

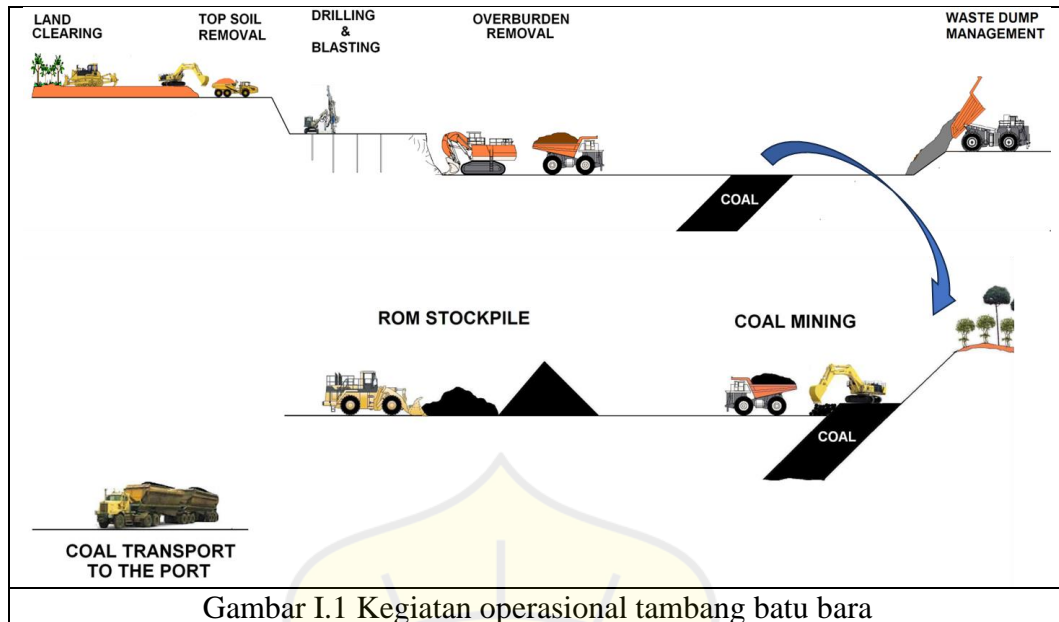
# BAB 1

## Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan, terutama tambang batu bara, telah menjadi tulang punggung perekonomian di berbagai negara, termasuk Indonesia, selama beberapa dekade terakhir. Namun, aktivitas tambang yang sangat bergantung pada mesin alat berat berbahan bakar fosil menghadirkan tantangan besar terkait emisi karbon dan dampak lingkungan. Dalam konteks transisi energi global menuju sumber energi yang lebih ramah lingkungan, penggunaan biodiesel menjadi pilihan sebagai alternatif dengan potensi signifikan untuk mengurangi jejak karbon sekaligus mempertahankan kinerja operasional mesin. Transisi energi terbarukan merupakan agenda utama sebagai upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan dampak perubahan iklim, serta mendorong keberlanjutan ekonomi jangka panjang.

Dalam sektor pertambangan, terutama tambang batu bara yang sangat bergantung pada alat berat dengan penggerak *engine diesel* dalam kegiatan operasionalnya seperti penggalian, pengangkutan, dan pemrosesan, secara detail ditunjukkan pada Gambar I.1. Alat berat yang digunakan umumnya menggunakan *excavator, dump truck, grader, dozer, wheel loader, truck trailer, drilling, water pump, genset*, dll. Penggunaan bahan bakar fosil tidak hanya berkontribusi negatif terhadap emisi gas rumah kaca, tetapi juga meningkatkan ketergantungan pada sumber daya yang tidak terbarukan, yang rentan terhadap volatilitas harga pasar global. Secara teknologi, ketergantungan ini menghambat adopsi inovasi bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan, seperti biodiesel. Secara ekonomi, biaya operasional yang tinggi akibat konsumsi bahan bakar fosil dan potensi penalti karbon di masa depan menambah tekanan bagi industri tambang untuk mencari solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan.



Transisi ke bahan bakar terbarukan seperti biodiesel, jika didukung oleh teknologi dan strategi manajemen yang tepat, dapat menjadi langkah strategis untuk mengurangi jejak karbon tanpa mengorbankan produktivitas operasional, sekaligus memberikan manfaat ekonomi melalui pengurangan risiko ketergantungan pada pasar energi fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji implementasi biodiesel pada mesin alat berat tambang batu bara, dengan pendekatan khusus pada asesmen teknologi *maintenance* guna memastikan keberlanjutan operasional serta mendukung agenda transisi energi terbarukan.

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana memastikan kinerja optimal mesin alat berat pertambangan ketika menggunakan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif, mengingat karakteristik biodiesel yang berbeda dengan bahan bakar fosil. Karakteristik biodiesel, seperti viskositas yang lebih tinggi, sifat pelumasan yang lebih baik, namun dengan potensi peningkatan risiko korosi dan pembentukan deposit, memerlukan pendekatan teknologi dan manajemen yang spesifik untuk menjaga keandalan operasional. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dampak teknis dan ekonomis penggunaan biodiesel pada mesin alat berat di sektor pertambangan, serta mengembangkan strategi *maintenance* yang efektif dalam mendukung transisi energi terbarukan. Lingkup penelitian mencakup analisis performa mesin, identifikasi risiko kerusakan, dan rekomendasi teknologi *maintenance* berbasis kondisi (*condition-based maintenance*). Penelitian ini

mengasumsikan bahwa biodiesel dengan modifikasi tertentu dapat menjadi bahan bakar yang efisien tanpa mengurangi keandalan mesin. Hipotesis penelitian ini adalah bahwa strategi *maintenance* yang terintegrasi dengan karakteristik biodiesel dapat meminimalkan dampak negatif pada mesin alat berat, mendukung keberlanjutan operasional, dan memberikan manfaat ekonomi melalui efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi karbon.

Penggunaan biodiesel dengan dukungan strategi *maintenance* berbasis *reliability maintenance*, tidak hanya berkontribusi pada pengurangan emisi karbon, tetapi juga memberikan dampak finansial positif bagi bisnis industri pertambangan. Adopsi bahan bakar terbarukan (biodiesel) membantu industri memenuhi regulasi lingkungan yang semakin ketat, mengurangi potensi penalti karbon, dan meningkatkan citra perusahaan. Dalam jangka panjang, pendekatan ini membuka peluang bagi transformasi metode pertambangan konvensional menuju metode yang lebih ramah lingkungan. Dengan demikian, transisi ini tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan tetapi juga memastikan daya saing industri dalam menghadapi tantangan global di masa depan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Ketahanan alat berat operasional tambang sangat bergantung pada daya tahan penggerak utama yaitu engine dalam menghadapi kondisi kerja yang ekstrim, termasuk beban berat, durasi operasional yang panjang, dan kualitas bahan bakar yang digunakan. Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif semakin berkembang di sektor pertambangan sebagai upaya transisi energi terbarukan. Namun, pelaku bisnis tambang sering kali mengkhawatirkan dampak negatif biodiesel terhadap mesin (*engine*), seperti potensi peningkatan korosi, pembentukan deposit, serta penurunan efisiensi bahan bakar. Kekhawatiran ini menimbulkan tantangan untuk memastikan bahwa penggunaan biodiesel tidak mengurangi keandalan operasional alat berat. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab kekhawatiran tersebut melalui evaluasi dampak biodiesel terhadap performa dan durabilitas *engine*, sekaligus mengembangkan strategi *predictive maintenance* yang dapat mengoptimalkan frekuensi pemeliharaan dan menjaga efisiensi operasional.

Selain hal tersebut diatas, penggunaan bahan bakar fosil yang terus berlanjut tanpa adanya transisi ke biodiesel berpotensi memberikan dampak lingkungan yang signifikan. Emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan partikel berbahaya lainnya akan terus meningkat, memperburuk efek perubahan iklim dan pencemaran udara. Dampak ini tidak hanya memengaruhi kualitas lingkungan global tetapi juga menimbulkan risiko kesehatan bagi pekerja tambang dan masyarakat sekitar area operasional. Dengan implementasi biodiesel, yang memiliki jejak karbon lebih rendah dan sifat *biodegradable*, sektor pertambangan dapat secara signifikan mengurangi dampak negatif ini, sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang. Permasalahan utama dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Pengaruh penggunaan dan *handling* distribusi campuran biodiesel (B5, B15, B35) terhadap durabilitas dan performa engine pada alat berat, khususnya unit HD785-7.
2. Risiko teknis kualitas bahan bakar biodiesel pada *engine* alat berat, dan bagaimana strategi jalur distribusi biodiesel yang paling efektif untuk mengatasi risiko tersebut.
3. Peningkatan strategi *maintenance* untuk memastikan *lifetime engine* tetap optimal dengan menggunakan biodiesel, melalui langkah-langkah *improvement* yang dirancang untuk mendukung durabilitas yang lebih tinggi.
4. Dampak penggunaan biodiesel dalam menurunkan persentase emisi dibandingkan dengan bahan bakar fosil pada operasional alat berat.

Penelitian ini berfokus pada evaluasi performa dan ketahanan engine alat berat dengan berbagai proporsi campuran biodiesel melalui pendekatan eksperimental, asesmen dan analisis kebutuhan treatment maintenance yang relevan untuk menjaga keandalan operasional, serta kajian dampak penggunaan biodiesel terhadap pengurangan emisi karbon di sektor pertambangan.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif di sektor pertambangan menghadirkan tantangan sekaligus peluang untuk mendukung keberlanjutan operasional dan transisi energi terbarukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan

untuk memberikan solusi komprehensif yang menjawab permasalahan teknis dan operasional yang timbul akibat penggunaan biodiesel pada alat berat tambang. Adapun tujuan spesifik penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi dampak penggunaan campuran biodiesel (B5, B15, B35) terhadap durabilitas dan performa *engine* alat berat, khususnya pada unit HD785-7.
2. *Development handling* dan distribusi biodiesel, serta *treatment* aktifitas perawatan pada media *storage* biodiesel.
3. Menganalisis sejauh mana penggunaan biodiesel dapat menurunkan persentase emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dibandingkan bahan bakar fosil.
4. Merancang langkah-langkah *improvement* strategi *predictive maintenance* untuk memastikan *life time engine* tetap optimal dan mendukung durabilitas yang lebih tinggi dalam jangka panjang.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan sektor pertambangan, baik dari aspek teknis maupun lingkungan, melalui integrasi biodiesel dengan asesmen dan pendekatan *maintenance* yang inovatif. Dengan diketahui dan tercapainya dampak positif dari tujuan di atas, hasil penelitian ini juga diharapkan mampu mendorong penggunaan biodiesel yang lebih kompetitif dalam hal biaya operasional sekaligus memberikan keuntungan lingkungan melalui pengurangan emisi karbon. Hal ini akan memberikan sokongan berkelanjutan bagi adopsi biodiesel di industri pertambangan dan sektor lainnya yang menggunakan bahan bakar diesel, sehingga menciptakan keseimbangan antara kebutuhan operasional dan komitmen terhadap transisi energi rendah emisi.

#### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Pada penelitian ini, penggunaan biodiesel diaplikasikan dengan skema pada Tabel I.1, dimulai dengan B5 pada tahun 2010 hingga 2015, diikuti oleh B15 dari tahun 2016 hingga 2018, dan B35 dari 2019 sampai dengan 2024. Ke depan, kandungan biodiesel dalam campuran bahan bakar akan terus ditingkatkan untuk mendukung kebijakan energi nasional dan memperkuat ketahanan energi. Dengan diberlakukannya kebijakan tersebut, eksperimen pengujian biodiesel dilakukan pada tiga unit HD785-7 untuk mengevaluasi dan analisis dampak penggunaan

biodiesel terhadap durabilitas *engine*. Unit A dipantau dari 0 hingga 27.000 jam, Unit B dipantau hingga 36.000 jam, sementara Unit C akan dipantau hingga 40.000 jam, dimana setelah periode ini dilakukan *disassembly engine* untuk mengetahui efek penggunaan biodiesel terhadap keausan *part engine*.

Tabel I.1 Interval penggunaan biodiesel

Fuel	B5	B15	B35	Target Lifetime Eksperimen (Engine Disassemble)
Tahun	2010-2014	2016-2018	2019-2024	
Unit HD785-7	A	V	V	27000 Jam
	B	V	V	36000 Jam
	C	V	V	40000 Jam

Experimental *setup* pada penelitian ini meliputi pengujian di *test bench engine* sebagai acuan untuk mengetahui *performance* dan standar *base line*. Sedangkan pengujian di *field performance engine application to unit* untuk pengujian operasional lapangan. Monitoring *performance and data collection instruments* mencakup *Vehicle Health Monitoring System (VHMS) interface log data*, yang berfungsi untuk memantau dan mengumpulkan data performa mesin secara *real time* dan tren *historical*, sehingga memberikan dasar data yang kuat untuk analisis model durabilitas *engine*, serta rekomendasi *maintenance*. Selanjutnya, model prediktif dikembangkan untuk memperkirakan durabilitas *engine* berdasarkan pola penggunaan dan campuran biodiesel. Pelaksanaan penelitian ini terbatas pada lingkup sebagai berikut:

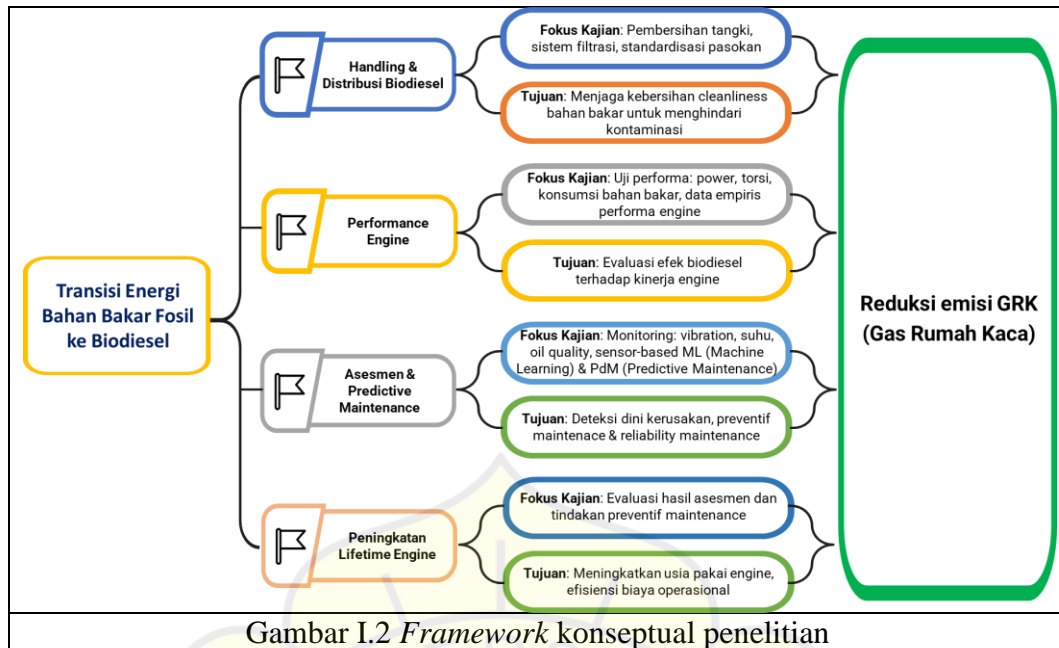
1. Pengujian *Engine* di *Test Bench*
2. Pengujian *Field Performance Engine application to Unit*
3. *Development handling* dan distribusi biodiesel, serta *treatment* aktifitas perawatan pada media *storage* biodiesel
4. *Monitoring Performance dan Data Collection Instruments*
5. Perhitungan *reduce emission*
6. Asesmen dan pengembangan strategi model *predictive maintenance*

## 1.5 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian ini disusun secara bertahap untuk mengevaluasi implementasi biodiesel dalam sistem mesin diesel, dengan tujuan utama meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional. Tahapan pertama dimulai dari transisi energi dari bahan bakar fosil ke biodiesel, yang menekankan pada substitusi solar dengan biodiesel B5, B15, B35. Fokus pada tahap ini adalah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) sebagai bagian dari strategi dekarbonisasi sektor energi. Tahapan kedua adalah *handling* dan distribusi biodiesel, di mana kebersihan (*cleanliness*) bahan bakar menjadi perhatian utama. Proses ini mencakup pembersihan tangki, penerapan sistem filtrasi, serta standardisasi pasokan biodiesel untuk mencegah kontaminasi yang dapat merusak performa mesin.

Pada tahap ketiga, dilakukan evaluasi performa *engine* melalui pengujian parameter seperti daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar, dan lain-lain. Data empiris yang diperoleh memberikan dasar untuk menilai bagaimana pengaruh biodiesel terhadap kinerja mesin secara langsung. Tahap keempat adalah asesmen dan *predictive maintenance*, yang menggunakan pendekatan berbasis sensor, seperti pemantauan getaran, suhu, kualitas oli, serta penerapan *machine learning* (ML) dalam sistem *predictive maintenance* (PdM). Tujuannya adalah untuk mendeteksi dini potensi kerusakan sehingga tindakan perawatan dapat dilakukan secara preventif dan lebih andal (*reliability maintenance*).

Tahap akhir dari kerangka ini adalah peningkatan *lifetime engine*, yaitu hasil dari evaluasi yang komprehensif terhadap proses asesmen dan tindakan preventif yang telah dilakukan. Dengan pendekatan ini, diharapkan usia pakai mesin dapat diperpanjang dan biaya operasional dapat ditekan secara signifikan, sehingga mendukung keberlanjutan dalam penggunaan biodiesel di sektor industri dan transportasi. Kerangka konseptual penelitian ini mengintegrasikan aspek teknis, operasional, dan prediktif guna memastikan keberlanjutan kinerja mesin dan efisiensi operasional secara keseluruhan. Alur kerangka dibangun secara sistematis dari hulu ke hilir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar I.2.

Gambar I.2 *Framework* konseptual penelitian

## 1.6 Hipotesis

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif pada alat berat pertambangan, khususnya dengan campuran B5, B15, dan B35, diproyeksikan dapat memberikan gambaran data teknis tahapan bahwa biodiesel dapat digunakan tanpa menurunkan kinerja *engine* secara drastis, sehingga mampu mengurangi emisi karbon sekaligus mempertahankan performa dan durabilitas *engine* pada tingkat optimal. Penelitian ini menerapkan implementasi strategi *maintenance* yang terintegrasi dengan *handling* dan distribusi biodiesel untuk menjaga kualitas *cleanliness* dan karakteristik biodiesel. Melalui pendekatan eksperimental berbasis data *real time* dan pengembangan model *predictive maintenance*, penelitian ini juga melakukan eksperimen berdasarkan durasi waktu dengan variasi 27.000 jam, 36.000 jam, dan 40.000 jam operasi. Sehingga dapat diketahui tingkat keausan *inner part engine*. Data tersebut digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan *lifetime engine*, melalui pengembangan analisis *predictive maintenance*. Dengan demikian, biodiesel tidak hanya menjadi solusi rendah emisi, tetapi juga mendorong keberlanjutan dan daya saing bisnis sektor pertambangan dalam transisi energi terbarukan.