

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu yang Relevan

Penelitian terdahulu yang digunakan merupakan jenis penelitian yang hampir sama dan dapat dijadikan referensi atau acuan, antara lain:

Tabel 2.1 Tabel Penelitian Relevan

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Wahyudi, Mulyono dan Santosa (2013)	Pengaruh muatan lebih beban gandar kendaraan berat angkutan barang terhadap peningkatan oksida karbon	Beban gandar kendaraan barang memiliki korelasi Dengan emisi kendaraan. Semakin berat muatan kendaraan pengangkut, semakin tinggi emisinya
2	Hendrialdi, Bayu Kusumo Nugroho, Aris Budi Sulistyo (2020)	Strategi Pengendalian Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berdasarkan Model Regresi di Kota Denpasar	Semakin baik tingkat perawatan akan semakin kecil kadar emisinya pada kendaraan berbahan bakar bensin ataupun solar.
3	Xin Wang, Guohua Song, Zhiqiang	Effects of vehicle load on emissions of heavy-duty diesel	Semakin berat muatan yang di angkut oleh sebuah kendaraan maka

	Zhai, Yizheng Wu, Hang Yin and Lei Yu (2021)	trucks	semakin tinggi pula emisi yang dihasilkan oleh kendaraan tersebut. Begitu juga dengan penggunaan kecepatan semakin cepat laju kendaraan semakin tinggi pula emisi kendaraan yang dihasilkan khususnya kendaraan barang.
4	Aryo Sasmita, Muhammad Reza, Shinta Elystia, Syarah Adriana, (2022)	Analisis Pengaruh Kecepatan Dan Volume Kendaraan terhadap Emisi dan Konsentrasi Karbon Monoksida di Jalan Jenderal Sudirman, Kota Pekanbaru	kepadatan jalan dan kecepatan yang dilalui kendaraan sangat berpengaruh terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.
5	Gunawan, Arief Novianto, Rakamadya Ayonda (2022)	Pengaruh Beban Muatan Dan Kecepatan Terhadap Hasil Uji Emisi Kendaraan (Studi Kasus Menggunakan Daihatsu Grand Max Pick Up 1.5)	Pemberian muatan pada kendaraan dapat mempengaruhi emisi gas buang HC dan CO, baik muatan yang tidak melebihi daya angkut maupun menggunakan

			muatan berlebih (overload).
--	--	--	--------------------------------

Perbedaan penelitian yang terdapat pada penelitian relevan ini yaitu pada proses pengambilan data menggunakan kendaraan yang berbeda, lokasi penelitian yang berbeda serta menggunakan variasi berat beban kendaraan. Pada penelitian saat ini menggunakan alat bantu speedometer tester untuk menjalankan kendaraan di variasi kecepatan yang telah ditentukan. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya pengukuran CO, HC, CO₂, O₂ dan opasitas gas buang sebagai indikator kualitas udara. Berbeda dengan banyak penelitian sebelumnya yang lebih banyak membahas senyawa yang ada seperti karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (HC), Penelitian ini bertujuan untuk memberikan pembaruan dengan memperhatikan metodologi, jenis kendaraan, dan hasil yang lebih mendalam dalam konteks emisi gas buang.

2.2 Motor Bakar

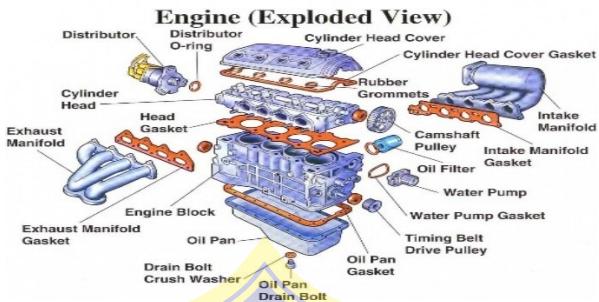
Motor bakar adalah salah satu jenis dari mesin kalor, yaitu mesin yang mengubah energi thermal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi menjadi energi panas dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja mekanis. Berdasarkan sistem pembakarannya motor bakar dibagi menjadi dua yaitu *External Combustion Engine* dan *Internal Combustion Engine*. Perbedaan pembakaran dalam dengan pembakaran luar yaitu tidak diperlukannya saluran penghubung tertentu karena proses pembakaran keseluruhan terjadi di dalam komponen mesin, lebih tepatnya terjadi pada ruang bakar. Mesin pembakaran dalam ini dapat kita temui pada motor bensin, motor diesel maupun mesin jet.

2.2.1 Motor Diesel

Motor Diesel adalah jenis motor bakar torak yang biasanya disebut Motor Pembakaran Kompresi (*Compression Ignition Engine*).

Ignition Engine). Pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar dilakukan dengan cara menyemprotkan bahan bakar ke dalam silinder motor yang terisi dengan udara yang bertekanan dan bertemperatur tinggi, sebagai akibat dari proses kompresi (Musksin, 2014). Pada langkah hisap hanyalah udara segar saja yang masuk ke dalam silinder. Pada waktu torak mencapai Titik Mati Atas (TMA) bahan bakar disemprotkan ke dalam silinder dan terjadilah proses penyalaan pembakaran, pada saat udara dalam silinder sudah bertemperatur tinggi. Persyaratan ini dapat dipenuhi bila digunakan tekanan udara (kompresi) yang cukup tinggi, dan bahan bakar harus berkabut dengan halus. Untuk mengkabutkan bahan bakar dengan halus digunakan perawatan injeksi bahan bakar. Alat ini digunakan untuk mengkabutkan bahan bakar pada ruang bakar dengan volume dan saat penyemprotan tertentu sesuai dengan putaran mesin.

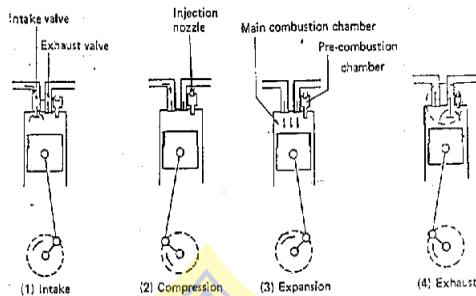
Sistem injeksi bahan bakar diesel berfungsi untuk melayani kebutuhan bahan bakar selama motor diesel tersebut bekerja. Proses pembakaran tidak terjadi sekaligus tetapi memerlukan waktu dan terjadi dalam beberapa tahap. Di samping itu pembakaran akan berlangsung antara 30° - 40° sudut engkol. Kurang lebih 18° - 20° sebelum torak mencapai TMA bahan bakar mulai disemprotkan. Bahan bakar akan segera menguap dan bercampur dengan udara yang sudah bertemperatur tinggi. Oleh karena temperatur sudah melebihi temperatur penyalaan bahan bakar, bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya. Waktu yang diperlukan antara saat bahan bakar mulai disemprotkan dengan saat mulai terjadi pembakaran disebut periode persiapan pembakaran. Waktu persiapan pembakaran dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: tekanan dan temperatur udara pada saat bahan bakar mulai disemprotkan, gerakan udara dan bahan bakar, jenis dan derajat pengabutan bahan bakar, serta perbandingan bahan bakar-udara.



Gambar 2.1 Motor Diesel
(Sumber : www.slideshare.net)

2.2.2 Prinsip Kerja Motor Diesel

Prinsip kerja motor diesel adalah merubah energi kimia yang di dapatkan melalui proses rekasi kimia (pembakaran) dari bahan bakar (solar) dan oksidiser (udara) di dalam ruang bakar. Motor diesel dalam proses konversi energi menjadi suatu siklus yang berkelanjutan dimulai dari langkah hisap, kompresi, usaha/kerja dan buang. Saat langkah hisap udara masuk penuh ke ruang bakar atau silinder, pembakaran pada mesin diesel terjadi karena kenaikan temperatur campuran udara dan bahan bakar akibat kompresi torak hingga mencapai temperatur tinggi. Dengan terjadinya pembakaran tersebut tekanan dan temperatur akan meningkat dengan cepat, sehingga gas pembakaran mampu mendorong torak dari TMA ke TMB atau disebut langkah kerja. Tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan mendorong torak yang dihubungkan dengan poros engkol menggunakan batang torak, sehingga torak dapat bergerak bolak-balik (*reciprocating*). Gerak bolak-balik torak akan diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol (*crank shaft*). Kemudian yang terakhir adalah langkah buang yaitu gas sisa pembakaran dikeluarkan dan digantikan oleh udara baru, demikian proses berulang ini seterusnya berlangsung.

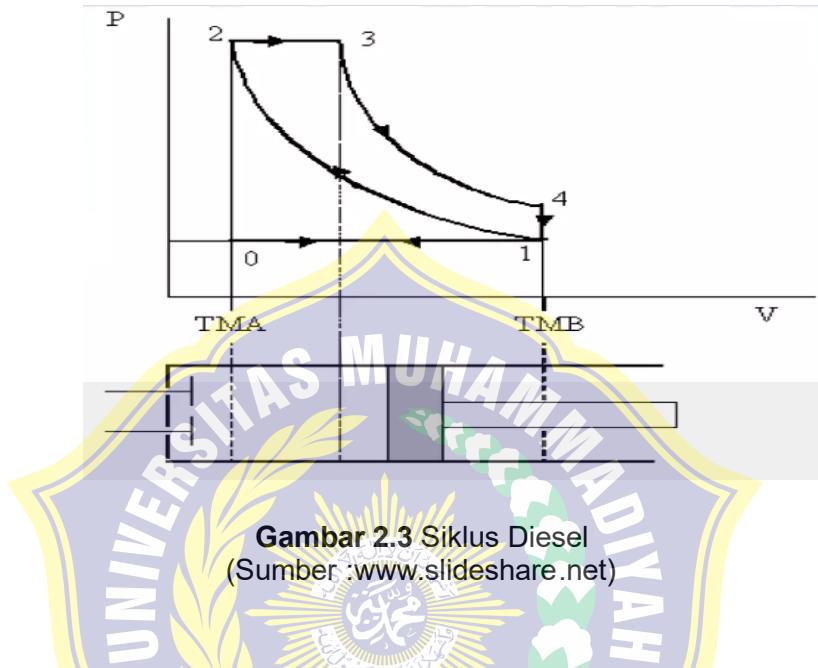


Gambar 2.2 Prinsip Kerja Motor Diesel

(Sumber : www.researchgate.net)

2.2.3 Siklus Diesel

Siklus motor diesel merupakan siklus udara pada tekanan konstan. Pada umumnya jenis motor bakar diesel dirancang untuk memenuhi siklus ideal diesel yaitu seperti siklus otto tetapi proses pemasukan kalornya dilakukan pada tekanan konstan. Siklus motor diesel bekerja dengan empat langkah dan dua kali putaran poros engkol, secara berturut-turut melalui langkah hisap, kompresi, usaha/kerja dan buang. Kerja per siklus ditentukan dengan mengukur luas diagram P vs V dari siklus yang sebenarnya. Diagram P vs V tersebut diperoleh sebagai hasil pengukuran tekanan gas di dalam silinder dengan mempergunakan alat ukur, diagram tersebut dinamai kerja indicator (W_i). Tekanan efektif rata-ratanya dinamai tekanan efektif rata-rata indikator (P_i rata-rata). Siklus ini dapat di gambarkan dengan grafik P – V seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Siklus Diesel
(Sumber :www.slideshare.net)

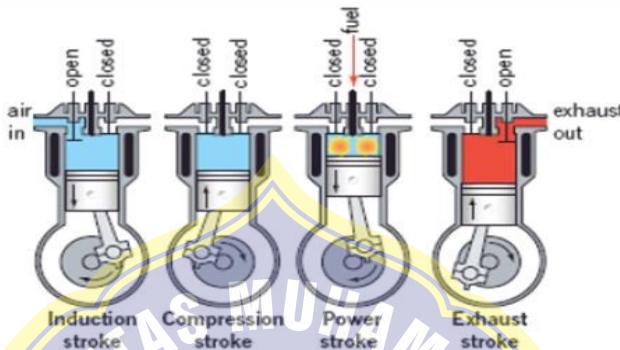
Dari gambar diatas dapat diperjelas dengan keterangan sebagai berikut:

- 0 – 1: Langkah Hisap pada $P = c$ (isobaric).
- 1 – 2: Langkah Kompresi, P bertambah, $Q=c$ (isentropik / adiabatik).
- 2 – 3: Pembakaran, pada tekanan tetap (isobarik).
- 3 – 4: Langkah kerja (isentropik / adiabatik).
- 4 – 1: Pengeluaran kalor sisa pada $V=c$ (isokhorik).
- 1 – 0: Langkah Buang pada $P=c$.

2.2.4 Motor Diesel 4 Langkah

Pada motor diesel empat langkah untuk satu kali siklus kerja secara lengkap, torak harus melakukan empat langkah

kerja dan dua kali putaran poros engkol. Berikut mekanisme kerja motor diesel empat langkah:



Gambar 2.4 Kerja Motor Diesel 4 Langkah
(Sumber : www.engihub.com)

Dimana keterangannya:

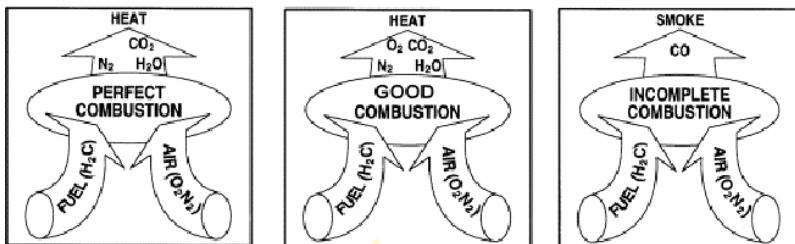
- Langkah hisap (*Intake Stroke*), disini hanya udara segar yang diisap masuk ke dalam silinder. Dimana Piston (torak) bergerak dari TMA ke TMB, katup masuk membuka dan katup buang tertutup.
- Langkah kompresi (*Compression Stroke*), Poros engkol berputar, kedua katup tertutup rapat, piston (torak) bergerak dari TMB ke TMA. Udara murni yang terhisap ke dalam silinder saat langkah hisap, dikompresi sehingga tekanan dan suhunya naik.
- Langkah pembakaran (*Power Stroke*), Pada saat posisi torak mencapai TMA, *injector* (penyemprot bahan bakar) menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar. Bahan bakar yang diinjeksikan dengan tekanan tinggi akan membentuk partikel-partikel kecil (kabut) yang akan menguap dan terbakar dengan cepat karena adanya temperatur ruang

bakar yang tinggi. Proses pembakaran ini menghasilkan tekanan balik kepada piston sehingga piston akan ter dorong ke bawah beberapa saat setelah mencapai TMA sehingga bergerak dari TMA ke TMB.

- d. Langkah buang (*Exhaust Stroke*), dimana katup buang terbuka dan piston bergerak dari TMB ke TMA. Karena adanya gaya kelembaman yang dimiliki oleh roda gaya (*fly wheel*) yang seporos dengan poros engkol, maka saat langkah usaha berakhir, poros engkol tetap berputar. Hal tersebut menyebabkan torak bergerak dari TMB ke TMA. Karena katup buang terbuka, maka gas sisa pembakaran ter dorong keluar oleh Gerakan torak dari TMB ke TMA.

2.2.5 Teori Pembakaran

Pada motor bakar, proses pembakaran merupakan reaksi kimia yang berlangsung sangat cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang menimbulkan panas sehingga mengakibatkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi. Kebutuhan oksigen untuk pembakaran diperoleh dari udara yang memerlukan campuran antara oksigen dan nitrogen, serta beberapa gas lain dengan persentase yang relatif kecil dan dapat diabaikan. Reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen yang diperoleh dari udara akan menghasilkan produk hasil pembakaran yang komposisinya tergantung dari kualitas pembakaran yang terjadi. Dalam pembakaran proses yang terjadi adalah oksidasi dengan reaksi sebagai berikut:



Gambar 2.5 : Proses Pembakaran
 (Sumber : eprints.undip.ac.id)

Pembakaran di atas dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, hingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran “lean” (kurus), pembakaran ini menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran “rich” (kaya), pembakaran ini menghasilkan api reduksi.

Dalam pembakaran, ada pengertian udara primer yaitu udara yang dicampurkan dengan bahan bakar di dalam *burner* (sebelum pembakaran) dan udara sekunder yaitu udara yang dimasukkan dalam ruang pembakaran setelah *burner*, melalui ruang sekitar ujung *burner* atau melalui tempat lain pada dinding dapur. Berat massa bahan yang masuk ruang pembakaran = berat massa bahan yang keluar.



Gambar 2.6 : Skema Sistem Penyaluran Bahan Bakar sampai Menjadi Gas Buang (Sumber : eprints.undip.ac.id)

$$(a + b) = (c + d + e)$$

a = berat bahan kering + air (kelembaban).

b = berat udara + uap air yang terkandung dalam udara.

Air dalam d dan e = (air yang terkandung dalam bahan bakar) + (air dari kelembaban udara) + (air yang terbentuk dari reaksi pembakaran).

Supaya dihasilkan pembakaran yang baik, maka diperlukan syarat-syarat sebagai berikut:

1. Jumlah udara yang sesuai
2. Temperatur yang sesuai dengan penyalakan bahan bakar
3. Waktu pembakaran yang cukup
4. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan api dalam silinder.
5. Reaksi pembakaran baik bahan bakar solar maupun bahan bakar metanol merupakan reaksi oksidasi antara senyawa hidrokarbon dengan oksigen sehingga dihasilkan produk berupa karbon dioksida, uap air,

oksida nitrogen atau produk lainnya tergantung pada kualitas pembakaran.

Produk pembakaran campuran udara-bahan bakar dapat dibedakan menjadi:

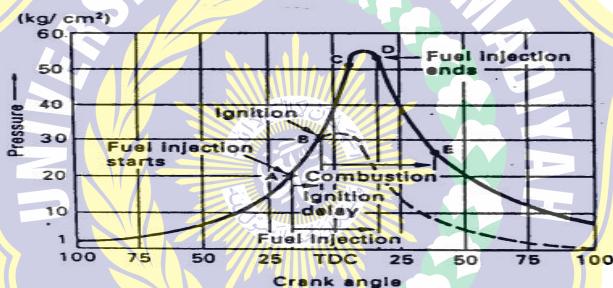
1. Pembakaran sempurna (pembakaran ideal)
Setiap pembakaran sempurna menghasilkan karbon dioksida dan air. Peristiwa ini hanya dapat berlangsung dengan perbandingan udara-bahan bakar stoikiometris dan waktu pembakaran yang cukup bagi proses ini.
2. Pembakaran tak sempurna
Peristiwa ini terjadi bila tidak tersedia cukup oksigen. Produk pembakaran ini adalah hidrokarbon tak terbakar dan bila sebagian hidrokarbon terbakar maka aldehyde, ketone, asam karbosiklis dan sebagian karbon monoksida menjadi polutan dalam gas buang.
3. Pembakaran dengan udara berlebihan
Pada kondisi temperatur tinggi nitrogen dan oksigen dari udara pembakaran akan bereaksi dan akan membentuk oksida nitrogen (NO dan NO₂).

2.2.6 Proses Pembakaran Diesel

Proses pembakaran mesin diesel dibagi menjadi 4 periode:

1. Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (ignition delay) (A-B) Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, karena partikel-partikel bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara di dalam silinder agar mudah terbakar.
2. Periode 2: Perambatan api (B-C) Pada periode 2 ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder

- naik. Periode ini sering disebut pembakaran letup.
3. Periode 3: Pembakaran langsung (C-D) Akibat nyala api dalam silinder, maka bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar. Pembakaran langsung ini dapat dikontrol dari jumlah bahan bakar yang di injeksikan, sehingga periode ini sering disebut periode pembakaran dikontrol.
 4. Periode 4: Pembakaran lanjut (D-E) Injeksi berakhir di titik D, tetapi bahan bakar belum terbakar semua. Jadi walaupun injeksi telah berakhir, pembakaran masih tetap berlangsung. Bila pembakaran lanjut terlalu lama, temperatur gas buang akan tinggi menyebabkan efisiensi panas turun.



Gambar 2.7 Proses Pembakaran Mesin Diesel

(Sumber: www.perumperindo.co.id)

2.3 Jenis Bahan Bakar Diesel

1. Pertamina Dex

Diesel jenis Pertamina Dex merupakan pengolahan bahan bakar dengan angka setana yang tinggi, yakni 53. Angka tersebut sesuai dengan angka standar internasional yang telah ditetapkan di berbagai negara, bahkan melebihi nilai minimum yang telah ditetapkan.

Dengan angka setana 53, Pertamina Dex dipercaya mampu meningkatkan tenaga dan kinerja mesin. Selain itu, tingkat kemurniannya yang tinggi juga mampu menjaga lingkungan dengan emisi gas buang yang rendah. Selain emisi rendah dan tenaga yang lebih kuat, Pertamina Dex memiliki pembakaran yang lebih sempurna. Sehingga, menghasilkan suara mesin yang jauh lebih halus. Tingkat kandungan sulfur pada Pertamina Dex juga tergolong rendah. Sehingga dapat mencegah percepatan korosi tangki bahan bakar dan saluran bahan bakar menuju mesin.

2. Dexlite

Sedikit berbeda dengan Pertamina Dex, Dexlite mempunyai nilai setana pada angka 51. Dexlite merupakan hasil olahan destilasi minyak bumi yang dicampur dengan minyak nabati sebesar 30%. Meskipun dicampur dengan minyak nabati, Dexlite mempunyai tenaga yang besar. Dexlite merupakan penerapan dari program Pertamina untuk mengurangi penggunaan minyak bumi pada kendaraan dan industri. Oleh sebab itu, Pada penggunaanya, Dexlite saat ini banyak digunakan pada mesin diesel dengan putaran tinggi, seperti pada sektor pertambangan, perkapalan, kendaraan pribadi, dll.

3. Solar

Solar adalah hasil pengolahan diesel dari pertamina yang memiliki angka setana minimum, yakni hanya pada angka 48. Selain memiliki angka setana yang lebih rendah, solar juga mengandung kandungan sulfur yang lebih tinggi dibandingkan dengan dexlite ataupun pertamina dex. Biasanya solar sering digunakan sebagai bahan bakar angkutan umum dan kendaraan logistik. Seperti bus dan truk.

2.3.1 Karakteristik Solar

Sebagai bahan bakar tentunya solar memiliki karakteristik tertentu sama halnya dengan jenis bahan bakar lainnya. Berikut karakteristik yang dimiliki fraksi solar:

- Tidak berwarna atau terkadang berwarna kekuning-kuningan dan berbau.
- Tidak akan menguap pada temperatur normal.
- Memiliki kandungan sulfur yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bensin dan kerosen
- Memiliki flash point (titik nyala) sekitar 40°C - 100°C.
- Terbakar spontan pada temperatur 300°C.

Pada umumnya solar digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermesin diesel ataupun peralatan-peralatan industri lainnya. Agar menghasilkan pembakaran yang baik, solar memiliki syarat-syarat agar memenuhi standar yang telah ditentukan. Berikut persyaratan yang menentukan kualitas solar:

- Mudah terbakar.
- Tidak mudah mengalami pembekuan pada suhu yang dingin.
- Memiliki sifat anti knocking dan membuat mesin bekerja dengan lembut.
- Solar harus memiliki kekentalan yang memadai agar dapat disemprotkan oleh ejector di dalam mesin.
- Tetap stabil atau tidak mengalami perubahan struktur, bentuk dan warna dalam proses penyimpanan.
- Memiliki kandungan sulfur sekecil mungkin, agar tidak berdampak buruk bagi mesin kendaraan serta tidak menimbulkan polusi.

2.3.2 Sifat-Sifat Bahan Bakar Minyak Solar

Diantara sifat-sifat bahan bakar solar yang terpenting ialah kualitas penyalaan, volatilitas, viskositas, titik tuang dan titik kabut.

a. Kualitas penyalaan

Kualitas bahan bakar solar dinyatakan dalam angka cetan, dan dapat diperoleh dengan jalan membandingkan kelambatan menyala bahan bakar solar dengan kelambatan menyala bahan bakar pembanding (reference fuels) dalam mesin uji baku CFR (ASTM D 613-86).

b. Volatilitas

Makin tinggi titik didih atau makin berat bahan bakar diesel, makin tinggi nilai kalor untuk setiap galonnya dan makin diinginkan dari segi ekonomi. Tetapi hidrokarbon berat merupakan sumber asap dan endapan karbon serta dapat mempengaruhi operasi mesin. Sehingga bahan bakar diesel harus mempunyai komposisi yang berimbang antara fraksi ringan dan fraksi berat agar diperoleh volatilitas yang baik.

c. Viskositas

Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar minyak akan menumbuk dinding dan membentuk karbon atau mengalir menuju ke karter dan mengencerkan minyak karter.

d. Titik tuang dan titik kabut

Bahan bakar solar harus dapat mengalir dengan bebas pada suhu atmosfer terendah dimana bahan bakar ini digunakan. Suhu terendah dimana bahan bakar solar masih dapat mengalir disebut titik tuang. Pada suhu sekitar 10° F diatas titik tuang, bahan bakar solar dapat berkabut dan hal ini disebabkan oleh pemisahan kristal

malam yang kecil-kecil. Suhu ini dikenal dengan nama titik kabut. Karena kristal malam dapat menyumbat saringan yang digunakan dalam sistem bahan bakar mesin diesel, maka seringkali titik kabut lebih berarti dari pada titik tuang.

e. Sifat-sifat lain

Sifat-sifat bahan bakar solar lainnya yang perlu juga diperhatikan ialah kebersihan, kecenderungan bahan bakar untuk memberikan endapan karbon dan kadar belerang. Bahan bakar solar harus bebas dari kotoran seperti air dan pasir. Adanya pasir yang sangat halus yang terikut bahan bakar solar dapat mengakibatkan keausan bagian injektor bahan bakar. Kadar abu dalam bahan bakar merupakan ukuran sifat abrasi bahan bakar.

2.4 Emisi Gas Buang

Zat-zat sisa dari pembakaran bahan bakar yang terjadi di mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) disebut sebagai Emisi Gas Buang. Emisi tersebut berkontribusi menghasilkan berbagai jenis senyawa berbahaya, baik untuk lingkungan maupun kesehatan manusia. Diantaranya adalah Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Karbon Dioksida (CO₂), Oksida Nitrogen (NOx), Sulfur Oksida (SOx), zat debu timbal (Pb) dan partikulat. Partikulat debu yang dihasilkan dari pembakaran kendaraan bermotor adalah campuran kompleks dari senyawa organik dan anorganik yang terbentuk selama proses pembakaran bahan bakar (Akasah dkk., 2024).

2.4.1 Kandungan Emisi Gas Buang

Pada gas buang motor diesel mengandung komponen-komponen yang membahayakan sebagaimana berikut :

1. Senyawa Karbon Monoksida (CO)

Senyawa CO terbentuk ketika bahan bakar organik terbakar tidak sempurna. Gas CO merupakan pembunuh tersembunyi (*the silent killer*) yang tidak berwarna, tidak berbau, namun bersifat racun, dan merupakan polutan utama dari emisi kendaraan bermotor yang berdampak buruk bagi kesehatan manusia (Rambing dkk., 2022).

2. Senyawa Hidrokarbon (HC)

Senyawa HC ini merupakan Emisi yang timbul karena bahan bakar kendaraan yang belum terbakar tetapi sudah keluar bersama gas buang menuju atmosfer. Hal ini terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna, dimana bahan bakar tidak terbakar habis. Ketidaksesuaian antara jumlah udara dan bahan bakar yang masuk ke mesin menjadi penyebabnya. Semakin tinggi putaran mesin dan semakin buruk pembakarannya, sehingga semakin banyak juga hidrokarbon yang terbuang, kadar HC yang besar disebabkan oleh kandungan bahan bakar terlalu kecil sehingga pembakaran tidak sempurna (Amir & Effendi, 2021). Gas HC dapat menyebabkan iritasi pada mata, mengganggu sistem pernafasan dan dalam jangka panjang bisa meningkatkan resiko kanker paru-paru.

3. Senyawa Karbon Dioksida (CO₂)

Senyawa CO₂ Adalah senyawa yang tidak berwarna dan tidak berbau, ketika dihirup pada konsentrasi yang lebih tinggi dari konsentrasi karbondioksida di atmosfer maka akan terasa asam di mulut serta menyengat di hidung dan tenggorokan. Zat ini dapat mengakibatkan kurangnya konsentrasi, sakit kepala, peningkatan tekanan darah serta gangguan pendengaran.

4. Oksigen (O₂)

Oksigen adalah unsur penting dalam proses

pembakaran bahan bakar di mesin kendaraan. Ketersediaan oksigen dibutuhkan agar pembakaran dapat berjalan dengan sempurna, sehingga menghasilkan energi secara maksimal dan emisi gas buang yang lebih ramah lingkungan. Namun, jika kadar oksigen dalam gas buang terlalu tinggi, hal ini menunjukkan bahwa pembakaran tidak berjalan dengan efisien karena campuran bahan bakar terlalu sedikit (campuran miskin), yang pada akhirnya dapat menyebabkan peningkatan emisi hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) (Machmud dkk., 2021).

5. Nitrogen Oksida (NO_x)

Adalah senyawa gas yang terdapat di udara bebas (atmosfer) yang sebagian besar terdiri atas nitrit oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) serta berbagai jenis oksida dalam jumlah yang lebih sedikit. Kedua macam gas tersebut mempunyai sifat yang sangat berbeda dan keduanya sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas NO yang mencemari udara secara visual sulit diamati karena gas tersebut tidak berwarna dan tidak berbau. Sedangkan gas NO_2 bila mencemari udara mudah diamati dari baunya yang sangat menyengat dan warnanya merah kecoklatan. Sifat Racun (toksisitas) gas NO_2 empat kali lebih kuat dari pada toksisitas gas NO . Dampak dari NO_2 dapat menimbulkan gangguan sistem pernafasan seperti lemas, batuk, sesak nafas, *bronchopneumonia*, *edema paru* *cyanosis* serta *methemoglobinemia*.

5. Kabut Asap (Smoke)

Gas ini berupa asap yang dapat mengganggu pandangan karena kehitaman dan kepekatan asapnya, juga bersifat karsinogenis (penyebab kanker), mengurangi fungsi ozon menahan sinar inframerah matahari yang dapat meningkatkan kematian.

2.4.2 Kepekatan Asap Emisi Gas Buang (Opacity)

Opasitas adalah kemampuan asap merekam cahaya disebut opasitas atau kepekatan asap. Komponen ini digunakan sebagai indikasi kadar racun partikulat dalam gas buang. Opasitas juga digunakan sebagai bahan untuk analisis proses kondisi pembakaran didalam mesin. Selain itu dengan menggunakan indikasi warna asap yang berbeda – beda, akan mempermudah dalam menganalisis kinerja mesin dan mengidentifikasi komponen mesin mana yang perlu perbaikan. Kepekatan asap adalah kemampuan asap untuk meredam cahaya, apabila cahaya tidak bisa menembus asap maka kepekatan asap tersebut dinyatakan 100%, apabila cahaya bisa menembus asap maka kepekatan asap tersebut dinyatakan sebagai 0% (nol persen).

2.4.3 Dampak Emisi Gas Buang

Dampak emisi gas buang kendaraan diesel sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan, dampak emisi dapat menyebabkan penyakit pernafasan dan juga polusi udara. PM, CO, dan HC adalah senyawa berbahaya yang ditemukan dalam emisi gas buang mesin diesel. Namun, pada kendaraan diesel PM atau opasitas ini dianggap yang paling berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Partikulat PM berukuran $10 \mu\text{m}$ terdiri dari 80,5% karbon. Menurut (Zannaria dkk., 2009) ukuran partikulat yang dapat masuk ke dalam sistem respirasi adalah kurang dari $10 \mu\text{m}$ dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. Ukuran $5 - 10 \mu\text{m}$ akan mudah tersaring secara fisik oleh rambut-rambut halus dalam rongga hidung.
- b. Ukuran $2 - 5 \mu\text{m}$ akan terendapkan di alveoli
- c. Ukuran $< 2 \mu\text{m}$ akan mudah masuk ke dalam saluran respirasi dan akan mudah keluar kembali bersama udara ekspirasi.

Jika manusia menghirup PM ini, senyawa tersebut dapat mengendap di paru-paru, menyebabkan flek hitam dan mengganggu fungsi (Muliatna & Wijanarko, 2017). Pengukuran opasitas dapat digunakan untuk menilai seberapa banyak cahaya yang terhalang oleh partikel-partikel di udara, yang sering kali berkaitan dengan konsentrasi partikulat mater. Opasitas merupakan polutan berwarna hitam yang mengandung unsur karbon, diperoleh dari proses pembakaran pada mesin diesel. Polutan ini sangat berbahaya bagi lingkungan, sehingga penting untuk mengendalikan tingkat opasitas pada mesin diesel.

2.4.4 Ambang Batas Emisi Gas Buang

Setiap item pengujian kendaraan bermotor memiliki ambang batas yang sudah diterapkan. Hal ini bertujuan untuk mengukur kelaikan kendaraan atau di nyatakan lulus dari item pengujian tersebut. Ambang batas untuk kendaraan dengan mesin otto/bensin dan mesin diesel adalah sebagai berikut (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8, 2023) :

Tabel 2.2 Ambang Batas Emisi Gas Buang

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter			Metode Uji
		CO	HC	Opacity (%)	
Berpenggerak motor bakar cetus api (bensin)					
Kategori N dan Kategori O	<2007	4%	1100 ppm	-	Idle
	2007-2018	1%	200 ppm		
	>2018	0,5%	150 ppm		

Berpenggerak motor bakar penyalaan kompresi (diesel)				
GVW ≤ 3.5 Ton	<2010	-	65% HSU	Percepatan Bebas
	2010-2021		40% HSU	
	>2021		30% HSU	

(Sumber : PM Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8
Tahun 2023)

2.4.5 Tata Cara Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

- Prinsip

Pengujian akselerasi bebas dengan cara melewatkkan gas buang kendaraan bermotor pada sebuah tabung asap pada alat *Smoke Tester*, kemudian nilai opasitas asap dibaca alat dengan metoda penyerapan cahaya (*light absorption*).
- Peralatan
 - Smoke Tester*
 - Alat ukur temperature oli
 - Alat ukur putaran mesin
 - Alat ukur temperature lingkungan
- Persiapan kendaraan uji
 - Kendaraan yang diukur harus diparkir pada posisi datar
 - Pipa gas buang tidak bocor
 - Temperature oli normal kisaran (60° -70°) Celcius
 - System aksesoris (AC, tape, lampu) dalam kondisi mati.
 - Kondisi tempat kerja (20°-35°) Celsius
- Persiapan Peralatan Alat Uji *Smoke Tester*
 - Pastikan alat dalam kondisi sudah terkalibrasi
 - Hidupkan sesuai prosedur oprasional alat uji
- Pengukuran dan pencatatan
 - Persiapkan kendaraan uji sesuai prosedur diatas
 - Siapkan alat uji sesuai dengan langkah diatas

- c) Naikkan rpm secara perlahan sampi kondisi pedal gas mencapai maksimal dan tahan 60 detik selanjutnya kembalikan lagi dalam kondisi idle
- d) Masukkan probe alat uji kedalam pipa gas buang sedalam 30 cm
- e) Injak gas secara maksimum (full throttle) secepatnya sehingga mencapai putaran mesin maksimum selanjutnya tahan 1 hingga 4detik. Lepas pedal gas dan tunggu putaran mesin menjadi stationer.
- f) Catat hasil prosentase rata-rata dari proses uji emisi tersebut

2.5 Beban Muatan

Beban atau muatan adalah berat benda yang di angkut oleh kendaraan angkutan barang yang berupa orang atau benda yang bersifat tetap. Beban barang terdiri dari barang umum dan barang berbahaya. Untuk jumlah muatan yang dibawa kendaraan harus sesuai dengan jumlah berat yang diizinkan (JBI) masing-masing kendaraan. JBI adalah berat maksimum Kendaraan Bermotor berikut muatannya yang diizinkan berdasarkan kelas jalan yang dilalui (Peraturan Pemerintah Nomor 55, 2012). Semakin berat muatan yang di angkut kendaraan, emisi yang dihasilkan juga semakin besar (Wahyudi dkk., 2013).

Dalam praktiknya, *Over Dimension Over Load* (ODOL) dianggap sangat merugikan pemerintah dan masyarakat. Selama ini kendaraan yang kelebihan muatan atau kelebihan beban (*overload*) hanya dikaitkan dengan dampak pada struktur jalan, kemacetan lalu lintas, dan layanan jalan, serta tidak berhubungan dengan dampak jangka panjang.

Pada motor bakar torak, daya yang berguna ialah daya poros, karena poros itulah yang menggerakkan beban. Daya

poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator yang merupakan daya gas pembakaran yang menggerakkan torak. Sebagian daya indikator dibutuhkan untuk mengatasi gesekan mekanik, misalnya gesekan antara torak dan dinding silinder dan gesekan antar poros dan bantalannya. Di samping itu, daya indikator harus pula menggerakkan beberapa aksesoris seperti pompa pelumas, pompa air pendingin, pompa bahan bakar, dan generator (Arimunandar, 2005).

Dengan demikian besar daya poros itu adalah :

$$Ne = \frac{Tn}{716,2} \quad \text{atau} \quad T = 716,2 \frac{Ne}{n} \quad 2-1$$

Keterangan :

Ne = Daya Poros (PS)

T = Momen putar (m.kg)

n = putaran poros engkol per menit

Semakin tinggi beban membutuhkan daya dan torsi yang lebih besar untuk menaikkan Ne dan T membutuhkan kenaikan putaran. Dimana semakin tinggi putaran, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan semakin besar. Hal ini yang mempengaruhi terhadap emisi gas buang.

Hasil pengukuran emisi gas buang kendaraan yang diukur dengan alat uji gas analyzer terdapat perubahan yang signifikan, baik dengan variasi muatan maupun kecepatan. Hal ini menunjukkan bahwa variabel muatan dan variasi kecepatan mempengaruhi hasil pengujian emisi. Tidak hanya kandungan CO yang mengalami perubahan tetapi juga kandungan HC. Kenaikan nilai emisi pada tiap kecepatannya disebabkan adanya penambahan jumlah campuran bahan bakar dan udara baru akibat kenaikan putaran mesin di dalam proses untuk

meningkatkan daya, sehingga pembakaran sempurna tidak tercapai. Jika diperhatikan dari hasil percobaan dengan muatan cenderung menyebabkan kandungan hidrokarbon (HC) meningkat secara signifikan. Peningkatan beban pada uji emisi selaras dengan meningkatnya emisi gas buang kendaraan (Gunawan dkk., 2023).

2.6 Speedometer Tester

Speedometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan kendaraan, alat ini bersifat untuk membantu pengemudi mengendalikan kecepatan agar sesuai dengan batas yang ditentukan, sehingga dapat mencegah kecelakaan di jalan (Sulistyo dkk., 2022). Prosedur penggunaan speedometer tester yaitu dengan memposisikan kendaraan di atas roller roda penggerak kemudian roller tersebut di putar oleh roda hingga kecepatan 40km/jam. Hasil dari pengujian lalu di tentukan apakah kendaraan tersebut lulus atau tidak. Ambang batas speedometer yaitu -10% dan +15% di ukur dengan kecepatan 40 km/jam.