

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Gokart 125 CC

Gokart merupakan kendaraan roda empat berukuran kecil yang dirancang kompleks dan digunakan untuk keperluan balap, rekreasi, pertanian maupun penelitian teknik. Gokart memiliki konstruksi sederhana dengan komponen utama berupa rangka (*chassis*), mesin, sistem transmisi, sistem kemudi, dan sistem pengereman dan sistem suspensi. Umumnya, gokart menggunakan mesin berkapasitas kecil, seperti mesin motor bensin 4 langkah dengan kapasitas antara 110 cc hingga 150 cc, termasuk 125 cc yang banyak digunakan karena ketersediaannya di pasaran serta kemudahan dalam perawatan. (Refli dkk., 2021).

Karakteristik utama gokart 4 langkah adalah efisiensi bahan bakar dan umur mesin yang lebih panjang dibanding mesin 2 langkah, Hal ini karena proses pembakaran pada mesin 4 langkah lebih sempurna dan tidak mencampur oli dengan bahan bakar. Mesin 4 langkah sering dipilih untuk penggunaan rekreasi atau pemula karena lebih mudah dikendalikan dan tidak terlalu agresif. Dibandingkan mesin 2 langkah yang memiliki akselerasi tinggi, mesin 4 langkah memberikan tenaga yang lebih halus dan stabil, sehingga cocok untuk di aplikasikan pada rangka gokart (Yudistirani dkk., 2019).



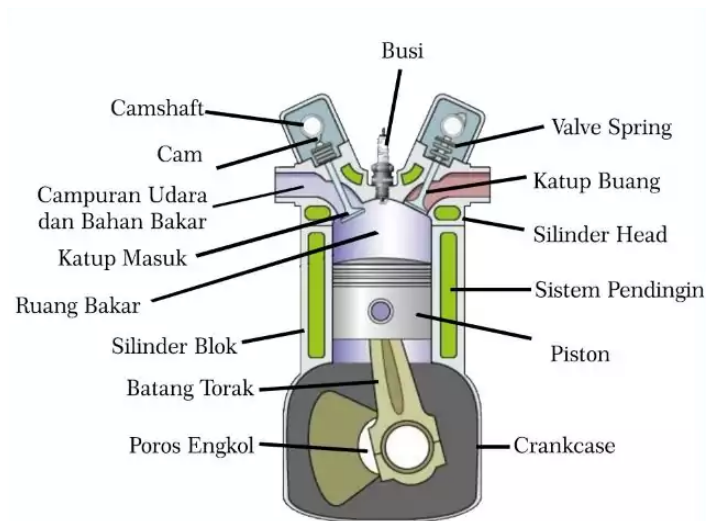
Gambar 2.1 gokart 125 cc
Sumber: (Jordan, 2025)

2.2 Prinsip Kerja Motor Bakar

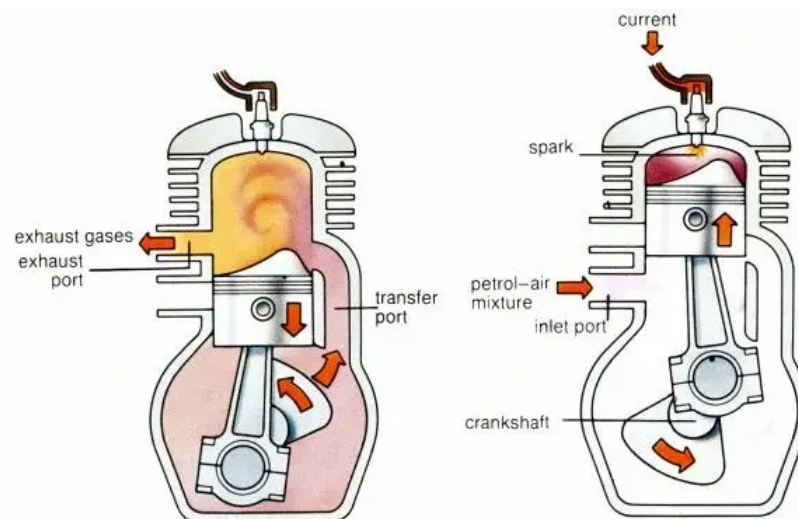
Motor bakar merupakan jenis penggerak yang banyak dipakai dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi dalam motor bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya. Motor bakar dapat dibedakan menjadi dua, yaitu motor pembakaran dalam dan motor pembakaran luar. Mesin bensin pada umumnya udara dan bahan bakar dicampur sebelum masuk ke ruang bakar, sebagian kecil mesin bensin modern mengaplikasikan injeksi bahan bakar langsung ke silinder ruang bakar termasuk mesin bensin 2 tak untuk mendapatkan emisi gas buang yang ramah lingkungan. Proses pencampuran udara dan bahan bakar dilakukan oleh karburator atau sistem injeksi, keduanya mengalami perkembangan dari sistem manual sampai dengan penambahan sensor-sensor elektronik. Sistem Injeksi Bahan bakar di motor

otto terjadi diluar silinder, tujuannya untuk mencampur udara dengan bahan bakar seproporsional mungkin (Tetelepta, 2023).

Motor empat langkah merupakan motor yang membutuhkan dua kali putaran poros engkol untuk menyelesaikan satu kali siklus didalam silinder. Dengan kata lain, setiap silinder membutuhkan empat langkah torak pada dua putaran poros engkol untuk melengkapi siklusnya, Diawali dengan posisi torak di titik mati atas dan berakhir dengan posisi torak di titik mati bawah, yang mana menghisap campuran segar kedalam silinder. Untuk meningkatkan masa campuran yang dihisap, katup masuk terbuka sesaat sebelum langkah hisap dimulai dan ditutup setelah berakhirnya langkah tersebut, Ketika kedua katup tertutup dimana campuran didalam silinder dimanpatkan dan volumenya diperkecil. Menjelang akhir langkah kompresi, pembakaran diaktifkan dan tekanan silinder naik dengan cepat, Ketika torak mendekati titik mati bawah, katup buang terbuka untuk mengawali proses buang dan tekanan silinder turun mendekati tekanan buang. Dimana sisa gas yang dibakar keluar dari silinder disebabkan tekanan silinder yang pada hakikatnya lebih tinggi dibanding tekanan buang. Gas kemudian didorong keluar oleh torak ketika bergerak kearah titik mati atas. Ketika torak mendekati titik mati atas, katup masuk terbuka Sesaat setelah titik mati atas, katup buang menutup dan siklus, Sedangkan daya efektif atau daya usaha adalah daya yang berguna sebagai penggerak atau daya poros (Susilo, 2018).



Gambar 2.2 Prinsip kerja motor bakar 4 langkah
Sumber : (Gusthia, 2023).



Gambar 2.3 Prinsip kerja motor bakar 2 langkah
Sumber : (Otomotif, 2022)

2.3 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu material yang bisa diubah menjadi energi dengan cara membakar bahan bakar tersebut karena menyimpan energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran dimana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen dari udara. Kinerja sebuah kendaraan bermotor terpengaruh dari beragam hal, misalnya penggunaan tipe bahan bakarnya. Bahan bakar sendiri berkaitan pada nilai oktan, dimana nilai ini memperlihatkan sebesar apa tekanan yang dapat diberi sebelum bahan bakar dengan spontan terbakar. Pada bahan bakar pertamax terdapat 92 % iso-oktan dan 8% n-heptana. Sedangkan angka oktan premium adalah 90, Artinya dalam bahan bakar berjenis pertalite terdapat 90% iso-oktan dan 12% n-heptana, dimana semakin tinggi angka oktan mutu bensin akan semakin baik (Nasution, 2022).

Bahan bakar minyak berjenis pertamax merupakan bahan bakar ramah lingkungan (unleaded) beroktan tinggi hasil penyempurnaan produk Pertamina sebelumnya, Formula barunya yang terbuat dari bahan baku berkualitas tinggi memastikan mesin kendaraan bermotor berkerja dengan baik, dan lebih bertenaga "*knock free*", rendah emisi dan memungkinkan menghemat pemakaian bahan bakar. Pertamax bertujuan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan baku beroktan tinggi dan tanpa timbal (*unleaded*). Penggunaan bahan bakar jenis pertamax terbukti menghasilkan emisi gas buang yang lebih baik. Emisi gas buang yang lebih baik ini alias rendah ini bisa diperoleh berkat penyempurnaan proses pembakaran yang terjadi, Sifat bahan bakar Pertamax yang

lebih sulit untuk terbakar membuat penggunaannya di dalam ruang bakar menjadi lebih efisien, hingga berdampak pada emisi gas buang yang lebih rendah (Hanafiah, 2018).

Selain manfaat untuk mesin dan performa kendaraan, Pertamax juga memiliki manfaat positif bagi lingkungan. Pembakaran bahan bakar berkualitas tinggi, menghasilkan emisi yang lebih rendah daripada bensin dengan bilangan oktan yang lebih rendah. Bahan bakar berkualitas tinggi seperti Pertamax dapat membantu mengurangi emisi karbon monoksida (CO) dan polutan lain yang merugikan lingkungan. Menurut penelitian oleh Azzahidah (2023). Sebagai bensin dengan nilai oktan tinggi, bahan bakar ini memiliki beberapa dampak positif pada mesin kendaraan:

1. Pembersihan Mesin: Zat aditif, seperti deterjen, membantu membersihkan bagian dalam mesin dari endapan, kerak, dan kotoran yang terbentuk selama proses pembakaran. Kebersihan ini berkontribusi pada performa yang lebih baik dan memperpanjang usia mesin.
2. Perlindungan dari Korosi: Zat aditif anti oksidan melindungi mesin dari korosi dan kerusakan akibat reaksi kimia yang tidak diinginkan dengan komponen mesin.
3. Pengurangan Emisi: Pembakaran yang lebih bersih dan efisien mengurangi emisi yang dilepaskan ke udara, sehingga berkontribusi pada upaya menjaga kualitas udara yang lebih baik dan lingkungan yang lebih sehat.

4. Pengurangan Karbonisasi: Penggunaan bensin berkualitas tinggi membantu mengurangi karbonisasi pada mesin, yang dapat mengurangi efisiensi dan menyebabkan masalah pada sistem bahan bakar.

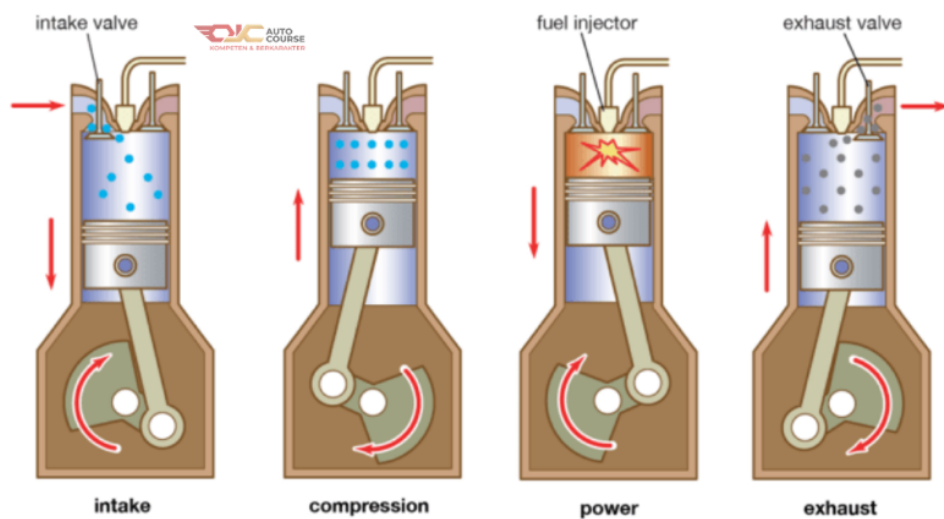


Gambar 2.4 Bahan bakar
Sumber : (Otomotif, 2025).

2.4 Proses Pembakaran

Proses pembakaran pada motor bakar terdiri dari beberapa tahapan penting yang melibatkan berbagai elemen dan reaksi kimia. Pada dasarnya, proses ini dimulai dengan penyemprotan bahan bakar ke dalam ruang bakar bersamaan dengan udara yang telah dihisap oleh motor. Di dalam ruang bakar, bahan bakar dan udara dicampur bersama, membentuk campuran yang dapat terbakar. Kemudian, campuran bahan bakar dan udara terkompresi oleh gerakan piston yang bergerak ke atas. Pada saat tercapai kompresi yang tepat, busi menyebabkan percikan api listrik yang menyulut campuran bahan bakar dan udara. Saat campuran terbakar, terjadi reaksi kimia yang melepaskan energi panas yang sangat tinggi. Energi panas ini memperluas gas di dalam ruang bakar dengan kecepatan tinggi,

mendorong piston ke bawah dengan kuat proses ini terjadi berulang-ulang selama operasi motor, menghasilkan gerakan kontinu yang diperlukan untuk menggerakkan kendaraan. Emisi gas buang terbentuk pada saat proses pembakaran berlangsung, emisi gas buang terjadi karena bahan bakar yang tidak terbakar sempurna pada ruang bakar, atau sisa proses pembakaran yang dibuang ke udara bebas melalui saluran buang kendaraan (Rauf, 2025).



Gambar 2.5 Proses pembakaran mesin 4 langkah
Sumber : (Tim, 2024).

2.5 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin, sedangkan proses pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidrokarbon di dalam bahan bakar untuk menghasilkan tenaga. Dalam reaksi yang sempurna, maka sisa hasil pembakaran adalah berupa gas buang yang mengandung karbon dioksida (CO_2), uap air (H_2O), Oksigen (O_2) dan Nitrogen (N_2). Dalam prakteknya, pembakaran yang terjadi di dalam mesin

kendaraan tidak selalu berjalan sempurna sehingga di dalam gas buang mengandung senyawa berbahaya seperti karbonmonoksida (CO), hidrokarbon (HC), Nitrogenoksida (NO_x) dan partikulat. Di samping itu untuk bahan bakar yang mengandung timbal dan sulfur, hasil pembakaran di dalam mesin kendaraan juga akan menghasilkan gas buang yang mengandung sulfurdoksida (SO₂) dan logam berat (Pb) (Winaryo, 2019).

Menurut Sudomo, (2017). Proses pembakaran bahan bakar dari kendaraan bermotor menghasilkan gas buang yang bersifat mencemari lingkungan sekitar dalam bentuk polusi udara. Secara teoritis gas buang mengandung unsur-unsur senyawa antara lain:

2. Emisi senyawa Hidro Carbon (HC)

Hidrokarbon (HC) merupakan unsur senyawa bahan bakar bensin, HC yang ada pada gas buang adalah dari senyawa bahan bakar yang tidak terbakar habis dalam proses pembakaran motor, HC diukur dalam satuan ppm (part permillion)

3. Emisi senyawa Carbon Monoksida (CO)

Gas karbon monoksida merupakan unsur gas yang relatif tidak stabil dan memiliki kecenderungan bereaksi dengan unsur yang lain, Carbon Monoksida sebenarnya bisa dengan mudah berubah menjadi Carbon Dioksida apabila tercampur dengan sedikit oksigen dan panas, jika rasio AFR pada mesin yang bekerja bisa tepat, emisi gas buang sistem injeksi pada ujung knalpot berkisar antara 0.5% - 1% sedangkan pada karburator sebesar 2.5%.

4. Emisi senyawa Carbon Dioksida (CO₂)

Banyaknya kandungan karbon dioksida yang keluar dari knalpot motor sebenarnya menunjukkan proses pembakaran di ruang bakar, jika kandungan semakin tinggi, maka artinya pembakaran semakin sempurna, jika AFR berada di angka ideal, emisi karbon dioksida akan berkisar antara 12% - 15%, namun jika AFR terlalu kurus atau kaya maka emisi CO₂ akan turun drastis, apabila CO₂ dibawah 12% maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukkan posisi AFR terlalu kaya atau kurus, sumber keluarnya CO₂ sendiri hanya ada di ruang bakar yang dipengaruhi CC, jika kadar CO₂ rendah namun kadar CO dan HC normal, artinya ada kebocoran pada knalpot.

5. Emisi senyawa Oksigen (O₂)

Konsentrasi O₂ di ruang bakar terbanding terbalik dengan CO₂, agar pembakaran sempurna kadar oksigen harus mencukupi untuk setiap molekul HC, bentuk ruang bakar yang melengkung sempurna akan mempengaruhi efisiensi pembakaran bahan bakar karena kondisi ini mempermudah bertemunya molekul bensin dan molekul udara. Untuk mengurangi emisi HC molekul oksigen harus diperbanyak untuk memastikan semua molekul bensin bisa bertemu molekul udara dalam AFR 14,7 : 1 ($\lambda = 1$) oksigen yang terkandung dalam gas buang berkisar antara 0.5% - 1%, normalnya konsentrasi oksigen dan gas buang adalah sekitar 12% atau lebih kecil hingga mendekati 0%.

6. Emisi senyawa Nox

Senyawa Nox sebenarnya tidak terlalu penting dalam diagnose mesin, pada dasarnya Nox merupakan ikatan kimia antara nitrogen dan oksigen, dalam

kondisi atmosphere normal, nitrogen merupakan gas inert yang sangat stabil dan tidak berikatan dengan unsur senyawa lainnya, namun saat mesin dalam kondisi panas, suhu tinggi dan tekanan tinggi akan mempengaruhi unsur nitrogen sehingga senyawa ini terpecah ikatannya dan tercampur dengan oksigen. Nox adalah senyawa yang tidak stabil, efeknya jika menjadi gas buang motor akan berikatan dengan oksigen di udara bebas sehingga membentuk kandungan NO₂, kandungan ini mengandung racun dan jika bercampur air akan menjadi asam nitrat yang sangat berbahaya jika dihirup manusia.

Emisi gas buang kendaraan bermotor tersebut memiliki dampak negatif terhadap kesehatan, emisi gas buang yang mengandung berbagai macam zat dapat menyebabkan iritasi dan pengotoran saluran pernafasan pada paru-paru. Hal ini dapat disebabkan oleh sulfur, NO_x, Ozon dan komponen lain. Dalam waktu yang relatif cukup lama, kondisi tersebut akan berkembang dan dapat mengakibatkan bronchitis, gangguan paru-paru dan pneumonia, gas buang kendaraan dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi timah dalam darah yang menyebabkan penurunan kemampuan absorbs oksigen (Wakhid, 2018).

Sumber dan Standar batas ambang Emisi Gas Buang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Ambang Batas Emisi Gas Buang

Kategori	Tahun pembuatan	Parameter		Metode uji
		Karbon Monoksida (CO)	Hidrokarbon (HC)	
Sepeda motor 2 langkah	< 2010	4.5%	6000ppm	Kondisi diam (Idle)
Sepeda motor 4 langkah	< 2010	5.5%	2200ppm	
Sepeda motor (2 dan 4 langkah)	2010 - 2016	4%	1800ppm	
	> 2016	3%	1000ppm	

Sumber : (LHK, 2023).

2.6 Karbon Monoksida (CO)

Karbon Monoksida (CO) merupakan senyawa gas beracun yang terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna dalam proses kerja motor, Karbon monoksida terbentuk pada suhu di atas 192°C . Di dalam udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi CO_2 (karbon dioksida). Berasal dari kendaraan bermotor 93%, power generator 7%, terutama tempat sumbernya adalah pada kendaraan disaat idling. Umumnya CO tidak menimbulkan masalah terhadap kesehatan pada konsentrasi alami. Bila CO pada konsentrasi 10-15 ppm akan menimbulkan pengaruh penurunan diskriminasi interval waktu. Pada konsentrasi 30 ppm, CO menimbulkan efek tekanan fisiologi terutama terhadap penderita jantung, sedangkan konsentrasi antara 8 dan 14 ppm telah terbukti berkaitan dengan meningkatnya kematian pada penderita infak kardiak di rumah sakit (Razali & Maksum, 2018).

2.7 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) merupakan unsur senyawa bahan bakar bensin yang ada pada gas buang adalah dari senyawa bahan bakar yang tidak terbakar habis dalam proses pembakaran motor, HC diukur dalam satuan ppm (part per million). Emisi *hydrocarbon* (HC) terbentuk dari bermacam-macam sumber yang tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas pada silinder juga merupakan salah satu penyebab munculnya emisi hidrokarbon (HC). Emisi hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk bahan bakar yang tidak terbakar dengan sempurna di ruang bakar dimana hanya sebagian bahan bakar bereaksi dengan oksigen terutama di dekat dinding silinder antara torak dan silinder hal ini pada umumnya disebabkan karena lemahnya api dan rendahnya temperatur pembakaran (Razali & Maksum, 2018). Menurut Jayanti, (2020) emisi *hydrocarbon* (HC) terbentuk dari bermacam-macam sumber, Tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas pada silinder, merupakan salah satu penyebab munculnya emisi HC. Emisi *hydrocarbon* ini berbentuk gas methan yang dapat menyebabkan leukimia dan kanker (Jayanti dkk., 2020).

2.8 Dampak Emisi Gas Buang

Emisi kendaraan bermotor sangat diyakini mengakibatkan dan mempunyai kontribusi yang cukup luas terhadap gangguan kesehatan masyarakat. Gangguan yang lazim dikenal sebagai akibat dari emisi kendaraan bermotor ini antara lain: gangguan saluran pernafasan, sakit kepala, iritasi mata, mendorong terjadinya

serangan asma, penyakit jantung dan penurunan kualitas intelegensia, pada anak-anak. Hal ini dapat disebabkan oleh sulfur, NO_x, Ozon dan komponen lain, Dalam waktu yang relatif cukup lama kondisi tersebut akan berkembang dan dapat mengakibatkan bronchitis, gangguan paru-paru dan pneumonia, gas buang kendaraan dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi timah dalam darah yang menyebabkan penurunan kemampuan *absorbs* oksigen (Wakhid, 2018).

Menurut Nugroho dkk, (2025). Menunjukkan bahwa kendaraan bermotor merupakan penyumbang utama polusi udara menghasilkan CO hingga 4,5% dan HC 6.000 ppm, sedangkan sepeda motor 4 langkah keluaran 2010–2018 menghasilkan CO sebesar 4% dan HC 1.000 ppm. Kualitas lingkungan di sekitar jalan raya cenderung tercemar, ditandai dengan kondisi tanah dan air yang kotor serta udara yang berbau. Dampak kesehatan yang dihasilkan oleh karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC) yaitu meningkatnya kasus penyakit pernapasan kronis, asma, penurunan daya tahan tubuh, hingga gangguan paru-paru. Dampak Kesehatan lain yang dihasilkan oleh emisi gas buang kendaraan antara lain meliputi:

1. Menurunkan kualitas udara

Emisi kendaraan menghasilkan polutan seperti CO, HC, NO_x, dan partikulat yang menyebabkan pencemaran udara di perkotaan.

2. Menyebabkan gangguan kesehatan pernapasan

Paparan emisi gas buang dapat memicu asma, iritasi saluran pernapasan, bronkitis, dan gangguan paru-paru.

3. Meningkatkan emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim

Kendaraan bermotor menghasilkan CO₂ yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan iklim.

4. Meningkatkan suhu perkotaan (*urban heat island*)

Emisi kendaraan dan panas mesin kendaraan dapat memperparah fenomena pulau panas perkotaan.

5. Mencemari lingkungan tanah dan air

Polutan dari emisi kendaraan dapat mengendap di tanah dan terbawa air hujan sehingga menurunkan kualitas lingkungan.

2.9 Exhaust Gas Analyzer

Exhaust Gas Analyzer (EGA) adalah alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi gas buang dari kendaraan bermotor dan mesin lainnya. Alat ini memiliki peran penting dalam mengukur emisi gas buang, yang merupakan parameter kunci dalam menilai tingkat polusi lingkungan. *Exhaust gas analyzer* biasanya dilengkapi dengan sensor yang sensitif terhadap berbagai jenis gas yang umumnya dihasilkan oleh kendaraan, seperti karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), dan oksigen (O₂). Dengan mengukur konsentrasi gas-gas ini, *exhaust gas analyzer* dapat memberikan informasi yang akurat tentang efisien pembakaran dan tingkat polusi yang dihasilkan oleh kendaraan atau mesin. Data yang dihasilkan oleh *exhaust gas analyzer* dapat digunakan oleh otoritas lingkungan untuk menilai kinerja emisi gas buang kendaraan dan memastikan bahwa kendaraan mematuhi standar emisi yang ditetapkan. Selain itu, *exhaust gas analyzer* juga

merupakan alat penting dalam proses pemeliharaan kendaraan, karena dapat membantu dalam identifikasi masalah mesin dan mengoptimalkan kinerja mesin dengan menyesuaikan pembakaran (Afif, 2024).



Gambar 2.6 Emisi gas analyzer
Sumber : (Widianto, 2023)