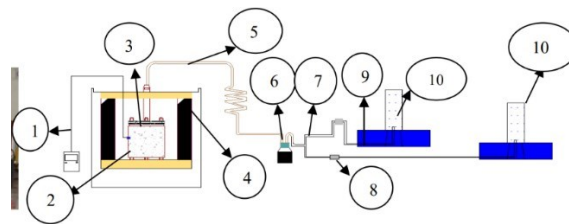


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

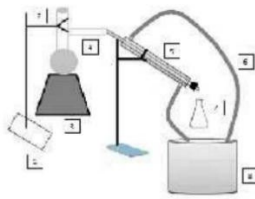
2.1 Penelitian Terdahulu

Dari penelitian (Putra dkk, 2016). Telah melakukan penelitian tentang perancangan alat pengolah limbah ban. Penelitian ini menggunakan temperatur yang telah ditentukan, yaitu 350°C, 550°C, dan 750°C. Dalam penelitian ini, skema menggunakan 10 komponen, yaitu 1. Thermocouple, 2. Tungku, 3. Reaktor, 4. Pemanas, 5. Kondensor, 6. Penampungan minyak, 7. Pipa Pengaliran Gas, 8. Katup, 9 Bak Air, 10. Bak penampungan gas. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa proses ini secara simultan menghasilkan produk bahan bakar berupa gas, cair, dan padat tanpa menghasilkan limbah/polusi.



Gambar 2. 1 Skema alat penelitian

Selain itu (Arita dkk, 2015), Telah melakukan penelitian tentang perancangan alat pengolah limbah ban menjadi bahan bakar alternatif. Dalam penelitian ini dirancang sistem pengolahan untuk limbah ban yang telah dipotong-potong hingga berukuran $0,5 \times 0,5$ cm. Penelitian ini menggunakan 10 komponen yang menunjang proses kinerja alat, yaitu 1. Kompor 2. Tungku Pembakaran 3. Termokopel 4. Klem 5. Kondensor 6. Selang 7. Erlenmeyer 8. Penampung Kondensat 9. Selang penghubung tungku dan kondensor 10. Statif. Dengan adanya penelitian ini, peneliti menyimpulkan bahwa pemanasnya adalah kompor konvensional. Menggunakan kompor konvensional dapat menimbulkan asap yang menyebabkan polusi udara.



Gambar 2. 2 Skema alat destilasi

Dari penelitian (Hürdoğan dkk, 2017) Campuran minyak pirolisis limbah ban dan solar digunakan untuk bahan bakar empat langkah, empat silinder, disedot secara alami, disuntikkan langsung mesin diesel. Kesimpulan utama yang diambil dari hasil penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: sifat bahan bakar dari campuran minyak pirolisis limbah ban sebanding dengan bahan bakar diesel dalam standar EN 590 dan juga dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam mesin pengapian tanpa modifikasi apa pun. Campuran WTPO diesel menunjukkan kinerja yang serupa dengan bahan bakar diesel dalam hal torsi dan *output* daya mesin uji. Akhirnya, campuran WTPO10 dapat menjadi bahan bakar alternatif terbaik campuran terbaik untuk mesin diesel tidak hanya untuk kinerjanya karakteristiknya tetapi juga untuk aspek lingkungan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk melakukan investigasi terhadap campuran berbagai macam biodiesel dengan WTPO dan bahan bakar diesel.

Penelitian (Karagöz et al., 2020) melakukan penelitian berjudul *Waste to Energy: Production of Waste Tire Pyrolysis Oil and Comprehensive Analysis of Its Usability in Diesel Engines*. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan minyak pirolisis dari ban bekas dan mengevaluasi kelayakannya sebagai bahan bakar campuran solar pada mesin diesel silinder tunggal. Campuran bahan bakar yang digunakan terdiri atas 10%, 30%, dan 50% minyak pirolisis ban bekas dengan pengujian pada beberapa tingkat beban mesin. Parameter yang diamati meliputi karakteristik pembakaran, performa mesin, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal, emisi gas buang, getaran, dan kebisingan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan minyak pirolisis ban bekas menyebabkan konsumsi bahan bakar spesifik (BSFC) meningkat dan efisiensi termal menurun karena nilai kalor minyak pirolisis lebih rendah dibandingkan dengan solar. Selain itu, emisi HC mengalami penurunan signifikan, sedangkan emisi CO dan NOx

hanya mengalami perubahan yang relatif kecil. Penelitian ini juga menyimpulkan bahwa minyak pirolisis ban bekas dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar diesel hingga 50% tanpa memerlukan modifikasi mesin, sehingga berpotensi menjadi alternatif bahan bakar sekaligus solusi untuk pengelolaan limbah ban bekas dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Penelitian (Nabi dkk, 2022) melakukan penelitian berjudul *Investigation of Engine Performance, Combustion, and Emissions Using Waste Tire Oil–Diesel–Glycine max Biodiesel Blends in a Diesel Engine*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh campuran minyak pirolisis ban bekas, solar, dan biodiesel kedelai terhadap performa, pembakaran, dan emisi mesin diesel injeksi langsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran minyak pirolisis ban bekas hingga 30% memiliki karakteristik yang mendekati solar dan dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif tanpa perlu memodifikasi mesin. Meskipun daya dan torsi sedikit lebih rendah dibandingkan dengan solar, perbedaannya tidak signifikan, sedangkan emisi CO₂ dan NO_x relatif mendekati solar. Oleh karena itu, minyak pirolisis ban bekas dinilai memiliki potensi sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan untuk mesin diesel.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori merupakan dasar ilmiah yang digunakan sebagai acuan dalam pelaksanaan penelitian. Pada penelitian ini, landasan teori memuat konsep-konsep yang berkaitan dengan pemanfaatan minyak hasil pirolisis ban bekas sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel 6,5 PK. Teori-teori yang dibahas meliputi proses pirolisis, karakteristik mesin diesel, sifat bahan bakar solar, performa mesin, beban lampu sebagai media pembebanan, konsumsi bahan bakar, serta emisi gas buang. Pemahaman terhadap teori-teori tersebut diharapkan dapat menjadi dasar dalam menganalisis hasil pengujian, sehingga hubungan antara penggunaan bahan bakar hasil pirolisis ban bekas dan performa mesin diesel dapat dijelaskan secara ilmiah.

2.2.1 Pirolisis

Menurut buku (Aladin dkk, 2022) Pirolisis berasal dari kata *pyro* yang berarti panas dan *lysis* yang berarti penguraian atau degradasi. Proses pirolisis

didefinisikan sebagai proses degradasi atau penguraian senyawa-senyawa makromolekul berbasis karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi (300 °C atau lebih) tanpa oksigen untuk menghasilkan *charcoal* (arang terkarbonisasi), gas/uap, cairan tar (*oil*). Manfaat terbesar dalam proses pirolisis yaitu aplikasi dalam konversi dan penyediaan energi. Teknologi ini menarik bahan-bahan limbah seperti limbah ban dan limbah sampah berbasis karbon yang tidak memiliki nilai ekonomi, bahkan menjadi perusak estetika lingkungan, sehingga dapat diubah menjadi sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat. Berdasarkan laju pemanasan, pirolisis juga dibagi menjadi 3 jenis diantaranya yaitu:

1) Pirolisis Lambat (*slow pyrolysis*)

Proses pirolisis lambat ini dilakukan pada laju pemanasan yang lambat (<50 °C/menit) atau sekitar 0,1–1 K/detik, dan suhu yang digunakan relatif rendah (300–600 °C). Waktu tinggal bahan dalam reaktor (450–550 detik) menghasilkan produk utama berupa *char* atau *charcoal* sekitar 35% dan gas sekitar 35–40%.

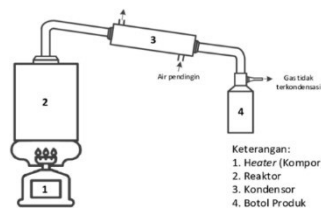
2) Pirolisis Cepat (*fast pyrolysis*)

Proses pirolisis cepat ini dilakukan pada laju pemanasan cepat (50–200 °C/detik), suhu yang digunakan relatif sedang (500–600 °C), waktu tinggal bahan dalam reaktor 0,5–10 detik, dan ukuran partikel di bawah 1 mm, dengan produk utama yang dihasilkan adalah oil atau bio-oil 50–70%, kemudian gas 30%. Proses pirolisis cepat ini sangat disarankan untuk produk sasaran, yaitu *bio-oil*.

3) Pirolisis Kilat (*flash pyrolysis*)

Proses pirolisis cepat ini dilakukan pada laju pemanasan sangat cepat (<200 °C/detik) dengan suhu pemanasan sangat tinggi di atas 700 °C, waktu tinggal bahan dalam reaktor selama 0,5 detik, serta ukuran partikel yang digunakan sangat kecil, sekitar 105–250 µm atau di bawah 0,2 mm. Produk utama berupa oil atau bio-oil mencapai 70–75%. Dari kedua jenis pirolisis, yaitu pirolisis cepat dan pirolisis kilat, reaktor pirolisis sudah dikondisikan terlebih dahulu hingga mencapai suhu target, seperti 700–800 °C, lalu bahan berbasis karbon dimasukkan ke dalam reaktor tersebut.

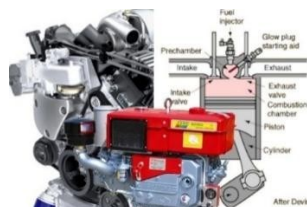
Proses pirolisis dilakukan dalam bejana atau reaktor yang dilengkapi dengan unit pemanas dan kondensor. Pirolisis menggunakan berbagai jenis panas dalam prosesnya. Dalam proses pirolisis, terdapat dua persyaratan utama yang harus dipenuhi agar perpindahan panas di dalam reaktor berlangsung secara efektif. Pertama, perpindahan panas dari sumber atau media penghantar panas menuju reaktor, yang dapat berupa dinding reaktor pada reaktor ablatif, campuran gas dan padatan pada reaktor *fluidized bed* dan *transport bed*, serta gas pada reaktor *entrained flow*. Kedua, perpindahan panas dari media penghantar panas tersebut ke biomassa yang sedang mengalami proses pirolisis. Kedua mekanisme perpindahan panas ini sangat berpengaruh terhadap laju dekomposisi termal biomassa dan efisiensi proses pirolisis (Bridgwater dkk, 1999). Untuk skala bench (*bench scale*) dapat menggunakan pemanas elektrik, sedangkan untuk skala pilot plant dapat menggunakan bahan bakar solar atau propana.



Gambar 2. 3 Desain alat pirolisis

2.2.2 Mesin Diesel

Mesin diesel adalah motor bakar dengan proses pembakaran yang terjadi didalam mesin itu sendiri (*internal combustion engine*) dan pembakaran terjadi karena udara murni dikompresi dalam suatu ruang bakar sehingga diperoleh udara bertekanan tinggi serta panas yang tinggi, bersamaan dengan itu disemprotkan/dikabutkan bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran (Samlawi, 2012).



Gambar 2. 4 Mesin diesel

Prinsip kerja motor diesel menurut Diesel dkk, (2007).

1) Langkah Hisap

Pada langkah ini, piston akan bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Selanjutnya, katup hisap akan terbuka sebelum mencapai TMA. Katup buang akan tertutup. Jadinya, akan timbul kekosongan di dalam silinder, sehingga udara murni masuk ke dalam silinder.

2) Langkah Kompresi

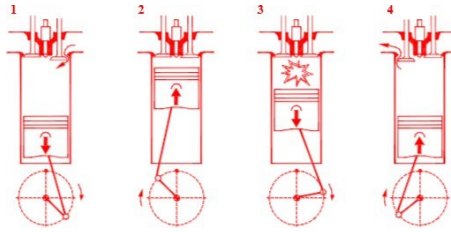
Pada langkah kedua, piston bergerak ke arah sebaliknya, dari TMB ke TMA. Katup hisap tertutup sementara, katup buang akan terbuka. Udara kemudian akan dikompresikan hingga tekanan dan suhu mencapai 30 kg/cm² dan 500 derajat Celsius. Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar antara 14: 1 sampai 24 : 1. Akibat proses kompresi ini, udara menjadi panas dan temperaturnya bisa mencapai sekitar 900 °C. Di akhir langkah kompresi, injektor/nozel menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara panas bertekanan hingga di atas 2000 bar. Untuk menjaga pembakaran berjalan lancar, temperatur udara yang dikompresikan di ruang bakar harus mencapai 500 °C atau lebih. Perbedaan kompresi ini menghasilkan efisiensi panas yang lebih besar, sehingga penggunaan bahan bakar diesel lebih ekonomis daripada bensin. Pengeluaran untuk bahan bakar juga bisa lebih efisien.

3) Langkah usaha

Pada langkah usaha, katup hisap tertutup, katup buang juga tertutup, dan injektor menyemprotkan bahan bakar. Sehingga, terjadi pembakaran yang menyebabkan piston bergerak dari TMA ke TMB.

4) Langkah pembuangan

Langkah pembuangan hampir serupa dengan langkah hisap. Di sini, piston bergerak dari TMB ke TMA. Namun, katup hisap akan tertutup dan katup buang akan terbuka. Piston akan bergerak, mendorong gas sisa pembakaran keluar.



Gambar 2. 5 Langkah Mesin diesel

2.2.3 Solar

Solar (*diesel fuel*) merupakan bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses distilasi fraksional minyak bumi. Solar tersusun atas campuran senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom karbon dominan berkisar antara C9 hingga C20 serta memiliki rentang titik didih sekitar 163–357°C, sehingga sesuai digunakan sebagai bahan bakar pada mesin diesel dengan sistem penyalan kompresi (*compression ignition engine*) (Gad, 2002).

Dalam penggunaannya, solar menawarkan efisiensi energi yang baik karena merupakan bahan bakar cair yang berasal dari penyulingan minyak bumi dan terutama digunakan pada mesin diesel. Solar memiliki karakteristik pembakaran yang cocok untuk mesin dengan rasio kompresi tinggi, seperti yang terdapat pada kendaraan berat (misalnya, truk dan bus), alat berat, serta beberapa jenis mesin industri. Solar terdiri dari hidrokarbon dengan rantai yang lebih panjang dibandingkan bensin, sehingga lebih kental dan memiliki titik nyala yang lebih tinggi.

Dalam penggunaannya, solar menawarkan efisiensi energi yang baik karena pembakarannya stabil pada tekanan tinggi, sehingga cocok untuk mesin diesel yang dirancang untuk menghasilkan torsi besar. Selain itu, tenaga surya menghasilkan lebih sedikit uap yang mudah terbakar di udara, sehingga relatif lebih aman dari risiko kebakaran dibandingkan bensin. Namun, pembakaran tenaga surya dapat menghasilkan polutan seperti sulfur oksida yang dapat berdampak negatif pada lingkungan. Oleh karena itu, banyak negara menerapkan regulasi untuk mengurangi kandungan sulfur pada solar, misalnya dengan menggunakan solar jenis biodiesel atau solar dengan kadar sulfur rendah. Upaya ini bertujuan untuk mengurangi emisi berbahaya dan dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar diesel.

PT Pertamina (Persero) memproduksi bahan bakar minyak (BBM) jenis solar sebanyak tiga jenis, di antaranya solar yang digunakan pada mesin diesel dengan jenis putaran tinggi, sedang, dan rendah. Penjelasan jenis bahan bakar minyak (BBM) solar antara lain sebagai berikut:

1) Bahan Bakar Minyak Laut (MFO / *Marine Fuel Oil*)

Marine Fuel Oil (MFO) adalah minyak solar kelas industri dengan residu hitam yang terbentuk pada proses distilasi dan memiliki viskositas lebih tinggi dari minyak solar, merupakan minyak solar kelas industri kecepatan rendah > 300 rpm yang biasanya digunakan sebagai bahan bakar pembakaran langsung pada bahan bakar dengan skala industri. Digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit uap serta di industri berskala ekonomi kecil. Pada dasarnya, bahan bakar ini adalah solar industri dengan proses pembakaran yang sangat cepat. Pembakaran yang sangat cepat, antara senyawa tertentu dan oksigen menghasilkan proses pirolisis. Ini adalah saat molekul dipecah menjadi yang lebih kecil secara termal, tanpa adanya oksigen, dan ketika oksigen masuk, itu menimbulkan nyala api.

Terdapat dua jenis produk dari bahan bakar minyak (BBM) jenis solar di Indonesia yang mengandung bahan bakar minyak laut atau MFO, yaitu MFO 180 dan MFO 380. MFO 180 ialah jenis solar industri dengan viskositas maksimum mencapai 180 cSt. Solar ini mempunyai kandungan sulfur yang tinggi, yakni mencapai 3.5% v/v. Solar ini banyak dipakai dalam mesin pembakaran, terutama di industri dan pembangkit listrik.

2) *Marine Diesel Oil* (MDF)

Marine Diesel Fuel (MDF) merupakan bahan bakar jenis sulingan dengan bentuk cair, memiliki warna hitam pekat bila berada pada suhu rendah, serta memiliki kandungan belerang atau sulfur yang rendah, yang menjadikan cocok untuk mesin industri dengan kecepatan sedang.

Bahan bakar Solar dengan jenis diesel atau disebut *Marine Diesel Fuel* (MDF) juga seringkali disebut sebagai *Industrial Diesel Oil* (IDO). Di negara Indonesia sendiri, PT Pertamina (Persero) juga memproduksi produk Solar dengan *Marine Diesel Fuel* (MDF) yang telah sesuai dengan keputusan Dirjen Migas No. 14496.K/14/DJM/2008.

3) *High Speed Industrial Diesel (HSD)*

Merupakan bahan bakar jenis solar yang paling banyak digunakan sebagai bahan bakar pada berbagai jenis mesin diesel, khususnya di sektor industri. Pada umumnya, solar jenis industri banyak digunakan pada beragam mesin berkecepatan tinggi, seperti mesin genset, mesin berat, mesin kapal laut, mesin kereta api, serta beragam mesin industri lainnya yang sesuai dengan mesin diesel di atas 1000 rpm.

Meski demikian, solar industri juga bisa digunakan pada jenis mesin dengan tungku pembakaran khusus, seperti pengering (heater), serta pada boiler ataupun mesin pemanas uap yang juga dikenal sebagai kualiti. Hal tersebut dikarenakan solar jenis industri tetap memberikan hasil bahan bakar yang sangat baik dan juga bersih.

Syarat yang harus dipenuhi untuk dapat menentukan kualitas dari Bahan Bakar Minyak (BBM) jenis Solar sendiri, yaitu:

- a) Mudah untuk dapat terbakar.
- b) Tidak mudah berganti wujud, seperti menjadi membeku ataupun juga memadat, meskipun berada dalam suhu dingin.
- c) Dapat menjalankan mesin jenis diesel dengan lancar, serta memiliki sifat atau kemampuan antiketukan.
- d) Viskositasnya harus cukup untuk dapat disemprotkan menggunakan beragam perangkat pada mesin.
- e) Tetap stabil, seperti tidak mengalami perubahan bentuk, struktur, maupun warna selama masa penyimpanan.
- f) Memiliki kandungan sulfur atau belerang yang sangat sedikit, yaitu semakin rendah.

Berdasarkan Keputusan (Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Republik Indonesia, 2020) Nomor 146.K/10/DJM/2020, bahan bakar minyak jenis solar harus memenuhi standar mutu tertentu agar layak digunakan pada mesin diesel. Standar tersebut antara lain meliputi angka setana minimum 48, massa jenis pada suhu 15°C sebesar 815–870 kg/m³, viskositas kinematik pada suhu 40°C sebesar 2,0–4,5 mm²/s, kandungan sulfur maksimum 0,05% massa, serta titik nyala minimum 52°C. Persyaratan tersebut ditetapkan untuk menjamin kualitas

pembakaran, menjaga kinerja mesin diesel, serta mengurangi dampak emisi gas buang terhadap lingkungan.

2.2.4 Performa Mesin

Performa mesin sering kali dicirikan oleh perilaku pengoperasian mesin dalam domain kecepatan–beban, misalnya perilaku emisi, konsumsi bahan bakar, kebisingan, beban mekanis, daya, dan termal. Peta performa mesin merujuk pada plot kontur nilai konstan dari parameter performa tertentu dalam domain kecepatan dan torsi. Pemahaman yang baik tentang peta performa mesin penting bagi seorang insinyur desain sistem.

Untuk mesin yang dilengkapi dengan perangkat keras geometri tetap tanpa kontrol fleksibel (misalnya, turbin geometri tetap, poros bubungan mekanis, pompa air mekanis), kinerja sistem yang optimal merupakan kompromi besar antara operasi pada kecepatan tinggi dan kecepatan rendah, atau antara operasi pada beban tinggi dan beban rendah. Efek trade-off terutama menonjol ketika rentang kecepatan mesin (atau beban) lebar. Memetakan karakteristik pengoperasian aplikasi pelanggan mesin (misalnya, siklus mengemudi kendaraan, siklus beban mesin laut) ke peta kecepatan-beban mesin dan memetakan karakteristik kecepatan-beban mesin ke peta karakteristik komponen (misalnya, peta kompresor) adalah dua teknik desain penting bagi seorang insinyur sistem dalam melakukan integrasi sistem. Karena pentingnya karakteristik kecepatan-beban mesin, contoh khas peta kinerja mesin diilustrasikan dan dibahas dalam bagian ini. Adapun rumus perhitungan seperti berikut:

1. Daya mesin:
 $P = V \times I = \dots\dots\dots(2.1)$

Keterangan:

P = Daya listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2. Torsi (Torque)

$$T = \frac{9550 \times P}{n(RPM)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

T = Torsi (N·m)

P = Daya (kW)

n = Putaran mesin (rpm)

2.2.5 Beban Lampu

Beban lampu pada mesin diesel adalah salah satu jenis beban listrik yang terhubung ke generator mesin diesel untuk penerangan atau keperluan listrik lainnya. Beban ini tergantung pada daya lampu yang terpasang, seperti lampu pijar, LED, atau jenis lampu lain yang membutuhkan daya listrik. Saat mesin diesel beroperasi, generator akan menghasilkan daya listrik yang dialirkan ke beban lampu, dan daya yang diperlukan untuk menjaga lampu menyala akan diambil dari tenaga yang dihasilkan mesin diesel.

Pada sistem ini, semakin banyak lampu atau semakin tinggi watt lampu yang digunakan, semakin besar daya yang dibutuhkan mesin diesel untuk menjaga output listrik tetap stabil. Jika beban lampu terlalu tinggi, mesin diesel harus bekerja lebih keras, sehingga meningkatkan konsumsi bahan bakar dan suhu operasi mesin. Dengan demikian, penting untuk memperhatikan kapasitas beban listrik mesin diesel agar performa tetap optimal dan umur mesin lebih panjang.

Arus(I)

$$I = \frac{P}{V} = \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

P = adalah daya listrik dalam satuan Watt (W)

V = adalah tegangan dalam satuan Volt (V)

I = adalah arus listrik dalam satuan Ampere (A)

Volt(V)

$$V = \frac{P}{I} = \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan:

P= adalah daya listrik dalam satuan Watt (W)

V= adalah tegangan dalam satuan Volt (V)

I= adalah arus listrik dalam satuan Ampere (A)

2.2.6 Perpindahan Panas dalam Mesin Diesel

Mesin diesel bekerja melalui pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar, yang menghasilkan panas dan energi mekanik untuk menggerakkan komponen mesin. Dalam proses ini, temperatur tinggi dihasilkan dan perlu dikendalikan untuk menghindari kerusakan komponen. Proses perpindahan panas yang terjadi dalam mesin diesel mencakup tiga mekanisme utama: konduksi, konveksi, dan radiasi.

- 1) Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi di dalam material padat tanpa adanya perpindahan massa, ada konduksi yang akan dihitung pada panas di blok silinder dan kepala silinder.
- 2) Konveksi adalah perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida (cairan atau gas) yang mengalir di atasnya. Pada mesin diesel, konveksi terjadi pada gas buang yang mengalir melalui *exhaust manifold* serta pada cairan pendingin dalam radiator
- 3) Radiasi adalah mekanisme perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik. Radiasi terjadi antara permukaan komponen mesin dan lingkungan sekitarnya, meskipun kontribusinya lebih kecil dibandingkan dengan konduksi dan konveksi.

2.2.7 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar pada mesin diesel adalah jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin untuk menghasilkan tenaga dalam waktu tertentu. Konsumsi bahan bakar adalah parameter yang menunjukkan jumlah bahan bakar yang digunakan mesin selama proses pengoperasian, yang dihitung berdasarkan waktu

yang diperlukan mesin untuk menghabiskan volume bahan bakar tertentu yang telah ditetapkan pada gelas ukur (Nur & Syafrun, 2022). Faktor-faktor yang mempengaruhi konsumsi bahan bakar antara lain ukuran mesin, kapasitas silinder, beban kerja, kecepatan, serta efisiensi sistem mesin. Mesin dengan kapasitas lebih besar atau yang beroperasi di bawah beban berat biasanya mengonsumsi lebih banyak bahan bakar. Teknologi modern seperti sistem injeksi langsung (*direct injection*) atau *common rail* juga membantu meningkatkan efisiensi pembakaran sehingga konsumsi bahan bakar dapat lebih rendah. Selain itu, perawatan yang baik, seperti menjaga kebersihan filter udara, membersihkan sistem injeksi, dan menggunakan pelumas berkualitas, dapat mengurangi konsumsi bahan bakar secara signifikan.

Efisiensi bahan bakar juga dapat diukur dengan *Brake Spesifik Fuel Consumption* (BSFC), yang menunjukkan seberapa efisien mesin mengubah bahan bakar menjadi energi mekanik, dinyatakan dalam satuan gram per tenaga kuda per jam (g/kWh). Jika dibandingkan dengan mesin bensin, mesin diesel biasanya lebih hemat bahan bakar karena memiliki efisiensi termal lebih tinggi dan rasio kompresi yang lebih besar. Beberapa teknologi seperti *turbocharging*, *supercharging*, dan sistem *start-stop* yang mematikan mesin saat kendaraan dalam kondisi diam dapat lebih menghemat konsumsi bahan bakar pada mesin diesel.

Besarnya konsumsi bahan bakar spesifik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

1. Rumus mencari debit

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.8)$$

Keterangan:

Q = Debit

V = Volume

T = Waktu

2. Rumus mencari massa jenis:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.9)$$

Keterangan:

m = Massa benda (Kg)

ρ = Massa jenis benda (Kg/L)

V = Volume benda (L)

3. Laju Aliran Massa

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

$\dot{m}$ = Laju aliran massa (kg/s)

m = Massa bahan bakar (kg)

t = Waktu konsumsi bahan bakar (s)

4. Laju Aliran Volumetrik

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

Q = Laju aliran volumetrik (m^3/s)

$\dot{m}$ = Laju aliran massa (kg/s)

ρ = Massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

2.2.8 Emisi Gas Buang

Emisi Gas buang adalah sisa yang tertinggal setelah pembakaran bahan bakar pada mesin pembakaran *internal* dan *eksternal*, dan dikeluarkan melalui sistem knalpot. (Habibi, 2016). mesin gas buang juga merupakan racun hasil pembakaran motor bakar yang tidak berlansung terbakar dengan sempurna. Sebagai contoh bahan bakar bensin merupakan penghasil emisi gas buang yang berbahaya terhadap lingkungan terutama bagi kesehatan manusia.

1) Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon adalah emisi yang timbul karena adanya pembakaran yang terjadi dengan tidak sempurna, akan tetapi sudah keluar karena bahan bakar bensin terbuat dari unsur Hidrokarbon (HC) hamper 84% dari keseluruhan unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar bensin.

2) Karbon Monoksida (CO)

Gas CO termasuk gas beracun, karena dapat mengurangi kadar oksigen dalam darah. Biasanya CO timbul karena kadar oksigen tidak cukup untuk memulai proses pembakaran secara sempurna. Karena berbahaya oleh pemerintah CO dibatasi maksimal 4,5% sisa gas buang.

3) Karbon Dioksida (CO₂)

Gas Senyawa CO, merupakan gas yang tidak berwarna maupun berbau, ketika gas karbon dioksida terhirup pada konsentrasi yang tinggi dari kadar konsentrasi CO, yang ada diatmosfir, maka dapat memiliki rasa asam dimulut dan saluran pernafasan. Gas CO, didapat dari perpaduan bahan bakar dan oksigen yang seimbang.

2.2.9 Termokopel

Termokopel (*Thermocouple*) adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu melalui dua jenis logam konduktor berbeda yang digabung pada ujungnya sehingga menimbulkan efek "*Thermo-electric*". Termokopel merupakan salah satu jenis sensor suhu yang paling populer dan sering digunakan dalam berbagai rangkaian ataupun peralatan listrik dan Elektronika yang berkaitan dengan Suhu (*Temperature*). Beberapa kelebihan termokopel yang membuatnya menjadi populer adalah responnya yang cepat terhadap perubahan suhu dan juga rentang suhu operasionalnya yang luas yaitu berkisar diantara -200°C hingga 2000°C. Selain respon yang cepat dan rentang suhu yang luas, Termokopel juga tahan terhadap guncangan/getaran dan mudah digunakan.



Gambar 2. 6 Termokopel

2.2.10 Analyzer Gas Buang

Gas analyzer adalah alat instrumentasi yang digunakan untuk mengukur komposisi dan proporsi gas hasil pembakaran yang keluar melalui saluran gas

buang kendaraan atau mesin. Hasil pengukuran yang ditampilkan umumnya meliputi kadar CO, CO₂, HC, O₂, dan NO_x, yang digunakan untuk mengetahui kondisi pembakaran dan tingkat emisi gas buang yang dihasilkan (Joko Prihartono, 2020). Penggunaan analyzer gas buang sangat penting dalam pemantauan emisi, terutama untuk memenuhi standar lingkungan dan mengurangi dampak polusi. Alat ini juga mendukung pengujian bahan bakar alternatif, seperti bahan bakar pirolisis, untuk memastikan bahan tersebut aman dan ramah lingkungan saat digunakan pada mesin.



Gambar 2. 7 Analyzer gas buang

2.2.11 Gelas Ukur

Gelas ukur adalah alat ukur volumetrik yang digunakan untuk mengukur volume bahan cair, dalam hal ini bahan bakar minyak (BBM), dengan akurasi yang cukup tinggi. Dalam pengujian konsumsi BBM, gelas ukur berfungsi untuk menampung bahan bakar yang akan digunakan selama interval waktu tertentu, sehingga volume BBM yang digunakan oleh mesin dapat diukur dengan tepat. Alat ini biasanya terbuat dari kaca atau plastik transparan yang tahan terhadap bahan kimia, sehingga pengguna dapat dengan mudah membaca skala volume pada dinding gelas.



Gambar 2. 8 Gelas ukur