

## BAB 1

# Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

#### 1.1.1 Perkembangan Industri Pertambangan di Indonesia

Industri pertambangan telah menjadi salah satu pilar utama dalam pembangunan ekonomi Indonesia sejak era 1970-an. Sektor pertambangan berkontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional dengan menyumbang sekitar 12,3% dari total Produk Domestik Bruto (PDB) [1]. Perkembangan sektor ini ditandai dengan peningkatan aktivitas eksplorasi dan eksploitasi yang berkelanjutan, terutama di sektor batubara, mineral, dan logam mulia. Berdasarkan laporan [2], nilai ekspor pertambangan mencapai US\$ 78,5 miliar pada tahun 2023, meningkat 15% dibandingkan tahun sebelumnya, yang mengindikasikan pertumbuhan yang signifikan dalam sektor ini.

Dalam konteks operasional, industri pertambangan modern sangat bergantung pada penggunaan alat berat sebagai komponen vital dalam proses produksi. Menurut studi komprehensif yang dilakukan oleh [3], efisiensi operasional pertambangan meningkat hingga 300% dengan penggunaan alat berat dibandingkan dengan metode konvensional. Data dari Indonesia Mining Association (2023) menunjukkan bahwa lebih dari 70% operasional pertambangan di Indonesia bergantung pada penggunaan alat berat seperti excavator, bulldozer, wheel loader, dan dump truck. Penelitian yang dilakukan oleh [4] mengungkapkan bahwa rata-rata setiap lokasi tambang batubara skala menengah mengoperasikan minimal 50 unit alat berat dengan waktu operasi 18-20 jam per hari.

Intensitas penggunaan alat berat dalam operasional pertambangan berkorelasi langsung dengan tingkat konsumsi bahan bakar. Berdasarkan analisis yang dilakukan [5], sektor pertambangan mengkonsumsi sekitar 23% dari total konsumsi solar nasional, atau setara dengan 15 juta kiloliter per tahun. Penelitian [6] menunjukkan bahwa sebuah excavator dengan kapasitas 20 ton mengkonsumsi rata-rata 20-25 liter solar per jam operasi, sementara dump truck kapasitas 40 ton mengkonsumsi 35-40 liter per jam. Tingginya konsumsi bahan bakar ini tidak hanya menimbulkan beban ekonomi tetapi juga berdampak signifikan terhadap lingkungan, sebagaimana diungkapkan dalam studi dampak lingkungan yang dilakukan oleh [7].

#### 1.1.2 Urgensi Penggunaan Biodiesel

Implementasi biodiesel di Indonesia telah menjadi agenda nasional yang strategis, ditandai dengan diterbitkannya kebijakan mandatori biodiesel melalui Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015 yang kemudian diperbarui dengan Peraturan Menteri ESDM No. 25 Tahun 2022. Kebijakan ini merupakan respons terhadap berbagai tantangan energi nasional, termasuk ketergantungan pada impor

bahan bakar fosil dan komitmen pengurangan emisi gas rumah kaca. Menurut kajian yang dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) (2023), implementasi program mandatori biodiesel telah berhasil mengurangi impor solar sebesar 3,5 juta kiloliter pada tahun 2022, menghemat devisa negara hingga Rp 35 triliun.

Dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil dalam operasional pertambangan telah menjadi perhatian serius komunitas global. Studi komprehensif yang dilakukan oleh tim peneliti dari Institut Teknologi Bandung [8] mengungkapkan bahwa sektor pertambangan menyumbang sekitar 18% dari total emisi CO<sub>2</sub> nasional, dengan 45% di antaranya berasal dari penggunaan alat berat. Penelitian longitudinal yang dilakukan oleh [9] mendemonstrasikan bahwa penggunaan biodiesel dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> hingga 40% dibandingkan dengan solar konvensional, sementara emisi partikulat berkurang hingga 65%.

Potensi biodiesel sebagai alternatif bahan bakar di Indonesia didukung oleh ketersediaan bahan baku yang melimpah, terutama dari sektor kelapa sawit. Menurut data Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) (2023), produksi crude palm oil (CPO) nasional mencapai 51,3 juta ton pada tahun 2022, dengan potensi produksi biodiesel hingga 15 juta kiloliter per tahun. Studi kelayakan yang dilakukan oleh Tim Riset Energi Terbarukan UI [10] menunjukkan bahwa Indonesia memiliki kapasitas untuk memenuhi kebutuhan biodiesel nasional hingga B50 (50% biodiesel) pada tahun 2025.

### **1.1.3 Tantangan Implementasi Biodiesel pada Alat Berat**

Implementasi biodiesel pada alat berat menghadapi berbagai tantangan teknis yang perlu diatasi. Karakteristik fisika-kimia biodiesel yang berbeda dari solar konvensional memerlukan kajian mendalam untuk memastikan kompatibilitas dan optimasi penggunaannya. Penelitian laboratorium yang dilakukan oleh [11] di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas mengungkapkan bahwa biodiesel memiliki densitas 4,8% lebih tinggi dan viskositas 11,3% lebih tinggi dibandingkan solar, serta nilai kalor yang lebih rendah sekitar 8-12%. Perbedaan karakteristik ini berpotensi mempengaruhi kinerja mesin alat berat, sebagaimana dibuktikan dalam studi lapangan oleh [12] pada operasi pertambangan di Kalimantan Timur.

Adaptasi mesin alat berat terhadap penggunaan biodiesel memerlukan serangkaian penyesuaian teknis yang komprehensif. Studi eksperimental yang dilakukan oleh tim peneliti dari Politeknik Negeri Bandung [13] mengidentifikasi bahwa penggunaan biodiesel dapat mempengaruhi sistem injeksi bahan bakar, terutama pada komponen pompa injeksi dan nozzle injector. Penelitian jangka panjang yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Mesin UI [14] menunjukkan adanya potensi degradasi pada seal dan komponen elastomer setelah penggunaan biodiesel selama 2.000 jam operasi, yang memerlukan modifikasi material dan peningkatan frekuensi maintenance.

Aspek ekonomis dan operasional penggunaan biodiesel pada alat berat juga menjadi pertimbangan penting. Analisis biaya yang dilakukan oleh Tim Konsultan

Energi Independen [15] mengungkapkan bahwa meskipun harga biodiesel lebih kompetitif, biaya maintenance mengalami peningkatan sekitar 15-20% akibat kebutuhan penggantian filter yang lebih sering dan penyesuaian interval service. Namun, studi cost-benefit analysis yang dilakukan oleh Pusat Studi Energi UGM [16] mendemonstrasikan bahwa dalam jangka panjang, penggunaan biodiesel tetap menguntungkan secara ekonomis ketika memperhitungkan pengurangan biaya lingkungan dan insentif pemerintah.

## **1.2 Perumusan Masalah**

### **1.2.1 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa permasalahan utama yang perlu dikaji dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana pengaruh penggunaan biodiesel terhadap performa mesin alat berat, khususnya terkait dengan:
  - 1) Daya dan torsi mesin
  - 2) Efisiensi termal
  - 3) Karakteristik pembakaran
  - 4) Emisi gas buang
- b. Apa dampak penggunaan biodiesel terhadap durabilitas komponen mesin, meliputi:
  - 1) Sistem injeksi bahan bakar
  - 2) Komponen elastomer dan seal
  - 3) Sistem pelumasan
  - 4) Filter bahan bakar
- c. Bagaimana efisiensi konsumsi bahan bakar biodiesel dibandingkan dengan solar konvensional, ditinjau dari:
  - 1) Konsumsi bahan bakar spesifik
  - 2) Nilai kalor bahan bakar
  - 3) Efisiensi volumetrik
  - 4) Biaya operasional
- d. Apa tantangan teknis yang dihadapi dalam implementasi biodiesel pada alat berat, termasuk:
  - 1) Masalah cold start
  - 2) Stabilitas penyimpanan
  - 3) Kompatibilitas material
  - 4) Interval perawatan

### **1.2.2 Batasan Masalah**

Untuk memfokuskan penelitian, beberapa batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

- a. Fokus pada mesin alat berat:
  - 1) Excavator
  - 2) Bulldozer
  - 3) Dump Truck

- b. Jenis biodiesel yang digunakan:
  - 1) B30 (30% biodiesel + 70% solar)
  - 2) B35 (35% biodiesel + 65% solar)
  - 3) Biodiesel berbasis crude palm oil (CPO)
- c. Lokasi dan kondisi operasional:
  - 1) Tambang batubara di Kalimantan Timur
  - 2) Ketinggian 100-500 mdpl
  - 3) Suhu operasi 25-35°C
  - 4) Kelembaban relatif 70-85%

### **1.3 Tujuan Penelitian**

#### **1.3.1 Tujuan Umum**

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan teknis penggunaan biodiesel pada mesin alat berat di industri pertambangan, dengan mempertimbangkan aspek performa, durabilitas, efisiensi, dan sustainabilitas operasional.

#### **1.3.2 Tujuan Khusus**

- a. Menganalisis performa mesin alat berat dengan penggunaan biodiesel melalui:
  - 1) Pengukuran daya dan torsi pada berbagai kondisi operasi
  - 2) Analisis karakteristik pembakaran
  - 3) Evaluasi emisi gas buang
  - 4) Pengujian efisiensi termal
- b. Mengevaluasi dampak biodiesel terhadap komponen mesin dengan:
  - 1) Pemeriksaan wear analysis pada komponen kritis
  - 2) Pengujian degradasi material
  - 3) Analisis oil sampling
  - 4) Monitoring sistem injeksi
- c. Mengkaji efisiensi konsumsi bahan bakar biodiesel melalui:
  - 1) Pengukuran konsumsi bahan bakar spesifik
  - 2) Analisis nilai kalor efektif
  - 3) Perhitungan efisiensi volumetrik
  - 4) Evaluasi biaya operasional
- d. Mengidentifikasi solusi teknis untuk optimalisasi penggunaan biodiesel dengan:
  - 1) Pengembangan prosedur maintenance khusus
  - 2) Modifikasi sistem bahan bakar
  - 3) Optimasi parameter operasi
  - 4) Rekomendasi penanganan dan penyimpanan

### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

#### **1.4.1 Lingkup Substansial**

Parameter performa mesin yang dianalisis meliputi:

- a. Daya mesin (kW)

- b. Torsi (Nm)
- c. Brake Mean Effective Pressure (BMEP)
- d. Specific Fuel Consumption (SFC)
- e. Efisiensi termal
- f. Emisi gas buang (CO, HC, NO<sub>x</sub>, PM)

Komponen mesin yang diteliti:

- a. Sistem injeksi bahan bakar
- b. Ruang bakar
- c. Sistem pelumasan
- d. Filter dan saluran bahan bakar
- e. Komponen elastomer dan seal

Metode pengujian yang digunakan:

- a. Dynamometer testing
- b. Oil analysis
- c. Wear particle analysis
- d. Exhaust gas analysis
- e. Thermal imaging
- f. Vibrasi analysis

#### **1.4.2 Lingkup Spasial**

Lokasi penelitian:

- a. Tambang batubara PT. Ansa Inti Resources di Kalimantan Timur
- b. Workshop alat berat
- c. Laboratorium pengujian terakreditasi

Kondisi operasional:

- a. Operasi penambangan 24 jam
- b. Beban kerja bervariasi
- c. Kondisi lingkungan tropis

Periode waktu penelitian:

- a. Durasi: 12 bulan
- b. Fase pengujian: 6 bulan
- c. Fase analisis: 4 bulan
- d. Fase evaluasi: 2 bulan

#### **1.4.3 Asumsi Penelitian**

Asumsi teknis:

- a. Kualitas biodiesel sesuai standar SNI
- b. Kondisi mesin dalam keadaan optimal
- c. Peralatan pengujian terkalibrasi
- d. Metode pengujian tervalidasi

Asumsi operasional:

- a. Operator memiliki kompetensi standar
- b. Maintenance sesuai jadwal
- c. Loading factor sesuai spesifikasi

- d. Kondisi operasi normal

## 1.5 Kerangka Penelitian

### 1.5.1 Pendekatan Penelitian

Metode eksperimental:

- a. Pengujian laboratorium
- b. Field testing
- c. Comparative analysis
- d. Statistical analysis

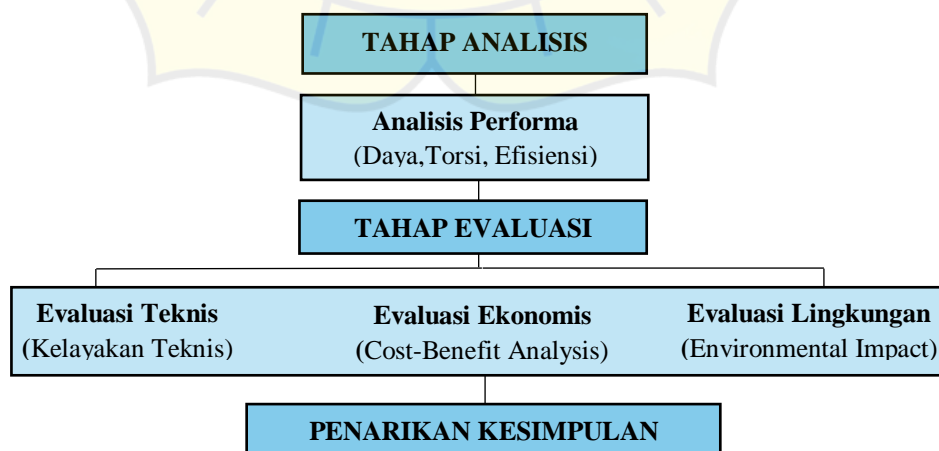
Pengumpulan data:

- a. Data operasional
- b. Data pengujian
- c. Data maintenance
- d. Data konsumsi bahan bakar

### 1.5.2 Hipotesis Penelitian

- a. Hipotesis pengaruh biodiesel terhadap performa mesin:  
H0: Tidak ada perbedaan signifikan pada performa mesin antara penggunaan biodiesel dan solar konvensional  
H1: Terdapat perbedaan signifikan pada performa mesin antara penggunaan biodiesel dan solar konvensional
- b. Hipotesis dampak pada durabilitas komponen:  
H0: Penggunaan biodiesel tidak mempengaruhi tingkat keausan komponen mesin  
H1: Penggunaan biodiesel mempengaruhi tingkat keausan komponen mesin
- c. Hipotesis efisiensi konsumsi bahan bakar:  
H0: Tidak ada perbedaan signifikan dalam efisiensi konsumsi antara biodiesel dan solar konvensional  
H1: Terdapat perbedaan signifikan dalam efisiensi konsumsi antara biodiesel dan solar konvensional

### 1.5.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar I. 1 Diagram alir penelitian

Diagram alir ini menunjukkan urutan tahapan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi penggunaan biodiesel, khususnya dalam konteks teknis, ekonomis, dan lingkungan. Alur penelitian ini terbagi dalam beberapa fase utama:

#### Tahap Analisis

Tahap ini berfokus pada analisis performa teknis dari sistem atau mesin yang menggunakan biodiesel. Parameter yang dianalisis meliputi:

- Daya: Kemampuan mesin dalam menghasilkan tenaga.
- Torsi: Besarnya gaya puntir yang dihasilkan mesin.
- Efisiensi: Perbandingan antara energi yang digunakan dengan energi yang dihasilkan secara efektif.

Tujuan dari tahap ini adalah memahami sejauh mana biodiesel memengaruhi performa alat berat atau sistem yang diuji, dan apakah terdapat penurunan atau peningkatan performa dibandingkan bahan bakar konvensional.

#### Tahap Evaluasi

Tahap ini merupakan lanjutan dari analisis performa, dan dibagi menjadi tiga jenis evaluasi:

- Evaluasi Teknis (Kelayakan Teknis)  
Menganalisis apakah penggunaan biodiesel secara teknis layak untuk diterapkan dalam operasi nyata. Ini melibatkan aspek kompatibilitas, umur pakai komponen, dan stabilitas performa.
- Evaluasi Ekonomis (Cost-Benefit Analysis)  
Mengkaji aspek biaya dan manfaat dari penggunaan biodiesel, termasuk biaya implementasi, biaya pemeliharaan dan perbaikan, serta potensi keuntungan atau kerugian ekonomi jangka panjang.
- Evaluasi Lingkungan (Environmental Impact)  
Menilai dampak lingkungan dari penggunaan biodiesel, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca, pencemaran udara, atau pengelolaan limbah.

#### Penarikan Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis performa dan evaluasi menyeluruh, maka dilakukan penarikan kesimpulan. Kesimpulan ini mencakup kelayakan penggunaan biodiesel dari tiga dimensi (teknis, ekonomis, dan lingkungan).

#### 1.5.4 Kebaruan Penelitian

Kontribusi pada pengembangan teknologi alat berat:

- a. Optimasi sistem injeksi untuk biodiesel
- b. Pengembangan prosedur maintenance khusus
- c. Modifikasi komponen untuk kompatibilitas biodiesel

Inovasi dalam implementasi biodiesel:

- a. Metode pengujian terintegrasi
- b. Sistem monitoring real-time
- c. Prosedur penanganan dan penyimpanan

### 1.5.5 Manfaat Penelitian

- a. Manfaat Akademis:
  - 1) Pengembangan metode analisis performa biodiesel
  - 2) Kontribusi pada database karakteristik biodiesel
  - 3) Referensi untuk penelitian lanjutan
- b. Manfaat Praktis:
  - 1) Panduan implementasi biodiesel di industri
  - 2) Optimasi prosedur maintenance
  - 3) Efisiensi operasional
- c. Manfaat bagi Industri Pertambangan:
  - 1) Peningkatan sustainabilitas operasi
  - 2) Pengurangan biaya operasional
  - 3) Pemenuhan regulasi lingkungan
  - 4) Peningkatan corporate image

