

PROYEK AKHIR

Rancang Bangun Reaktor *Batch* dengan Integrasi Sistem *Monitoring* Variabel Temperatur, Kecepatan Pengadukan dan Laju Alir Secara *Real* *Time* Pada Produksi Biodiesel

*Diajukan Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Syarat Akademik Guna Memperoleh Gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) dalam Bidang Teknologi Rekayasa Bioproses Energi
Terbarukan Sarjana Terapan Politeknik ATI Padang*



Disusun oleh :

1. Febrian Zahid No. Bp 2113011
2. Rivaldo Saputra No. Bp 2113019

DOSEN PEMBIMBING

Pembimbing 1 : Eko Supriadi, S.Pd, MT

Pembimbing 2 : Dedy Rahmad, M.Sc

PROGRAM STUDI

TEKNOLOGI REKAYASA BIOPROSES ENERGI TERBARUKAN

**KEMENTERIAN PERINDUSTRIAN REPUBLIK INDONESIA
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATI PADANG**

2025



LEMBAR PERSETUJUAN

PROYEK AKHIR

**Rancang Bangun Reaktor *Batch* dengan Integrasi Sistem *Monitoring* Variabel
Temperatur, Kecepatan Pengadukan dan Laju Alir Secara *Real Time* Pada
Produksi Biodiesel**

Padang, 8 September 2025

Disahkan oleh:

Dosen Pembimbing 1,

EKO SUPRIADI S.PD, M.T
NIP.198606212018011001

Dosen Pembimbing 2,

DEDY RAHMAD, M.SC
NIP. 19840614201402001

Mengetahui,

Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses

Energi Terbarukan

KHAIRUL AKLI, S.T.M.T.
NIP. 198503122010121001

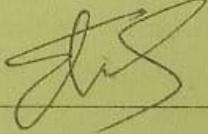
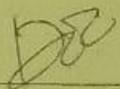
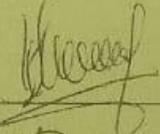
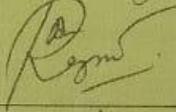
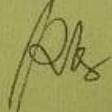
 **Kementerian Perindustrian**
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATI PADANG
Jl. Bungo Pasang Tabing, Padang Sumatera Barat Telp. (0751) 7055053 Fax. (0751) 41152

HALAMAN PENGESAHAN
PROYEK AKHIR
Rancang Bangun Reaktor *Batch* dengan Integrasi Sistem *Monitoring* Variabel
Temperatur, Kecepatan Pengadukan dan Laju Alir Secara *Real Time* Pada Produksi
Biodiesel

Oleh:

Rivaldo Saputra No. BP 2113019

Padang, 15 September 2025
Disahkan oleh:

| | |
|--|---|
| Pembimbing 1: Eko Supriadi, MT. NIP: 198606212018011001 |  _____ |
| Pembimbing 2: Dedy Rahmad, M.Sc NIP: 19840614201402001 |  _____ |
| Penguji 1: Dr.ir. Desniorita, MP NIP: 1964121131991032002 |  _____ |
| Penguji 2: Regna Tri Jayanti, S Si, MT NIP: 1908704142019012001 |  _____ |
| Penguji 3: Rosalina, MT NIP: 198409112019012001 |  _____ |

 **Kementerian Perindustrian**
BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA INDUSTRI
POLITEKNIK ATI PADANG
Jl. Bungo Pasang Tating, Padang Sumatera Barat Telp. (0751) 7055053 Fax. (0751) 41152

HALAMAN PENGESAHAN
PROYEK AKHIR

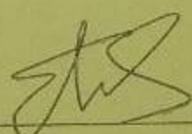
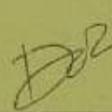
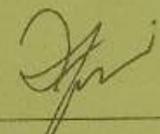
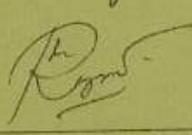
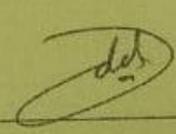
**Rancang Bangun Reaktor *Batch* dengan Integrasi Sistem *Monitoring* Variabel
Temperatur, Kecepatan Pengadukan dan Laju Alir Secara *Real Time* Pada Produksi
Biodiesel**

Oleh:

Febrian Zahid No. BP 2113011

Padang, 15 September 2025

Disahkan oleh:

| | |
|--|---|
| Pembimbing 1: Eko Supriadi, MT. NIP: 198606212018011001 |  _____ |
| Pembimbing 2: Dedy Rahmad, M.Sc NIP: 19840614201402001 |  _____ |
| Penguji 1: Khairul Akli, S.T MT NIP: 198503122010121001 |  _____ |
| Penguji 2: Regna Tri Jayanti, S Si, MT NIP: 1908704142019012001 |  _____ |
| Penguji 3: Addin Akbar, S.Si, MT NIP: 198807222014021001 |  _____ |

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya yang begitu besar, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Reaktor *Batch* dengan Integrasi Sistem *Monitoring* Variabel Temperatur, Kecepatan Pengadukan dan Laju Alir Secara *Real Time* Pada Produksi Biodiesel”.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Laporan Proyek Akhir ini tidak akan berjalan baik tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Isra Mouludi, M.Kom selaku Direktur Politeknik ATI Padang.
2. Bapak Khairul Akli, S.T., MT selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan
3. Bapak Eko Supriadi, MT selaku Dosen Pembimbing I Proyek Akhir.
4. Bapak Dedy Rahmad, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II Proyek Akhir.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Proyek Akhir ini masih terdapat kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritikan untuk perbaikan laporan yang akan datang.

Padang, 8 September 2025

Penulis

Rancang Bangun Reaktor *Batch* dengan Integrasi Sistem *Monitoring* Variabel Temperatur, Kecepatan Pengadukan dan Laju Alir Secara *Real Time* Pada Produksi Biodiesel

Rivaldo Saputra (2113019), Febrian Zahid (2113011)

Dosen Pembimbing 1: Eko Supriadi, MT.

Dosen Pembimbing 2: Dedy Rahmad, M.Sc

Program Studi Teknologi Rekayasa Bioproses Energi Terbarukan
Politeknik ATI Padang

ABSTRAK

Produksi biodiesel sebagai bahan bakar alternatif masih menghadapi tantangan dalam hal efisiensi proses, stabilitas operasional, dan sistem kontrol yang presisi. Reaktor biodiesel konvensional umumnya belum dilengkapi dengan sistem pemantauan terintegrasi yang memadai, sehingga memengaruhi konsistensi kualitas produk. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun reaktor biodiesel tipe *batch* berkapasitas 10 liter yang terintegrasi dengan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau parameter kritis seperti suhu, kecepatan pengaduk, dan aliran bahan secara *real-time*. Metodologi penelitian meliputi perancangan reaktor menggunakan material *stainless steel* 208, dilengkapi dengan sensor DS18B20 (suhu), YF-G201 (flow), dan FC-03 (RPM). Sistem kontrol menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan platform Blynk untuk memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh. Biodiesel diproduksi melalui proses transesterifikasi dua tahap menggunakan minyak goreng kemasan sebagai bahan baku, dengan kondisi operasi optimal suhu 55–60°C dan kecepatan pengadukan 300 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor berhasil beroperasi sesuai desain, dengan sistem monitoring yang akurat dan dapat diakses secara *real-time* melalui smartphone. Biodiesel yang dihasilkan memiliki densitas rata-rata 0,8661 g/mL dan kadar air di bawah 0,01%, yang memenuhi standar kualitas biodiesel menurut SNI 7182:2015. Konversi biodiesel mencapai 92–94%, meskipun potensi peningkatan dengan perbaikan sistem pemisahan produk. Dari penelitian ini bahwa integrasi IoT dalam reaktor biodiesel tidak hanya meningkatkan efisiensi pemantauan dan kontrol proses, tetapi juga menghasilkan biodiesel dengan kualitas yang memadai. Reaktor ini dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut untuk aplikasi skala semi-industri.

Kata kunci: Reaktor biodiesel, IoT, sistem monitoring, transesterifikasi, minyak goreng kemasan.

Design and Construction of a Batch Reactor with Real-Time Monitoring System Integration for Temperature, Agitation Speed, and Flow Rate in Biodiesel Production

Rivaldo Saputra (2113019), Febrian Zahid (2113011)

Advisor 1: Eko Supriadi, MT.

Advisor 2: Dedy Rahmad, M.Sc

Chemical Engineering Department, Study Program of ReNewable Energy
Bioprocess Engineering Technology, ATI Padang Polytechnic

ABSTRACT

Biodiesel production as an alternative fuel still faces challenges in terms of process efficiency, operational stability, and precise control systems. Conventional biodiesel reactors are generally not equipped with adequate integrated monitoring systems, which affects the consistency of product quality. Therefore, this study aims to design and build a 10-liter batch-type biodiesel reactor integrated with an Internet of Things (IoT)-based monitoring system to monitor critical parameters such as temperature, agitator speed, and material flow in real-time. The research methodology includes reactor design using stainless steel 208 material, equipped with DS18B20 (temperature), YF-G201 (flow), and FC-03 (RPM) sensors. The control system uses an ESP32 microcontroller connected to the Blynk platform to enable remote monitoring and control. Biodiesel was produced through a two-stage transesterification process using waste cooking oil as feedstock, with optimal operating conditions of 55–60°C and an agitation speed of 300 rpm. The results show that the reactor operated successfully according to the design, with an accurate monitoring system accessible in real-time via smartphone. The produced biodiesel had an average density of 0.8661 g/mL and a water content below 0.01%, meeting the biodiesel quality standards according to SNI 7182:2015. Biodiesel conversion reached 92–94%, although there is potential for improvement through enhanced product separation systems. In conclusion, the integration of IoT in the biodiesel reactor not only improves the efficiency of process monitoring and control but also produces biodiesel of adequate quality. This reactor can serve as a basis for further development toward semi-industrial scale applications.

Keywords: Biodiesel reactor, IoT, monitoring system, transesterification, waste cooking oil.

DAFTAR ISI

| | |
|--|----|
| LEMBAR PERSETUJUAN | i |
| HALAMAN PENGESAHAN PROYEK AKHIR. Error! Bookmark not defined. | |
| KATA PENGANTAR | ii |
| DAFTAR TABEL..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Batasan Masalah..... | 4 |
| 1.3 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Biodiesel..... | 6 |
| 2.2 Reaktor Biodiesel | 8 |
| 2.2.1 Jenis-Jenis Reaktor..... | 9 |
| 2.2.2 Material Pemilihan Bahan Reaktor | 12 |
| 2.2.3 Jenis-Jenis Bahan Reaktor Biodiesel..... | 15 |
| 2.3 Sumber Bahan Baku..... | 17 |
| 2.3.1 Minyak goreng kemasan | 18 |
| 2.3.2 Karakteristik Minyak Goreng kemasan..... | 18 |
| 2.3.3 Pengaruh Minyak Goreng kemasan terhadap Pemilihan Bahan Reaktor. | 19 |
| 2.4 Reaksi Esterifikasi..... | 20 |
| 2.5 Reaksi Transesterifikasi | 22 |
| 2.6 Penggunaan Metanol dan Katalis NaOH..... | 24 |
| 2.7 Pengujian Parameter Biodiesel..... | 27 |
| 2.7.1 Pengukuran Suhu Proses | 27 |
| 2.7.2 Pengukuran pH..... | 27 |
| 2.7.3 Uji Kebocoran Reaktor dan Kerja Sensor | 28 |
| 2.7.4 Uji Nyala Api | 28 |
| 2.8 Sistem <i>Monitoring</i> Biodiesel..... | 28 |
| 2.9 <i>Internet of Things</i> | 33 |

| | |
|---|----|
| 2.10 Arduino IDE (<i>Integrated Development Environment</i>)..... | 34 |
| 2.11 Blynk | 35 |
| BAB III METODE PELAKSANAAN | 37 |
| 3.1 Alat dan Bahan | 37 |
| 3.1.1 Alat dan Bahan Perakitan Reaktor <i>Batch</i> | 37 |
| 3.1.2 Bahan Perakitan Alat <i>Monitoring</i> Reaktor <i>Batch</i> | 38 |
| 3.1.3 Bahan Pembuatan Biodiesel..... | 40 |
| 3.2 Sketsa / Skema Alat..... | 41 |
| 3.3 Diagram Alir Perancangan | 43 |
| 3.4 Cara Kerja | 45 |
| 3.5 Analisis Data | 54 |
| 3.5.1 Uji Nilai <i>Moisture</i> | 54 |
| 3.5.2 Uji Densitas | 55 |
| 3.6 Rancangan Anggaran Biaya | 55 |
| 3.7 Teknik Pengambilan Data | 57 |
| BAB IV WAKTU DAN PELAKSANAAN | 59 |
| 4.1 Tempat Pelaksanaan Proyek Akhir | 59 |
| 4.2 Waktu Pelaksanaan Proyek Akhir | 59 |
| 4.3 Jadwal Pelaksanaan Proyek Akhir | 59 |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | 60 |
| 5.1 Hasil | 60 |
| 5.2 Pembahasan..... | 61 |
| 5.2.1 Rancangan Reaktor <i>Batch</i> | 61 |
| 5.2.2 Kinerja Sistem Monitoring Reaktor | 63 |
| 5.2.3 Hasil Kualitas biodiesel..... | 72 |
| BAB VI PENUTUP | 75 |
| 6.1 Kesimpulan..... | 75 |
| 6.2 Saran..... | 75 |
| DAFTAR PUSTAKA | 77 |
| LAMPIRAN..... | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Standar mutu dan Karakteristik Biodiesel | 7 |
| Tabel 2.2 Referensi dasar pengambilan komposisi jumlah metanol dan katalis ... | 26 |
| Tabel 3.1 Alat Perakitan Reaktor..... | 37 |
| Tabel 3.2 Bahan Perakitan Reaktor | 38 |
| Tabel 3.3 Alat Perakitan Sensor | 38 |
| Tabel 3.4 Bahan Pembuatan Biodiesel | 40 |
| Tabel 3.5 Input <i>Feed</i> Reaktor | 82 |
| Tabel 3.6 Out <i>Product</i> Reaktor..... | 82 |
| Tabel 3.7 Anggaran Biaya Rancangan Alat..... | 56 |
| Tabel 3.8 Anggaran Biaya Bahan | 57 |
| Tabel 4.1 Jadwal kegiatan Penelitian..... | 59 |
| Tabel 5.1 Spesifikasi Rancangan Reaktor | 60 |
| Tabel 5.2 Monitoring pada proses reaksi tranesterifikasi | 65 |
| Tabel 5.3 Monitoring proses pencucian..... | 67 |
| Tabel 5.4 monitoring proses pengeringan..... | 70 |
| Tabel 5.5 Hasil Kualitas Biodiesel | 72 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Sensor DS18B20 | 29 |
| Gambar 2.2 Sensor <i>Flow Meter</i> YF – G201 G1/2..... | 30 |
| Gambar 2.3 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>) | 31 |
| Gambar 3.1 Desain 2D Reaktor Batch Biodiesel..... | 49 |
| Gambar 3.2 Desain 3D Reaktor Batch Biodiesel..... | 49 |
| Gambar 3.3 Diagram rancangan rangkaian IoT..... | 43 |
| Gambar 3.4 Diagram Pembuatan Reaktor dan Alat Sistem Monitoring Reaktor.. | 51 |
| Gambar 5.1 Hasil Rancangan Reaktor Biodiesel..... | 63 |
| Gambar 5.2 Tampilan Kode Program Pada Arduino IDE | 64 |
| Gambar 5.3 (a) <i>Monitoring</i> pada <i>smartphone</i> , (b) <i>Monitoring</i> pada layar LCD ... | 65 |
| Gambar 5.4 grafik data <i>monitoring</i> suhu pada proses reaksi transesterifikasi | 67 |
| Gambar 5.5 grafik data <i>monitoring</i> rpm pada proses reaksi transesterifikasi..... | 67 |
| Gambar 5.6 Grafik data monitoring Suhu pada proses pencucian ke 1 | 69 |
| Gambar 5.7 Grafik data monitoring Suhu pada proses pencucian ke 2..... | 69 |
| Gambar 5.8 Grafik data monitoring rpm pada proses pencucian ke 1..... | 70 |
| Gambar 5.9 Grafik data monitoring rpm pada proses pencucian ke 2..... | 70 |
| Gambar 5.10 Grafik data monitoring Suhu pada proses pengeringan biodiesel ... | 71 |
| Gambar 5.11 Grafik data monitoring Suhu pada proses pengeringan biodiesel ... | 72 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produksi biodiesel sebagai bahan bakar alternatif telah menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi energi terbarukan. Namun, tantangan utama dalam proses ini terletak pada efisiensi reaksi kimia, kestabilan operasional, dan kemampuan sistem untuk melakukan kontrol proses secara presisi. Oleh karena itu, rancangan alat yang mampu mengintegrasikan aspek mekanik, elektronik, dan digital menjadi sangat penting dalam mendukung keberhasilan produksi biodiesel skala laboratorium maupun semi-industri.

Meskipun perancangan sistem produksi biodiesel telah banyak dilakukan, namun masih ada beberapa masalah yang perlu di atasi yaitu keandalan sistem, kontrol kualitas yang tepat, dan efisiensi energi. Selain itu, umumnya produsen biodiesel skala kecil dan menengah belum dilengkapi dengan sistem *monitoring* kualitas secara otomatis, padahal kualitas merupakan faktor utama yang akan mempengaruhi performa penggunaan biodiesel. Oleh karena itu, untuk memonitor hasil produksi pada sistem biodiesel digunakan sensor dengan sistem *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan secara *real-time* karena sensor ini terhubung secara nirkabel dengan internet. Pemasangan sensor ini akan menguntungkan dalam pengambilan keputusan terkait proses yang berlangsung (Rahman et al., 2022).

Berdasarkan studi literatur, reaktor biodiesel konvensional umumnya belum dilengkapi dengan sistem pemantauan yang terintegrasi. Sebagai contoh, Rizqi et al. (2021) berhasil memproduksi biodiesel dengan konversi 88,5% menggunakan

reaktor *batch* kapasitas 20 liter, namun tanpa dukungan sistem otomasi. Sementara itu, Hidayat et al. (2019) telah mengintegrasikan sistem IoT untuk memantau suhu dan level cairan, tetapi proses *input* bahan masih dilakukan manual. Kedua penelitian ini menunjukkan bahwa masih terdapat celah dalam hal efisiensi, akurasi, dan kemudahan pengawasan.

Oleh karena itu, diperlukan pengembangan reaktor biodiesel yang dilengkapi dengan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau parameter-parameter kritis seperti suhu, kecepatan pengaduk, dan aliran bahan secara *real-time*. Reaktor batch kapasitas 10 liter dipilih dalam penelitian ini berdasarkan pertimbangan teknis dan ekonomis. Kapasitas ini optimal untuk skala laboratorium karena memungkinkan pengujian komprehensif berbagai parameter proses tanpa memerlukan jumlah bahan baku yang besar, sekaligus memberikan dasar yang baik untuk skalabilitas ke tingkat produksi yang lebih besar. Penelitian Encinar et al. (2020) membuktikan bahwa reaktor dengan kapasitas 10-20 liter mampu menghasilkan biodiesel dari minyak goreng kemasan dengan konversi mencapai 92%, menunjukkan efektivitasnya dalam skala *pilot plant*.

Berdasarkan permasalahan itu untuk Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam sistem produksi biodiesel merupakan terobosan penting untuk mengatasi keterbatasan sistem konvensional. IoT memungkinkan *monitoring* parameter proses secara *real-time* dan kontrol jarak jauh, yang sangat krusial untuk menjaga stabilitas operasi dan konsistensi kualitas produk dengan menggunakan mikrokontroler sebagai jembatan atau otak yang menghubungkan dunia fisik dan dunia digital. Ada beberapa mikrokontroler yang biasanya digunakan dalam sistem *monitoring* berbasis IoT seperti, Arduino UNO, Arduino NANO, dan ESP32.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Rahman et al (2022), pemilihan mikrokontroler ESP32 sebagai inti sistem kontrol didasarkan terhadap kemampuan teknis dan ekonomis dari ESP32. Keunggulan menggunakan mikrokontroler ESP32 terletak dalam memproses data secara *real-time*, konektivitas nirkabel yang stabil, dan efisiensi energi yang tinggi. Studi komparatif oleh Nugroho et al. (2020) menunjukkan bahwa ESP32 mampu menangani *multiple sensor* dengan *sampling rate* hingga 1000 Hz, membuatnya ideal untuk aplikasi monitoring proses kimia yang memerlukan presisi tinggi. Kelebihan ini didukung oleh fitur *dual-core processor* dan *integrated Wi-Fi/Bluetooth module* yang tidak dimiliki oleh mikrokontroler konvensional (Espressif Systems, 2024). Untuk Sensor suhu DS18B20 dipilih untuk akurasi tinggi ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) (Knothe et al., 2021), dalam *range* operasi $55\text{-}60^{\circ}\text{C}$ yang optimal untuk reaksi transesterifikasi. Monitoring kecepatan pengadukan menggunakan sensor RPM FC-03 diperlukan untuk memastikan kecepatan pengadukan untuk homogenitas campuran reaktan (Leung et al., 2021), dimana kecepatan 300 rpm terbukti optimal untuk mencegah stratifikasi fase. Sensor laju alir YF-S201 digunakan untuk menjamin akurasi volume bahan masuk, dengan toleransi *error* kurang dari 2% untuk mempertahankan rasio molar yang tepat (Felizardo et al., 2021).

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan merancang reaktor biodiesel yang telah dilengkapi dengan sistem IoT dengan kemampuan untuk memantau proses transesterifikasi yang mengubah trigliserida menjadi biodiesel menggunakan katalis basa, menghasilkan produk akhir berupa metil ester dan gliserol, rancangan ini dibuat berdasarkan dari berbagai referensi dalam pengembangannya, sehingga didapatkan untuk modifikasi dalam rancangannya ini

berkaitan dalam pengendalian proses produksi menggunakan IoT dalam pengaturan suhu reaksi, pencucian, dan pengeringan (reaksi 55°C-60°C; pencucian 45°C-50°C; dan pengeringan 70°C), pengadukan(reaksi dan pengeringan 300 rpm, pencucian 500 rpm) dan *flow* masuknya bahan yang perintahnya saling berkaitan untuk menjalankan proses sehingga lebih mudah dalam pengawasan produksinya dan reaktor biodiesel ini dapat diatur dari jarak jauh secara *cloud* menggunakan *smartphone* atau pun dengan komputer sehingga menjadikan rancangan ini sebagai solusi praktis dan efisien untuk proses produksi biodiesel.

1.2 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilakukan dengan baik, maka penulis membatasi permasalahan hanya berkaitan tentang perancangan reaktor biodiesel yang dilengkapi dengan sistem *monitoring* berupa sensor pengukuran parameter reaktor biodiesel seperti, sensor suhu, sensor kecepatan putaran pengadukan dan sensor laju alir berbasis IoT.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang bangun reaktor *batch* biodiesel yang dilengkapi dengan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) sehingga proses produksi dapat dipantau secara *real-time* dan lebih efisien?
2. Bagaimana hasil evaluasi kinerja reaktor batch dengan sistem *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) dalam memproduksi biodiesel menggunakan bahan baku minyak goreng kemasan?

3. Bagaimana hasil biodiesel dari proses reaksi yang telah dilakukan dengan menggunakan hasil rancangan reaktor yang dibuat?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat reaktor *batch* dalam memproduksi biodiesel yang dilengkapi dengan sistem *monitoring* berbasis IoT.
2. Mengevaluasi kinerja reaktor dengan sistem *monitoring* berbasis IoT dalam memproduksi biodiesel menggunakan bahan baku minyak goreng kemasan.
3. Mengevaluasi kualitas biodiesel dari hasil reaksi menggunakan rancangan reaktor *batch* dengan *monitoring* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang telah dibuat.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dihasilkan melalui proses kimia yaitu reaksi transesterifikasi, dimana minyak nabati atau lemak hewani direaksikan dengan alkohol dan katalis. Proses ini mengubah trigliserida yang terdapat dalam minyak menjadi metil ester asam lemak (*Fatty Acid Methyl Ester*/FAME) yang dikenal sebagai biodiesel. Bahan baku yang dapat digunakan berasal dari berbagai sumber, seperti minyak kelapa sawit, minyak kedelai, minyak jarak, minyak goreng kemasan, dan lemak hewani.

Studi lain menyatakan biodiesel juga merupakan bahan bakar yang dapat diperbaharui yang diperoleh dari sumber-sumber biologis seperti minyak nabati dan lemak hewani. Biodiesel mengandung sekitar 98% FAME, dan sisanya terdiri dari mono/digliserida, gliserol bebas, metanol, serta beberapa komponen minor lainnya yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi dengan tahapan reaksi meliputi pengadukan minyak dengan katalis dan alkohol, pemisahan, pencucian, dan pengeringan (Aziz et al., 2021).

Dalam proses pembuatan biodiesel ini akan terjadi pembentukan metil ester dan gliserol. Metil ester (FAME) merupakan komponen utama biodiesel yang terbentuk dari satu molekul asam lemak yang berikatan dengan metanol, dengan rumus umum $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOCH}_3$. Metil ester inilah yang memberikan karakteristik sebagai bahan bakar. Sedangkan gliserol merupakan produk samping dari proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi ini melibatkan reaksi kimia

dimana trigliserida bereaksi dengan alkohol (biasanya metanol) dengan bantuan katalis untuk menghasilkan biodiesel dan gliserol (Setiawati dan Edwar, 2022).

Sejarah awal pengembangan biodiesel bermula di Eropa, ketika Rudolf Diesel, penemu mesin diesel, menggunakan minyak kacang sebagai bahan bakar pada prototipe mesin dieselnnya pada tahun 1893. Pada tahun 1937, G. Chavanne dari Universitas Brussels di Belgia mematenkan proses untuk mengubah minyak nabati menjadi bahan bakar yang mirip dengan diesel konvensional melalui reaksi transesterifikasi. Era pengembangan biodiesel modern dimulai pada tahun 1970-an sebagai respons terhadap krisis minyak global. Sedangkan di Indonesia, penelitian dan pengembangan biodiesel mulai serius dilakukan pada awal tahun 2000-an yang diawali dengan program mandatori pencampuran biodiesel dengan solar konvensional (B5) pada tahun 2006 (Kementerian ESDM, 2020).

Biodiesel adalah bahan bakar *biodegradable* yang dihasilkan dari sumber terbarukan melalui proses kimia untuk mengubah minyak nabati atau lemak hewani menjadi metil ester asam lemak (FAME). Dari proses produksi tersebut dihasilkan biodiesel dengan standar mutu seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Standar mutu dan Karakteristik Biodiesel

| No. | Parameter | Satuan | Persyaratan | Metode Uji |
|-----|-----------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------|
| 1. | Densitas (40°C) | kg/m ³ | 850 - 890 | ASTM D4052 |
| 2. | Viskositas Kinematik (40°C) | mm ² /s (cSt) | 2,3 - 6,0 | ASTM D445 |
| 3. | Angka Setana | - | Min. 51 | ASTM D613 |
| 4. | Titik Nyala | °C | Min. 100 | ASTM D93 |
| 5. | Kadar Air | %-massa | Maks. 0,05 | ASTM D6304 / EN ISO 12937 |
| 6. | Kadar Abu | %-massa | Maks. 0,02 | ASTM D482 |
| 7. | Bilangan Asam | mg KOH/g | Maks. 0,6 | ASTM D664 |
| 8. | Kadar Ester (FAME) | %-massa | Min. 96,5 | EN 14103 |

Sumber: (SNI) 7182:2015

Kesetaraan biodiesel dengan bahan bakar lainnya berdasarkan hasil kajian termasuk oleh Kementerian ESDM, menunjukkan bahwa 1 liter biodiesel setara dengan 0,88 liter solar konvensional dari segi nilai kalor, namun memiliki angka setana yang lebih tinggi sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih baik.

2.2 Reaktor Biodiesel

Reaktor biodiesel adalah peralatan atau sistem yang dirancang khusus untuk memfasilitasi dan mengoptimalkan reaksi transesterifikasi dalam produksi biodiesel. Secara konseptual, reaktor biodiesel berfungsi sebagai wadah terkontrol tempat terjadinya konversi trigliserida menjadi metil ester asam lemak (FAME) atau biodiesel (Abbaszaadeh et al., 2012). Sebagai jantung dari proses produksi biodiesel, reaktor dirancang untuk menciptakan kondisi operasi yang optimal bagi reaksi kimia yang berlangsung di dalamnya.

Reaktor biodiesel didefinisikan sebagai suatu wadah yang digunakan untuk pencampuran reaktan (minyak dan alkohol), penambahan katalis, serta pengaturan parameter proses seperti suhu, tekanan, dan waktu reaksi guna memaksimalkan konversi dan kualitas biodiesel (Hasanah et al., 2021). Dalam perkembangannya, reaktor modern tidak hanya berfungsi sebagai tempat reaksi kimia, tetapi telah berevolusi menjadi suatu sistem rekayasa yang terintegrasi, mencakup komponen transfer panas, sistem pengadukan, instrumentasi proses, dan sering kali dilengkapi dengan sistem kontrol otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas produksi (Pratama et al., 2023).

Struktur dasar reaktor biodiesel konvensional terdiri dari:

1. Bejana Reaktor: Biasanya terbuat dari bahan tahan korosi seperti *stainless steel* 208 atau 304.

2. Sistem Pengadukan: Berfungsi untuk meningkatkan kontak antara fase minyak dan alkohol.
3. Sistem *Transfer* Panas: Mencakup jaket pemanas/pendingin atau *Coil* internal untuk menjaga suhu reaksi yang optimal.
4. Sistem Instrumentasi: Meliputi sensor suhu, tekanan, dan dalam beberapa desain canggih, juga mencakup sensor komposisi atau analisis *online*.
5. Sistem *Input-Output* : Katup dan saluran untuk memasukkan reaktan dan mengeluarkan produk.

2.2.1 Jenis-Jenis Reaktor

Perkembangan teknologi reaktor biodiesel, telah berevolusi dari desain sederhana seperti tangki berpengaduk konvensional, menjadi sistem yang lebih kompleks dan efisien yang mengintegrasikan berbagai teknologi intensifikasi proses. Evolusi ini didorong oleh kebutuhan untuk meningkatkan efisiensi konversi, mengurangi waktu reaksi, menurunkan konsumsi energi, dan mengakomodasi bahan baku berkualitas rendah yang lebih ekonomis (Qiu et al., 2021). Reaktor tersebut dibedakan menjadi lima jenis yaitu sebagai berikut:

1. Reaktor *Batch*

Reaktor batch merupakan desain paling sederhana dan banyak digunakan untuk produksi biodiesel skala kecil hingga menengah. Penelitian oleh Firdaus et al. (2021) menunjukkan bahwa reaktor batch cocok untuk kapasitas produksi hingga 4.000 ton/tahun dengan investasi awal yang relatif rendah. Namun, kelemahan utama dari sistem ini adalah waktu proses yang lebih lama dan kebutuhan tenaga kerja yang lebih intensif dibandingkan dengan reaktor kontinu. Dalam reaktor batch konvensional, bahan-bahan dimasukkan ke

dalam tangki berpengaduk, dipanaskan hingga suhu reaksi, dan dibiarkan bereaksi selama waktu tertentu. Penelitian terbaru oleh Wibowo et al. (2022) membuktikan bahwa efisiensi reaktor batch dapat ditingkatkan secara signifikan melalui optimasi desain impeller dan penambahan baffle untuk menciptakan turbulensi yang lebih baik, sehingga mempercepat waktu reaksi dan meningkatkan yield biodiesel.

2. Reaktor Kontinyu

Reaktor kontinyu digunakan untuk produksi biodiesel skala besar dengan umpan yang mengalir secara terus-menerus. Jenis reaktor kontinyu yang umum digunakan meliputi:

- a) *Continuous Stirred Tank Reaktor* (CSTR) CSTR merupakan jenis reaktor kontinyu yang paling umum digunakan dalam industri biodiesel. CSTR dapat menghasilkan konversi hingga 95% dengan waktu tinggal 1-2 jam. Keunggulan CSTR adalah desain yang relatif sederhana dan kemampuan untuk mencapai pencampuran yang baik. Harvey et al. (2015) mengembangkan sistem CSTR multistage yang dapat meningkatkan konversi hingga 98% dengan waktu tinggal total yang lebih pendek.
- b) *Plug Flow Reaktor* (PFR) menawarkan keunggulan waktu tinggal yang seragam untuk semua elemen fluida. Penelitian oleh Sari et al. (2021) menunjukkan bahwa PFR mampu mencapai konversi yang lebih tinggi dibandingkan CSTR pada waktu tinggal yang sama. Dalam perkembangannya, desain PFR yang dilengkapi dengan static mixer untuk meningkatkan pencampuran radial tanpa mengganggu aliran plug

telah berhasil diimplementasikan, seperti yang dilaporkan dalam studi Prasetyo et al. (2023).

3. Reaktor Membran

Reaktor membran menggabungkan reaksi dan pemisahan produk dalam satu unit operasi. Dubé et al. (2017) reaktor membran yang dapat memisahkan gliserol secara kontinu dari campuran reaksi, menggeser kesetimbangan reaksi ke arah produk. Menurut Studi oleh Cao et al. (2018) menunjukkan bahwa reaktor membran dapat meningkatkan konversi biodiesel hingga 98% dengan waktu reaksi yang lebih singkat dan konsumsi katalis yang lebih rendah.

4. Reaktor Intensifikasi Proses

Teknologi intensifikasi proses bertujuan untuk meningkatkan efisiensi reaksi melalui peningkatan *transfer* massa dan energi. Jenis reaktor intensifikasi yang umum digunakan untuk produksi biodiesel meliputi:

- a) Reaktor ultrasonik menggunakan gelombang ultrasonik untuk menciptakan kavitasi, yang menghasilkan pencampuran mikro yang intensif. Menurut penelitian Saputra et al. (2023), reaktor ultrasonik dapat mengurangi waktu reaksi transesterifikasi hingga 85-90% dibandingkan dengan reaktor konvensional. Frekuensi ultrasonik optimal yang disarankan adalah 20-40 kHz dengan intensitas 100-500 W/cm² (Wijayanti et al., 2022).
- b) Reaktor *microwave* memanfaatkan pemanasan dielektrik untuk meningkatkan transfer energi. Nurfitriani et al. (2021) mencatat bahwa biodiesel dari minyak goreng kemasan dapat diproduksi dalam waktu 5-

10 menit menggunakan reaktor mikrowave, dengan konversi mencapai 98%. Studi lebih lanjut oleh Pratomo et al. (2023) menunjukkan bahwa reaktor *microwave* dapat menurunkan energi aktivasi reaksi transesterifikasi hingga 45-50%.

- c) Teknologi kavitasi hidrodinamik menghasilkan kondisi ekstrem lokal (suhu dan tekanan tinggi) melalui pembentukan dan keruntuhan gelembung kavitasi. Hidayatullah et al. (2020) mendemonstrasikan bahwa reaktor kavitasi hidrodinamik dapat mengurangi waktu reaksi hingga 70-75% dan konsumsi katalis hingga 40-50% untuk produksi biodiesel dari minyak nyamplung.

5. Reaktor Superkritis

Reaktor superkritis beroperasi pada kondisi suhu dan tekanan di atas titik kritis alkohol (metanol: $T = 240^{\circ}\text{C}$, $P = 8.1 \text{ MPa}$). Pada kondisi superkritis, alkohol membentuk fase homogen dengan minyak, menghilangkan hambatan *transfer* massa dan memungkinkan reaksi tanpa katalis. Kusdiana dan Saka (2014) mencatat bahwa reaktor superkritis dapat mencapai konversi >95% dalam waktu kurang dari 10 menit tanpa katalis, namun membutuhkan energi dan biaya investasi tinggi. Penelitian terbaru oleh Anitescu et al. (2022) menunjukkan bahwa penggunaan co-solvent dapat menurunkan kondisi operasi superkritis hingga 200°C dan 10 Mpa.

2.2.2 Material Pemilihan Bahan Reaktor

Pemilihan bahan untuk reaktor biodiesel merupakan faktor kritis yang menentukan efisiensi, keamanan, dan umur pakai sistem produksi biodiesel. Reaktor biodiesel digunakan untuk proses transesterifikasi yang melibatkan reaksi

antara trigliserida (minyak nabati atau lemak hewani) dengan alkohol (biasanya metanol) dengan bantuan katalis untuk menghasilkan metil ester asam lemak (FAME) atau biodiesel dan gliserol sebagai produk samping (Leung dkk., 2010). Proses ini melibatkan kondisi operasional yang meliputi suhu tinggi, tekanan, serta paparan terhadap bahan kimia korosif seperti katalis asam atau basa, yang semuanya mempengaruhi pemilihan bahan konstruksi reaktor.

Faktor-faktor dalam Pemilihan Bahan Reaktor harus diperhatikan sebagai berikut:

1. Ketahanan Korosi

Ketahanan terhadap korosi merupakan pertimbangan utama dalam pemilihan bahan reaktor biodiesel. Proses produksi biodiesel melibatkan penggunaan bahan kimia korosif seperti natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), asam sulfat (H_2SO_4), dan metanol yang dapat menyebabkan korosi pada bahan yang tidak sesuai (Santacesaria dkk., 2012). Korosi dapat menyebabkan kebocoran, kontaminasi produk, dan penurunan umur pakai reaktor.

Studi yang dilakukan oleh Fazal dkk. (2013) menunjukkan bahwa biodiesel lebih korosif dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional, terutama terhadap tembaga dan aluminium. Karakteristik higroskopis biodiesel yang dapat menyerap air dari lingkungan juga meningkatkan potensi korosi, terutama pada suhu operasi yang lebih tinggi.

2. Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal bahan reaktor mempengaruhi efisiensi perpindahan panas dalam sistem produksi biodiesel. Reaktor dengan konduktivitas

termal yang baik memungkinkan pemanasan dan pendinginan yang lebih efisien, yang penting untuk mencapai dan mempertahankan suhu optimal reaksi. Menurut penelitian Kusdiana dan Saka (2004), efisiensi reaksi transesterifikasi sangat dipengaruhi oleh kontrol suhu yang tepat. Bahan dengan konduktivitas termal tinggi seperti tembaga dan aluminium menawarkan perpindahan panas yang lebih baik, namun harus dipertimbangkan dengan ketahanan korosinya

3. Kekuatan Mekanik dan Ketahanan Tekanan

Kekuatan mekanik bahan reaktor harus memadai untuk menahan tekanan operasional, terutama pada reaktor yang didesain untuk proses transesterifikasi bertekanan tinggi. Studi yang dilakukan oleh Wen dkk. (2009) menunjukkan bahwa proses transesterifikasi pada kondisi superkritik memerlukan reaktor dengan ketahanan tekanan hingga 20 MPa dan suhu mencapai 350°C. Santana dkk. (2016) menekankan pentingnya memilih bahan yang memiliki kekuatan tarik dan ketahanan fatik yang baik untuk menjamin keamanan operasional jangka panjang reaktor biodiesel, terutama untuk aplikasi skala industri.

4. Kompatibilitas dengan Katalis

Katalis yang digunakan dalam produksi biodiesel, baik homogen maupun heterogen, dapat mempengaruhi pemilihan bahan reaktor. Katalis basa seperti NaOH dan KOH dapat bersifat korosif terhadap beberapa logam, sementara katalis asam seperti H₂SO₄ bahkan lebih agresif (Helwani dkk., 2009). Penelitian oleh Guldhe dkk. (2016) menunjukkan bahwa interaksi antara katalis dan bahan reaktor tidak hanya mempengaruhi umur reaktor

tetapi juga dapat mempengaruhi hasil dan kemurnian biodiesel yang dihasilkan melalui reaksi samping yang tidak diinginkan.

5. Biaya dan Ketersediaan

Aspek ekonomi menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan material reaktor biodiesel, khususnya untuk implementasi skala komersial. Studi oleh Firdaus dan Aulia (2022) menekankan perlunya menyeimbangkan antara kualitas material, daya tahan, dan total biaya investasi untuk mencapai kelayakan ekonomi suatu pabrik biodiesel. Di Indonesia, ketersediaan material konstruksi dalam negeri yang berkualitas dengan harga kompetitif merupakan faktor penentu. Sejalan dengan itu, penelitian mutakhir dari Pratomo et al. (2023) berhasil mendemonstrasikan bahwa penerapan baja tahan karat (stainless steel) lokal grade 316L menunjukkan performa korosi yang memadai dan dapat menjadi pilihan yang jauh lebih ekonomis tanpa mengorbankan keandalan reaktor, sehingga mengurangi ketergantungan pada material impor.

2.2.3 Jenis-Jenis Bahan Reaktor Biodiesel

1. Baja Tahan Karat (Stainless Steel)

Baja tahan karat, terutama seri 208, merupakan pilihan yang paling umum untuk reaktor biodiesel karena ketahanannya terhadap korosi, kekuatan mekanik yang baik, dan ketersediaannya yang luas. Studi yang dilakukan oleh Jain dan Sharma (2010) menunjukkan bahwa baja tahan karat 208 memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap metanol dan katalis basa pada suhu hingga 70°C.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yaakob dkk. (2013), baja tahan karat austenitik (seri 300) lebih disukai untuk aplikasi biodiesel dibandingkan

dengan baja tahan karat feritik atau martensitik karena kandungan kromium dan nikel yang lebih tinggi, yang memberikan ketahanan korosi yang lebih baik.

Di Indonesia, penelitian oleh Hidayat dkk. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan baja tahan karat lokal tipe 208 memberikan performa yang memuaskan untuk reaktor biodiesel skala pilot yang menggunakan bahan baku minyak kelapa sawit dengan katalis KOH.

2. Paduan Nikel

Paduan nikel seperti Hastelloy C-276 dan Inconel 600 menawarkan ketahanan korosi yang sangat baik, terutama untuk aplikasi yang melibatkan kondisi korosif yang ekstrem seperti katalis asam pada suhu tinggi. Thompson dkk. (2011) melaporkan bahwa paduan Hastelloy menunjukkan ketahanan yang sangat baik terhadap korosi dalam lingkungan katalis asam sulfat pada suhu hingga 150°C.

Meskipun paduan nikel menawarkan performa yang unggul dalam kondisi yang keras, biayanya yang tinggi seringkali membatasi penggunaannya untuk aplikasi khusus atau komponen kritis saja.

3. Aluminium dan Paduannya

Aluminium memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, yang menguntungkan untuk perpindahan panas dalam reaktor biodiesel. Namun, ketahanannya terhadap korosi dalam lingkungan biodiesel terbatas. Haseeb dkk. (2010) menunjukkan bahwa laju korosi aluminium dalam biodiesel murni 25 kali lebih tinggi dibandingkan dengan baja tahan karat 208.

Beberapa paduan aluminium dengan ketahanan korosi yang lebih baik, seperti seri 5000 (paduan magnesium) telah digunakan untuk komponen reaktor

tertentu, terutama sistem penukar panas, tetapi biasanya tidak direkomendasikan untuk bagian utama reaktor yang bersentuhan langsung dengan reaktan korosif.

4. Tembaga dan Paduannya

Meskipun tembaga memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, penggunaannya dalam reaktor biodiesel sangat terbatas karena kerentanannya terhadap korosi dalam lingkungan biodiesel. Penelitian oleh Kaul dkk. (2007) menunjukkan bahwa tembaga mengalami korosi yang signifikan ketika terpapar biodiesel, yang dapat mengakibatkan kontaminasi produk dan penurunan kualitas biodiesel melalui reaksi oksidasi katalitik.

5. Material Komposit dan Polimer

Untuk aplikasi tertentu dengan suhu operasi yang lebih rendah, material komposit seperti *fiber-reinforced plastic* (FRP) dan polimer seperti *polypropylene* (PP) atau *polytetrafluoroethylene* (PTFE) dapat digunakan. Menurut Yin dkk. (2012), reaktor berbahan PTFE menunjukkan ketahanan kimia yang sangat baik terhadap metanol dan katalis basa, meskipun keterbatasan suhu operasi (umumnya di bawah 150°C) dan kekuatan mekaniknya membatasi penggunaannya untuk aplikasi skala kecil atau laboratorium. Di Indonesia, penggunaan material komposit untuk reaktor biodiesel skala kecil telah diteliti oleh Setiawan dkk. (2017), yang menunjukkan bahwa resin poliester yang diperkuat serat kaca dapat menjadi alternatif yang ekonomis untuk produksi biodiesel suhu rendah di daerah pedesaan.

2.3 Sumber Bahan Baku

Dalam pembuatan biodiesel ada banyak sekali bahan baku yang dapat dijadikan sebagai bahan utama dalam proses pembuatan biodiesel diantaranya yaitu

2.3.1 Minyak goreng kemasan

Minyak goreng kemasan atau *waste cooking oil* (WCO) merupakan salah satu bahan baku alternatif yang menjanjikan untuk produksi biodiesel karena ketersediaannya yang melimpah dan harganya yang relatif rendah. Penggunaan minyak goreng kemasan sebagai bahan baku biodiesel juga memberikan manfaat lingkungan dengan mengurangi pembuangan limbah minyak ke lingkungan (Zhang dkk., 2014).

2.3.2 Karakteristik Minyak Goreng kemasan

Minyak goreng kemasan memiliki karakteristik yang berbeda dengan minyak segar, yang mempengaruhi proses produksi biodiesel dan pemilihan bahan reaktor. Menurut penelitian Maneerung dkk. (2016), minyak goreng kemasan umumnya memiliki:

1. Kandungan FFA Tinggi: Minyak goreng kemasan biasanya memiliki kandungan asam lemak bebas (FFA) yang tinggi, berkisar antara 5-15%, yang mengharuskan proses esterifikasi asam sebelum transesterifikasi basa.
2. Kadar Air Tinggi: Penggunaan minyak untuk menggoreng makanan cenderung meningkatkan kadar air dalam minyak, yang dapat menghambat reaksi transesterifikasi dan meningkatkan potensi korosi dalam reaktor.
3. Keberadaan Kontaminan: Minyak goreng kemasan sering mengandung berbagai kontaminan seperti partikel makanan, logam terlarut dari peralatan memasak, dan produk oksidasi yang dapat mempengaruhi kualitas biodiesel dan berpotensi merusak reaktor.

4. Viskositas Tinggi: Akibat pemanasan berulang, minyak goreng kemasan cenderung memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan minyak segar, yang memerlukan sistem pengadukan yang lebih efisien dalam reaktor.

Studi yang dilakukan oleh Taufiq-Yap dkk. (2011) menunjukkan bahwa variasi karakteristik minyak goreng kemasan dari berbagai sumber (restoran cepat saji, rumah tangga, industri makanan) dapat signifikan, yang mengharuskan desain reaktor yang fleksibel dan tahan terhadap berbagai kondisi operasional.

2.3.3 Pengaruh Minyak Goreng kemasan terhadap Pemilihan Bahan

Reaktor

Penggunaan minyak goreng kemasan sebagai bahan baku biodiesel memiliki implikasi khusus terhadap pemilihan bahan reaktor. Penelitian oleh Manaf dkk. (2019) menunjukkan bahwa minyak goreng kemasan cenderung lebih korosif terhadap logam dibandingkan dengan minyak segar, terutama karena:

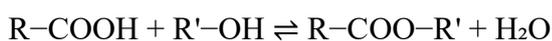
1. Keasaman yang Lebih Tinggi: Kandungan FFA yang tinggi dalam minyak goreng kemasan meningkatkan potensi korosi asam pada logam, terutama selama tahap esterifikasi.
2. Produk Oksidasi: Minyak goreng kemasan mengandung berbagai produk oksidasi seperti peroksida, aldehid, dan asam organik yang dapat bereaksi dengan logam dan menyebabkan korosi.
3. Kontaminan Logam: Minyak goreng kemasan seringkali mengandung ion logam terlarut yang dapat bertindak sebagai katalisator reaksi oksidasi dan meningkatkan korosi galvanik dalam reaktor.

Penelitian yang dilakukan oleh Yusof dkk. (2018) di Universitas Teknologi Malaysia menunjukkan bahwa laju korosi baja karbon dalam lingkungan minyak

goreng kemas dengan katalis asam sulfat 3% adalah 3,8 kali lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan minyak sawit segar dengan kondisi yang sama. Hal ini menekankan pentingnya penggunaan bahan dengan ketahanan korosi yang lebih tinggi atau penerapan lapisan pelindung tambahan pada reaktor untuk produksi biodiesel berbasis minyak goreng kemas.

2.4 Reaksi Esterifikasi

Esterifikasi merupakan salah satu reaksi fundamental dalam kimia organik, khususnya dalam sintesis senyawa ester. Pada dasarnya, reaksi esterifikasi adalah reaksi pembentukan ester dari prekursor alkohol (atau fenol) dan asam karboksilat (atau turunannya seperti anhidrida atau halida asam). Reaksi klasik dan paling umum dikenal adalah esterifikasi Fischer, di mana asam karboksilat bereaksi dengan alkohol secara langsung menghasilkan ester dan air (Aminah et al., 2020). Reaksi ini dapat digambarkan dengan persamaan umum berikut:



Reaksi esterifikasi Fischer bersifat reversibel (dapat balik) dan umumnya dikatalisis oleh asam mineral kuat, seperti asam sulfat (H_2SO_4) atau asam hidroklorida (HCl) (Hidayat et al., 2021). Katalis asam berfungsi untuk memprotonasi gugus karbonil pada asam karboksilat, sehingga meningkatkan sifat elektrofilik atom karbon karbonil dan membuatnya lebih rentan terhadap serangan nukleofilik dari alkohol (Nurohmah et al., 2023). Mekanisme reaksi ini melibatkan beberapa tahapan, protonasi gugus karbonil asam karboksilat, serangan nukleofilik alkohol membentuk intermediat tetrahedral, transfer proton, dan eliminasi molekul air untuk menghasilkan ester yang diinginkan (Sari & Fitriani, 2022).

Kesetimbangan dalam reaksi ini cenderung bergeser ke arah reaktan (pembentukan ester rendah). Oleh karena itu, untuk meningkatkan konversi (hasil) ester, prinsip Le Chatelier harus diterapkan. Dua metode yang paling umum berupa menggunakan salah satu reaktan (biasanya alkohol) dalam jumlah berlebih, dan menghilangkan produk samping (air) dari campuran reaksi segera setelah terbentuk, contohnya dengan menggunakan perangkap air (Dean-Stark) atau penambahan agen pengering seperti molekul sieve (Vollhardt & Schore, 2018).

Salah satu penerapan terpenting dari reaksi pembentukan ester dalam skala industri adalah produksi biodiesel. Biodiesel, yang merupakan monoalkil ester dari asam lemak, diproduksi melalui reaksi transesterifikasi trigliserida (minyak nabati atau lemak hewani) dengan alkohol berantai pendek, seperti metanol atau etanol (Lee et al., 2021). Reaksi ini bersifat reversibel dan memerlukan katalis, baik yang homogen, heterogen, maupun enzimatis, untuk mempercepat laju reaksi menuju produk (Boffito et al., 2020; Mahlanza et al., 2022).

Dalam konteks ini, metanol (atau etanol) bertindak sebagai alkohol, sedangkan trigliserida bertindak sebagai ester. Reaksi ini pada dasarnya adalah serangkaian reaksi substitusi nukleofilik dimana gugus alkoksi dari trigliserida digantikan oleh gugus alkoksi dari alkohol berantai pendek (Vollhardt & Schore, 2018). Terdapat dua jenis katalis yang umum digunakan dalam produksi biodiesel:

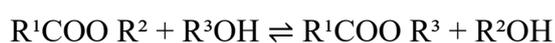
1. Katalis Homogen: Katalis basa seperti kalium hidroksida (KOH) atau natrium hidroksida (NaOH) paling umum digunakan karena lebih cepat dan efisien (Pratiwi et al., 2021). Namun, katalis basa sangat sensitif terhadap keberadaan asam lemak bebas (Free Fatty Acid/FFA) dalam minyak. Asam lemak bebas akan bereaksi dengan katalis basa membentuk sabun (saponifikasi) yang

mengurangi konversi biodiesel, menyulitkan pemurnian, dan mengemulsi campuran (Suryani et al., 2022). Jika bahan baku memiliki kadar FFA tinggi (>2-3%), diperlukan tahap pra-perlakuan (pretreatment) esterifikasi berkatalis asam (biasanya H₂SO₄) terlebih dahulu untuk mengonversi FFA menjadi ester metil, sebelum proses transesterifikasi basa utama dilakukan (Hasanah et al., 2020).

2. Katalis Heterogen dan Enzimatik: Untuk mengatasi masalah pembentukan sabun dan memudahkan pemisahan katalis, katalis heterogen (seperti kalsium oksida, CaO) dan katalis enzimatik (lipase) terus dikembangkan. Meskipun lebih ramah lingkungan dan dapat menghandle FFA tinggi, Penerapannya secara komersial masih belum luas disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya adalah kecepatan reaksi yang rendah, biaya produksi yang tinggi, serta masalah deaktivasi katalis. (Avhad & Marchetti, 2015).

2.5 Reaksi Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan reaksi kimia yang fundamental dalam industri dan sintesis organik, di mana terjadi pertukaran gugus alkoksi dari suatu ester dengan gugus alkoksi dari suatu alkohol. Reaksi ini secara umum dapat digambarkan dengan persamaan berikut:



Reaksi ini bersifat *reversible* (dapat balik) dan memerlukan katalis untuk mencapai konversi yang tinggi dalam waktu yang wajar. Reaksi transesterifikasi dapat dikatalisis oleh katalis asam, basa, maupun enzim, dengan mekanisme yang berbeda-beda tergantung pada jenis katalis yang digunakan. (Vollhardt & Schore, 2018)

Transesterifikasi dengan katalis basa, yang paling umum digunakan dalam produksi biodiesel, melibatkan beberapa tahapan. Pertama, katalis basa (seperti metoksida, CH_3O^-) menyerang atom karbon karbonil dari trigliserida, membentuk intermediat tetrahedral. Intermediat ini kemudian mengalami pecahnya ikatan $\text{C}-\text{OR}^2$, melepaskan diasilgliserida dan menghasilkan ester metil (biodiesel). Ion alkoksida (R^2O^-) yang terbentuk kemudian bereaksi dengan alkohol (R^3OH) untuk meregenerasi katalis alkoksida dan menghasilkan alkohol R^2OH (Wahyuni et al., 2023).

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Transesterifikasi Beberapa faktor kritis yang mempengaruhi laju dan konversi reaksi transesterifikasi antara lain:

1. Rasio molar alkohol terhadap minyak: Rasio stoikiometri adalah 3:1 (alkohol:trigliserida), namun biasanya digunakan alkohol berlebih (6:1 hingga 15:1) dengan tujuan untuk menggeser kesetimbangan reaksi ke arah produk ester (biodiesel) (Pratiwi & Sari, 2022).
2. Jenis dan konsentrasi katalis: Katalis basa seperti NaOH dan KOH lebih cepat daripada katalis asam, tetapi sensitif terhadap asam lemak bebas.
3. Suhu reaksi: Suhu optimal biasanya mendekati titik didih alkohol yang digunakan (0-60°C untuk metanol)
4. Waktu reaksi: Waktu yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan bervariasi tergantung kondisi reaksi.
5. Kemurnian dan komposisi bahan baku: Kadar air dan asam lemak bebas dapat menghambat reaksi dan menurunkan konversi.

Penerapan utama transesterifikasi adalah dalam produksi biodiesel, yang merupakan bahan bakar alternatif yang terbarukan. Biodiesel diproduksi melalui

transesterifikasi trigliserida (dari minyak nabati atau lemak hewani) dengan alkohol berantai pendek (biasanya metanol atau etanol) menghasilkan ester metil atau etil asam lemak (biodiesel) dan gliserol sebagai produk samping (Hidayat et al., 2023).

Keunggulan proses transesterifikasi untuk biodiesel:

- Menghasilkan biodiesel dengan viskositas mendekati solar mineral
- Nilai *cetane number* yang tinggi
- Sifat pelumas yang baik
- Emisi yang lebih ramah lingkungan
- Bahan baku yang terbarukan

2.6 Penggunaan Metanol dan Katalis NaOH

Penggunaan metanol dalam produksi biodiesel dari minyak goreng bersifat *critical* karena berperan ganda sebagai reaktan dan pelarut. Pada tahap transesterifikasi, rasio metanol terhadap minyak yang umum digunakan berkisar antara 20-25% (v/v) untuk memastikan reaksi berjalan ke arah pembentukan metil ester (biodiesel). Namun, penggunaan metanol berlebih harus diimbangi dengan pertimbangan ekonomi dan kebutuhan energi untuk *recovery*. Sebagai katalis basa, Natrium Hidroksida (NaOH) banyak dipilih karena harganya yang ekonomis dan efektivitasnya yang tinggi. Penelitian Nurohmah et al. (2023) menyoroti bahwa kombinasi metanol 20% (v/v) dan NaOH 1% (b/b) pada suhu 60°C selama 90 menit mampu menghasilkan yield biodiesel sebesar 96,8% dari minyak goreng yang telah melalui *pretreatment*

Meskipun efektif, penggunaan NaOH memerlukan kontrol yang sangat ketat terhadap kondisi operasi. Kelemahan utama katalis NaOH adalah potensinya yang tinggi untuk memicu reaksi saponifikasi (pembentukan sabun) jika bahan

baku masih mengandung Asam Lemak Bebas (FFA) dalam jumlah signifikan (>2%). Sabun yang terbentuk tidak hanya mengurangi yield biodiesel tetapi juga menyulitkan proses pemurnian dan pemisahan gliserol. Oleh karena itu, pretreatment esterifikasi menjadi prasyarat mutlak. Pratama et al. (2022) dalam studinya membandingkan beberapa katalis basa dan menyimpulkan bahwa meskipun KOH sering menunjukkan reaktivitas lebih tinggi, NaOH tetap menjadi pilihan yang banyak dipakai untuk skala industri, asalkan kadar air dalam metanol dan minyak dapat dijaga tetap rendah untuk meminimalisis hidrolisis dan saponifikasi. Berikut referensi jurnal yang digunakan sebagai referensi komposisi bahan baku yang digunakan, sebagai berikut:

Tabel 2. 2 *Sate of The Art* Perancangan Reaktor Dengan sistem *monitoring*/kontrol

| No | Referensi | Material Reaktor | Sistem <i>Monitoring</i> /Kontrol | Kapasitas (L) | Bahan Baku | Konversi Biodiesel (%) | Keunggulan | Kekurangan |
|----|-------------------------|-------------------------------------|---|---------------|---------------------|------------------------|--|---|
| 1 | Rizqi et al. (2021) | <i>Stainless steel</i> 304 | Sensor suhu DS18B20, Arduino Uno, LCD | 20 | Minyak jelantah | 88,5% | Sistem <i>monitoring</i> suhu <i>real-time</i> , desain sederhana, mudah dioperasikan. | Tidak terintegrasi IoT, kontrol manual pompa dan pemanas. |
| 2 | Siregar et al. (2020) | Kaca Borosilikat | Kontrol suhu analog, <i>agitator</i> magnetik | 5 | Minyak kelapa sawit | 92,1% | Transparan untuk observasi visual, baik untuk penelitian skala lab. | Kapasitas sangat kecil, material rapuh, tidak untuk produksi kontinu. |
| 3 | Hidayat et al. (2019) | <i>Stainless steel</i> 316 | PLC, HMI, sensor <i>level</i> dan suhu | 25 | Minyak nyamplung | 90,3% | Sistem otomasi penuh (auto-filling, heating, mixing), tahan korosi. | Biaya tinggi, kompleks dalam perawatan. |
| 4 | Wijaya & Pratama (2022) | Pyrex dengan jaket <i>stainless</i> | IoT (ESP32, Blynk), sensor suhu & <i>flow</i> | 15 | Minyak jelantah | 86,8% | <i>Monitoring</i> jarak jauh, data tercatat di cloud, efisiensi energi. | Konstruksi <i>hybrid</i> (kaca & logam), berisiko bocor. |
| 5 | Nasution et al. (2023) | Plastik PP (<i>Polypropylene</i>) | <i>Timer</i> mekanik, thermostat | 10 | Minyak goreng bekas | 84,5% | Murah, tahan kimia, cocok untuk UKM. | Tidak ada sistem <i>monitoring</i> digital, akurasi suhu rendah. |

2.7 Pengujian Parameter Biodiesel

Pada parameter biodiesel yang dilakukan pemantauan, ada beberapa parameter yang dapat dilakukan pengujian yaitu:

2.7.1 Pengukuran Suhu Proses

Pengukuran suhu proses dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap reaksi esterifikasi dan reaksi transesterifikasi yang berlangsung dalam produksi biodiesel. Suhu diukur menggunakan sensor DS18B20 yang terpasang pada reaktor biodiesel sehingga dapat diketahui secara langsung nilai dari suhu proses pada pembentukan biodiesel yang terjadi pada reaktor. Suhu optimal untuk reaksi transesterifikasi biodiesel umumnya berkisar antara 50-65°C, tergantung dari jenis minyak yang digunakan (Aziz et al., 2021).

2.7.2 Pengukuran pH

Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui derajat keasaman pada bahan baku dan produk biodiesel, hal ini dilakukan karena pH akan mempengaruhi efektivitas katalis pada proses esterifikasi dan transesterifikasi. Sehingga dengan pengukuran pH secara berkala dapat dilakukan pengkondisian pH sesuai kebutuhan proses. Pengukuran pH dilakukan menggunakan kertas lakmus atau pH meter digital dan sampel yang diuji berupa bahan baku dan produk biodiesel. Pada umumnya, reaksi transesterifikasi dengan katalis basa seperti NaOH atau KOH membutuhkan kondisi basa dengan pH sekitar 8-9 dan untuk reaksi esterifikasi dengan katalis H₂SO₄ atau HCl membutuhkan kondisi asam dengan pH 4-5 (Setiawati dan Edwar, 2022).

2.7.3 Uji Kebocoran Reaktor dan Kerja Sensor

Pengujian kebocoran reaktor dilakukan dengan cara memasukkan air hingga penuh ke dalam reaktor, hal ini dilakukan untuk memastikan tidak adanya kebocoran pada reaktor biodiesel. Pengujian sensor DS18B20 dilakukan dengan metode kalibrasi menggunakan termometer standar pada berbagai suhu, sedangkan pengujian Sensor *Flow Mater* YF – G201 G1/2 dilakukan dengan mengukur *level* ketinggian fluida yang telah diketahui volumenya. Jika sensor dapat mendeteksi suhu dan *level* ketinggian dengan akurasi yang sesuai, maka pada tahap ini sensor-sensor tersebut akan membaca parameter yang diukur, sehingga nantinya data bisa dikirimkan ke LCD dan ke aplikasi IoT yang digunakan (Permana et al., 2022).

2.7.4 Uji Nyala Api

Menurut Rahman et al. (2020), karakteristik nyala api yang stabil dan terang menunjukkan kualitas biodiesel yang baik. Spesifikasi biodiesel akan menunjukkan nyala api berwarna kuning kebiruan yang menandakan pembakaran sempurna. Pada pengujian nyala api digunakan *Stopwatch* untuk menghitung durasi nyala api setelah biodiesel dinyalakan. Pada pengamatan uji nyala api juga dilihat warna nyala api yang dihasilkan, apabila biodiesel tersebut menghasilkan nyala api yang terang dan stabil dengan warna kuning kebiruan maka menunjukkan hasil penelitian yang positif dan biodiesel memiliki karakteristik pembakaran yang baik.

2.8 Sistem *Monitoring* Biodiesel

Sistem *monitoring* biodiesel merupakan sistem terintegrasi yang dipasang untuk pemantauan atau pengawasan serta pengumpulan data tentang kondisi biodiesel, seperti suhu dan ketinggian fluida, yang dapat mengetahui lebih dini

terjadinya ketidakstabilan proses produksi. Sistem ini menggunakan sensor suhu dan sensor *level* ketinggian fluida serta mikrokontroler untuk mendeteksi jika ada perubahan parameter proses, dan data tersebut dikirim ke *server firebase* melalui jaringan internet sebagai media komunikasi datanya. Sistem *monitoring* biodiesel ini dapat menjadi alat yang berguna untuk mengelola risiko serta memantau dan mengendalikan proses produksi biodiesel (Santoso et al., 2020).

Dalam sistem *monitoring* untuk mengukur parameter biodiesel, ada beberapa komponen yang digunakan yaitu:

1. Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 merupakan sensor yang dapat mendeteksi suhu dengan presisi tinggi dan rentang pengukuran yang luas dari -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$, sehingga cocok untuk *monitoring* proses produksi biodiesel yang memerlukan pengawasan suhu yang akurat (Pratama et al., 2021).

Sensor DS18B20 bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi bahan semikonduktor yang sensitif terhadap perubahan suhu. Ketika suhu berubah, resistansi bahan tersebut juga berubah, dan perubahan ini dapat diukur sebagai tegangan keluaran digital dengan resolusi hingga 12-bit.



Gambar 2.1 Sensor DS18B20

Berdasarkan karakteristik sensor DS18B20 terhadap perubahan suhu, sensor ini memiliki akurasi $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ pada rentang -10°C hingga $+85^{\circ}\text{C}$.

Sensor ini perlu dikalibrasi untuk memastikan keakuratan dalam mendeteksi suhu. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan keluaran sensor dengan nilai referensi yang diketahui.

2. Sensor *Flow* YF – G201 G1/2

YF– G201 G1/2 merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur laju aliran atau volume fluida yang melewati suatu pipa dalam satuan waktu (contoh: liter/menit). Dalam konteks *monitoring* biodiesel, sensor ini berperan penting untuk memantau aliran bahan baku (seperti minyak goreng kemasan, metanol,



Gambar 2.2 Sensor Flow Mater YF – G201 G1/2

atau biodiesel) selama proses produksi, distribusi, atau pengisian tangki (Zhang et al., 2023).

3. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan lapisan kaca yang menggunakan kristal cair sebagai tampilan utama. LCD 16x2 ini terdiri dari 16 karakter dan 2 baris, dimana bentuk tampilannya *seven-segment* memiliki 192 karakter tersimpan dilengkapi dengan *backlight* dan dapat dialamatkan dengan mode 4 bit maupun 8 bit. LCD ini berfungsi untuk menampilkan suatu karakter angka, huruf maupun grafik dari parameter proses produksi biodiesel seperti suhu dan ketinggian fluida.



Gambar 2.3 LCD (*Liquid Crystal Display*)

4. Sensor RPM FC-03

Sensor RPM FC-03 adalah jenis sensor inframerah (IR) yang umum digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kecepatan rotasi atau putaran per menit (RPM) dari sebuah objek, paling sering adalah roda gigi atau disk yang dilengkapi dengan celah (Zhou et al., 2021). Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip infrared reflective sensing atau optical chopping. Sensor terdiri dari satu pasang pemancar (*infrared LED*) dan penerima (*phototransistor*) yang diposisikan secara paralel dan menghadap ke arah yang sama (Alam et al., 2022).



Gambar 2.4 Sensor RPM FC-03

Prinsip kerjanya adalah pemancar IR akan memancarkan sinar inframerah secara terus-menerus. Ketika tidak ada objek yang menghalangi, sinar IR tidak dipantulkan dan kondisi penerima (*phototransistor*) berada dalam keadaan cut-off (tidak menghantar). Ketika sebuah objek reflektif (seperti permukaan logam) atau sebuah celah pada disk berputar melewati depan sensor, sinar IR akan dipantulkan kembali ke penerima. Pantulan ini menyebabkan phototransistor menjadi *saturated* (menghantar) dan mengubah *level* tegangan

output nya (Kurniawan, 2020). Dengan demikian, setiap celah atau tonjolan yang melewati sensor akan menghasilkan satu pulsa tegangan pada *output* sensor. RPM kemudian dihitung berdasarkan jumlah pulsa yang dihasilkan dalam satu satuan waktu (Putra & Wijaya, 2019).

Sensor FC-03 memiliki tiga pin koneksi utama: VCC (tegangan input, biasanya +5V), GND (*ground*), dan OUT (sinyal *output* digital). Sinyal *output* dari sensor ini adalah gelombang persegi (*square wave*) dengan amplitudo mendekati tegangan operasinya, yang dapat dibaca langsung oleh mikrokontroler seperti Arduino, ESP32, atau STM32 melalui pin digital input atau *interrupt* pin untuk akurasi yang lebih tinggi (Gupta & Sharma, 2023).

Kelebihan utama sensor FC-03 adalah harganya yang ekonomis, dan kemudahannya dalam diintegrasikan dengan berbagai *platform* mikrokontroler. Sensor ini juga tidak memerlukan kontak fisik langsung dengan objek yang diukur, sehingga mengurangi keausan (Garcia, 2022). Namun, sensor ini memiliki kelemahan, yaitu rentan terhadap interferensi dari cahaya ambien (*ambient light interference*), terutama sinar inframerah yang berasal dari sumber cahaya lain seperti matahari atau lampu. Selain itu, akurasi pembacaan sangat bergantung pada jarak dan sudut antara sensor dengan objek reflektif, serta konsistensi permukaan objek (Zhou et al., 2021).

Dalam aplikasinya, sensor FC-03 banyak dimanfaatkan dalam proyek *do-it-yourself* (DIY), sistem *monitoring* kecepatan motor DC, pengukur kecepatan kendaraan miniatur, serta dalam berbagai penelitian dan *prototype* sistem kendali berbasis RPM seperti pada quadcopter dan robot beroda (Alam et al., 2022; Putra & Wijaya, 2019).

2.9 *Internet of Things*

Seiring perkembangan zaman teknologi informasi yang sangat pesat membuat proses pertukaran data dan komunikasi sangatlah mudah, dalam sebuah perusahaan maupun masyarakat umum, teknologi dan komunikasi adalah suatu alat yang sangatlah penting untuk menunjang kebutuhan yang dapat membantu manusia dalam melakukan suatu pekerjaan atau aktivitas. Pada era digital ini dimana hampir pada setiap aspek di dalam kehidupan manusia sangat berhubungan erat dengan teknologi komunikasi, masalah hambatan jarak dan waktu dapat dipecahkan dengan teknologi contohnya adalah dengan penggunaan sistem komputer yang diterapkan dalam kehidupan sehari-hari (Nugroho et al., 2022).

Penggunaan sistem dapat membuat kinerja dalam segi waktu lebih efektif. Perkembangan teknologi yang bisa dimanfaatkan dari adanya koneksi internet ini adalah bisa mengakses peralatan elektronika, sehingga dapat memudahkan untuk mengendalikannya dari jarak jauh. IoT (*Internet of Things*) merupakan suatu konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus menerus dalam pemantauan proses produksi biodiesel (Firdaus et al., 2021).

Era ini didorong oleh kemajuan teknologi seperti *Artificial Intelligence* (AI), *Internet of Things* (IoT), robotika, *cloud computing*, dan *big data*. Teknologi-teknologi ini memungkinkan terciptanya sistem yang lebih cerdas, terhubung, dan otonom yang dapat meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan fleksibilitas industri. Salah satu pengembangan IoT dalam proses produksi biodiesel yaitu dengan menggunakan sensor DS18B20.

Sensor DS18B20 merupakan sebuah sensor yang dapat mendeteksi perubahan suhu dengan tingkat akurasi yang tinggi, aplikasinya bisa diterapkan untuk memantau suhu reaksi transesterifikasi dalam produksi biodiesel yang membutuhkan temperatur optimal antara 50-65°C (Widodo et al., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa sensor jenis ini dapat mendeteksi suhu yang kemudian hasilnya dapat dimonitoring baik via LCD maupun via aplikasi IoT seperti Blynk atau *ThingSpeak*.

Implementasi IoT dalam sistem *monitoring* biodiesel ini menggunakan teknologi *cloud computing* untuk penyimpanan dan analisis data. Data yang dikirimkan oleh sensor-sensor tersebut dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti *smartphone*, tablet, atau komputer yang terhubung ke internet. Hal ini memungkinkan operator produksi untuk memantau parameter proses seperti suhu dan *level* fluida secara *real-time* dan melakukan tindakan pencegahan segera jika terdapat anomali dalam proses produksi (Rahmawati et al., 2021).

2.10 Arduino IDE (*Integrated Development Environment*)

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. Arduino IDE dikembangkan dengan tujuan agar pemrograman mikrokontroler dapat dilakukan dengan lebih sederhana dan mudah dipahami, bahkan oleh pemula sekalipun (Arduino, 2022).

Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman yang berbasis pada C/C++ dengan tambahan pustaka (*library*) khusus yang mendukung berbagai perangkat keras Arduino dan modul pendukungnya. Tampilan antarmukanya sederhana, terdiri dari editor kode, toolbar untuk kompilasi dan *Upload*, serta serial

monitor untuk menampilkan data hasil eksekusi program dari mikrokontroler (Banzi & Shiloh, 2014).

Kelebihan Arduino IDE antara lain:

1. *Open-source* dan dapat digunakan secara gratis.
2. Mendukung berbagai jenis papan Arduino serta mikrokontroler kompatibel lainnya.
3. Tersedia banyak pustaka dan contoh program yang memudahkan pengguna.
4. Memiliki komunitas global yang luas sehingga dokumentasi dan tutorial mudah ditemukan.

Dengan adanya Arduino IDE, proses pengembangan sistem berbasis mikrokontroler menjadi lebih cepat dan efisien, terutama dalam bidang prototipe maupun penelitian akademis.

2.11 Blynk

Blynk merupakan sebuah *platform Internet of Things (IoT)* yang memungkinkan pengguna untuk mengendalikan dan memantau perangkat keras seperti Arduino, ESP8266, ESP32, dan Raspberry Pi secara jarak jauh melalui aplikasi berbasis Android maupun iOS (Blynk, 2021).

Platform Blynk menyediakan aplikasi seluler yang dapat dikustomisasi dengan antarmuka grafis berbasis *widget*, seperti tombol, slider, grafik, maupun notifikasi. Pengguna cukup menambahkan *widget* pada aplikasi Blynk, kemudian menghubungkannya dengan perangkat melalui koneksi internet menggunakan *Wifi*, Ethernet, atau modul GSM (Sharma & Kaur, 2019).

Fitur utama Blynk antara lain:

1. *Dashboard* berbasis aplikasi yang dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan pengguna.
2. Komunikasi *real-time* antara perangkat keras dan aplikasi.
3. Mendukung integrasi dengan berbagai layanan *cloud* maupun API.
4. Mendukung *monitoring* data sensor dan kendali aktuator dari jarak jauh.

Keunggulan utama Blynk adalah kemampuannya dalam mempermudah proses implementasi IoT tanpa harus membangun server dan aplikasi dari awal. Dengan demikian, Blynk sangat cocok digunakan dalam penelitian maupun proyek akademis yang membutuhkan sistem *monitoring* dan kontrol jarak jauh (Nugroho et al., 2020)

BAB III

METODE PELAKSANAAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat dan Bahan Perakitan Reaktor *Batch*

Dalam perancangan reaktor yang akan di buat, ada beberapa komponen-komponen alat dan bahan yang harus dilengkapi yaitu :

Tabel 3.1 Alat Perakitan Reaktor

| No | Gambar | Keterangan |
|----|---|---|
| 1. |  | <i>Stainless steel 208</i> sebagai bahan untuk pembuatan tangki reaktor dan baling agitator |
| 2. |  | Pipa digunakan untuk aliran <i>input</i> umpan dan <i>output</i> bahan |
| 3. |  | Batang besi di gunakan sebagai rangka untuk penyangga reaktornya |
| 4. |  | Untuk mengatur masuk keluarnya fluida pada tangki reaktor |
| 5. |  | Selang digunakan untuk mengalirkan katalis, Metanol, dan air masuk kedalam reaktor |
| 6. |  | Jerigen digunakan untuk sebagai wadah penampungan katalis, Metanol, dan air |
| 7. |  | <i>Drat</i> pipa digunakan sebagai sambungan pada pipa |

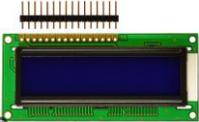
Tabel 3.2 Bahan Perakitan Reaktor

| No | Gambar | Keterangan |
|----|--|--|
| 1. |  | Lem digunakan untuk menguatkan sambungan antar pipa |
| 2. |  | Lem besi digunakan untuk memperkuat sambungan antar celah pada besi |
| 3. |  | Karet seal digunakan untuk mengurangi kebocoran antara sambungan |
| 4. |  | Lem silicon digunakan untuk menutup dan menyempurnakan penutupan antar celah sambungan |
| 5. |  | Kertas lakmus sebagai alat untuk mengukur ph dari proses produksi biodiesel |

3.1.2 Bahan Perakitan Alat *Monitoring* Reaktor *Batch*

Adapun alat yang akan digunakan untuk *monitoring* reaktor biodiesel, yaitu:

Tabel 3.3 Alat Perakitan Sensor

| No | Gambar | Keterangan |
|----|---|---|
| 1. |  | ESP 32 merupakan sebuah <i>mikroControler</i> yang digunakan dalam proyek-proyek <i>Internet of Things (IoT)</i> dan pengembangan perangkat terhubung |
| 2. |  | Sensor <i>Flow Meter</i> YF – G201 G1/2 yang di gunakan untuk melihat berapa banyak volume bahan masuk kedalam reaktor |
| 3. |  | LCD merupakan alat yang digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor |

| | | |
|----|--|---|
| 4. |  <p style="font-size: small; text-align: right;">Expansion Board for ESP32 DEVKIT V1</p> | <p><i>Expention Board</i> merupakan alat yang digunakan untuk menyambungkan arus dari kabel <i>jumper</i></p> |
| 5. |  | <p>Kabel <i>jumper</i> merupakan alat yang digunakan untuk menyambungkan ESP dengan perangkat lainnya</p> |
| 6. |  | <p>Sensor DS18B20 digunakan sebagai alat pengukur panas dalam tangki reaktor</p> |
| 7. |  | <p>Pompa air digunakan untuk menarik fluida masuk ke dalam tangki</p> |
| 8. |  <p style="font-size: small; text-align: center;">MICRO DC MOTOR</p> | <p>Dinamo digunakan sebagai alat pemutar untuk <i>agitator</i>nya</p> |
| 9. |  <p style="font-size: small; text-align: center;">Water Heater 220V AC WH 1500</p> | <p>Pemanas <i>Coil</i> digunakan untuk memanaskan fluida yang ada dalam reaktor.</p> |
| 10 |  | <p>Termometer alkohol digunakan sebagai alat untuk mengkalibrasi sensor suhu</p> |

| | | |
|----|---|--|
| 11 |  | <p><i>Dimmer</i> atau <i>rotary encoder</i> digunakan sebagai alat pengatur kecepatan agitator</p> |
| 12 |  | <p><i>Power supply</i> sebagai alat untuk menyokong masuknya listrik ke alat</p> |
| 13 |  | <p><i>Solit state relay high</i> digunakan sebagai pengatur menghidupkan dan mematikan alat</p> |

3.1.3 Bahan Pembuatan Biodiesel

Berikut bahan baku yang akan digunakan dalam Penelitian ini, yaitu:

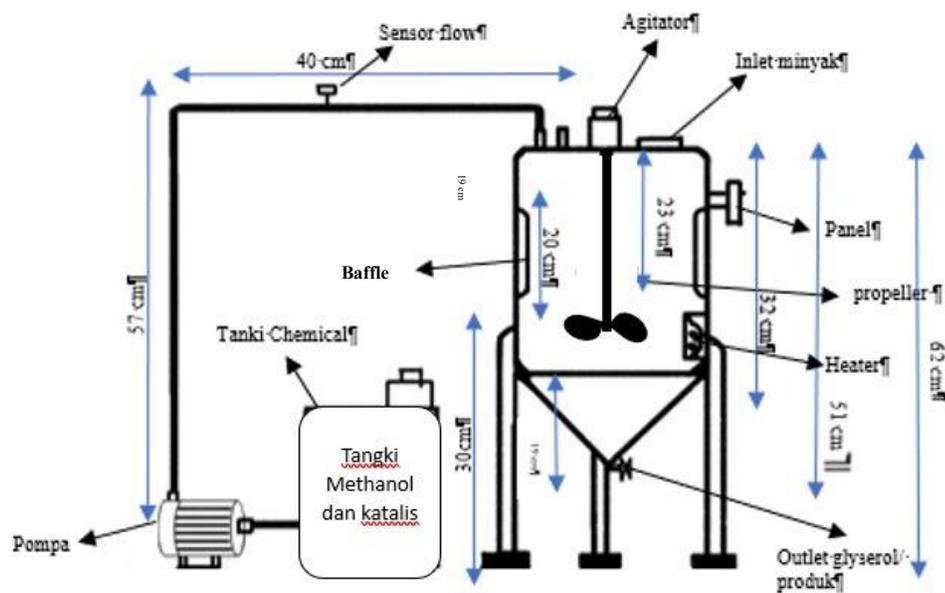
Tabel 3.4 Bahan Pembuatan Biodiesel

| No | Gambar | Keterangan |
|----|---|---|
| 1. |  | <p>Minyak goreng kemasan sebagai bahan baku untuk pembuatan biodiesel</p> |
| 2. |  | <p>Metanol digunakan sebagai bahan pereaksi untuk mereaksikan Minyak</p> |

| | | |
|----|---|---|
| 3. |  | NaOH digunakan sebagai katalis untuk mempercepat reaksi transesterifikasi |
| 4. |  | Air digunakan sebagai pencucian pada FAME untuk pemisahan Gliserolnya dan zat lainnya |

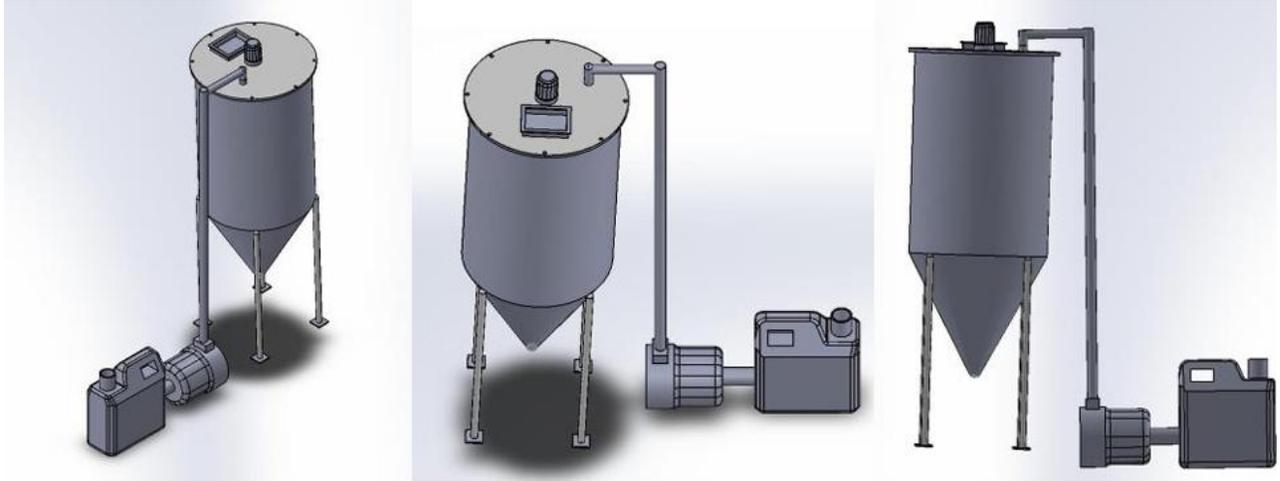
3.2 Sketsa / Skema Alat

Berikut adalah gambar dari rancangan reaktor dalam bentuk 2D sebagai berikut:



Gambar 3.1 Desain 2D Reaktor Batch Biodiesel

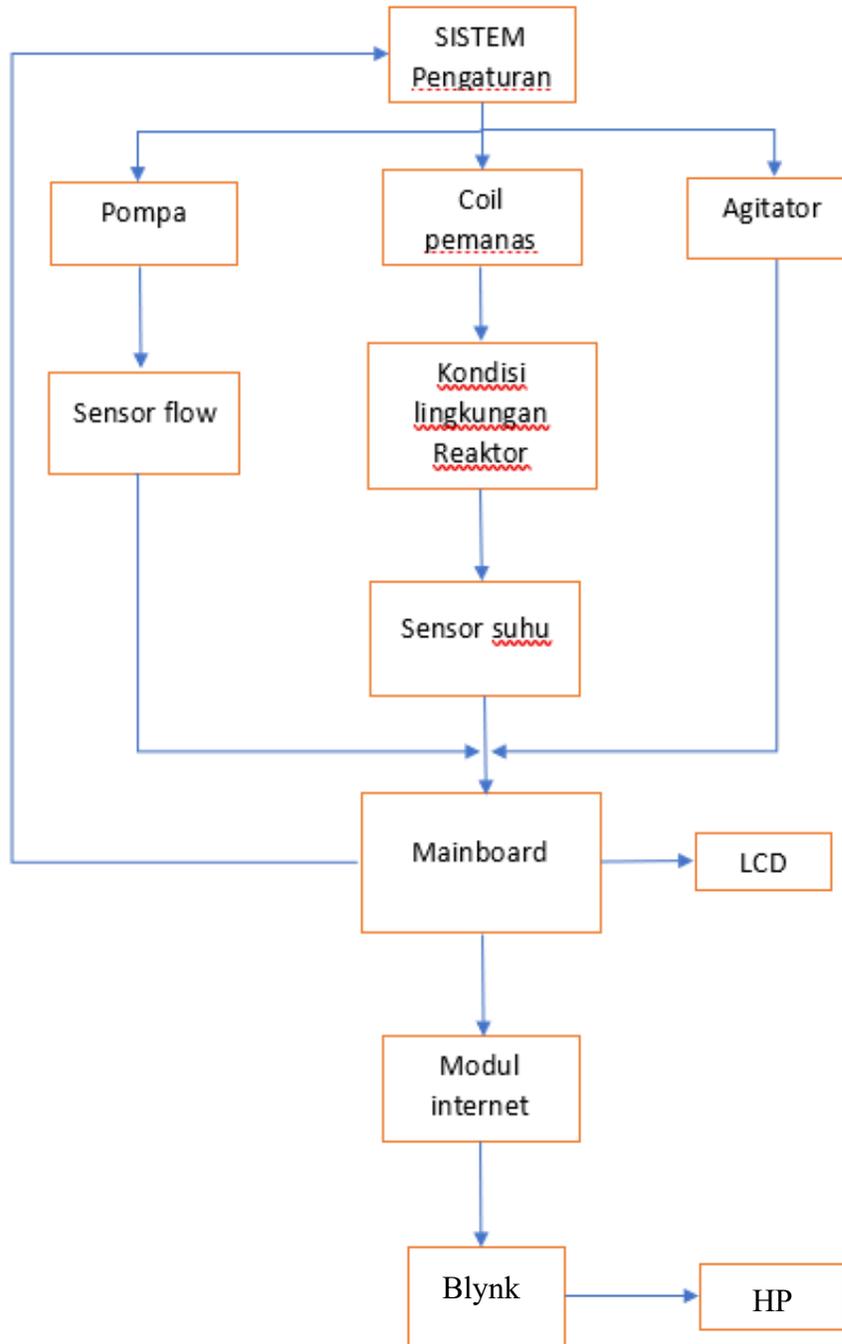
lalu desain 3D yang dibuat menggunakan *SOLIDWORKS* dan hasilnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini, yaitu:



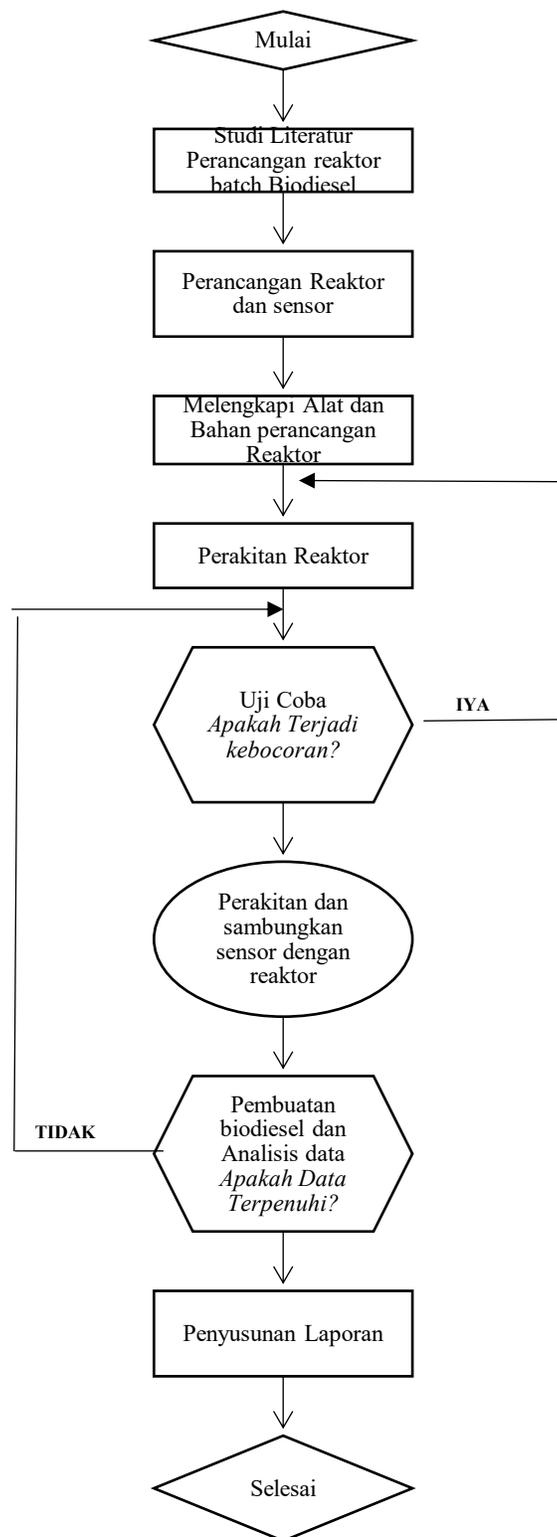
Gambar 3.2 Desain 3D Reaktor Batch Biodiesel

3.3 Diagram Alir Perancangan

Pada penelitian ini terdapat dua rancangan yang dibuat yaitu:



Gambar 3.3 Diagram rancangan rangkaian IoT



Gambar 3.4 Diagram Pembuatan Reaktor dan Alat Sistem Monitoring Reaktor

3.4 Prosedur Kerja

1. Pembuatan Reaktor

Berikut cara bagaimana pembuatan reaktor:

1. Tangki stainless steel dilubangi sesuai dengan diameter pipa inlet, outlet, dan sensor.
2. Pipa inlet dipasang untuk saluran bahan baku (minyak, metanol, katalis).
3. Pipa outlet dipasang untuk saluran biodiesel dan produk samping (gliserol).
4. Baffle (4 buah) ditambahkan untuk mencegah terjadinya vortex dan meningkatkan pencampuran.
5. Impeller tipe turbin 3 blade dengan diameter 7 cm dipasang.
6. Impeller diposisikan 9 cm dari dasar silinder untuk optimasi pengadukan.
7. Semua sambungan dipastikan rapat menggunakan gasket dan lem tahan panas.

2. Perakitan Sistem Pengaduk dan Pemanas

Berikut cara bagaimana pemasangan pengaduk dan pemanas:

1. Motor penggerak dihubungkan dengan kecepatan putaran 200–300 rpm.
2. Elemen pemanas diintegrasikan dengan kontrol suhu otomatis (50–65°C).
3. Sensor DS18B20 ditambahkan untuk memantau suhu reaksi secara *real-time*.
4. *Stirrer shaft* yang tahan terhadap korosi bahan kimia dipasang.
5. Pengadukan diuji coba tanpa bahan untuk memastikan tidak ada kebocoran.
6. Sistem pemanas dikalibrasi agar suhu stabil tercapai dalam waktu cepat.
7. Lapisan isolasi termal ditambahkan untuk mengurangi kehilangan panas.

3. instalasi Sistem *Monitoring* dan Kontrol

Berikut cara bagaimana pengintalan *monitoring* dan kontrol:

1. Persiapan

- a. Semua *hardware* disiapkan sesuai daftar peralatan dan bahan.
- b. Arduino IDE diunduh dan diinstal dari situs resmi.
- c. Aplikasi Blynk diunduh dari App Store atau Play Store.

2. Instalasi Software Dan Driver

- a. Arduino IDE diinstal.
- b. Arduino IDE dibuka, kemudian dilanjutkan dengan masuk ke File > Preferences.
- c. Pada "Additional Board Manager URLs", URL berikut ditambahkan:

https://dl.espressif.com/dl/package_esp32_index.json
- d. "OK" diklik.
- e. Tools > Board > Boards Manager dibuka.
- f. "esp32" dicari dan "ESP32 by Espressif Systems" diinstal.
- g. "Sketch > Include Library > Manage Libraries" dibuka.
- h. *Library* berikut diinstal:

- "*Blynk*" by Volodymyr Shymanskyy
- "*DHT sensor library*" by Adafruit
- "*Adafruit Unified Sensor*"

3. Konfigurasi Arduino Ide

- a. *Board* dipilih: "Tools > Board > ESP32 Arduino > ESP32 Dev Module".
- b. Konfigurasi berikut diatur:

- *Upload Speed*: `921600`
- *CPU Frequency*: `240MHz (Wifi/BT)`
- *Flash Frequency*: `80MHz`
- *Flash Mode*: `QIO`
- *Partition Scheme*: `Default 4MB with spiffs (1.2MB APP/1.5MB SPIFFS)`
- *Port COM* yang terdeteksi dipilih.

4. Pembuatan Program

- a. Arduino IDE dibuka dan *sketch* baru dibuat.
- b. Kode program dengan koneksi Blynk dibuat.
- c. "*YourAuthToken*", "*YourNetworkName*", dan "*YourPassword*" pada kode program diganti dengan data yang sesuai.
- d. Program *diverifikasi* untuk memastikan tidak ada error.
- e. Program *di-upload ke ESP32*.

5. Konfigurasi *Dashboard Blynk*

- a. Aplikasi Blynk dibuka di *smartphone*.
- b. Akun baru dibuat atau *login* dilakukan.
- c. New Project dibuat:
 - Nama: "*ESP32 Monitoring*"
 - *Device*: ESP32
 - *Connection Type*: *Wifi*
- d. Auth Token dicatat dan diganti pada kode program.
- e. Widget ditambahkan, contoh:

- “Gauge” (Virtual Pin V1):

- Label: "Temperature"

- Range: 0 to 50

- Unit: °C

- “Gauge” (Virtual Pin V2):

- Label: "Humidity"

- Range: 0 to 100

- Unit: %

- “Button” (Virtual Pin V3):

- Label: "LED Control"

- Mode: Switch

f. Proyek disimpan.

6. Pengujian

a. Serial Monitor Arduino IDE (115200 baud) dibuka.

b. Proses koneksi Wifi dan Blynk diperhatikan.

c. Status "Connected to Blynk" dipastikan untuk muncul.

d. Data suhu dan kelembaban diperiksa di Serial Monitor.

e. Kontrol LED diuji melalui aplikasi Blynk.

f. Dipastikan bahwa data tampil di Dashboard Blynk.

7. Troubleshooting

a. Jika gagal koneksi Wifi: SSID dan *password* diperiksa.

b. Jika sensor tidak terbaca: koneksi kabel diperiksa.

c. Jika LED tidak menyala: polaritas dan sambungan diperiksa.

d. Jika data tidak muncul di Blynk: Auth Token diperiksa.

4. Cara Kalibrasi sensor *Flow* dan sensor suhu

A. Prosedur Kalibrasi sensor suhu

Berikut merupakan cara mengkalibrasi sensor suhu dengan benar:

1. Penyiapan *Setup*

Siapkan wadah yang diisi dengan medium yang homogen, seperti air yang terus diaduk. Pengadukan sangat penting untuk memastikan suhu merata di seluruh medium, sehingga pembacaan sensor dan termometer referensi dilakukan pada suhu yang sama (Pratama et al., 2021). Masukkan sensor DS18B20 berdekatan dengan termometer alkohol ke dalam wadah. Pastikan kedua sensor berada pada kedalaman yang sama dan tidak saling bersentuhan dengan dinding wadah.

2. Pengambilan Data pada Berbagai Titik Suhu

Ukur suhu pada minimal tiga titik suhu yang berbeda (contohnya: titik es (0°C), suhu ruang ($\sim 25^{\circ}\text{C}$), dan suhu tinggi ($\sim 50\text{-}60^{\circ}\text{C}$)) (Pratama et al., 2021; Santoso et al., 2020).

- Untuk titik 0°C : Gunakan campuran air dan es batu yang didiamkan hingga stabil.
- Untuk titik suhu ruang: Gunakan air yang didiamkan di ruangan untuk waktu yang cukup.
- Untuk titik suhu tinggi: Gunakan air yang dipanaskan hingga suhu tertentu.
- Pada setiap titik suhu, baca dan catat nilai dari:

- T_{ref} : Suhu yang ditunjukkan oleh termometer alkohol referensi ($^{\circ}\text{C}$).
 - T_{raw} : Nilai suhu mentah yang dibaca oleh sensor DS18B20 melalui mikrokontroler ($^{\circ}\text{C}$).
 - Biarkan suhu stabil pada setiap titik sebelum mencatat pembacaan.
3. Implementasi dalam Kode Program

Setelah nilai a dan b didapatkan, terapkan kalibrasi tersebut dalam kode pemrograman mikrokontroler (ESP32).

B. Prosedur Kalibrasi sensor *Flow*

Berikut merupakan cara mengkalibrasi sensor *Flow* dengan benar:

A. Prinsip Kerja:

Sensor aliran YF-S201 menghasilkan program (signal digital) yang frekuensinya sebanding dengan laju aliran. Tujuan kalibrasi adalah menemukan berapa mililiter (mL) fluida yang mengalir per pulsa yang dihitung, yang disebut faktor kalibrasi (K).

Alat dan Bahan:

Berikut alat dan bahan yang di butuhkan untuk melakukan kalibrasi sensor *Flow*:

1. Sensor laju alir YF-S201.
2. Mikrokontroler (ESP32) yang sudah terhubung ke sensor dan dapat memprogram/membaca program.
3. Pompa air kecil (untuk mensimulasikan proses penyedotan).
4. Gelas ukur 500mL (akurasi tinggi lebih baik) sebagai referensi volume.
5. Wadah penampung.
6. *Stopwatch* (opsional, untuk memastikan konsistensi).

7. Air sebagai fluida uji.

B. Prosedur Kalibrasi:

1. Pemasangan dan Penyiapan Rangkaian:

- Pasang sensor *Flow* secara vertikal (arah panah pada sensor sesuai dengan arah aliran).
- Hubungkan jalur keluaran sensor (biasanya kabel kuning) ke pin *interrupt* pada mikrokontroler (contohnya, pin GPIO 18 pada ESP32) untuk menghitung pulsa dengan akurat.
- Hubungkan pompa ke rangkaian untuk menarik air dari gelas ukur melalui sensor.

2. Pengambilan Data:

- Isi gelas ukur dengan air tepat pada garis 500mL.
- Nyalakan pompa dan hidupkan secara bersamaan program penghitung *Flow* pada mikrokontroler.
- Biarkan pompa menyedot air hingga gelas ukur hampir habis. Catat volume air yang benar-benar terpakai (contohnya, 450mL).
- Matikan pompa dan hentikan penghitungan
 - *Volume Actual (V1 actual)*: Volume air yang disedot dari gelas ukur (dalam mL). Contoh: 450 mL.
 - *Total Fluida (V2 total)*: Jumlah total Fluida yang dihitung atau terbaca oleh sensor selama proses penyedotan.

3. Perhitungan Faktor Kalibrasi (K)

Hitung faktor kalibrasi (K) menggunakan rumus berikut:

$$K = V1_{Actual} - V2_{total}$$

4. Implementasi dalam Kode Program

Gunakan nilai K yang telah didapatkan dalam program untuk menghitung volume dan laju aliran yang sebenarnya.

4. Proses Produksi Biodiesel

A. Preparasi Bahan Baku

1. Analisis Asam Lemak Bebas (FFA)

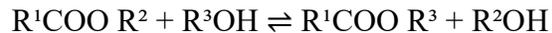
- Kadar FFA diukur dengan titrasi NaOH 0.1M (FFA >14% memerlukan *pretreatment*).
- Jika FFA >14%, esterifikasi asam dilakukan terlebih dahulu:
 - Minyak dicampur dengan metanol (rasio 1:10) dan H₂SO₄ 1% (katalis asam).
 - Campuran dipanaskan pada 60°C selama 2 jam sambil diaduk 300 rpm.

B. Reaksi transesterifikasi (Trigliserida → FAME)

1. Formulasi Campuran Reaksi

1. Minyak dicampurkan dengan metanol (dengan rasio molar 1:3) di mana metanol dilebihkan sebanyak 2,34 mol. NaOH sebanyak 1% dari berat minyak ditambahkan.
 - Kondisi reaksi yang diterapkan:
 - Suhu: 60°C (±2°C) dipertahankan.
 - Waktu: 4 jam diberikan.
 - Pengadukan: 300 rpm dilakukan.

2. Reaksi Kimia



3. Pemisahan Produk

- Campuran dibiarkan mengendap selama 8 jam setelah reaksi selesai.
- Lapisan air (yang berada di bawah) yang mengandung metanol sisa, NaOH, dan gliserol dipisahkan melalui valve bawah.

4. *Water Washing*

- Minyak dicuci dengan air hangat (40°C, rasio 1:5 v/v) di dalam reaktor.
- Teknik pencucian yang digunakan:
 - Pencampuran dilakukan (pada 500 rpm) selama 1 jam, emulsifikasi dihindari.
 - Pengendapan dilakukan selama 8 jam, air cucian yang keruh (mengandung sabun, sisa metanol, dan katalis) dibuang.
 - Proses ini diulangi sebanyak 2 kali hingga air cucian dihasilkan dalam keadaan jernih.

5. Pengeringan

- Biodiesel dipanaskan pada suhu 70°C selama 5 jam untuk menguapkan sisa air dan metanol dengan pengadukan pada 300 rpm digunakan.
- Sebagai alternatif cepat, rotary evaporator (pada 80°C, 200 mBar, selama 1 jam) dapat digunakan.

5. Pengujian Kualitas Biodiesel

Berikut cara bagaimana Pengujian kualitas biodisel:

1. Uji densitas (menggunakan piknometer) sesuai standar ASTM D4052.

2. Ukur kadar air yang terdapat pada biodiesel.
3. Ukur nilai yield biodiesel yang dihasilkan.
4. Lakukan uji pembakaran untuk memeriksa emisi dan stabilitas.
5. Dokumentasikan data untuk evaluasi dan optimasi produksi

3.5 Analisis Data

3.5.1 Uji Nilai *Moisture*

Kadar air dalam biodiesel diuji untuk menentukan kandungan air yang terkandung di dalamnya. Pertama, gelas pialapenguap dipanaskan dalam oven pada suhu 100°C selama satu 3 jam. kemudian didinginkan hingga mencapai suhu ruang dan ditimbang massanya secara teliti menggunakan gelas piala 500ml (m_1). Sejumlah sampel biodiesel sekitar 10 ml (m_{sampel}) kemudian dimasukkan ke dalam gelas piala 500ml yang telah diketahui bobotnya. Gelas pialayang berisi sampel tersebut ditimbang kembali untuk mendapatkan massa total (m_2). Selanjutnya, sampel biodiesel dimasukkan lagi ke dalam reaktor dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 3 jam. Setelah periode pemanasan selesai, gelas pialasegera dipindahkan ke dalam untuk didinginkan hingga suhu ruang. Gelas pialakemudian ditimbang massanya kembali (m_3). Proses pemanasan, pendinginan, dan penimbangan ini diulangi hingga diperoleh massa yang konstan (selisih penimbangan berturut-turut kurang dari 0,001 gram). Rumus yang Digunakan menghitung Kadar air (% moisture) menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ Moisture} = \frac{(m_2 - m_3)}{m \text{ sampel}} \times 100\%$$

Keterangan:

- m_1 = Massa Gelas Piala(g)
- m_2 = Massa gelas piala+ sampel sebelum dioven (g)
- m_3 = Massa gelas piala+ sampel setelah dioven (g)
- m_{sampel} = Massa sampel awal = $m_2 - m_1$ (g)

3.5.2 Uji Densitas

Densitas biodiesel diukur menggunakan piknometer 10 mL untuk mengetahui massa jenisnya, yang merupakan indikator kualitas biodiesel terkait kemurnian dan kontaminan. Prinsipnya adalah dengan menimbang massa biodiesel yang volumenya sama dengan volume piknometer (10 mL). Densitas dihitung dengan membagi selisih massa piknometer berisi biodiesel dan massa piknometer kosong dengan volume piknometer (10 mL). Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{Densitas} = \frac{(\text{piknometer} + \text{biodiesel}) - \text{pikno kosong}}{\text{berat piknometer}} \times 100$$

3.5.3 Uji Nila Yield Biodiesel

Yield dihitung dengan membandingkan massa biodiesel yang diperoleh setelah pemurnian dan pengeringan (massa produk) dengan massa minyak yang digunakan sebagai bahan baku (massa awal), kemudian dikalikan 100% untuk mendapatkan nilai dalam persen. Rumus yang digunakan adalah:

$$\text{yield} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat bahan baku}} \times 100$$

3.6 Rancangan Anggaran Biaya

Dalam penelitian ini akan dilakukan pembelian bahan-bahan untuk melengkapi alat-alat yang akan dirakit, berikut daftar anggaran biayanya:

Tabel 3.5 Anggaran Biaya Rancangan Alat

| Bahan | Jumlah | Harga |
|---------------------------------|---------------|-----------------|
| Perakitan tangki bengkel | 1 Buah | Rp 1,800,000.00 |
| Sensor <i>Flow</i> | 1 Buah | Rp 34,000.00 |
| sensor suhu | 2 Buah | Rp 18,000.00 |
| <i>board</i> | 1 Buah | Rp 14,500.00 |
| pompa | 1 Buah | Rp 70,000.00 |
| dinamo | 1 Buah | Rp 62,000.00 |
| modul esp 32 | 1 Buah | Rp 70,000.00 |
| Pipa <i>Steanliss Steal</i> 8mm | 70 cm | Rp 70,000.00 |
| <i>Steanliss Steal</i> | 50x50 cm | Rp 70,000.00 |
| jirigen plastik 5L | 1 Buah | Rp - |
| pipa 1/2 in | 3 Meter | Rp 28,000.00 |
| pipa L 1/2 in | 5 buah | Rp 15,000.00 |
| ball <i>valve</i> 1/2 in | 3 buah | Rp 60,000.00 |
| kabel <i>jumper</i> | 15 buah | Rp 45,000.00 |
| Kertas lakmus | 1 kotak | Rp 42,000.00 |
| termometer suhu | 1 buah | Rp 20,000.00 |
| <i>Coil</i> Pemanas | 1 buah | Rp 18,000.00 |
| <i>Dimmer</i> | 1 buah | Rp 30,000.00 |
| Micro USB | 1 buah | Rp 15,000.00 |
| Kabel Tie | 1 bungkus | Rp 15,000.00 |
| <i>Power suplay</i> 120 watt | 1 buah | Rp 63,000.00 |
| LM 7805 (untuk daya ESP) | 1 buah | Rp 4,000.00 |
| <i>Solit state relay high</i> | 3 buah | Rp 75,000.00 |
| Modul Mosfet IRLZ44N | 1 buah | Rp 4,000.00 |
| <i>Rotary Encoder</i> | 1 buah | Rp 7,000.00 |
| Solatiban | 1 Buah | Rp 30,000.00 |
| LCD | 1 buah | Rp 32,000.00 |
| Kabel Meteran | 4 Meter | Rp 10,000.00 |
| Total | | Rp 2,721,500.00 |

Tabel 3.6 Anggaran Biaya Bahan

| Bahan | Jumlah | Harga |
|-----------------------|-----------------------|---------------|
| Minyak goreng kemasan | 15 liter dan free 10L | Rp 100,000.00 |
| seal tape | 1 buah | Rp 4,000.00 |
| lem silikon | 1 buah | Rp 7,000.00 |
| metanol | 5 Liter | Rp 100,000.00 |
| H2SO4 | 500 ml | Rp 28,000.00 |
| Aquades | 20 liter | Rp 100,000.00 |
| lem pipa | 1 buah | Rp 10,000.00 |
| Lem merah | 1 buah | Rp 25,000.00 |
| Total | | Rp 349,000.00 |

3.7 Teknik Pengambilan Data

Dalam penelitian ini ada beberapa data penelitian yang akan dilengkapi yaitu :

Tabel 3.7 Data Monitoring proses reaksi transterifikasi

| Percobaan | Waktu (menit) | Suhu set (°C) | Suhu terbaca (°C) | Pengadukan set (rpm) | Pengadukan terpantau (rpm) |
|-----------|---------------|---------------|-------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

Tabel 3.8 Data Monitoring proses pencucian

| Percobaan | Pengulangan | Waktu (menit) | Suhu set (°C) | Suhu terpantau (°C) | Pengadukan set (rpm) | Pengadukan terbaca (rpm) |
|-----------|-------------|---------------|---------------|---------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| 2 | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| 3 | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | |

Tabel 3.9 Data Monitoring proses pengeringan

| Percobaan | Waktu (menit) | Suhu set (°C) | Suhu terpantau (°C) | Pengadukan set (rpm) | Pengadukan terpantau (rpm) |
|-----------|---------------|---------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| | | | | | |

| | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

Tabel 3.10 Pengambilan data FAME

| Percobaan | Yield Biodiesel | Densitas (gr/ml) | Kadar Air (%) | FAME (%) |
|------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |

BAB IV

WAKTU DAN PELAKSANAAN

4.1 Tempat Pelaksanaan Proyek Akhir

Proyek akhir (penelitian) ini dilaksanakan di beberapa tempat antara lain *Workshop*, Laboratorium Bioenergi, dan Laboratorium Proses Industri Kimia di Politeknik ATI Padang.

4.2 Waktu Pelaksanaan Proyek Akhir

Penelitian ini direncanakan berlangsung selama 4 bulan, dimulai dari bulan Mei hingga Agustus 2025. Rangkaian kegiatan meliputi persiapan alat dan bahan, perakitan sistem, pelaksanaan eksperimen, pengumpulan data, dan analisis hasil.

4.3 Jadwal Pelaksanaan Proyek Akhir

Adapun perkiraan jadwal pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 Jadwal kegiatan Penelitian

| No | Jenis Kegiatan | Minggu Ke | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--|-----------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|---------|---|---|---|
| | | Mei | | | | Juni | | | | Juli | | | | Agustus | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Pengumpulan bahan baku dan peralatan | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Perakitan tangki dan penginstalan sensor | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 3 | pengujian | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 4 | Analisa bahan baku | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 5 | Eksperimen | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 6 | Analisa produk | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ |

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

Dari rancangan *prototype* alat reaktor *batch* produksi biodiesel dengan sistem monitoring pengaduk, temperatur, dan *flow* bahan masuk berbasis *Internet of Things* (IoT) diperoleh hasil rancangan yang dapat dilihat pada Tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Spesifikasi Rancangan Reaktor

| No. | Spesifikasi | Nilai | Satuan |
|-----|--|---|-----------------|
| 1. | <i>Prototype</i> reaktor <i>batch</i> untuk produksi biodiesel dengan sistem monitoring pengaduk, temperatur, dan <i>flow</i> bahan masuk berbasis IoT | Mengontrolan produksi biodiesel dalam proses reaksi, pencucian, dan pengeringan | - |
| 2. | Tipe | <i>Silinder vertikal cone bottom</i> | - |
| 3. | Bahan konstruksi | <i>Stainless steel 208</i> | - |
| 4. | Jumlah unit | 1 | Unit |
| 5. | Volume kerja | 10.000 | cm ³ |
| 6. | Volume total reaktor | 12.500 | cm ³ |
| 7. | <i>Safety factor</i> | 20 | % |
| 8. | Diameter reaktor | 32 | cm |
| 9. | Tinggi kerucut 60° | 18 | cm |
| 10. | Tinggi reaktor | 30 | cm |
| 11. | Ttotal Tinggi tangki | 48 | cm |
| 12. | Tebal dinding Reaktor | 0,8 | mm |
| 13. | Jenis <i>impeller</i> | <i>blade</i> | - |
| 14. | Jumlah daun <i>impeller</i> | 3 | Daun |
| 15. | Panjang daun <i>impeller</i> (L) | 7 | cm |
| 16. | Lebar daun <i>impeller</i> (W) | 3 | cm |
| 17. | Kecepatan pengaduk reaksi dan pengeringan | 300 | RPM |
| 18. | Kecepatan Pengduk Pencucian | 500 | RPM |
| 19. | Panjang batang besi elektroda | 22 | cm |
| 20. | Jumlah <i>relay high voltage</i> | 3 | Buah |
| 21. | Sensor temperatur DS18B20 | <i>Min -55 – Max125</i> | °C |
| 22. | Sensor <i>flow</i> YF – G201 G1/2 | <i>Max 30</i> | L/min |
| 23. | Sensor RPM FC-03 | <i>Max 50.000</i> | rpm |
| 24. | Dinamo kipas | <i>Max 3000</i> | rpm |
| 25. | <i>Coil</i> pemanas | <i>Max 400</i> | °C |
| 26. | <i>dimmer</i> | <i>Max 2000</i> | Watt |
| 27. | Maksimum level cairan | 38 | cm |

Pada penelitian ini, dilakukan rancang bangun sebuah *prototype* reaktor *batch* untuk produksi biodiesel dengan sistem *monitoring* pengaduk, temperatur, dan *flow* bahan masuk yang berbasis *Internet of Things* (IoT). Reaktor tersebut digunakan untuk memproduksi biodiesel skala laboratorium yang mampu mengontrol dan memonitoring kondisi proses secara *real time* dari jarak jauh, dengan pengontrolan proses produksi yang lebih akurat karena ada sistem otomatisasi dalam pengendalian prosesnya sehingga dapat memproduksi biodiesel dengan kualitas yang lebih baik. Bentuk reaktor ini merupakan bentuk yang umum digunakan dalam industri biodiesel. reaktor ini berbentuk silinder vertikal dengan *cone bottom* atau alas kerucut. Desain *cone bottom* ini berfungsi untuk memudahkan pengendapan serta pengeluaran gliserol di bagian bawah melalui katup *drain*. Tangki ini dilengkapi dengan 3 sensor untuk mendukung alat utama pada reaktor yaitu, pengaduk RPM FC-03 untuk melihat kecepatan dari pengadukan agar sesuai dengan kondisi operasi, Sensor *flow* YF – G201 G1/2 digunakan dalam untuk memasukkan campuran antara metanol dan NaOH secara akurat dari wadah terpisah kedalam reaktor, dan Sensor temperatur DS18B20 sebagai pembaca temperatur secara *real time* dan menentukan kapan *coil* pemanas akan mati dan hidup untuk menjaga kondisi operasi tetap stabil.

5.2 Pembahasan

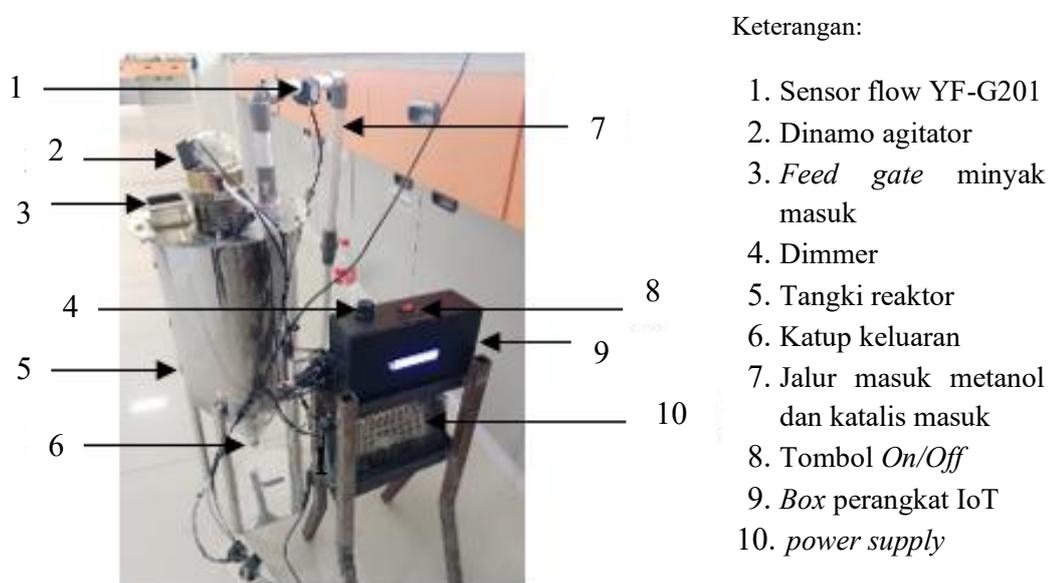
5.2.1 Rancangan Reaktor *Batch*

Pada penelitian ini, dilakukan rancang bangun sebuah *prototype* reaktor *batch* untuk produksi biodiesel dengan sistem *monitoring* pengaduk, temperatur, dan *flow* bahan masuk yang berbasis *Internet of Things* (IoT). Reaktor tersebut digunakan untuk memproduksi biodiesel skala laboratorium yang mampu

mengontrol dan memonitoring kondisi proses secara *real time* dari jarak jauh, dengan pengontrolan proses produksi yang lebih akurat karena ada sistem otomatisasi dalam pengendalian prosesnya sehingga dapat memproduksi biodiesel dengan kualitas yang lebih baik. Bentuk reaktor ini merupakan bentuk yang umum digunakan dalam industri biodiesel. reaktor ini berbentuk silinder vertikal dengan *cone bottom* atau alas kerucut. Desain *cone bottom* ini berfungsi untuk memudahkan pengendapan serta pengeluaran gliserol di bagian bawah melalui katup *drain*. Tangki ini dilengkapi dengan 3 sensor untuk mendukung alat utama pada reaktor yaitu, sensor pengaduk FC-03 untuk melihat kecepatan dari pengadukan agar sesuai dengan kondisi operasi, Sensor laju alir YF – G201 G1/2 digunakan dalam untuk memasukkan campuran antara metanol dan NaOH secara akurat dari wadah terpisah kedalam reaktor, dan Sensor temperatur DS18B20 sebagai pembaca temperatur secara *real time* dan menentukan kapan *coil* pemanas akan mati dan hidup untuk menjaga kondisi operasi tetap stabil.

Reaktor biodiesel dibuat dengan kapasitas total 12,5 liter. Namun, untuk keselamatan digunakan *safety factor* 20% sehingga diperoleh volume kerja 10 liter. Penyediaan *safety factor* sebesar 20% bertujuan agar reaktor tetap aman saat terjadi agitasi maupun penambahan air, sehingga tidak terjadi luapan cairan. Reaktor dirancang dengan rasio diameter terhadap tinggi sebesar 1:2. Rasio ini merupakan rasio umum yang digunakan untuk tangki berpengaduk. Dari rasio tersebut diperoleh diameter tangki 22 cm dengan total tinggi tangki 48 cm yang terdiri dari tinggi *cone bottom* (kerucut) 18 cm dan tinggi silinder 30 cm. Sementara itu, level minimum (*lower*) atau batas bawah cairan agar *impeller* tetap terendam berada pada 20 cm dan level maksimum (*upper*) atau batas ideal maksimum cairan dalam tangki

diatur pada 38 cm. Pengaturan ini bertujuan agar reaktor dapat beroperasi dalam rentang yang aman dan efektif, serta menghindari tumpahan atau kerusakan akibat volume cairan yang melebihi kapasitas desain. Berikut bentuk visual reaktor biodiesel yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5.1 Hasil Rancangan Reaktor Biodiesel

5.2.2 Kinerja Sistem Monitoring Reaktor

Pembuatan reaktor biodiesel berbasis IoT (*Internet of Things*) ini menggunakan esp32 sebagai mikrokontroler untuk sensor suhu, sensor *flow* dan sensor kecepatan pengadukan yang diprogram menggunakan bahasa pemrograman yang nanti akan dikirim ke moduler. Moduler tersebut dirangkai menggunakan *Board Expansion* ESP 32 dan dapat dipantau melalui aplikasi Blynk. Berikut komponen yang digunakan yaitu:

- a. *Board Expansion* ESP 32, sebagai tempat untuk merangkai komponen komponen yang dihubungkan ke ESP 32 lebih banyak.
- b. ESP 32, sebagai mikrokontroler yang digunakan sebagai modul utama.
- c. Sensor DS18B20, digunakan untuk mendeteksi suhu proses reaktor.

- d. Sensor YF-S201, digunakan untuk mendeteksi *flow* yang digunakan.
- e. Sensor FC-03, digunakan untuk mendeteksi kecepatan putaran pada motor reaktor.
- f. *Relay*, digunakan sebagai saklar untuk mengalirkan dan memutus jalur listrik secara otomatis.
- g. *Dimmer SCR Switch*, digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan mengotrol aliran arus listrik yang masuk ke motor.

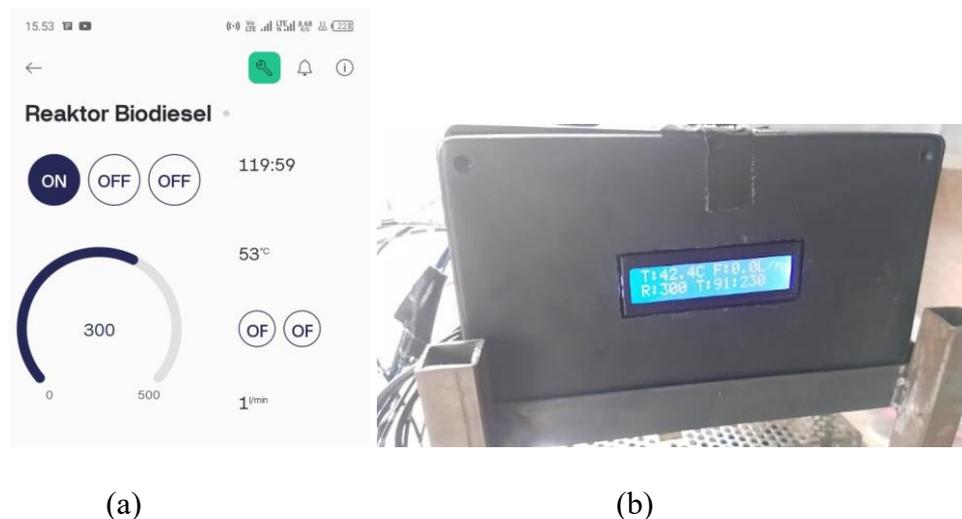
```

coding_kot_reaktor_Biodieselino
1 // konfigurasi Blynk (harus di paling atas)
2 #define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMR6LFFM-Abp"
3 #define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Reaktor Biodiesel"
4 #define BLYNK_AUTH_TOKEN "bvn18-ab3L7SDW-uQ7XlgdcPrqac"
5 #define BLYNK_PIN_SERIAL "Serial"
6 #define BLYNK_ACCUMULATE_INTERVAL 5000
7
8 #include <Blynk.h>
9 #include <BlynkClient.h>
10 #include <BlynkSimpleEsp8266.h>
11 #include <Wire.h>
12 #include <OneWire.h>
13 #include <DallasTemperature.h>
14 #include <DHT.h>
15
16 // ===== KONFIGURASI I2C =====
17 #define SDA 4 // Pin D0
18 #define SCL 5 // Pin D1
19 #define I2C_ADDR 0x48 // I2C Address
20 #define I2C_FREQ 100000 // I2C Frequency
21
22 // ===== KONFIGURASI PIN =====
23 #define RELAY_PIN 15 // kontrol pemanas
24 #define RELAY2_PIN 16 // kontrol pompa (harus aktif di mode reaktor)
25 #define RELAY3_PIN 16 // kontrol pengaduk
26 #define ONE_WIRE_BUS 4 // sensor DS18B20
27 #define FLOW_SENSOR_PIN 14 // sensor flow FC-03
  
```

Gambar 5.2 Tampilan Kode Program Pada Arduino IDE

Komponen komponen di atas akan di program dengan menggunakan Arduino IDE karena kemudahan penggunaan dan pemrograman, *open-source*, harga terjangkau, banyaknya referensi, modul dan *library* yang tersedia, fleksibilitas dan memiliki kecocokan dengan berbagai platform, serta ketersediaan modul tambahan dan contoh template yang memudahkan pengembangan proyek, dimana tampilan pembacaan sensor akan ditampilkan pada layar LCD dan ditampilkan juga pada layar *smartphone* dengan menggunakan Blynk sebagai aplikasi yang digunakan untuk memonitoring dan mengontrol ketiga sensor melalui perangkat *mobile* yang dimana sistem monitoring dan kontrol di atur agar memiliki tiga tombol *widget* yang dimana masing masing tombol memiliki fungsi yang berbeda, pada tombol pertama berfungsi untuk menjalankan proses transesterifikasi,

tombol kedua berfungsi untuk proses pencucian dan tombol ketiga berfungsi untuk proses pengeringan, yang dapat dilihat tampilannya sebagai berikut:



Gambar 5.3 Tampilan (a) *Monitoring* pada *smartphone*, (b) *Monitoring* pada layar LCD

Dari hasil penelitian dilakukan pengambilan data pada sistem monitoring Setelah dilakukannya proses produksi biodiesel dan didapatkan data *monitoring* pada reaktor didapatkan hasil sebagai berikut:

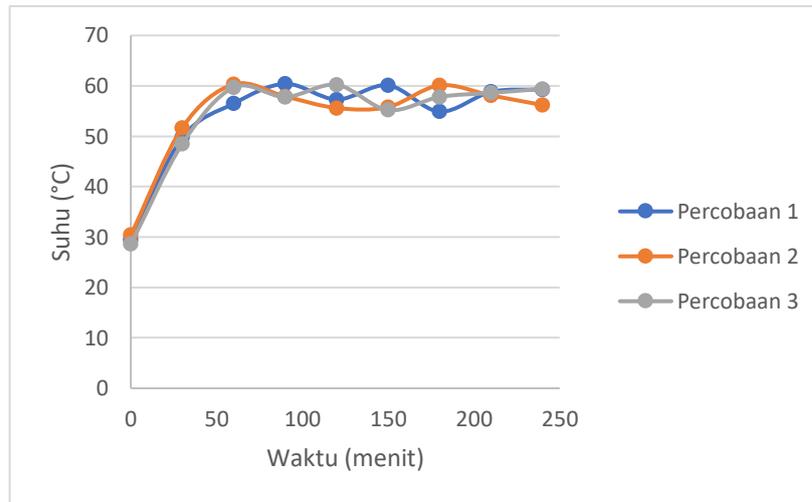
Tabel 5.2 Hasil Monitoring proses reaksi transesterifikasi

| Percobaan | Waktu (menit) | Suhu set (°C) | Suhu terbaca (°C) | Pengadukan set (rpm) | Pengadukan terpantau (rpm) |
|-----------|---------------|---------------|-------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 | 0 | 55 - 60 | 29,5 | 300 | 258 |
| | 30 | | 49,7 | | 285 |
| | 60 | | 56,5 | | 301 |
| | 90 | | 60,4 | | 298 |
| | 120 | | 57,3 | | 296 |
| | 150 | | 60,1 | | 300 |
| | 180 | | 54,9 | | 299 |
| | 210 | | 58,8 | | 302 |
| | 240 | | 59,3 | | 301 |
| 2 | 0 | 55 - 60 | 30,4 | 300 | 261 |
| | 30 | | 51,7 | | 292 |
| | 60 | | 60,3 | | 299 |
| | 90 | | 57,9 | | 297 |
| | 120 | | 55,6 | | 302 |
| | 150 | | 55,8 | | 298 |
| | 180 | | 60,1 | | 299 |

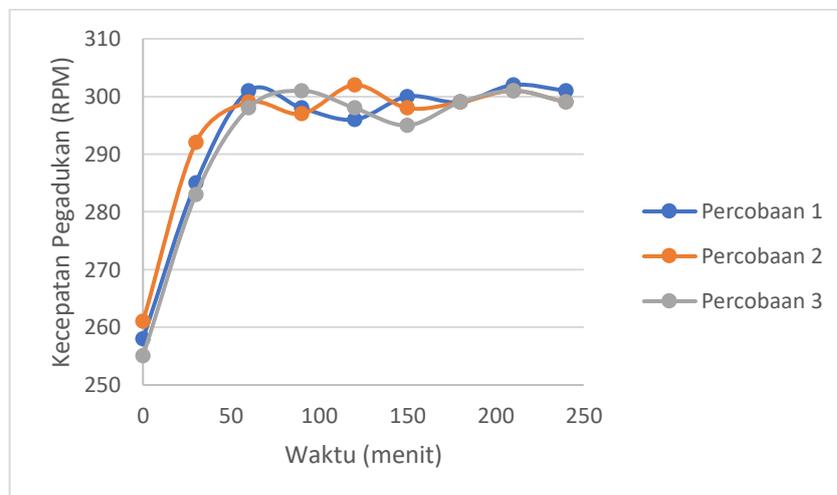
| | | | | | |
|---|-----|---------|------|-----|-----|
| | 210 | | 58,1 | | 301 |
| | 240 | | 56,2 | | 299 |
| 3 | 0 | 55 - 60 | 28,6 | 300 | 255 |
| | 30 | | 48,5 | | 283 |
| | 60 | | 59,7 | | 298 |
| | 90 | | 57,8 | | 301 |
| | 120 | | 60,2 | | 298 |
| | 150 | | 55,2 | | 295 |
| | 180 | | 57,8 | | 299 |
| | 210 | | 58,6 | | 301 |
| | 240 | | 59,4 | | 299 |

Dari data tabel di atas, dapat dilihat kalau pada data suhu dan rpm yang terbaca oleh sensor menunjukkan kalau sistem *monitoring* dan kontrol pada proses reaksi transesterifikasi yang berlangsung selama 4 jam berjalan dengan baik dan mampu menjaga parameter yang sudah diatur yang dimana dapat dilihat pada tabel di atas pada saat parameter suhu dijaga pada rentang suhu 55-60°C, dimana pada saat suhu dibawah 55 °C maka *coil* pemanas akan hidup untuk memanaskan minyak sampai 60 °C dan pada saat suhu melewati 60 °C maka *coil* pemanas kan mati secara otomatis yang dimana proses kerja dari *coil* pemanas ini berfungsi juga pada *monitoring* dan kontrol pada kecepatan putaran pengadukan yang telah diatur sebesar 300 rpm yang dapat dilihat pada tabel diatas kalau kecepatan putaran pengadukan yang terjadi dan terbaca dapat menjaga performanya di nilai 300 rpm yang telah di *set* dan hasil dari *monitoring* tersebut akan di tampilkan secara *real time* ke *dashboard* blynk yang ada pada layar *smartphone* dan grafik dibawah dapat dilihat kalau suhu dan rpm membutuhkan 30 menit untuk mencapai parameter *setting*, pada saat parameter suhu dan rpm sudah memasuki parameter *setting*, nilai suhu stabil pada rentang suhu 55-60°C dan nilai rpm juga stabil pada nilai *setting* yaitu sebesar 300 rpm yang menunjukkan pada sistem *monitoring* dan kontrol pada proses reaksi transesterifikasi bekerja dengan baik dan optimal. Dapat dilihat

gambar grafik hasil *monitoring* suhu dan rpm pada saat proses reaksi transesterifikasi sebagai berikut:



Gambar 5.4 grafik data *monitoring* suhu pada proses reaksi transesterifikasi



Gambar 5.5 grafik data *monitoring* rpm pada proses reaksi transesterifikasi

Didapatkan juga data monitoring pada proses pencucian biodiesel yang dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

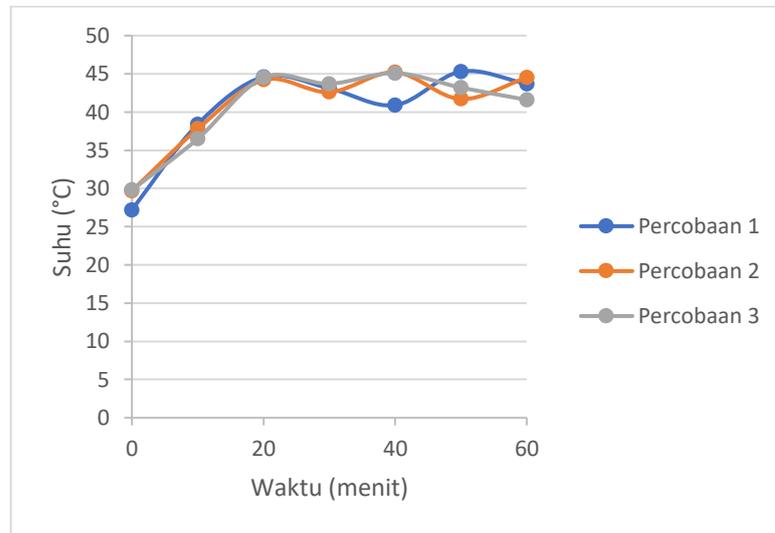
Tabel 5.3 Hasil Monitoring proses pencucian

| Percobaan | Pencucian | Waktu (menit) | Suhu set (°C) | Suhu terbaca (°C) | Pengadukan set (rpm) | Pengadukan terbaca (rpm) |
|-----------|-----------|---------------|---------------|-------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | 1 | 0 | 40 - 45 | 27,2 | 500 | 443 |
| | | 10 | | 38,4 | | 468 |

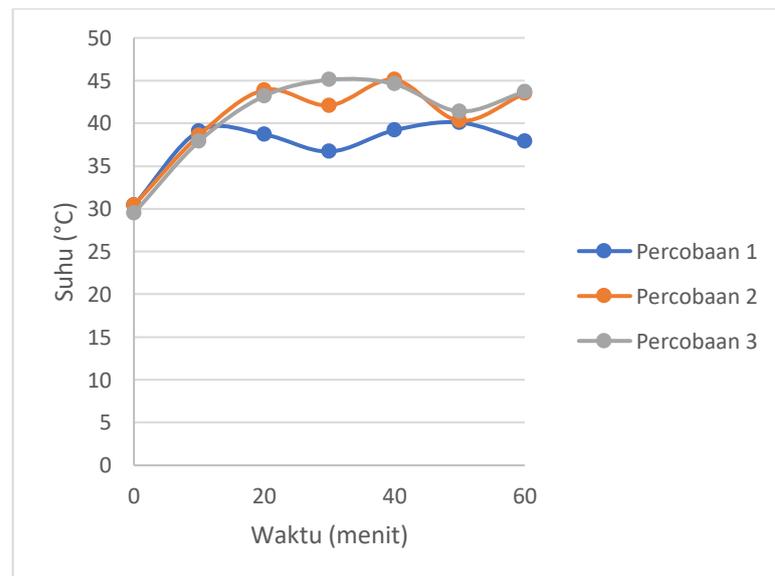
| | | | | | | |
|----|------|---------|---------|---------|------|-----|
| | | 20 | | 44,6 | | 491 |
| | | 30 | | 43,1 | | 501 |
| | | 40 | | 40,9 | | 499 |
| | | 50 | | 45,3 | | 499 |
| | | 60 | | 43,7 | | 497 |
| | 2 | 35 - 40 | 0 | 30,4 | 500 | 457 |
| | | | 10 | 39,1 | | 483 |
| | | | 20 | 38,7 | | 491 |
| | | | 30 | 36,7 | | 497 |
| | | | 40 | 39,2 | | 496 |
| | | | 50 | 40,1 | | 494 |
| | | | 60 | 37,9 | | 496 |
| | 2 | 1 | 0 | 40 - 45 | 500 | 452 |
| 10 | | | 37,8 | | | 487 |
| 20 | | | 44,2 | | | 498 |
| 30 | | | 42,6 | | | 499 |
| 40 | | | 45,2 | | | 500 |
| 50 | | | 41,7 | | | 499 |
| 60 | | | 44,5 | | | 498 |
| 2 | | 35 - 40 | 0 | 30,4 | 500 | 463 |
| | | | 10 | 38,6 | | 489 |
| | | | 20 | 40,2 | | 493 |
| | | | 30 | 38,2 | | 495 |
| | | | 40 | 36,9 | | 492 |
| | | | 50 | 36,9 | | 494 |
| 60 | 39,1 | 493 | | | | |
| 3 | 1 | 0 | 40 - 45 | 500 | 452 | |
| | | 10 | | | 36,5 | 484 |
| | | 20 | | | 44,5 | 494 |
| | | 30 | | | 43,7 | 495 |
| | | 40 | | | 45,1 | 492 |
| | | 50 | | | 43,2 | 496 |
| | | 60 | | | 41,6 | 493 |
| | 2 | 35 - 40 | 0 | 29,5 | 500 | 455 |
| | | | 10 | 37,9 | | 481 |
| | | | 20 | 43,2 | | 491 |
| | | | 30 | 45,1 | | 495 |
| | | | 40 | 44,6 | | 497 |
| | | | 50 | 41,4 | | 492 |
| 60 | 43,7 | 493 | | | | |

Dari data monitoring yang ada pada tabel di atas dapat dilihat kalau sistem monitoring dan kontrol yang ada pada proses pencucian biodiesel yang berlangsung selama 60 menit berkerja dengan optimal dalam menjaga kinerja agitator sesuai dengan parameter *setting* yaitu 500 rpm dan sistem monitoring dan kontrol dapat

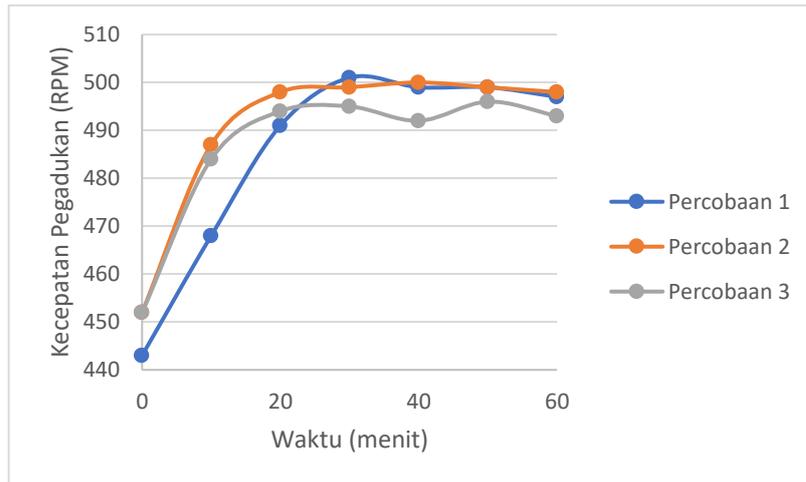
mengendalikan kinerja *coil* pemanas agar dapat menjaga suhu tetap pada rentang 40-45°C yang telah di *setting*, sehingga *coil* pemanas dan agitator tetap dapat terkontrol. Dapat dilihat juga grafik dari data hasil *monitoring* pada proses pencucian sebagai berikut:



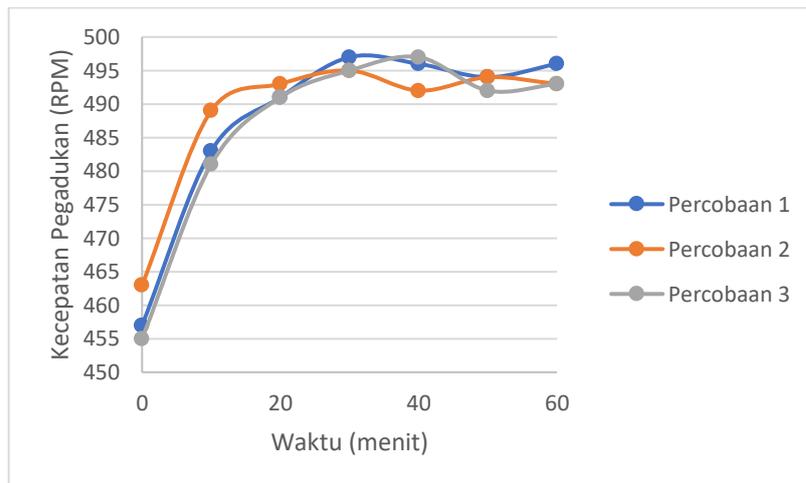
Gambar 5.6 Grafik data monitoring Suhu pada proses pencucian ke 1



Gambar 5.7 Grafik data monitoring Suhu pada proses pencucian ke 2



Gambar 5.8 Grafik data monitoring rpm pada proses pencucian ke 1



Gambar 5.9 Grafik data monitoring rpm pada proses pencucian ke 2

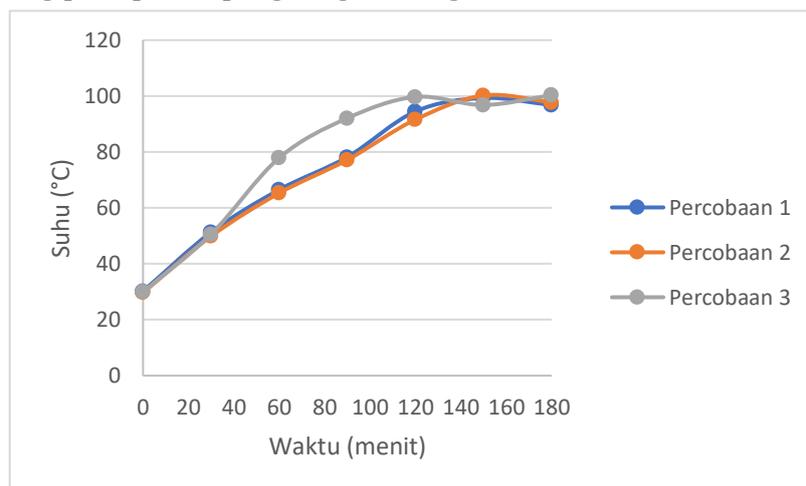
Pada proses pengeringan yang bertujuan untuk mengurangi kadar air dan metanol yang masih terkandung dalam biodiesel, didapatkan data hasil monitoring suhu dan rpm pada saat proses pengeringan yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.4 Hasil monitoring proses pengeringan

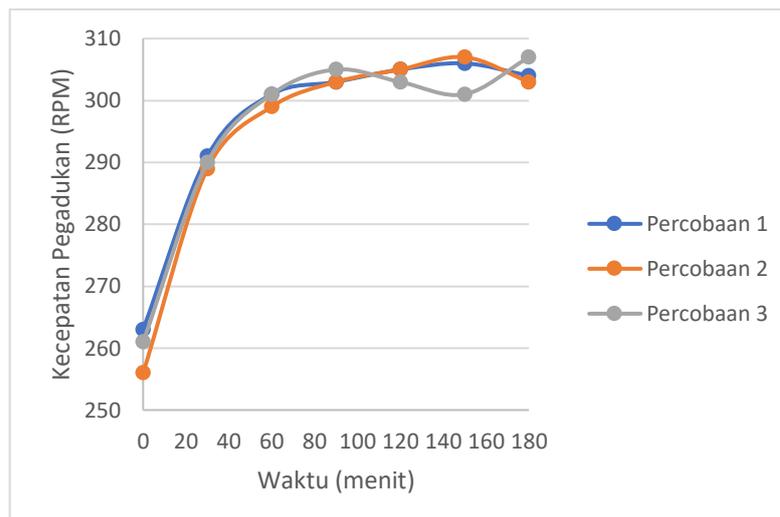
| Percobaan | Waktu (menit) | Suhu set (°C) | Suhu terbaca (°C) | Pengadukan set (rpm) | Pengadukan terbaca (rpm) |
|-----------|---------------|---------------|-------------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | 0 | 95-100 | 30,2 | 300 | 263 |
| | 30 | | 51,3 | | 291 |
| | 60 | | 66,5 | | 301 |
| | 90 | | 78,2 | | 303 |
| | 120 | | 94,5 | | 305 |
| | 150 | | 99,3 | | 306 |
| | 180 | | 96,8 | | 304 |

| | | | | | |
|---|-----|--------|-------|-----|-----|
| 2 | 0 | 95-100 | 29,7 | 300 | 256 |
| | 30 | | 49,9 | | 289 |
| | 60 | | 65,3 | | 299 |
| | 90 | | 77,2 | | 303 |
| | 120 | | 91,6 | | 305 |
| | 150 | | 100,2 | | 307 |
| | 180 | | 97,8 | | 303 |
| 3 | 0 | 95-100 | 29,9 | 300 | 261 |
| | 30 | | 50,6 | | 290 |
| | 60 | | 77,9 | | 301 |
| | 90 | | 92,1 | | 305 |
| | 120 | | 99,7 | | 303 |
| | 150 | | 96,8 | | 301 |
| | 180 | | 100,3 | | 307 |

Pada tabel data hasil *monitoring* suhu dan rpm pada proses pengeringan dapat dilihat bahwa *coil* pemanas sanggup untuk memanaskan dengan suhu yang tinggi, serta sistem monitoring dan kontrol dapat menjaga parameter *setting* suhu yang tinggi sehingga dapat dilakukannya proses pengeringan untuk menghilangkan kadar air dan metanol yang tersisa pada biodiesel. Dapat dilihat juga grafik dari data monitoring pada proses pengeringan sebagai berikut:



Gambar 5.10 Grafik data monitoring Suhu pada proses pengeringan biodiesel



Gambar 5.11 Grafik data monitoring Suhu pada proses pengeringan biodiesel

Dari tabel dan grafik data monitoring di atas dapat dilihat kalau sistem *monitoring* dan kontrol yang telah dirancang dan dibuat dapat berkeja dengan baik dan dapat digunakan untuk *monitoring* secara *real time* kinerja reaktor dalam proses produksi biodiesel sesuai dengan rancangan yang telah dibuat.

5.2.3 Hasil Kualitas biodiesel

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil kualitas biodiesel yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 5.5 Hasil Kualitas Biodiesel

| Percobaan | Yield Biodiesel | Densitas (gr/ml) | Kadar Air (%) | FAME (%) |
|-----------|-----------------|------------------|---------------|----------|
| 1 | 94,33% | 0,8637 | 0,0108 | - |
| 2 | 94,10% | 0,8744 | 0,0088 | - |
| 3 | 92,34% | 0,8602 | 0,0075 | - |

Pada penelitian ini, proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan proses transesterifikasi yang dilakukan satu kali dengan bahan baku minyak goreng kemasan, menggunakan perbandingan minyak dan metanol 1 : 3 serta katalis KOH sebesar 1%. Dari percobaan yang dilakukan, biodiesel yang diperoleh menunjukkan

yield berkisar antara 92,34% hingga 94,33%. Dari nilai ini dapat dilihat dengan data hasil *monitoring* yang dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai tabel 5.4 yang menunjukkan kalau dengan sistem *monitoring* dan kontrol *real time* yang telah dibuat, mampu menjaga parameter parameter yang telah di atur agar dapat berjalan sesuai dengan ketentuan yang telah di atur dan dari hasil nilai yield tersebut dapat dilihat kalau nilai ini cukup tinggi dan menunjukkan bahwa alat yang dirancang sudah cukup efektif dalam memisahkan biodiesel dari gliserol. Namun demikian, yield sebenarnya memiliki potensi lebih tinggi karena terdapat kehilangan produk saat proses pengeluaran dari tangki. Hal ini disebabkan oleh karakteristik gliserol yang kental sehingga katup drain harus dibuka penuh untuk mempercepat alirannya. Akibatnya, sebagian biodiesel ikut keluar secara tiba-tiba dan menyebabkan adanya tumpahan. Kehilangan produk inilah yang diperkirakan menurunkan nilai yield yang terukur dibandingkan potensi aslinya.



Gambar 5.12 Hasil Biodiesel yang didapatkan

Untuk meminimalkan kehilangan biodiesel pada tahap pengeluaran produk, beberapa perbaikan desain dapat dipertimbangkan. Seperti penambahan pintu intip untuk melihat visual pemisahan yang terjadi pada reaktor saat beroperasi, sehingga pada saat proses pengeluaran produk dapat dilihat batasan antar fluida yang bisa

mencegah terbuangnya biodiesel yang terikut saat proses pemisahan. Dengan modifikasi ini, diharapkan tumpahan dapat diminimalkan dan nilai yield biodiesel yang dihasilkan dapat lebih optimal. Hasil pengujian densitas biodiesel berada pada rentang 0,8602–0,8744 g/mL. Nilai ini sesuai dengan standar mutu biodiesel (SNI 7182:2015) yang menetapkan densitas pada kisaran 850–890 kg/m³. Kadar air biodiesel yaitu 0,0075–0,0108%, yang masih di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan SNI ($\leq 0,05\%$). Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel hasil penelitian ini memiliki mutu fisik yang baik, meskipun analisis kandungan viskositas dan kandungan FAME belum dilakukan.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan dari perancangan dan penelitian ini sebagai berikut :

1. Reaktor biodiesel *batch* dengan sistem *monitoring* IoT berhasil dirancang dan dibuat. Sistem ini terintegrasi dengan sensor suhu, laju alir, dan kecepatan putaran pengadukan yang dikendalikan oleh ESP32 dan *platform Blynk*, memungkinkan pemantauan dan kontrol parameter proses secara *real-time* dan jarak jauh.
2. Kinerja reaktor menunjukkan kemampuan dalam menjaga kondisi operasi optimal. Sistem berhasil mempertahankan suhu pada reaksi transesterifikasi (55–60°C, 300 rpm), pencucian (40–45°C, 500rpm) dan pengeringan (95–100°C, 300 rpm), yang dibuktikan dengan data hasil *monitoring* yang konsisten.
3. Biodiesel yang dihasilkan memenuhi sebagian standar kualitas. Densitas produk (0,8602–0,8744 g/mL), Yield biodiesel yang diperoleh sebesar (92–94%) meskipun berpotensi lebih tinggi jika tidak ada kehilangan produk saat proses pengeluaran dari reaktor. dan kadar air (0,0075–0,0108%) telah memenuhi persyaratan SNI 7182:2015, meskipun konversi yang dicapai masih perlu ditingkatkan lebih lanjut.

6.2 Saran

Adapun yang dapat disarankan dari penelitian ini, antara lain:

1. Penambahan *sight glass* pada dinding reaktor sangat disarankan untuk memantau proses pemisahan fase secara visual. Pertimbangkan integrasi

separator atau centrifuge untuk meningkatkan efisiensi pemisahan biodiesel dan gliserol. Hal ini akan meminimalisir kehilangan produk dan meningkatkan yield secara signifikan.

2. Peningkatan Akurasi Sistem Monitoring dengan kalibrasi semua sensor secara berkala menggunakan alat standar diperlukan untuk memastikan keakurasian data. Penambahan sensor pH juga sangat krusial untuk memantau kondisi keasaman secara *real-time* guna mencegah reaksi saponifikasi. Evaluasi penggunaan sensor dengan presisi lebih tinggi juga perlu dipertimbangkan untuk proses yang lebih stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- Arduino. (2022). Arduino IDE 2.0 Documentation. Arduino.cc.
- Arifin, Z., Zulkifli, M., & Priyanto, S. (2021). Potensi dan Peluang Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan* , 5 (2), 78-92.
- ASTM D6751. (2023). Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. ASTM International.
- ASTM International. (2023). Standard Specification for Stainless steel Grades. ASTM A240/A240M.
- Avhad, M. R., & Marchetti, J. M. (2015). A review on recent advancement in catalytic materials for biodiesel production. *ReNewable and Sustainable Energy Reviews* , 50 , 696-718.
- Aziz, I., Nurbayti, S., & Ulum, B. (2021). Pembuatan Produk Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi. *Jurnal Kimia Valensi* , 5 (1), 79-85.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). *Cairan biofuel (biodiesel) jenis fatty acid methyl ester (FAME) untuk bahan bakar mesin diesel - Spesifikasi*. SNI 7182:2015. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting Started with Arduino* (3rd ed.). Maker Media.
- Blynk. (2021). Blynk IoT Platform Documentation. Blynk.io.
- Bruice, P. Y. (2017). *Essential Organic Chemistry* (3rd ed.). Pearson.
- Fadhlullah, M., Widiyanto, S. N. B., & Restiawaty, E. (2020). Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng kemasan dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Katalis Heterogen. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* , 19 (1), 38-49.
- Firdaus, A., Saputra, D. H., & Nugraha, I. (2021). Penerapan Internet of Things pada Sistem Monitoring Produksi Biodiesel Skala Industri Kecil Menengah. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* , 10 (3), 147-156.
- Fischer, E., & Speier, A. (1895). Darstellung der Ester. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* , 28 (3), 3252–3258.
- Garcia, M., Fernandez, L., & Rodriguez, J. (2020). *Automation and Control in Biodiesel Production*. Springer.

- Hambali, E., Thahar, A., & Komarudin, A. (2019). The Potential of Palm Oil as a Feedstock for Biodiesel Production in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* , 65 , 012015.
- Hamid, H., Yusuf, A. F., & Hakim, L. (2019). Analisis Kualitas Biodiesel dari Berbagai Bahan Baku dan Pengaruhnya terhadap Performa Mesin Diesel. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri* , 4 (1), 12-25.
- Hidayatullah, I., Rochmadi, R., & Budiman, A. (2020). Aplikasi Kavitas Hidrodinamik untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Nyamplung: Analisis Efisiensi Energi dan Konsumsi Katalis. *Jurnal Teknologi Kimia Indonesia* , 19 (3), 134-145.
- Kementerian ESDM. (2023). Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Tahun 2023. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kementerian ESDM. (2020). Perkembangan Pemanfaatan Biodiesel di Indonesia: Tantangan dan Peluang. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Kumar, S., & Sharma, P. (2021). *Real-time Monitoring Systems for Chemical Reactors*. Elsevier.
- McMurry, J. (2016). *Organic Chemistry (9th ed.)*. Cengage Learning.
- Nugroho, A. P., Hidayat, S., & Kusuma, H. (2022). Perkembangan Teknologi IoT dan Implementasinya dalam Industri Biodiesel. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* , 9 (2), 98-107.
- Nugroho, A. P., Yulianto, B., & Saputra, D. (2020). Implementasi Internet of Things pada sistem monitoring berbasis Blynk. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)* , 7 (2), 231–238.
- Nurfitriani, D., Mulyani, S., & Firdaus, M. L. (2021). Produksi Cepat Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Reaktor Mikrowave: Kajian Parameter dan Kualitas Produk. *Jurnal Energi Terbarukan* , 15 (1), 78-89.
- Permana, D., Julianti, E., & Hartono, B. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Level Fluida pada Reaktor Biodiesel Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04 Berbasis IoT. *Jurnal ELKOMIKA* , 10 (1), 164-175.
- Pratama, A. R., Wijaya, E., & Suprpto, B. Y. (2021). Implementasi Sensor Suhu DS18B20 pada Sistem Monitoring Reaktor Biodiesel. *Jurnal Teknik Elektro* , 10 (2), 78-85.

- Pratomo, S. W., Setiawan, B., & Hidayat, C. (2023). Studi Kinetika Transesterifikasi Menggunakan Reaktor Mikrowave: Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi. *Jurnal Sains dan Teknologi Industri* , 21 (2), 56-65.
- Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi, Sumber Daya Mineral (Pusdatin ESDM). (2023). *Outlook Energi Indonesia 2023: Biodiesel* . Kementerian ESDM RI.
- Rahman, M. A., Santosa, B., & Wijayanto, D. S. (2022). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Biodiesel Berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* , 9 (3), 572-583.
- Rahman, M. A., Aziz, M., & Firmansyah, D. (2020). Analisis Karakteristik Nyala Api Biodiesel dari Berbagai Bahan Baku. *Jurnal Rekayasa Mesin* , 11 (2), 249-258.
- Rahmawati, F., Putra, A. P., & Widodo, S. (2021). Implementasi Cloud Computing untuk Monitoring Parameter Proses Produksi Biodiesel Berbasis Internet of Things. *Jurnal Rekayasa Elektrika* , 17 (3), 173-182.
- Santos, R., Oliveira, C., & Pereira, A. (2019). *Human-Machine Interfaces in Industrial Processes*. IEEE Press.
- Santoso, H., Nugroho, D., & Santosa, R. (2020). Perancangan Sistem Monitoring Parameter Proses pada Produksi Biodiesel Berbasis IoT. *Journal of Applied Smart Electrical Network and Systems* , 1 (1), 27-36.
- Saputra, R., Dewi, R., & Kurniawan, A. (2023). Optimasi Intensitas Gelombang Ultrasonik untuk Peningkatan Yield Biodiesel dari Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Kimia* , 20 (2), 45-54.
- Saptoadi, H., Wahyuni, S., & Mulyani, S. (2020). Optimasi Protokol Keselamatan dalam Penggunaan Katalis Asam untuk Produksi Biodiesel Skala Pilot Plant. *Jurnal Keselamatan dan Kesehatan Kerja Indonesia* , 8 (2), 78-89.
- Sari, R. K., Hidayat, N., & Wijaya, K. (2020). Analisis Life Cycle Assessment (LCA) Emisi Gas Rumah Kaca pada Produksi Biodiesel dari Crude Palm Oil (CPO). *Jurnal Ilmu Lingkungan* , 18 (2), 245-254.
- Setiawati, E., & Edwar, F. (2022). Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Nabati dengan Metode Transesterifikasi. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri* , 7 (1), 45-53.
- Sharma, P., & Kaur, M. (2019). IoT based Home Automation using Blynk framework. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* , 8 (5), 1846–1850.

- Siregar, A. H., Tambunan, A. H., & Situmorang, Y. A. (2022). Analisis Risiko Keselamatan dalam Pencampuran Asam Klorida dan Metanol untuk Aplikasi Pretreatment Biodiesel. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia* , 15 (2), 89-98.
- Smith, M. B. (2020). *March's Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms, and Structure* (8th ed.). John Wiley & Sons.
- Suharyati, S., Hartono, D., Astuty, E. D., & Firdaus, A. (2022). Outlook Energi Indonesia 2022: Potensi dan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan. Jakarta: Dewan Energi Nasional.
- Vollhardt, K. P. C., & Schore, N. E. (2018). *Organic Chemistry: Structure and Function* (8th ed.). W.H. Freeman.
- Wibowo, A., Prakasa, J. E., & Hartomo, K. D. (2022). Aplikasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 untuk Monitoring Level Bahan Baku pada Proses Produksi Biodiesel. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer* , 9 (1), 121-130.
- Widodo, S., Suherman, A., & Winata, H. (2023). Optimasi Suhu Reaksi Transesterifikasi pada Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Goreng kemasan dengan Sistem Monitoring Menggunakan Sensor DS18B20. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan* , 7 (1), 21-30.
- Wijayanti, W., Santoso, B., & Fitriani, N. (2022). Analisis Frekuensi Optimal Ultrasonik untuk Intensifikasi Proses Transesterifikasi Minyak Sawit. *Jurnal Rekayasa Proses* , 16 (3), 112-120.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1.1 Neraca Massa Teoritis

Basis:

bahan baku (minyak goreng) = 7500 gram

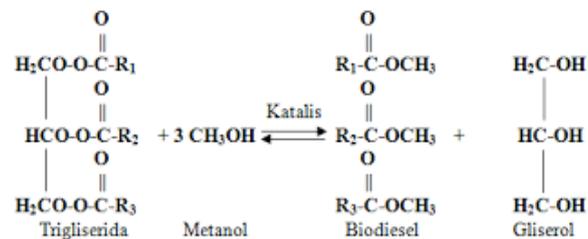
Perbandingan minyak dan metanol = 1:3

Asumsi konversi reaktor 96,5%

Data diketahui :

| Senyawa | Densitas (g/ml) | BM (g/mol) |
|--------------|-----------------|------------|
| trigliserida | 0,92 | 878,0 |
| Metanol | 0,792 | 32,04 |
| NaOH | 1,5 | 40 |
| Gliserol | 1,26 | 92,09 |
| Metil Ester | 0,88 | 294,01 |

a. Neraca Massa Transesterifikasi



Bahan baku:

a. Minyak goreng (trigliserida)

Massa Trigliserida = %trigliserida x massa minyak goreng

Massa Trigliserida = 99,83% x 7500 gr = 7487,58 gr

$$n_{\text{trigliserida}} = \frac{\text{Berat Minyak}}{\text{BM minyak}} = \frac{7487,58 \text{ gr}}{878 \text{ g/mol}} = 8,52 \text{ mol}$$

b. Metanol

$$n_{\text{metanol}} = 3 \times n_{\text{trigliserida}} = 3 \times 8,52 \text{ mol} = 25,56 \text{ mol}$$

n_{metanol} ditambah sebanyak 2,34 mol jadi,

$$n_{\text{metanol}} = 5,34 \times n_{\text{trigliserida}} = 5,34 \times 8,52 \text{ mol} = 45,53 \text{ mol}$$

Massa metanol = Mol metanol x BM metanol

$$\text{Massa metanol} = 25,56 \text{ mol} \times 32,04 \text{ g/mol}$$

Massa metanol = 819 gr

Massa metanol dilebihkan = $45,53 \text{ mol} \times 32,04 \text{ g/mol}$

Massa metanol dilebihkan = 1459,08 gr

c. NaOH 1%

Massa NaOH = $1\% \times \text{Massa Minyak} = 1\% \times 7500 \text{ gr} = 75 \text{ gr}$

dapat dilihat di bawah untuk *feed* teoritis yang masuk sebagai berikut :

Tabel 3.11 Input *Feed* Reaktor

| Senyawa | Jumlah | Satuan |
|-------------------|-----------|--------|
| trigliserida | 7487,5875 | gram |
| Metanol | 1459,0869 | gram |
| NaOH | 75 | gram |
| Total massa masuk | 9021,6744 | gram |

Reaksi Transesterifikasi

b. Stoikiometri

Trigliserida + 3Metanol \rightarrow 3Biodiesel + Gliserol

c. Reaksi dengan metanol berlebih

Trigliserida + 5,34Metanol \rightarrow 3Biodiesel + Gliserol

| | trigliserida | metanol | Metil ester | gliserol |
|-----------|--------------|---------|-------------|----------|
| Mula mula | 8,5280 | 45,5395 | 0 | 0 |
| Bereaksi | 8,2295 | 24,6886 | 24,6886 | 8,2295 |
| Sisa | 0,2985 | 20,8510 | 24,6886 | 8,2295 |

Dapat dilihat di bawah untuk *product* teoritis yang keluar sebagai berikut :

Tabel 3.12 Out *Product* Reaktor

| Senyawa | Jumlah | Satuan |
|--------------------|-----------|--------|
| trigliserida | 262,0656 | gram |
| Metanol | 668,0651 | gram |
| NaOH | 75 | gram |
| metil ester | 7258,69 | gram |
| gliserol | 757,86 | gram |
| Total massa keluar | 9021,6744 | gram |

Lampiran 1. 2 Perhitungan Neraca Panas

Perpindahan panas pada alat ini terjadi pada saat proses pencucian

1. Perhitungan ΔH

Menghitung kapasitas panas (C_{pmix}) untuk setiap komponen

menggunakan persamaan Yaws :

| Nama | Formula | Koefisien of Yaws | | | | Sumber |
|-------------------|----------|-------------------|---------|-------------|------------|--------------|
| | | A | B | C | D | |
| Trigliserida | C18H32O2 | 284,742 | 2,0943 | -0,0050308 | 4,9794E-06 | (Perry) |
| Gliserol | C3H8O3 | 90,105 | 0,8601 | -1,975E-03 | 1,8068E-06 | (Yaws,1999) |
| Methanol | CH3OH | 40,152 | 0,3105 | -1,029E-03 | 1,4598E-06 | (Yaws,1999) |
| Sodium Hidroksida | NaoH | 80.173 | 0.6980 | -0.8360E-03 | 0.4813E-06 | (Yaws,1999) |
| Metil Ester | R-COOCH3 | 270,763 | 2,3436 | -5,4898E-03 | 5,4072E-06 | (Yaws,1999) |
| Air | H2O | 18,2964 | 0,47212 | 1,34E-03 | 1,31E-06 | (Geankoplis) |

Suhu bahan masuk = $30^{\circ}\text{C} \approx 303,15$

Suhu reaksi = $60^{\circ}\text{C} \approx 333,15$ K

$T_{ref} = 25^{\circ}\text{C} \approx 298,15$ K

2. Perhitungan Kapasitas Panas (C_p) pada T_{in} dan T_{rxn}

a. Trigliserida (C18H32O2)

- Koefisien: A = 284,742; B = 2,0943; C = -0,0050308; D = 4,9794E-06
- $C_p(303,15) = 284,742 + 2,0943 \cdot 303,15 - 0,0050308 \cdot (303,15)^2 + 4,9794E-06 \cdot (303,15)^3 = 284,742 + 635,0 - 462,5 + 138,9 = 595,1$ J/mol.K
- $C_p(333,15) = 284,742 + 2,0943 \cdot 333,15 - 0,0050308 \cdot (333,15)^2 + 4,9794E-06 \cdot (333,15)^3 = 284,742 + 697,7 - 558,4 + 198,1 = 622,1$ J/mol.K

- $C_p^- = 595,1 + 622,12 = 608,6 \text{ J/mol.K}$ $C_p^- = 2595,1 + 622,1 = 608,6 \text{ J/mol.K}$

b. Metanol (CH₃OH)

- Koefisien: A = 40,152; B = 0,3105; C = -1,029E-03; D = 1,4598E-06
- $C_p(303,15) = 40,152 + 0,3105 \cdot 303,15 - 1,029E-03 \cdot (303,15)^2 + 1,4598E-06 \cdot (303,15)^3 = 40,152 + 94,1 - 94,6 + 40,7 = 80,4 \text{ J/mol.K}$
- $C_p(333,15) = 40,152 + 0,3105 \cdot 333,15 - 1,029E-03 \cdot (333,15)^2 + 1,4598E-06 \cdot (333,15)^3 = 40,152 + 103,5 - 114,3 + 54,0 = 83,4 \text{ J/mol.K}$
- $C_p^- = 80,4 + 83,42 = 81,9 \text{ J/mol.K}$

c. Metil Ester (R-COOCH₃)

- Koefisien: A = 270,763; B = 2,3436; C = -5,4898E-03; D = 5,4072E-06
- $C_p(303,15) = 270,763 + 2,3436 \cdot 303,15 - 5,4898E-03 \cdot (303,15)^2 + 5,4072E-06 \cdot (303,15)^3 = 270,763 + 710,7 - 504,7 + 150,8 = 627,6 \text{ J/mol.K}$
- $C_p(333,15) = 270,763 + 2,3436 \cdot 333,15 - 5,4898E-03 \cdot (333,15)^2 + 5,4072E-06 \cdot (333,15)^3 = 270,763 + 780,8 - 609,7 + 216,2 = 658,1 \text{ J/mol.K}$
- $C_p^- = 627,6 + 658,12 = 642,9 \text{ J/mol.K}$

d. Gliserol (C₃H₈O₃)

- Koefisien: A = 90,105; B = 0,8601; C = -1,975E-03; D = 1,8068E-06
- $C_p(303,15) = 90,105 + 0,8601 \cdot 303,15 - 1,975E-03 \cdot (303,15)^2 + 1,8068E-06 \cdot (303,15)^3 = 90,105 + 260,8 - 181,6 + 50,5 = 219,8 \text{ J/mol.K}$
- $C_p(333,15) = 90,105 + 0,8601 \cdot 333,15 - 1,975E-03 \cdot (333,15)^2 + 1,8068E-06 \cdot (333,15)^3 = 90,105 + 286,5 - 219,4 + 76,2 = 233,4 \text{ J/mol.K}$
- $C_p^- = 219,8 + 233,42 = 226,6 \text{ J/mol.K}$

3. Perhitungan ΔH Sensibel

Dari neraca massa:

- Massa trigliserida = 7,425 kg = 7425 g
Mr trigliserida = 878 g/mol $\rightarrow n = \frac{7425}{878} = 8,45 \text{ mol}$
- Massa MeOH = 1,134 kg = 1134 g
Mr MeOH = 32,04 g/mol $\rightarrow n = \frac{1134}{32,04} = 35,4 \text{ mol}$

ΔH Sensibel Trigliserida:

$$\Delta H_{\text{sens}} = n \cdot C_p \cdot (T_{\text{rxn}} - T_{\text{in}}) = 8,45 \cdot 608,6 \cdot (30) = 154,3 \text{ kJ}$$

ΔH Sensibel Metanol:

$$\Delta H_{\text{sens}} = 35,4 \cdot 81,9 \cdot (30) = 87,0 \text{ kJ}$$

Total ΔH Sensibel:

$$\Delta H_{\text{sens, total}} = 154,3 + 87,0 = 241,3 \text{ kJ}$$

4. Perhitungan ΔH Reaksi

Reaksi:



$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{rxn}} &= [3 \cdot (-735) + (-669)] - [(-780) + 3 \cdot (-239)] = [-2205 - 669] - [-780 - 717] \\ &= -2874 + 1497 = -1377 \text{ kJ/mol} \\ &= -1377 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

Konversi 96,5% \rightarrow mol trigliserida yang bereaksi = $8,45 \times 0,965 = 8,15 \text{ mol}$

$$\Delta H_{\text{rxn}} = 8,15 \cdot (-1377) = -11220 \text{ kJ}$$

5. Neraca Panas Total

$$Q_{\text{total}} = \Delta H_{\text{sens}} + \Delta H_{\text{rxn}} = 241,3 - 11220 = -10978,7 \text{ kJ}$$

| Komponen | m (kg) | n (mol) | Cp (303,15 K) (J/mol.K) | Cp (333,15 K) (J/mol.K) | ṅ (mol) | ΔH sensibel (kJ) | ΔH reaksi (kJ) | Q_total (kJ) |
|--------------|--------|---------|----------------------------|----------------------------|----------|---------------------|-------------------|-----------------|
| Trigliserida | 7,425 | 8,45 | 595,1 | 622,1 | 8,45 | 154,3 | - | - |
| MeOH | 1,134 | 35,4 | 80,4 | 83,4 | 35,4 | 87,0 | - | - |
| Metil Ester | - | - | 627,6 | 658,1 | - | - | - | - |
| Gliserol | - | - | 219,8 | 233,4 | - | - | - | - |
| Total | | | | | | 241,3 | -11220 | -10978,7 |

LAMPIRAN 1.3 Rancangan Badan Reaktor

Reaktor yang dirancang memiliki bentuk silinder pada bagian atasnya dan memiliki bentuk kerucut pada bagian bawahnya. Ini pada awalnya direncanakan memiliki kapasitas 10 liter pada bagian silinder dengan rasio H/D 1:2.

1. Tinggi tangki

Konversi Volume ke m³ (untuk memudahkan perhitungan)

- 10 liter = 0,01 m³

Pilih Rasio Tinggi terhadap Diameter (H/D)

- Rasio umum untuk reaktor biodiesel adalah H/D ≈ 1:1 hingga 1,5:1 (agar pengadukan efektif dan tidak terlalu tinggi).
- Contoh, kita pilih H/D = 1,2.

Hitung Diameter (D) dan Tinggi (H) Tangki

- Volume silinder:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 H$$

- Karena $H = 1,2 \times D$, maka:

$$V = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 \times 1,2D = 0,3\pi D^3$$

- Substitusi $V = 0,01 \text{ m}^3$:

$$0,01 = 0,3 \times 3,1416 \times D^3$$

$$D^3 = \frac{0,01}{0,3 \times 3,1416} \approx 0,0106$$

$$D = \sqrt[3]{0,0106} \approx 0,22 \text{ m} = 22 \text{ cm}$$

- Maka tinggi tangki:

$$H = 1,2 \times 22 \text{ cm} = 26,4 \text{ cm}$$

Tambahkan Ruang Headspace (±20%)

- Total tinggi tangki = $26,4\text{cm} + (0,2 \times 26,4) = 32\text{cm}$.

Desain bodi Tangki 10 Liter:

- Diameter (D): 22 cm

Tinggi (H): 32 cm

2. Hitungan tinggi kerucut

- Volume Kerucut (V_{cone}):
- $V_{\text{cone}} = (1/3) \times \pi \times r^2 \times h_{\text{cone}}$

Dari geometri kerucut, hubungan antara jari-jari (r), tinggi kerucut (h_{cone}), dan sudut puncak (α) adalah:

- $\tan(\alpha/2) = r / h_{\text{cone}}$
- Untuk $\alpha = 60^\circ$, maka $\alpha/2 = 30^\circ$.
- $\tan(30^\circ) = r / h_{\text{cone}}$
- $h_{\text{cone}} = r / \tan(30^\circ) = r / (1/\sqrt{3}) \approx r / 0,577$
- $h_{\text{cone}} \approx 1,732 r$ (Rumus 1)

Substitusi Rumus 1 ke dalam rumus volume kerucut:

- $V_{\text{cone}} = (1/3) \times \pi \times r^2 \times (1,732 r)$
- $V_{\text{cone}} = (1,732/3) \times \pi \times r^3$
- $V_{\text{cone}} \approx 0,577 \times \pi \times r^3$ (Rumus 2)
- Volume Silinder (V_{cyl}):
- $V_{\text{cyl}} = \pi \times r^2 \times H$

Dengan asumsi $H = 2D$, dan $D = 2r$, maka:

- $H = 2 \times (2r) = 4r$

- $\therefore H = 4r$ (Rumus 3)
- $V_{\text{cyl}} = \pi \times r^2 \times (4r)$
- $V_{\text{cyl}} = 4\pi \times r^3$ (Rumus 4)
- Volume Total (V_{total}):
- $V_{\text{total}} = V_{\text{cyl}} + V_{\text{cone}}$
- $12.500 = (4\pi \times r^3) + (0,577 \times \pi \times r^3)$
- $12.500 = \pi \times r^3 \times (4 + 0,577)$
- $12.500 = \pi \times r^3 \times 4,577$
- $12.500 \approx 3,1416 \times 4,577 \times r^3$
- $12.500 \approx 14,38 \times r^3$

Rasio Tinggi Silinder terhadap Diameter (H/D) 2 :

Berikut perhitungan perancangan tangki pemurnian biodiesel pada penelitian ini :

rumus:

b. Menghitung Jari-Jari (r) dan Diameter (D)

- $r^3 = 12.500 / 14,38 \approx 869,0 \text{ cm}^3$
- $r = \sqrt[3]{869,0} \approx 9,54 \text{ cm}$
- $D = 2 \times r = 2 \times 9,54 \text{ cm} = 19 \text{ cm}$

c. Menghitung Tinggi Silinder (H) dan Tinggi Kerucut (h_{cone})

- $H = 4R = 4 \times 9,54 \text{ cm} = 30,8 \text{ cm}$
- $h_{\text{cone}} = 1,732 \times r = 1,732 \times 9,54 \text{ cm} \approx 17,83 \text{ cm}$

d. Menghitung Tinggi Total Reaktor (H_{total})

- $H_{\text{total}} = H + h_{\text{cone}} = 30,8 \text{ cm} + 17,83 \text{ cm} = 48,63 \text{ cm}$

e. Verifikasi Volume

- $V_{\text{cyl}} = \pi \times r^2 \times H = 3,1416 \times (9,54)^2 \times 30,8 = 3,1416 \times 91,01 \times 30,8 = 10.047 \text{ cm}^3 = 10.047 \text{ ml} \approx 10,047 \text{ L}$
- $V_{\text{cone}} = (1/3) \times \pi \times r^2 \times h_{\text{cone}} = (1/3) \times 3,1416 \times (9,54)^2 \times 16,53 \approx (1/3) \times 3,1416 \times 91,01 \times 16,53 = 2.536 \text{ cm}^3 \approx 2.536 \text{ ml} \approx 2,536 \text{ L}$
- $V_{\text{total}} = 10.047 + 2.536 = 12.583 \text{ cm}^3 \approx 12,6 \text{ L}$
- $V_{\text{cyl terisi}} = V_{\text{terisi}} - V_{\text{cone}} = 10 \text{ L} - 2,536 \text{ L} = 7,464 \text{ L}$

Volume kerja reaktor

- $V_{\text{Kerja reaksi}} = V_{\text{total}} \text{ safety factor} = 12,6 \text{ L} - (12,6 \text{ } 20\%) = 10,08 \text{ L}$

reaktor memiliki volume total 12,6 liter. Volume ini dipilih karena ideal untuk volume *prototype* sebuah alat. Namun, volume kerja yang digunakan hanya 10,08 liter. Volume kerja ini disesuaikan dengan *safety factor*.

| Komponen | Spesifikasi |
|------------------------|--|
| Diameter (D) | 22 cm |
| Tinggi Silinder | 30 cm |
| Tinggi Kerucut | 18 cm (sudut $\pm 60^\circ$) |
| Total Tinggi tangki | 48 cm |
| <i>Baffle</i> | 4 buah \times 2 cm (lebar) \times 20 cm (tinggi) |
| <i>Impeller</i> | <i>Turbine 3 blade</i> , panjang 7 cm dan lebar 3 cm |
| Posisi <i>Impeller</i> | 21 cm dari atas tangki |
| Material | <i>Stainless steel 208</i> |

LAMPIRAN 1.4 Perhitungan Kualitas Hasil Biodiesel

1. Densitas

a. Percobaan 1:

Berat Piknometer : 15,7943 gr

Berat Piknometer + Biodiesel : 24,4689 gr

Ukuran piknometer : 10 mL

$$\text{Densitas} = \frac{(\text{piknometer} + \text{biodiesel}) - \text{pikno kosong}}{\text{berat piknometer}} \times 100$$

$$\text{Densitas} = \frac{24,4689 - 15,7943}{10} \times 100 = 0,8674 \text{ gr/ml}$$

b. Percobaan 2:

Berat Piktometer : 15,9802 gr

Berat Piktometer + Biodiesel : 24,7245 gr

Ukuran piktometer : 10 mL

$$\text{Densitas} = \frac{(\text{piktometer} + \text{biodiesel}) - \text{pikno kosong}}{\text{berat piktometer}} \times 100$$

$$\text{Densitas} = \frac{24,7245 - 15,9802}{10} \times 100 = 0,87443 \text{ gr/ml}$$

c. Percobaan 3:

Berat Piktometer : 16,0728 gr

Berat Piktometer + Biodiesel : 24,6751 gr

Ukuran piktometer : 10 mL

$$\text{Densitas} = \frac{(\text{piktometer} + \text{biodiesel}) - \text{pikno kosong}}{\text{berat piktometer}} \times 100$$

$$\text{Densitas} = \frac{24,6751 - 16,0728}{10} \times 100 = 0,86023 \text{ gr/ml}$$

2. Yield Biodiesel

a. Percobaan 1:

Berat bahan baku : 7500 gr

Berat Biodiesel : 7075,2 gr

$$\text{yield} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat bahan baku}} \times 100$$

$$\text{yield} = \frac{7075,2}{7500} \times 100 = 94,33\%$$

b. Percobaan 2:

Berat bahan baku : 7500 gr

Berat Biodiesel : 7057,6 gr

$$\text{yield} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat bahan baku}} \times 100$$

$$\text{yield} = \frac{7057,6}{7500} \times 100 = 94,10\%$$

c. Percobaan 3:

Berat bahan baku : 7500 gr

Berat Biodiesel : 6925,6 gr

$$\text{yield} = \frac{\text{berat produk}}{\text{berat bahan baku}} \times 100$$

$$\text{yield} = \frac{6925,6}{7500} \times 100 = 92,34\%$$

3. Kadar Air Biodiesel

$$\text{Kadar Air} = \frac{a - (b - c)}{a} \times 100\%$$

Keterangan :

- a. Berat sampel awal
- b. Berat sampel akhir + gelas piala
- c. Berat gelas piala

a. Percobaan ke-1

Berat gelas piala = 126,3872 gr

Berat sampel awal – gelas piala = 9,4313 gr Berat

sampel akhir + gelas piala = 135,7205 gr

$$\text{Kadar Air} = \frac{9,4313 - (135,7205 - 126,3872)}{9,4313} \times 100\% = 0,0108\%$$

b. Percobaan ke-2

Berat gelas piala = 126,3872 gr

Berat sampel awal – gelas piala = 9,6174 gr Berat

sampel akhir + gelas piala = 135,9197 gr

$$Kadar\ Air = \frac{9,6174 - (136,9197 - 126,3872)}{9,6174} \times 100\% = 0,0088\%$$

c. Percobaan ke-3

Berat gelas piala = 126,3872 gr

Berat sampel awal – gelas piala = 9,2901 gr Berat

sampel akhir + gelas piala = 135,6703 gr

$$Kadar\ Air = \frac{9,2901 - (135,6703 - 126,3872)}{9,2904} \times 100\% = 0,0075\%$$