ABSTRAK	viii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	8
1.5 Batasan Masalah	8
1.6 Sistematika Penelitian.....	9
BAB 2. STUDI PUSTAKA	10
2.1 <i>State of The Art</i> Penelitian WCO dan <i>Burner</i> Proses Pembakaran...10	
2.2 Minyak Jelantah/ <i>Waste Cooking Oil (WCO)</i> Sebagai Bahan Bakar 18	
2.3 Pembakaran minyak jelantah (WCO).....	19
2.3.1 <i>Burner</i> Bertekanan	20
2.3.2 <i>Atomisasi</i> (Pengabutan) Cairan.....	21

2.3.3	<i>Reaksi Pembakaran</i>	23
2.3.4	Pembakaran Semprot (<i>Spray Combustion</i>)	26
2.4	Perpindahan Panas	30
2.4.1	Perpindahan panas konduksi	30
2.4.2	Perpindahan Panas Konveksi	33
2.4.3	Perpindahan Panas Radiasi	34
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN.....		37
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	37
3.2	Prosedur Penelitian	37
3.3	Spesifikasi Material dan <i>Desain Burner</i>	54
3.4	Pembuatan <i>Burner</i>	56
3.5	Bahan dan alat.....	59
3.6	Prosedur Percobaan.....	65
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....		69
4.1	Hasil Pengujian	69
4.2	Data Hasil Uji Laboratorium Bahan Bakar WCO	70
4.3	Data Hasil Uji <i>Burner</i> Bahan Bakar WCO.....	75
4.3.1	Pengukuran Tekanan Tangki	76
4.3.2	Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar.....	76
4.3.3	Pengukuran Temperatur Selubung Api <i>Burner</i>	77
4.3.4	Pengamatan Warna dan Jenis Nyala Api	78
4.4	Data dan Analisa	79
4.4.1	Pengaruh Tekanan Terhadap Temperatur dalam <i>Burner</i>	86
4.4.2	Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Konsumsi B.Bakar	87

4.4.3 Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Waktu perebusan	89
4.4.4 Pengamatan warna dan jenis api	90
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	96
5.1 Kesimpulan	96
5.2 Saran	97
Daftar Pustaka	98

Lampiran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Hubungan antara viskositas dan ukuran droplet	22
Gambar 2. 2 Sistem pembakaran semprot.	27
Gambar 2. 3 Tipe-tipe sistem injektor.....	28
Gambar 2. 4 Proses pembakaran semprot.....	30
Gambar 2. 5 Perpindahan panas konduksi	31
Gambar 2. 6 Kisaran konduktivitas termal dari berbagai bahan	32
Gambar 2. 7 Perpindahan panas konveksi	34
Gambar 2. 8 Perpindahan panas radiasi	35
Gambar 3. 1 Alur hipotesis hubungan suhu, viskositas, dan panjang pipa	40
Gambar 3. 2 Penampang pipa	41
Gambar 3. 3 Alur proses penelitian.....	51
Gambar 3. 4 Skema pengujian bahan bakar WCO	53
Gambar 3. 5 Skema Aliran WCO pada burner	54
Gambar 3. 6 Bagian dan ukuran utama burner	55
Gambar 3. 7 <i>Preheater</i> WCO.....	56
Gambar 3. 8 <i>Assembling burner</i> berbahan WCO.....	58
Gambar 3. 9 Tabung penyimpan minyak.....	60
Gambar 3. 10 <i>Burner</i> tempat keluarnya api.....	61
Gambar 3. 11 Temperature recorder	62
Gambar 3. 12 Setup peralatan <i>burner</i>	63
Gambar 3. 13 Peralatan SW <i>Isometric View</i>	63
Gambar 3. 14 Peralatan <i>Front View</i>	64
Gambar 3. 15 Peralatan <i>Top View</i>	64

Gambar 3. 16 Peralatan <i>2D Wireframe View</i>	65
Gambar 4. 1 Grafik hasil uji kandungan air dan kandungan kotoran	71
Gambar 4. 2 Metodologi penelitian dan sifat fisis WCO hasil penyaringan	74
Gambar 4. 3 Posisi penempatan termokopel.....	79
Gambar 4. 4 Gambar hubungan tekanan dan temperatur selubung api (T1)	84
Gambar 4. 5 Gambar hubungan tekanan dan temperatur selubung api (T2)	84
Gambar 4. 6 Gambar hubungan tekanan dan temperatur selubung api	85
Gambar 4. 7 WCO tidak disaring dan disaring dengan zeolit dan ampas tebu.....	85
Gambar 4. 8 Grafik hubungan tekanan dengan <i>flow</i> bahan bakar	88
Gambar 4. 9 Grafik hubungan tekanan dengan waktu perebusan.....	90
Gambar 4. 10 Karakteristik dan warna Api	92
Gambar 4. 11 Grafik viskositas mutlak fluida sebagai fungsi temperatur.....	94
Gambar 4. 12 Grafik viskositas sebagai fungsi temperatur	95

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data pemakaian minyak goreng.....	2
Tabel 2. 1 Rangkuman daftar pustaka.....	15
Tabel 2. 2 Kandungan minyak jelantah.....	20
Tabel 2. 3 Nilai konduktivitas panas beberapa bahan pada suhu ruang.....	33
Tabel 3. 1 persamaan yang digunakan dalam perpindahan panas konveksi.	44
Tabel 3. 2 Ukuran burner	56
Tabel 4. 1 Hasil uji kandungan air dan kandungan kotoran WCO.....	71
Tabel 4. 2 Hasil uji Asam Lemak Bebas (ALB) WCO.....	73
Tabel 4. 3 Fuel Properties WCO.....	75
Tabel 4. 4 Temperatur burner pada setiap variasi tekanan dan waktu perebusan.	80
Tabel 4. 5 Rata-rata Temperatur burner variasi tekanan dan waktu perebusan	83
Tabel 4. 6 Data temperatur masuk dan keluar preheater.....	86
Tabel 4. 7 Flow bahan bakar dengan berbagai macam tekanan	88
Tabel 4. 8 Flow bahan bakar dengan berbagai macam tekanan.....	88

DAFTAR SIMBOL

- Q_F : *Heat flux* berasal dari api (kW/m^2)
- Q_L : *Heat flux* yang hilang ke permukaan bahan bakar (kW/m^2)
- L_v : Panas yang diperlukan untuk menghasilkan material *volatile* (kJ/g)
- q_c : Laju perpindahan panas konveksi, (W)
- A : Luas permukaan perpindahan panas, (m^2)
- h : Koefisien perpindahan panas konveksi, ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
- T_f : Temperatur fluida, (K)
- T_w : Temperatur dinding, (K)
- q_r : Laju perpindahan kalor radiasi, (W)
- ε : Emisivitas benda,
- σ : Konstanta Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
- T : Perpindahan temperatur, (K)
- m : laju aliran massa (kg/s)
- c_p : panas jenis minyak WCO ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$)
- k : konduktivitas termal minyak WCO ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)
- h : koefisien pindah panas konveksi ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)
- A : luas kontak pindah panas (m^2)
- l : panjang bidang aliran pipa (m)
- T_a : suhu awal minyak ($^\circ\text{C}$)
- T_o : suhu dinding permukaan luar pipa ($^\circ\text{C}$)
- T_2 : suhu titik pusat bahan ($^\circ\text{C}$)
- r_i : jari-jari bagian dalam pipa (m)
- r_o : jari-jari bagian luar pipa (m)
- m_w : Massa air (kg)

- c_{pw} : Panas spesifik air = 4,180 KJ/kg
 T_1 : Temperatur awal air ($^{\circ}$ C)
 T_2 : Temperatur akhir air ($^{\circ}$ C)
 m_v : Massa uap (kg)
 c_{pv} : panas laten penguapan air (Kj/kg)
 m_f : Massa bahan bakar (kg)
LHV : nilai kalor bahan bakar (Kj/kg)
 T_{in} : Temperatur masuk pipa preheater ($^{\circ}$ C)
 T_{out} : Tempartur keluar Pipa pre heater ($^{\circ}$ C)

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Perkembangan ekonomi di era modern berdampak pada peningkatan konsumsi energi di berbagai bidang kehidupan. Tidak hanya negara-negara maju, tapi hampir semua negara berkembang termasuk Indonesia. Dampak lain terhadap perkembangan ekonomi dan peningkatan konsumsi energi adalah timbulnya sampah. Krisis cadangan minyak dunia, mendorong pemerintah untuk mengeluarkan Peraturan Pemerintah nomor 79 Tahun 2014 Tanggal 17 Oktober 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional dan Instruksi Presiden (Inpres) nomor 1 (satu) Tahun 2006 Terkait Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (BBN) sebagai bahan bakar lain. Kondisi pengelolaan sampah yang tidak tepat membuat pemerintah mengeluarkan Undang Undang (UU) Republik Indonesia nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengolahan Sampah, dalam undang undang tersebut menerangkan bahwa kondisi pengolahan sampah di Indonesia umumnya belum sesuai dengan metode pengolahan sampah yang berwawasan lingkungan sehingga menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Peraturan Menteri ESDM nomor 12 Tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 32 tahun 2008 terkait Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain menegaskan akan pentingnya pengelolaan bahan bakar nabati.

Tahun 2020 produksi *Crude Palm Oil* (CPO) Indonesia diperkirakan 40 juta ton, dari angka ini Indonesia masih tetap menjadi produsen CPO terbesar di dunia. Menginjak tahu 2022 berdasar laporan terakhir Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), total *Crude Palm Oil* (CPO) sepanjang Januari-Maret 2022 yang diproduksi sebanyak 11,15 juta ton. Adapun produksi *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO) pada periode sama sebesar 1,06 juta ton sehingga total produksi 12,2 juta ton. Jumlah produksi CPO ini terus meningkat setiap tahunnya. CPO merupakan bahan dasar yang digunakan dalam produksi minyak goreng. Data pemakaian minyak goreng menurut Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) dari Badan Pusat Statistik (BPS) , ditunjukkan pada Tabel 1.1 sebagai berikut :

Tabel 1. 1 Data pemakaian minyak goreng

Tahun	Konsumsi			Pertumbuhan %
	liter/kap/minggu	liter/kap/tahun	kg/kap/tahun	
2002	0,105	5,475	4,38	
2003	0,104	5,423	4,338	-0,95
2004	0,112	5,84	4,672	7,69
2005	0,115	5,996	4,797	2,68
2006	0,115	5,996	4,797	0
2007	0,142	7,404	5,923	23,48
2008	0,153	7,978	6,382	7,75
2009	0,157	8,186	6,549	2,61
2010	0,154	8,03	6,424	-1,91
2011	0,158	8,239	6,591	2,6
2012	0,179	9,334	7,467	13,29
2013	0,171	8,916	7,133	-4,47
2014	0,184	9,604	7,683	7,71
2015	0,215	11,211	8,969	16,73
2016	0,224	11,68	9,344	4,19
2017	0,206	10,719	8,575	-8,23
2018	0,208	10,865	8,692	1,36
Rata-rata	0,159	8,288	6,630	4,658
2019*)	0,215	11,194	8,955	3,03
2020*)	0,221	11,527	9,221	2,97
2021*)	0,227	11,857	9,488	2,89

Dari sisi konsumsi, data Survei Sosial Ekonomi Nasional (SUSENAS) Badan Pusat Statistik (BPS), fluktuasi perkembangan konsumsi minyak goreng sawit di

Indonesia selama periode 2015 – 2020, khususnya konsumsi minyak goreng sawit di tingkat rumah tangga, tercatat pemakaian minyak goreng sawit dalam rumah tangga sebesar 11,21 liter/kapita/tahun. Angka ini bertambah menjadi 11,52 liter/kapita/tahun pada tahun 2020. Antara tahun 2015 dan 2020, konsumsi minyak goreng sawit tingkat rumah tangga di Indonesia meningkat rata-rata sebesar 2,32% per tahun.. Kondisi ini menimbulkan permasalahan baru terhadap dampak yang ditimbulkan akibat sisa pemakaian minyak goreng. Minyak yang telah digunakan beberapa kali untuk penggorengan biasanya dibuang. Minyak ini disebut dengan minyak jelantah/*waste cooking oil* (WCO) atau juga disebut *Used Cooking Oil* (UCO). Jumlah ini tentu akan meningkat setiap tahunnya seiring dengan penambahan penduduk dan peningkatan budaya konsumtif kuliner masyarakat.

Kajian awal yang dilakukan oleh Tim Nasional Percepatan Penanggulangan Kemiskinan (TNP2K) dan *Traction Energy Asia* (TEA) mengenai potensi minyak jelantah untuk biodiesel dan dan produk lain menunjukkan bahwa pada tahun 2019, penggunaan dan konsumsi minyak goreng sawit di Indonesia mencapai 16,2 juta kilo liter (KL). Rata-rata, jumlah minyak jelantah yang dihasilkan adalah antara 40 dan 60 persen, atau 6,46 hingga 9,72 juta KL. Data tersebut menjelaskan bahwa hanya sebagian kecil minyak jelantah di Indonesia yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar biodiesel. Dari 3 juta KL yang berhasil dikumpulkan, hanya sekitar 570 KL digunakan untuk membuat biodiesel dan kebutuhan lainnya, dan sekitar 2,4 juta KL yang tersisa digunakan untuk minyak goreng daur ulang dan sebagian dikirim ke luar negeri. WCO biasanya dibuang ke saluran buang dan

tanah akan membahayakan lingkungan dan menurunkan kualitas air. Hal ini mengakibatkan kematian hewan dan tumbuhan ekosistem air seperti ikan, sedangkan dampak terhadap tanah adalah terjadi pemadatan tanah, tingkat absorpsi tanah berkurang, membunuh cacing dan mikroba yang dibutuhkan dalam kesuburan tanah, serta memperlambat terjadi perkecambahan serta berdampak terhadap tanaman. Upaya untuk mengumpulkan WCO dari rumah tangga, dan pedagang makanan, restoran maupun hotel masih sangat jarang.

Kondisi ini sangat memprihatinkan kalau tidak ada upaya dalam menyelesaikan persoalan WCO ini. WCO masih memiliki potensi untuk ditingkatkan nilai tambahnya sehingga dapat dimanfaatkan kembali. Beberapa cara untuk meningkatkan nilai tambah dari WCO adalah dijadikan bahan bakar langsung, biodiesel dan sebagai penyimpan energi termal. Riset-riset terkait dengan pengolahan WCO menjadi biodiesel sudah banyak dilakukan dan sifat-sifatnya sudah masuk dalam range standar sifat biodiesel. Untuk aplikasi menjadi biodiesel ini masih belum mencapai nilai ekonomis yang disebabkan oleh biaya produksinya masih tinggi. Riset pemanfaatan WCO untuk menyimpan energi termal juga sudah dilakukan namun belum mendapat nilai ekonomi yang tinggi. Terkait persoalan ini, ada beberapa pihak yang terlibat dalam mencarikan solusinya ini seperti pemerintah, perkebunan dan industri pengolahan sawit, peneliti/akademisi, serta masyarakat pengguna, untuk menambah nilai ekonomis WCO dengan tanpa menambah biaya produksi yang tinggi dan memiliki nilai ekonomis tinggi. Dengan cara ini maka masyarakat diharapkan tanpa bersusah payah menjadikan WCO sebagai bahan bakar tanpa perlu banyak biaya.

Minyak jelantah dapat digunakan untuk bahan bakar secara langsung pada metode pembakaran dalam (*internal combustions*) maupun pembakaran luar (*external combustions*). Pemanfaatan minyak jelantah untuk bahan bakar *internal combustion* membutuhkan waktu yang relatif cukup lama karena ada tahapan pengendapan, penyaringan dan pencucian. Selain waktu yang lama, proses ini juga membutuhkan biaya untuk katalisator dan aditifnya. Selain itu, proses ini tidak efektif untuk kondisi dimana volume jelantah sangat kecil. Memanfaatkannya secara langsung sebagai bahan bakar pembakaran luar adalah metode kedua yang lebih praktis karena tidak membutuhkan proses yang kompleks. Proses satu-satunya yang perlu dilakukan adalah menyaring minyak jelantah untuk menghilangkan kerak, kotoran, air, dan agregat. Metode ini dapat digunakan untuk berbagai ukuran volume, tetapi sangat cocok untuk ukuran yang lebih kecil.

Berdasarkan kondisi di atas maka perlu dilakukan kajian pengelolaan WCO dimasyarakat untuk peningkatan nilai tambah sehingga memberikan solusi terhadap produk sisa dan membantu mewujudkan ekonomi sirkular (*circular economy*) berbasis ekonomi kerakyatan, maka dalam penelitian ini WCO dikembangkan sebagai bahan bakar secara langsung pada pembakaran luar (*eksternal combustion*)

WCO mempunyai viskositas dan titik bakar yang tinggi maka penggunaan WCO memerlukan jenis *burner* tertentu. WCO memiliki sifat fisika dan kimia yang berbeda dengan minyak tanah. Selain itu, pada waktu penyalaan awal WCO sulit terbakar karena titik bakar yang tinggi karena tidak terjadi pengabutan. Oleh

karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang pemanasan awal dari bahan bakar yang mempunyai viskositas tinggi dengan menggunakan *burner* yang dilengkapi dengan *preheater*. Selain itu dilakukan penelitian WCO sebagai bahan bakar yang telah dilakukan *treatment* penyaringan untuk mengetahui pengaruhnya pada proses pembakaran luar (*eksternal combustion*).

Titik bakar dan viskositas bahan bakar menjadi hal yang penting dalam sistem pembakaran langsung pada *burner*, tahanan aliran akan meningkat dengan kenaikan viskositas. Karakteristik ini sangat penting karena kualitas penyemprotan bahan bakar sangat bergantung pada viskositas. Viskositas dapat dipengaruhi oleh temperatur. Pada *burner*, pemanasan awal dapat menurunkan viskositas bahan bakar hingga tercapai viskositas yang diinginkan agar minyak dapat terkabutkan dan terbakar dengan baik. Terdapat dua kemungkinan optimasi WCO sebagai bahan bakar. Pertama adalah menggunakan secara langsung WCO sehingga memiliki karakter hampir sama dengan minyak tanah dengan melakukan perlakuan khusus (filtrasi) dan kedua adalah melakukan pembuatan *burner* untuk disesuaikan dengan karakteristik WCO yang mempunyai viskositas tinggi, sehubungan dengan hal tersebut di atas, maka dalam penelitian ini dititik beratkan pada kedua proses tersebut yaitu dengan mempersiapkan (*treatment*) WCO dan menyiapkan *burner* agar bahan bakar tersebut dapat terbakar. Untuk melihat kemampuan WCO sebagai bahan bakar pada *burner* maka dilakukan pengujian tingkat efektifitasnya pada proses pembakaran.

Beberapa peneliti telah melakukan studi terkait pemanfaatan minyak jelantah diantaranya Gaurav Jambhulkar *et al.* (2015) melakukan penelitian untuk

mengetahui bahwa minyak jelantah dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak tanah. Campuran Minyak tanah dengan minyak jelantah dilakukan dengan berbagai macam variasi untuk mengetahui efektifitas pembakaran. Xie, H., *et al.* (2015) menyatakan semburan bahan bakar digunakan dalam proses pembakaran untuk tujuan mendapatkan energi dan tenaga. Sementara itu, nosel memainkan peran penting dalam atomisasi semburan dan pembentukan campuran bahan bakar udara dalam rangka untuk meningkatkan kinerja pembakaran, dan mengurangi beberapa produk polutan.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan memperhatikan latar belakang di atas, dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana mengelola minyak jelantah (WCO) agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada proses pembakaran luar (*eksternal combustion*)?
2. Membuat desain model *burner* dengan penambahan *preheater* yang sesuai dengan karakteristik minyak jelantah (WCO)?
3. Bagaimanakah pengaruh bahan bakar minyak jelantah (WCO) dan bentuk *burner* untuk proses pembakaran luar (*eksternal combustion*)?
4. Bagaimana parameter kinerja seperti temperatur selubung api, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, dan warna nyala api pada pemakaian WCO?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yaitu:

1. Untuk mengetahui sifat fisis WCO setelah dilakukan *treatment* penyaringan dan pengaruhnya pada proses pembakaran luar (*eksternal combustion*).

2. Membuat desain dan model *burner* dengan *preheater* yang sesuai dengan karakteristik bahan bakar WCO untuk proses pembakaran luar (*eksternal combustion*).
3. Mendapatkan nilai unjuk kerja dari alat yang dibuat serta karakteristik bahan bakar WCO.
4. Mewujudkan WCO sebagai bahan bakar pada proses pembakaran eksternal untuk mendapatkan nilai tambah dalam mewujudkan energi baru terbarukan.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, khususnya dibidang diversifikasi energi dengan pemanfaatan minyak jelantah/WCO menjadi bahan bakar alternatif.
2. Dapat digunakan sebagai *pilot project* pada pengolahan minyak jelantah di masyarakat
3. Menawarkan solusi penyelesaian terhadap sisa pemakaian minyak goreng yang lebih ekonomis dan mengurangi permasalahan pembuangan limbah minyak jelantah.

1.5 Batasan Masalah

Agar lebih terarah dan fokus perlu dilakukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Minyak jelantah atau WCO yang digunakan adalah hasil pengumpulan dari sisa pemakaian minyak goreng di masyarakat dengan perlakuan khusus (antara lain dengan penyaringan dengan media ampas tebu dan zeolit).

2. *Burner* yang digunakan dilengkapi dengan *preheater* untuk menyesuaikan kondisi WCO yang mempunyai viskositas tinggi.
3. Uji coba yang digunakan dengan *Water Boiling Test (WBT)* dilakukan untuk mendapatkan daya dan beban dan dilanjutkan mengukur waktu pendidihan air serta temperatur pada selubung api.

1.6 Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, dan sistematika penelitian.

BAB 2 : STUDI PUSTAKA Pada bab ini memuat teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN Pada bab ini terdiri atas hal-hal yang berhubungan dengan pelaksanaan penelitian, yaitu tempat penelitian, bahan penelitian, peralatan, dan prosedur pengujian.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN Pada bab ini berisikan hasil dan pembahasan dari data-data yang diperoleh saat pengujian dilaksanakan.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN Pada bab ini berisi hal-hal yang dapat disimpulkan dan saran-saran yang ingin disampaikan dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA Memuat referensi yang digunakan penulis untuk menyelesaikan laporan tugas akhir.

LAMPIRAN Memuat data-data pendukung penelitian.

BAB 2. STUDI PUSTAKA

2.1 *State of The Art* Penelitian WCO dan *Burner* Pada Proses Pembakaran

Penelitian tentang *burner* berbahan bakar WCO bukanlah ide baru dalam dunia teknologi, sebelumnya banyak peneliti yang telah melakukan penelitian akan hal ini. Teknologi rekayasa yang dilakukan juga bervariasi baik penelitian mengenai pengaruh diameter nosel dan temperatur terhadap proses pengkabutan, pengaruh panjang pemanas, pengaruh jenis material, geometri, tekanan pembakaran, variasi sudut *flame*, kondisi warna api, tujuannya adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari *burner* tersebut. Penelitian pemanfaatan WCO sebagai bahan bakar sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, namun tidak banyak yang membahas bagaimana pengaruh kandungan air dan kandungan kotoran WCO pada proses pembakaran. *Treatment* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penyaringan untuk mengetahui sifat fisis WCO sebelum dan setelah proses penyaringan. *Treatment* awal terhadap bahan bakar WCO dengan melakukan penyaringan dengan media zeolit dan ampas tebu untuk mengetahui kandungan air dan kandungan kotoran. *Burner* yang digunakan dengan penambahan *preheater* untuk menurunkan viskositas pada bahan bakar.

Minyak jelantah/WCO bisa diubah menjadi bahan bakar melalui proses atomisasi. Pembuatan butiran cairan di dalam fase gas dengan tujuan meningkatkan luas permukaan cairan dikenal sebagai proses atomisasi. Viskositas, tegangan permukaan, dan densitas fluida memengaruhi ukuran partikel yang dihasilkan

selama proses atomisasi (Graco, 1995). Setelah bahan bakar diatomisasi, dapat terjadi reaksi pembakaran, yaitu reaksi oksidasi antara bahan bakar dan oksidator. Reaksi ini menghasilkan panas dan api (Kenneth, 1986).

Berbagai macam penelitian WCO sebagai bahan bakar pada proses pembakaran langsung menggunakan *burner* telah dilakukan diantaranya:

Brandon Han (2020) menyatakan peningkatan konsumsi minyak nabati dan hewani oleh manusia telah menyebabkan meningkatnya limbah minyak goreng (WCO). Kemajuan teknologi baru-baru ini telah memungkinkan penggunaan WCO sebagai bahan baku berkelanjutan untuk produksi *biofuel*, sehingga memaksimalkan nilai *biowaste* sekaligus memecahkan masalah pembuangan limbah. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi reaksi adalah sifat bahan baku, proses katalis heterogen, efektivitas biaya dan selektivitas produk reaksi.

Yulianto (2015) melakukan uji *performance burner* bertekanan menggunakan campuran minyak tanah dan minyak jelantah dengan perbandingan 75%, 90% dan 100%. Beberapa pengujian dapat dilakukan untuk mengetahui kinerja pemanas, seperti lama penyalaan, tekanan minimal, kecepatan konsumsi bahan bakar, kalor sensibel, kalor laten, input energi panas, dan efisiensi termal. Semua pengujian diulang tiga kali. Pengujian kinerja pemanas dengan bahan bakar minyak jelantah seratus persen menghasilkan waktu penyalaan 11 menit, tekanan ideal 4 bar, laju konsumsi bahan bakar 0,375 kg/jam, dan efisiensi termal 36,99%. Pengujian dengan bahan bakar minyak jelantah 90 persen menghasilkan waktu penyalaan 10,85 menit, tekanan ideal 5 bar, laju konsumsi bahan bakar 0,400 kg/jam, dan efisiensi termal 29,7%.

Yohandri Bow1 (2021) melakukan penelitian terkait standar *Air Fuel Ratio* (AFR) optimal 12:1 menghasilkan energi maksimum, sedangkan AFR 16:1 menghasilkan nilai ekonomis maksimum untuk pembakaran. Pada kompor minyak goreng bekas (WCO) untuk mencapai kondisi optimal menggunakan laju aliran bahan bakar 2,5 mL/menit (bukaan katup terbuka), sedangkan laju aliran udara yang digunakan adalah 27,64 m/s. Pencampuran bahan bakar menggunakan solar bertujuan untuk meningkatkan nilai kalor bahan bakar dan meningkatkan cetane sehingga mudah untuk menyalakan api dan menghasilkan suhu pembakaran yang tepat. Komposisi yang optimal adalah 70:30 solar campuran minyak goreng bekas. Nyala api pembakaran tergantung pada AFR, dan suhu tertinggi berada pada AFR 10:1 dengan suhu 357°C dan semakin tinggi AFR yang dihasilkan api semakin besar dan lama. Efisiensi energi *burner* yang menggunakan 100% minyak goreng bekas adalah 3,45%. Konversi minyak goreng bekas menjadi bahan bakar minyak tanah, yaitu 1 liter minyak goreng bekas sama dengan 0,3 liter minyak tanah.

Anthony *et al.* (2018) merancang dan membuat *burner* dengan menambah isolasi yang lebih baik menggunakan *high* kepadatan batuan dan teknik penahan panas. Tujuannya adalah untuk menahan panas dan meminimalkan kehilangan panas pada peralatan pembakaran dengan tujuan untuk mengurangi jumlah bahan bakar yang digunakan selama proses pembakaran. Desain tungku disini menggabungkan interaksi fisik dan sifat termal batuan granit dengan teori kehilangan panas untuk memberikan satuan termal yang efisien.

Monikankana Sharma *et al.* (2016) melakukan penelitian pembakaran media berpori yang berpengaruh pada proses pembakaran yaitu efisiensi tinggi dan emisi

rendah, perlakuan ini telah di aplikasi luas di banyak sistem praktis seperti pembakaran internal mesin (*IC engine*), pemanas air, kompor LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), dan lain-lain. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dalam hal efisiensi dan emisi pada konsep media berpori yang digunakan pada *burner* tekanan minyak tanah dengan media yang terdiri dari alumina (Al_2O_3) dan silikon karbida (SiC). Kondisi untuk efisiensi dan emisi yang optimal dihitung melalui sistematika analisis dengan geometri *burner* dan perhitungan energi yang berbeda. Sorotan utama dari penelitian ini adalah bahwa efisiensi tertinggi *burner* dengan media berpori ditemukan ~10% lebih tinggi dari rata-rata termal efisiensi kompor yang tersedia di pasar.

Lapirattanakun (2017) pada penelitian ini adalah *burner* dengan desain baru menggunakan *Wasted Vegetable Oil (WVO)* sebagai bahan bakar. Media berpori yang berisi bola keramik bulat berdiameter 2 cm digunakan sebagai menjaga kestabilan api. Uap berhasil diterapkan dalam *burner* pada skala ini untuk mengatomisasi tetesan WCO dan memasukkan udara ke dalam zona pembakaran serta mengurangi jelaga dan emisi CO. Standar pengujian memakai DIN EN 203-1 dan eksperimen dilakukan pada berbagai laju pembakaran dengan laju aliran air 0,16, 0,20 dan 0,22 kg/menit. Penelitian ini melakukan evaluasi suhu, emisi, panjang nyala api yang terlihat, efisiensi termal serta efisiensi pembakaran. Di bawah desain WVOB saat ini, cocok untuk mengoperasikan *burner* pada kisaran laju pembakaran nominal antara 325 dan 548 kW/m^2 dengan laju aliran air 0,16 kg/menit, pada rasio tinggi *burner* terhadap diameter 0,75 menghasilkan CO dan

NO_x emisi hingga 171 dan 40 ppm, masing-masing (pada 6% O₂). Efisiensi termal sekitar 28% dimana efisiensi pembakaran sekitar 99,5%.

Consortio *et al.* (2017) melakukan penelitian rasio pencampuran minyak jelantah dan minyak tanah untuk melihat dampak api yang muncul. Hasil menunjukkan bahwa kinerja minyak jelantah dalam hal waktu untuk merebus yang diberikan volume air sebanding dengan minyak tanah. Diamati tampilan nyala dengan rasio pencampuran masing-masing 100:0, 50:50, 20:80, 0:100. Dari tampilan nyala api dapat diamati bahwa api yang dipancarkan oleh kedua campuran berbeda warna. Warna yang terlihat kekuningan, kemerahan hingga jingga atau kombinasi orange-merah atau oranye-biru. Selama percobaan, regulator hanya setengah terbuka. Warna api minyak tanah adalah kombinasi jingga dan biru sedangkan limbah minyak goreng kombinasi tiga warna yaitu kebiruan di bagian bawah, oranye dan kemerahan di bagian atas. Berdasarkan warna api yang dipancarkan, masih ada kebutuhan untuk meningkatkan desain alat penguap dan nosel untuk meningkatkan efisiensi kinerja dari kompor yang dimodifikasi. Sebuah studi dilakukan untuk mengevaluasi pemanfaatan minyak goreng bekas sebagai sumber bahan bakar alternatif memasak.

Ahmed Mahfouz, (2020) melakukan eksperimental yang bertujuan untuk memberikan wawasan mikroskopis tentang karakteristik nyala api konvensional (diesel ringan/berat) dan bahan bakar terbarukan (minyak jelantah).

Huangfu, (2014) Penelitian ini adalah untuk menyelidiki pengaruh kandungan air dalam bahan bakar terhadap kinerja kompor. Pelet kayu dengan kandungan air

5,9%, 9,4%, 18,2%, dan 22,1% digunakan sebagai bahan bakar dalam pengujian. Kompor semi-gasifikasi konsep alami digunakan dalam penelitian ini. Dua metode perhitungan efisiensi termal diadopsi dalam penelitian ini dan hasilnya dibandingkan. Diamati bahwa tingkat pembakaran, daya memasak, dan faktor emisi CO dan PM 2.5 semuanya menurun dengan peningkatan *Moisture Content* (MC) dalam bahan bakar, hasil yang diperoleh dalam penelitian ini memberi informasi yang berguna tentang efek MC dalam bahan bakar terhadap kinerja tungku semi-gasifikasi di laboratorium dan di lapangan. Rangkuman terkait beberapa penelitian *Burner*/tungku dengan memanfaatkan minyak jelantah/WCO sebagai bahan bakar dapat di lihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Rangkuman daftar pustaka

Pengarang	Judul	Pembahasan dan Hasil
Anthony et al. (2018)	<i>Design of an Improved Cooking Stove Using High Density Heated Rocks and Heat Retaining Techniques</i>	Merancang dan membuat tungku dengan menambah isolasi menggunakan <i>high</i> kepadatan batuan dan teknik penahan panas. Tujuannya adalah untuk menahan panas dan meminimalkan kehilangan panas pada peralatan pembakaran untuk mengurangi jumlah bahan bakar yang digunakan selama proses pembakaran
Yulianto (2015)	Uji Kinerja Kompor Spiral Tipe Vertikal Dengan Bahan Bakar Minyak Jelantah.	Melakukan uji <i>performance burner</i> bertekanan menggunakan campuran minyak tanah dan minyak jelantah dengan perbandingan 75%, 90% dan 100%. <i>Performance burner</i> dapat diketahui dengan melakukan beberapa pengujian antara lain: lama penyalaan, tekanan minimal, laju konsumsi bahan bakar, panas sensibel, panas laten, input energi panas dan efisiensi termal
Brandon Han (2020)	<i>Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production</i>	Menyatakan peningkatan konsumsi minyak nabati dan hewani oleh manusia telah menyebabkan meningkatnya limbah minyak goreng (WCO) produksi. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi reaksi adalah sifat bahan baku, proses katalitik heterogen, efektivitas biaya dan selektivitas produk reaksi.
Monikankan a Sharma et al. (2016)	<i>Usability of porous burner in kerosene pressure stove: An experimental investigation aided by energy and exergy analyses</i>	Melakukan penelitian pembakaran media berpori yang berpengaruh pada proses pembakaran yaitu efisiensi tinggi dan emisi rendah, perlakuan ini telah di aplikasi luas di banyak sistem praktis seperti pembakaran internal mesin (<i>IC engine</i>), pemanas air, kompor LPG (<i>Liquefied Petroleum Gas</i>), dan lain-lain
Yohandri Bow1 (2021)	<i>Analysis of Air Fuel Ratio on Combustion Flames of Mixture Waste Cooking Oil and Diesel using Preheating Method</i>	Standar AFR optimal 12:1 menghasilkan energi maksimum, sedangkan AFR 16:1 menghasilkan nilai ekonomis maksimum untuk pembakaran. Pada kompor minyak goreng bekas (WCO) untuk mencapai kondisi optimal menggunakan laju aliran bahan bakar 2,5 mL/menit (bukaan katup terbuka), sedangkan laju aliran udara yang digunakan adalah 27,64 m/s.

Pengarang	Judul	Pembahasan dan Hasil
Lapirattanakun (2017)	<i>Developement of porous media burner operating on waste vegetable oil</i>	Penelitian ini memperkenalkan Kompor masak dengan desain baru menggunakan Wasted Vegetable Oil (WVO) sebagai bahan bakarnya. Media berpori yang berisi bola keramik bulat berdiameter 2 cm digunakan sebagai penstabil api.
Consortio et al. (2017)	<i>Utilization Of Used Cooking Oil As An Alternative Cooking Fuel Resource</i>	Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mengetahui rasio minyak jelantah dan minyak tanah untuk melihat dampak api yang muncul. Hasil menunjukkan bahwa kinerja minyak jelantah dalam hal waktu untuk merebus yang diberikan volume air sebanding dengan minyak tanah. Diamati tampilan nyala dengan rasio pencampuran masing-masing 100:0, 50:50, 20:80, 0:100. Dari tampilan nyala api dapat diamati bahwa api yang dipancarkan oleh kedua campuran berbeda warna.
Xie, H., et al (2015)	<i>An experimental study on the macroscopic spray characteristics of biodiesel and diesel in a constant volume chamber</i>	Semburan bahan bakar digunakan dalam proses pembakaran untuk tujuan mendapatkan energi dan tenaga. Sementara itu, nosel <i>effervescent</i> bahan bakar dan bahan bakar memainkan peran penting dalam atomisasi semburan dan pembentukan campuran bahan bakar udara untuk meningkatkan kinerja pembakaran, dan mengurangi beberapa produk polutan
Ahmed Mahfouz (2020) et al.	<i>Comparative study among waste cooking oil blends flame spectroscopy as an alternative fuel through using an industrial burner</i>	Investigasi eksperimental yang disajikan bertujuan untuk memberikan wawasan mikroskopis ke karakteristik api konvensional (solar ringan/berat), bahan bakar terbarukan (minyak jelantah), dan campurannya dengan minyak diesel ringan/berat. Pemrosesan gambar api hyperspectral terbukti menjadi alat yang sangat berguna untuk menentukan lokasi, ukuran, dan karakteristik zona api.
Olawole Abiola Kuti et al (2020)	<i>Spray combustion simulation study of waste cooking oil biodiesel and diesel under direct injection diesel engine conditions</i>	Karakteristik pembakaran semprot biodiesel minyak jelantah (WCO) dan solar konvensional disimulasikan menggunakan model berbasis RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes). Proses pengapian utama terjadi pada temperatur tinggi dengan terbentuknya radikal OH. Nyala dingin memainkan peran lebih besar dalam menstabilkan nyala api hilir dari kedua bahan bakar. Kenaikan tekanan injeksi menyebabkan lokasi nyala api yang dingin terdorong lebih jauh. WCO memiliki panjang lift-off yang lebih pendek dibandingkan dengan diesel karena nyala apinya yang dingin lebih dekat ke injektor.
Gy. Hidegh et all (2020)	<i>Experimental investigation of waste cooking oil combustion in a novel turbulent swirl burner</i>	Penelitian berfokus pada analisis pembakaran biodiesel minyak jelantah (WCO). Eksperimen dilakukan dalam pembakar pusaran turbulen baru, yang menampilkan alat penyemprot semburan udara jet sentral. Bergantung pada suhu pemanasan awal udara pembakaran dan tekanan atomisasi, api lurus dan berbentuk V tercapai. Selain itu, kondisi tertentu memungkinkan pembakaran terdistribusi, cara baru untuk mengurangi emisi. Konsep baru ini disebut pembakaran Mixture Temperature-Controlled (MTC). Ini fitur pusaran rendah dengan injeksi udara dingin sentral untuk menunda pengapian, memfasilitasi pembentukan campuran uap-udara bahan bakar yang lebih homogen.

2.2 Minyak Jelantah/*Waste Cooking Oil (WCO) Sebagai Bahan Bakar*

Bahan bakar fosil telah mendorong industrialisasi, pembangkit listrik, transportasi, dan konsumsi rumah tangga selama berabad-abad (Qinet *et al.*, 2017). Namun, tingginya tingkat penipisan bahan bakar fosil konvensional merupakan kontributor utama krisis energi dan dilema pencemaran lingkungan (Huang *et al.*, 2014; Shen *et al.*, 2013a,b). Hal ini mendorong pemerintah dan peneliti secara global untuk mencari sumber energi alternatif. Dengan mempertimbangkan prinsip berkelanjutan dan ramah lingkungan, biofuel akan menjadi solusi yang menjanjikan untuk menggantikan bahan bakar fosil, namun produksi massal tanaman bioenergi yang disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan energi selalu mengorbankan tanaman pangan dan melonjaknya harga tanaman (Tan *et al.*, 2011). Limbah minyak, seperti minyak jelantah (WCO) dan limbah minyak pelumas (WLO), dapat mengurangi risiko tersebut karena potensi hasil yang besar dan pasokan murah (Singhabhandhu dan Tezuka, 2010).

WCO dimanfaatkan menjadi bahan bakar baik secara langsung maupun diolah menjadi biodiesel. Dari beberapa penelitian menunjukkan penggunaan WCO sebagai bahan bakar langsung tidak kalah bagus dibandingkan dengan minyak tanah. Nilai Pemanasan WCO berkisar antara 32,2- 41,8 MJ/kg, sedangkan minyak tanah adalah 41 MJ/kg. Peningkatan konsumsi minyak nabati dan hewani oleh manusia telah menyebabkan meningkatnya limbah minyak goreng (Brandon Han Goh, *at all* 2020). Penggunaan langsung WCO sebagai bahan bakar untuk *engine* adalah dengan melakukan pemanasan awal sebelum masuk ke dalam *engine*. Ada juga dilakukan pencampuran WCO dengan biodiesel dengan

beberapa variasi komposisi sebagai bahan bakar *engine*. Ini menunjukkan pemanfaatan WCO juga akan memberikan hasil yang baik dalam pembakarannya. Catatan penting dalam pemanfaatan WCO pada pembakaran langsung adalah menaikkan tekanan hingga 2 bar atau lebih dan menaikkan temperatur WCO dengan menambahkan pipa koil pada *burner*.

2.3 Pembakaran minyak jelantah (WCO)

Minyak jelantah atau WCO juga dapat mencemari air di saluran air, sungai, atau waduk. Minyak jelantah mengalir ke sumber air dan waduk dapat menutupi lapisan permukaan air, menyebabkan sinar matahari tidak tembus ke dalam air dan dapat merusak biota air.

Flash point minyak jelantah sebesar 196°C, *fire point* minyak jelantah sebesar 218°C, densitas minyak jelantah sebesar 0,898 Kg/L, nilai kalor sebesar 39,53 MJ/kg. Minyak jelantah yang berasal dari minyak goreng sawit memiliki kandungan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2 data sebagai berikut (Adhari, dkk 2016)

Tabel 2. 2 Kandungan minyak jelantah

Kriteria	Satuan	Nilai
Asam Palmiat	%	21,47
Asam Stearat	%	13
Asam Oleat	%	28,64
Asam Linoleat	%	13,58
Asam Linoleneat	%	1,59
Asam Miristat	%	3,21
Asam Laurat	%	1,2
Lain-lain	%	9,34

Dengan melihat nilai *flash point*, *fire point*, nilai kalor dan kandungan minyak jelantah seperti pada Tabel 2.2 maka dapat dilakukan penelitian terkait kesiapan WCO sebagai bahan bakar.

2.3.1 *Burner Bertekanan*

Burner bertekanan berbahan bakar minyak tanah telah dikenal dan dipergunakan secara luas sebagai alat untuk memanaskan dikalangan masyarakat di Indonesia. Desain *burner bertekanan* yang mempergunakan pembakaran dengan prinsip tekanan secara umum, *burner bertekanan* menghasilkan *power output* dan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi. Prinsip kerja *burner bertekanan* adalah mengubah bahan bakar dari fase cair menjadi fase gas atau uap dan membakarnya dengan oksigen sehingga menyala dan menghasilkan energi panas.

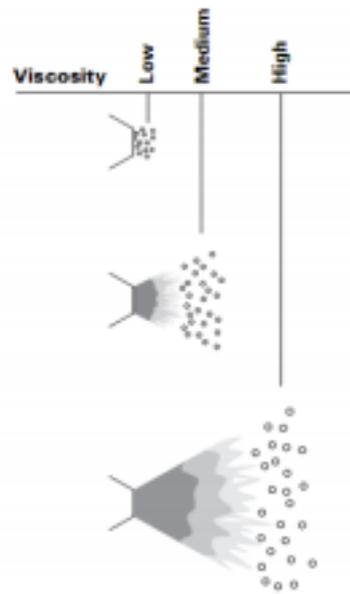
Pada pembakaran dengan bahan bakar berfasa cair, diperlukan suatu usaha untuk memperluas luas permukaan bahan bakar dan udara. Ini sejalan dengan Hukum Ficks, yang menyatakan bahwa luas bidang kontak dan gradien konsentrasi molekul bahan bakar mempengaruhi laju perpindahan massa oksigen ke dalamnya. Proses pencampuran udara dan bahan bakar mempengaruhi efisiensi pembakaran langsung. Proses ini dapat terjadi di dalam ruang pembakaran atau di

luar ruang pembakaran. Untuk meningkatkan luas permukaan kontak bahan bakar, salah satunya digunakan sistem pembakaran semprot atau *spray combustion*, seperti pada tungku pembakaran industri, mesin diesel, dan pemanas bertekanan.

2.3.2 Atomisasi (pembuatan kabut) Cairan

Dalam proses atomisasi dimulai dengan cara mendorong cairan melalui nosel. Dalam hal ini energi potensial cairan (diukur sebagai tekanan cairan untuk nosel hidrolis atau tekanan udara dan cairan untuk nosel pneumatik) dan geometri nosel mengubah cairan menjadi bongkahan kecil. Bongkahan ini kemudian pecah menjadi bagian yang sangat kecil yang dikenal sebagai butiran (*droplet*). Setiap semburan (*spray*) menghasilkan rentang besar butir. Rentang ini disebut dengan distribusi besar butir (*drop size distribution*) dan sangat berbeda untuk setiap jenis nosel. Sifat-sifat fisis cairan dan kondisi operasi adalah faktor lain yang dapat mempengaruhi besar butir.

Menurut Graco (1995), ada berbagai faktor yang mempengaruhi ukuran dari *droplet*. Diantara faktor-faktor tersebut adalah sifat-sifat cairan, seperti viskositas, tegangan permukaan, dan kerapatan seperti Gambar 2.1 sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Hubungan antara viskositas dan ukuran *droplet* (Graco 1995)

a. Viskositas

Viskositas fluida mempengaruhi tegangan permukaan dan ukuran butiran *droplet*. Dengan demikian, viskositas menyebabkan fluida lebih tahan terhadap agitasi dan cenderung mencegah cairan memecah, yang berarti ukuran *droplet* rata-rata akan lebih besar. Hubungan antara viskositas dan ukuran *droplet* ketika atomisasi terjadi dapat dilihat pada Gambar 2.1.

b. Tegangan permukaan

Tegangan permukaan memiliki kecenderungan untuk menstabilkan cairan dan menghentikannya berpecah menjadi partikel yang lebih kecil. Cairan dengan

tegangan permukaan yang lebih tinggi cenderung memiliki ukuran rata-rata tetesan yang lebih besar pada proses atomisasi.

c. Densitas

Densitas membuat cairan mempertahankan akselerasi. Densitas sebanding dengan tegangan permukaan dan viskositas dan secara umum cenderung menghasilkan ukuran tetesan yang lebih besar. Dalam proses pembuatan butiran cairan di dalam kondisi fase gas, dalam hal ini densitas gas jauh lebih kecil dari densitas cairan. Sehingga mekanisme formasi butiran jauh berbeda untuk perbedaan densitas yang rendah, terutama pada kecepatan tinggi. Pengabutan kebanyakan digunakan untuk keperluan pengabutan bahan bakar, pembuatan produk berbentuk granular (bongkahan), operasi perpindahan massa, dan pelapisan permukaan (pengecatan dan lain-lain).

Semburan bahan bakar biasanya digunakan dalam proses pembakaran untuk tujuan mendapatkan energi dan tenaga. Sementara itu, nosel dan bahan bakar memainkan peran penting dalam atomisasi semburan dan pembentukan campuran bahan bakar udara untuk meningkatkan kinerja pembakaran, dan mengurangi beberapa produk polutan (Xie, H *et Al.* 2015).

2.3.3 Reaksi Pembakaran

Pengertian pembakaran adalah reaksi kimia eksotermik yang diikuti timbulnya kalor, nyala/cahaya, asap dan gas dari bahan yang terbakar, atau dalam hal ini pembakaran merupakan reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai munculnya cahaya dan menghasilkan panas. Pembakaran

disebut sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen yang berasal dari udara mempunyai perbandingan yang tepat, sehingga tidak diperoleh sisa. Kondisi jika oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran "lean" (miskin). Namun, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), disebut campuran "rich" (kaya). Angka Perbandingan antara jumlah udara dengan jumlah bahan bakar disebut dengan *Air Fuel Ratio* (AFR). Perbandingan ini dapat dibandingkan dalam jumlah massa ataupun volume yang dinyatakan seperti Persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$AFR = \frac{m_{fuel}}{m_{air}} = \frac{V_{fuel}}{V_{air}} \dots\dots\dots 2.1$$

Nilai AFR dapat dihitung dengan melakukan percobaan pembakaran yang sebenarnya, nilai ini disebut AFR aktual. AFR stoikiometrik adalah AFR yang dapat diperoleh dari persamaan reaksi pembakaran. Faktor Rasio Bahan Bakar (FAR), atau perbandingan jumlah bahan bakar dengan jumlah udara adalah yang berlawanan dengan nilai AFR. Perbandingan nilai AFR ini dapat dihitung dengan menghitung nilai Rasio Ekuivalen (ϕ) seperti yang di tuangkan dalam Persamaan

2.2 sebagai berikut:

$$\phi = \frac{AFR_{sto}}{AFR_{akt}} = \frac{FAR_{akt}}{FAR_{sto}} \dots\dots\dots 2.2$$

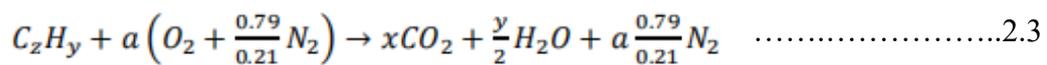
Dimana jika nilai rasio ekuivalen tersebut:

$\phi > 1$: Kondisi dimana terdapat kelebihan bahan bakar dan campuran disebut campuran kaya bahan bakar (*fuel-rich mixture*)

$\phi < 1$: Kondisi dimana terdapat kelebihan udara dan campuran disebut campuran miskin bahan bakar (*fuel-lean mixture*)

$\phi = 1$: kondisi dimana terjadi campuran stoikiometri.

Dalam rangka memperoleh nilai AFR, diperlukan perhitungan untuk menjaga keseimbangan atom C, H, dan O dalam reaksi pembakaran. Rumus umum yang digunakan untuk reaksi pembakaran dengan udara kering dapat dilihat pada Persamaan 2.3 sebagai berikut:



Reaksi pembakaran diatas adalah reaksi pembakaran sempurna (stoikiometri), dalam hal ini semua hidrogen dan karbon di dalam bahan bakar teroksidasi semuanya menjadi H₂O dan CO₂. Udara yang dipakai dalam proses reaksi pembakaran sejumlah 0,79 kmol nitrogen dan 0,21 kmol oksigen. Proses reaksi pembakaran dapat terjadi dalam 2 (dua) cara, yaitu *premixed* dan *non-premixed*. Api *premixed* terjadi apabila bahan bakar dan udara sudah dicampur terlebih dahulu sebelum terjadinya reaksi pembakaran. Contoh dari api jenis itu adalah pada busur nyala api las dan pada motor pembakaran dalam. Sedangkan api *non-premixed* merupakan api yang berasal dari bahan bakar dengan cara mengambil udara secara difusi dari lingkungan sekitarnya. Pada api *non-premixed*, besarnya kecepatan pembakaran dihitung dari kecepatan suplai bahan bakar. Pada bahan bakar padat dan cair, laju tersebut merupakan laju suplai material *volatile* dari permukaan bahan bakar. Sehingga besarnya laju pembakaran dapat di lihat seperti pada Persamaan 2.4 seperti berikut:

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}_F - \dot{Q}_L}{L_V}, \text{ g/m}^2 \cdot \text{s} \dots\dots\dots 2.4$$

dimana:

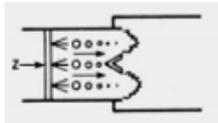
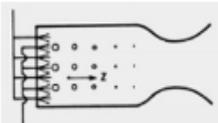
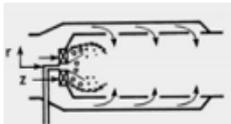
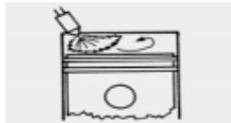
- \dot{Q}_F : *Heat flux* berasal dari api (kW/m²)
- \dot{Q}_L : *Heat flux* yang hilang ke permukaan bahan bakar (kW/m²)
- L_V : Panas yang diperlukan untuk menghasilkan material *volatile* (kJ/g),
dimana untuk bahan bakar cair sama dengan nilai panas penguapannya.

Agar bahan bakar dapat terbakar, bahan bakar dalam bentuk zat awal selain gas (padat atau cair) harus mengalami perubahan bentuk menjadi gas. Sementara hampir semua bahan bakar padat membutuhkan dekomposisi kimiawi yang dikenal sebagai pirolisis untuk menghasilkan produk yang berat molekulnya cukup ringan sehingga dapat menguap dan terbakar, bahan bakar cair hanya dapat melakukan proses ini dengan menguapkannya saja.

2.3.4 Pembakaran Semprot (*Spray Combustion*)

Pembakaran semprot dapat terjadi dengan berbagai macam cara, berdasarkan aplikasi, konfigurasi, dan strukturnya. Kenneth (1986) membagi sistem pembakaran semprot menjadi sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Sistem pembakaran pada *burner* minyak bertekanan dapat didekati dengan pembakaran semprot (*spray combustion*), seperti yang ada dalam sistem pembakaran pada tungku industri (*industrial furnace*). Pada sistem pembakaran tungku minyak terdapat sedikit perbedaan, dalam kondisi ini sistem pembakaran terbagi dalam dua bagian utama, yaitu *primary zone*, dimana bahan bakar diinjeksi

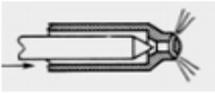
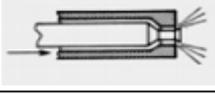
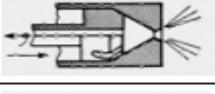
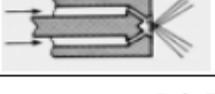
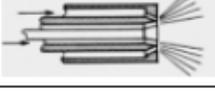
ke dalam aliran udara untuk membentuk campuran reaktan yang hampir stoikiometri dalam aliran dua fasa dan *secondary zone*, dimana pembakaran secara lengkap berlangsung. Sistem pembakaran ini dikategorikan sebagai *diffusion flame*.

Aplikasi	Konfigurasi	Variable Bebas	Struktur
Prevaporizing System : Afterburners, lean combustors, carburetors, ramjets		z	Steady nonburning
Liquid-fueled rocket engines		z	steady, more or less premixed
Gas-turbine combustors		z	steady, diffusion flame
Industrial furnace		x, y, z	steady, diffusion flame
Diesel Engines		f, x, y, z	Transient, diffusion flame, ignition characteristic needed

Gambar 2. 2 Sistem pembakaran semprot.
(Kenneth 1986)

Desain injektor sangat memengaruhi kinerja sistem pembakaran semprot. Sudut penyemprotan, karakteristik bentuk semprotan, dan distribusi ukuran butiran (ukuran droplet) merupakan faktor yang dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu injektor. Namun bentuk semprotan juga dipengaruhi oleh kondisi aliran dan bahan bakar. Tipe dan jenis sistem injektor bisa dilihat pada Gambar 2.3. Sistem

injektor dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yang pertama *pressure atomizing injector*, dalam hal ini hanya bahan bakar cair yang melewati injektor dan atomisasi diperoleh dengan baik karena adanya penurunan tekanan, dan yang kedua *twin-fluid injector*, dalam hal ini atomisasi bahan bakar cair terjadi akibat adanya aliran udara melalui injektor dengan kecepatan yang tinggi (Faeth 1986)

Type	Konfigurasi	Struktur	Aplikasi
Pressure Atomizing Injector			
Plain orifice		Hollow Cone	Diesel Engine
Pintle nozzle		Full cone or multiple cone	Diesel Engine, gas turbin
Swirl nozzle return		Hollow Cone	Furnace Gas Turbin
Impinging jet		Fan Spray	Rocket engines
Twin Fluid Injector			
Internal Mixing		Full or hollow cone	Furnace, gas turbin
External mixing		hollow cone	Furnace, gas turbin

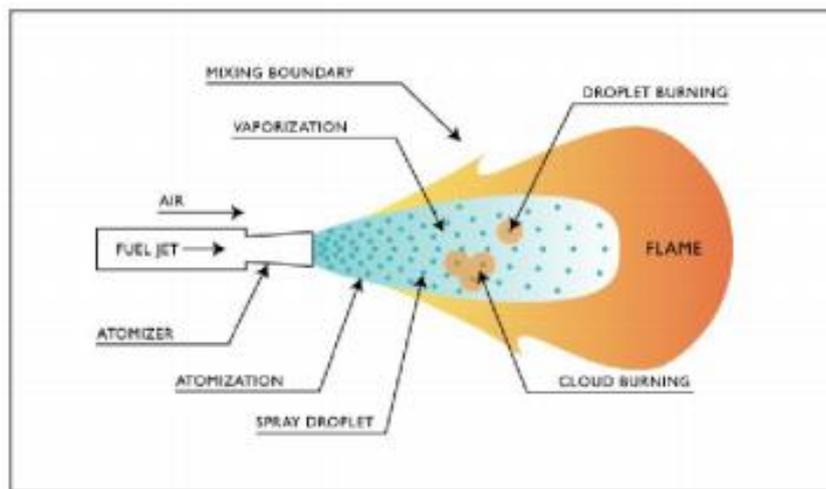
Gambar 2. 3 Tipe-tipe sistem injektor
(Kenneth 1986)

Pada tungku minyak yang mempunyai tekanan, jenis injektor yang digunakan adalah jenis yang pertama, yaitu *pressure-atomizing injector* yang mempunyai bentuk *hollow cone*. Dalam kasus tungku/*burner* bertekanan, bahan bakar cair ditekan didalam tangki minyak melalui pemompaan oleh pompa

tangan/kompresor lalu dialirkan melalui injektor, disebabkan penurunan tekanan yang tiba-tiba, cairan minyak akan berubah menjadi fasa gas. Cairan tersebut mengalami evaporasi dalam vaporizer dan selanjutnya dipancarkan melalui nosel kedalam *burner head* dimana jet tersebut bercampur dengan udara ambien. Minyak diinjeksi masuk kedalam ruang bakar dan pecah secara pneumatik atau mekanik kedalam sprayer menjadikan bentuk butir halus. Proses Penguapan minyak terjadi pada permukaan *droplet* akibat proses absorpsi panas dari nyala (*flame*).

Jenis injektor yang pertama digunakan untuk tungku minyak bertekanan. Injektor bertekanan dengan bentuk *cone* kosong menekan bahan bakar cair di dalam tangki minyak melalui pemompaan pompa tangan atau kompresor. Setelah penurunan tekanan yang tiba-tiba, cairan minyak berubah menjadi fasa gas. Setelah dikeringkan dalam *vaporizer*, cairan dipancarkan ke dalam kepala pemanas melalui nosel, di mana jet bercampur dengan udara ambien. Saat kepala pemanas meninggalkan, campuran bahan bakar-udara terbakar dalam api campuran yang telah dicampur. Katup pengatur aliran bahan bakar mengontrol jumlah tenaga yang dibutuhkan. Minyak diinjeksi ke dalam ruang bakar dan dipecah ke dalam *sprayer* secara pneumatik atau mekanik menjadi butiran halus. Proses absorpsi panas dari api, menyebabkan minyak menguap pada permukaan *droplet*. Difusi udara yang masuk dalam *droplet* dihasilkan dalam proses penyalaan gas uap di sekeliling *droplet* yang disebut sebagai *droplet burning* atau pada sekumpulan *droplet* yang dikenal sebagai *cloud burning* sehingga mampu memanaskan *droplet* dan melepaskan uap bakar tambahan. Suatu daerah nyala atau *flame zona*

terbentuk dimana gas yang bersifat volatil bercampur dengan udara yang disuplai melalui pembakar. Penguapan *droplet* dan pembakaran sempurna dari gas harus terjadi sebelum penyerapan panas dari nyala dan pendingin yang berkelanjutan. Secara sederhana proses pembakaran semprot dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini :



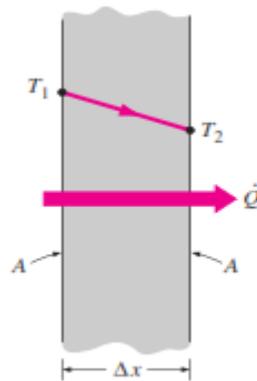
Gambar 2. 4 Proses pembakaran semprot
(Sonnichsen 2004)

2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat diartikan sebagai berpindahnya energi dari suatu daerah ke daerah lain sebagai akibat dari perbedaan temperatur antara daerah-daerah tersebut. Perpindahan panas atau perpindahan kalor dapat terjadi dengan tiga cara, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua cara perpindahan panas memerlukan suatu adanya perbedaan temperatur, dan semua cara perpindahan panas berlangsung dari media yang mempunyai temperatur tinggi ke media yang mempunyai temperatur lebih rendah (Cengel, 2003).

2.4.1 Perpindahan panas konduksi

Konduksi dapat digambarkan sebagai proses perpindahan energi dari energi yang lebih besar ke bagian energi yang lebih kecil yang disebabkan kedua bagian saling berinteraksi, sehingga dapat didefinisikan dengan suatu proses perpindahan panas dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi menuju daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu media (padat, cair dan gas), atau antara media-media yang berlainan yang bersinggungan secara langsung.



Gambar 2. 5 Perpindahan panas konduksi
(Cengel, 2002)

Dalam menghitung laju aliran secara konduksi dapat dijabarkan ke dalam Persamaan 2.5 yang dinyatakan dengan hukum Fourier (J. P Holman., 1997) , sebagai berikut:

$$q_{kond} = -kA(dt / dx) \dots\dots\dots 2.5$$

Dimana :

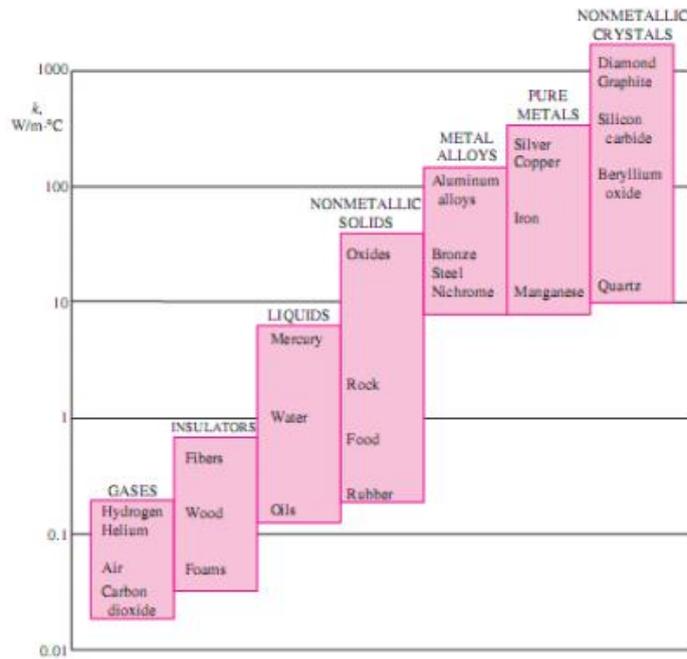
q_{kond} : Laju perpindahan panas konduksi, (W)

k : Konduktivitas thermal bahan, (W/m.K)

A : Luas penampang tegak lurus pada aliran panas, (m²)

dt/dx : Gradien temperatur dalam arah aliran panas

Nilai konduktivitas panas dapat menunjukkan tingkat kemudahan suatu bahan untuk mengalirkan panas yang dimiliki suatu benda. Bila zat tersebut mempunyai nilai konduktivitas panas besar, bahan tersebut semakin mudah dilewati oleh panas. Nilai konduktivitas panas dapat juga dipengaruhi oleh temperature. Setiap benda memiliki konduktivitas yang berbeda. Logam mempunyai konduktivitas panas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan benda lain. Beberapa nilai konduktivitas panas ditampilkan pada Gambar 2.6 dan Tabel 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2. 6 Kisaran konduktivitas termal dari berbagai bahan (Cengel 2003)

Tabel 2. 3 Nilai konduktivitas panas beberapa bahan pada suhu ruang

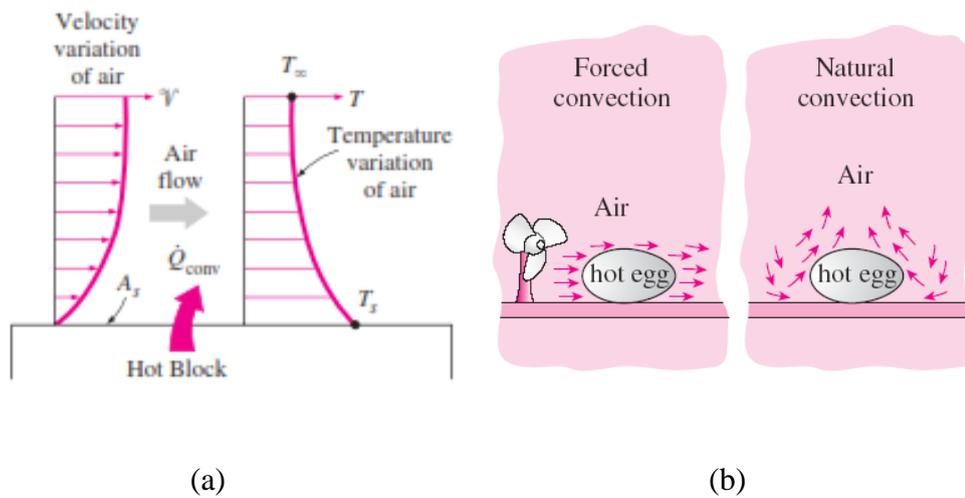
Bahan	k (W/m °C)
Berlian	2300
Perak	429
Tembaga	401
Emas	317
Aluminium	237
Besi	80.2
Raksa (cair)	8.54
Kaca	0.78
Bata	0.72
Air	0.613
Kayu (oak)	0.17
Helium	0.152
Udara	0.026

Sumber: Cengel (2003)

2.4.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah suatu proses perpindahan panas/kalor yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cair / gas). Panas secara konveksi menurut cara pergerakannya dibagi dua bagian yaitu :

1. Konveksi alamiah (*natural convection*) terjadi apabila gerakan pencampuran berlangsung semata-mata akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien massa jenis.
2. Konveksi paksa (*forced convection*) terjadi apabila gerakan pencampuran disebabkan oleh suatu alat dari luar seperti pompa atau kipas.



Gambar 2. 7 a. Perpindahan panas konveksi b. Perpindahan panas konveksi paksa dan konveksi alami.
(Cengel 2002)

Pada umumnya, perpindahan panas dengan cara konveksi antara suatu permukaan dengan suatu fluida dapat dihitung dengan suatu Persamaan 2.6 (J. P Holman., 1997), yaitu :

$$q_c = hA(T_w - T_f) \dots\dots\dots 2.6$$

Dimana :

- q_c : Laju perpindahan panas konveksi, (W)
- A : Luas permukaan perpindahan panas, (m²)
- h : Koefisien perpindahan panas konveksi, (W/m².K)
- T_f : Temperatur fluida, (K)
- T_w : Temperatur dinding, (K)

2.4.3 Perpindahan Panas Radiasi

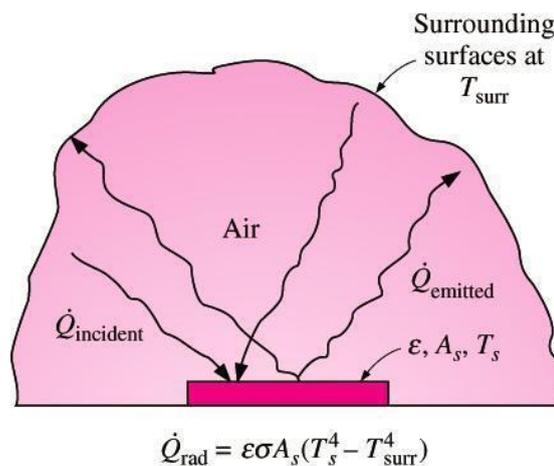
Perpindahan panas radiasi adalah kondisi perpindahan panas yang terjadi disebabkan pancaran/radiasi gelombang elektromagnetik, perpindahan panas ini

tanpa memerlukan media perantara, oleh karenanya dalam proses perpindahan panas radiasi dapat mengalir dari benda yang mempunyai temperatur tinggi menuju ke suatu benda yang mempunyai temperatur lebih rendah pada ruangan terpisah. Laju pancaran radiasi dalam suatu permukaan dapat digunakan Persamaan 2.7 sebagai berikut (J. P Holman., 1997):

$$q_r = \varepsilon\sigma A(T^4) \dots\dots\dots 2.7$$

Dimana :

- q_r : Laju perpindahan panas radiasi, (W)
- ε : Emisivitas material/benda,
- σ : Ketetapan Konstanta Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- T^4 : Perpindahan temperatur, (K)
- A : Luas permukaan bidang, (m^2)



Gambar 2. 8 Perpindahan panas radiasi (Cengel 2002)

Dalam kenyataannya, permukaan benda bukan merupakan pemancar atau pun penyerap yang sempurna dari proses radiasi termal. Permukaan itu ditandai oleh

fraksi-fraksi dari jumlah ideal yang dipancarkan (ϵ , emisivitas) dan diserap (α , absorptivitas).

Radiasi termal merupakan radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh permukaan sebuah benda berdasarkan temperaturnya yang melalui suatu ruangan dengan kecepatan cahaya. Radiasi termal dapat dipengaruhi oleh panjang gelombang dan arahnya. Namun dengan definisi bahwa benda hitam adalah penyerap radiasi yang sempurna, maka radiasi yang diserap pada benda hitam tidak dipengaruhi oleh panjang gelombang atau arah insiden radiasi.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Minyak Jelantah (WCO) dapat dimanfaatkan dan memiliki nilai keekonomian, serta dapat meminimalisir dampak lingkungan, maka riset ini pelaksanaan dibagi atas tiga bagian utama, pengumpulan WCO sisa dari penjual gorengan, pengolahan WCO menjadi bahan bakar, dan pembuatan alat yang sesuai dengan karakteristik bahan bakar WCO. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif eksperimental skala laboratorium, yang selanjutnya dapat diterapkan pada pengelolaan skala industri. Penelitian ini difokuskan pada penyediaan bahan WCO dan perangkat/alat yang dapat digunakan pada proses pembakaran luar (*Eksternal Combustion*)

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan Oktober 2022 sampai dengan bulan Mei 2023 bertempat di area Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung, Laboratorium Pabrik Kelapa Sawit Unit Bekri PTPN VII dan Laboratorium Lembaga Penelitian dan Pengkajian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada.

3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yang saling berhubungan. Identifikasi masalah menjelaskan secara garis besar target teknis yang ingin dicapai dalam penelitian ini, penelitian pendahuluan dilakukan untuk mendukung data-data yang akan digunakan pada simulasi selain data sekunder, menentukan hipotesis hubungan perubahan suhu dan viskositas minyak terhadap panjang pipa

pemanas minyak, menguji profil penyemprotan WCO, melakukan pembuatan koil *preheater* minyak berdasarkan hasil perhitungan hipotesis dan karakteristik pemanasan WCO, melakukan uji fungsional dari koil pemanas WCO, dan melakukan uji coba pembakaran peralatan *burner* bertekanan.

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan *burner* bertekanan, dengan penambahan *preheater*. Elemen pipa pemanas ini dirancang berbentuk koil. Panjang pipa yang akan dibentuk menjadi koil, diperoleh dari hasil perhitungan hipotesis hubungan perubahan suhu dan viskositas minyak terhadap panjang pipa pemanas minyak, dan uji profil penyemprotan WCO. Koil pipa pemanas minyak ini dirancang untuk dapat memanaskan WCO hingga mencapai suhu tertentu dimana viskositas WCO pada suhu tersebut mendekati nilai viskositas minyak tanah. Sumber pemanas adalah api hasil pembakaran WCO itu sendiri, sehingga proses pemanasannya berkesinambungan. Penurunan viskositas bertujuan agar WCO mempunyai karakteristik penyemprotan yang mirip dengan minyak tanah, sehingga diharapkan kualitas pembakarannya pun dapat mendekati kualitas pembakaran minyak tanah. Densitas minyak jelantah dapat ditentukan dengan

Persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

..... 3.1

dimana:

ρ : densitas (kg/l)

m : massa WCO (kg)

v : volume WCO (l)

a. Laju aliran massa

Laju aliran massa didapat dari pengukuran konsumsi bahan bakar pada *burner* bertekanan. Laju aliran massa diukur dengan cara memasukan WCO sebanyak 1-2 kg ke dalam tangki bertekanan. Kemudian tangki diberi tekanan sebesar 3, 4 dan 5 bar. Setelah itu burner dinyalakan untuk pemanasan awal 2-3 menit sampai memperoleh api stabil. Laju massa yang digunakan adalah waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan pada masing-masing tekanan. Laju aliran massa dihitung dengan Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$\dot{m} = \frac{(m_1 - m_2)}{t} \dots\dots\dots 3.2$$

dimana:

\dot{m} : laju aliran massa (kg/s)

t : waktu selama pembakaran (s)

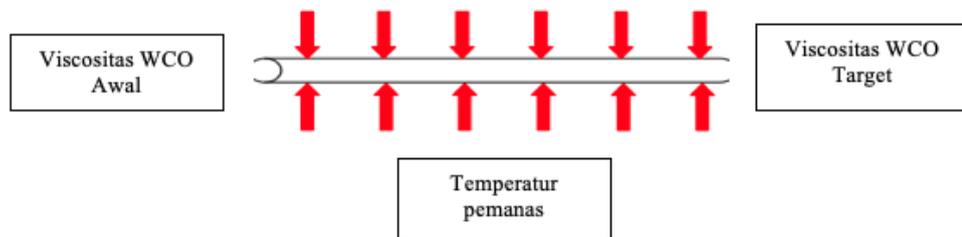
$(m_1 - m_2)$: selisih massa awal dan akhir pembakaran (kg)

b. Hipotesis Hubungan Perubahan Suhu dan Viskositas Minyak terhadap Panjang Pipa Pemanas Minyak

WCO memiliki viskositas yang cukup tinggi berbeda dengan minyak tanah.

Untuk dapat menggunakan WCO sebagai bahan bakar pada *burner*

bertekanan, maka WCO harus dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan ini bertujuan untuk menurunkan viskositas WCO agar mendekati nilai viskositas minyak tanah. WCO dipanaskan sambil dialirkan pada sebuah pipa besi jenis *Seamless Wrought steel Pipe*. Ketika WCO dialirkan sambil dipanaskan, maka akan terjadi perubahan temperatur dan viskositas WCO terhadap panjang pipa. Panjang pipa ketika viskositas mendekati nilai viskositas minyak tanah adalah panjang pipa yang akan digunakan untuk membuat pipa koil pemanas. Secara garis besar, hipotesis hubungan sebaran temperatur, viskositas, dan panjang pipa *preheater burner* bertekanan ini diilustrasikan oleh Gambar 3.1 berikut :

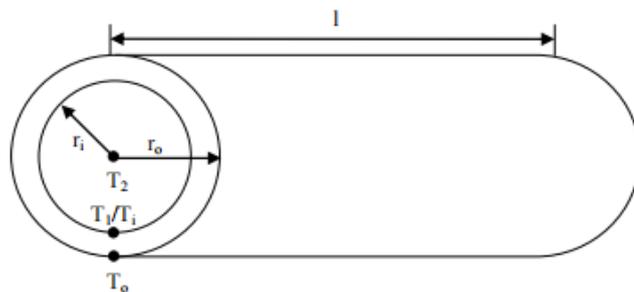


Gambar 3. 1 Alur hipotesis hubungan sebaran suhu, viskositas, dan panjang pipa

Ada beberapa asumsi yang digunakan pada hipotesis hubungan sebaran suhu, viskositas, dan panjang pipa untuk *burner* bertekanan ini. Asumsi yang dipakai adalah sebagai berikut:

1. Tidak terjadi perubahan kecepatan aliran sepanjang pipa. Tekanan dari tangki minyak diasumsikan tidak mengalami penurunan dan tetap pada tekanan 3,4 dan 5 bar.

2. Laju aliran massa fluida selalu konstan .
3. Suhu pemanas konstan sepanjang pipa.
4. Tidak terjadi pindah panas konveksi secara alamiah karena minyak mengalir akibat tekanan yang diberikan pada tangki.
5. Dalam perhitungan perencanaan digunakan pipa dalam kondisi lurus, belum dibentuk koil. Pada kondisi *steady*, dengan mengabaikan kehilangan panas di sepanjang aliran yang dilaluinya, maka panas yang dipindahkan dari pipa (q_p) sama dengan panas yang diterima oleh WCO (q_m). Perpindahan panas dalam pipa adalah perpindahan panas secara konduksi dari api di luar pipa masuk ke bagian dinding dalam pipa, sedangkan perpindahan panas yang diterima WCO adalah perpindahan panas konduksi dari bagian dinding dalam pipa ke WCO di dalam pipa, dan perpindahan panas konveksi paksa karena adanya aliran minyak di dalam pipa akibat tekanan. Proses perpindahan panas yang terjadi di sepanjang pipa diilustrasikan oleh Gambar 3.2 sebagai berikut:



Persamaan yang dipakai atau yang mewakili proses pindah panas yang terjadi pada aliran minyak dalam sepanjang pipa dapat ditunjukkan dalam Persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$Q_{\text{sistem}} = Q_{\text{pipa-minyak}}$$

$$Q_{\text{sistem}} = Q_{\text{konduksi pipa}} + Q_{\text{konduksi minyak}} + Q_{\text{konveksi paksa minyak}} + Q_{\text{konveksi bebas}}$$

$$m \, c_p \, dT = \frac{2\pi k l (T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} + \left(-kA \frac{dT}{dx}\right) + hA(T_1 - T_2) + +h A \, dT \quad \dots 3.2$$

Karena pipa besi jenis *Seamless Wrought steel Pipe* yang dipakai memiliki ketebalan dinding tipis, maka dapat diasumsikan panas yang diberikan oleh api pada permukaan dinding luar pipa sama dengan panas yang diterima pada permukaan dinding yang berada dalam pipa. Dalam kondisi ini maka dianggap tidak terdapat panas yang hilang sebagai akibat ketebalan dinding atau tidak ada beda temperatur antara permukaan dinding luar dan dalam, sehingga pindah panas konduksi sebagai akibat pemanasan api dari permukaan dinding luar pipa ke bagian dalam permukaan dinding pipa diabaikan. Perpindahan panas secara konveksi bebas pada minyak diabaikan disebabkan bahan bergerak lebih dominan oleh adanya tekanan dari tangki bahan bakar. Sedangkan pergerakan bahan akibat perubahan densitas hampir tidak ada sama sekali. Sehingga Persamaan 3.2 diatas dapat disederhanakan sebagai berikut.

$$m \text{ cp } dT = \frac{2\pi kl(T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} + \left(-kA \frac{dT}{dx}\right) + Ah(T_1 - T_2)$$

$$\Leftrightarrow m \text{ cp } dT = hA(T_1 - T_2) - kA \frac{dT}{dx}$$

$$\Leftrightarrow m \text{ cp } (T_2 - T_a) = \left(-k(2\pi r_i l) \frac{(T_1 - T_2)}{r_i}\right) + (h(2\pi r_i l)(T_1 - T_2))$$

$$\Leftrightarrow (m \text{ cp } T_2) - (m \text{ cp } T_a) = \left(\left(\frac{2\pi r_i l k T_2}{r_i}\right) - \left(\frac{2\pi r_i l k T_1}{r_i}\right)\right) + ((2\pi r_i l h T_1) - (2\pi r_i l h T_2))$$

$$\Leftrightarrow (m \text{ cp } T_2) - (m \text{ cp } T_a) = (2\pi l k T_2) - (2\pi l k T_1) + (2\pi r_i l h T_1) - (2\pi r_i l h T_2)$$

$$\Leftrightarrow (m \text{ cp } T_2) - (2\pi l k T_2) + (2\pi r_i l h T_2) = (m \text{ cp } T_a) - (2\pi l k T_1) + (2\pi r_i l h T_1)$$

$$\Leftrightarrow T_2((m \text{ cp}) - (2\pi l k) + (2\pi r_i l h)) = (m \text{ cp } T_a) - (2\pi l k T_1) + (2\pi r_i l h T_1)$$

$$\Leftrightarrow T_2 = \frac{(m \text{ cp } T_a) - (2\pi l k T_1) + (2\pi r_i l h T_1)}{(m \text{ cp}) - (2\pi l k) + (2\pi r_i l h)} \dots\dots\dots 3.3$$

Dimana :

- m : Kecepatan aliran massa (kg/s)
- cp : Panas jenis minyak WCO (kJ/kg°C)
- k : Konduktivitas termal minyak WCO (W/m°C)
- h : Koefisien pindah panas konveksi (W/m°C)
- A : Luas kontak pindah panas (m²)
- l : Panjang bidang aliran pipa (m)
- T_a : Suhu awal minyak (°C)
- T_o : Suhu dinding permukaan luar pipa (°C)

T_1/T_i : Suhu dinding bagian dalam pipa (°C)

T_2 : Suhu titik pusat bahan (°C)

r_i : Jari-jari bagian dalam pipa (m)

r_o : Jari-jari bagian luar pipa (m)

Untuk menghitung nilai koefisien pindah panas konveksi (h), maka dapat didekati dengan persamaan-persamaan yang digunakan dalam perpindahan panas konveksi paksa di dalam pipa seperti tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Ikhtisar persamaan persamaan yang digunakan dalam perpindahan panas konveksi paksa di dalam pipa.

Sistem	Persamaan
Pipa panjang ($L/D > 20$) Aliran laminar ($Re < 2100$)	$Nu = 1.86 (Re Pr Dh/L)^{0,33} (\mu_b/\mu_s)^{0,14}$ Pemanasan cairan $\mu_b/\mu_s = 0.36$ Pendinginan cairan $\mu_b/\mu_s = 0.20$
Pipa pendek ($L/D < 20$) Aliran laminar ($Re < 2100$)	$Nu = Re Pr Dh / (4L \ln (1 - (2.6 (Pr^{0,167} (Re Pr Dh/L)^{0,5})))^{-1}$
Pipa panjang ($L/D > 20$) Aliran turbulen ($Re > 2100$)	$Nu = 0.023 Re^{0,8} Pr^{0,33}$
Pipa pendek ($L/D < 20$) Aliran turbulen ($Re > 2100$)	$Nu = 0.023 (1 + (Dh/L)^{0,7} Re^{0,8} Pr^{0,33})$

Sumber: Suhardiyanto *et al.* (2007)

Dalam hal ini Mc. Adams menghubungkan nilai Nusselt rata-rata untuk kondisi temperatur dinding seragam dalam bentuk Persamaan 3.4 sebagai berikut :

$$\overline{Nu} = \frac{hD}{k} \dots\dots\dots 3.4$$

Bilangan Prandtl dapat ditemukan dengan Persamaan 3.5 sebagai berikut:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k}$$

.....3.5

Bilangan Reynold dipakai sebagai kriteria untuk penentuan jenis aliran turbulen atau laminar. Bilangan Reynold dapat dicari dengan memakai Persamaan 3.6 seperti dibawah ini:

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \dots\dots\dots 3.6$$

Dimana :

Re : Bilangan Reynold

ρ : Densitas fluida (kg/m^3)

v : Kecepatan aliran fluida (m/s)

D_h : Diameter (m)

μ : Viskositas dinamik fluida (Pa/detik)

Menurut pendapat Steffe (1992), pengaruh temperatur terhadap viskositas dalam fluida Newtonian dapat diuraikan dalam persamaan tipe Arrhenius yang melibatkan suhu mutlak (T), konstanta gas universal (R), dan energi aktivasi untuk viskositas (E_a) seperti Persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$\mu = f(T) = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \dots\dots\dots 3.7$$

Dalam hal ini konstanta A dan energi aktivasi untuk viskositas (E_a) dipakai untuk menentukan prediksi nilai viskositas terhadap temperatur. Penentuan nilai konstanta A dan energi aktivasi untuk viskositas (E_a) dilakukan dengan memakai logaritma natural (ln) pada kedua sisi Persamaan 3.7 di atas sehingga didapatkan

$$\mu = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

45

$$\ln \mu = \ln\left(A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right)\right)$$

$$\ln \mu = \ln A + \ln\left(\exp \frac{E_a}{RT}\right)$$

persamaan sebagai berikut :

$$\ln \mu = \ln A + \frac{E_a}{RT}$$

$$\ln \mu = \ln A + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \dots\dots\dots 3.8$$

Kemudian persamaan 3.8 di atas diubah menjadi persamaan regresi linier seperti berikut.

$$y = a + bx$$

$$\ln \mu = \ln A + \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \dots\dots\dots 3.9$$

Dimana :

$$x : 1/T \dots\dots\dots 3.10$$

$$y : \ln \mu \dots\dots\dots 3.11$$

$$a : \ln A \dots\dots\dots 3.12$$

$$b : E_a/R \dots\dots\dots 3.14$$

Dengan metode mensubstitusikan Persamaan 3.7 ke Persamaan 3.8 maka hubungan perubahan temperatur terhadap panjang pipa, hubungan perubahan viskositas WCO terhadap perubahan suhu, dan hubungan perubahan viskositas terhadap panjang pipa dapat ditentukan.

Uji Profil Penyemprotan Minyak Jelantah /WCO

Pertama uji penyemprotan awal dilakukan untuk mengetahui bentuk profil penyemprotan minyak jelantah setelah dilakukan pemanasan. Kontrol yang dipakai adalah dengan membandingkan dengan profil penyemprotan minyak tanah. Uji penyemprotan dilakukan dengan *burner* yang telah dilengkapi pemanas (*preheater*). Percobaan pertama dengan mengisi tabung bahan bakar dengan minyak jelantah sebanyak 2 kg. Selanjutnya tabung bahan bakar diberi tekanan 3 secara bertahap naik ke 4 dan 5 bar, untuk tahap awal penyalaan pipa diisi dengan minyak tanah untuk mengisi koil hingga penuh. kemudian dipanaskan, gas yang muncul akibat pemanasan digunakan untuk pembakaran awal minyak jelantah. Jika *burner* sudah menyala yang berasal dari gas minyak tanah, kemudian kran bahan bakar WCO dibuka sampai minyak menyembur.

Minyak yang keluar atau tersembur akan terbakar sehingga api mengenai *dispersion plate* dan diamati diameter area api untuk menentukan posisi vessel pada proses *Water Boiling Test* untuk mendapatkan posisi vessel dengan pemanasan yang efektif.. Hasil semburan dari nosel membentuk kabut dan terbakar. Setiap proses kejadian di *record* dengan video dengan kamera digital 48 MP .

Parameter uji penyemprotan yang diamati meliputi karakteristik warna nyala api, temperatur selubung api.

Pembuatan Model *Burner* WCO

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan elemen pemanasan awal WCO yang akan digunakan pada *burner* bertekanan. Elemen pipa pemanas ini di *design*

berbentuk koil. Penambahan pipa koil pemanas WCO ini bertujuan untuk memanaskan agar dapat menurunkan nilai viskositasnya sehingga mendekati nilai viskositas minyak tanah. Panjang pipa yang akan dibentuk menjadi koil diperoleh berdasarkan hasil perhitungan hipotesis hubungan perubahan suhu dan viskositas minyak terhadap panjang pipa pemanas minyak, dan uji profil penyemprotan WCO. Pemanasan dilakukan dengan memanfaatkan nyala api pembakaran pada *burner* itu sendiri. Panas ini akan memanaskan minyak baik secara konduksi maupun konveksi.

a. **Rancangan Fungsional**

Rancangan *burner* WCO terdiri dari tiga bagian utama yaitu, elemen pipa pemanasan awal, nosel, mangkuk bahan bakar untuk pemanasan awal. Ketiga bagian tersebut diharapkan dapat menunjang rancangan supaya dapat berjalan baik dan sesuai dengan kebutuhan. Elemen pipa pemanas berfungsi sebagai penyalur minyak dari tangki ke nosel. Pada bagian pipa pemanas inilah proses penurunan viskositas WCO terjadi. Nosel berfungsi tempat pengeluaran WCO setelah dipanaskan. Minyak yang keluar dari nosel ini diharapkan telah memiliki nilai viskositas mendekati minyak tanah. Mangkuk bahan bakar dalam pemanasan awal berguna sebagai wadah bahan bakar untuk melakukan pemanasan awal. Api dari proses pemanasan awal ini juga nantinya akan menjadi *starter* pada pembakaran utama setelah minyak tersembur dari nosel.

b. **Rancangan Struktural**

Dalam perancangan, pemilihan bentuk, dimensi, dan bahan yang digunakan merupakan hal yang sangat mendasar karena akan berdampak langsung pada kinerja alat atau mesin yang dirancang. Masing-masing desain struktural pada desain pipa koil pemanas minyak dijelaskan sebagai berikut.

1. Elemen pipa pemanas WCO (*preheater*)

Elemen pipa pemanas WCO dibuat berbentuk koil. Bahan yang digunakan adalah pipa besi jenis *Seamless Wrought steel Pipe*. Panjang pipa pemanas WCO ini diperoleh dari hasil perhitungan hipotesis hubungan perubahan suhu dan viskositas minyak terhadap panjang pipa pemanas minyak.

2. Nosel

Nosel adalah lubang pada elemen pipa pemanas minyak. Nosel ini berdiameter 0.3 mm. Nosel terbuat dari material *bronze* dengan ulir yang dapat dilakukan pelepasan nosel dari *burner*.

3. Mangkuk bahan bakar untuk pemanasan awal

Mangkuk bahan bakar berguna untuk pemanasan awal ini dibuat dengan bahan besi. Mangkuk ini memiliki diameter 8 cm, dan dapat menampung minyak spirtus untuk pemanasan awal sebanyak 10 ml.

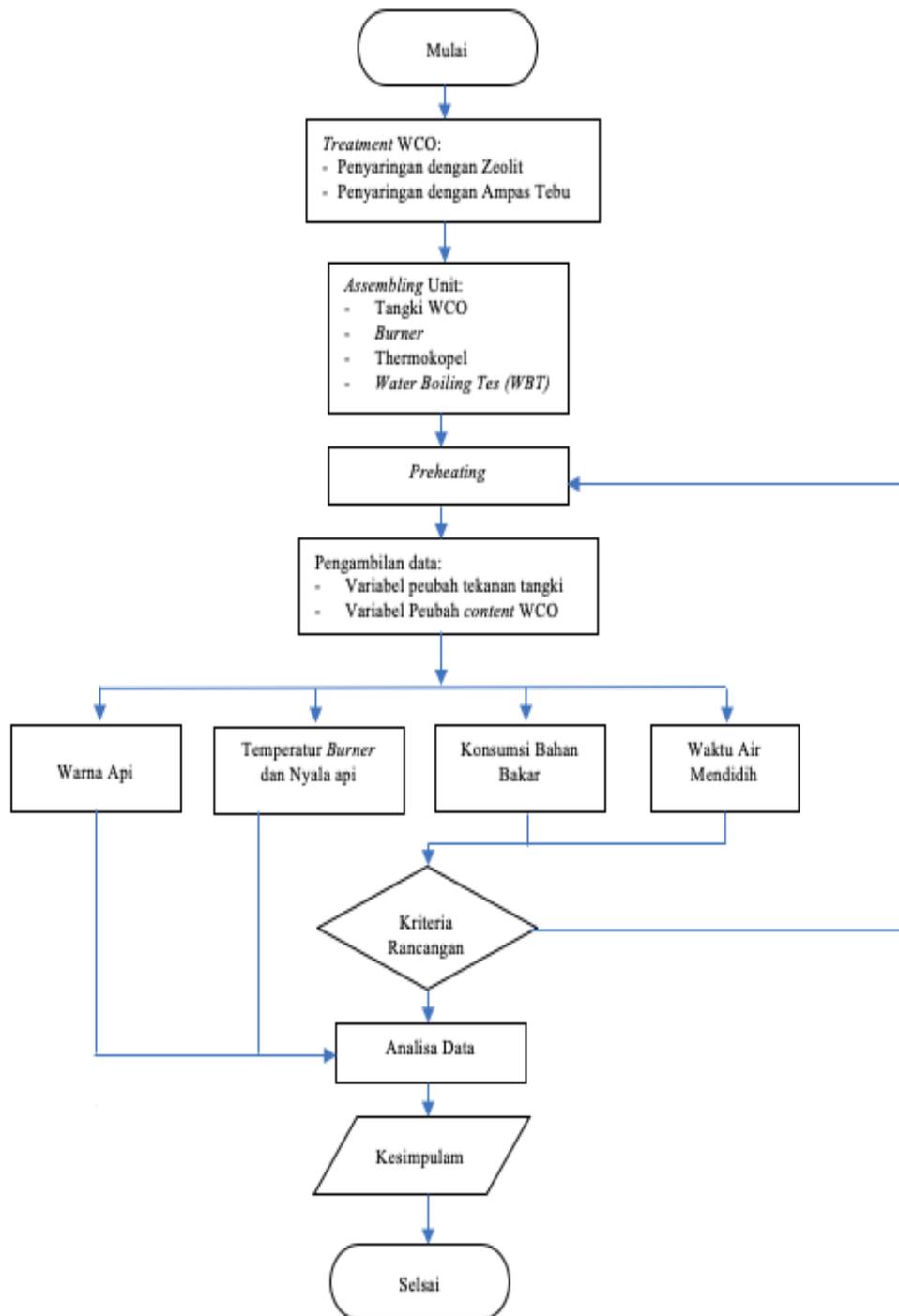
4. *Dispersion Plate*

Berfungsi untuk mengarahkan api agar menyebar ke bagian samping dan menjadikan nyala api stabil

Secara umum, tahapan proses desain *burner* dapat digambarkan sebagai berikut :

1. Tahap perancangan, tahap ini meliputi pembuatan gambar detail rancangan struktural alat, gambar tiga dimensi alat, gambar bagian-bagian alat, penentuan ukuran yang tepat, serta penentuan bahan konstruksi yang tepat sehingga lebih efisien.
2. Tahap pengumpulan material alat dan bahan, yaitu: menentukan jumlah bahan-bahan yang diperlukan, pembelian bahan, penyediaan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam proses perakitan.
3. Tahap pembuatan serta perakitan, dalam hal ini meliputi pembuatan pipa koil pemanas minyak, nosel, dan mangkuk bahan bakar untuk pemanasan awal.
4. Tahap pengujian, merupakan tahapan untuk mencoba apakah alat yang telah dirancang dan dibuat dapat bekerja dan berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.

Tahapan proses penelitian dapat dilihat seperti pada Gambar 3.3 sebagai berikut :



Gambar 3. 3 Alur proses penelitian

Uji Fungsional *Burner*

Pada pengujian ini akan diukur suhu selubung api keluar dari nosel. Percobaan diawali dengan mengisi tabung bahan bakar dengan minyak jelantah sebanyak 1 kg. Selanjutnya tabung bahan bakar diberi tekanan 3 s.d 5 bar, dan kemudian *burner* dinyalakan. Setelah api pembakaran stabil, selanjutnya dilakukan pengukuran suhu api yang baru saja tersembur dari nosel menggunakan *thermocouple* type K.

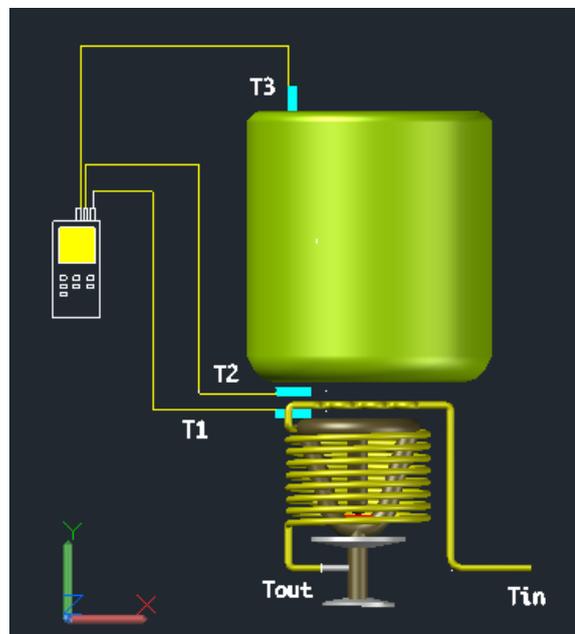
Ada lima tempat pengambilan temperatur api, yang pertama di bagian bawah pipa pemanas (dekat nosel) kedua bagian atas pipa pemanas (dekat dengan *vessel*/panci), ketiga pada input *preheater* , keempat output *preheater*, kelima pada air proses pendidihan.

Uji Coba Pembakaran *Burner* Bertekanan

Uji coba pembakaran *burner* bertekanan ini bertujuan untuk mengetahui temperatur selubung api, waktu dan jumlah bahan bakar terpakai yang dibutuhkan untuk memanaskan air hingga mendidih dengan saringan yang berbeda. Pada pengujian ini juga akan diukur peningkatan suhu pada beberapa titik pengukuran yang mewakili suhu air, ujung *burner* sisi bawah pemanas dan pemanas sisi atas. Prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Sebanyak 1000 ml minyak jelantah dimasukkan ke dalam tangki bahan bakar, kemudian tangki yang telah diisi bahan bakar diberi tekanan 3 bar, 4 dan 5 Bar.
- b. Air sebanyak 2 kg dimasukkan ke dalam panci yang telah disediakan.

- c. *Thermocouple* type K dipasang antara lain berada pada posisi yang dapat mewakili temperatur yaitu pertama di bagian bawah pipa pemanas dekat nosel (T1), bagian atas pipa pemanas dekat dengan panci (T2), air rebusan (T3), temperatur masuk *preheater* T_{in} , temperatur keluar *preheater* T_{out} . Skema posisi termokopel dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut:



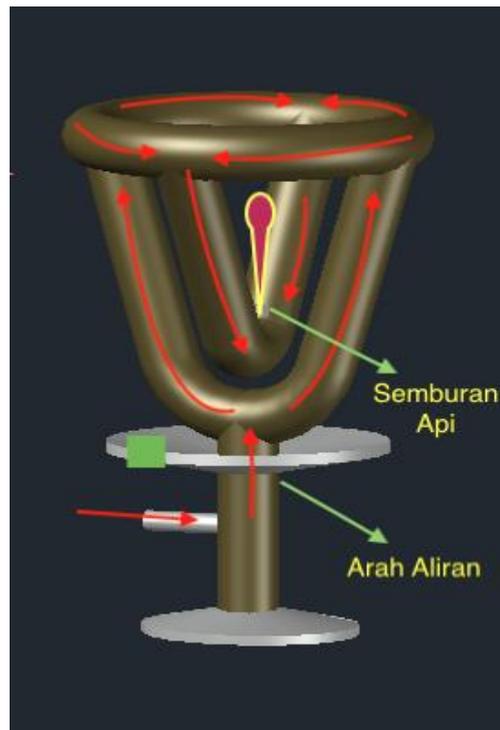
Gambar 3. 4 Skema pengujian bahan bakar WCO

- d. *Thermocouple* lalu dihubungkan dengan pencatat suhu *Temperature Recorder BTM-4208SD*
- e. *Burner* kemudian dinyalakan, dan setelah api stabil lalu panci diletakkan di atas burner. *Temperature Recorder* dinyalakan, dan pencatatan suhu dilakukan secara bersamaan saat panci diletakkan di atas kompor.
- f. *Menghentikan* proses pemanasan dan pengukuran suhu setelah air mendidih (saat titik pengukuran suhu air menunjukkan nilai konstan).

g. *Mengukur* dan menimbang sisa minyak jelantah pada tangki bahan bakar.

3.3 Spesifikasi Material dan *Desain Burner*

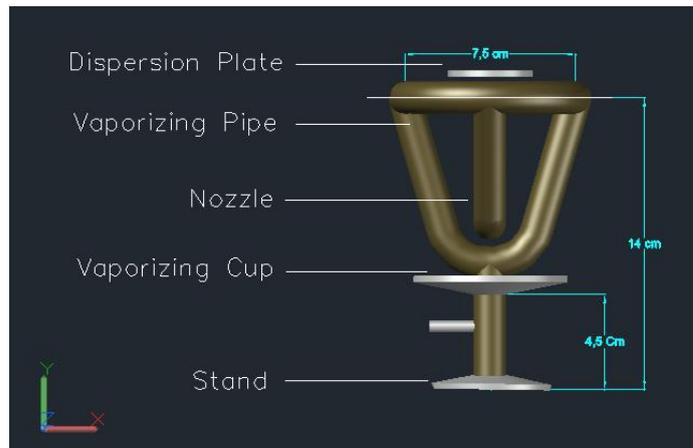
Dalam penentuan desain *Burner* dipertimbangkan bahwa WCO sebelum keluar nosel sudah pada kondisi titik nyala bahan bakar supaya diperoleh nyala api yang stabil. Material yang digunakan adalah besi *seamless Wrought Steel Pipe* (Asme B 36.10) yang dilakukan *bending*. Letak nosel pada posisi bawah, sehingga semburan api yang keluar dari nosel mampu memanaskan bahan bakar WCO yang melalui pipa lingkaran pada posisi atas sehingga efektifitas pemanasan WCO sebelum keluar nosel menjadi meningkat. Dengan pertimbangan tersebut maka *desain burner* yang dibuat beserta arah aliran bahan bakar dapat ditunjukkan dalam Gambar 3.5 dan bagian dan dimensi utama *burner* dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut :



Gambar 3. 5 Skema Aliran WCO pada pada *Vaporizing burner*

Spesifikasi bahan material *Burner* : Asme B 36.10 *Seamless Wrought steel Pipe*

<i>NPS</i> (inchi)	<i>OD</i> (mm)	<i>ID</i> (mm)	<i>Thickness</i> (mm)	<i>Kg/m</i>
1/8	10,3	6,84	1,73	0,37



Gambar 3. 6 Bagian dan ukuran utama *burner*

Spesifikasi material *preheater* (*Seamless Wrought steel Pipe*)

<i>OD</i> (mm)	<i>Thickness</i> (mm)
6	1,2



Gambar 3.7 *Preheater* WCO

Gambar 3.7 merupakan gambar tiga dimensi *preheater* sebagai proses pemanasan awal WCO untuk menurunkan nilai viskositas bahan bakar yang dihubungkan dengan *vaporizing burner*.

Nosel yang digunakan adalah *single hole* dengan diameter 0,3 mm dan terbuat dari material copper, secara detail bagian dan dimensi *burner* dapat dilihat pada tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Ukuran *burner*

Uraian	Spesifikasi	Material
Nozzle Type	Single Hole	Copper
Diameter Nozzle (mm)	0,3	Wrought Steel
Out Diameter Preheater (mm)	6	Wrought Steel
Length Preheater (mm)	2510	Wrought Steel
Length Vaporizer Pipe (mm)	260	Wrought Steel
Out Diameter Vaporizer Pipe (mm)	10,3	Wrought Steel

3.4 Pembuatan *Burner*

Pada tahapan ini, *burner* dirakit sesuai *desain* yang telah ditentukan. Proses pembuatan *Burner*, hasil *Burner* yang telah dirakit serta penyusunan alat penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 3.8 sebagai berikut :



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. 8 *Assembling burner* berbahan WCO

(a) Proses Pembuatan *Burner* (b) *Burner* Tampak Atas (c) *Burner* Tampak Samping (d) Proses Uji Coba

Water Boiling Test (WBT)

Pada pengujian ini teknik pengambilan data dengan melakukan WBT cukup singkat, percobaan simulasi sederhana dari pemanasan atau perebusan air pada umumnya. Dengan cara WBT dapat digunakan untuk mengukur konsumsi bahan bakar pada tangki pembakaran dan dapat menunjukkan prediksi kegunaan bahan bakar secara kasar dalam berbagai keperluan proses pembakaran dengan penentuan koefisien konduktivitas termal. Metode WBT dipakai untuk mengukur beberapa aspek dari tangki yang berkaitan dengan kemampuan burner untuk memelihara bahan bakar WCO. Metode WBT saat ini dinilai cukup baik untuk mengukur koefisien konduktivitas termal, laju pembakaran, konsumsi spesifik bahan bakar dan kemampuan pembakaran.

Proses pengujian *Water Boiling Test* yaitu dengan melakukan perebusan air. Massa air yang dipakai sebagai dasar uji coba adalah sebanyak 2 kg. Pengujian ini juga dipengaruhi oleh laju alir bahan bakar selama proses berlangsung. Massa bahan bakar WCO sebelum dan sesudah pemanasan ditimbang dengan menggunakan timbangan digital. Selisih antara massa bahan bakar sebelum pemanasan dengan massa bahan bakar sesudah pemanasan adalah massa bahan bakar yang digunakan selama proses pendidihan. Sehingga diperoleh nilai kalor yang diterima oleh air serta koefisien konduktivitas termal kompor.

3.5 Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam uji coba adalah :

- a. Minyak jelantah/*Waste Cooking Oil* (WCO)

- b. Ampas tebu
- c. Zeolit
- d. Minyak tanah
- e. Spirtus

Berikut adalah alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian Ini :

- a. Dua (2) Unit tabung minyak WCO dan minyak tanah yang terpisah.

Merupakan tabung yang digunakan menampung WCO dan minyak tanah pada proses pemanasan, kapasitas masing-masing tabung 5 liter seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9.



Gambar 3. 9 Tabung penyimpan minyak

- b. *Vapoorizer Pipe* dilengkapi nosel dan penyangga sebagai tempat keluarnya semburan bahan bakar seperti ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 3. 10 *Burner* tempat keluarnya api.

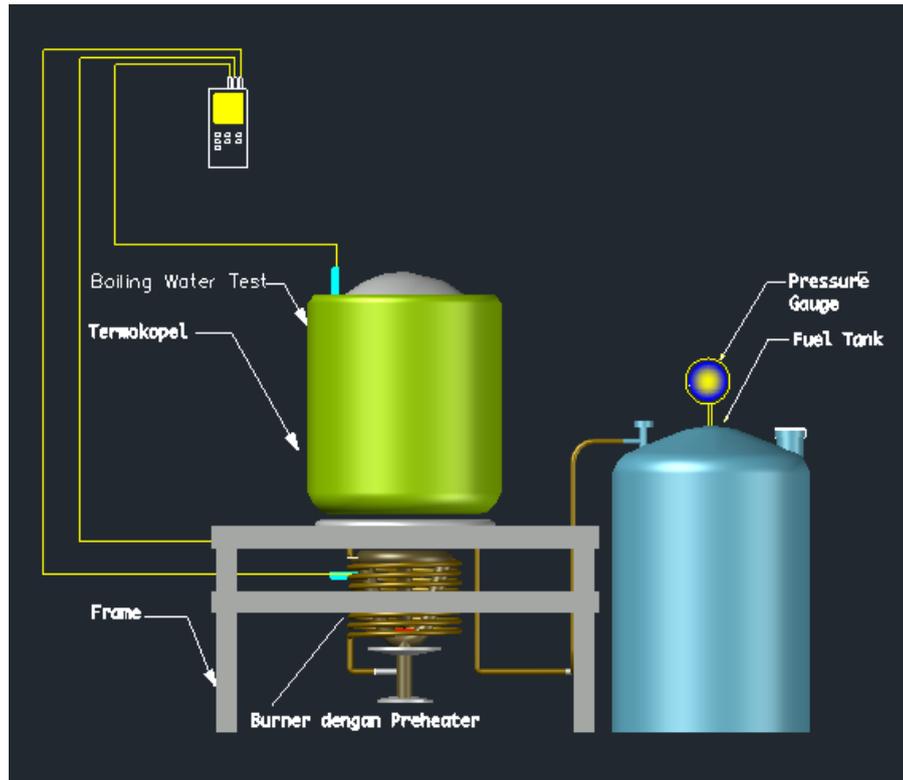
c. *Temperature Recorder*

Alat ini digunakan untuk mengukur temperatur untuk membantu proses pengambilan data, seperti pada Gambar 3.11

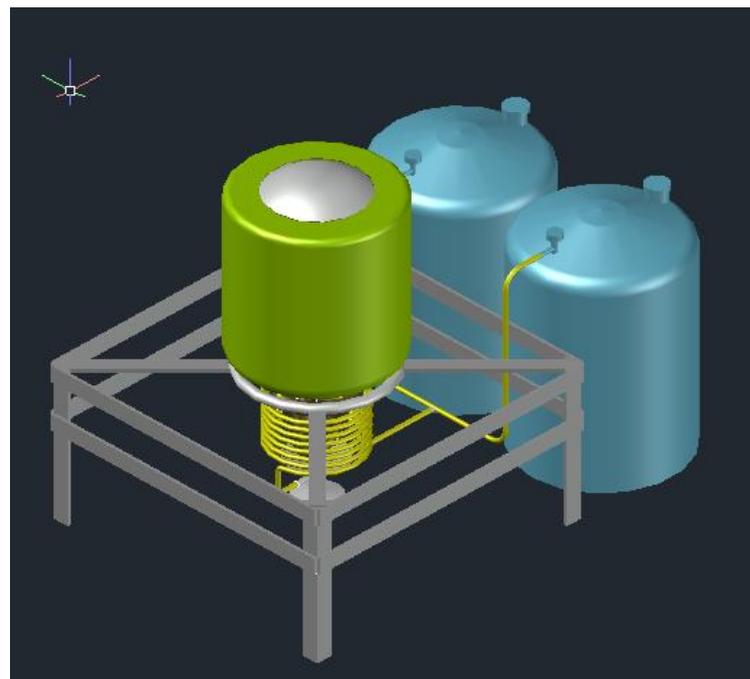


Gambar 3. 11 Temperature recorder

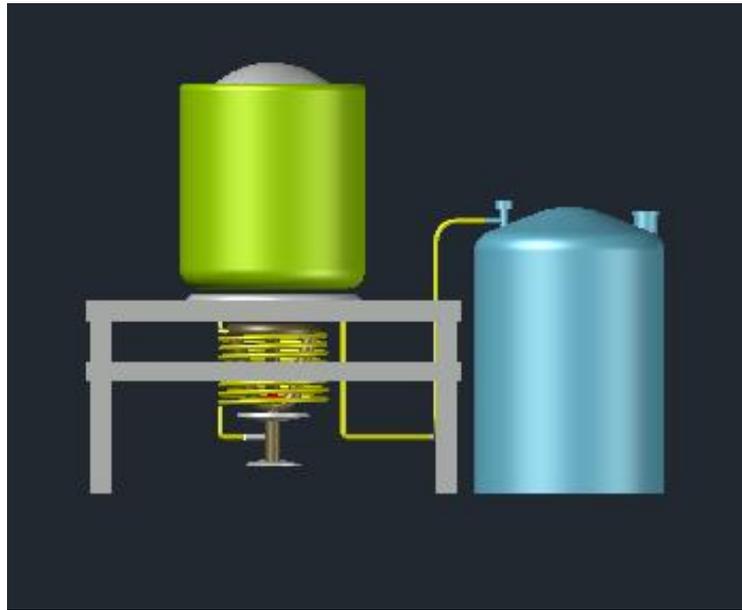
- d. Alat alat pendukung lainnya antara lain pencatat suhu, *air pressure gauge*, Perangkat burner pemanas, meteran, peralatan perbengkelan, gelas ukur, alat ukur untuk mengetahui sifat-sifat fisik bahan bakar, timbangan digital digunakan untuk mengukur massa bahan bakar yang habis terbakar akibat proses pembakaran. Susunan alat perangkat uji coba *burner* dapat dilihat pada Gambar 3.12 sebagai berikut :



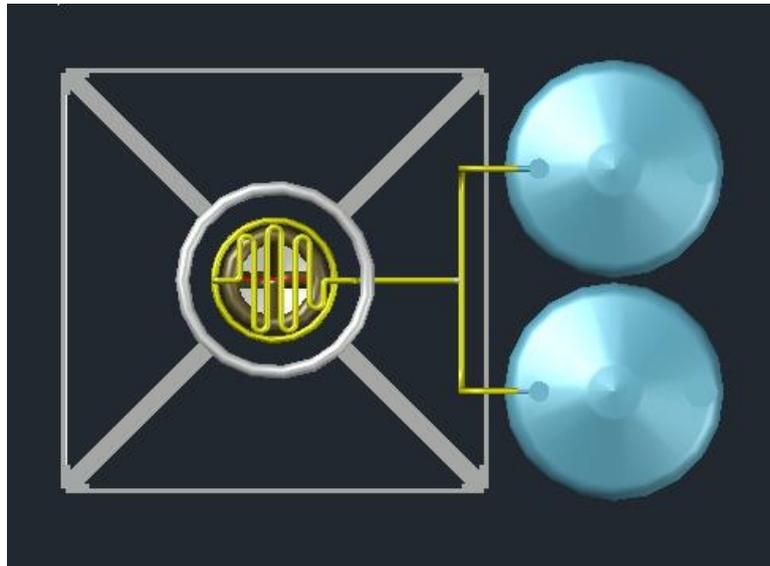
Gambar 3. 12 *Setup peralatan burner*



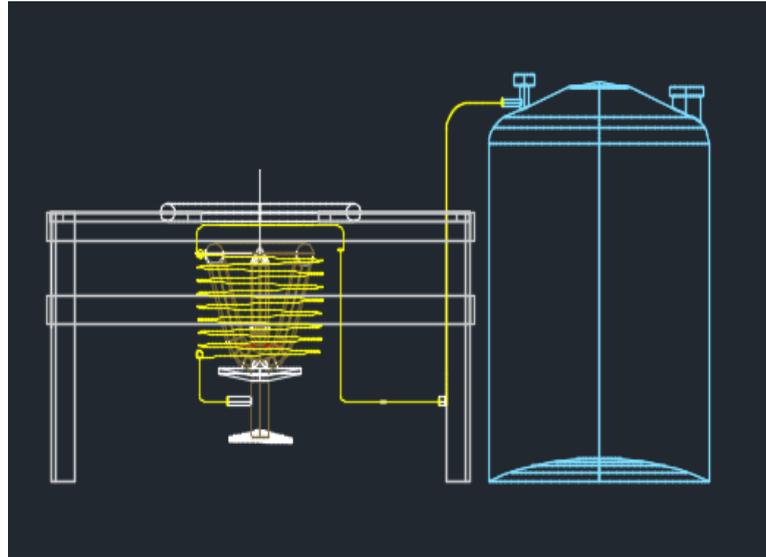
Gambar 3. 13 *Peralatan SW Isometric View*



Gambar 3. 14 Peralatan *Front View*



Gambar 3. 15 Peralatan *Top View*



Gambar 3. 16 Peralatan 2D Wireframe View

3.6 Prosedur Percobaan

Prosedur penyiapan bahan bahan bakar WCO:

- a. Penyaringan WCO menggunakan ampas tebu;
 1. Siapkan minyak jelantah sebanyak 1000 g
 2. Siapkan ampas tebu yang sudah dikeringkan dibawah sinar matahari
 3. Siapkan alat penyaringan dan kain kasa
 4. Meletakkan ampas tebu ke alat penyaringan
 5. Alat penyaringan kemudian ditambah kain kasa agar dapat menyaringan sisa kotoran yang terdapat selamat hasil penyaringan
 6. Menuangkan minyak pada alat penyaringan
 7. Mengamati proses dari penyaringan minyak jelantah menggunakan ampas tebu
 8. Hasil penyaringan diletakan pada botol yang sudah disediakan
 9. Selesai.

b. Penyaringan minyak jelantah menggunakan zeolit :

1. Menyiapkan zeolit dengan ukuran mesh 10 yang akan digunakan.
2. Mengaktifkan zeolit dengan cara memanaskannya di dalam *oven* dengan suhu $\pm 200^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam.
3. Menyaring zeolit menggunakan kain kasa untuk memisahkannya dari debu halus.
4. Menyiapkan alat yang akan digunakan untuk menyaring
5. Menimbang minyak jelantah seberat 1000 g dan zeolit seberat 200 g
6. Memasukan kain kasa pada bagian bawah alat penyaringan agar zeolit tidak luruh ke bawah pada saat penyaringan.
7. Memasukkan 200 g zeolit kedalam alat penyaringan.
8. Menuangkan 1000 g minyak jelantah ke alat penyaringan secara bertahap.
9. Melakukan penggantian zeolite setelah melakukan penyaringan 1000 g minyak jelantah.

Prosedur Uji coba penentuan kandungan air dan kandungan kotoran

a. Analisa kandungan air minyak jelantah:

1. Minyak untuk contoh uji harus dipanaskan hingga titik cair dan homogenkan sebelum diigunakan.
2. Timbang contoh uji (minyak) dengan teliti ± 10 gram dengan menggunakan cawan porselin yang sudah diketahui berat kosongnya.
3. Keringkan contoh uji kedalam *oven* suhu 105°C selama ± 3 jam. Dinginkan dalam *desikator* selama 15 menit.

4. Timbang ulang dengan teliti setiap 30 menit contoh uji hingga selisih berat antara berat timbangan yang berurutan tidak lebih dari 0,05 %.
5. Buat pengamatan secara *duplot*
6. Perhitungan:

$$\text{Kandungan air minyak} = \frac{\text{Berat contoh awal} - \text{Berat contoh akhir}}{\text{Berat contoh awal}} \times 100\%$$

b. Analisa kandungan kotoran minyak jelantah:

1. Minyak untuk contoh uji harus dipanaskan hingga titik cair dan dihomogenkan sebelum digunakan.
2. Timbang contoh uji (minyak) dengan teliti ± 20 gram didalam beaker glass yang sudah diketahui berat kosong.
3. Tambahkan N.Heksana sejumlah 100 ml kedalam contoh minyak dan aduk hingga homogen
4. Saring di atas corong penyaring campuran butir 3 dengan kertas saring bebas minyak yang telah diketahui beratnya
5. Cuci beaker glass dan kertas saring (filter) bebas minyak dengan N.Heksana
6. Keringkan kertas saring dalam oven suhu 105 oC selama 60 menit
7. Dinginkan kertas saring dalam desikator selama 15 menit.
8. Perhitungan:

$$\text{Kandungan Kotoran minyak} = \frac{\text{Berat Filter}(\text{sesudah} - \text{sebelum})}{\text{Berat contoh}} \times 100\%$$

Prosedur percobaan :

1. Setelah *burner* dibuat dan sudah diuji coba dan tidak ada masalah kebocoran maka dilakukan percobaan dan pengamatan.
2. Pada percobaan yang dilakukan data yang diambil atau yang diukur adalah:
 - a. Temperatur selubung api *burner* dan temperatur air.
 - b. *Boiling Water Test*
 - c. *Burner* dioperasikan hingga nyala api stabil, udara dipompa ke dalam tangki bahan bakar hingga mencapai tekanan 3, 4 dan 5 bar.
 - d. Mengukur bahan bakar yang dihabiskan untuk masing-masing tekanan dan waktu yang dibutuhkan untuk mendidihkan air
 - e. Nyala api pada masing-masing tekanan terus diamati (warna api)

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengujian pembakaran menggunakan WCO dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penyaringan WCO mampu memperbaiki sifat fisis WCO yaitu zeolit mampu mengurangi kandungan air dari 3,58% menjadi 0,17% dan kandungan kotoran dari 3,12% menjadi 2,85% sedangkan ampas tebu mampu mengurangi kandungan air dari 3,59 menjadi 1,51 dan kandungan kotoran 3,12% menjadi 3,06%. Hasil uji laboratorium penyaringan WCO menunjukkan bahwa kandungan air dan kandungan kotoran hasil penyaringan menggunakan media zeolit memberikan hasil yang lebih baik daripada dengan ampas tebu. Kemampuan zeolit dalam mengurangi kandungan air 95% sedangkan ampas tebu 57 % dan kemampuan zeolit dalam mengurangi kandungan kotoran 20% sedangkan ampas tebu 12%. *Treatment* terhadap minyak jelantah atau WCO dengan melakukan *filtrasi* / penyaringan untuk mengurangi kandungan air dan kandungan kotoran dapat mempengaruhi proses pembakaran.
2. Penambahan *preheater* pada *burner* mampu mengurangi viskositas minyak jelantah sehingga dapat digunakan pada proses pembakaran langsung.
3. Pengaruh sifat fisik dan tekanan bahan bakar terhadap distribusi temperatur selubung api pada *burner* pada posisi 5 cm di atas nosel (T1), dan 8 cm nosel(T2). Penyaringan dengan zeolit pada tekanan 5 bar diperoleh T1 dan T2 rata-rata 869 °C dan 663 °C, tekanan 4 bar 698 °C dan 493 °C, tekanan 3 bar 633 °C dan 428°C. Penyaringan dengan ampas tebu pada tekanan 5 bar

diperoleh T1 dan T2 rata-rata 788 °C dan 582 °C, tekanan 4 bar 674 dan 468, tekanan 3 bar 633 °C dan 428°C dan pada tekanan 3 bar didapatkan; 583°C dan 377°C.

4. WCO dapat digunakan sebagai bahan bakar energi alternatif untuk proses pembakaran eksternal untuk mendapatkan nilai tambah dan untuk mewujudkan energi baru terbarukan

5.2 Saran

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka untuk menyempurnakan pengembangan penelitian, perlu diusulkan saran-saran untuk perbaikan sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian emisi partikulat pada pengujian *burner* berbahan bakar WCO yang telah dilakukan.
2. Perlu dilakukan kajian bentuk nosel yang ideal untuk menghindari lubang nosel buntu.
3. Perlu dilakukan penyaringan dengan berbagai macam variasi komposisi antara bahan bakar WCO dengan media penyaringnya.
4. Kedapan objek penelitian lebih difokuskan pada tahapan proses penyaringan yang lebih terperinci sehingga dapat menjadi acuan prosedur penyaringan.
5. Perlu dilakukan penambahan lebih banyak alat termokopel untuk mengetahui distribusi temperatur pada area selubung api yang lebih luas.
6. Untuk dapat mengetahui bagaimana besar daerah api yang optimal dan distribusi temperatur pada *burner* perlu dilakukan simulasi uji dengan menggunakan *tools* dengan bantuan *software Autodesk Inventor* dan *Ansys* sehingga dapat mempermudah melihat data-data pada area selubung api.

Daftar Pustaka

- Anthony A. Bantu,1 Gilbert Nuwagaba, (2018). *Design of an Improved Cooking Stove Using High Density Heated Rocks and Heat Retaining Techniques*. Journal of Renewable Energy
- Brandon Han Hoe Goh , Cheng Tung Chong, (2020). *Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production*, Science Direct Energy Conversion and Management journal
- Monikankana Sharma , P. Mahanta , Subhash, (2016). *Usability of porous burner in kerosene pressure stove: An experimental investigation aided by energy and exergy analyses*. ScienceDirect journal homepage: www.elsevier.com/locate/energy
- Kajumba,Okello,Nyeinga, K, & Nydal, (2020). *Experimental investigation of a cooking unit integrated with thermal energy storage system*. Journal of Energy Storage, 32, 101949.
- Wang, C., Dean, A.M., Zhu, H. and Kee, R.J., 2013. *The effects of multicomponent fuel droplet evaporation on the kinetics of strained opposed flow diffusion flames*. Combustion and Flame, 160(2), pp.265-275.
- Xie, H., Song, L., Xie, Y., Pi, D., Shao, C. and Lin, Q., 2015. *An experimental study on the macroscopic spray characteristics of biodiesel and diesel in a constant volume chamber*. Energies, 8(6), pp.5952-5972.

Olawole Abiola Kuti, S. Mani Sarathy, Keiya Nishida, 2020. *Spray combustion simulation study of waste cooking oil biodiesel and diesel under direct injection diesel engine conditions*, Fuel, Volume 267, ,117240, ISSN 0016-2361,

Ahmed Mahfouz, H.A. Moneib, Ahmed El-fatih, Ashraf F. El-Sherif, H.S. Ayoub, Ahmed Emara, 2020. *Comparative study among waste cooking oil blends flame spectroscopy as an alternative fuel through using an industrial burner*, Renewable Energy, Volume 159, , Pages 893-907, ISSN 0960-1481,

P. Dinesha, Shiva Kumar, Marc A. Rosen, 2019. *Performance and emission analysis of a domestic wick stove using biofuel feedstock derived from waste cooking oil and sesame oil*, Renewable Energy, Volume 136, ,Pages 342-351, ISSN 0960-1481,

Olawole Abiola Kuti, S. Mani Sarathy, Keiya Nishida, 2020. *Spray combustion simulation study of waste cooking oil biodiesel and diesel under direct injection diesel engine conditions*, Fuel, Volume 267, ,117240, ISSN 0016-2361.

Lav Kumar Kaushik, P. Muthukumar, 2020. *Thermal and economic performance assessments of waste cooking oil /kerosene blend operated pressure cook-stove with porous radiant burner*, Energy, Volume 206, ,118102, ISSN 0360-5442.

Consortio S. Namoco, Venerando. Comaling2 and Cerilo C. Buna, (2019) *Utilization Of Used Cooking Oil As An Alternative Cooking Fuel Resource* , ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences

Yulianto, D., Nugroho, W. A., & Argo, B. D. (2015). *Uji Kinerja Tungku Spiral Tipe Vertikal Dengan Bahan Bakar Minyak Jelantah*. Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem, 4(1), 27-32.

Abdullah, N., and Sulaiman, F. (2013). *The Oil Palm Wastes in Malaysia*, in Matovic, M.D. *Biomass Now: Sustainable Growth and Use*. Croatia: INTECH

Prastowo, B. (2012). *Biomass Resource in Indonesia, Energy Potential, in Indonesia Germany Workshop and Seminar*, Institut Teknologi Bandung.

Nan Zhao, Bowen Li, Deying Chen, Riaz Ahmad, Yingdan Zhu, Gang Li, Zhengping Yu, Jinghao Li, Enlu Wang, Seongwan Yun, Hyukjin Yoon, Inseok Yoon, Yuguang Zhou, Renjie Dong, Hong Wang, Jinxin Cao, Jing He, Xinxin Ju, (2020) *Direct combustion of waste oil in domestic stove by an internal heat re-circulation atomization technology: Emission and performance analysis*, Waste Management, Volume 104, Pages 20-32, ISS

M. Kratzeisen, J. Müller, (2009) *Effect of fatty acid composition of soybean oil on deposit and performance of plant oil pressure stoves*, Renewable Energy, Volume 34, Issue 11, Pages 2461-2466, ISSN 0960-1481, N 0956-053X

Natarajan, R. Natesan Sundaramurthy, Karthikeyan, Agarwal, Avinash, Sathiyarayanan, Kulathu (2008) *Use of vegetable oil as fuel to improve the efficiency of cooking stove* j.renene. Renewable Energy

lawole Abiola Kuti, Jingyu Zhu, Keiya Nishida, Xiangang Wang, Zuohua Huang, (2013) *Characterization of spray and combustion processes of biodiesel fuel injected by diesel engine common rail system*, Fuel, Volume 104, Pages 838-846, ISSN 0016-2361,

Steffe JF. 1992. *Rheological Method in Food Process Engineering*. Second Edition. Freeman Press, East Lansing, USA. Hal : 32-33.

Ümit Ağbulut, Murat Kadir Yeşilyurt, Suat Sarıdemir, (2021) *Improving the poor properties of waste tire pyrolysis oil with waste cooking oil methyl ester and waste fusel alcohol – A detailed assessment on the combustion, emission, and performance characteristics of aCI engine*, Energy, Volume 222, 2021, 119942, ISSN 0360-5442,

Yunus A. Cengel. 2002. *Heat and Mass Transfer A Practical Approach*, Third Edition. McGraw-Hill.

J. P Holman., 1997. *Perpindahan Kalor*. Erlangga., Jakarta.

Graco, Daywin. 1995. *Combustion Science and Engineering*. Boersedruck Ges. m. b. h. Vienna.

Kenneth dan Kuan-yun Kuo. 1986. *Principle of Combustion*. John Wiley & Sons

Pardede, Mada. 2006. Uji Karakteristik Minyak Nyamplung dan Aplikasinya Pada Kompor Tekan. *Jurnal Keteknikan Pertanian* Vol. 2 No.1 Institut Pertanian Bogor.

Arwut Lapidattanakun, Jarruwat Charoensuk, *Development of porous media burner operating on waste vegetable oil*, Applied Thermal Engineering, Volume 110, 2017, Pages 190-201, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.08.164>.

Qin, Z.C., Zhuang, Q.L., Cai, X.M., He, Y.J., Huang, Y., Jiang, D., Lin, E., Liu, Y.L., Tang, Y., Wang, M.Q., 2017. *Biomass and biofuels in China: Toward bioenergy resource potentials and their impacts on*

the environment. Renew. Sust. Energ. Rev. 82,2387–2400

Huangfu, Y.B., Li, H.X., Chen, X.F., Xue, C.Y., Chen, C., Liu, G.Q., 2014. *Effects of moisture content in fuel on thermal performance and emission of biomasssemi-gasified cookstove.* *Energy Sustain. Dev.* 2014 (21), 60–65

Shen, G.F., Tao, S., Chen, Y.C., Zhang, Y.Y., Wei, S.Y., Xue, M., Wang, B., Wang, R., Lu, Y., Li, W., Shen, H.Z., Huang, Y., Chen, H., 2013b. *Emission characteristics for polycyclic aromatic hydrocarbons from solid fuels burned in domestic stoves in rural China.* *Environ. Sci. Technol.* 47, 14485–14494

Tan, K.T., Lee, K.T., Mohamed, A.R., 2011. *Potential of waste palm cooking oil for catalyst-free biodiesel production.* *Energy* 36, 2085–2088

Singhabhandhu, A., Tezuka, T., 2010. *The waste-to-energy framework for integrated multi-waste utilization: waste cooking oil, waste lubricating oil, and waste plastics.* *Energy* 35, 2544–2551

Wahyudi N. 2010. *Rancang Bangun Elemen Pemanas Bahan Bakar Minyak Nyamplung untuk Motor Diesel dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang.* Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.

Suhardiyanto H, Fuadi MM, Widaningrum Y. 2007. *Analisis Pindah Panas pada Pendinginan dalam Tanah untuk Sistem Hidroponik.* *Jurnal Keteknikaan Pertanian.* 21: 355-362.

Graco. 1995. *Atomization.* Graco Inc. Minneapolis, USA.