

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada era Revolusi Industri 4.0, kebutuhan energi di Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber utama untuk transportasi, industri, dan pembangkit listrik. Data dari Dewan Energi Nasional (DEN) menunjukkan bahwa pada tahun 2023, bauran energi nasional didominasi oleh batubara (40,46%), minyak bumi (30,18%), gas bumi (16,28%), dan energi baru terbarukan (EBT) sebesar 13,09%. Namun, penggunaan bahan bakar fosil memiliki dampak negatif signifikan terhadap lingkungan, seperti peningkatan emisi karbon dan perubahan iklim. Sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang utama emisi karbon akibat penggunaan bahan bakar fosil, khususnya mesin diesel yang banyak digunakan pada kendaraan berat dan industri. Berdasarkan data Kementerian ESDM, sektor transportasi menyumbang sekitar 27% dari total emisi karbon nasional pada tahun 2021, dengan mayoritas berasal dari kendaraan bermotor berbahan bakar minyak (Kementerian ESDM., 2021). Untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, berbagai upaya telah dilakukan, termasuk pengembangan energi baru terbarukan (EBT) seperti hidrogen sebagai alternatif bahan bakar yang lebih bersih.

Transisi energi menjadi keharusan untuk mencapai ketahanan energi yang berkelanjutan. Pemerintah Indonesia menargetkan bauran energi baru terbarukan mencapai 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 guna mengurangi emisi karbon dan ketergantungan pada bahan bakar fosil (Dewan Energi Nasional., 2024). Salah satu strategi utama dalam transisi ini adalah pengembangan hidrogen sebagai sumber energi masa depan. Hidrogen memiliki potensi besar sebagai bahan bakar bersih karena ketika digunakan dalam pembakaran, ia hanya menghasilkan uap air tanpa emisi karbon. Salah satu metode produksi hidrogen yang menjanjikan adalah elektrolisis air, yang dapat menghasilkan gas hidrogen dengan tingkat kemurnian tinggi. Gas hidrogen yang dihasilkan melalui elektrolisis air yang dinamakan *oxyhydrogen* yang merupakan campuran hidrogen dan oksigen dalam rasio tertentu

yang dapat dibuat sebagai bahan bakar tambahan pada mesin diesel. Dengan pemanfaatan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan pada mesin diesel menghasilkan emisi yang sangat rendah, meningkatkan efisiensi dan memperbaiki kendali fase pembakaran, hal ini mengatasi tantangan lingkungan yang ditimbulkan oleh bahan bakar fosil (Jalivar dan Neshat., 2025).

Pemerintah Indonesia juga telah menginisiasi program pengembangan hidrogen nasional melalui skema Hydrogen Roadmap 2030, yang bertujuan untuk meningkatkan produksi, infrastruktur penyimpanan, serta pemanfaatan hidrogen dalam berbagai sektor industri dan transportasi (Kementerian ESDM., 2023). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Asnawi., (2014), yaitu membuat simulasi pembakaran Pada Motor Bakar *Spark Ignition* dengan menambahkan fraksi hidrogen sebesar 0–40% dan mengoperasikan mesin pada berbagai rasio ekuivalensi bahan bakar-udara (*fuel-air equivalence ratio*). Setelah dilakukan simulasi didapatkan bahwa penambahan hidrogen terbukti meningkatkan kecepatan nyala laminar, mempercepat pembakaran, memperpendek durasi proses pembakaran, meningkatkan tekanan puncak silinder, serta menurunkan kebutuhan sudut percikan api antara 4° hingga 8° derajat poros engkol. Selain itu, pembakaran menjadi lebih stabil bahkan pada campuran kurus, efisiensi termal meningkat, dan kehilangan panas ke dinding silinder berkurang, yang secara keseluruhan menunjukkan bahwa pengayaan hidrogen dalam CNG sangat potensial untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi.

Selain hidrogen, terdapat berbagai sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil salah satunya yang sering digunakan adalah biodiesel yang merupakan bahan bakar alternatif yang terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani melalui proses transesterifikasi. Bahan bakar ini memiliki sifat fisik yang mirip dengan solar, sehingga dapat digunakan langsung pada mesin diesel tanpa memerlukan modifikasi signifikan. Keunggulan biodiesel meliputi proses pembakaran yang lebih bersih, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan sifat yang mudah terurai di alam, menjadikannya pilihan yang ramah lingkungan. Penggunaan biodiesel dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan ketahanan energi nasional. Indonesia,

sebagai produsen kelapa sawit terbesar di dunia, memiliki potensi besar dalam produksi biodiesel berbasis minyak sawit. Pemerintah Indonesia telah menerapkan program mandatori biodiesel, seperti Biosolar B35 (campuran 35% biodiesel dengan 65% solar), untuk mengurangi impor bahan bakar fosil dan emisi karbon. Rencana peningkatan kadar biodiesel dalam campuran bahan bakar, seperti B40 dan B50, sedang dikaji untuk implementasi di masa mendatang. Pada 1 Januari 2025, pemerintah Indonesia menetapkan penerapan bahan bakar minyak (BBM) jenis solar dengan campuran bahan bakar nabati biodiesel berbasis minyak sawit sebesar 40 persen atau B40. Sepanjang tahun 2025, pemerintah menetapkan alokasi B40 sebanyak 15,6 juta kiloliter (kl) biodiesel dengan rincian 7,55 juta kl diperuntukkan bagi *public service obligation* (PSO) dan 8,07 juta kl dialokasikan untuk non-PSO. Dalam konteks penggunaan hidrogen dan biodiesel pada mesin diesel, kajian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampaknya terhadap performa mesin dan konsumsi bahan bakar.

Dalam konteks penggunaan hidrogen dan biodiesel pada mesin diesel, kajian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampaknya terhadap performa mesin dan konsumsi bahan bakar. Salah satu parameter penting dalam studi ini adalah variasi sudut injeksi bahan bakar. Sudut injeksi mempengaruhi waktu pencampuran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar, yang secara langsung berpengaruh besar terhadap efisiensi pembakaran, tekanan maksimum dan konsumsi bahan bakar, Penelitian oleh Chaichan dan Abaas., (2015), menunjukkan bahwa perubahan sudut injeksi dapat meningkatkan efisiensi termal dan menurunkan emisi pada mesin diesel. Variasi sudut injeksi juga menjadi kunci dalam mengoptimalkan penggunaan bahan bakar alternatif seperti hidrogen dan biodiesel dalam sistem pembakaran mesin diesel. Untuk menganalisis pengaruh sudut injeksi dan penambahan bahan bakar alternatif secara efektif, pendekatan analisis numerik merupakan pilihan yang tepat. Seiring berkembangnya teknologi, kemunculan komputer berkecepatan tinggi dan teknik pengukuran yang semakin canggih telah mendorong transformasi metode perancangan mesin pembakaran dalam, dari yang sebelumnya bersifat murni empiris menjadi pendekatan semi-empiris yang lebih sistematis, perangkat lunak berbasis komputer digunakan untuk

memodelkan dan mengevaluasi performa desain mesin secara virtual, bahkan sebelum mesin tersebut benar-benar dibangun dan diuji secara fisik (Ferguson dan Kirkpatrick., 2016), Salah satu perangkat lunak yang mendukung proses analisis numerik ini adalah *Labview*, yang dapat dimanfaatkan untuk mengintegrasikan hasil perhitungan, menyajikan antarmuka pengguna, dan mempermudah interpretasi data hasil simulasi. *Labview* memungkinkan simulasi perhitungan berbasis rumus dengan hasil akhir berupa grafik output hasil analisis unjuk kerja mesin diesel tipe 186FA dan karakteristik pembakaran yg terjadi. Pendekatan ini memungkinkan analisis lebih sistematis dan terstruktur terhadap skenario yang berbeda tanpa perlu uji eksperimen secara langsung. Simulasi semacam ini sangat berguna untuk memahami tren dan perilaku sistem pembakaran sebelum dilakukan pengujian eksperimental yang lebih kompleks dan mahal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana variasi sudut injeksi bahan bakar mempengaruhi karakteristik pembakaran pada mesin diesel berbahan bakar campuran diesel–biodiesel dengan tambahan gas hidrogen berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan *Labview*?
2. Bagaimana variasi sudut injeksi juga mempengaruhi unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar campuran diesel–biodiesel dan tambahan gas hidrogen berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan *Labview*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari pembahasan yang meluas dari penelitian ini maka penulis akan membatasi pembahasan dalam tugas akhir ini dengan hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada analisis numerik menggunakan *software Labview* dan tanpa melakukan eksperimen langsung di laboratorium atau uji real-time pada mesin diesel.

2. Bahan bakar yang digunakan dalam simulasi dibatasi pada campuran diesel–biodiesel dengan tambahan gas hidrogen hasil elektrolisis air sebagai aditif dan tanpa membandingkan dengan bahan bakar lain.
3. Analisis dilakukan dengan asumsi kondisi operasi mesin yang ideal, tanpa mempertimbangkan faktor degradasi komponen mesin akibat penggunaan dalam jangka panjang.
4. Analisis tidak mencakup emisi polutan dan hanya berfokus pada parameter performa engine.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan gas hidrogen terhadap unjuk kerja motor bakar diesel secara numerik. Secara rinci diuraikan sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis pengaruh variasi sudut injeksi terhadap karakteristik pembakaran pada mesin diesel berbahan bakar campuran diesel–biodiesel dengan tambahan gas hidrogen melalui analisis numerik menggunakan *Labview*.
2. Untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut injeksi terhadap unjuk kerja mesin diesel dengan bahan bakar campuran diesel–biodiesel (B35) dan tambahan gas hidrogen melalui pendekatan numerik di *Labview*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari pengujian ini di antaranya yaitu:

1. Memberikan wawasan ilmiah mengenai potensi gas hidrogen dengan bahan bakar diesel-biodiesel dalam meningkatkan efisiensi mesin diesel
2. Menyediakan data analisis numerik yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut mengenai implementasi gas hidrogen dalam aplikasi industri dan transportasi.
3. Mendukung upaya transisi energi dengan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil melalui pemanfaatan energi berbasis hydrogen dan biodiesel.

4. Mengembangkan metode simulasi menggunakan *Labview* sebagai alat bantu analisis dalam mengkaji performa dan emisi mesin diesel dengan bahan bakar tambahan.
5. Menyediakan referensi bagi akademisi, praktisi, dan industri dalam mengembangkan teknologi pembakaran ramah lingkungan dan efisien.