

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of The Art*

Dalam penulisan laporan ini, penulis menggunakan beberapa referensi dari berbagai penelitian sebelumnya seperti skripsi dan jurnal yang berkaitan dengan penelitian kali ini. (Yilmaz & Gumus, 2018) melakukan penelitian dengan menambahkan gas hidrogen sebesar 20 lpm dan 40 lpm pada saluran *intake* mesin diesel dengan spesifikasi daya sebesar 48 kW, berkapasitas mesin 1461 cm³, 4 silinder dengan sistem *turbocharged* dan *commonrail rail fuel system*. Hasil yang diperoleh dengan melakukan pembebanan 50 Nm, 75 Nm, dan 100 Nm berdampak positif baik untuk emisi maupun performa. Pada campuran bahan bakar diesel dan hidrogen sebesar 40lpm mendapatkan hasil yang lebih baik dibandingkan tanpa adanya campuran hidrogen.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh (Miyamoto et al., 2011) melakukan penambahan hidrogen pada saluran *intake* pada mesin diesel. Penambahan hidrogen pada saluran *intake* pada mesin diesel disebut juga sebagai *dual fuel* karena terdapat dua bahan bakar, yaitu bahan bakar minyak dan hidrogen. Penelitian yang dilakukan menggunakan mesin diesel dengan sistem *commonrail* pada putaran konstan 1500 rpm. Tekanan hidrogen dijaga 400 kPa pada ujung *valve* menggunakan tekanan pengontrol. Dengan penambahan volume udara sebesar 3,9% dari volume udara yang masuk ke ruang bakar, emisi gas buang yang di hasilkan menurun sebesar 50%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Yadav et al., 2014) menggunakan mesin diesel 1 silinder dengan spesifikasi daya sebesar 4,4 kW pada putaran 1500 rpm yang diberi pembebanan generator. Dengan menambahkan gas hidrogen sebesar 80 g/hr, 120 g/hr, dan 150 g/hr. Hasil yang didapatkan dengan menambahkan 120 g/hr pada saluran *intake* mesin diesel didapatkan pembakaran yang paling optimal diantara variable lainnya. Pembakaran yang oprimal didapatkan nilai emisi yang rendah.

Selain itu, penulis menggunakan referensi dari penelitian yang mencampurkan bahan bakar biodiesel kelapa sawit dengan penambahan

hidrogen didapatkan peningkatan terjadi pada efisiensi termal dengan aliran hidrogen maksimal 10 lpm sebesar 29.85%. Selain itu terjadi peningkatan daya sebesar 0.78% pada aliran hidrogen 7.5lpm dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel. (Winangun et al., 2023).

2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel disebut juga mesin dengan penyalaan kompresi, karena cara membakar bahan bakarnya dengan menyemprotkan bahan bakar oleh *injector* ke dalam ruang bakar yang telah bertekanan dan bertemperatur tinggi akibat langkah kompresi piston yang menekan udara murni. Mesin diesel termasuk jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion*). Pemakaian mesin diesel lebih hemat bahan bakar sekitar 25% dibandingkan dengan mesin bensin (Kalamajaya, 2016). Mesin diesel memiliki tingkat efisiensi termal yang lebih tinggi dari mesin bensin, namun memiliki kekurangannya yaitu mengeluarkan emisi partikulat 100 kali lebih banyak dari mesin bensin. (Maymuchar & Wibowo, 2011)

2.3 Daya

Daya merupakan salah satu bentuk energi. Daya yang disalurkan dari mesin diesel menuju generator merupakan salah satu bentuk penyaluran energi. Terdapat daya input dan daya output dari perpindahan daya dari mesin diesel menuju generator. Untuk menghitung daya yang disalurkan dapat menggunakan perhitungan Daya efektif pada generator (N_e).

Untuk perhitungan Daya Efektif (N_e) pada motor diesel.

$$N_e = \frac{V_1 \times I \times \cos \phi}{\eta_{generator} \times \eta_{tr} \times 1000} \quad (1)$$

Dimana :

- V = Tegangan Listrik (Volt)
- N_e = Daya Efektif (kW)
- I = Kuat Arus (Ampere)
- $\cos \phi$ = Faktor Daya Listrik (0,99)
- $\eta_{generator}$ = efisiensi generator (0,85)

- η_{tr} = efisiensi transmisi (slip) =
$$\frac{D.pulley\ generator}{D.pulley\ motor} \times \frac{n.generator}{n.motor}$$

2.4 Torsi

Torsi atau bisa disebut juga momen gaya adalah suatu besaran yang menyatakan besarnya sebuah gaya yang membuat sebuah benda bergerak berotasi. Besaran satuan dari torsi atau momen gaya adalah Newton meter (Nm). Torsi pada mesin diesel terdapat pada *crankshaft* yang berputar akibat dari gaya ledakan dari mesin yang bekerja. Pada mesin Dong Feng R175, *crankshaft* satu poros dengan pulley yang menggerakkan generator. Maka dari itu untuk menghitung nilai Torsi nya sebagai berikut :

$$T = \frac{Ne \times 60 \times 1000}{2\pi \times n.motor} \quad (2)$$

Dimana :

- Ne = Daya Efektif (kW)
- T = Torsi (Nm)
- n = Kecepatan Putaran Mesin (Rpm)

2.5 Efisiensi Thermal

Ketika mesin kalor bekerja akan menghasilkan energi panas. Mesin kalor sering kali beroperasi dengan efisiensi sekitar 30% hingga 50%, karena keterbatasan praktis. Tidak mungkin mesin kalor mencapai efisiensi termal 100% menurut hukum Kedua termodinamika. Hal ini tidak mungkin karena sebagian panas terbuang selalu dihasilkan dalam mesin kalor . Panas adalah ukuran efisiensi bahan bakar mesin yang menggunakan pembakaran internal, dan efisiensi termal. Efisiensi termal pada mesin diesel adalah rasio daya yang tersedia di poros engkol dibandingkan daya yang dihasilkan di dalam silinder dan laju energi panas dari bahan bakar yang dikonsumsi. (Ghosh, 2024)

Persamaan Efisiensi Thermal :

$$\eta_{th} = \left(\frac{Ne}{f_c \times Lhv} \right) \times 100 \% \quad (3)$$

Dimana :

- η_{th} = Efisiensi Thermal (%)
- N_e = Daya Efektif (kW)
- f_c = Konsumsi bahan bakar (kg/h)
- L_{hv} = *Low heat value* (kWh/kg)

2.6 *Specific Fuel Consumption*

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. *Specific Fuel Consumption* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh. SFC disebut *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) apabila menggunakan *Brake Horse Power*, dan jika menggunakan *indicated Power* maka disebut *Indicated Specific Fuel Consumption* (ISFC). Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi bahan bakar. *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) juga merupakan suatu parameter yang tepat untuk mengukur efisiensi termal dan juga untuk membandingkan kinerja mesin (Monasari et al., 2021)

Persamaan rumus Sfc :

$$Sfc = \frac{V_f \times \rho_f}{N_e} \quad (4)$$

Dimana :

- Sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)
- N_e = Daya efektif (kW)
- ρ_f = Densitas 15°C pada sampel minyak (kg/dm³)
- $V_f = \frac{Vol}{Waktu} = \text{Vol. bahan bakar per waktu yang di gunakan (dm}^3/\text{h)}$

2.7 Bahan Bakar Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur penting bagi energi baru terbarukan. Hidrogen bisa didapatkan dengan cara elektrolisis, konversi gas alam, gasifikasi batu bara dan banyak lainnya. Keunggulan dari hidrogen sebagai bahan bakar adalah sangat rendah emisi, tinggi efisiensi, waktu pembakaran yang cepat, ketersediaan jangka panjang dan nilai kalor yang tinggi. Pembakaran hidrogen dilakukan bersamaan dengan oksigen murni hanya akan menghasilkan H₂O tanpa adanya CO₂.

Sistem pembakaran hidrogen tidak akan menghasilkan hujan asam, menipisnya lapisan ozon ataupun pencemaran lingkungan. Untuk mencapai rendah emisi gas buang dan performa yang baik dibutuhkan pencampuran hidrogen dengan bahan bakar diesel. (Yilmaz & Gumus, 2018). Hidrogen merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang paling menjanjikan, mengingat hidrogen adalah bahan bakar bebas karbon sehingga mesin yang menggunakan bahan bakar utamanya adalah hidrogen tidak menghasilkan asap maupun CO₂. (Miyamoto et al., 2011)

Penerapan mesin berbahan bakar hidrogen sendiri sudah diterapkan, namun belum dijual massal mengingat masih dalam pengembangan untuk dijadikan kendaraan operasional sehari-hari. Dikarenakan hidrogen adalah bahan bakar bebas karbon, maka reaksi pembakaran yang dihasilkan bebas dari emisi gas buang yang dapat mencemari lingkungan. Selain itu, hidrogen memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga dapat dijadikan bahan bakar alternatif yang rendah emisi serta efisien. Penambahan hidrogen pada mesin diesel dapat dijadikan inspirasi untuk menjadikan mesin diesel mengadopsi *dual fuel* guna meningkatkan performa dan efisiensi dari mesin diesel.

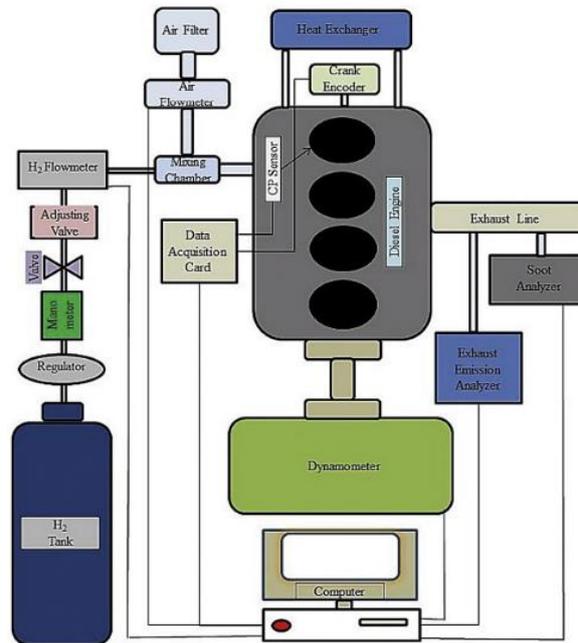
Adapun penelitian yang mencampurkan bahan bakar biodiesel kelapa sawit dengan penambahan hidrogen didapatkan peningkatan terjadi pada efisiensi termal dengan aliran hidrogen maksimal 10 lpm sebesar 29.85%. Selain itu terjadi peningkatan daya sebesar 0.78% pada aliran hidrogen 7.5lpm dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel. (Winangun et al., 2023).

2.8 Teknologi Peningkatan Efisiensi Mesin

Teknologi dalam pengembangan untuk menurunkan emisi gas buang dari *Combustion Engine* sudah diterapkan. Ada 3 macam teknologi peningkatan efisiensi. Berbagai macam cara dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari mulai sebelum pembakaran (*Before Combustion*) dengan cara pencampuran bahan bakar, proses pembakaran (*Combustion Process*) dengan mengaplikasikan *Dual Injector* demi menurunkan emisi sebagai contohnya, dan setelah pembakaran (*After Combustion*) dengan memanfaatkan gas buang untuk memutar propeller pada komponen *turbocharge*.

Teknologi yang sedang di uji coba adalah penambahan hidrogen pada saluran masuk udara. Teknologi ini menggunakan metode sebelum pembakaran (*Before Combustion*). Penambahan hidrogen bertujuan agar menyempurnakan reaksi pembakaran sehingga menghasilkan peningkatan efisiensi.

Salah satu teknologi *Before Combustion* adalah *Dual fuel*. *Dual fuel* adalah salah satu metode pembakaran *Internal Combustion* yang menggunakan dua bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan dexlite dan hidrogen. Dengan mencampurkan hidrogen dengan udara bebas dapat membantu bahan bakar utama sebagai tambahan untuk proses pembakaran pada mesin diesel.

Gambar 2.1 *Dual fuel*

(Sumber : I.T Yilmaz & M. Gumuz, 2018)

2.9 Proses Pembakaran *Dual fuel*

Mesin diesel 4 langkah memiliki 4 tahapan dalam proses pembakaran, Langkah tersebut berupa proses piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah) dan kebalikannya. Udara masuk ke dalam ruang bakar dan beberapa derajat sebelum mencapai TMA bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi sehingga terjadinya pembakaran pada Langkah kerja. (Arismunandra, 1983)

Dual fuel memanfaatkan hidrogen sebagai bahan bakar tambahan untuk memaksimalkan proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar. Hidrogen ikut terhisap pada saat Langkah Hisap melalaui saluran *intake manifold* menuju ruang bakar bersamaan dengan udara yang terhisap.

Pada saat Langkah Kerja udara dan bahan bakar yang sudah terkompresi terlebih dahulu yang terbakar. Hal tersebut dikarenakan *auto ignition temperature* dari bahan bakar diesel lebih rendah dibandingkan hidrogen.

Setelah terbakarnya campuran udara dan bahan bakar, disaat yang bersamaan hidrogen ikut terbakar.



Gambar 2.2 Pembakaran *Dual fuel*

(Sumber :(Tsujimura & Suzuki, 2017))

Sisa pembakaran berupa CO dan HC merupakan hasil pembakaran tidak sempurna yang masih dapat terbakar. Dengan adanya hidrogen terbakar setelah bahan bakar dan udara terbakar, CO dan HC terbakar bersamaan dengan hidrogen sehingga menghasilkan CO₂ dan air. Proses tersebut dapat menurunkan emisi gas buang dari CO dan HC serta meningkatkan performa dan efisiensi dari mesin diesel.

Adanya perbedaan nilai AFR (*Air Fuel Ratio*) antara bahan bakar diesel dengan bahan bakar hydrogen, dimana bahan bakar hydrogen memiliki nilai AFR sebesar 34,3 menyebabkan adanya penurunan emisi dari reaksi pembakaran *dual fuel*. Pada pengujian menggunakan campuran Biodiesel dengan nilai AFR 12.5 dapat ditunjukkan penurunan emisi berdasarkan banyaknya komposisi bahan bakar hydrogen yang terbakar dalam ruang bakar. HES (*Hydrogen Energy Share*) merupakan seberapa banyak H₂ yang berkontribusi pada bahan bakar diesel. Pada laju aliran 2.5 lpm, 5 lpm, 7.5 lpm, 10 lpm didapatkan nilai HES sebesar 3.11%, 7.57%, 10.4% dan 17.21%. Semakin tinggi aliran hidrogen, bahan bakar biodiesel yang diinjeksikan ke ruang bakar akan semakin berkurang. (Winangun et al., 2023)