

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Katalis

Katalis (*catalyst*) adalah bahan yang mempercepat terjadinya reaksi kimia yang tidak mempengaruhi keadaan akhir kesetimbangan reaksi dan komposisi kimia katalis tersebut tidak berubah. Bisa juga dikatakan katalis adalah suatu zat yang meningkatkan laju reaksi kimia tanpa ikut terpakai. Di dunia industri katalis telah digunakan secara luas, terutama pada industri kimia. Dalam dunia otomotif, katalis juga dapat digunakan terutama untuk menangani masalah emisi gas buang.

1.2 *Catalytic converter*

Peningkatan kandungan emisi gas buang di udara yang sebagian besar disumbangkan oleh gas buang kendaraan bermotor telah memacu manusia untuk mengembangkan teknologi yang ramah lingkungan, salah satunya dengan pengembangan teknologi *catalytic converter*. *Catalytic converter* adalah alat yang dipasang pada kendaraan bermotor (mobil) yang digunakan untuk mereduksi kandungan CO, HC, dan Nox menjadi gas-gas yang tidak berbahaya sebelum dikeluarkan ke lingkungan. *Catalytic converter* digunakan secara luas sejak tahun 1960-an (**Karvounis dan Assanis 1992**).

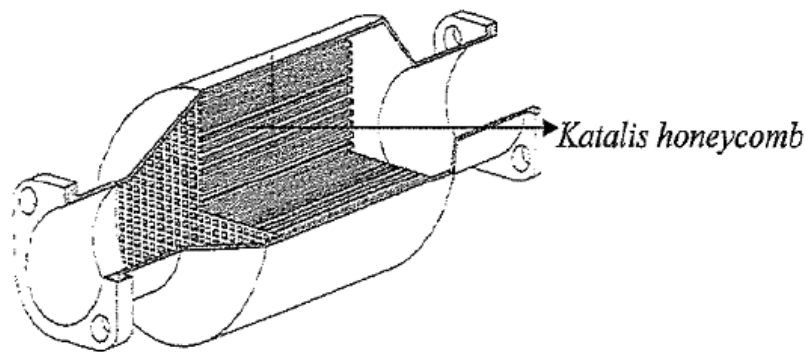
Menurut Gaita dan Al-Bazi (1994) saat ini hampir semua *catalytic converter* menggunakan logam mulia sebagai katalisnya, yaitu *Platinum* dan *Palladium*. Perbandingan konsentrasi logam mulia tersebut dibagi 2 lagi yaitu *catalytic converter* logam *low loading* dengan konsentrasi 370 ppm *Platinum* dan 160 ppm *Palladium*, sedangkan *catalytic converter* logam *high loading* dengan 850 ppm *Platinum* dan 350 ppm *Palladium*.

Penggunaan dua logam mulia tersebut diketahui mampu mereduksi dan mengoksidasi kandungan gas karbonmonoksida (CO) dan gas hidrokarbon (HC) (**Gaita dan Al-Bazi, 1994**). Peningkatan yang sangat signifikan terjadi pada dekade 1990-an berupa desain dan efisiensi konversi gas dari *catalytic converter* (**Karvounis dan Assanis, 1992**). Pada tahun 1988 sebenarnya

sudah ada penemuan gas buang NO_x. Logam mulia yang dipakai yaitu *Rhodium* yang mampu mereduksi kandungan gas NO_x (**Garduner Et Al, 1988**).

Desain awal yang dipakai pada *catalytic converter* adalah tipe monolitik dimana logam-logam sebagai katalis diletakkan dalam satu ruang dan diletakkan sejajar dengan laju aliran gas buang sehingga aliran panas dan transfer panas dapat berjalan dengan baik (**Lai Et Al, 1992**). Perkembangan desain diperbarui dengan adanya tipe *honeycomb* dengan *Platina*, *Palladium*, dan *Rhodium* sebagai katalis *Three Way Conversion* (TWC). *Rhodium* telah digunakan sebagai autokatalis sehingga mampu mengoksidasi NO_x (**Gaita dan Al-Bazi, 1994**).

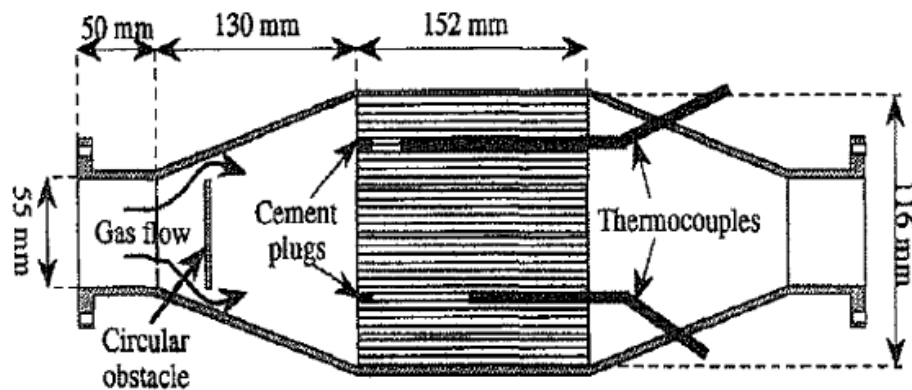
Gaita dan Al-Bazi (1994) juga menyatakan bahwa salah satu jenis *catalytic converter* logam adalah tipe sarang lebah (*honeycomb*), dengan menggunakan katalis dari logam-logam mulia seperti *Palladium* dan *Platinum* yang katalisnya berbentuk *granula* (butir serbuk) dengan bentuk mirip sarang lebah (*honeycomb*). *Catalytic converter honeycomb* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Catalytic converter honeycomb* (**Gaita dan Al-Bazi, 1994**)

Konversi penggunaan logam mulia seperti *Platina*, *Palladium*, dan *Rhodium* yang harganya sangat mahal sebenarnya telah dilakukan dengan menggunakan Al₂O₃ dan SiO₂ sebagai *catalyst* (**Bovin, 1992**). Model *monolitik converter* yang diperkenalkan Zygourakis (1989); Pysillos dan Philippoulos (1992); Karvounis dan Assanis (1992) memiliki fungsi dan bentuk yang cukup sederhana. Bentuknya menyerupai knalpot motor yang

memiliki panjang total 500 mm, diameter lubang inlet 55 mm, dan *Cement Plugs* (*Platina, Palladium, Rhodium* dengan *Alumina Silica* sebagai matriks penyangga) yang merupakan katalis dengan panjang 152 mm dan diameter 116 mm. Bentuk dan dimensi *monolitik converter* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model *catalytic converter monolitik*

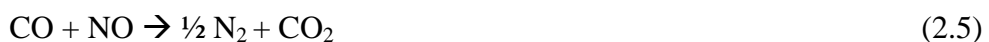
(Zygourakis, 1989; Psyllos dan Philippopoulos, 1992; Kavounis dan Assanis, 1992)

Laju aliran gas buang (*gas flow*) yang keluar dari ruang mesin akan ada lubang inlet, gas buang yang masih mengandung banyak CO, NO_x, dan HC tersebut akan melewati katalis. Mekanisme reaksi katalis yaitu dengan mengubah komposisi gas buang yang ada dengan berbagai reaksi kimia dan pertukaran ion (Bovin, 1992). Reaksi katalisasi dalam *catalytic converter* pada persamaan (2.1) – (2.11).

Reaksi Oksidasi dengan O₂



Reaksi Oksidasi Reduksi dengan NO



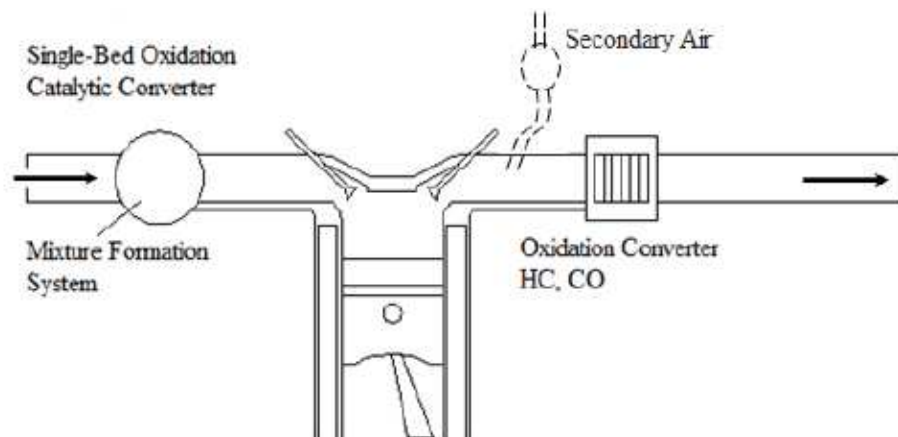


1.3 Jenis-Jenis *Catalytic Converter*

Secara garis besar, *catalytic converter* dapat digolongkan menjadi tiga golongan yaitu:

1. *Catalytic Converter* Oksidasi

Fungsi katalis oksidasi adalah mengubah CO dan hidrokarbon menjadi CO₂ dan air dalam uap gas buang. Katalitik jenis ini beroperasi pada kendaraan udara berlebih. Udara berlebih yang digunakan untuk proses oksidasi dapat melalui pengaturan campuran miskin ($\lambda > 1$) (Irawan, B. 2003). *Catalytic Converter* Oksidasi dapat dilihat pada gambar 2.3.

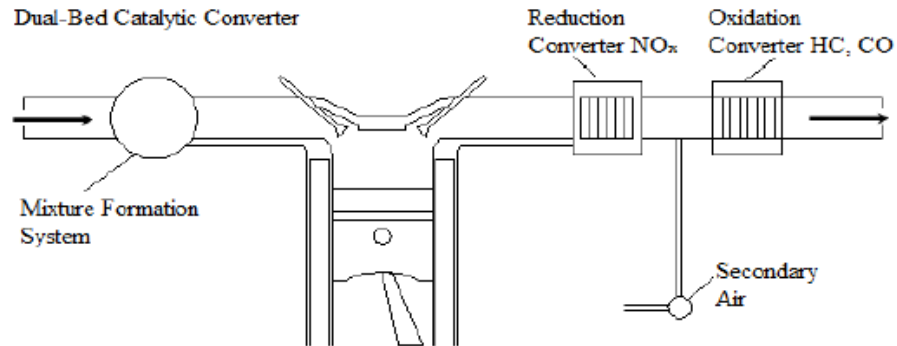


Gambar 2.3 *Catalytic converter* oksidasi

2. *Two – Way Catalytic Converter*

Pada sistem ini terdiri dari dua sistem katalis yang dipasang segaris dimana gas buang akan melalui *catalytic* reduksi dan kemudian *catalytic* oksidasi. Sistem pertama merupakan *catalytic* reduksi yang akan berperan dalam menurunkan emisi NO_x, sedangkan sistem kedua merupakan *catalytic* oksidasi yang dapat menurunkan emisi HC dan CO. Mesin yang dilengkapi dengan sistem ini biasanya dioperasikan dengan campuran kaya

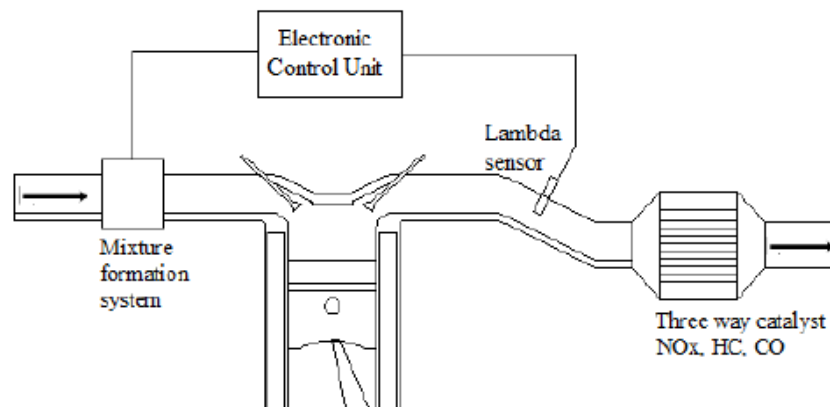
($\lambda < 1$) (Irawan, B. 2003). *Two – Way Catalytic Converter* dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. *Two – way catalytic converter*

3. *Three – Way Catalytic Converter*

Pada sistem ini *Three – Way Catalytic Converter* dirancang untuk mengurangi gas-gas polutan seperti CO, HC, dan NO_x yang keluar dari sistem gas buang dengan cara mengubah melalui reaksi kimia sehingga menjadi CO₂, uap air (H₂O), dan Nitrogen (N₂). Sistem ini menggunakan control (*Lambda Sensor*) yang dapat mengatur nilai lambda sehingga dapat berfungsi secara optimal (Irawan, B. 2003). *Three – Way Catalytic Converter* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 *Three – way catalytic converter*

1.4 Mekanisme Reaksi *Catalytic converter*

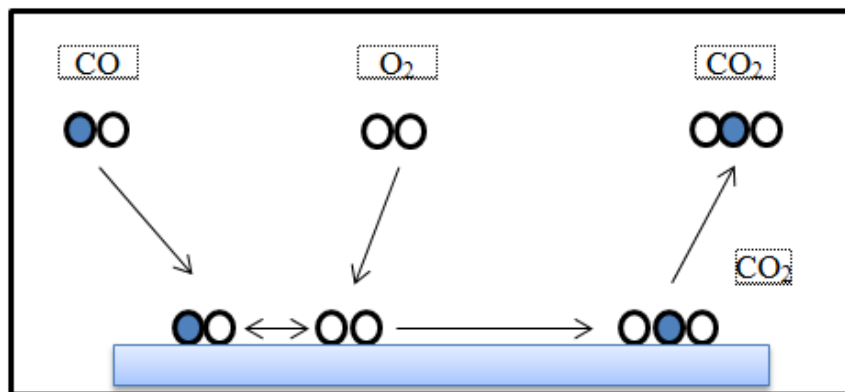
Reaksi oksidasi karbonmonoksida dengan katalis campuran oksida logam transisi dapat berlangsung dengan menggunakan oksigen sebagai oksidator. Reaksi tersebut dapat berlangsung pada permukaan katalis oksida logam tersebut. Reaksi pada permukaan katalis dapat diuraikan menurut :

1. Mekanisme Mars – Van Krevelen

Oksidasi karbonmonoksida berlangsung melalui adsorpsi CO pada katalis, diikuti terjadinya reaksi CO dengan atom O dari katalis kemudian desorpsi CO₂ sebagai hasil reaksi. Reaksi ini terjadi pada permukaan bagian dalam (**Razif, M. 2005**).

2. Mekanisme Langmuir – Hinshelwood

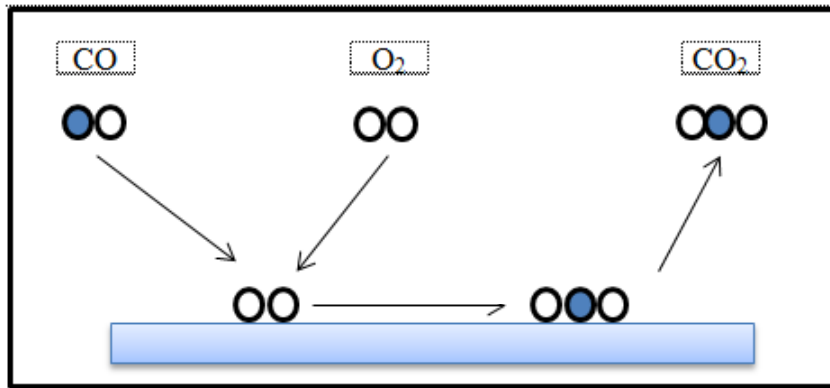
Molekul karbonmonoksida dapat mengalami kondensasi di atas permukaan katalis dan atom oksigen berada di sampingnya, selanjutnya keduanya berinteraksi. Reaksi ini terjadi antara molekul oksigen dengan molekul karbonmonoksida yang keduanya teradsorpsi di permukaan katalis (**Razif, M. 2005**). Mekanisme reaksi oksidasi CO menurut Langmuir – Hinshelwood dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Mekanisme reaksi oksidasi CO menurut Langmuir - Hinshelwood

3. Mekanisme Eley – Rideal

Hanya oksigen teradsorpsi pada permukaan katalis, sedangkan karbonmonoksida dapat mengalami ikatan dengan oksigen selama proses tumbukan. Mekanisme ini terlihat pada gambar 2.7.

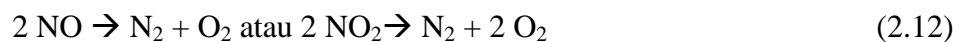


Gambar 2.7 Skema mekanisme reaksi oksidasi CO menurut Eley – Rideal
(Razif, M. 2005)

1.5 Prinsip Kerja *Catalytic Converter*

1. Tahap awal dari proses yang dilakukan pada *catalytic converter* adalah *reduction catalyst*.

Tahap ini menggunakan *Platinum* dan *Rhodium* untuk membantu mengurangi emisi NO_x. Ketika molekul NO atau NO₂ bersinggungan dengan katalis, sirip katalis mengeluarkan atom Nitrogen dari molekul dan menahannya. Sementara oksigen yang ada diubah ke bentuk O₂. Atom Nitrogen yang terperangkap dalam katalis tersebut diikat dengan atom Nitrogen lainnya sehingga terbentuk format N₂, namun demikian pada penulisan Tugas Akhir ini katalis yang akan digunakan bukanlah *Platinum* dan *Rhodium* melainkan menggunakan Tembaga Lapis Mangan (Cu*Mn). Rumus kimia *reduction catalyst* seperti pada persamaan (2.12).



2. Tahap kedua dari proses di dalam *catalytic converter* adalah *oxidazion catalyst*.

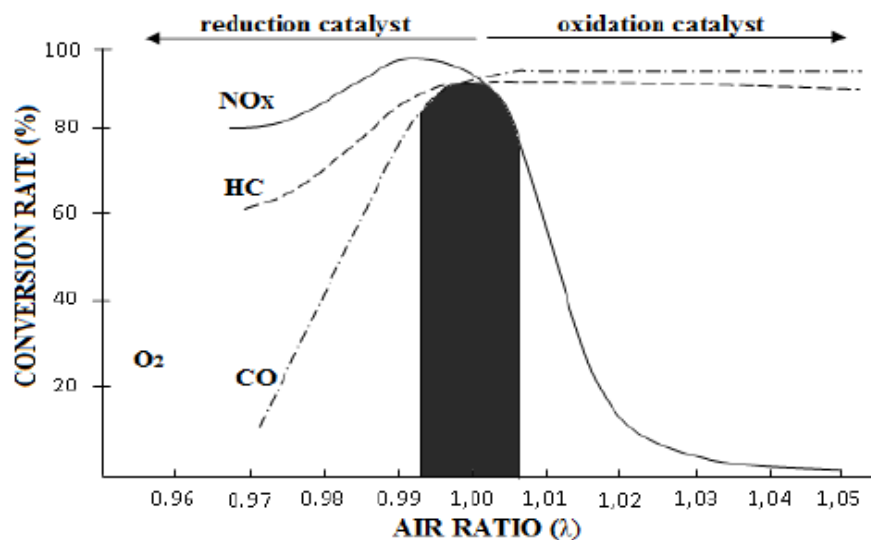
Proses ini mengurangi hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar di ruang bakar dan karbonmonoksida (CO) dengan membakarnya (*oxidazion*) melalui katalis. Katalis ini membantu reaksi CO dan HC dengan oksigen yang ada di dalam gas buang. Reaksinya dapat dilihat pada persamaan (2.13).



3. Tahap ketiga adalah pengendalian sistem yang memonitor arus gas buang.

Informasi yang diperoleh dipakai lagi sebagai kendali sistem injeksi bahan bakar. Ada sensor oksigen yang diletakkan sebelum *catalytic converter* dan cenderung lebih dekat ke mesin daripada converter itu sendiri. Sensor ini memberi informasi ke *Electronic Control System (ECS)* seberapa banyak oksigen yang ada di saluran gas buang. ECS akan mengurangi atau menambah jumlah oksigen sesuai rasio udara bahan bakar. Skema pengendalian membuat ECS memastikan kondisi mesin mendekati rasio *stoikiometri* dan memastikan ketersediaan oksigen di dalam saluran buang untuk proses oksidasi HC dan CO yang belum terbakar (Ellyanie, 2011).

Tahap ketiga tidak berlaku pada penelitian Tugas Akhir ini. Hal ini disebabkan *engine* pengujian masih menganut sistem pembakaran konvensional (karburator) sehingga tidak dilengkapi *Electronic Control System (ECS)*. Daerah Operasi *Three – Way Catalytic Converter* dapat dilihat pada gambar 2.8. Daerah yang gelap merupakan daerah operasi sekitar $\lambda = 1 \pm 1 \%$.



Gambar 2.8 Daerah Operasi *Three – Way Catalytic Converter* (Ellyanie, 2011)

Proses pembakaran yang sebenarnya, motor bensin tidak dapat bekerja pada daerah operasi yang sempit tersebut, maka digunakan sistem pengendalian *loop* tertutup, yaitu sistem pengendalian yang menjaga

komposisi campuran udara bahan bakar yang masuk ke ruang bakar tetap pada daerah lambda yang diinginkan ($\lambda = 1 \pm 1\%$). Sebagai pendeteksi gas buang digunakan sensor lambda. Sensor ini akan mendeteksi apakah campuran lebih kaya atau lebih miskin dari $\lambda = 1$ (Ellyanie, 2011).

1.6 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang yang relative tidak berbahaya diantaranya adalah N_2 , CO_2 , dan H_2O , terkecuali NO_x dan CO_2 yang dinilai mampu memicu pemanasan global yang berakibat pada pencairan es yang ada di kutub utara. Namun pada kenyataannya gas-gas ini sangat berbahaya bagi kesehatan manusia.

Karakteristik dari gas-gas tersebut menurut Depkes (2007) adalah :

1. Karbonmonoksida (CO) : gas beracun yang tidak berwarna dan tidak berbau.
2. Hidrokarbon (HC) atau komponen *Volatile Organic* : dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna pada bahan bakar. Sinar matahari merubah menjadi bentuk oksida, yang akan bereaksi dengan nitrogen oksida yang mampu menurunkan ketebalan ozon.
3. Nitrogen oksida (NO, NO_2 , atau NO_x) berkaitan dengan asap dan hujan asam dan dapat mengakibatkan iritasi pada membran lendir manusia.

Sumber polusi udara dapat dilihat pada tabel 2.1. Sedangkan kontribusi gas CO_2 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Sumber Polusi Udara Tahun 1980 (Howards, Peavey. 1985)

Sumber	Polusi (dalam juta ton per tahun)					
	CO	Part	SO _x	HC	NO _x	Total
Transportasi	69,1	1,4	0,9	7,8	9,1	88,3
Pembakaran Bahan Bakar	2,1	1,4	19,0	0,2	10,6	33,3
Proses Industri	5,8	3,7	3,8	10,8	0,7	24,8
Pembuangan Limbah Padat	2,2	0,4	0,0	0,6	0,1	3,3
Lain-lain (kebakaran hutan, pertanian)	6,2	0,9	0,0	2,4	0,2	9,7
Total	85,4	7,8	23,7	21,8	20,7	159,4

Tabel 2.2 Kontribusi Gas CO₂ Tahun 2001
(National Strategy Study On Cmd, 2001)

Sektor	Total emisi CO ₂ (juta ton)				Pertumbuhan (% per tahun)
	2000	2001	2002	2003	
Industri	58	73	109	141	2,4
Rumah Tangga	21	23	22	25	0,4
Transportasi	55	76	128	168	3,4
Pembangkit Listrik	54	90	220	275	5,1
Energi Industri	40	35	48	63	1,9
Total	228	298	526	672	3,3

Sedangkan dilihat dari jenis bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan, besarnya kontribusi emisi gas buang yang diteliti oleh Pertamina ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kontribusi Emisi Gas Buang Berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Jenis Gas Buang	Kontribusi Berdasarkan Jenis BBM	
	Bensin (%)	Diesel (%)
Karbonmonoksida (CO ₂)	89,0	11,0
Hidrokarbon	73,0	27,0
NO _x	61,0	39,0
SO ₂	15,0	85,0
Timah hitam (Pb)	100,0	0,0
CO ₂	54,0	47,0
Asap	1,0	99,0

Selain emisi yang dikeluarkan berupa gas-gas beracun seperti karbonmonoksida, hidrokarbon, dan nitrogen oksida, ternyata pada gas buang juga terdapat bahan partikulat dan timbal. Timbal (*lead*) dihasilkan dari bahan bakar bensin yang mengandung *Tetra Etil Lead* (TEL). Timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang memiliki bobot atom lebih besar dari bobot

atom kalsium dan densitasnya lebih besar dari 5 g/cm^3 . Logam berat memiliki nomor atom 22-29 dan terdapat pada periode IV A dan VII A (Nurafiyati, 2004). Keberadaan logam berat di lingkungan berasal dari dua sumber yaitu dari alam (vulkanik) dan antropogenik (aktivitas manusia). Sumber antropogenik berasal dari aktivitas manusia, misalnya industri pertambangan, cat, pelapisan logam, baterai, kaleng, dan yang merupakan sumber cukup besar adalah pembuangan gas kendaraan bermotor.

Peningkatan kadar timbal di udara sangat dipengaruhi oleh emisi gas buang kendaraan bermotor yang menggunakan bensin yang mengandung timbal *Tetra Etil Lead*. Stoker dan Seager (1972) dan Nurafiyati (2004) menyatakan bahwa senyawa-senyawa timbal yang dikeluarkan oleh proses pembakaran bensin pada kendaraan bermotor cukup banyak jenisnya, tetapi yang paling besar yaitu Timbal Oksida (Pbox) (Stoker dan Seager, 1972 dalam Nurafiyati, 2004).

1.7 Proses Pembakaran Dalam Motor Bensin 4 Langkah

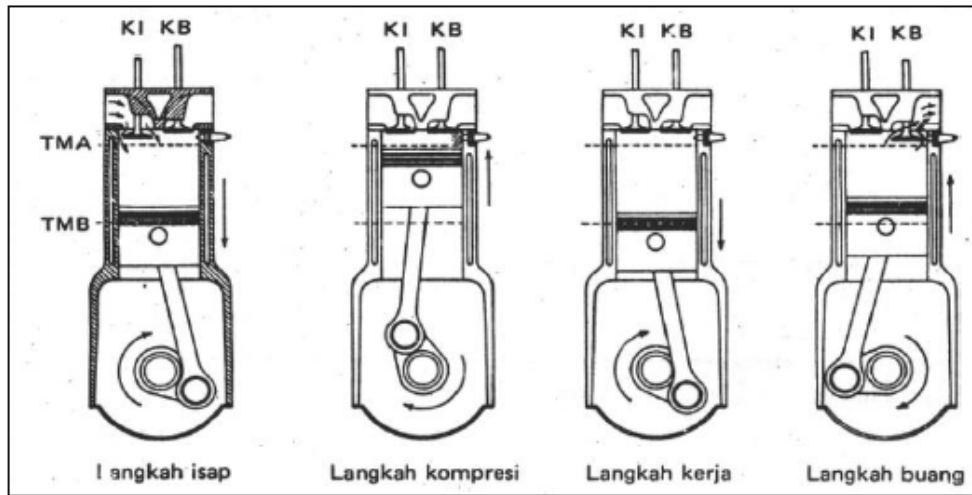
Torak bergerak naik turun di dalam silinder, titik tertinggi yang dicapai oleh torak tersebut disebut “titik mati atas” (TMA) dan titik terendah “titik mati bawah” disebut langkah torak. Pada motor 4 tak mempunyai 4 langkah dalam satu gerakan. Yaitu gerakan hisap, kompresi, ekspansi, dan gerak kerja (Daryanto, 2003). Prinsip kerja dan siklus p-v mesin 4 tak secara jelas dapat dilihat pada gambar 2.9 dan gambar 2.10.

1. Langkah Hisap (1-2)
 - a. Katub masuk terbuka dan katub buang (*exhaust valve*) tertutup.
 - b. Torak bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Akibatnya, ruang bakar (*combustion chamber*) menjadi vakum.
2. Langkah Kompresi (*compression stroke*) (2-3)
 - a. Katub masuk dan katub buang dalam keadaan tertutup.
 - b. Torak bergerak dari TMB ke TMA. Pada mesin berteknologi karburator dan EFI, campuran udara bahan bakar yang telah dimasukkan ke dalam silinder dikompresikan ke ruang bakar

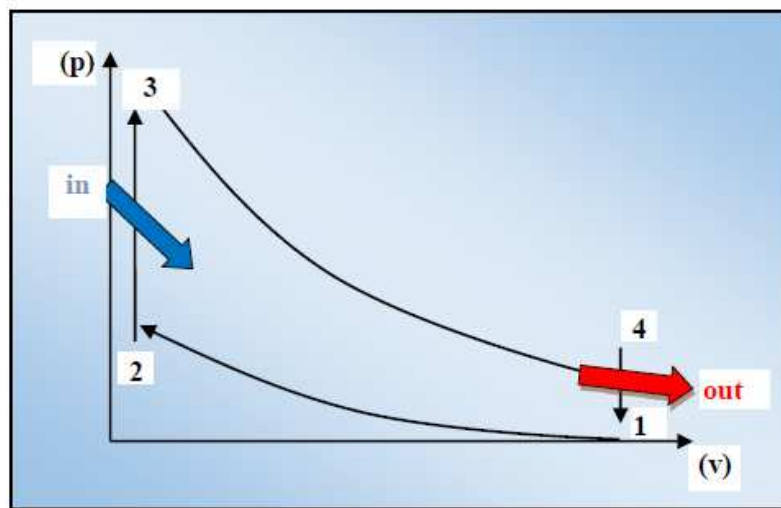
sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat akibat volume dipersempit.

3. Langkah Ekspansi (*expansion stroke*) (3-4)
 - a. Katub masuk dan katub buang masih dalam keadaan tertutup.
 - b. Torak bergerak dari TMA ke TMB sebagai akibat desakan dari gas hasil pembakaran tadi.
 - c. Akibat dari proses pembakaran di ruang bakar, ledakan pembakaran akan memberikan gaya tekan pada kepala torak (*torque*) untuk menggerakkan kendaraan.
 - d. Gas sisa hasil pembakaran diekspansikan ke volume ruangan yang lebih besar.
4. Langkah Buang (4-1)
 - a. Katub masuk tertutup dan katub buang terbuka.
 - b. Torak bergerak dari TMB ke TMA.
 - c. Pada akhir ekspansi tekanan gas dalam silinder masih lebih tinggi dari tekanan atmosfer sehingga katub buang terbuka, gas sisa hasil pembakaran segera mengalir keluar dari dalam silinder menuju sistem pembuangan (*exhaust system*).
 - d. Selanjutnya gerakan torak dari TMB ke TMA akan ikut mempercepat pembuangan gas sisa hasil pembakaran tadi.

Berakhirnya langkah torak yang keempat di atas, telah menyelesaikan satu siklus kerja dan proses akan terus berlangsung selama mesin berjalan. Perlu diketahui bahwa katub masuk dibuka lebih awal dan ditutup lebih akhir, begitu juga dengan katub buang. Oleh karena itu, pada mesin empat langkah terjadi kedua katub sama-sama terbuka (*overlapping*). Proses kerja mesin empat langkah Otto dapat dilihat pada gambar 2.9.

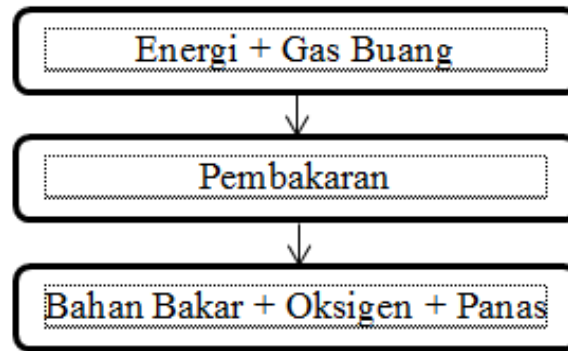


Gambar 2.9 Proses Kerja Mesin 4 Langkah Otto (Suryaddi, P. 2013)



Gambar 2.10 Grafik Siklus Oto

Pembakaran terjadi karena ada tiga komponen yang bereaksi, yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas. Jika salah satu komponen tersebut tidak ada, maka tidak akan timbul reaksi pembakaran. Skema pembakaran sempurna pada mesin bensin dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Skema Pembakaran Sempurna pada Mesin Bensin
(Syahrani, 2006)

Gambaran di atas merupakan reaksi pembakaran sempurna, dimana diasumsikan semua bensin terbakar sempurna dengan perbandingan udara dan bahan bakar 14,7:1.

Persamaan reaksi pembakaran sempurna dapat dihitung menggunakan persamaan 2.14.



C_8H_{18} adalah bahan bakar yang digunakan yaitu bensin, kemudian oksigen (O_2) dari udara. Setelah pembakaran berlangsung, maka terbentuk gas buang yaitu karbonmonoksida (CO_2) yang lepas ke udara dan air (H_2O) (Syahrani, 2006).

1.8 Nilai AFR dan Lambda

Emisi gas buang sangat tergantung pada perbandingan campuran bahan bakar dengan udara, jadi untuk mengetahui kadar emisi gas buang maka alat uji emisi dilengkapi dengan pengukuran nilai λ (lambda) atau AFR (*air fuel ratio*) yang dapat mengindikasikan campuran tersebut.

Teori *stoichiometric* menyatakan untuk membakar 1 gram bensin dengan sempurna diperlukan 14,7 gram oksigen. Dengan kata lain, perbandingan campuran ideal = 14,7 : 1. Perbandingan campuran ini disebut AFR atau perbandingan udara dan bensin (bahan bakar). Untuk membandingkan antara teori dan kondisi nyata, dirumuskan suatu perhitungan yang disebut dengan istilah lambda (λ). Secara sederhana, dituliskan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah udara sesungguhnya}}{\text{Teori Stoichiometri}} \quad (2.16)$$

Jika jumlah udara sesungguhnya 14,7 maka :

$$\lambda = 14,7 / 14,7 : 1$$

$$\lambda = 14,7 / 14,7$$

$$\lambda = 1$$

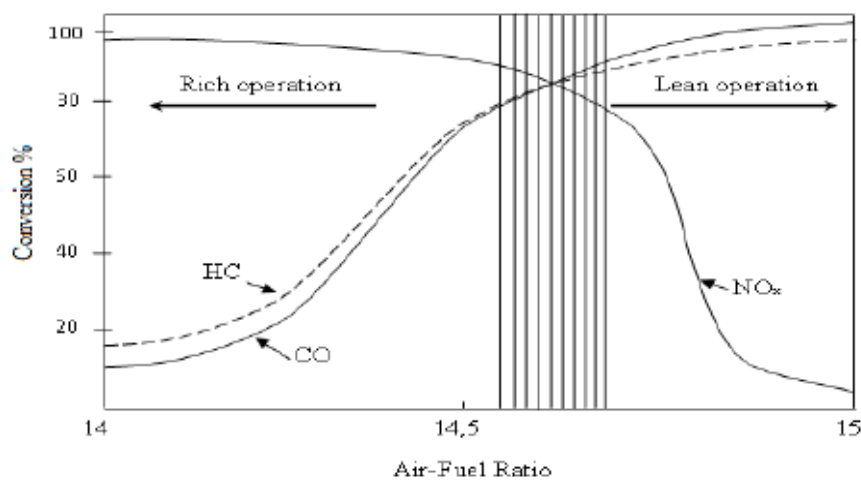
Artinya :

$\lambda = 1$ (mengindikasikan campuran yang idel)

$\lambda > 1$ (mengindikasikan campuran kurus atau kering, dimana udara pembakaran berlebih)

$\lambda < 1$ (mengindikasikan campuran kaya atau basah, dimana bahan bakar berlebih)

Gambar 2.9 menerangkan konversi tinggi (>80-90%) dari CO, HC, dan NO_x yang dicapai secara bersamaan. Jika A / F-rasio di bawah 14,7 gas buang mengandung reaktan lebih mengurangi (CO, HC) dari reaktan pengoksidasi (O₂, NO_x) dan mesin yang beroperasi di bawah kondisi kaya. Jika A / F-rasio melebihi 14,7 mesin beroperasi di bawah kondisi ramping. Reaksi reduksi dari NO_x disukai dalam kondisi kaya, sedangkan kondisi lean mendukung reaksi oksidasi katalitik dari CO dan hidrokarbon. Grafik efisiensi perbandingan udara dengan bahan bakar dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.12 Grafik Perbandingan Udara dengan Bahan Bakar (Lassi, U. 2003)

Hubungan antara AFR dengan gas buang, diasumsikan mesin dalam kondisi normal dengan kecepatan konstan, pada kondisi AFR kurus dimana konsentrasi CO dan HC menurun tetapi pada saat NOx meningkat, sebaliknya AFR kaya NOx menurun tetapi CO dan HC meningkat.

Hal ini berarti pada mesin bensin sangat sulit untuk mencari upaya penurunan emisi CO, HC, dan NOx pada waktu bersamaan, apalagi dengan mengubah campurannya saja. Pada dasarnya campuran bahan bakar dengan udara itu harus selalu mendekati 1 untuk menjaga dari emisi gas buang yang tinggi. Selain itu, juga mudah untuk perawatan dan pemeliharaan mesinnya. Selanjutnya persamaan AFR dan λ (lambda) ditabelkan pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Persamaan AFR dan Lambda (λ) (Syahrani, A. 2006)

AFR	Lambda (λ)	AFR	Lambda (λ)
5	0,340	15	1,020
6	0,408	15,5	1,054
7	0,476	16	1,088
8	0,544	16,5	1,122
9	0,612	17	1,156
11	0,748	18	1,224
12	0,816	18,5	1,259
13	0,884	29	1,293
14	0,952	19,5	1,327
14,7	1,000	20	1,361

1.9 Orifice Plate Flowmeter

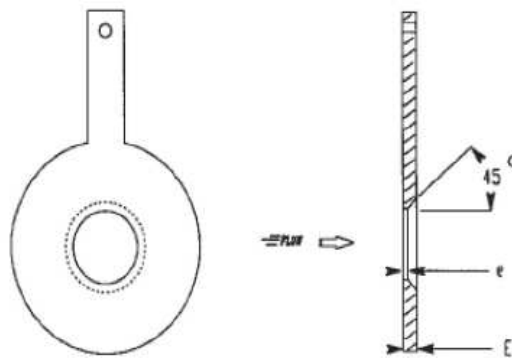
1. Pengertian Orifice

Pengukuran aliran adalah untuk mengukur kapasitas aliran, massa laju aliran, volume aliran. Pemilihan alat ukur aliran tergantung pada ketelitian, kemampuan pengukuran, harga, kemudahan pembacaan, kesederhanaan, dan keawetan alat ukur tersebut. Dalam pengukuran fluida termasuk penentuan tekanan, kecepatan, debit, gradien kecepatan, turbulensi, dan viskositas. Terdapat banyak cara melaksanakan pengukuran-pengukuran.

Orifice adalah salah satu alat ukur pengukur aliran fluida yang menghasilkan perbedaan tekanan udara untuk menentukan laju aliran masa dari aliran.

Concentric Orifice merupakan jenis *orifice* yang paling banyak digunakan. Profil lubang *orifice* ini mempunyai alat takik (*bevel*) dengan kemiringan 45° pada tepi bagian *downstream* (lihat gambar 2.10 di bawah). Hal ini akan mengurangi jarak tempuh dari aliran tersebut mengalami perbedaan tekanan melintang. Setelah aliran melewati *orifice* akan terjadi penurunan tekanan dan kemudian mencoba kembali ke tekanan semula tetapi terjadi sedikit tekanan yang hilang permanen (*permanent pressure loss*) sehingga perbedaan tekanan *upstream* dan *downstream* tidak terlalu besar.

Perbandingan diameter *orifice* dan diameter dalam pipa dilambangkan dengan " β ". *Orifice* jenis ini memiliki ketentuan untuk nilai $\beta = d / D$ yaitu antara 0,2 – 0,7 karena akurasi akan berkurang untuk nilai di luar batas tersebut (<http://repository.unri.ac.id>). *Concentric orifice* dapat dilihat pada gambar 2.13.

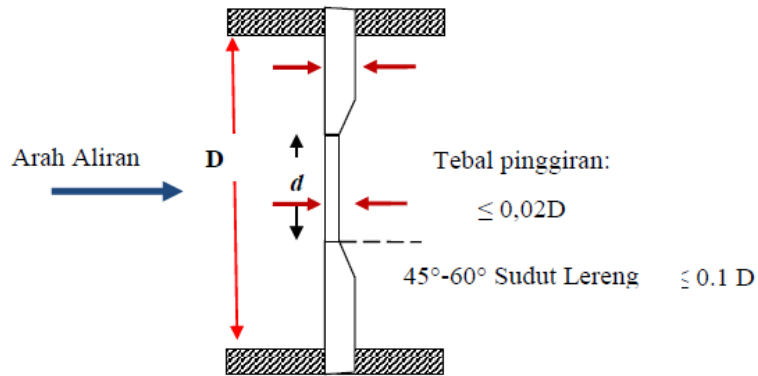


STANDARD CONCENTRIC ORIFICE

Gambar 2.13 *Concentric Orifice*

Gambar 2.13 memperlihatkan piranti dasar dari *orifice* yang pemakaiannya disarankan oleh Organisasi Internasional untuk Standarisasi (ISO) (White, F. M. 1986).

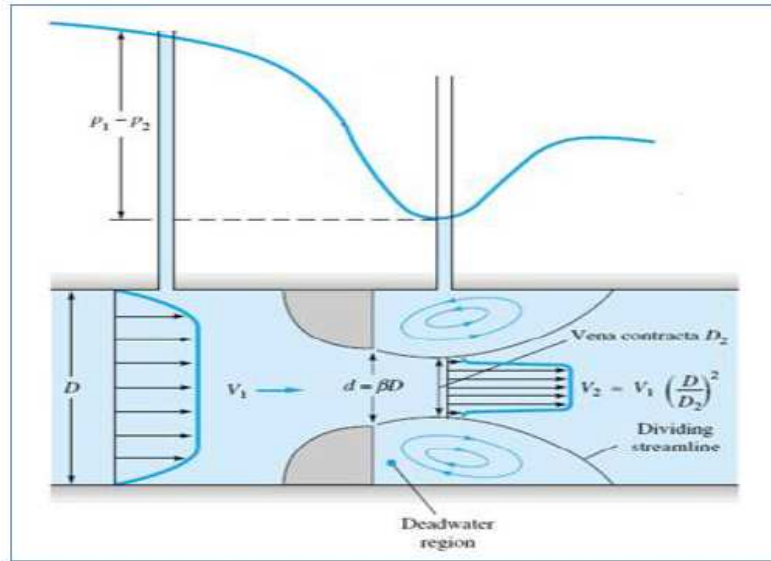
Sedangkan profil lubang plat tipis / plat *orifice* dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2.14 Profil Lubang Plat Tipis / Plat *Orifice*
(Victor L Streeter, E. B. W. 1995)

2. Prinsip dan Persamaan Dasar

Pada dasarnya *orifice* berupa plat tipis dengan lubang di bagian tertentu (umumnya di tengah). Fluida yang mengalir melalui pipa ketika sampai pada *orifice* akan dipaksa untuk melewati lubang pada *orifice*. Hal itu menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan dan tekanan. Titik dimana terjadi kecepatan maksimum dan tekanan minimum disebut *vena contracta*. Setelah melewati *vena contracta* kecepatan dan tekanan akan mengalami perubahan lagi. Dengan mengetahui perbedaan tekanan pada pipa normal dan tekanan pada *vena contracta*, laju aliran volume, dan laju aliran massa dapat diperoleh dengan persamaan *Bernoulli* dan persamaan kontinuitas. Perubahan kecepatan dan tekanan melalui meteran penghalang *Bernoulli* dapat dilihat pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Perubahan Kecepatan dan Tekanan melalui Meteran Penghalang *Bernoulli* (White, F. M. 1986)

Beda tekanan pada manometer pipa ($P_1 - P_2$)

$$(P_1 - P_2) = \rho_{hg} \cdot g \cdot \Delta h \quad (2.17)$$

Persamaan *Bernaoulli* :

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + g z_2 \quad (2.18)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 \right] \quad (2.19)$$

Substitusi Persamaan :

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho V_2^2}{2} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]$$

Sehingga V_2 teoritis :

$$V_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}} \quad (2.20)$$

Persamaan Kontinuitas :

$$\left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 = \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^4 \quad (2.21)$$

Dimana :

$$Q_1 = Q_2$$

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$

$$V_1 = \frac{V_2 A_2}{A_1}$$

$$V_1 = V_2 \beta^2 \quad (2.22)$$

$$V_1 = V_2 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2$$

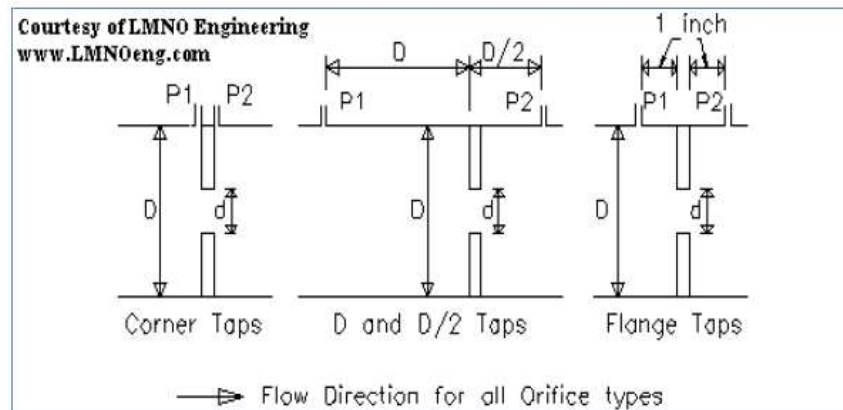
$$Re = \frac{\rho V_1 D_1}{\mu} = \frac{V_1 D_1}{\gamma} \quad (2.23)$$

Persamaan di atas kurang akurat karena diabaikan beberapa faktor seperti gaya gesek. Oleh karena itu, untuk mengurangi ketidaksesuaian tersebut ditambahkan satu koefisien baru yaitu C_d (*discharge coefficient*), dan $D_2/D_1 = \beta$ sehingga $(A_2/A_1)^2 = (D_2/D_1)^4 = \beta^4$

Untuk nilai C_d , ASME merekomendasikan persamaan yang dikembangkan oleh ISO adalah sebagai berikut :

$$C_d = 0,5959 + 0,0312 \beta^{2,1} - 0,184 \beta^{2,1} - 91,71 \beta^{2,5} Re_l^{-0,75} + \frac{0,09 \beta^4}{1 - \beta^4} F_1 - 0,0337 \beta^3 F_2 \quad (2.24)$$

Sedangkan tipe tapping pada *orifice flowmeter* dapat dilihat pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Berbagai Tipe Taping pada *Orifice Flowmeter*

Nilai F_1 dan F_2 berdasar pada posisi tap seperti pada gambar 2.16 adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Corner taps} & : F_1 = 0 & F_2 = 0 \\
 \text{D; 1/2D taps} & : F_1 = 0,4333 & F_2 = 0,47 \\
 \text{Flange taps} & : F_1 = 1/D \text{ (in)} & F_2 = 1/D \text{ (in)}
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

Dan Q teoritis adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{teoritis}} &= \rho V_2 A_2 = \rho \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2)}}{\sqrt{\rho \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}} A_2 \\
 Q &= \frac{C_d A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)} \\
 Q &= \frac{C_d \beta \pi (d)^2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \sqrt{2\rho (P_1 - P_2)}
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

1.10 Mangan

Mangan adalah kimia logam aktif, abu-abu merah muda yang di tunjukkan pada symbol Mn dan nomor atom 25. Ini adalah elemen pertama di grup 7 dari tabel *periodic*. Mangan merupakan dua belas unsur paling berlimpah di kerak bumi (sekitar 0,1%) yang terjadi secara alamiah. Mangan merupakan logam keras dan sangat rapuh. Sulit untuk meleleh, tetapi mudah teroksidasi. Mangan bersifat reaktif ketika murni, dan sebagai bubuk itu akan terbakar dalam oksigen, bereaksi dengan air dan larut dalam asam encer. Menyerupai besi tapi lebih keras dan lebih rapuh.

Mangan sangat penting untuk produksi besi dan baja. Mangan adalah komponen kunci dari biaya rendah formulasi baja *stainless* dan digunakan secara luas tertentu. Mangan digunakan dalam paduan baja untuk meningkatkan karakteristik yang menguntungkan seperti kekuatan, kekerasan, dan ketahanan. Mangan digunakan untuk membuat agar kaca tidak berwarna dan membuat kaca berwarna ungu.

Mangan dioksida juga digunakan sebagai katalis. Selain itu, Mangan digunakan dalam industri elektronik, di mana mangan dioksida, baik alam atau sintetis, yang digunakan untuk menghasilkan senyawa mangan yang

memiliki tahanan listrik yang tinggi di antara aplikasi lain, ini digunakan sebagai komponen dalam setiap pesawat televisi.

Aplikasi pada perlakuan terhadap gas buang kendaraan bermotor dengan memasang *catalytic converter* banyak dikembangkan dan dilakukan oleh peneliti akhir-akhir ini. Menurut Dowden dalam bukunya "*Catalytic HandBook*", umumnya *catalytic converter* yang dipakai pada kendaraan bermotor (ada di pasaran) adalah tipe pelet dan *monolithic* 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 derajat Celcius sehingga mengurangi aktifitas katalis. Selain itu logam-logam mulia tersebut mempunyai kelimpahan yang rendah dan harga yang cukup mahal.

Pemasangan *catalytic converter* pada saluran gas buang yang menggunakan bahan logam katalis Pd, Pt dan Rh dengan penyangga alumina, silica dan keramik, saat ini memerlukan biaya yang cukup mahal dalam pembuatannya, sulit di dapat dan kurang cocok digunakan di Indonesia yang bahan bakarnya masih ada yang mengandung Pb. Jenis *catalytic converter* ini dapat mengkonversi emisi gas buang (CO, HC dan NO_x) cukup tinggi (80 - 90%) (Warju.2006)

Oleh sebab itu penggunaan logam transisi yang mempunyai kelimpahan yang tinggi dan harga relatif murah dapat menjadi salah satu alternatif. Beberapa oksida logam transisi yang cukup aktif dalam mengoksidasi emisi gas CO antara lain : CuO, NiO dan Cr₂O₃. 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).