

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Pencemaran Udara

Udara memiliki peranan yang penting dalam kehidupan makhluk hidup. Oleh karena itu keberadaan udara harus dilindungi dari pencemaran atau polutan untuk kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya, kualitas udara harus dijaga sebaik mungkin untuk menjaga kenyamanan kehidupan manusia dengan cara mengendalikan pencemaran yang ada.

Dengan meningkatnya perkembangan otomotif sebagai alat transportasi, baik di darat, laut maupun di udara, sangat memudahkan manusia dalam melaksanakan suatu pekerjaan. Selain mempercepat dan mempermudah aktivitas, di sisi lain penggunaan kendaraan bermotor juga menimbulkan dampak yang sangat buruk terhadap lingkungan, terutama gas buang dari hasil pembakaran bahan bakar yang tidak terurai atau terbakar dengan sempurna.

Dalam setiap proses pembakaran yang terjadi pada motor pembakaran dalam, selalu dihasilkan beberapa gas produk pembakaran yang disebut dengan emisi gas buang. Emisi gas buang ini mencemari lingkungan dan memberikan kontribusi terhadap pemanasan global, hujan asam, kabut bercampur dengan asap, dan menyebabkan gangguan pada saluran pernafasan serta permasalahan kesehatan lainnya.

Dalam sektor transportasi darat, terutama kendaraan bermotor bensin dan disel memberikan kontribusi sekitar 70% dari total pencemaran udara perkotaan. Penyebab utama dari emisi ini adalah pembakaran non-stoikiometri, pemisahan nitrogen dan kotoran pada bahan bakar dan udara.

Empat produk emisi utama motor pembakaran dalam adalah Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), dan partikulat padat. Karbon Monoksida terjadi jika oksigen yang tersedia tidak cukup untuk mengkonversi semua karbon secara penuh ke CO<sub>2</sub> atau ketika percampuran udara dan bahan bakar tidak sempurna terjadi berkaitan dengan waktu siklus motor yang sangat pendek.

Terbentuknya emisi HC untuk setiap campuran bensin berbeda, tergantung pada komponen asal bahan bakarnya. Geometri ruang bakar dan parameter operasi motor juga mempengaruhi komponen HC yang terbentuk, kekurangan kandungan udara, oksigen yang tersedia tidak cukup untuk bereaksi.

Nitrogen Oksida dihasilkan ketika suhu pembakaran tinggi yang menyebabkan beberapa  $N_2$  yang secara normal stabil, dipisahkan ke dalam Nitrogen monoatomik, N, yang kemudian bereaksi dengan oksigen.

Partikulat adalah partikel karbon padat yang dibentuk di dalam motor disel dan nampak sebagai asap hitam pada pembuangan. Emisi lain yang dijumpai pada pembuangan motor meliputi *aldehid*, belerang, timah hitam (*lead*), fosfor, dan lain lain.

Dengan meningkatnya mobilitas manusia dan barang seiring dengan meningkatnya laju pertumbuhan ekonomi suatu negara, semakin berat udara atmosfer menerima beban polutan yang dihasilkan dari emisi gas buang kendaraan bermotor.

Untuk itu sejumlah riset dan pengembangan dilakukan terutama untuk dapat menekan emisi gas buang dari kendaraan bermotor dengan melalui beberapa regulasi emisi yang semakin ketat. Idealnya motor dan bahan bakar dapat dikembangkan untuk menghasilkan emisi berbahaya dalam kuantitas yang kecil, sehingga dapat dibebaskan ke atmosfer tanpa menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Dengan berkembangnya teknologi kendaraan bermotor masa kini dan masa depan, hal ini bukannya tidak mungkin dapat dilakukan. Ada dua metode yang dapat digunakan untuk mengurangi emisi motor yang berbahaya. Pertama, dengan meningkatkan teknologi bahan bakar dan motor, sehingga terjadi pembakaran lebih baik dan menghasilkan emisi lebih rendah. Kedua dengan memberikan perlakuan lanjut (*after treatment*) terhadap gas buang.

Hal ini dilakukan dengan penggunaan konverter termal (*thermal converter*) atau konverter katalitis (*catalytic converter*) yang mengembangkan reaksi kimia di dalam aliran pembuangan. Reaksi kimia ini mengubah emisi yang berbahaya menjadi  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan  $N_2$  yang dapat diterima.

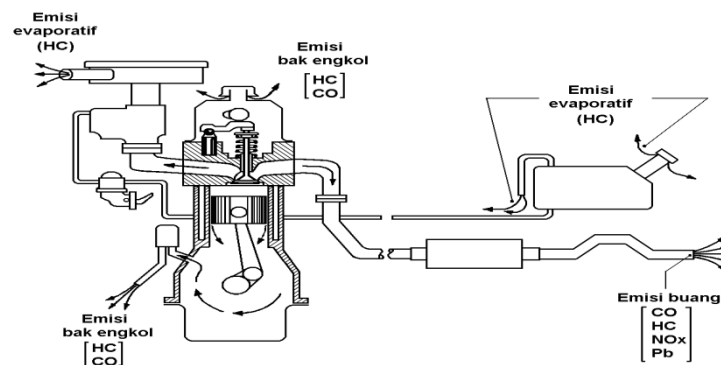
## 2.2. Sumber Emisi Gas Buang dan Dampak Terhadap Manusia

Sebuah kendaraan bermotor dari proses pembakaran bahan bakar dan udara dapat menghasilkan polutan berupa gas Karbon Monoksida (CO), Hidro Carbon (HC), dan Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>).

Tiga sumber utama yang mengemisikan gas buang dari kendaraan bermotor adalah

1. Bak engkol (*crankcase*) sebagai sumber sekunder (20%), di mana membebaskan uap dan kabut minyak, HC yang terbakar dan tak terbakar ke atmosfer karena *blow by*.
2. Sistem bahan bakar di mana emisi penguapan melalui karburator atau saluran masukan udara injeksi *gasoline* (5 – 10%) dan tangki bahan bakar yang berventilasi ke atmosfer (5%). Ini terjadi pada saat kendaraan dijalankan dan berhenti pada cuaca panas, dimana terjadi penguapan bahan bakar.
3. Sistem pembuangan, merupakan sumber utama (65 – 85%), dimana produk pembakaran yang tidak sempurna (CO, HC yang terbakar dan tidak terbakar, serta NO<sub>x</sub>) dari pipa pembuangan ke atmosfer.

*Gasoline* atau bensin yang dibakar di dalam motor terutama terdiri dari unsur Hidrokarbon (HC), dimana tidak akan terbakar kecuali jika bercampur dengan udara (yang mengandung 21% oksigen, 78% nitrogen, dan sejumlah kecil gas alam lainnya).



Gambar 2.1. Titik-titik emisi pada kendaraan bermotor

Sumber: [http://irwan-dokaido.blogspot.com/2012\\_02\\_29\\_archive.html](http://irwan-dokaido.blogspot.com/2012_02_29_archive.html)

### 2.3. *Standart Kualitas Gas Buang*

Pengujian kualitas gas buang dapat dilakukan dengan menggunakan alat berupa *exhaust gas analyzer*. Pada perangkat *exhaust gas analyzer* ini dapat mendeteksi kadar CO, HC, CO<sub>2</sub>. Sampel gas diambil dengan *filter* pemisah kondensat dan menuju ke sel pengukur (*measurement cell*).

Di sini sinar cahaya infra merah (*infra red transmitter*) diteruskan ke komponen-komponen pengukur setelah melewati *filter optic* dan penerima radiasi infra merah berdasarkan tipe dari gas.

Molekul-molekul gas dengan jumlah atom yang berbeda (CO, HC, CO<sub>2</sub>) menunjukkan pita absorpsi yang berbeda di daerah radiasi infra merah. Semakin besar absorpsi maka semakin besar pula konsentrasi gas yang terjadi.

Tabel 2.1. Tabel Ambang Batas Maksimal Gas Buang

AMBANG BATAS MAKSIMAL GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR				
Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode Uji
		CO(%)	HC (ppm)	
Berpenggerak motor bakar cetus api (bensin)	< 2007	4,5	1200	Idle
Berpenggerak motor bakar cetus api (bensin)	≥ 2007	1,5	200	Idle

Catatan :

- < 2007 : berlaku sampai dengan 31 Desember 2006

≥ 2007 : berlaku mulai tanggal 1 Januari 2007

Sumber : Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup

Nomor 05 Tahun 2006

#### 2.4. Proses Pembakaran

Proses pembakaran adalah suatu reaksi kimia antara bahan bakar dan udara yang menimbulkan panas sehingga menghasilkan energi. Pada proses pembakaran selalu dibutuhkan campuran udara dan bahan bakar yang cukup untuk mencapai pembakaran yang sempurna.

Proses pembakaran tidak berlangsung sekaligus dalam suatu proses tetapi memerlukan beberapa tahapan. Pada pembakaran secara teoritis diperlukan sejumlah udara minimal, agar proses pembakaran dapat berlangsung. Dimana perbandingan antara jumlah udara yang dibutuhkan dengan jumlah bahan bakar yang akan dinyatakan dengan *Air Fuel Ratio* (AFR).

Pada kenyataannya pembakaran terjadi pada komposisi yang tidak ideal sehingga menghasilkan CO dan HC pada gas buang. Apabila konsentrasi udara lebih banyak daripada bahan bakar maka disebut campuran miskin, begitu juga sebaliknya apabila konsentrasi udara lebih sedikit daripada bahan bakar maka disebut campuran kaya.

Hidrokarbon (HC) merupakan gas beracun hasil dari pembakaran yang bisa mengakibatkan kanker. Dan setiap pembakaran baik campuran kaya maupun miskin pasti menghasilkan HC dengan konsentrasi yang berbeda sesuai dengan keadaan mesin. (Kristanto, 2004).

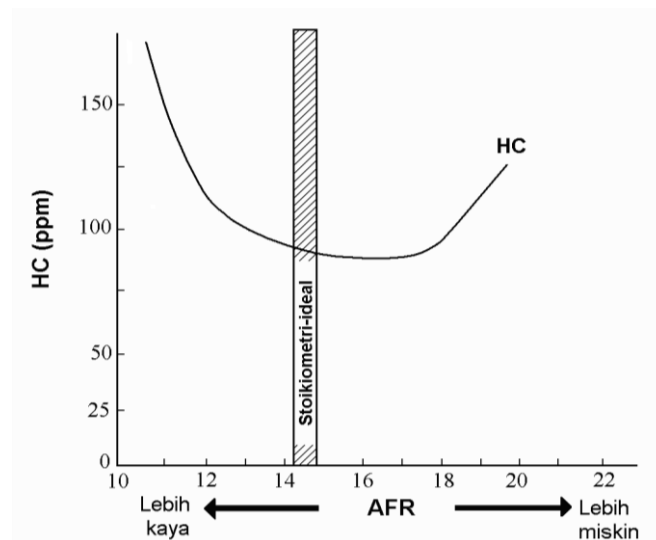
Rasio udara terhadap bahan bakar memegang peran penting dalam efisiensi proses pembakaran. Rasio udara atau bahan bakar ideal untuk emisi optimum, ekonomi bahan bakar dan kinerja motor yang baik adalah sekitar 14,7 massa udara untuk setiap massa bahan bakar. Rasio udara atau bahan bakar ideal ini dikenal dengan rasio stoikiometri.

Hidrokarbon dalam gas buang merupakan bahan bakar dan partikel pelumas yang tidak terbakar dan partikel-partikel bahan bakar lebih kecil yang tidak setimbang dari hanya terbakar sebagian.

Gas buang mengandung banyak jenis campuran Hidrokarbon, dimana secara umum tidak berbahaya, tetapi mudah menyala. Beberapa jenis Hidrokarbon diketahui bersifat karsinogen, yang menyebabkan penyakit kanker. Disamping itu, beberapa Hidrokarbon cenderung mengakibatkan iritasi pada mata dan tenggorokan.

Hidrokarbon berperan terhadap terbentuknya hujan asam dan beberapa campuran Hidrokarbon kecuali  $\text{CH}_4$ , dengan bantuan sinar ultra violet dari matahari bereaksi dengan gas lain di atmosfer, yang mendorong terbentuknya asbut (asap bercampur dengan kabut).

Sumber Emisi HC melalui rasio udara bahan bakar non-stoikiometri. Level emisi HC dalam gas buang sangat dipengaruhi oleh rasio udara/bahan bakar, AFR (Gambar 2.2.) dan rasio ekivalensi bahan bakar/udara,  $\phi$  (Gambar 2.3.).



Gambar 2.2. Pengaruh rasio udara/bahan bakar, AFR terhadap emisi HC

Sumber: Obert, Edward F. (1973)

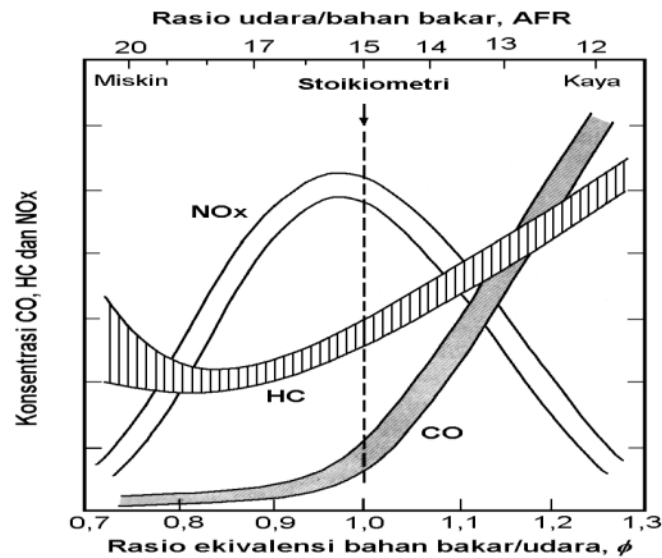
Emisi HC terendah ketika rasio udara atau bahan bakar agak lebih miskin dibanding stoikiometri "ideal", tetapi segera akan meningkat jika campuran menjadi terlalu kaya atau terlalu miskin.

Saat campuran "kaya" (dengan semua karbon pada bahan bakar, sehingga menghasilkan level HC dan CO di dalam produk buangan (Gambar 2.3). Kondisi ini terutama terjadi saat motor mulai dihidupkan, dimana dibutuhkan campuran udara/bahan bakar sangat kaya. Kondisi ini juga terjadi saat melakukan akselerasi cepat pada beban rendah.

Demikian pula halnya, jika campuran udara/bahan bakar "terlalu miskin" (kekurangan bahan bakar), pembakaran lebih miskin terjadi, sehingga mengakibatkan kegagalan penyalaan karena campuran tidak mampu terbakar.

Suatu proses normal yang disebut dengan *quenching* dinding terjadi ketika medan nyala api pembakaran mencapai dinding ruang bakar yang dingin. Dinding

yang dingin ini, memperlemah nyala api sebelum keseluruhan bahan bakar terbakar, menyisakan sejumlah kecil HC yang didesak keluar ke katup buang.



Gambar 2.3. Variasi konsentrasi CO, HC dan NO<sub>x</sub> di dalam buangan motor terhadap rasio ekivalensi bahan bakar/udara

Sumber: Obert, Edward F. (1973)

Bahkan pada campuran stoikiometrik ideal, pembakaran sempurna tidak terjadi dan beberapa HC akan berakhir di pembuangan. Ada beberapa penyebab, diantaranya tidak sempurnanya pencampuran antara udara dengan bahan bakar, sehingga beberapa partikel bahan bakar tidak mendapatkan oksigen untuk bereaksi dengannya.

Pemadaman nyala api pada dinding ruang bakar meninggalkan beberapa volume campuran udara dan bahan bakar yang tidak terbakar dengan segera. Sebagian dari campuran yang berada di dekat dinding ruang bakar yang semula tidak terbakar, kemudian akan terbakar ketika medan nyala api melewatinya dan tambahan pencampuran terjadi berkaitan dengan pusaran dan turbulensi.

Penyebab lain dari pemadaman nyala api adalah ekspansi yang terjadi selama pembakaran dan langkah daya. Saat torak bergerak dari TMA, gas yang berekspansi akan menurunkan temperatur dan tekanan di dalam silinder. Pembakaran menjadi lambat dan akhirnya memadamkan nyala api pada langkah daya. Kondisi ini menciptakan beberapa partikel bahan bakar yang tidak bereaksi.

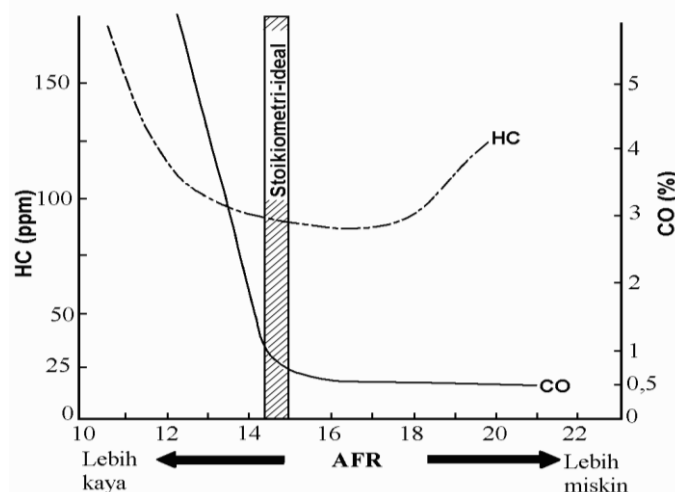
Emisi HC berlebih juga dapat dipengaruhi oleh temperatur campuran udara/bahan bakar ketika memasuki ruang bakar. Temperatur udara masuk yang terlalu rendah dapat menyebabkan percampuran bahan bakar dengan udara lemah, sehingga menghasilkan kegagalan penyalan parsial.

Karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan beracun ketika dihisap. Jika dihisap ke dalam paru-paru, CO mampu bereaksi dengan *Haemoglobine* (Hb) dalam darah membentuk *Karboksihaemoglobine* (COHb) dan menghalangi darah menyerap oksigen.

Hb sendiri berfungsi sebagai sistem transportasi yang membawa oksigen dalam bentuk *Oksihaemoglobine* (O<sub>2</sub>Hb) dari paru-paru ke sel-sel tubuh dan membawa CO<sub>2</sub> dalam bentuk CO<sub>2</sub>Hb dari sel-sel tubuh ke paru-paru.

Dengan adanya CO dalam darah manusia, maka kemampuan darah sebagai sarana transpor oksigen ini akan terganggu. Karbon monoksida konsentrasi rendah menyebabkan sakit kepala dan menurunkan aktivitas mental dan fisik, sedangkan pada konsentrasi tinggi menyebabkan pingsan dan kematian.

Emisi karbon monoksida (CO) pada motor pembakaran dalam dikendalikan terutama oleh rasio udara/bahan bakar. CO dihasilkan ketika motor beroperasi dengan rasio udara/bahan bakar kaya. Ketika oksigen yang tersedia tidak cukup untuk mengubah seluruh karbon menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), beberapa bahan bakar tidak terbakar dan beberapa karbon berakhir sebagai CO.



Gambar 2.4. Pengaruh rasio udara/bahan bakar terhadap konsentrasi CO dan HC.

Sumber: Obert, Edward F. (1973)

CO maksimum dihasilkan saat motor beroperasi dengan campuran kaya, seperti saat mulai dinyalakan pada kondisi dingin atau ketika dipercepat. Bahkan ketika campuran udara-bahan bakar masukan stoikiometrik atau miskin, beberapa CO akan terdapat pada buangan. Percampuran yang buruk, terbentuknya daerah kaya setempat, dan pembakaran tidak sempurna akan menciptakan beberapa CO.

Tinggi maupun rendahnya emisi Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) tergantung pada temperatur dan tekanan silinder selama proses pembakaran. Dalam proses ini dapat menyebabkan sebagian dari nitrogen dan oksigen yang terbakar bereaksi untuk membentuk Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>).

Nitrogen Oksida dapat muncul sebagai Nitrogen Monoksida (NO) yang tidak berwarna dan tidak berbau. Adanya tambahan oksigen lebih lanjut akan mengubah NO menjadi Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), yang berwarna coklat kemerah-merahan.

Gas ini beracun dengan penetrasi baunya dapat merusakkan jaringan paru-paru. Kedua gas ini terdapat bersama-sama dan dikombinasikan dalam suatu format sedemikian hingga oksida nitrogen ini diberi formulasi kimia NO<sub>x</sub>, di mana akhiran “x” mencakup diantara satu dan dua atom.

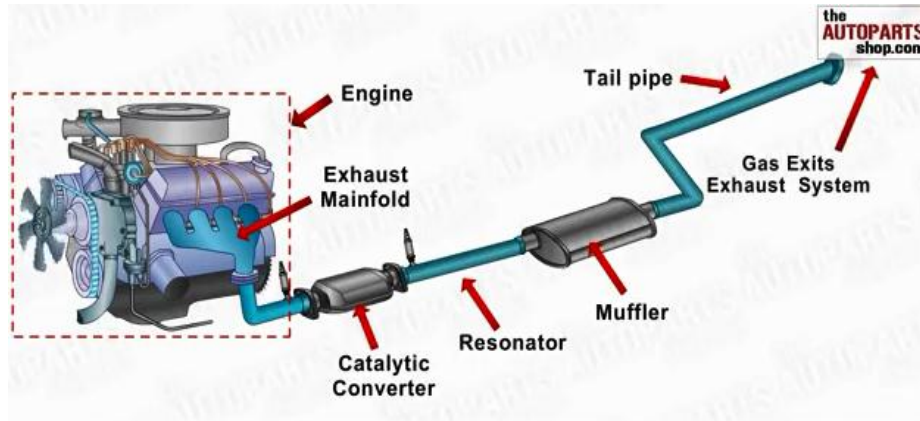
Oksida nitrogen berkombinasi dengan air membentuk hujan asam, yang merupakan asam nitro yang sangat melemahkan dan berbahaya terhadap lingkungan.

Motor dengan pembakaran miskin cenderung beroperasi pada temperatur lebih tinggi dengan demikian nitrogen yang hadir di udara berkombinasi dengan setiap oksigen yang tersedia untuk membentuk sejumlah besar oksida nitrogen, dan dengan demikian lebih besar konsentrasi hujan asam di atmosfer.

## **2.5. Saluran Pipa Gas Buang**

Saluran pipa gas buang adalah saluran untuk membuang sisa gas hasil pembakaran yang sangat panas dari dalam silinder ke udara atmosfer. Disamping itu saluran pembuangan juga berfungsi untuk meredam kebisingan.

Pada umumnya, suatu saluran pipa gas pembuangan terdiri dari *Exhaust Manifold* (yang biasa disebut dengan *header*), pipa bawah (*down-pipe*), konverter katalitis, *muffler* atau peredam, dan pipa ekor. Berikut ini adalah gambar saluran pipa gas buang.



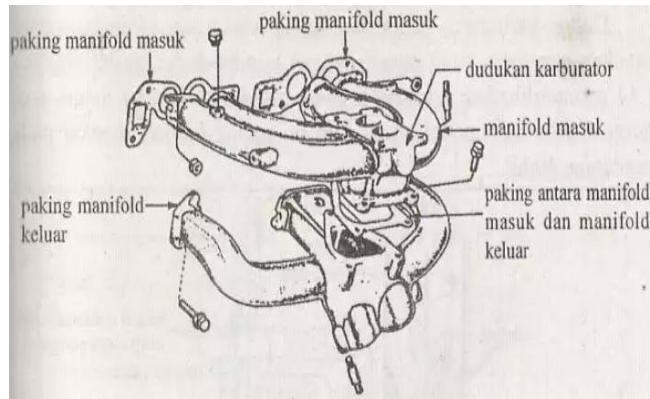
Gambar 2.5. Saluran pipa gas buang

Sumber: <https://theautopartsshop.com>

Gas buang pada mesin dikeluarkan melalui empat lubang buang di kepala silinder dan masuk ke *Exhaust Manifold* (dikenal sebagai juga *header*). Gas-gas ini dikumpulkan bersama-sama, ke dalam pipa tunggal, yang dikenal sebagai bawah pipa (*down-pipe*). Dari sini, gas buang melewati konverter katalitik yang berfungsi sebagai pereduksi emisi dan dengan sendirinya kecepatannya akan berkurang. Kebisingan gas buang yang keluar diredam melalui peredam (*silencer*) pada akhirnya dikeluarkan melalui pipa ekor ke udara bebas.

### 2.5.1. *Exhaust Manifold*

*Exhaust Manifold* berupa sistem perpipaan yang berfungsi menampung gas buang dari semua silinder dan mengalirkan gas tersebut ke pipa buang. *Exhaust Manifold* ini dibaut pada kepala silinder, saluran *Manifold* disambungkan langsung pada lubang buang (*exhaust port*) pada silinder. *Exhaust Manifold* (Gambar 2.6), biasanya terbuat dari besi cor dan kadang-kadang dirancang untuk memiliki kontak termal dengan *Manifold* hisap, untuk memberikan pemanasan dan penguapan di *Manifold* hisap.



Gambar 2.6. *Exhaust Manifold*

Sumber: [http://irwan-dokaido.blogspot.com/2012\\_02\\_29\\_archive.html](http://irwan-dokaido.blogspot.com/2012_02_29_archive.html)

Reaksi kimia masih terjadi dialiran buang ketika memasuki *Exhaust Manifold*, dimana Karbon monoksida dan Hidrokarbon tak terbakar bereaksi dengan oksigen yang tidak bereaksi dalam pembakaran. Kecepatan reaksi berkurang karena adanya kerugian panas dan suhu rendah setelah proses *blowdown*.

Temperatur gas buang yang cukup tinggi perlu dipertahankan di *Exhaust Manifold*. Hal ini disebabkan karena semakin rendah temperatur gas, semakin meningkat kerapatan gas, dan gas menjadi semakin padat dan semakin sulit untuk mendorong gas buang keluar dari pipa buang.

Oleh karena itu, beberapa mesin modern memiliki *Exhaust Manifold* buang terisolasi, yang dirancang untuk beroperasi pada temperatur yang lebih tinggi dan bertindak sebagai konverter termal untuk mengurangi emisi yang tidak diinginkan didalam gas buang.

Semua mobil modern dengan injeksi bahan bakar dilengkapi dengan sensor oksigen pada *Exhaust Manifold* untuk mengukur berapa banyak kandungan oksigen di pembuangan. Kegunaan sensor oksigen adalah komputer dapat menambahkan atau mengurangi bahan bakar untuk memperoleh campuran yang tepat dengan ekonomi bahan bakar maksimal. Sensor oksigen dipasang di *Exhaust Manifold* atau dekat dengan pipa buang.

### 2.5.2. *Catalytic Converter*

*Catalytic Converter* merupakan sebuah *converter* (pengubah) yang menggunakan media yang bersifat katalis, dimana media tersebut diharapkan dapat membantu atau mempercepat terjadinya proses perubahan suatu zat (reaksi kimia) sehingga gas seperti CO dapat teroksidasi menjadi CO<sub>2</sub> (Springer-Verlag, New York Inc, 1970).

Emisi HC dapat terjadi dalam campuran kaya maupun campuran miskin. Campuran miskin yang dimaksud adalah rasio perbandingan bahan bakar dan udara yang dimana bahan bakar gagal terbakar dan menyebabkan emisi HC meningkat. Sedangkan campuran kaya adalah dimana beberapa bahan bakar gagal untuk terbakar disebabkan karena oksigen tidak cukup.

Sebenarnya ada dua jenis katalis. Katalis reduksi menyebabkan NO<sub>x</sub> menjadi O<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>. Katalis oksidasi menyebabkan HC dan CO teroksidasi dengan oksigen yang tersedia menjadi CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O.

Oksidasi hanya akan terjadi bila ada cukup oksigen bebas, dan reduksi hanya terjadi dalam ketiadaan oksigen bebas. Rhodium umumnya merupakan katalis reduksi yang paling efisien. Platinum dan Paladium digunakan untuk oksidasi.

Pada umumnya *Catalytic Converter* yang dipakai pada kendaraan bermotor (ada di pasaran), adalah tipe *Pellets* dan *Monoliths* dengan bahan katalis dari logam-logam mulia seperti *Paladium* (Pd), *Platinum* (Pt), dan *Rodium* (Rh) (Dowden, 1970).

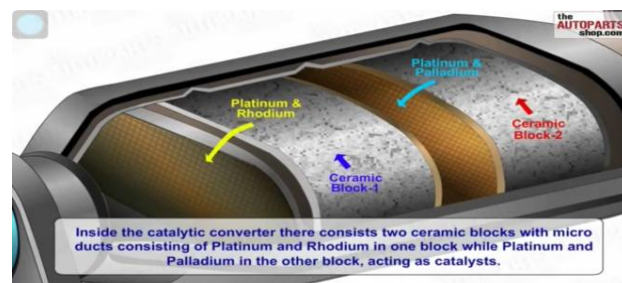
Logam-logam mulia tersebut memiliki aktifitas spesifik yang tinggi, namun memiliki tingkat volatilitas besar, mudah teroksidasi dan mudah rusak pada suhu 500° – 900°C sehingga mengurangi aktifitas katalis. Selain itu logam-logam mulia tersebut sulit untuk didapatkan dan harga yang cukup mahal.

Oleh sebab itu penggunaan logam transisi yang mempunyai kelimpahan yang tinggi dan harga relatif murah dapat menjadi salah satu alternatif. Disamping itu beberapa logam yang diketahui efektif sebagai bahan katalis oksida dan reduksi mulai dari yang besar sampai yang kecil adalah Pt, Pd, Ru > Mn, Cu > > Ni > Fe > Cr > Zn dan oksida dari logam-logam tersebut. (Dowden, 1970).

*Catalytic Converter* memiliki 2 jenis yaitu, *2-way Catalytic Converter* adalah oksidasi katalis. Katalis ini mengoksidasi CO dan HC tetapi tidak berpengaruh pada NOx. Sedangkan *3-way Catalytic Converter*, mengoksidasi dan mereduksi. Katalis ini mengoksidasi CO + HC menjadi CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O dan mereduksi NOx menjadi N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. (McCartney, 1997).



Gambar 2.7. *Catalytic Converter* jenis 2-way



Gambar 2.8. *Catalytic Converter* jenis 3-way

Sumber: <https://theautopartsshop.com>

### 2.5.3. Peredam Suara

Suara adalah gelombang tekanan yang terbentuk dari pulsa gelombang bolak-balik dari udara bertekanan tinggi ke rendah. Di dalam mesin mobil, gelombang tekanan dihasilkan oleh pembukaan dan penutupan katup buang berulang kali dan membebaskan gas bertekanan tinggi ke sistem pembuangan.

Saat katup buang terbuka, gas yang terbakar dibebaskan ke pipa buang pada kecepatan tinggi, dengan tekanan sekitar 3-5 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu sekitar 600-800°C. Jika gas buang dengan temperatur dan tekanan yang tinggi ini langsung dilepas ke atmosfer, maka gas akan mengembang dengan cepat sekali dan menghasilkan suara ledakan yang keras. Aksi ini menimbulkan gelombang suara

yang merambat sepanjang aliran gas dan bergerak jauh lebih cepat dari gasnya sendiri.

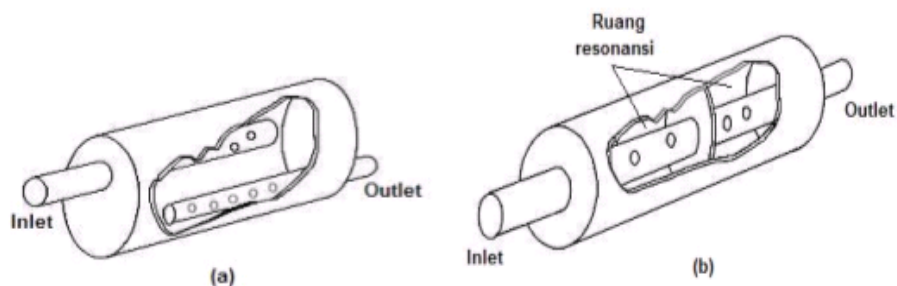
Peredam suara (*muffler*) digunakan untuk mencegah terjadinya hal tersebut. Gas buang disalurkan melalui peredam suara (*muffler*) agar tekanan dan suhunya turun, sehingga suara ledakan yang keras dapat diredam. Dengan menggunakan pipa berlubang dan *baffle* memungkinkan gas buang berekspansi ke area antara tabung dan selubung terluar dari *muffler*. Ekspansi ini memperlambat dan mendinginkan aliran gas buang, sehingga mengurangi suara bising tanpa menghalangi aliran gas.

Ada berbagai variasi dari dua jenis utama desain *muffler* yang umum digunakan, yaitu jenis penyerapan (*absorbitive*) dan jenis reaktif (*reactive*). Umumnya *muffler* otomotif memiliki sifat reaktif maupun absorpsi.

*Muffler* reaktif atau reflektif (Gambar 2.9) menggunakan fenomena interferensi destruktif untuk mengurangi kebisingan. Ini berarti bahwa mereka dirancang sehingga gelombang suara yang dihasilkan oleh mesin sebagian akan saling meniadakan satu sama lain.

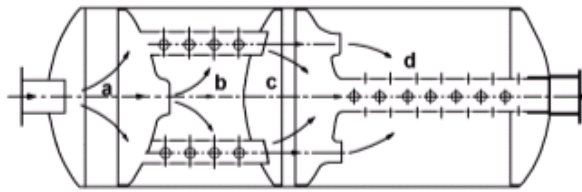
*Muffler* reaktif, umumnya terdiri dari serangkaian tabung / pipa resonansi dan ruang ekspansi yang dirancang untuk mengurangi tingkat tekanan suara pada frekuensi tertentu. Tabung *inlet* dan *outlet* umumnya memiliki lubang (perforasi) yang memungkinkan gelombang suara untuk menyebar ke berbagai arah di dalam ruang ekspansi sehingga dihasilkan interferensi destruktif.

Berikut ini adalah keterangan dari kedua jenis *muffler* diatas, yaitu (a) saluran inlet dan outlet terpisah, sedangkan pada keterangan (b) saluran inlet dan outlet lurus dengan ruang resonansi dan tanpa ada aliran penyumbat.



Gambar 2.9. *Muffler* reaktif.

Berikut ini merupakan salah satu tipe dari *muffler* komersial, dimana bagian gas dengan tekanan dan kecepatan tinggi sebagian berekspansi di ruang *a* dan sebagian lewat dengan cepat ke ruang *b*. Dari ruang *c* sebagian gas berekspansi lagi ke dalam ruang *d* dan sebagian dikeluarkan secara langsung ke pipa buang. Tidak terjadi pembalikan arah aliran gas secara paksa, sehingga tekanan balik kecil. Pengaturan ini sangat efisien untuk meredam suara bising buangan dan digunakan pada mesin dua langkah maupun empat langkah.



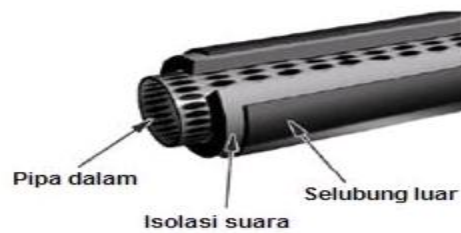
Gambar 2.10. *Muffler* ruang ganda

Sumber: <https://muhammadagungsantoso.wordpress.com>

Sebuah *muffler* serap atau disipatif, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 2.11, menggunakan penyerapan untuk mengurangi energi suara. Gelombang suara akan berkurang ketika energinya dikonversi menjadi panas dalam bahan penyerap. Sebuah *muffler* serap yang khas terdiri dari pipa lurus, melingkar dan berlubang yang terbungkus di dalam rumah baja (*steel housing*) yang lebih besar.

Diantara pipa berlubang dan casing, terdapat lapisan bahan penyerap suara yang menyerap beberapa tekanan. Saat gas buang berekspansi dari bagian dalam pipa yang berlubang ke ruang bagian luar, gas buang kontak dengan insulator dan keluar ke atmosfer pada tekanan konstan.

Peredam suara jenis ini dengan demikian membebaskan aliran dan dirancang untuk mengurangi tekanan balik (*back pressure*) dan sebagai konsekuensinya, membuat suara agak lebih bising. *Muffler* jenis ini juga dikenal dengan *muffler* aliran bebas (*free flow*).



Gambar 2.11 *Muffler* jenis absorpsi

Sumber: <https://muhammadagungsantoso.wordpress.com>

## 2.6. Media Perekat (Sirlak)

Sirlak merupakan bahan *finishing* yang sangat terkenal dan banyak digunakan pada abad 19 sampai pada abad 20. Sirlak ini dibuat dari bahan resin alam yang dihasilkan dari suatu jenis serangga yang hidup dari tumbuhan yang ada di India. Sirlak ini secara alami memiliki warna coklat kekuning-kuningan.

Shellac (Sirlak) adalah resin alam yang digunakan untuk merekatkan komponen mesin antara permukaan logam dengan logam lainnya atau gasket dengan bahan berserat dengan permukaan logam. Bahan ini tahan terhadap Hidrokarbon pada temperatur tinggi.

Bahan perekat anaerob (tidak ada udara) mencakup asam akrilik. Bahan ini bekerja saat bersinggungan dengan logam jika tidak ada udara. Digunakan sebagai “lapisan pengunci cair” untuk baut, bahan ini mampu menahan temperatur sampai 200°C. Di atas temperatur 250°C, bahan ini akan menjadi lunak sehingga berguna untuk melepaskan sambungan. (Identifikasi Perangkat Pengikat, gasket, perapat dan perekat)

Berikut ini adalah gambar sirlak berupa kepingan tipis yang akan digunakan untuk pengujian:

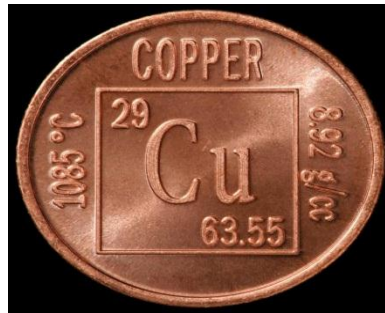


Gambar 2.12. Media Perekat (Sirlak)

## 2.8. Tembaga

Tembaga atau Cuprum dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Tembaga merupakan logam yang mudah ditempa, ulet dan merupakan konduktor panas serta listrik yang baik.

Dalam udara lembab, tembaga perlahan-lahan membentuk selaput permukaan kehijauan yang disebut patina. Lapisan ini melindungi dari serangan korosi lebih lanjut. Bijih tembaga yang terpenting yaitu pirit atau *chalcopyrite* ( $\text{CuFeS}_2$ ).



Gambar 2.13. Tembaga

Sumber: <https://vibiznews.com>

Logam tembaga digunakan secara luas dalam industri peralatan listrik. Kawat tembaga dan paduan tembaga digunakan dalam pembuatan motor listrik, konduktor listrik, kabel dan tabung coaxial, generator, kabel transmisi, instalasi listrik rumah dan industri. Tembaga ini memiliki titik lebur  $1083^{\circ}\text{C}$  dan titik didih  $2595^{\circ}\text{C}$ . Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. ([www.amazine.co](http://www.amazine.co))

### 2.8.1. Karakteristik Tembaga Terhadap Gas Buang

Berikut ini adalah beberapa karakteristik fisik dari tembaga, tembaga merupakan logam yang berwarna kuning kemerahan seperti terlihat pada gambar dan tembaga tersebut keras bila tidak murni.

Tembaga adalah salah satu logam mulia yang mudah ditempa dan umumnya bersifat elastis sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat.

Tembaga juga dikenal sebagai salah satu logam yang memiliki sifat katalisis. Sifat katalisis adalah sifat dari material yang dapat mempercepat laju

reaksi kimia (*catalyze*). Proses katalisis dibagi menjadi katalis oksidasi dan katalis reduksi. (Obert, 1973)

Beberapa bahan yang diketahui sebagai katalis oksidasi yaitu *Platinum*, *Plutonium*, Nikel, Mangan, *Chromium* dan oksidanya dari logam-logam tersebut. Sedangkan beberapa logam diketahui sebagai katalis reduksi, yaitu besi, tembaga, nikel paduan dan oksida dari bahan-bahan tersebut. (Obert, 1973).

Pada prinsipnya, reaksi reduksi katalitik adalah sederhana. Konsep dasarnya adalah untuk mengaktifasi molekul NO, sebagai contoh pada nikel atau tembaga terhadap CO (tetapi bukan O<sub>2</sub> yang dapat menyebabkan oksidasi), untuk membentuk N<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> (NO dapat bereaksi dengan molekul logam untuk membentuk oksida, yang kemudian akan bereaksi dengan CO untuk mengembalikan molekul logam). (Obert, 1973).

## **2.7. Penelitian Terdahulu Tentang Tembaga**

Berikut ini adalah beberapa hasil dari penelitian yang menggunakan berbagai macam jenis tembaga untuk mereduksi emisi gas buang kendaraan bermotor.

Penelitian pada modifikasi *Catalytic Converter* menggunakan Tembaga Berlapis Mangan Untuk Mereduksi Emisi Gas Karbon Monoksida Motor Bensin ini merupakan bagian dari disertasi penulis yang bertujuan untuk rancang disain dan rancang bangun *Catalytic Converter* serta mengetahui karakteristik bahan katalis, yang pada akhirnya dapat mengurangi polutan emisi gas buang pada kendaraan bermotor khususnya gas Carbon Monoksida.

*Catalytic Converter* dengan bahan katalis material Substrat Tembaga dapat menurunkan emisi gas buang Carbon Monoksida motor bensin secara signifikan mencapai 30,51% (dari konsentrasi CO 3,7 % turun menjadi 2,4 %). Penggunaan *Catalytic Converter* secara langsung dapat menurunkan konsentrasi emisi gas CO dan masih sesuai dengan *standart* kelayakan baku mutu *International Standart Euro 3*. (Irawan B. , 2003).

Analisa Pengaruh Penggunaan Logam Tembaga sebagai katalis pada Saluran Gas Buang Mesin Bensin Empat Langkah Terhadap Konsentrasi Polutan

Co dan HC. Penelitian ini adalah salah satu usaha yang dilakukan dengan menambahkan katalis tembaga kedalam saluran gas buang.

Metode yang dilakukan adalah dengan membuat knalpot *straight through* pipa tembaga yang diisi dengan katalis tembaga dalam bentuk serabut dengan variasi berat serabut tersebut. Variasi berat yang penulis tentukan adalah 120 gr, 140 gr, 160 gr, 180 gr, 200 gr, 220 gr, dan 240 gr.

Penelitian dilakukan dengan membandingkan data hasil percobaan dari kelompok kontrol terbaik dengan saluran gas buang modifikasi ditambahkan katalis tembaga sebagai kelompok uji.

Dari penelitian ini didapatkan penurunan konsentrasi polutan CO dan HC yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan knalpot dari kelompok kontrol. Penurunan tertinggi diperoleh dengan variasi berat serabut tembaga 200 gram yang diisikan pada kelompok uji. Konsentrasi polutan gas HC turun 33,53%, sedangkan konsentrasi polutan gas CO turun 47,53%. (Hakam. M ; Sungkono. J. 2006)

Berikut ini adalah Analisa Pengaruh Katalis Tembaga Pada Katalitik Konverter Terhadap emisi gas Carbon Monoksida dan Hidrokarbon Pada kendaraan motor bensin.

Benda yang diuji adalah catalytic converter, dengan bahan menggunakan plat tembaga (Cu) 0,2mm, 0,4mm dan tembaga serabut. Komponen polutan gas buang yang diukur adalah Karbon Monoksida (CO), dan Hidrokarbon (HC) saja.

Berdasarkan hasil uji pengaruh katalis tembaga terhadap emisi gas buang Karbon Monoksida dan Hidrokarbon yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

*Catalytic Converter* yang dibuat dalam penelitiannya ialah menggunakan plat berukuran 0,2 mm yang di bentuk tabung yang berdiameter 13 cm dan panjangnya 25 cm lalu menggunakan pipa untuk menghubungkan dari manifold ke knalpot dengan panjang masing-masing pipa 40 cm.

Untuk pengujian kadar CO dan HC dari tanpa menggunakan Catalytic Converter sebesar 0,99 %, pada nilai konsentrasi CO dan 204 ppm pada nilai konsentrasi HC. Dan yang menggunakan variasi tembaga yang dihasilkan nilai konsentrasi CO sebesar 0,39% dan HC 170 ppm.

Sedangkan dengan variasi tembaga 0,4 mm konsentrasi kandungan CO dapat berkurang sebesar 0,03 % dan kandungan HC turut berkurang sebesar 34 ppm dan hasilnya diketahui dengan melihat alat ukur gas analyzer. (Mustaqim, Tofik Hidayat, M. Ginta Nur Hidayat)

## 2.7. Batu Apung

Batu apung (*pumice*) adalah jenis material yang dihasilkan dari aktifitas letusan gunung api yang memiliki struktur *porous* (rongga) dan ringan, berwarna putih hingga abu-abu muda.



Gambar 2.14. Bongkahan Batu Apung

Sumber: <https://batuapung1.wordpress.com>

Terbentuknya batu apung ini adalah akibat pengkristalan dan pendinginan yang cepat dari mineral-mineral penyusunnya, akibat pendinginan yang cepat tersebut bentuk permukaannya halus, selain itu akibat gelembung udara yang terperangkap pada waktu proses pendinginan mengakibatkan adanya rongga-rongga dalam batu apung.

Warna batu apung sebagian besar abu-abu terang sampai putih, ukurannya bervariasi antara diameter 0.5 mm sampai sekitar diameter 20 cm. Komposisi kimianya sebagian besar ( $\pm$  75%) Silikon Calcium, dan Magnesium, berat jenisnya berkisar antara 500 kg/m<sup>3</sup> sampai 800 kg/m<sup>3</sup> sehingga dapat mengapung di atas permukaan air. (Sugiharto, 1997)

Batu Apung ini umumnya digunakan sebagai bahan poles (ampelas) untuk logam, beton, bata ringan, bata tahan api, dan bahan plester. Namun batu apung ini dapat digunakan juga sebagai media untuk mereduksi emisi gas buang pada kendaraan bermotor. (aboutpumice.com)

### 2.8.1. Sifat-Sifat Batu Apung

Berikut ini adalah karakteristik dari batu apung yang meliputi sifat kimia dan fisiknya, yaitu:

a. Komposisi kimia:

SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, MgO, CaO, TiO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, Cl.

b. Sifat fisika:

- Peresapan air (*water absorption*): 16,67%.
- Gravitasi Spesifik (*Specific of Grafity*): 0,8 gr/cm<sup>3</sup>.
- Hantaran suara (*sound transmission*): rendah.

(Pusat Penelitian dan Pengembangan teknologi mineral dan batu bara).

### 2.8.2. Karakteristik Batu Apung Sebagai Media Pereduksi Gas Buang

Karakteristik batu apung selain memiliki struktur porous, batu apung dapat dikatakan memiliki kemiripan dengan batu zeolit. Kandungan batu zeolit adalah sebagai berikut; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O. (Johan Wahyudi, et al. 2007).

Salah satu sumber emisi yang tetap seperti pada pipa gas buang dari ruang bakar, yang beroperasi pada suhu tinggi, biasanya pada suhu 1000<sup>0</sup>C atau lebih. Pada temperatur tersebut, gas NO yang elemen molekulnya tidak stabil secara katalitik akan mendekomposisi NO menjadi N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> adalah metode yang paling sederhana untuk mengeluarkan NO dari aliran gas buang. Pada dasarnya metode yang digunakan untuk mendekomposisi NO<sub>x</sub> menggunakan logam mulia sebagai katalitik.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa terdapat katalitik baru yaitu batu zeolit yang dapat mendukung logam katalisis untuk melakukan penguraian emisi gas buang yang jauh lebih baik. (Hasna, WCE 2009 vol.1, London, UK)

Adanya penelitian berbasis laboratorium untuk menguji kemampuan batu apung dalam menyerap senyawa organik dari air dan menciptakan katalis dan senyawa baru dengan mensimulasikan siklus termal, sinar UV, dan kondisi lain yang ada pada saat polimer organik dan mikroba pertama hadir bersama. (www.faktailmiah.com)

Dari penjelasan beserta karakteristik batu apung diatas dapat disimpulkan bahwa batu apung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan batu zeolit.

### 2.8.3 Penelitian Terdahulu Tentang Batu Apung

Berikut ini adalah beberapa hasil penelitian terdahulu mengenai batu apung dan batu zeolit yang mampu mereduksi emisi gas buang. Penelitian dengan judul Pengaruh Dendrit (Batu Apung) sebagai Katalis Terhadap Emisi Gas Buang Dan Tingkat Kebisingan Pada Mesin Toyota Kijang.

Dalam penelitian ini katalis yang digunakan adalah batu apung (dendrit). Adapun tujuan, dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan *catalytic converter* batu apung (dendrit). terhadap kadar emisi gas buang (CO dan HC), dan tingkat kebisingan pada mesin Toyota Kijang Tipe 4K.

Penelitian eksperimen (*experimental research*) ini dilakukan di bengkel *GUT Motor Sport*. Untuk memperoleh data emisi gas buang menggunakan pengujian dalam keadaan throttle mulai kondisi tertutup, lalu dibuka secara perlahan hingga didapatkan putaran mesin yang dibutuhkan yang berpedoman pada standar SAE J1349 DC 80, sedangkan untuk memperoleh data kebisingan dengan berpedoman pada SII 0415-81. Analisis data dilaksanakan dengan metode deskriptif.

Dari hasil penelitian penggunaan batu apung (dendrit) berukuran 10 mm, 20 mm, dan 30 mm sebagai katalis pada saluran gas buang Toyota Kijang 4K berpengaruh pada penurunan kadar emisi CO tertinggi sebesar 43,56% pada ukuran batu apung (dendrit) 10 mm pada  $\dot{e} = 1,515$  dengan temperatur 362°C, penurunan terendah sebesar 5,4594 pada ukuran 38 mm pada  $\dot{e} = 1,577$  dengan temperatur 528°C.

Terjadi penurunan pada emisi HC tertinggi sebesar 38,46% pada batu apung (dendrit) ukuran 10 mm pada  $\dot{e} = 1,514$  dengan temperatur 349°C, penurunan terendah sebesar 0,2% pada ukuran 30 mm pada  $\dot{e} = 1,444$  dengan temperatur 565°C. Terjadi penurunan tingkat kebisingan tertinggi sebesar 16,9994 pada ukuran batu apung (dendrit) 10 mm pada rpm 3000 dengan temperatur 518°C, penurunan terendah sebesar 5,83% pada ukuran batu apung (dendrit) 30 mm pada rpm 1750 dengan temperatur 542°C. (Syamsul Wakhid, 2006)

Berikut ini adalah penelitian yang berjudul Pengaruh Pemanfaatan Batu Zeolit untuk Reduksi Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor Bensin. Penelitian ini dilakukan dengan pengujian emisi gas buang menggunakan *exhaust gas analyzer* di Bengkel Kometra, sedangkan uji performansi motor dilakukan dengan menggunakan dinamometer rem air di Laboratorium Motor Bakar UK Petra.

Kedua pengujian dilakukan dengan dan tanpa penambahan batu zeolit pada sistem saluran gas buang dengan tujuan untuk mengetahui dampak dari penambahan batu zeolit terhadap emisi gas buang dan performa motor.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan batu zeolit pada saluran gas buang kendaraan bermotor mampu mereduksi emisi gas buang sebesar 32,18 % gas CO dan 8,83 % gas HC. Begitu juga unjuk kerja mesin mengalami peningkatan sebesar 1,18 % untuk daya, torsi, BMEP. Efisiensi termis meningkat sebesar 2,89 % dan sebaliknya Sfc turun sebesar 4,12 %. (Johan Wahyudi, et al. 2007).