

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil, khususnya pada negara-negara berkembang. Kebutuhan energi di negara-negara berkembang mencakup hampir 85% dari populasi dunia. Dalam 10 tahun terakhir, permintaan energi pada negara berkembang meningkat sekitar 2,6% pada setiap tahun. Penyebab utama adalah selama dekade terakhir jumlah penduduk bertambah dengan lebih dari 720 juta orang, hal itu tentu membutuhkan lebih banyak energi untuk kebutuhan sehari-hari. Ukuran ekonomi pada pasar negara berkembang juga mengalami peningkatan sebesar 50%. Pertumbuhan ekonomi yang pesat disertai dengan peningkatan penggunaan energi, baik untuk kegiatan industri, transportasi, maupun kebutuhan rumah tangga (Cozzi and Gould, 2024). Penggunaan dari bahan bakar fosil secara masif telah menimbulkan berbagai dampak lingkungan yang serius. Emisi gas rumah kaca berkontribusi besar yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim, dengan gas yang dihasilkan adalah CO₂ (Rahmadania, 2022). Gas polutan lain adalah SO_x dan NO_x. Gas-gas tersebut berkontribusi besar terhadap perubahan iklim dunia (Asghar *et al.*, 2021).

Saat ini Indonesia juga menghadapi tantangan yang signifikan dalam sektor minyak dan gas, dengan penurunan lifting minyak mentah yang terus berlanjut. Pada tahun 2023, lifting hanya mencapai 605.500 barel per hari, jauh dari target yang diharapkan. Hal ini dipicu oleh meningkatnya konsumsi bahan bakar dan minyak, yang memaksa Indonesia untuk mengandalkan impor. Cadangan minyak mentah Indonesia, mencapai 2,44 miliar barel pada tahun 2020, dan diperkirakan hanya dapat bertahan selama 9,5 tahun ke depan tanpa penemuan cadangan baru (Saragih, 2024). Dalam menghadapi situasi tersebut, pemerintah Indonesia telah mengeluarkan berbagai kebijakan energi nasional yang mendorong diversifikasi energi. Menurut Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) menetapkan target pengurangan penggunaan minyak bumi hingga 20% pada tahun 2025 dan peningkatan penggunaan energi terbarukan hingga 23% pada periode yang sama. Fokus kebijakan ini adalah untuk

pengembangan bahan bakar alternatif dari sumber daya terbarukan. Indonesia juga telah berkomitmen untuk mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 41% pada tahun 2030 dengan dukungan internasional. Komitmen ini dinyatakan dalam *Nationally Determined Contributions* yang disampaikan dalam forum internasional seperti UNFCCC (Mulyani and Octalica, 2023).

Tidak hanya ketergantungan pada bahan bakar fosil yang menjadi isu, emisi gas buang dari penggunaan bahan bakar ini juga merupakan masalah global yang mendesak. Salah satu sumber utama emisi tersebut adalah penggunaan mesin diesel. Mesin diesel mengandalkan bahan bakar fosil dan menghasilkan emisi gas buang yang signifikan, termasuk polutan berbahaya seperti nitrogen oksida (NO_x) dan partikel jelaga. Sedangkan dalam beberapa dekade terakhir, mesin diesel lebih disukai dibandingkan mesin bensin dalam sektor transportasi massal, mesin berat, dan pembangkit tenaga listrik karena kinerjanya yang unggul dan ketahanannya. Namun, mesin diesel menghasilkan emisi nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon yang tidak terbakar (UHC), karbon monoksida (CO), jelaga, dan partikel yang lebih tinggi dibandingkan mesin bensin, sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi emisi ini. Salah satu solusinya adalah menggunakan sumber energi terbarukan untuk mengurangi polusi dan emisi gas rumah kaca (Prahmana *et al.*, 2024).

Di tengah tantangan lingkungan dan ketergantungan pada bahan bakar fosil serta emisi, minyak kelapa sawit *Crude Palm Oil* menjadi salah satu alternatif dari energi terbarukan yang menjanjikan dan emisi yang dihasilkan dari mesin diesel. CPO dapat diolah menjadi biodiesel, yang berperan sebagai bahan bakar terbarukan dan ramah lingkungan, sehingga membantu mengurangi ketergantungan pada minyak diesel konvensional. Dalam konteks ini biodiesel yang berasal dari CPO tidak hanya menawarkan solusi bagi pengurangan emisi gas rumah kaca, tetapi juga dapat mendukung pencapaian dari target pengurangan emisi karbon yang telah dicanangkan oleh banyak negara. Proses produksi CPO pun lebih berkelanjutan karena pohon kelapa sawit mampu diperbaharui dalam siklus yang relatif singkat. Dibandingkan dengan bahan fosil yang membutuhkan jutaan tahun untuk terbentuk (Nagaraja, Sooryaprakash and Sudhakaran, 2015).

Di sisi lain, terdapat unsur pada biodiesel seperti asam lemak bebas, senyawa oksigen dapat menyebabkan korosi pada material mesin dan dapat

mempercepat kerusakan bahan bakar selama penyimpanan. Sifat higroskopis pada biodiesel dapat menurunkan kualitas bahan bakar seiring waktu (Ashraful *et al.*, 2014). Berbagai parameter biodiesel, seperti densitas, viskositas, nilai kalor, nilai panas, auto-oksidasi, kandungan oksigen, dan lainnya, diketahui dapat mempengaruhi performa biodiesel. Banyak peneliti mencoba mengurangi pengaruh parameter tersebut dengan menambahkan berbagai komponen pencampur. Contohnya, penambahan metanol dapat meningkatkan viskositas biodiesel, etanol membantu mengurangi konsumsi bahan bakar, dan aditif lainnya dapat mengurangi oksidasi pada biodiesel. Penggunaan biodiesel pada mesin diesel mampu menurunkan emisi karbon monoksida, hidrokarbon, dan partikulat, tetapi di sisi lain dapat meningkatkan emisi nitrogen oksida. Minyak kelapa sawit mentah (CPO) memiliki beberapa karakteristik fisik dan kimia yang berbeda dibandingkan dengan bahan bakar diesel, di antaranya adalah densitas yang lebih tinggi, viskositas yang jauh lebih besar, serta nilai kalor yang lebih rendah, yang mempengaruhi kinerja dan efisiensi saat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dalam mesin diesel (de Almeida, Belchior and Nascimento, 2002).

Namun, minyak kelapa sawit mentah memiliki viskositas yang lebih tinggi, sehingga bahan bakar ini menghasilkan ukuran droplet atau semprotan yang lebih besar, dan menjadi kurang optimal dan efisiensi suatu mesin menurun (Khiraiya *et al.*, 2021). Selain menghasilkan ukuran droplet yang lebih besar, viskositas yang lebih tinggi menyebabkan penyumbatan pada saluran bahan bakar, filter, dan injektor. Pemanasan bahan bakar CPO salah satu metode yang dapat digunakan untuk menurunkan viskositas hingga menjadi viskositas solar mempermudah proses injeksi. Tetapi, pemanasan CPO yang terlalu tinggi dapat berdampak buruk pada komponen injeksi yang memiliki celah sangat sempit, seperti plunger dan barrel, karena mesin diesel umumnya dirancang untuk bekerja dengan bahan bakar pada suhu lingkungan. Oleh karena itu, minyak nabati seperti CPO harus dipanaskan hingga suhu yang cukup tinggi untuk mencapai viskositas serupa dengan solar, namun tidak terlalu tinggi agar tidak merusak sistem injeksi (Bari, Lim and Yu, 2002).

Penelitian yang diteliti oleh Silvio dkk (de Almeida, Belchior and Nascimento, 2002), mengkaji penggunaan minyak sawit yang dipanaskan (100%)

sebagai bahan bakar pada generator diesel injeksi langsung alami. Hasilnya menunjukkan bahwa timbunan pada kepala silinder lebih banyak saat mesin beroperasi dengan minyak sawit yang dipanaskan pada 50°C, sementara pada 100°C kinerja generator diesel hampir sama dengan diesel karena viskositasnya lebih rendah, pembakaran lebih baik, dan timbunan lebih sedikit. Selain itu, peningkatan EGT (*Exhaust Gas Temperature*) dan SFC (*Specific Fuel Consumption*) diamati seiring dengan peningkatan persentase muatan. Pada beban tinggi, terjadi peningkatan emisi CO akibat kurangnya oksigen pada rasio ekuivalensi yang lebih tinggi, meskipun emisi NOx lebih rendah dibandingkan diesel.

Salah satu metode umum untuk mengurangi viskositas minyak nabati adalah dengan menambahkan n-butanol. Penambahan aditif ini meningkatkan atomisasi bahan bakar selama pembakaran, menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan mengurangi timbunan karbon pada komponen mesin seperti cincin piston, dinding silinder, dan injektor. Konsentrasi n-butanol dalam campuran diesel memainkan peran penting dalam emisi yang dihasilkan, yaitu pada konsentrasi rendah (5-10%) menghasilkan emisi CO yang lebih rendah dan emisi NOx yang lebih tinggi dibandingkan diesel. Sebaliknya, pada konsentrasi n-butanol yang lebih tinggi (20%) terjadi peningkatan emisi CO dan HC, namun menghasilkan opasitas asap, EGT, dan emisi NOx yang lebih rendah dibandingkan diesel. Selain itu, peningkatan kandungan n-butanol dalam campuran bahan bakar meningkatkan BSFC (*Brake Specific Fuel Consumption*) dan BTE (*Brake Thermal Efficiency*), serta menjaga kestabilan bahan bakar alternatif bahkan pada suhu rendah (Senthur Prabu *et al.*, 2018).

Penelitian oleh Rashedul *et al.* (2015), mempelajari efek antioksidan BHT pada biodiesel kalofilium dan menemukan bahwa BHT memberikan stabilitas yang lebih baik serta mengurangi emisi NOx secara signifikan. Penambahan antioksidan juga meningkatkan stabilitas oksidasi tanpa banyak mengubah sifat fisikokimia lainnya. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa antioksidan dapat mempercepat awal pembakaran biodiesel, yang menghasilkan pengurangan waktu tunda penyalan. Campuran ini menunjukkan daya yang lebih tinggi, efisiensi termal yang lebih baik, dan konsumsi bahan bakar spesifik yang lebih rendah.

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, untuk penelitian ini berfokus pada pengujian kinerja dan emisi yang dihasilkan dari berbagai jenis bahan bakar, meliputi CPO, CPO+n-Butanol, CPO+BHT, B40, B40+n-Butanol, dan B40+BHT sebagai pembanding. Pengujian dilakukan pada mesin diesel dengan variasi beban 0,5 kW hingga 4,5 kW dengan RPM tetap. Mempertahankan RPM memastikan bahwa variasi parameter uji hanya disebabkan oleh perubahan beban, bukan oleh perubahan kecepatan putaran mesin. Hal ini memungkinkan hasil yang lebih terfokus dalam menganalisis pengaruh beban terhadap performa dan emisi. Dalam pengujian ini, parameter performa yang diamati mencakup daya keluaran dan efisiensi mesin, sementara parameter emisi yang diukur meliputi konsentrasi CO, CO₂, HC, O₂, serta opasitas asap.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data yang lengkap terkait pengaruh penambahan n-butanol dan BHT terhadap daya keluaran dan efisiensi mesin, sekaligus mengidentifikasi potensi pengurangan emisi. Harapannya, penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan bahan bakar berbasis campuran CPO yang lebih ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mendukung upaya menurunkan emisi gas buang mesin diesel, yang dapat berdampak signifikan dalam mengurangi polusi udara. Lebih jauh lagi, hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi atas permasalahan keterbatasan bahan bakar fosil di masa mendatang. Dengan meningkatnya kebutuhan akan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan, campuran seperti B40 dengan tambahan aditif n-butanol dan BHT dapat menjadi alternatif yang efisien dan berkelanjutan. Penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi penting bagi sektor otomotif dan energi dalam merancang bahan bakar yang ramah lingkungan, tanpa mengorbankan daya keluaran dan efisiensi dari mesin diesel.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana variasi bahan bakar mempengaruhi daya dan efisiensi termal serta emisi mesin diesel pada pembebanan 0,5kW, 1kW, 1,5kW, 2kW, 2,5kW, 3kW, 3,5kW, 4kW, dan 4,5kW?

2. Bagaimana pengaruh penggunaan dari n-butanol dan BHT sebagai zat aditif dalam campuran bahan bakar terhadap performa dan emisi gas buang pada mesin diesel?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi bahan bakar terhadap daya dan efisiensi termal serta emisi dari mesin diesel pada beban 0,5kW, 1kW, 1,5kW, 2kW, 2,5kW, 3kW, 3,5kW, 4kW, dan 4,5kW.
2. Menganalisis dampak penggunaan dari n-butanol dan BHT sebagai zat aditif dalam campuran bahan bakar terhadap performa dan emisi gas buang pada mesin diesel.

1.4 Batasan Penelitian

1. Pengujian dilakukan menggunakan mesin diesel Kubota RD 65 DI-NB dan alternator Denyo FA-5.
2. Bahan bakar *Crude Palm Oil* (CPO) yang digunakan diperoleh dari PT. Salim Ivomas Pratama, sedangkan B40 yang digunakan didapatkan dari Dexlite PT. Pertamina, dengan komposisi 40% minyak kelapa sawit dan 60% solar.
3. CPO yang digunakan memiliki suhu 100°C.
4. Pengujian menggunakan putaran mesin yang tetap pada 2000 RPM.
5. Variasi bahan bakar yang diuji dalam penelitian ini memakai CPO(100% minyak kelapa sawit) dan B40(kombinasi 40% minyak kelapa sawit dan 60% solar) dicampur dengan n-Butanol dan *Butylated Hydroxytoluene*.
6. Parameter yang diukur dalam performa mesin mencakup daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, serta suhu pada komponen-komponen seperti *exhaust*, *intake*, *cylinder block*, *cylinder head*, dan *coolant*. Selain itu, parameter lain yang diukur adalah getaran mesin, tingkat kebisingan, dan intensitas cahaya.
7. Parameter emisi gas buang yang dianalisis mencakup CO, CO₂, HC, O₂.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Memperluas pemahaman tentang pengaruh variasi bahan bakar berbasis CPO terhadap performa mesin diesel, yang dapat dijadikan rujukan untuk bahan bakar alternatif.

2. Memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi operasional mesin diesel melalui analisis karakteristik pembakaran dan kinerja termal dari setiap bahan bakar.
3. Menyediakan data ilmiah yang dapat digunakan untuk mengembangkan kebijakan energi berkelanjutan, khususnya dalam pemanfaatan bahan bakar nabati sebagai pengganti bahan bakar fosil.