

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Landasan teori merupakan dasar ilmiah yang digunakan sebagai acuan dalam perancangan, pembuatan, dan pengujian pada proyek akhir ini. Teori yang disajikan diperoleh dari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan sistem pengembangan mekanik mesin otomatis proses transesterifikasi pengolahan biodiesel berbahan minyak jelantah. Pembahasan pada bab ini meliputi teori mengenai biodiesel, minyak jelantah, serta komponen mekanik yang digunakan sebagai dasar dalam perancangan mesin.

2.1.1 Biodiesel

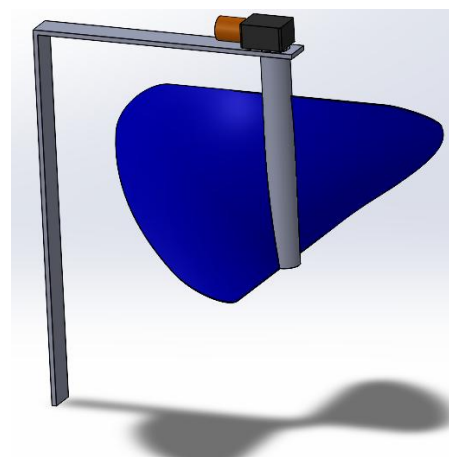
Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran *mono-alkyl ester* dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbaru seperti minyak sayur atau lemak hewan. Sebuah proses dari transesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Setelah melewati proses ini, tidak seperti minyak sayur langsung, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (solar) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus. Namun, dia lebih sering digunakan sebagai penambah untuk diesel petroleum, meningkatkan bahan bakar diesel petrol murni ultra rendah belerang yang rendah pelumas. Biodiesel merupakan kandidat yang paling baik untuk menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi transportasi utama dunia, karena biodiesel merupakan bahan bakar terbaru yang dapat menggantikan diesel petrol di mesin sekarang ini dan dapat diangkut dan dijual dengan menggunakan infrastruktur zaman sekarang. Ini merupakan bentuk minyak jelantah sebelum di proses menjadi biodiesel dan dapat di lihat pada Gambar 2. 1. (Characteristic et al., 2015)



Gambar 2. 1 Biodiesel

2.1.2 Pengaduk

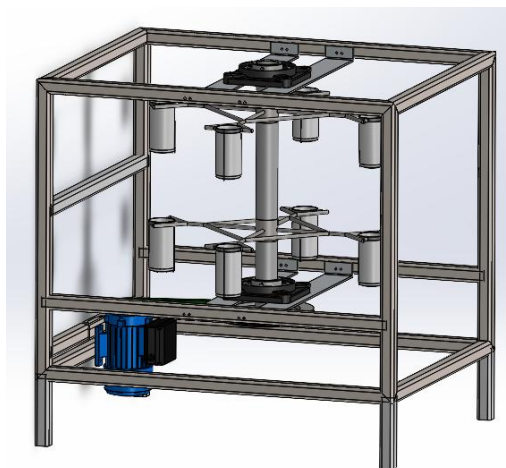
Pengaduk pada proses pengolahan minyak jelantah memiliki peran penting untuk mencampurkan minyak jelantah dengan bahan kimia seperti alkohol (metanol atau etanol) dan katalis (NaOH atau KOH) secara merata. Proses pengadukan ini bertujuan agar reaksi kimia esterifikasi atau transesterifikasi dapat berlangsung secara maksimal, sehingga minyak jelantah dapat diolah menjadi biodiesel (FAME) dengan kualitas yang baik. Pengadukan dilakukan secara terus menerus selama proses pemanasan untuk mencegah terjadinya pengendapan bahan, serta membantu mempercepat reaksi kimia karena semua zat tercampur secara homogen. Umumnya, pengaduk menggunakan tenaga motor listrik atau motor DC yang menggerakkan baling-baling atau impeller di dalam tangki reaktor. Kecepatan pengadukan harus diatur sesuai kebutuhan agar proses pencampuran efektif, tidak terlalu cepat yang dapat menyebabkan buih, dan tidak terlalu lambat yang membuat reaksi kurang optimal. Pengaduk ini menjadi bagian penting dalam sistem pengolahan biodiesel skala kecil hingga menengah karena sangat mempengaruhi hasil akhir kualitas biodiesel yang dihasilkan. Bentuk dari pengaduk yang kami implementasi dapat di lihat pada Gambar 2. 2



Gambar 2. 2 Pengaduk

2.1.3 Mesin Sentrifugal

Mesin sentrifugal merupakan alat yang berfungsi untuk memisahkan dua atau lebih zat cair yang memiliki perbedaan massa jenis, seperti pada proses pemisahan antara biodiesel (FAME) dan gliserol hasil dari pengolahan minyak jelantah. Prinsip kerja mesin ini memanfaatkan gaya sentrifugal, yaitu gaya yang muncul akibat putaran dengan kecepatan tinggi, sehingga zat yang memiliki massa jenis lebih berat akan terdorong ke bagian luar tabung, sedangkan zat yang lebih ringan akan tertinggal di bagian dalam. Pada proses pengolahan biodiesel, mesin sentrifugal sangat membantu mempercepat proses pemisahan yang sebelumnya memerlukan waktu lama jika hanya mengandalkan metode pengendapan secara gravitasi. Dengan kecepatan putar tertentu, biasanya antara 1500 hingga 3000 rpm, mesin ini mampu memisahkan fasa biodiesel dan gliserol dalam waktu yang jauh lebih singkat dan lebih efektif. Selain mempercepat proses, mesin sentrifugal juga meningkatkan kualitas hasil pemisahan karena lebih merata dan bersih, sehingga biodiesel yang dihasilkan memiliki kejernihan dan mutu yang lebih baik sesuai standar. Mesin ini biasanya dilengkapi dengan tabung atau mangkuk pemisah yang dirancang khusus agar proses pemisahan berjalan optimal sesuai dengan prinsip gaya sentrifugal. Ini merupakan kerangka sentrifugal yang dibuat pada proyek akhir dan dapat di lihat pada Gambar 2. 3



Gambar 2. 3 Mesin Sentrifugal

2.1.4 Motor 1 Phasa

Motor listrik satu phasa dengan kecepatan 3000 RPM merupakan motor arus bolak-balik (AC) yang bekerja menggunakan satu sumber tegangan phasa dan berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran poros.

Kecepatan 3000 RPM menunjukkan kemampuan motor menghasilkan putaran tinggi yang stabil dan kontinu, sehingga cocok digunakan sebagai penggerak utama poros sentrifugal. Pada sistem sentrifugal, motor ini berfungsi menghasilkan gaya sentrifugal yang cukup besar untuk memisahkan fluida berdasarkan perbedaan massa jenis, di mana komponen dengan densitas lebih tinggi terdorong ke bagian luar, sedangkan komponen yang lebih ringan berada di bagian dalam. Dengan demikian, penggunaan motor listrik satu phasa berkecepatan 3000 RPM berperan penting dalam menunjang efektivitas dan efisiensi proses pemisahan pada sistem sentrifugal, khususnya dalam pengolahan biodiesel berbahan minyak jelantah. Pada penelitian yang dilakukan oleh merupakan bentuk motor 1 phasa yang kami gunakan pada sentrifugal dan dapat dilihat pada Gambar 2. 4 (Sampeaman et al., n.d.)



Gambar 2. 4 Motor 1 Phasa

2.1.5 *Variable Frequency Drive (VFD)*

Variable Frequency Drive (VFD) bekerja dengan mengatur kecepatan putaran motor listrik AC melalui perubahan frekuensi dan tegangan sumber listrik yang diberikan ke motor. Pada dasarnya, VFD mengubah sumber tegangan AC menjadi tegangan DC menggunakan rectifier (penyearah). Tegangan DC tersebut kemudian disimpan dan distabilkan pada DC link (kapasitor) sebelum diubah kembali menjadi tegangan AC oleh inverter menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM), sehingga menghasilkan tegangan dan frekuensi keluaran yang dapat diatur sesuai kebutuhan. Dengan mengubah frekuensi keluaran inverter, kecepatan putaran motor dapat dikendalikan karena kecepatan sinkron motor AC berbanding lurus dengan frekuensi sumber listrik. Semakin tinggi frekuensi yang diberikan, semakin tinggi pula kecepatan putaran motor, sedangkan penurunan frekuensi akan menurunkan kecepatan motor. Selain itu, VFD juga menyesuaikan tegangan

keluaran agar rasio tegangan terhadap frekuensi (V/f) tetap seimbang sehingga torsi motor tetap terjaga pada berbagai kondisi operasi. Pada penelitian yang dilakukan oleh ini merupakan bentuk VFD yang digunakan untuk mengatur kecepatan output dari motor 1 fasa dan dapat dilihat pada Gambar 2. 5 (Bimantoro Sardoyo Putro; Agus Supardi, S.T., n.d.)



Gambar 2. 5 *Variable Frequency Drive (VFD)*

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah tidak hanya dipengaruhi oleh reaksi kimia, tetapi juga oleh tahapan proses dan rancangan alat yang digunakan. Beberapa penelitian menerapkan sistem bertahap yang meliputi proses pencampuran minyak jelantah dan bahan kimia dalam tabung reaktor, dilanjutkan dengan proses pendinginan, serta pemisahan biodiesel dan gliserol menggunakan metode sentrifugal. Kajian tersebut menjadi dasar dalam perancangan alat pada penelitian ini yang dirancang memiliki tiga tahap proses utama guna meningkatkan efisiensi dan kualitas biodiesel.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nina Arlofa, (2025) membahas pembuatan biodiesel dari minyak jelantah melalui dua tahapan utama, yaitu proses esterifikasi dan transesterifikasi. Pada tahap esterifikasi, minyak jelantah direaksikan dengan metanol menggunakan katalis asam sulfat (H_2SO_4) untuk menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA) yang tinggi pada minyak jelantah. Setelah kadar FFA menurun, proses dilanjutkan dengan tahap transesterifikasi menggunakan metanol dan katalis basa untuk mengubah minyak menjadi biodiesel dan gliserol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan proses esterifikasi sebelum transesterifikasi mampu meningkatkan hasil biodiesel serta menghasilkan kualitas biodiesel yang lebih baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Engla Puspita Haryanisa,(2020) tertuang dalam laporan tugas akhir tersebut membahas perancangan dan pembuatan sistem pemanas dan pengaduk yang digunakan pada proses pengolahan minyak jelantah. Alat yang dirancang terdiri dari tabung sebagai wadah minyak, elemen pemanas untuk menaikkan dan menjaga suhu minyak pada kondisi tertentu, serta sistem pengaduk mekanik yang digerakkan oleh motor listrik untuk menghasilkan pencampuran yang merata. Sistem pemanas berfungsi membantu mempercepat reaksi kimia, sedangkan pengaduk berperan dalam meningkatkan homogenitas campuran minyak dan bahan kimia. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi sistem pemanas dan pengaduk mampu meningkatkan kestabilan suhu dan efektivitas proses pencampuran, sehingga mendukung proses pengolahan minyak jelantah secara lebih optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Fauzan, (2020) dalam laporan Proyek Akhir berjudul “Rancang Bangun Sistem Pendingin dan Pencuci pada Mesin Pengolah Biodiesel dengan Bahan Baku Minyak Jelantah” membahas perancangan sistem pendinginan dan pencucian biodiesel pada mesin pengolah biodiesel berbahan minyak jelantah. Sistem yang dirancang meliputi proses pendinginan setelah reaksi transesterifikasi serta proses pencucian biodiesel untuk memisahkan sisa katalis, metanol, dan gliserol. Pendinginan dilakukan untuk menurunkan suhu biodiesel sebelum memasuki tahap pencucian agar proses pemurnian dapat berlangsung lebih stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pendingin dan pencuci yang dirancang mampu membantu mempercepat penurunan suhu biodiesel serta meningkatkan kualitas biodiesel hasil pencucian.

Penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan alat pengolah biodiesel dari minyak jelantah telah dilakukan oleh Hardynata.,(2022) yang merancang sistem kontrol pendingin pada proses pencucian mesin pengolah biodiesel. Penelitian ini berfokus pada peningkatan efisiensi proses pendinginan biodiesel setelah tahap pemanasan dan reaksi transesterifikasi, yang sebelumnya masih banyak dilakukan secara alami dengan mendinginkan cairan pada suhu ruang sehingga membutuhkan waktu yang relatif lama. Pada penelitian tersebut, sistem pendinginan dirancang menggunakan konsep *cooling tower open type* dengan mekanisme sirkulasi berulang (*looping*) serta dikendalikan secara otomatis

menggunakan *digital thermostat controller*, *solenoid valve*, *blower*, dan pompa sirkulasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin yang dirancang mampu menurunkan suhu biodiesel dari sekitar 60 °C menjadi ± 40 °C dengan rata-rata penurunan suhu sebesar 22,68 °C dalam waktu rata-rata 39 menit 46 detik, sehingga proses pendinginan berlangsung lebih cepat dan terkontrol dibandingkan metode konvensional tanpa sistem pendingin. Penelitian ini menjadi referensi penting dalam pengembangan sistem pendinginan dan pencucian biodiesel yang lebih efisien, terintegrasi, dan semi-otomatis pada skala kecil hingga menengah.

Penelitian terdahulu mengenai pemisahan biodiesel dan gliserol telah dilakukan oleh Dewi et al.,(2023) melalui metode sentrifugasi dengan variasi kecepatan putar. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan mesin sentrifugal dengan kecepatan 2000–4000 rpm dan waktu pemisahan 5–10 menit mampu mempercepat proses pemisahan fase biodiesel (FAME) dan gliserol dibandingkan metode pemisahan secara gravitasi. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa proses sentrifugasi menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang baik dan memenuhi standar yang ditetapkan, sehingga metode ini dinilai lebih efektif dan efisien dalam proses pemurnian biodiesel.

Penelitian yang dilakukan oleh Nur et al.,(2025) melakukan penelitian mengenai perancangan dan pengujian *prototype laboratory-scale centrifuge* yang digunakan untuk memisahkan gum dan kontaminan dari *Crude Palm Oil* (CPO). Mesin sentrifugal yang dirancang menggunakan motor listrik dengan daya sebesar 1/4 HP dan kecepatan putar maksimum 1.400 RPM. Mesin memiliki kapasitas enam botol, dengan masing-masing botol berkapasitas 600 mL, sehingga kapasitas total mencapai 3,6 liter. Pada proses pengujian, CPO dimasukkan ke dalam wadah kemudian ditempatkan pada rotor centrifuge dan diputar menggunakan gaya sentrifugal untuk memisahkan minyak dari gum dan kontaminan berdasarkan perbedaan massa jenis. Pengujian dilakukan dengan variasi waktu sentrifugasi selama 10, 20, 30, dan 40 menit, dengan kecepatan putar rata-rata sebesar 924 RPM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan waktu sentrifugasi memberikan hasil pemisahan yang semakin baik, dengan kondisi pemisahan terbaik diperoleh pada waktu 40 menit. Pada kondisi tersebut, CPO terlihat lebih jernih dan gum atau sedimen lebih banyak terkumpul pada bagian bawah wadah. Penelitian tersebut

menunjukkan bahwa mesin sentrifugal dengan penggerak motor berdaya 1/4 HP dan kecepatan maksimum 1.400 RPM dapat digunakan untuk membantu proses pemisahan gum dan kontaminan pada CPO.

Penelitian yang dilakukan oleh Peristiaferi et al., (2015) melakukan penelitian mengenai pengaturan kecepatan motor tiga fasa pada mesin sentrifugal yang digunakan dalam proses pemisahan pada industri gula. Mesin sentrifugal bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memisahkan kristal gula dari larutan induk (*stroop*) berdasarkan perbedaan massa jenis. Proses kerja mesin terdiri dari beberapa tahapan, yaitu *starting*, *spinning*, dan *breaking*. Pada tahap *starting*, mesin mulai berputar hingga mencapai kecepatan yang ditentukan, kemudian tahap *spinning* dilakukan untuk proses pemisahan, sedangkan tahap *breaking* dilakukan untuk menghentikan atau menurunkan putaran mesin sehingga kristal gula dapat dikeluarkan.

Sistem penggerak pada mesin tersebut menggunakan motor induksi tiga fasa yang kecepatannya dikendalikan melalui inverter dengan rentang frekuensi 0–50 Hz. Kecepatan putaran motor dideteksi menggunakan *rotary encoder* sebagai sinyal umpan balik (*feedback*) untuk sistem kontrol. Pada pengujian, sistem diberikan variasi *setpoint* sebesar 200 RPM, 300 RPM, dan 600 RPM, sedangkan beban yang diberikan mencapai 8,5 kg. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengendalian mampu mempertahankan kecepatan mesin dengan rata-rata *error steady-state* sebesar 1,06%, sedangkan pada kondisi *starting*, *spinning*, dan *breaking* masing-masing diperoleh *error* sekitar 0,6%, 1%, dan 1,5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa motor induksi tiga fasa dapat digunakan sebagai penggerak mesin sentrifugal dengan pengaturan kecepatan yang cukup stabil pada berbagai kondisi pembebanan.

Adapun beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini disajikan pada Tabel 2. 1

Tabel 2. 1 Peneliti Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Kelebihan	Kekurangan
1.	Nina Arlofa & Rohanah	Pengaruh Rasio Katalis NaOH Pada Pembuatan Biodisel	Penerapan proses esterifikasi dan transesterifikasi	Belum adanya pembahasan pengembangan

No.	Penulis	Judul	Kelebihan	Kekurangan
		Dari Minyak Jelantah Dengan Proses Esterifikasi dan Transesterifikasi	yang efektif serta analisis rasio katalis NaOH yang menghasilkan biodiesel sesuai standar SNI	alat dan sistem pemisahan mekanik yang terintegrasi dalam proses produksi biodiesel
2.	Engla Puspita Haryanisa	Rancang Bangun Sistem Pemanas Dan Pencampur Minyak Jelantah Pada Alat Pengolahan Biodisel	Sistem pemanas dan motor pengaduk yang mampu menjaga suhu dan menghasilkan pencampuran minyak jelantah secara merata di dalam tabung.	Wadah minyak yang belum memiliki sistem pendinginan dan pada motor pengaduk yang belum dilengkapi pengatur kecepatan, serta belum adanya sistem pemisahan hasil reaksi.
3.	Fauzan	Rancang Bangun Sistem Pendingin dan Pencuci pada Mesin Pengolah Biodiesel	Mengintegrasikan proses pendinginan dan pencucian dalam satu sistem Meningkatkan kestabilan suhu dan	Metode pemisahan biodiesel dan gliserol masih dilakukan secara konvensional

No.	Penulis	Judul	Kelebihan	Kekurangan
			kualitas biodiesel hasil pencucian	
4.	Hardynata	Sistem Kontrol Pendingin Pada Proses Pencucian Mesin Pengolah Biodisel Dengan Bahan Baku Minyak Jelantah	Mampu mempercepat proses pendinginan biodiesel dibandingkan pendinginan alami, serta bekerja secara semi-otomatis dengan pengendalian suhu menggunakan thermostat dan solenoid valve sehingga suhu dapat dikontrol sesuai setpoint yang diinginkan.	Waktu pendinginan yang masih relatif lama, kapasitas tangki yang terbatas, serta proses pengisian biodiesel yang masih dilakukan secara manual sehingga tingkat otomatisasi dan efisiensi energi belum optimal.
5.	Sukhma Kusuma Dewi, Lilis Yuliati,& Agung Sugeng Widodo	Karakterisasi Biodisel Produk Transesterifikasi Menggunakan Variasi Kecepatan Sentrifugal Pada Proses Pemisahan FAME	Mampu mempercepat pemisahan biodiesel dan gliserol secara signifikan dibandingkan metode gravitasi, dengan waktu	Membutuhkan konsumsi energi listrik lebih tinggi, konstruksi mekanik yang presisi, serta kapasitas pengolahan

No.	Penulis	Judul	Kelebihan	Kekurangan
			pemisahan singkat (5–10 menit) dan hasil biodiesel yang memenuhi standar kualitas.	yang masih terbatas pada skala laboratorium.
6.	Solehudin An Nur, Mursalin, Apri Rahmadi, Doddy Irawan, Eko Julianto	<i>Prototype of Laboratory Scale Centrifuge for Gum Crude Palm Oil (CPO) Separate</i>	Berhasil mengembangkan <i>prototype centrifuge</i> dengan motor 1/4 HP dan kecepatan maksimum 1.400 RPM.	Kapasitas mesin masih terbatas, yaitu hanya 3,6 L.
7.	Trio Yus Peristiaferi, Rusdhianto Effendie AK, Josaphat Pramudijanto	Pengaturan Kecepatan Motor 3 Fasa pada Mesin Sentrifugal Menggunakan Metode <i>PID Fuzzy</i>	Motor induksi 3 fasa berhasil digunakan pada mesin sentrifugal dengan variasi beban 1–8,5 kg.	Pengujian motor hanya dilakukan sampai 600 RPM, sehingga performa motor pada kecepatan operasi yang lebih tinggi belum diketahui.