

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis minyak bumi yang semakin buruk belakangan ini menyebabkan desakan untuk pengembangan energi terbarukan berbasis minyak nabati semakin kuat. Hal ini menyebabkan perkembangan bahan bakar nabati dan bio-karbon lainnya semakin didorong kemajuannya. Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar nabati yang sangat potensial menggantikan posisi bahan bakar minyak jenis fosil yang ketersediannya semakin menipis (Effriandi, et al., 2019). Namun, biodiesel memiliki tantangan tersendiri, terutama terkait dengan stabilitas oksidatif dan performa mesin diesel yang menggunakannya (Karavalakis & Stournas, 2010).

Daun kelor, telah dilaporkan oleh banyak pakar peneliti dunia, memiki aktivitas antioksidan karena kandungan polifenolnya tinggi. Ekstrak daun kelor, baik tua maupun muda menunjukkan aktivitas antioksidan terhadap radikal bebas. Radikal bebas dapat mengaggu dan merusak melalui proses oksidasi. Antioksidan daun kelor mampu membantu mencegah kerusakan akibat oksidasi dan memberikan perlindungan yang cukup terhadap kerusakan akibat oksidasi (Winarno, 2018). Dengan kemampuan antioksidan ini, flavanoid dari ekstrak daun kelor memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam biodiesel guna meningkatkan stabilitasnya terhadap oksidasi, yang merupakan salah satu penyebab utama penurunan kualitas bahan bakar tersebut.

Salah satu cara untuk meningkatkan stabilitas biodiesel adalah dengan menambahkan antioksidan. Antioksidan dapat membantu mencegah oksidasi yang dapat merusak kualitas biodiesel selama penyimpanan dan penggunaan. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan antioksidan seperti butilat hisroksitoluena (BHT) dan butilat hidroksianisol (BHA) dapat meningkatkan stabilitas oksidatif campuran biodiesel (Karavalakis & Stournas, 2010). Penggunaan bahan alami sebagai aditif dalam biodiesel tidak hanya dapat meningkatkan stabilitas, tetapi juga dapat memberikan manfaat tambahan bagi lingkungan (Sebayang et al., 2022). Kedua jenis antioksidan ini bekerja dengan mendonorkan elektron atau hidrogen untuk menetralkan radikal bebas yang dapat menyebabkan degradasi bahan bakar (Dorosh et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada efek penambahan serbuk daun kelor sebagai sumber antioksidan alami dalam biodiesel B40, yang berpotensi menjadi alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Performa mesin diesel yang menggunakan biodiesel sering kali dipengaruhi oleh komposisi bahan bakar yang digunakan. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan bakar alternatif seperti etanol dapat meningkatkan proses pembakaran dan mengurangi emisi (Rajendran et al., 2023). Dengan menambahkan serbuk daun kelor ke dalam campuran biodiesel, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan performa mesin diesel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk daun kelor terhadap performa mesin diesel yang menggunakan biodiesel B40.

Selain itu, emisi gas buang dari mesin diesel juga menjadi perhatian utama dalam penelitian ini. Penggunaan biodiesel telah terbukti mengurangi emisi gas berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NOx) (Rajendran et al., 2023). Namun, penambahan antioksidan juga dapat memengaruhi karakteristik emisi dari mesin diesel. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi dampak penambahan serbuk daun kelor terhadap emisi gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel.

Lebih lanjut, penelitian ini juga akan mengeksplorasi berbagai konsentrasi serbuk daun kelor yang dapat ditambahkan ke dalam biodiesel B40. Penentuan konsentrasi yang optimal sangat penting untuk mencapai keseimbangan antara performa mesin dan stabilitas bahan bakar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan bahan aditif daun kelor sebagai antioksidan ke dalam biodiesel B15 meningkatkan kinerja pembakaran, dibuktikan dengan efisiensi termal rem yang meningkat sebesar 4,4% dan penurunan konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 4,6% jika dibandingkan dengan B15 murni (Zelege dan Atsedemariam 2024). Oleh karena itu, analisis yang mendalam mengenai pengaruh konsentrasi serbuk daun kelor terhadap performa mesin diesel terutama pada kinerja mesin dan kinerja pembakaran mesin diesel sangat diperlukan.

Berdasarkan uraian dan penjelasan di atas, untuk menjawab permasalahan tersebut saya membuat judul **“ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN ANTIOKSIDAN SERBUK DAUN KELOR (*Moringa Oleifera*) DENGAN BIODIESEL JENIS B40 TERHADAP UJI PERFORMA MEISN DIESEL TIPE TV-1”**.

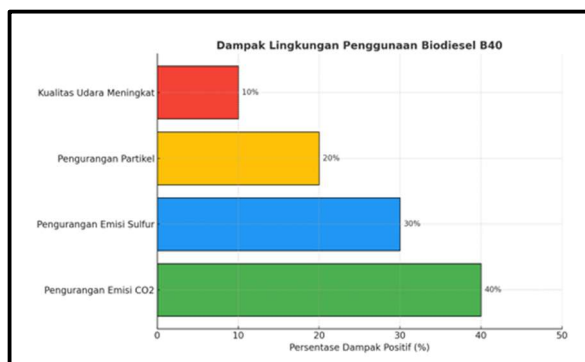
1.2 Tinjauan Pustaka

1.2.1 Biodiesel B40

Biodiesel B40 merupakan bahan bakar diesel yang terdiri dari 40% biodiesel dan 60% bahan bakar diesel konvensional. Biodiesel B40 menghasilkan emisi karbon yang lebih sedikit dibandingkan dengan diesel murni karena memiliki angka cetana yang lebih tinggi.

Dari segi performa mesin, menurut (Mohd Tamam et al., 2023) Biodiesel B40 memiliki nilai cetana yang lebih tinggi dibandingkan diesel konvensional, sehingga menghasilkan proses pembakaran yang lebih optimal saat digunakan pada kendaraan bermesin diesel. Uji coba menunjukkan bahwa efisiensi kendaraan tetap terjaga meskipun digunakan dalam jangka panjang, khususnya pada kendaraan yang sering melaju dengan kecepatan sedang atau membawa muatan berat. Meski begitu, konsumsi bahan bakar mengalami kenaikan sebesar 2-3% karena energi yang terkandung dalam biodiesel lebih rendah dibandingkan dengan diesel murni.

Dari segi emisi gas buang, penggunaan B40 memberikan manfaat positif terhadap pengurangan emisi karbon (Aquino et al., 2022). Dibandingkan dengan diesel murni, emisi karbon dioksida (CO_2) dari B40 tercatat lebih rendah hingga 30–40%. Selain itu, karena kandungan sulfurnya sangat minim, emisi sulfur nyaris tidak ditemukan pada biodiesel (Ramachandran et al., 2023). Penurunan signifikan dalam emisi partikulat dan hidrokarbon juga berkontribusi pada peningkatan kualitas udara dan pencapaian target keberlanjutan lingkungan.



Gambar 1. Grafik Dampak Lingkungan

Dampak lingkungan dari pemanfaatan biodiesel B40 digambarkan dalam grafik horizontal berikut:

- Penurunan emisi CO_2 sebesar 40% adalah faktor terpenting dalam mengurangi perubahan iklim.
- Penurunan emisi sulfur sebesar 30% membantu meningkatkan kualitas udara dengan mengurangi emisi sulfur yang berbahaya.

- c. Pengurangan partikel sebesar 20% memiliki manfaat tambahan dalam hal pengurangan polusi udara.
- d. Kualitas udara meningkat sebesar 10% sebagai hasil dari pengurangan keseluruhan emisi berbahaya.

Dari segi ekonomi, penggunaan B40 membantu menurunkan ketergantungan terhadap impor diesel, mendorong pertumbuhan ekonomi domestik, dan membuka peluang kerja, khususnya di negara-negara produsen minyak nabati. Walaupun terdapat kendala mengenai kestabilan bahan bakar, yang mana bahan kimia antioksidan harus ditambahkan karena biodiesel lebih rentan terhadap oksidasi ini dapat diatasi dengan penerapan solusi yang tepat.

Dengan insentif pemerintah dan perkembangan penelitian yang terus dilakukan, B40 dapat berkontribusi pada transisi menuju energi terbarukan yang lebih berkelanjutan. Secara keseluruhan, biodiesel B40 menawarkan manfaat lingkungan dan ekonomi yang signifikan, sekaligus mendukung pencapaian target keberlanjutan global (Banurea et al., 2025).

1.2.2 Penambahan Biodiesel dengan Ekstrak Daun Alami

Neuana et al. (2020), menunjukkan bahwa ekstrak daun mangga (*Mangifera indica*) dan daun pitanga (*Engenia uniflora*) dapat berfungsi sebagai antioksidan alami untuk meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel berbasis minyak kedelai. Setelah penyimpanan selama 168 jam, nilai asam lemak bebas (*acid value*) dari biodiesel yang dicampur dengan ekstrak daun tetap berada di bawah batas 0.5 mg KOH/g, menunjukkan efek antioksidan yang efektif dari ekstrak tersebut.

Selain itu, Kivevele et al. (2011) juga melaporkan bahwa penambahan antioksidan seperti pirogalol dapat meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel yang berasal dari minyak *Croton Megalocarpus*. Biodiesel memiliki sifat kimia yang lebih rentan terhadap oksidasi dibandingkan dengan diesel mineral, sehingga penambahan antioksidan alami penting untuk memperpanjang masa penyimpanan biodiesel.

Kemudian, penelitian yang dilakukan oleh Dorosh et al. (2023) juga menunjukkan potensi ekstrak dari limbah pertanian dan kehutanan, seperti ekstrak dari pemangkasan kebun anggur, sebagai sumber senyawa antioksidan alami yang dapat meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 350 ppm ekstrak, yang terutama terdiri dari tanin, dapat lebih efektif dalam meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel berbasis minyak kedelai dibandingkan dengan penggunaan antioksidan sintesis TBHQ.

1.2.3 Performa Bahan Bakar & Emisi

Nugroho (2023), melakukan analisis penggunaan bahan bakar RON 90 dengan bioaktif serai wangi pada motor bakar empat tak. Pengujian dilakukan untuk mengukur performa mesin dan emisi gas buang menggunakan *Dynoject* dan *Emission Tester*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bioaktif serai wangi dapat meningkatkan performa mesin dan menurunkan emisi gas buang.

Selain itu, penggunaan aditif lain seperti toluena juga dapat memengaruhi performa kendaraan. Penelitian Siswanto & Ruslan (2021), menunjukkan bahwa penambahan toluena pada bahan bakar premium dapat meningkatkan daya dan torsi, serta menurunkan emisi gas buang pada kendaraan Vespa Sprint 150 3V.

Selain bahan bakar alternatif dan aditif, penggunaan bahan bakar nabati juga dapat menjadi solusi untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan emisi gas rumah kaca. Penelitian Priyanto et al. (2023), menunjukkan bahwa penggunaan *Pure Plant Oil* (PPO) dari kelapa sawit dapat mengurangi konsumsi bahan bakar solar di PLTD Talang Padang. PPO juga terbukti sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan dengan kandungan sulfur yang rendah dan emisi gas rumah kaca yang rendah.

1.2.4 Kelor (*Moringa oleifera.L*)

Kelor (*Moringa oleifera.L*) sering dijumpai di daerah pedesaan yang tumbuh sebagai tanaman pagar hidup dan pembatas tanah. Kelor termasuk jenis tanaman perdu yang mampu memiliki tinggi batang 7-11 meter. Pohon kelor tidak terlalu besar, batang kayunya mudah patah, cabangnya jarang dan memiliki akar yang kuat. Buah kelor mempunyai bentuk yang memanjang dan bersudut-sudut pada sisinya. Daun kelor memiliki bentuk bulat telur dengan ukuran kecil-kecil bersusun majemuk dalam satu tangkai. Kelor mampu berkembang biak dengan baik pada daerah yang memiliki ketinggian tanah 300-500 meter di atas permukaan laut, bunganya berwarna putih kekuning-kuningan, dan tudung pelepah bunganya berwarna hijau.



Gambar 2. Kelor (Amri,2023)

Klasifikasi tumbuhan kelor sebagai berikut.

<i>Kingdom</i>	: <i>Plantae</i>
<i>Divisio</i>	: <i>Spermatophyta</i>
<i>Kelas</i>	: <i>Dicotyledone</i>
<i>Ordo</i>	: <i>Rhoeadales (Brassicales)</i>
<i>Famili</i>	: <i>Moringaceae</i>
<i>Genus</i>	: <i>Moringa</i>
<i>Spesies</i>	: <i>Moringa oleifera</i>
(Plata <i>et al.</i> , 2009)	

Gambar 3. Klasifikasi tumbuhan kelor (Amri, 2023)

Kelor mengandung 46 antioksidan kuat yang berfungsi sebagai senyawa yang melindungi tubuh dari radikal bebas dengan menetralkannya sebelum mengakibatkan kerusakan pada sel. Senyawa antioksidan yang terkandung dalam kelor adalah Vitamin A, Vitamin C, Vitamin E, Vitamin K, Vitamin B (Choline), Vitamin B1 (Thiamin), Vitamin B2 (Riboflavin), Vitamin B3 (Niacin), Vitamin B6, Alanine, Alpha Carotene, Arginine, Beta-Carotene, Betasitosterol, Caffeoylquinic Acid, Campesterol, Carotenoids, Chlorophyll, Chromium, Delta-5-Avenasterol, Delta-7-Avenasterol, Glutathione, Histidine, Indole Acetic Acid, Indoleacetonitrile, Kaempferol, Leucine, Lutein, Methionine, Myristic-Acid, Palmitic-Acid, Prolamine, Proline, 16 Quercetin, Rutin, Selenium, Threonine, Tryptophan, Xanthins, Xanthophyll, Zeatin, Zeaxanthin, Zinc (Amri, 2023).

1.2.5 Antioksidan Daun Kelor

Penelitian tentang potensi antioksidan dari daun kelor telah dilakukan oleh berbagai pihak dengan hasil yang mendukung aplikasinya diberbagai bidang. Teixeira, dkk., (2014), menunjukkan bahwa daun kelor (*moringa oleifera*) mengandung antioksidan yang tinggi, protein tinggi, sekitar 28,65% dan kaya akan vitamin A dan C.

Selain itu, Tulus, dkk. (2019), antioksidan bekerja sebagai penetral radikal bebas dengan mendonorkan elektron dan mereduksi ion logam. Senyawa fenolik dan flavonoid berfungsi sebagai antioksidan

karena memiliki gugus hidroksil yang dapat mendonorkan hidrogen sehingga dapat menetralkan radikal bebas. *Moringa oleifera* memiliki kandungan flavonoid dan fenolik yang merupakan penunjuk adanya antioksidan. Aktivitas antioksidan ekstrak mekanol daun kelor menggunakan metode DPPH tergolong antioksidan kuat karena memiliki nilai IC₅₀ 61,625 ppm. Berdasarkan berbagai penelitian ini, aktivitas antioksidan daun kelor berpotensi diterapkan sebagai agen penghambat oksidasi dalam biodiesel, meningkatkan stabilitas oksidasi dan memperpanjang umur simpan bahan bakar.

1.2.6 Tantangan dan Prospek Pengembangan Biodiesel Antioksidan Daun Kelor

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan industri biodiesel adalah terkait dengan stabilitas oksidasi biodiesel selama penyimpanan. Biodiesel mudah mengalami oksidasi, terutama saat terpapar udara, cahaya, dan suhu tinggi. Proses oksidasi ini dapat menyebabkan perubahan sifat fisik dan kimia, seperti peningkatan viskositas, penurunan nilai *iodine*, dan pembentukan asam lemak bebas, yang semuanya berdampak pada penurunan kualitas bahan bakar (Setyawardhani et al., 2022).

Selain itu, tantangan lain dalam pengembangan biodiesel adalah tata kelola industri yang belum efektif (Abidin, 2023). Hal ini terlihat dari kesenjangan antara kebijakan dan implementasi di lapangan, baik pada industri hulu maupun hilir. Pada industri hulu, tantangan yang dihadapi antara lain terkait ketersediaan bahan baku, efisiensi proses produksi, dan biaya produksi yang masih tinggi (Abidin, 2023). Sementara itu, pada industri hilir, tantangan utama adalah terkait dengan pemasaran dan distribusi biodiesel, serta integrasi dengan industri lain, seperti transportasi dan pembangkit listrik (Abidin, 2023). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan stabilitas oksidasi biodiesel, salah satunya dengan penambahan antioksidan.

1.2.7 Prospek Pengembangan Biodiesel dan Pemanfaatan Antioksidan Daun Kelor

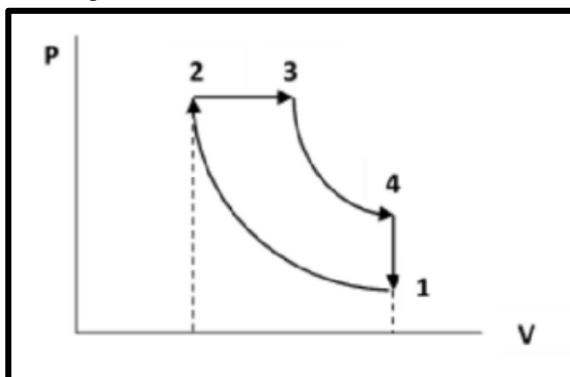
Daun kelor (*Moringa Oleifera*) memiliki berbagai fitokimia, termasuk flavanoid dan polifenol, yang memberikan aktivitas antioksidan kuat (George et al., 2014). Sehingga diasumsikan dapat menjadi alternatif dari masalah stabilitas oksidatif pada biodiesel.

Selain itu, prospek pengembangan biodiesel juga didukung oleh potensi bahan baku yang cukup besar, seperti minyak kelapa sawit, minyak jarak, dan minyak goreng bekas (Abidin, 2023). Dengan pemanfaatan bahan baku yang beragam, diharapkan dapat meningkatkan ketersediaan dan stabilitas pasokan biodiesel.

1.2.8 Siklus Diesel (untuk analisa kinerja mesin)

Siklus diesel adalah siklus termodinamika yang digunakan dalam mesin diesel, yang beroperasi berdasarkan prinsip kompresi dan pembakaran bahan bakar pada tekanan tetap. Dalam siklus ini, terdapat empat tahap utama: kompresi, pembakaran, ekspansi, dan pembuangan. Proses ini dimulai dengan kompresi udara dalam silinder, di mana suhu dan tekanan udara meningkat. Setelah mencapai titik tertentu, bahan bakar disuntikkan dan terbakar menghasilkan tekanan yang mendorong piston ke bawah, yang dikenal sebagai fase ekspansi. Akhirnya, gas buang dikeluarkan dari silinder saat piston bergerak kembali ke posisi awal (Matarru, 2022).

Analisis performa mesin diesel menunjukkan bahwa variasi dalam pembebanan dapat memengaruhi efisiensi dan daya keluaran mesin. Penelitian yang dilakukan oleh Matarru (2022), menunjukkan bahwa variasi pembebanan yang berbeda, mesin diesel Mitsubishi S16-PTA menunjukkan karakteristik performa yang berbeda, di mana efisiensi mesin meningkat seiring dengan peningkatan beban. Selain itu, penelitian oleh Paradilla et al. (2019), menekankan pentingnya jenis bahan bakar yang digunakan, seperti *High Speed Diesel* (HSD) dan *Marine Fuel Oil* (MFO), yang dapat memengaruhi parameter kinerja mesin diesel secara signifikan.



Gambar 4. Siklus Diesel

Gambar yang menggambarkan siklus kerja mesin diesel dapat dilihat pada diagram P-V (tekanan-volume) yang menunjukkan proses kompresi dan ekspansi. Dalam diagram ini, fase pembakaran terjadi pada tekanan tetap, yang merupakan karakteristik utama dari siklus diesel (Matarru, 2022). Gambar tersebut memberikan gambaran visual yang jelas tentang bagaimana siklus diesel beroperasi dan bagaimana setiap tahap berkontribusi terhadap kinerja keseluruhan mesin. Dari gambar di atas dapat diketahui:

- 1 – 2 : Langkah kompresi *isentropic*
- 2 – 3 : Penginjeksian bahan bakar pada tekanan konstan (*isobaric*)
- 3 – 4 : Proses ekspansi *isentropic*
- 4 – 1 : Proses panas dibuang pada volume konstan

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan studi literatur diatas, ada beberapa permasalahan yang dapat ditemukan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan serbuk daun kelor terhadap sifat fisik dan kimia biodiesel B40?
2. Bagaimana variasi konsentrasi (ppm) serbuk daun kelor pada biodiesel B40 dapat memengaruhi kinerja mesin diesel?
3. Bagaimana variasi konsentrasi (ppm) serbuk daun kelor pada biodiesel B40 dapat memengaruhi kinerja pembakaran mesin diesel?

1.4 Tujuan Percobaan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada diatas, dapat disimpulkan tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh penambahan antioksidan serbuk daun kelor terhadap sifat fisik dan kimia biodiesel B40.
2. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi (ppm) antioksidan serbuk daun kelor pada biodiesel B40 terhadap kinerja mesin diesel.
3. Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi (ppm) antioksidan serbuk daun kelor pada biodiesel B40 terhadap kinerja pembakaran mesin diesel.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan-batasan masalah yang ada didalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang digunakan adalah Biodiesel B40 murni dan dengan campuran.
2. Mesin yang digunakan adalah mesin diesel TV-1
3. Rasio kompresi yang digunakan 14 dan 18.
4. Beban yang digunakan sebesar 5, 7, dan 9 kg.
5. Pengujian sifat fisik dan kimia biodiesel yang dihasilkan, termasuk viskositas, densitas, dan stabilitas oksidatif.
6. Pengujian performa mesin diesel yang meliputi kinerja mesin diesel dan kinerja pembakaran mesin diesel.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi tentang potensi serbuk daun kelor sebagai bahan tambahan dalam biodiesel untuk meningkatkan kinerja mesin diesel.
2. Menyediakan data yang berguna bagi pengembangan biodiesel yang lebih ramah lingkungan dan efisien.
3. Mendorong penelitian lebih lanjut tentang penggunaan bahan alami sebagai aditif dalam bahan bakar alternatif.

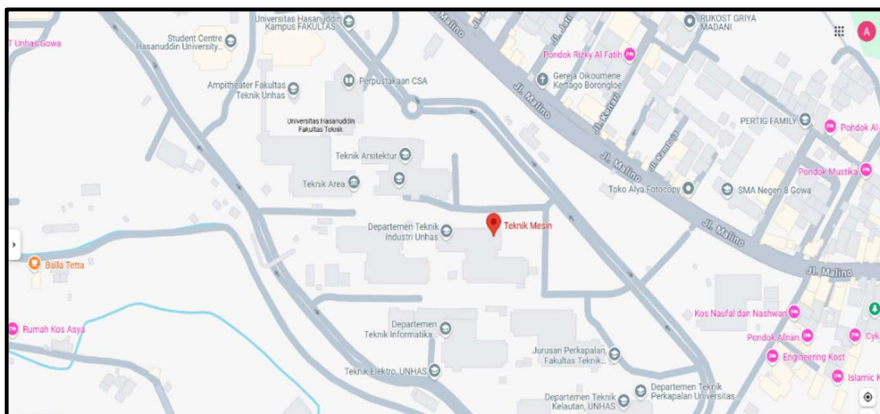
BAB II METODOLOGI PERANCANGAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium *Internal Combustion*, *Ground* Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin di Jl. Poros Malino Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Waktu Penelitian direncanakan selama 12 bulan, dimulai dari bulan Januari 2025 sampai Juni 2026. Adapun susunan jadwal penelitian dilihat pada **Tabel 1**

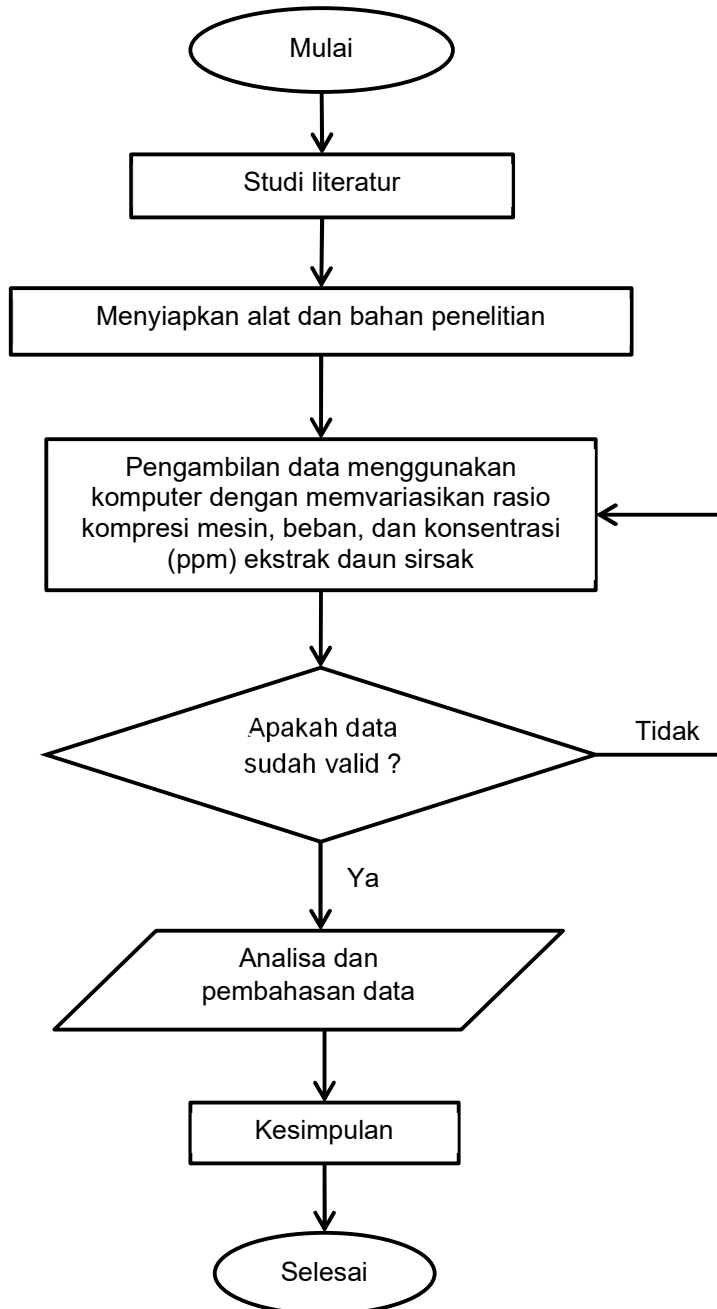
Urutan Kegiatan	Jan 2025	Feb 2025	Mar 2025	Apr 2025	Mei 2025	Feb 2026	Jun 2026
Studi Literatur							
Penyusunan Proposal							
Penelitian							
Seminar Proposal							
Penyusunan Skripsi							
Seminar Hasil							
Ujian Tutup							

Tabel 1. Jadwal Penelitian



Gambar 5. Lokasi Penelitian

2.2 Flow Chart Penelitian



2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Proses Pembuatan Serbuk Daun Kelor

Proses pembuatan sampel serbuk daun kelor dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

1. Daun kelor dipetik langsung dari pohon dengan memilih daun yang sudah matang (bewarna hijau tua).
2. Daun yang telah dipetik kemudian dicuci bersih di bawah air mengalir untuk menghilangkan debu dan kotoran.
3. Setelah dicuci, daun diangin-anginkan di atas kertas untuk mengeringkan sisa air yang terkandung
4. Setelah benar-benar kering dan bersih, daun kelor ditimbang menggunakan timbangan digital untuk mengetahui berat awalnya
5. Selanjutnya, daun disusun rapi dan diberi jarak secara merata di atas rak oven untuk memastikan pengeringan berjalan optimal
6. Rak yang berisi daun kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 60°C dan pintu oven ditutup rapat. Proses pengeringan berlangsung selama 16 jam.
7. Setelah proses pengeringan, keluarkan daun dari oven dan timbang kembali semua daun untuk mengetahui massa setelah proses pengeringan dilakukan.
8. Setelah diketahui nilai sebelum dan setelah dikeringkan. Langkah selanjutnya adalah menghaluskan daun kelor dengan memasukkan daun ke dalam alat *powder grinder* dan tutup rapat. Kemudian, lakukan penggilingan selama 10-15 menit sampai daun kelor menjadi serbuk.
9. Setelah menjadi serbuk, simpan serbuk daun kelor pada wadah yang kering dan tertutup rapat.
10. Setelah itu, serbuk disaring menggunakan ayakan mesh 200 untuk memperoleh partikel yang lebih halus dan lebih mudah larut dalam biodiesel B40. Kemudian, simpan kembali serbuk daun sirih yang telah diayak ke dalam wadah yang kering dan tertutup rapat.
11. Serbuk hasil ayakan disimpan kembali dalam wadah kering dan tertutup.
12. Setelah diayak, serbuk daun kelor ditimbang lagi untuk mengetahui berat akhirnya.
13. Terakhir, serbuk yang telah ditimbang disimpan di wadah kering dengan penutup rapat untuk menjaga kualitasnya.

2.3.2 Proses Perhitungan Kadar PPM

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Azhar (2020),
Diketahui:

Berat jenis B40 = $829 \text{ kg/m}^3 = 0,829 \text{ g/ml}$

Massa B40 = berat jenis x volume = $0,829 \text{ g/ml} \times 1000 \text{ ml} = 829 \text{ gram}$.

Rumus mencari konsentrasi zat, yaitu:

Konsentrasi zat (ppm) = berat zat terlarut : berat larutan x 10^6

variasi konsentrasi 50 ppm antioksidan dapat dicari dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{berat antioksidan} &= 50 \times \text{berat larutan} : 10^6 \\ &= 50 \times 829 \text{ gr} : 10^6 = 0,041 \text{ gr} = 41 \text{ mg} \end{aligned}$$

variasi 100 ppm antioksidan dapat dicari dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{berat antioksidan} &= 100 \times \text{berat larutan} : 10^6 \\ &= 100 \times 829 \text{ gr} : 10^6 = 0,082 \text{ gr} = 82 \text{ mg} \end{aligned}$$

variasi 150 ppm antioksidan dapat dicari dengan rumus:

$$\begin{aligned} \text{berat antioksidan} &= 150 \times \text{berat larutan} : 10^6 \\ &= 150 \times 829 \text{ gr} : 10^6 = 0,124 \text{ gr} = 124 \text{ mg} \end{aligned}$$

2.3.3 Proses Pencampuran Antioksidan dengan B40

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Azhar (2020),
pencampuran bahan bakar dengan antioksidan serbuk daun kelor dapat
dilakukan sebagai berikut:

- Untuk membuat konsentrasi 50 ppm maka siapkan serbuk daun kelor pada wadah kaca arloji sebanyak 41 mg.
- Siapkan 1 liter bahan bakar B40 pada wadah erlenmeyer dan tempatkan di atas *hot plate stirrer*.
- Bahan bakar B40 diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dan dipanaskan dengan suhu 40°C .
- Sementara diaduk dan menunggu suhu mencapai 40°C , masukkan sedikit demi sedikit serbuk antioksidan ke dalam wadah erlenmeyer yang berisi bahan bakar B40.
- Setelah semua serbuk tercampur ke dalam bahan bakar B40, selanjutnya tunggu sekitar 30 menit, agar warna bahan bakar berubah menyerupai serbuk antioksidan.
- Lakukan langkah poin a sampai e untuk konsentrasi zat antioksidan 100 ppm.
- Setelah suhu campuran tersebut mencapai suhu kamar, selanjutnya dipindahkan ke dalam botol plastik dan simpan campuran tersebut selama 24 jam pada suhu kamar ($25\text{-}30^\circ\text{C}$). Proses penyimpanan ini

bertujuan agar semua zat antioksidan pada serbuk dapat larut dalam biodiesel B40.

- h. Disaring menggunakan kain kasa agar residu yang tidak terlarut dapat dipisahkan.

2.3.4 Persiapan Sebelum Menggunakan Alat

1. Mengecek kondisi mesin atau alat pengujian dalam keadaan normal.
2. Memastikan kondisi saluran bahan bakar pada mesin atau alat pengujian dalam kondisi normal.
3. Mempersiapkan bahan uji coba berupa biodiesel B40 murni dan yang telah direkayasa.

2.3.5 Pengambilan Data Menggunakan Komputer

Pada proses pengambilan data menggunakan alat VCR *engine set up* yaitu alat uji mesin diesel model TV-1, adapun proses pengambilan data pada VCR *engine set up* sebagai berikut:

1. Menyalakan suplai listrik dan pastikan bahwa PPU (*Piezo Powerin Unit*), DLU (*Un it* Pemuatan *Dynamometer*), Indikator beban, dan *voltmeter* dihidupkan.
2. Menyalakan komputer dan buka aplikasi “*EngineSoft*” (klik dua kali ikon “*EngineSoft*” di jendela desktop) pilih “Model Mesin” buka “*Configure*” di *View*. Periksa konfigurasi nilai & konstanta sistem dengan nilai yang ditampilkan pada panel pengaturan *engine*. “Terapkan” perubahan, jika ada. Klik pada tab “*PO-PV Graphs*”.
3. Menghidupkan pompa air. Sesuaikan laju aliran “*Rotameter (Engine)*” ke 120-150 LPH dan “*Rotameter (Calorimeter)*” hingga 75-100 LPH dengan mengatur masing-masing *globe valve* disediakan di rotameter inlet. Pastikan air mengalir melalui dinamometer pada tekanan 0,5 hingga 1 kg.
4. Mempertahankan kenop DLU pada posisi minimum.
5. Mengubah posisi katup bahan bakar dari “*Measuring*” ke “*Tank*”.
6. Menyalakan mesin dan biarkan berjalan pada kondisi ideal selama 4-5 menit.
7. Mengklik “*Scan start*” pada monitor.
8. Memastikan kecepatan, temperatur dan pembacaan manometer benar ditampilkan di PC. Bacaan ini harus sesuai dengan yang ditampilkan di panel mesin.
9. Menambahkan beban pada mesin dengan memutar kenop pada DLU dan pastikan bacaan pada indikator dan komputer sama.
10. Menyesuaikan kenop DLU dan untuk mengatur beban yang diinginkan. Tunggu 3 menit, memastikan bahwa beban konstan selama periode ini. Ubah posisi katup bahan bakar dari “*Tank*” ke “*Measuring*”. Klik “*Log*”

on ” dan pembacaan aliran bahan bakar AKTIF untuk 60 detik berikutnya. Selama 30 detik pertama masukkan jumlah air pendingin yang masuk ke *engine* dan kalorimeter dalam LPH (dan rasio kompresi untuk mesin VCR). Klik “ Oke ” setelah merekam pembacaan bahan bakar. Masukkan nama file di mana catatan disimpan. Data bacaan pertama sekarang disimpan. Ubah posisi katub bahan bakar dari “ *Measuring* ” ke “ *Tank* ”.

11. Mengulangi langkah di atas untuk berbagai beban. Mulai dari beban 5 kg, 7 kg, dan 12 kg (Untuk mesin VCR lakukan tidak melebihi beban 12 kg). Setelah itu, menutup katup regulator gas jika pengambilan data sudah selesai.
12. Setelah menyelesaikan semua pembacaan, hilangkan beban pada mesin DLU, klik “ Pindai Berhenti ” pada PC.
13. Mematikan *engine* dengan menekan tuas “ *Stop Engine* “. Biarkan air pendingin bersirkulasi sekitar 5 menit untuk pendinginan mesin kemudian hentikan pompa.
14. Untuk mencetak hasilnya klik “ Cetak ” dan pilih opsi yang sesuai.
15. Mengklik “ Tutup *File* ” setelah mencetak dan memeriksa. Klik “ Keluar ” lalu matikan komputer.

2.4 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan sebelum dilakukan penelitian, yaitu terdiri dari:

1. Variasi kadar ppm antioksidan serbuk daun kelor : 50 ppm, 100 ppm, dan 150 ppm
2. Variasi rasio kompresi pada mesin TV-1 : 14 dan 18.
3. Variasi pembebanan pada mesin TV-1 : 5, 7, dan 9 kg.

2.5 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya sangat bergantung pada variabel bebas dan merupakan dari hasil penelitian, yaitu:

1. Viskositas biodiesel
2. Densitas biodiesel
3. GC-MS biodiesel
4. FTIR biodiesel
5. RPM < 1600

2.6 Pengujian Biodiesel

2.6.1 Analisis Biodiesel dengan FTIR

Analisis FTIR atau *Fourier Transform Infra Red* dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dengan cara menentukan dan merekam hasil *spectra* residu dengan serapan energi oleh molekul organik dalam inframerah.

Biodiesel yang telah dicampur dengan zat aditif berupa antioksidan serbuk daun kelor akan dianalisis FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang terbentuk di dalamnya.

2.6.2 Analisis Biodiesel dengan GC-MS

Analisis GC-MS bertujuan untuk mengetahui senyawa yang mudah menguap pada kondisi vakum tinggi dan tekanan rendah jika dipanaskan, serta untuk menentukan bobot molekul, rumus molekul dan menghasilkan molekul bermuatan. Analisis GC-MS dilakukan dengan melihat grafik yang ada pada alat spektrometer massa kemudian data dimasukkan ke dalam rumus % komposisi relatif untuk mengetahui penggunaan komposisi pada biodiesel B40 yang telah dicampur dengan zat aditif.

2.6.3 Analisis Densitas

Pengujian densitas dilakukan berdasarkan SNI 04-7182-2015. Pengujian dilakukan dengan menggunakan piknometer yang telah bersih dan kering. Piknometer kosong ditimbang dan dicatat hasilnya. Piknometer diisi dengan biodiesel dan ditimbang. Densitas biodiesel dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Densitas} = \frac{\text{Massa}_{\text{pikno+sampel}} - \text{Massa}_{\text{pikno}}}{\text{Volume Piknometer}} \quad (2.1)$$

2.6.4 Analisis Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan dengan menggunakan alat Viskometer Oswald. Biodiesel yang telah dihasilkan dan dimasukkan ke dalam tabung viskometer sampai tiada batas. Kemudian, amati viskometer dari titik atas hingga titik bawah dan dicatat. Rumus untuk menghitung viskositas adalah:

$$\text{Viskositas minyak} = \eta_{\text{air}} \times \frac{\rho_{\text{sampel}} - t_{\text{sampel}}}{\rho_{\text{air}} - t_{\text{air}}} \quad (2.2)$$

$$V_k = \frac{\eta_{\text{sampel}}}{\rho_{\text{sampel}}}$$

Dimana:

η_{sampel} = viskositas dinamik sampel (g/cm.s)

t = waktu alir (sekon)

ρ = densitas (g/mL)

V_k = viskositas kinematik (cSt)

2.7 Perhitungan Kinerja Motor Bakar

Adapun parameter-parameter yang akan dijadikan sebagai perhitungan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

2.7.1 Daya Kuda Efektif (*Brake Power / BP*)

Brake Power (BP) adalah ukuran daya yang dihasilkan oleh mesin, terutama mesin pembakaran dalam. Istilah ini mengacu pada daya yang diukur dengan mesin dijalankan pada kecepatan tertentu tanpa beban (tanpa ada tugas atau beban yang harus diatasi oleh mesin). Pengukuran BP ini memberikan gambaran tentang kemampuan mesin untuk menghasilkan daya maksimum dalam kondisi ideal).

$$BP = \frac{T \times N}{9549,305} \text{ (kW)}$$

Keterangan:

N = Putaran Poros, (RPM)

T = Torsi (N.m)

9549,305 = konstanta dinamometer

2.7.2 Daya Indikasi (IP)

Daya pada motor merupakan salah satu tolak ukur yang sangat menentukan performa motor. Perbandingan perhitungan daya terhadap berbagai macam motor tergantung pada putaran mesin dan momen putar, semakin cepat putaran mesin maka rpm yang dihasilkan juga akan semakin besar sehingga daya yang akan dihasilkan juga semakin besar, begitu juga dengan momen putarnya, untuk menghitung nilai daya indikasi maka dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$IP = \frac{P_m \cdot s \cdot A \cdot 10^{-9} \cdot 10^2 \frac{N}{n}}{t} \text{ (kW)}$$

Keterangan:

IP = Daya Indikasi, (kW)

P_m = Tekanan efektif rata-rata, (bar)

N = Putaran Poros, (rpm)

S = Panjang langkah silinder (110 mm²)

A = Luas penampang silinder (mm²)

T = Waktu pemakaian bahan bakar, (kg)

2.7.3 Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar adalah nilai yang menunjukkan nilai pemakaian bahan bakar yang dihitung dengan cara mengukur waktu yang diperlukan oleh mesin untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar yang ada pada gelas ukur, yang mana dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$FC = \frac{VGU \cdot 10^{-6} \cdot pf \cdot 3600}{t} \text{ (kg/m)}$$

Keterangan:

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/h)

VGU = Volume gelas ukur, (VGU = 50 cc)

pf = Massa jenis bahan bakar, (kg/m³)

10⁻³ = Faktor konversi cc ke m³

3600 = Faktor konversi detik ke jam

t = Waktu konsumsi bahan bakar (s)

2.7.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah nilai yang menyatakan banyaknya bahan yang diperlukan mesin dalam setiap satuan waktu untuk menghabiskan 1kW konsumsi bahan bakar *specific*. Parameter ini dapat digunakan sebagai penjelasan untuk mengukur ekonomisnya suatu mesin. Dikatakan ekonomis jika nilai SFC semakin turun akan tetapi konsumsi bahan bakar *specific* yang diubah dari energi kalor suplai nilainya naik. Untuk menghitung nilai konsumsi bahan bakar dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SFC = \frac{FC}{BP} \text{ (kg/kWh)}$$

Keterangan:

SFC = Spesifik Konsumsi Bahan Bakar (kg/kW.h)

BP = Daya Efektif, (kW)

FC = Konsumsi Bahan Bakar (kg/h)

2.7.5 Laju Aliran Udara Aktual (Ma)

Untuk mengukur jumlah pemakaian udara sebenarnya, digunakan sebuah plat orifice sisi tajam dengan diameter 20 mm yang dihubungkan dengan sebuah manometer presisi. Perbedaan tekanan akibat aliran udara yang melintasi plat orifice diukur oleh manometer, menggunakan konsumsi udara yang sanggup dihisap oleh mesin selama langkah pemasukan. Maka dari itu persamaan Ma adalah:

$$Ma_{act} = K_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Do^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \sqrt{ho \cdot \rho_{ud}} \text{ (kg/h)}$$

Keterangan:

Ma = Laju aliran udara actual (Kg/h)

K = Koefisien discharge orifice = 0,6

Do = Diameter orifice = 20 mm

10⁻⁶ = Faktor konversi dari mm² ke m²

Ho = Beda tekanan pada manometer

ρ_{ud} = Massa jenis udara pada kondisi masuk, (kg/m³)

3600 = Faktor konversi detik ke jam

2.7.6 Laju Aliran Udara Teoritis (M_{th})

Banyaknya bahan bakar yang dapat terbakar sangat bergantung pada jumlah udara yang terhisap selama langkah pemasukan, karena itu perlu diperhatikan berapa jumlah udara yang dikonsumsi selama pemasukan. Dalam keadaan teoritis, jumlah massa udara yang dapat masuk ke dalam ruangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_{th} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \cdot \frac{N}{n} \cdot 60 \cdot 10^{-9} \cdot \rho_{ud} \left(\frac{kg}{h} \right)$$

2.7.7 Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR)

Perbandingan udara bahan bakar sangat penting bagi pembakaran sempurna. Konsumsi udara bahan bakar yang dihasilkan akan sangat memengaruhi laju dari pembakaran dan energi yang dihasilkan. Secara umum *air fuel consumption* dapat dihitung dengan persamaan:

$$AFR_{act} = \frac{Ma_{act}}{FC}$$

Keterangan:

Ma = Konsumsi udara aktual (kg/h)

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/h)

2.7.8 Kalor Total (Q_{tot})

Kalor total adalah total energi yang dibutuhkan atau dilepaskan oleh suatu sistem selama proses tertentu. Ini mencakup perubahan energi internal, kerja yang dilakukan, dan energi yang dipindahkan sebagai panas.

$$Q_{total} = \frac{FC \times HV_{bb}}{3600} (kW)$$

Keterangan:

FC : Konsumsi bahan bakar (kg/h)

LHV_{bb} : nilai kalor bahan bakar untuk diesel atau bensin

2.7.9 Efisiensi Volumetris (η_{vol})

Efisiensi volumetris adalah perbandingan antara jumlah udara terhisap sebenarnya pada proses penghisapan, dengan jumlah udara teoritis yang mengisi volume langkah pada saat temperatur dan tekanan sama. Dengan demikian η_{vol} dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{th} = \frac{Ma_{act}}{M_{th}} \times 100\%$$

Keterangan:

Ma_{act} = Konsumsi udara aktual (kg/h)

M_{th} = Konsumsi udara teoritis (kg/h)

2.7.10 Efisiensi termis (η_{th})

Efisiensi termis didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya energi kalor yang diubah menjadi konsumsi bahan bakar *specific* dengan jumlah kalor bahan bakar yang disuplai ke dalam silinder. Parameter ini menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk mengkonversi energi kalor dari bahan bakar menjadi energi mekanik. η_{th} dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} \times 100\%$$

Keterangan:

BP = Daya Efektif (kW)

Q_{tot} = Kalor yang disuplai, (kW)

LHV_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

2.7.11 Efisiensi Mekanis (η_{mek})

Efisiensi mekanis η_{mek} mengindikasikan seberapa besar daya yang digunakan untuk menggerakkan mesin itu sendiri. Sebagian kecil daya yang dihasilkan motor digunakan oleh motor itu sendiri untuk menggerakkan bagian-bagian yang bergerak, yaitu melawan gaya gesek di antara bagian-bagian tersebut. Daya yang tersisa merupakan daya *output* yang dapat diukur dengan dinamometer. Efisiensi mekanis yaitu perbandingan daya efektif (daya yang dihasilkan) terhadap daya indikasi (daya yang menggerakkan piston). Adapun persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung efisiensi mekanik adalah sebagai berikut:

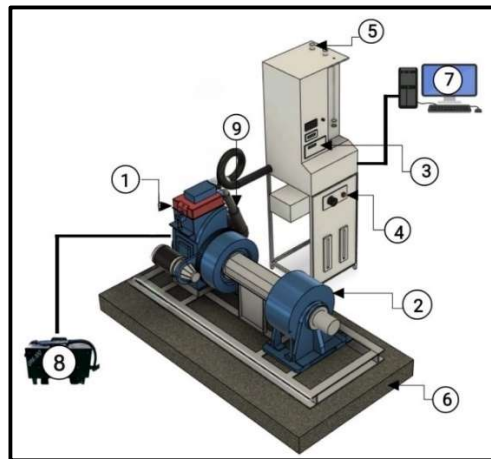
$$\eta_{mek} = \frac{BP}{IP} \times 100\%$$

Keterangan:

BP = Daya Efektif, (kW)

IP = Daya Indikasi, (kW)

2.8 Skema Penelitian



Gambar 6. Skema Penelitian

Keterangan :

1. Mesin TV-1
2. Dinamometer
3. Panel
4. Pengontrol Beban
5. Tangki Bahan Bakar
6. Base
7. Komputer (pembaca parameter kinerja mesin)
8. Opa-100
9. Knapot

2.9 Alat dan Bahan

2.9.1 Alat

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. *Magnetic Stirrer*



Gambar 7. Magnetic Stirrer

2. VCR Engine Test Setup (Mesin Diesel)



Gambar 8. VCR Engine Test Setup

3. Powder Grinder



Gambar 9. Powder Grinder

4. Oven (*Incubator Friocell*)



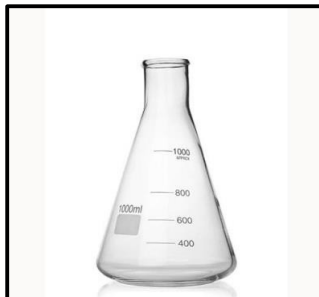
Gambar 10. Oven (*Incubator Friocell*)

5. Timbangan Digital



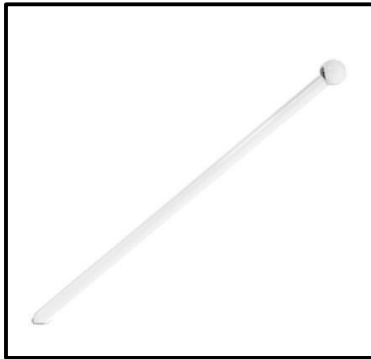
Gambar 11. Timbangan Digital

6. Tabung Erlenmenyer 1000 ml



Gambar 12. Tabung Erlenmenyer 1000 ml

7. Batang Pengaduk



Gambar 13. Batang Pengaduk

8. Gelas Beker Kimia 1000 ml



Gambar 14. Gelas Beker Kimia 1000 ml

9. Ayakan Mesh 200 (74 Mikro)



Gambar 15. Ayakan Mesh 200 (74 Mikro)

10. Timbangan Analitik



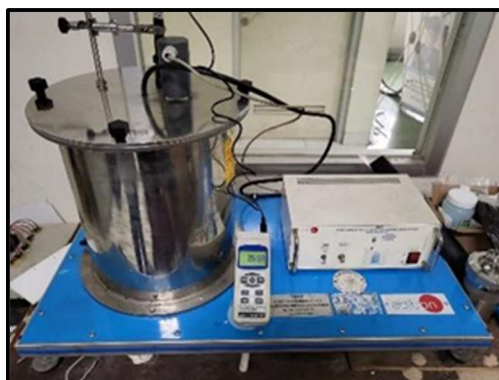
Gambar 16. Timbangan Analitik

11. *Viscometer Oswald*



Gambar 17. *Viscometer Oswald*

12. *Bomb Calorimeter*



Gambar 18. *Bomb Calorimeter*

13. Kain Kasa

**Gambar 19.** Kain Kasa

14. Sendok Mini

**Gambar 20.** Sendok Mini

15. Wadah Sampel

**Gambar 21.** Wadah Sampel

16. Botol Plastik



Gambar 22. Botol Plastik

17. Corong



Gambar 23. Corong

2.9.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Daun Kelor



Gambar 24. Daun Kelor

2. Bahan Bakar Biodiesel B40



Gambar 25. Bahan Bakar Biodiesel B40