

Mesin Pencuci Biodiesel dari Proses Esterifikasi Dilengkapi dengan Sistem Pendingin

Made Rahmawaty^{1*}, Hendriko², Muhammad Hilmy Fauzan³, Edilla⁴ 

^{1,2,3,4}Teknik Mekatronika Politeknik Caltex Riau Kampus Politeknik Caltex Riau, Rumbai, Pekanbaru, Provinsi Riau, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received September 07, 2022

Revised September 15, 2022

Accepted March 20, 2023

Available online April 25, 2023

Kata Kunci:

Biodiesel; pencucian; pendingin..

Keywords:

Biodiesel; purifying; cooling;



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2023 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Proses pengolahan biodiesel terbagi dalam empat tahap yaitu proses esterifikasi, pendingin, pencucian dan filtrasi. Proses pencucian biodiesel hasil dari proses esterifikasi membutuhkan waktu yang panjang karena harus melalui proses pengendapan. Oleh karena itu maka pada penelitian ini dikembangkan mesin pencucian biodiesel yang dilengkapi dengan sistem pendingin. Sistem pendingin bertujuan agar proses pengendapan bisa berlangsung lebih cepat. Sistem pendingin menggunakan modul termoelektrik yang terpasang pada pipa penyalur dari tangki esterifikasi menuju tangki pencuci. Mesin ini juga dilengkapi dengan sistem kendali dan penggerak katup sehingga proses dapat berlangsung secara otomatis. Rancangan mesin pencuci biodiesel telah berhasil dikembangkan dan telah melalui serangkaian pengujian. Pengujian dilakukan pada proses pencucian untuk memisahkan fasa gliserol dan fasa biodiesel mentah. Pencucian juga dilakukan untuk memisahkan air kotor dan biodiesel. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor suhu dan sistem pendingin berfungsi dengan baik. Sistem pendingin yang dikembangkan terbukti mampu mempercepat proses pencucian.

ABSTRACT

The biodiesel process is divided into four stages, they are the esterification, cooling, purifying and filtration process. The washing process of biodiesel from the esterification process takes a long time because it must go through a sedimentation process. Therefore, in this study, a biodiesel purifying machine equipped with a cooling system was developed. The cooling system aims to make the sedimentation process faster. The cooling system uses a thermoelectric module that is attached to a distribution pipe from the esterification tank to the purifying tank. This machine is also equipped with a control system and valve motor so that the process can take place automatically. The design of the biodiesel purifying machine has been successfully developed and has through a series of testing processes. The test was carried out in the purifying process to separate the glycerol phase and the crude biodiesel phase. Purifying was also performed to separate dirty water and biodiesel. The results show that the temperature sensor and cooling system are functioning properly. The cooling system developed in the biodiesel purifying process could faster the process.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang sangat kaya akan sumber daya alamnya, diantaranya minyak bumi. Penggunaan minyak bumi yang tinggi khawatirkan akan berdampak terhadap sumber daya alam tersebut karena minyak bumi merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Berdasarkan data Pengatur Hilir Migas dan Gas Bumi, konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) pada 2016 meningkat 2,76% menjadi 73,56 juta kiloliter dari tahun sebelumnya. Oleh sebab itu jika ingin menekan jumlah penggunaan BBM yang berasal dari fosil, maka caranya adalah mengurangi penggunaan solar dengan beralih ke biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari bahan dasar minyak goreng bekas, pembuatan biodiesel ini dapat mengurangi beban lingkungan karena sampah/limbah. Selain itu biodiesel tidak menambah jumlah gas karbon dioksida, karena berasal dari tumbuhan. Namun meskipun keberadaan biodiesel sangat menjanjikan, tantangan terbesar terletak pada biaya produksi yang relatif lebih tinggi dibanding harga minyak bumi (Wassell & Dittmer, 2006; César & Batalha, 2013; Lopes et al., 2013).

Metode dan proses pembuatan biodiesel telah banyak dilakukan, salah satunya adalah pembuatan biodiesel melalui proses adsorpsi zeolit (Mowla et al., 2018; Saeedi et al., 2016; Lisa et al., 2018). Meskipun menerapkan proses adsorpsi zeolit, namun masing-masing peneliti melakukan beberapa modifikasi dan menggunakan bahan utama yang berbeda-beda, seperti minyak jelantah dan kedelai. Metode lain dalam pembuatan biodiesel adalah penggunaan bahan katalis NaOH (Aziz, M.T et al., 2017; Alamu et al., 2008; Yang et al., 2011; Prayanto et al., 2016; Rafati et al., 2019). Sama seperti metode zeolit, bahan utama yang digunakan dan mekanisme yang dilakukan berbeda-beda. Penelitian untuk pengembangan teknologi pengolahan minyak nabati menggunakan minyak kelapa sawit telah banyak

*Corresponding author.

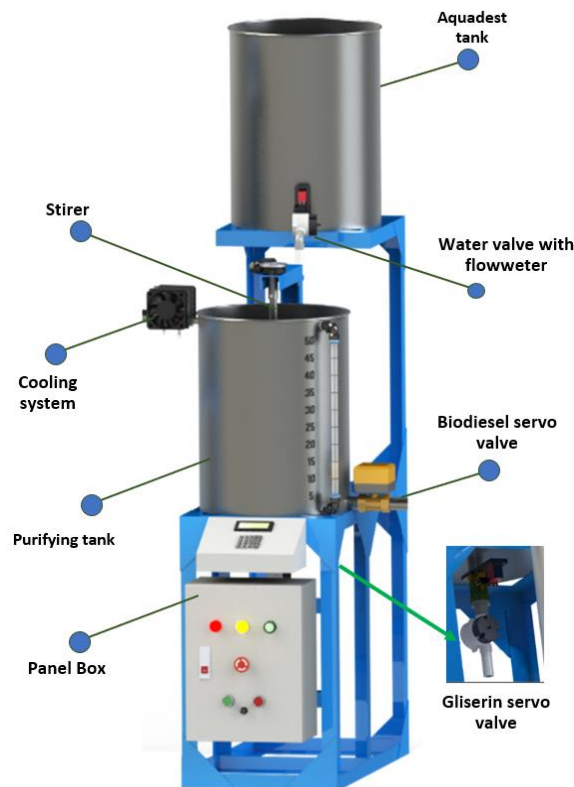
E-mail addresses: hendriko@pccr.ac.id (Made Rahmawaty)

dilakukan (El Zanati et al., 2017; Sánchez-Cantú et al., 2017; Kumar et al., 2013). Pengembangan lain juga mulai banyak dilakukan dalam menghasilkan biodiesel dengan memanfaatkan minyak goreng bekas atau dikenal dengan minyak jelantah (Farooq & Ramli, 2015; Sarno & Iuliano, 2019a; Sarno & Iuliano, 2019b; Sahar et al., 2018; Rachmadona et al., 2022). Pengembangan biodiesel berbahan minyak jelantah memiliki manfaat ganda terhadap perlindungan lingkungan, yaitu mengurangi jumlah gas karbon dioksida karena biodiesel berasal dari tumbuhan, dan mengurangi sampah yang biasanya dibuang langsung ke lingkungan. Selain itu, biodiesel bersifat biodegradable dan hampir tidak mengandung sulfur. Penggunaan minyak bekas untuk membuat biodiesel dapat mengurangi biaya produksi (Rachmadona et al., 2022). Sebagian besar penelitian dalam pengembangan biodiesel berbahan minyak jelantah fokus pada pengembangan jenis dan komposisi katalis terbaik pada tahap proses esterifikasi (Amenaghawon et al., 2022; Nor Irham Nor Azan et al., 2020).

Salah satu kelemahan dalam proses pembuatan biodiesel menggunakan bahan baku minyak jelantah adalah waktu produksi yang sangat panjang. Waktu produksi yang panjang terutama pada tahap pencucian biodiesel hasil dari proses esterifikasi. Penyebab utama panjangnya waktu pencucian adalah proses sedimentasi untuk memisahkan fasa larutan yang membutuhkan waktu yang lama. Proses sedimentasi dilakukan untuk memisahkan biodiesel kotor dan gliserol, serta memisahkan air kotor dan biodiesel (Amenaghawon et al., 2022). Selain itu, proses pencucian biodiesel harus dilakukan berulang kali untuk mendapatkan hasil yang baik. Pengembangan alat pengolah biodiesel telah banyak dilakukan. Pada tahun 2013 (Jaryadi et al., 2013) mengembangkan alat pengolah biodiesel dimana proses pemisahan sudah memakai sistem pembukaan katup secara otomatis. Penggunaan sistem kontrol masih terbatas pada pembukaan dan penutupan katup. (Khan, Rao, Pabla, & Ghotekar, 2022) juga mengembangkan mesin sederhana menggunakan bahan-bahan bekas dengan mekanisme yang hampir sama. Kedua mesin yang dikembangkan tersebut belum dilengkapi dengan sistem pendingin sehingga proses pencucian masih berlangsung sangat lama.

Mesin pembuat biodiesel lainnya juga dikembangkan oleh (Fitriani et al., 2016) dengan menggunakan gelombang ultrasonik. Proses pemisahan antara fasa biodiesel dan fasa gliserol pada mesin yang dikembangkan masih dilakukan secara manual, yaitu dengan menggunakan pipa tetes. Hal yang sama juga dilakukan oleh (Zhang et al., 2019) yang mengembangkan reaktor biodiesel menggunakan reaktor ultrasonik. Pengembangan mesin biodiesel menggunakan reaktor ultrasonik juga dilakukan oleh (Elma, Suhendra, & Wahyuddin, 2018). Hampir sama dengan sistem yang dikembangkan oleh (Fitriani et al., 2016) dimana proses pencucian belum menggunakan sistem pendingin, dan emisahan fasa gliserol dengan biodiesel masih dilakukan secara manual. Metode pembuatan biodiesel yang diterapkan umumnya mengacu pada mekanisme yang dikembangkan oleh (Okvitarini, Hidayah, Satriadi, & Widayat, 2013), yaitu dengan cara mencampurkan katalis KOH pada minyak jelantah yang menjadi bahan baku pembuatan biodiesel. Hasil pengujian terhadap penggunaan ultrasonik menunjukkan bahwa metode ultrasonik dapat meningkatkan laju perpindahan masa, yang pada akhirnya berdampak pada suhu larutan yang dihasilkan cenderung lebih tinggi dari 60°C (Koc & McKenzie, 2010). Hal ini menyebabkan proses pencucian biodiesel menjadi lebih lama. Selain itu, mesin yang menggunakan reaktor ultrasonik umumnya masih belum menggunakan sistem pendingin, dan proses pemisahan fasa gliserol dan biodiesel masih dilakukan dengan cara manual. Upaya untuk mempercepat proses sedimentasi sudah dilakukan juga oleh (Abbaszaadeh et al., 2011). Mereka menerapkan metode elektrostatika yang menggunakan listrik tegangan tinggi dan arus lemah. Namun waktu yang dibutuhkan untuk proses sedimentasi masih berkisar antara 40 – 70 menit.

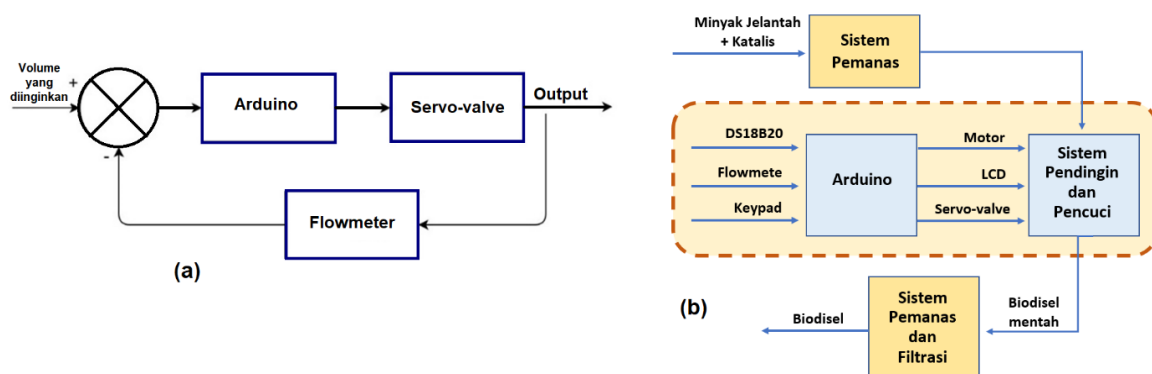
Oleh karena itu maka pada penelitian ini dikembangkan mesin pengolah biodiesel dengan bahan baku minyak jelantah. Mesin ini dirancang untuk melakukan empat proses, yaitu proses esterifikasi, proses pendinginan, proses pencucian dan proses filtrasi. Pengembangan mesin pada proses esterifikasi telah dilakukan (Rahmawaty, Hendriko, & Haryanisa, 2021). Pembahasan pada artikel ini fokus pada pengembangan sistem pencucian biodiesel yang dilengkapi dengan sistem pendingin. Mesin ini menggunakan modul termoelektrik yang dirancang khusus sebagai sistem pendingin minyak yang diterima dari tangki pemanas (proses esterifikasi). Sedangkan sistem pencucian menggunakan motorized valve yang dikondisikan oleh sensor aliran sehingga sehingga pembukaan katup menyesuaikan dengan input volume minyak yang dimasukkan ke tangki pengolahan. Mesin ini dikembangkan dengan tujuan untuk mempercepat proses pendingin biodiesel yang dihasilkan dari proses esterifikasi. Proses pendinginan yang cepat diharapkan dapat mempercepat proses endapan untuk menghasilkan fasa gliserol. Sistem otomatis yang diterapkan pada mesin ini selain untuk mempercepat proses pengolahan biodiesel, juga bertujuan agar proses pencucian biodiesel dapat berlangsung secara berkelanjutan dan dapat mengurangi keterlibatan operator secara signifikan.



Gambar 1. Rancangan Mesin Pendingin dan Pencuci Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah

2. METODE

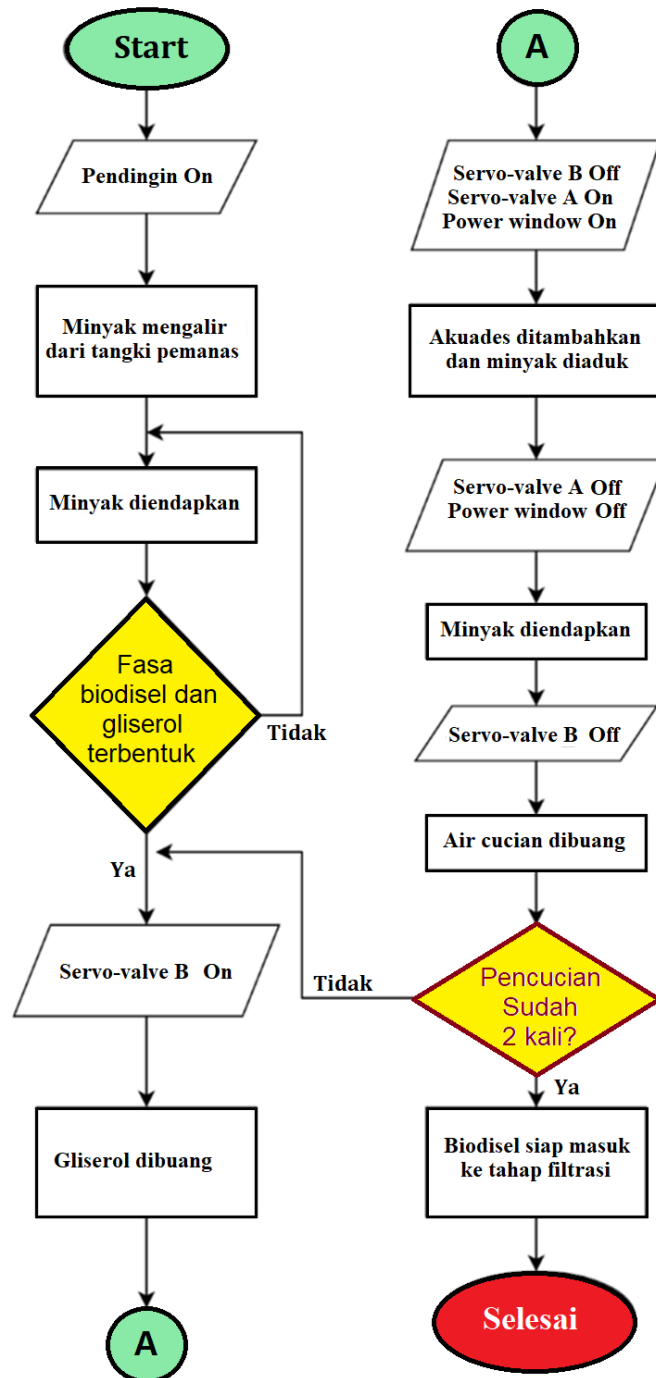
Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah mesin pencuci biodiesel yang dilengkapi dengan sistem pendingin. Oleh karena itu tahapan dalam penelitian ini meliputi penyusunan rancangan mesin yang akan dikembangkan, termasuk di dalamnya adalah perancangan konstruksi mekanik, perancangan sistem elektronika, dan perancangan sistem kendali. Hasil rancangan selanjutnya di fabrikasi untuk menghasilkan konstruksi mesin yang diinginkan. Untuk memastikan bahwa mesin yang dikembangkan memenuhi tujuan dari penelitian ini maka proses pengujian dilakukan. Proses pengujian mesin dilakukan untuk menentukan kinerja dan kapasitas mesin. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk menentukan variabel yang digunakan dalam pemrograman sistem kendali seperti waktu yang dibutuhkan untuk proses sedimentasi, atau laju aliran fluida.



Gambar 2 a) Diagram Flowmeter , dan **b)** Diagram Blok Mesin Pengolah Biodiesel

Rancangan mesin pengolah biodiesel berbahan minyak jelantah disajikan pada Gambar 1. Proses pendinginan dan pencucian merupakan proses tahap kedua setelah proses pencampuran minyak jelantah dan katalis pada tahap esterifikasi. Campuran minyak jelantah dan katalis dari tahap sebelumnya masuk ke tangki pencuci melalui sistem pendingin. Sistem pendingin bertujuan agar proses pengendapan di

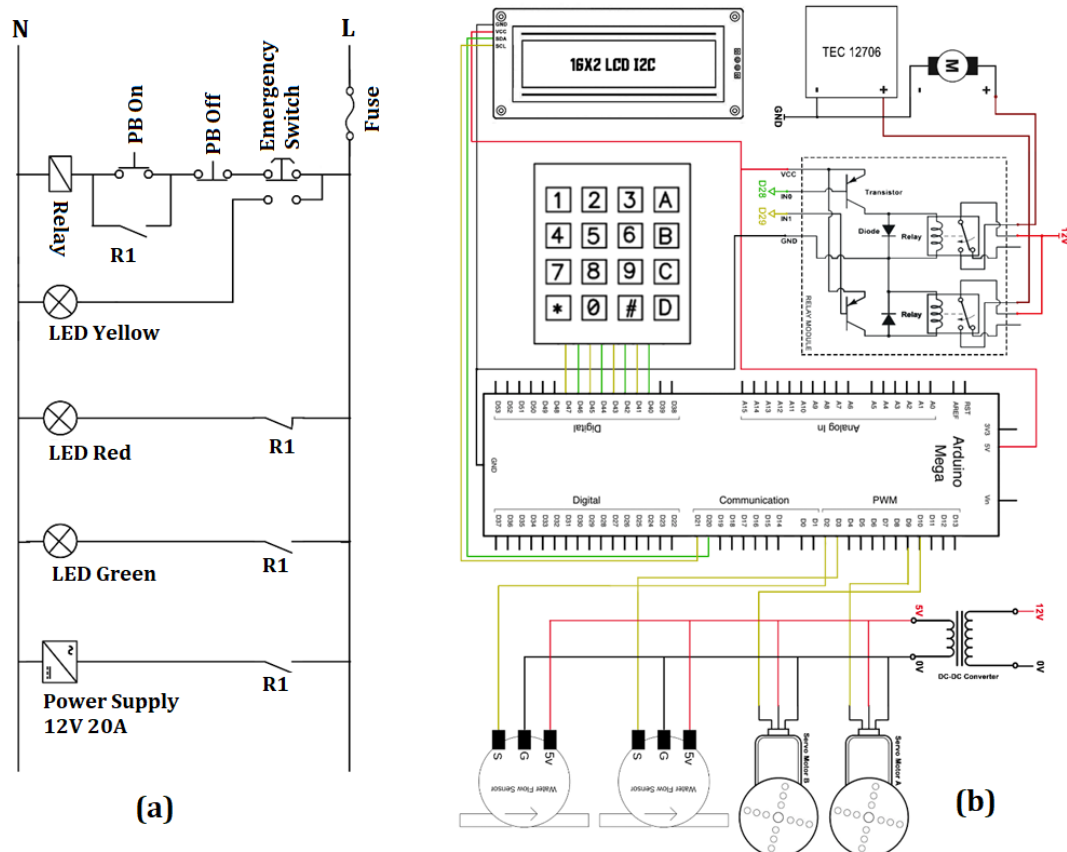
tahap pencucian bisa berlangsung lebih cepat. Pada alat ini terdapat dua buah tangki sebagaimana disajikan pada Gambar 1, yaitu tangki yang berada di atas sebagai penyuplai akuades dan tangki yang berada dibawah sebagai media pencuci minyak. Posisi tabung pada mesin pendingin dan pencuci biodiesel sengaja dirancang bertingkat dengan tujuan agar proses pengeluaran material dapat memanfaatkan gravitasi sehingga tidak perlu menggunakan pompa. Tabung akuades dan tabung pencuci dibuat dari bahan *stainless steel*, sedangkan dudukan tabung terbuat dari besi siku.



Gambar 3. Flowchart Pencucian Alat Pengolah Biodiesel

Pada tangki penyuplai akuades terdapat *valve* yang digerakkan oleh motor servo dan *flowmeter* untuk mengatur volume *output* akuades. Pada tangki pencuci minyak terdapat indikator volume minyak dalam satuan liter. Sebelum minyak masuk ke tangki pencuci, minyak akan didinginkan terlebih dahulu menggunakan modul peltier. Pada tangki pencuci terdapat *valve* yang digerakkan oleh motor servo dan *flowmeter* untuk mengatur pembuangan gliserol. Motor power window digunakan sebagai pengaduk yang

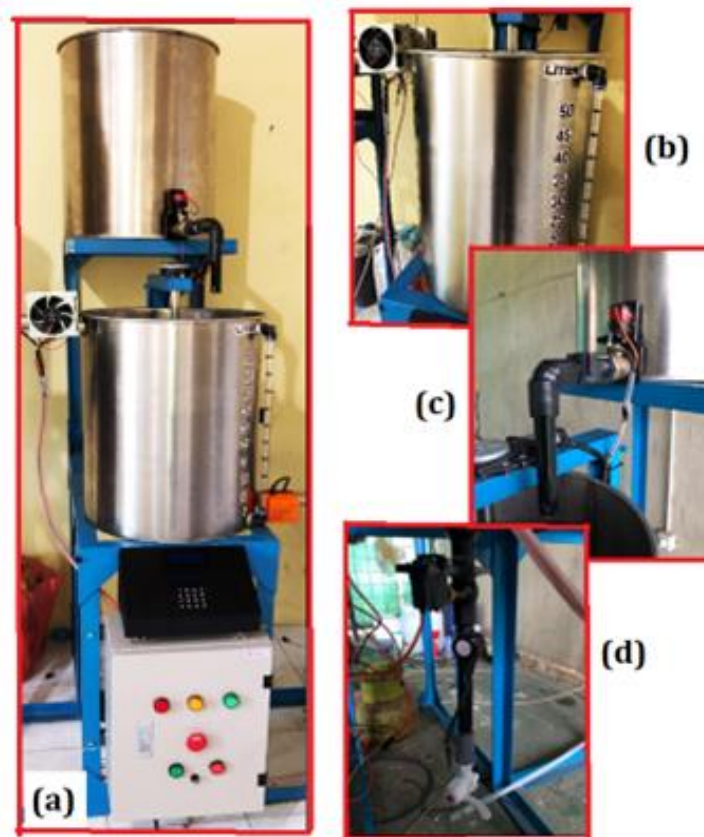
berguna untuk mengaduk minyak. Terdapat panel kontrol dan *interface* untuk menampilkan suhu dan menginputkan volume bahan yang diolah. Terdapat *panel box* sebagai media untuk rangkaian elektronika. Untuk mengatur jumlah akuades dan biodiesel yang keluar dari tabung, mesin yang dikembangkan menggunakan *flowmeter*. *Flowmeter* digunakan untuk menghitung banyaknya bahan pencuci minyak (akuades) yang dikeluarkan oleh tangki dengan membuka *servo-valve* saat proses pencucian dilakukan. Diagram blok untuk *flowmeter* dapat dilihat pada Gambar 2a. Proses kerja *servo-valve* dikendalikan oleh arduino berdasarkan nilai setpoint volume yang diberikan pada *flowmeter*. Ketika *servo-valve* dibuka, maka cairan mengalir melewati *flowmeter*. Kemudian *flowmeter* memberi umpan berupa volume yang telah mengalir. Ketika volume telah mencapai *setpoint* yang telah diberikan, maka *servo-valve* menutup kembali.



Gambar 4. Skematik Rangkaian Kontrol Sekuensial Bagian Supply, b) Rangkaian Elektronika Arduino Mega

Secara keseluruhan proses pendinginan dan pencucian dikendalikan oleh arduino berdasarkan beberapa parameter seperti DS18B20, *flowmeter*, *keypad* yang digunakan untuk mengendalikan motor, LCD, dan *servo-valve*. Hasil dari proses pendinginan dan pencucian adalah biodiesel mentah yang selanjutnya disaring pada tangki pemanasan dan filtrasi. Diagram blok proses pembuatan biodiesel secara keseluruhan disajikan pada Gambar 2b. Pada bagian yang ditandai dengan garis putus-putus merupakan diagram blok untuk proses pendinginan dan pencucian. Diagram alir untuk mendeskripsikan urutan proses mulai dari proses pendinginan, pencucian, hingga pengeluaran biodiesel disajikan pada Gambar 3. Proses diawali dengan menyalakan pendingin dan kemudian minyak dialirkan dari tangki pemanas melalui pipa yang telah dihubungkan dengan kotak pendingin. Setelah minyak masuk secara keseluruhan ke tangki pencuci, selanjutnya minyak diendapkan selama 20 menit. Setelah proses pengendapan selesai maka larutan terbagi menjadi dua bagian, yaitu fasa biodiesel pada bagian atas dan fasa gliserol pada bagian bawah. *Servo-valve* B yang terletak dibawah tangki selanjutnya membuang gliserol yang mengendap di bagian bawah tangki. Setelah proses pembuangan selesai, *servo-valve* B menutup dan kemudian *servo-valve* A yang terletak di tangki akuades terbuka untuk memasukkan akuades ke tangki pencuci. Motor menyala untuk mengaduk biodiesel dengan akuades. Setelah diaduk, cairan kembali diendapkan dan hasil endapan akan kembali menjadi dua bagian, yaitu air kotor berada pada bagian bawah dan biodiesel berada pada bagian atas. Endapan air kemudian dibuang dengan membuka *servo-valve* B. Proses ini dilakukan berulang sebanyak dua kali agar biodiesel yang dihasilkan jernih.

Rangkaian kontrol pada [Gambar 4a](#) merupakan rangkaian elektronika yang dirancang untuk mengendalikan pergerakan aktuator. Mesin ini menggunakan beberapa bagian rangkaian, diantaranya rangkaian panel kontrol dan rangkaian mikrokontroler. Pada [Gambar 4a](#) terlihat bahwa rangkaian ini khusus untuk panel kontrol supply yang menggunakan 220 VAC. Rangkaian elektronika menggunakan tombol on (PB On) yang berfungsi untuk menghidupkan relai dan merupakan rangkaian *selfholding*. Ketika relai aktif maka LED hijau dan power supply 12V menyala karena kontak normally open (NO) pada relai terhubung. Ketika tombol off (PB Off) ditekan maka relai mati bersamaan dengan LED merah dan power supply. Ketika Tombol Emergency ditekan, LED Kuning akan menyala dan aliran listrik terputus sehingga tidak terjadi apapun ketika PB On/Off ditekan. Pada [Gambar 4b](#) dapat dilihat bahwa 12 VDC digunakan untuk menghidupkan arduino mega, modul stepdown, modul TEC12706 dan motor power window. Modul stepdown menurunkan tegangan 12 VDC menjadi 5 VDC yang berfungsi sebagai suplai tegangan untuk flowsensor dan motor servo. Modul keypad 4x4 terhubung ke pin digital D40 sampai dengan pin digital D47. LCD I2C mendapat suplai tegangan sebesar 5V dari arduino mega. Pin SDA dan SCL saling terhubung dengan pin D20 untuk SDA dan pin D21 untuk SCL. Modul relay mendapat suplai tegangan 5V dari arduino, IN1 dan IN2 terhubung ke arduino pada pin digital D28 dan D29.



Gambar 5 a) Konstruksi Mesin Pendingin dan Pencuci Biodiesel, **b)** Tangki Pencuci dan Sistem Pendingin, **c)** Katup Penyuplai Akuades, **d)** Katup Pembuangan Gliserin

3. HASIL DAN BAHASAN

Hasil

Konstruksi mesin pendingin dan pencuci biodiesel telah selesai dibangun sebagaimana disajikan pada [Gambar 5a](#). [Gambar 5b](#) menunjukkan tabung pencuci dimana pada bagian atasnya terdapat sistem pendingin. Sistem pendingin bertujuan untuk mendinginkan campuran biodiesel yang keluar dari tabung pemanas setelah proses esterifikasi. Tabung pencuci terbuat dari bahan stainless steel dan terdapat indikator tinggi untuk menentukan jumlah larutan yang masuk ke dalam tabung. [Gambar 5c](#) menunjukkan katup penyuplai akuades yang aktif pada saat proses pencucian berlangsung. Katup penyuplai juga dilengkapi dengan flowmeter yang berfungsi sebagai penghitung volume cairan akuades yang masuk ke tangki, maupun yang dibuang dari tangki. Nilai cairan yang dibutuhkan diketik pada keypad dan selanjutnya katup terbuka. Akuades akan mengalir melewati *flowmeter* dan *flowmeter* mulai menghitung volume air yang masuk. Ketika volume telah tercapai sesuai dengan yang diketik pada keypad, maka katup

tertutup. Pada Gambar 5d menunjukkan katup yang berfungsi untuk mengeluarkan gliserin setelah proses pengendapan selesai. Untuk melihat kinerja mesin dalam proses pembuatan biodiesel maka pengujian dilakukan. Beberapa pengujian telah dilakukan diantaranya adalah pengujian untuk melihat kinerja sistem pendingin dan pengujian akurasi kerja *flowmeter*. Selanjutnya juga dilakukan pengujian untuk melihat kinerja mesin secara keseluruhan dalam menghasilkan biodiesel. Rincian untuk masing-masing hasil pengujian disajikan pada sub bab 3.1 – 3.3.

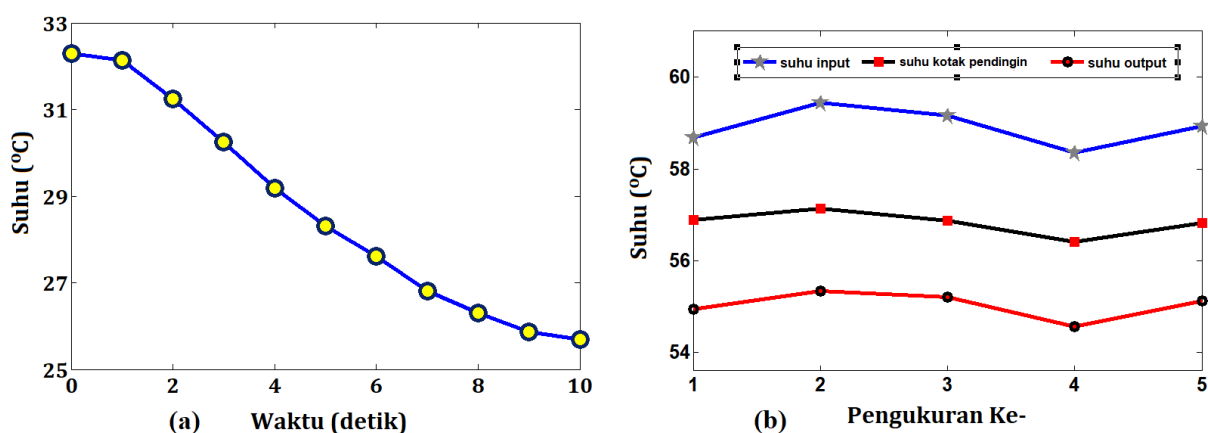
Pengujian Kecepatan Penurunan Suhu Sistem Pendingin

Pengambilan data suhu proses pendinginan dilakukan untuk mengetahui performa sistem pendingin dalam menurunkan suhu larutan yang keluar dari proses esterifikasi. Proses pengujian ini dilakukan dengan memanaskan minyak dan campuran katalis hingga sekitar 60°C. Selanjutnya menyalurkan cairan ke tangki pencuci dengan membuka katup tangki pemanas, dan kemudian campuran minyak melewati sistem pendingin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6a. Sistem pendingin dan tangki memiliki sensor suhu yang berfungsi untuk mendeteksi suhu larutan yang mengalir melalui sistem pendingin dan suhu larutan pada tangki pencuci.



Gambar 6. Pengujian Sistem Pendingin, b) Pengukuran Suhu Dan Waktu

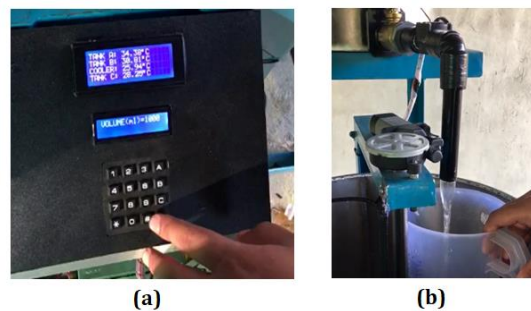
Pengujian kinerja pendingin dilakukan dalam 2 tahap, yaitu pengujian kinerja sistem pendingin tanpa larutan, dan pengujian sistem pendingin saat menggunakan larutan panas. Untuk pengujian yang pertama dilakukan dengan cara menghidupkan pendingin dan mendeteksi penurunan suhu pada kotak pendingin berdasarkan data hasil pengukuran sensor suhu yang disajikan pada layar. Pada pengujian ini diukur kecepatan penurunan suhu sistem pendingin dalam waktu 10 menit. Pengukuran waktu menggunakan perangkat stopwatch yang tersedia di *smart phone* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6b. Data hasil pengukuran disajikan pada Gambar 7a. Dari grafik pada gambar tersebut terlihat bahwa suhu awal kotak pendingin adalah 32,3 °C dan dalam waktu 10 detik suhu turun mencapai 25,69 °C. Penurun suhu dalam waktu 10 detik sebesar 6,61°C.



Gambar 7. Hasil Pengukuran Suhu pada Kotak Pendingin Tanpa Larutan, dan b) Hasil Pengukuran Suhu Larutan Melewati Kotak Pendingin

Pengujian kedua dilakukan untuk melihat kinerja sistem pendingin dalam menurunkan suhu larutan yang keluar dari tabung esterifikasi sebagaimana yang disajikan pada Gambar 6a. Pada pengujian ini dilakukan 5 kali pengambilan data. Suhu yang diukur adalah suhu larutan yang masuk ke dalam kotak pendingin (*suhu input*), suhu larutan saat berada di kotak pendingin (*suhu kotak pendingin*), dan suhu

larutan saat keluar kotak pendingin (suhu *output*). Hasil pengukuran disajikan pada Gambar 7b. Dari grafik pada gambar tersebut terlihat bahwa larutan yang melewati kotak pendingin mengalami penurunan suhu. Besar penurunan suhu adalah selisih antara suhu input dan suhu output. Rata-rata penurunan suhu dari 5 kali pengukuran adalah sebesar 3,89 °C.

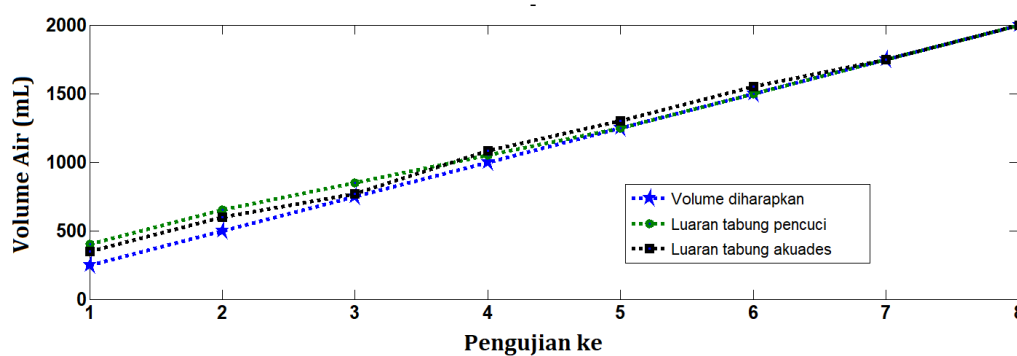


Gambar 8. Input Volume yang akan Dikeluarkan pada Keypad, b) Air yang Keluar Ditampung Menggunakan Ceret Ukur

Pengujian akurasi flowmeter pada tangki akuades dan tangki pencuci

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan jumlah atau volume larutan yang mengalir melalui katup. Pada pengujian ini terdapat dua *flowmeter* yang dianalisa ketepatannya, yaitu *flowmeter* pada katup luaran tangki akuades dan *flowmeter* pada katup luaran tangki pencuci. Pada pengujian ini dilakukan 8 kali pengujian dengan volume air yang berbeda beda. Jumlah air yang harus dikeluarkan dari tabung akuades diatur pada tombol keypad seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8a. Selanjutnya motor servo berputar untuk membuka katup pada sudut 90°. Setelah katup terbuka maka air mengalir melalui katup dan masuk ke dalam ceret ukur yang sudah dipersiapkan seperti yang disajikan pada Gambar 8b.

Data hasil pengujian akurasi *flowmeter* pada tabung akuades dan tabung pencuci disajikan pada Gambar 9. Dari data yang disajikan terlihat bahwa tingkat *error* pada volume rendah relatif tinggi. *Error* tertinggi pada *flowmeter* tabung akuades sebesar 37,5% terjadi pada volume 250 ml. *Error* mengalami penurunan signifikan seiring bertambahnya volume. Hasil pengukuran yang akurat terjadi mulai volume 1250 ml hingga 2000 ml dimana tingkat *error* 0%. Kecenderungan yang hampir sama juga disajikan pada data hasil pengujian *flowmeter* untuk tabung pencuci. *Error* tertinggi sebesar 28,57% terjadi pada volume 250. Tingkat kesalahan juga menurun signifikan sejalan dengan bertambahnya volume. Hasil pengukuran akurat mulai dari volume 1750 ml hingga 2000 ml dimana tingkat *error* 0%.



Gambar 9. Hasil Pengujian Flowmeter pada Tabung Akuades dan Tabung Pencuci

Pengujian Hasil Biodiesel Pada Tangki Pencuci

Pengujian ini bertujuan untuk melihat kinerja mesin dalam melakukan fungsi pencucian biodiesel. Minyak panas yang masuk ke tabung pencucian melalui sistem pendingin selanjutnya diendapkan selama 20 menit. Pengendapan dilakukan agar fasa gliserol dan fasa biodiesel mentah terbentuk. Fasa gliserol berada pada bagian bawah dan fasa biodiesel mentah berada di atas. Gliserol selanjutnya dibuang dengan mengaktifkan motor servo pada tabung pencuci untuk membuka katup. Setelah gliserol dibuang, motor servo kembali aktif untuk menutup katup. Selanjutnya motor servo pada tabung akuades aktif untuk membuka katup sehingga air masuk ke dalam tabung pencuci. Pada saat bersamaan motor pengaduk juga aktif sehingga biodiesel mentah dan air tercampur. Setelah jumlah air cukup maka selanjutnya motor

servo pada tabung akuades aktif kembali untuk menutup katup. Selanjutnya campuran biodiesel mentah dan air diendapkan kembali selama 20 menit. Setelah 20 menit kembali terbentuk fasa air kotor yang berada pada bagian bawah dan fasa biodiesel mentah pada bagian atas. Kemudian motor servo pada tabung pencuci kembali aktif untuk membuka katup sehingga fasa air kotor keluar. Proses pencucian biodiesel mentah berlangsung selama 2 kali sehingga biodiesel menjadi bersih. Luaran hasil proses pencucian biodiesel disajikan pada [Tabel 1](#). Dari tabel terlihat bahwa proses pencucian dapat berlangsung dengan baik. Rata-rata biodiesel mentah yang dihasilkan sebanyak 74,4% dari larutan minyak jelantah dan katalis yang masuk ke tabung pencucian.

Tabel 1. Data Hasil Proses Biodiesel Luaran Tangki Pencuci

Minyak panas yang masuk tangki (L)	Hasil biodiesel mentah (L)	Gliserol (L)	% Biodiesel
10,5	8	2,5	76,2%
16	12	4	75%
25	18	6	72%
		Rata-rata	74,4%

Pembahasan

Pengembangan mesin pencuci biodiesel yang dilengkapi dengan sistem pendingin telah dilaksanakan dengan baik dan telah dilakukan beberapa pengujian. Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk melihat kinerja sistem pendingin dan dampaknya terhadap kecepatan proses pengolahan biodiesel. Pengujian juga dilakukan untuk melihat kinerja sistem kontrol yang diterapkan pada mesin, khususnya *flowmeter* yang berfungsi untuk mengendalikan kerja motor servo penggerak katup. Kinerja mesin dalam melaksanakan proses pengolahan biodiesel juga diuji dan dianalisa kapasitas produksinya. Hasil pengujian terhadap kinerja sistem pendingin menunjukkan bahwa sistem dapat berfungsi dengan baik dan mampu menurunkan suhu dengan cepat. Tingkat penurunan suhu rata-rata larutan biodiesel panas setelah melewati kotak pendingin adalah 3,89 °C. Jika ditinjau dari besar penurunan suhunya memang masih belum memberi dampak yang terlalu signifikan. Hal ini sangat dipengaruhi oleh kapasitas sistem pendingin yang digunakan masih termasuk skala kecil. Selain karena kapasitas pendingin yang kecil, penyebab lainnya adalah plat yang digunakan untuk membuat kotak pendingin cukup tebal dan jarak antar tangki juga masih sangat dekat sehingga cairan menjadi terlalu cepat berada di dalam kotak pendingin. Hasil pengujian ini juga menjadi masukan untuk meningkatkan kapasitas sistem pendingin pada penelitian selanjutnya.

Meskipun penurunan suhu belum terlalu signifikan, namun penambahan sistem pendingin telah mampu mempercepat proses endapan larutan secara signifikan. Waktu yang diperlukan untuk proses pengendapan larutan biodiesel pada mesin yang dikembangkan hanya 20 menit. Dalam waktu 20 menit pembentukan fasa gliserol dan fasa biodiesel telah terjadi dengan sempurna. Waktu pengendapan tersebut sangat cepat jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu pada proses pencucian larutan biodiesel tanpa sistem pendingin. ([Jaryadi et al., 2013](#)) mengembangkan mesin pengolah biodiesel dimana waktu yang diperlukan untuk pengendapan larutan biodiesel selama 40 menit. ([Kumar et al., 2013](#)) melakukan pengujian dengan waktu pengendapan selama 60 menit. Sementara ([Fitriani et al., 2016](#)) membuat biodiesel dari minyak jelantah secara manual dengan waktu pengendapan selama satu hari atau 24 jam. Penelitian lain yang dilakukan oleh ([Wahyuni, Ramli, & Mahrizal, 2015](#)) dengan proses manual dan tanpa sistem pendingin menghasilkan waktu yang sangat lama yaitu 48 jam. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini juga masih lebih baik jika dibandingkan dengan metode elektrostatika menggunakan listrik tegangan tinggi dan arus lemah yang dikembangkan oleh ([Abbaszaadeh et al., 2011](#)). Waktu pengendapan yang dihasilkan berkisar antara 40 – 70 menit.

Pada pengujian ketepatan fungsi *flowmeter* telah disajikan pada sebagaimana disajikan pada [Gambar 9](#). Hasilnya menunjukkan bahwa volume yang dikeluarkan tabung akuades dan tabung pencuci tidak akurat pada volume rendah. Akurasi meningkat seiring peningkatan volume. Dari hasil pengamatan diduga bahwa hal ini terkait dengan proses pembukaan katup yang berlangsung secara perlahan sehingga *flowmeter* kesulitan menghitung jumlah volume yang mengalir. Sehingga kesalahan pada proses pembukaan katup ini sangat signifikan pengaruhnya terhadap volume kecil. Sedangkan dampaknya semakin kecil seiring bertambahnya volume. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa *flowmeter* dapat berfungsi dengan baik untuk volume yang tinggi (> 1500 ml). Mengingat bahwa kapasitas tabung pencuci yang cukup besar yaitu 30-liter sehingga kapasitas pencampur serta kapasitas luaran dari tabung pencuci efektif berada diatas 2000 ml. Hasil pengujian sebagaimana yang disajikan pada [Tabel 1](#) menunjukkan bahwa untuk kapasitas biodiesel sebanyak 10,5 liter, jumlah gliserol yang dibuang sebanyak 2,5 liter.

Jumlah gliserol yang dikeluarkan melalui tabung pencuci bertambah seiring penambahan jumlah biodiesel yang diolah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa fungsi *flowmeter* pada kapasitas operasi mesin pencuci sudah akurat dan berfungsi dengan baik. Penggunaan *flowmeter* untuk menentukan jumlah volume yang dialirkan sangat bermanfaat pada pengembangan mesin ini. Dengan adanya alat ini maka proses pencampuran akuades dan biodiesel pada tabung pencuci, maupun proses pengeluaran gliserol dari tabung pencuci dilakukan tanpa perlu melibatkan operator lagi. Penerapan sistem kontrol pada mesin ini merupakan salah satu faktor yang mempercepat proses pengolahan biodiesel dibandingkan beberapa mesin lain yang sudah dikembangkan oleh (Sarno & Iuliano, 2019a; Sahar et al., 2018; Wahyuni et al., 2015; Farooq & Ramli, 2015).

Hasil pengujian terhadap proses pencucian sudah dilakukan sebanyak 3 kali dengan volume biodiesel yang beragam. Hasil dari proses pencucian ini menghasilkan biodiesel mentah untuk diproses lebih lanjut pada tahap filtrasi. Jumlah biodiesel bersih yang dihasilkan pada tahap pencucian sebanyak rata-rata 74,4% dari jumlah biodiesel yang masuk dari proses esterifikasi ke tangki pencuci. Jumlah ini hampir sama dengan jumlah yang dihasilkan oleh penelitian sebelumnya yaitu oleh (Sarno & Iuliano, 2019a; Sarno & Iuliano, 2019b) dimana menghasilkan biodiesel bersih dengan rasio 75,1%. Perbedaan hasil yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah katalis yang digunakan saat proses esterifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pendingin dan sistem kontrol yang ditambahkan pada proses pencucian biodiesel sangat membantu dalam mempercepat dan memudahkan proses. Proses pencucian dapat berlangsung secara otomatis mulai dari larutan biodiesel masuk ke tabung pencuci melalui kotak pendingin hingga proses pencucian dilakukan sebanyak dua kali. Proses yang dilakukan secara otomatis dapat mengurangi keterlibatan operator secara signifikan. Laju penurunan suhu larutan yang dihasilkan dari sistem pendingin yang dikembangkan memang belum terlalu signifikan. Oleh karena itu pada penelitian berikutnya akan dikembangkan sistem pendingin dengan kapasitas yang lebih besar.

4. SIMPULAN

Pada penelitian ini telah dikembangkan mesin pencuci biodiesel yang dilengkapi dengan sistem pendingin pada mesin pengolah biodiesel berbahan minyak jelantah. Konstruksi mesin telah dibangun sesuai dengan rancangan dan pengujian juga telah dilakukan. Pengujian dilakukan untuk melihat akurasi sensor yang digunakan pada mesin, serta untuk melihat efektivitas mesin pencuci dalam menghasilkan biodiesel mentah. Sistem Pendingin yang diterapkan pada tabung pencuci terbukti dapat mempercepat proses pendinginan. Proses pendinginan yang cepat berdampak pada proses pengendapan larutan yang membutuhkan waktu lebih singkat. Meskipun sistem pendingin mampu bekerja dengan baik, namun penurunan suhu belum terlalu signifikan. Penggunaan sistem pendingin dengan kapasitas yang lebih besar perlu digunakan pada penelitian selanjutnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DS18B20 yang digunakan untuk mendeteksi suhu larutan maupun suhu kotak pendingin mampu mendeteksi suhu dengan baik. Pada mesin ini juga digunakan sistem kontrol lainnya berupa *flowmeter* yang berfungsi untuk menentukan pengaktifan motor servo penggerak katup. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *flowmeter* dapat berfungsi dengan baik sesuai kapasitas mesin yang dikembangkan. Dari pengujian terhadap sistem pendingin dapat disimpulkan bahwa sistem dikembangkan pada mesin pencuci telah memenuhi tujuan dari penelitian ini. Penerapan sistem pendingin terbukti mampu mempercepat proses sedimentasi larutan yang pada akhirnya mempersingkat waktu proses pencucian biodiesel. Selain mempercepat proses pengolahan biodiesel, sistem kontrol yang diterapkan menyebabkan mesin dapat beroperasi secara otomatis sehingga mengurangi peran operator secara signifikan.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Kementerian Pendidikan Kebudayaan Riset dan Teknologi (Kemendikbudristek) atas dana hibah yang digunakan untuk penelitian ini melalui skema hibah penelitian terapan unggulan perguruan tinggi (PDUPT) tahun 2022 dengan nomor kontrak 003/LL10/PG-APTV-LJT/2022.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Najafi, G., Motevali, A., Mayvan, A. A., Ghobadian, B., ... R, M. (2011). Design , Fabrication and Evaluation of a Novel Biodiesel Processor System. *System*, 2(January), 249–255.
- Alamu, O. J., Akintola, T. A., Enweremadu, C. C., & Adeleke, A. E. (2008). Characterization of palm-kernel oil biodiesel produced through NaOH-catalysed transesterification process. *Scientific Research and Essays*, 3(7), 308–311.

- Amenaghawon, A. N., Obahiagbon, K., Isesele, V., & Usman, F. (2022). Optimized biodiesel production from waste cooking oil using a functionalized bio-based heterogeneous catalyst. *Cleaner Engineering and Technology*, 8(April), 100501. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100501>.
- Aziz, M.T, I., Fadhilah, N. H. B., & Hendrawati, H. (2017). Penggunaan H-Zeolit dan Tawas dalam Pemurnian Crude Glycerol dengan Proses Adsorpsi dan Koagulasi. *Jurnal Kimia VALENSI*, 3(1), 35–43. <https://doi.org/10.15408/jkv.v0i0.5143>.
- César, A. da S., & Batalha, M. O. (2013). Brazilian biodiesel: The case of the palm's social projects. *Energy Policy*, 56, 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.12.014>.
- El Zanati, E., Abdallah, H., & Elnahas, G. (2017). Micro-reactor for Non-catalyzed Esterification Reaction: Performance and Modeling. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 15(2). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2016-0099>.
- Elma, M., Suhendra, S. A., & Wahyuddin, W. (2018). Proses Pembuatan Biodiesel Dari Campuran Minyak Kelapa Dan Minyak Jelantah. *Konversi*, 5(1), 8. <https://doi.org/10.31213/k.v5i1.23>.
- Farooq, M., & Ramli, A. (2015). Biodiesel production from low FFA waste cooking oil using heterogeneous catalyst derived from chicken bones. *Renewable Energy*, 76, 362–368. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.042>.
- Fitriani; Agus Haryanto; Sugeng Triyono. (2016). Produski Biodiesel Dari Minyak Jelantah Melalui Transertifikasi Dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. In *Prosiding Seminar Nasional Sains Matematika Informatika dan Aplikasinya IV*.
- Joko Tri Jaryadi, Hendro Priyatman, S. (2013). Rancang Bangun Alat Pengolahan Biodiesel Menggunakan Arduino. *Jurnal Teknologi Rekayasa*, 4.
- Khan, M. Y., Rao, P. S., Pabla, B. S., & Ghotekar, S. (2022). Innovative biodiesel production plant: Design, development, and framework for the usage of biodiesel as a sustainable EDM fluid. *Journal of King Saud University - Science*, 34(6), 102203. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102203>.
- Koc, A. B., & McKenzie, E. H. (2010). Effects of ultrasonication on glycerin separation during transesterification of soybean oil. *Fuel Processing Technology*, 91(7), 743–748. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.01.020>.
- Kumar, R., Tiwari, P., & Garg, S. (2013). Alkali transesterification of linseed oil for biodiesel production. *Fuel*, 104, 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.05.002>.
- Lisa, A., Isalmi, A., Siti, N., & Cristie, O. O. (2018). Pembuatan Biodiesel dengan Cara. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(1), 71–80.
- Lopes, D. de C., Steidle Neto, A. J., Mendes, A. A., & Pereira, D. T. V. (2013). Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. *Energy Economics*, 40, 819–824. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.003>.
- Mowla, O., Kennedy, E., & Stockenhuber, M. (2018). In-situ FTIR study on the mechanism of both steps of zeolite-catalysed hydroesterification reaction in the context of biodiesel manufacturing. *Fuel*, 232(January), 12–26. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.096>.
- Nor Irham Nor Azan, M., Kamal, P. N. S. M. M., Rasmadi, M. A. A., Adzhar, M. H., Zakaria, M. A., Taufek, A. S. A., ... Alikasturi, A. S. (2020). Production of biodiesel from palm oil refinery pilot plant waste using Ni/CaO (ES) catalyst. *Materials Today: Proceedings*, 31, 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.012>.
- Okvitarini, N., Hidayah, M., Satriadi, H., & Widayat. (2013). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Menggunakan Katalis KOH dengan Penambahan Ekstrak Jagung. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(3), 24–29.
- Prayanto, D. S., Salahudin, M., Qadariah, L., & Mahfud, M. (2016). Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Kelapa Dengan Katalis NaOH Menggunakan Gelombang Mikro (Microwave) Secara Kontinyu. *Jurnal Teknik ITS*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i1.15173>.
- Rachmadona, N., Harada, Y., Amoah, J., Quayson, E., Aznury, M., Hama, S., ... Ogino, C. (2022). Integrated bioconversion process for biodiesel production utilizing waste from the palm oil industry. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107550. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107550>.
- Rafati, A., Tahvildari, K., & Nozari, M. (2019). Production of biodiesel by electrolysis method from waste cooking oil using heterogeneous MgO-NaOH nano catalyst. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 41(9), 1062–1074. <https://doi.org/10.1080/15567036.2018.1539139>.
- Rahmawaty, M., Hendriko, H., & Haryanisa, E. P. (2021). Development of Heater and Mixer Machine with Control System for Biodiesel Production. *International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), 2021-Octob(October)*, 69–73. <https://doi.org/10.23919/EECSI53397.2021.9624315>.

- S Lamin, M Agustina, M Kamal, D. S. (2016). Prosiding Sn-Smiap. *Prosiding Seminar Nasional Sains, Matematika, Informatika Dan Aplikasinya IV*, 4(Buku 2), 2086–2342.
- Saeedi, M., Fazaeli, R., & Aliyan, H. (2016). Nanostructured sodium–zeolite imidazolate framework (ZIF-8) doped with potassium by sol–gel processing for biodiesel production from soybean oil. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 77(2), 404–415. <https://doi.org/10.1007/s10971-015-3867-1>.
- Sahar, Sadaf, S., Iqbal, J., Ullah, I., Bhatti, H. N., Nouren, S., ... Iqbal, M. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*, 41(December 2017), 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.037>.
- Sánchez-Cantú, M., Pérez-Díaz, L. M., Morales-Téllez, M., Martínez-Santamaría, I., Hilario-Martínez, J. C., & Sandoval-Ramírez, J. (2017). A sustainable method to produce biodiesel through an emulsion formation induced by a high shear mixer. *Fuel*, 189, 436–439. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.10.107>.
- Sarno, M., & Iuliano, M. (2019a). Biodiesel production from waste cooking oil. *Green Processing and Synthesis*, 8(1), 828–836. <https://doi.org/10.1515/gps-2019-0053>.
- Sarno, M., & Iuliano, M. (2019b). Self-Dual Leonard Pairs Biodiesel production from waste cooking oil a. *Green Process Synth*, 8(1), 828–836.
- Wahyuni, S., Ramli, & Mahrizal. (2015). Pengaruh Suhu Proses dan Lama Pengendapan Terhadap Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Pillar of Physics*, 6, 33–40.
- Wassell, C. S., & Dittmer, T. P. (2006). Are subsidies for biodiesel economically efficient? *Energy Policy*, 34(18), 3993–4001. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2005.09.024>.
- Yang, R., Su, M., Zhang, J., Jin, F., Zha, C., Li, M., & Hao, X. (2011). Biodiesel production from rubber seed oil using poly (sodium acrylate) supporting NaOH as a water-resistant catalyst. *Bioresource Technology*, 102(3), 2665–2671. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.131>.
- Zhang, C. Y., Shao, W. L., Zhou, W. X., Liu, Y., Han, Y. Y., Zheng, Y., & Liu, Y. J. (2019). Biodiesel production by esterification reaction on k⁺ modified mgal-hydrotalcites catalysts. *Catalysts*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/catal9090742>.