

TINJAUAN KIMIA PADA PENCEGAHAN POLUSI EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR

oleh

Hari Sutrisno

Abstrak

Pencemaran udara oleh emisi gas buang dari kendaraan bermotor akhir-akhir ini sangat mengkhawatirkan karena jumlah kendaraan bermotor semakin meningkat. Kondisi ini diperburuk oleh kendaraan yang diproduksi tergolong baru tetapi tidak bersih lingkungan. Pencemaran emisi gas buang tidak dapat dihindarkan karena bahan bakar yang digunakan pada saat ini merupakan bahan bakar minyak bumi. Salah satu cara yang dilakukan dengan mengubah gas polutan atau beracun dari emisi gas buang kendaraan bermotor menjadi gas yang bukan polutan atau bukan beracun dengan katalis konverter. Hal inilah yang menjadi pokok bahasan yaitu bagaimana konsep dan teknik yang dilakukan untuk mengatasi masalah di atas.

Cara yang dilakukan untuk mengubah polutan tersebut dengan katalis heterogen berdasarkan reaksi permukaan melalui mekanisme Langmuir-Hinshelwood dan Langmuir-Rideal. Hal yang diperlukan pada teknik ini yaitu adanya katalis dan penyangga yang berstruktur tunggal (*monolith substrate*) yang memenuhi syarat kondisi operasi. Katalis yang baik untuk mengontrol emisi gas buang kendaraan bermotor yaitu perpaduan platina (*Pt*) dengan rhodium (*Rh*) atau palladium (*Pd*) dengan (*Rh*). Penyangga yang mempunyai sifat termal dan luas permukaannya tinggi yaitu cordierit atau cordierit-mulit.

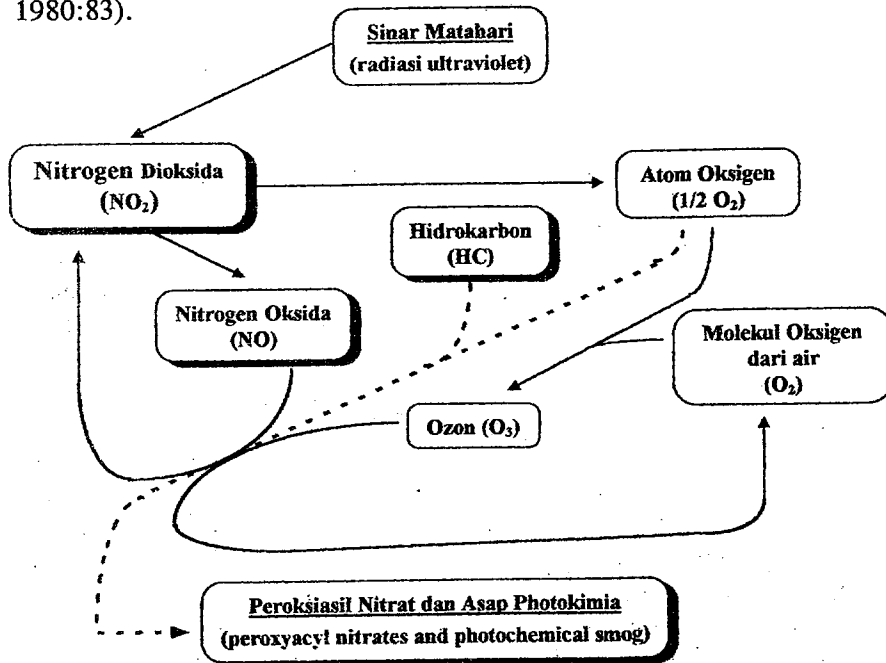
Pendahuluan

Masalah pencemaran lingkungan merupakan masalah global bagi kehidupan manusia di muka bumi. Bertambahnya populasi manusia dan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (*Iptek*) secara tidak langsung menimbulkan masalah pencemaran lingkungan yaitu efek dari didirikannya industri-industri untuk mempermudah dan mencukupi kebutuhan hidup manusia. Salah satu efeknya menghasilkan emisi gas buang yang berasal dari industri dan kendaraan bermotor. Pencemaran emisi gas buang tidak dapat dihindarkan karena bahan bakar yang digunakan pada saat ini merupakan bahan bakar fosil. Emisi gas buang yang beracun dari industri dan kendaraan bermotor disebabkan oleh proses pembakaran yang tidak sempurna menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak stabil antara lain : karbon monoksida (*CO*), beberapa jenis hidrokarbon (*HC*) yang tidak terbakar, nitrogen oksida (*NO_x*), disamping partikulat dan timbal (*Pb*) pada buangan kendaraan bermotor. Senyawa

timbangan merupakan bahan tambahan sebagai penaik angka oktan.

Emisi gas buang kendaraan bermotor sangat berbahaya bagi kesehatan antara lain : penyakit pernapasan, jantung, darah tinggi dan berkurangnya kesuburan pada pria serta kemandulan (Johan Budi, 1955 :9). Berdasarkan studi toksikologi, gas CO digolongkan sebagai *aspy-dant kimia* karena menyebabkan berkurangnya kadar O_2 dalam darah. Gas dapat berkaitan dengan hemoglobin (*Hb*) (*zat pembawa O_2*) membentuk senyawa karboksihemoglobin (*COHb*) Afinitas CP terhadap hemoglobin dalam darah 200-300 kali besar dari pada O_2 sehingga COHb lebih mudah terbentuk daripada O_2 Hb. Oleh karena itu kemampuan darah mengangkut O_2 berkurang dan oksigenasi ke sel-sel tubuh tidak berlangsung normal (Duffus, 1980 :81).

Senyawa NO_x meliputi nitrogen monoksida (*NO*) dan nitrogen dioksida (*NO₂*) merupakan masalah bagi lingkungan karena dapat mengubah ozon menghasilkan fotokimia (*photochemical smog*) dan menimbulkan hujan asam (Wood, 1994 :32). Siklus photolisis senyawa NO_x menjadi senyawa nitrat dan asam fotokimia melibatkan senyawa hidrokarbon (*HC*) seperti terlihat dalam diagram berikut (Duffus, 1980:83).



Gambar 1

Diagram siklus hujan asam dan asap fotokimia

Pencemaran udara oleh emisi gas buang dari kendaraan bermotor akhir-akhir ini di kota-kota besar di Indonesia sangat megkhawatirkan karena semakin meningkatnya jumlah kendaraan bermotor. Kondisi ini diperburuk oleh kendaraan yang diproduksi tergolong baru tetapi tidak bersih lingkungan. Berdasarkan penelitian pada kendaraan bermotor keluaran tahun 1992, kadar emisi gas CO (Johan Budi, 1995:9) adalah sebagai berikut : New Great Corolla: 9,35%; Jimny: 7,88%; Mercedes 200E: 6,73% dan Mazda 626: 5,55%. Kadar di atas melebihi ambang batas yang ditetapkan pemerintah sebesar 4%.

Penanganan masalah di atas hanya dapat dilakukan apabila emisi gas buang tersebut terlepas ke lingkungan. Cara yang dilakukan dengan mengubah gas-gas beracun atau polutan tersebut menjadi gas yang tak beracun atau bukan polutan. Untuk menangani masalah pada kendaraan bermotor, salah satu cara dengan konverter (*Catalyc Converter*) yaitu suatu bahan yang terdiri dari penyangga dan material aktif (*katalis*). Penanganan polusi pada industri lebih banyak lagi cara untuk menanganinya, tergantung dari kandungan emisi gas buang. Bahasan ini menekankan pada pengendalian emisi gas buang kendaraan bermotor. Permasalahan yang timbul dan perlu untuk diketahui yaitu penyangga yang baik, teknik pelapisan katalis, katalis yang tepat, teori katalis dan mekanisme reaksi untuk terjadinya perubahan gas beracun tersebut menjadi gas tidak beracun pada emisi gas buang kendaraan bermotor. Hal ini sangat penting untuk pengembangan jenis penyangga, katalis dan teknik pelekatan katalis lebih lanjut.

Penyangga Katalis (*Monolith Substrate*)

Cara yang digunakan untuk menangani masalah polusi kendaraan bermotor dengan menggunakan bahan yang disebut **katalis konverter** yang dipasang pada knalpot kendaraan bermotor. Katalis konverter merupakan bahan yang terdiri dari penyangga berstruktur tunggal (*monolith*) dan katalis berupa logam atau oksida aktif.

Suhu operasi knalpot kendaraan berkisar suhu 350°C - 650°C. Penyangga yang digunakan haruslah memenuhi syarat untuk kondisi operasi tersebut antara lain :konstanta dielektrik rendah, koefisien muai panas rendah, hantaran panas rendah, tahan terhadap kejutan panas, kekuatan mekanik tinggi pada suhu tinggi.

Sintesis senyawa yang melibatkan katalis heterogen mutlak diperlukan penyangga untuk pelekatan katalis. Beberapa penyangga katalis yang sering diugunakan dalam reaksi katalisis heterogen seperti tabel berikut (Cybulski dan Mouljin, 1994: 186).

Tabel 1
Material Penyangga Katalis

Senyawa	Ramus Kimia	Biaya	Karakteristik Panas		
			Suhu Tertinggi (K)	Tahanan kejut	Kekuatan Renuk
Alumina	α - atau β - Al_2O_3	Rendah	1870	*	**
Cordierit	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$	Sedang	1670	***	**
Cordierit-Mulit	$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ $- 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	Sedang	1720	**	***
Magnesium aluminat-Spinel	$\text{MgO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$				
Mulite	$3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$	Sedang	1920	*	**
Silicon karbida	SiC	Rendah -- Tinggi	1920	**	***
Silikon nitrida	Si_3N_4	Rendah -- Tinggi	1810	**	***
Spinel	$\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$				
Titania	TiO_2				
Zeolit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$				
Zirkonia	ZrO_2	Sedang -- Tinggi	2470	**	**
Zirkonia-Spinel	$\text{ZrO}_2 \cdot \text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$		1970	*	**
Zirkon-Mulite	$\text{ZrSiO}_4 \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$		1730	**	**
Metalik	Stainles Steel	Rendah	1670	***	
	Fe-Cr-Al-Yt	Rendah	1520	***	**

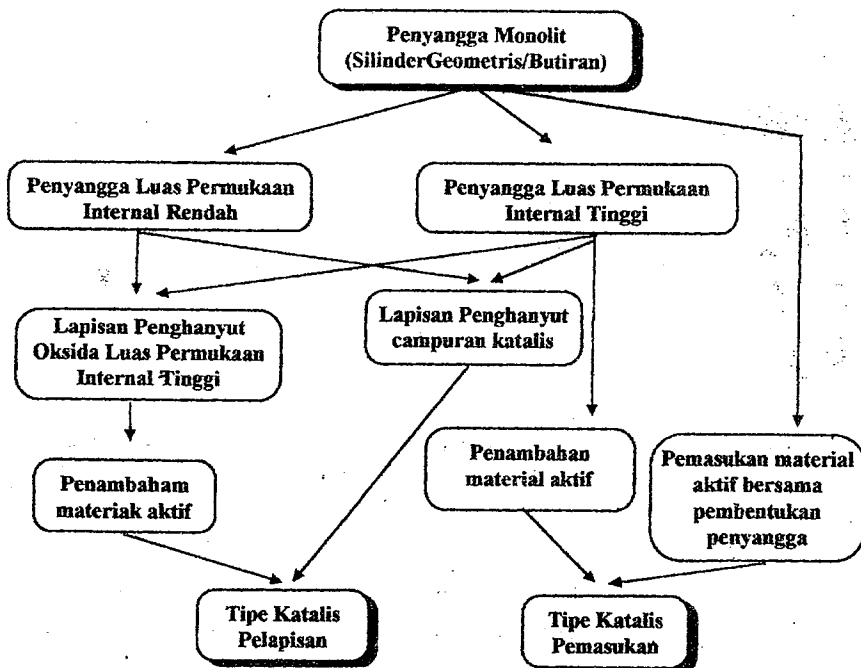
Keterangan: *** = sangat bagus; ** = bagus; * = cukup

Berdasarkan syarat kondisi operasi dan data dari tabel 1, penyangga yang baik adalah cordierit dan cordierit-mulit. Cordierit memiliki suhu tertinggi 1670 K, daya tahan kejut sangat bagus serta muai panas yang paling rendah. Suhu tertinggi yang mampu dicapai cordierit-mulit 1720 K, daya tahan kejut panas bagus dan kekuatan permukaan sangat bagus.

Bentuk penyangga katalis yang digunakan pada kontrol emis gas buang kendaraan bermotor dapat berupa butiran (*pellet type*) dan bentuk penyangga geometris antara lain : bentuk lempengan yang disusun menyerupai sarang lebah (*honeycomb design*), bentuk silinder yang berlubang (*hollow substrate*).

Teknik Pelekatan Katalis Pada Penyangga.

Tipe pelekatan katalis pada penyangga terdiri dari 2 macam (Cybulski dan Mouljin, 1994: 196-198) yaitu : tipe katalis pelapisan (*coated-type catalysts*) dan tipe katalis pemasukan (*incorporated-type catalysts*). Tipe katalis pelapisan hanya dilakukan pada penyangga yang mempunyai luas permukaan internal rendah, sedangkan luas permukaan internal tinggi dapat dilakukan dengan kedua tipe di atas.

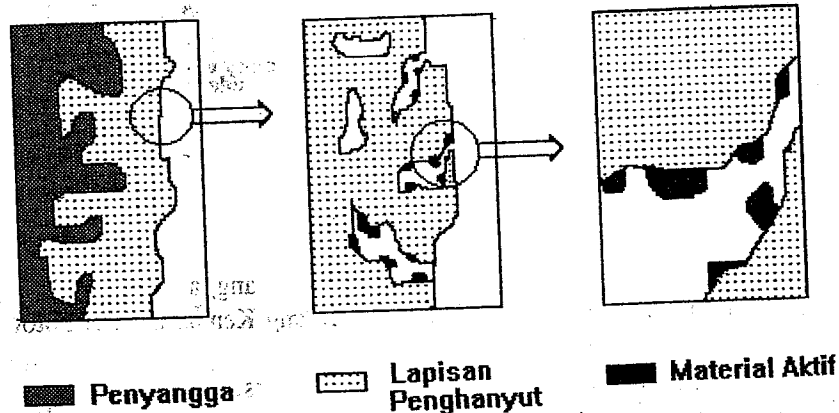


Gambar 2

Diagram pelapisan penyangga oleh katalis

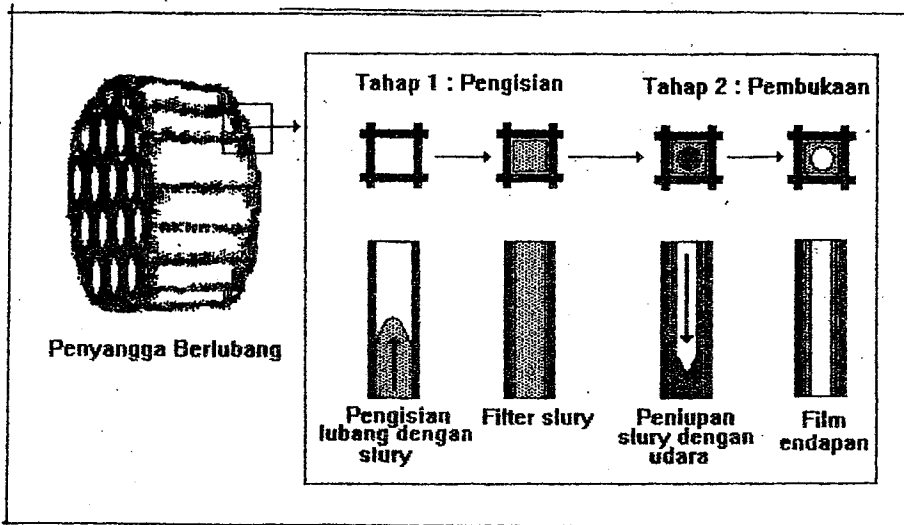
Tipe katalis pelapisan melalui dua cara untuk melekatkan katalis pada penyangga yaitu (1) Penyangga dilapisi dengan lapisan penghanyut, kemudian ditambahkan katalis. Katalis didispersikan dalam larutan yang sesuai (*biasanya larutan organik*); (2) Katalis didispersikan dalam larutan penghanyut, kemudian dilapiskan pada penyangga. Tipe katalis pemasukan dibentuk melalui 2 cara yaitu (1) katalis dicampurkan bersama-sama pada saat pembentukan penyangga; (2) pengaktifan penyangga diikuti dengan peredaman dalam larutan katalis.

Lapisan penghanyut biasanya dibentuk agar lekat dengan penyangga melalui 3 bahan yaitu (1) slury yang bagus berasal dari material dengan luas permukaan internal tinggi; (2) larutan yang berisi ion logam, kemudian dimungkinkan terjadi endapan dan (3) suatu sol berisi senyawa (*diikuti proses pembentukan jel*), kemudian dengan pemanasan dihasilkan produk. Struktur pelapisan katalis dengan penghubung lapisan penghanyut untuk kontrol emisi gas buang kendaraan bermotor seperti gambar berikut:



Gambar 3
Struktur pelapisan katalis

Pelekatan katalis pada penyangga berbentuk butiran melalui jembatan lapisan penghanyut tidak terlalu sulit, tetapi jika penyangga berbentuk geometris memerlukan teknik tertentu. Pelekatan katalis pada penyangga geometris biasanya melalui 2 tahap (Blake Kolb, Papadimitriou et. al., 1993: 61-67) yaitu (1) pengisian atau pembasahan lubang dengan slurry; (2) pembukaan lubang dengan mengalirkan udara. Kedua tahap tersebut digambarkan sebagai berikut:



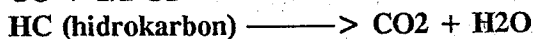
Gambar 4
Teknik pelekatan katalis pada penyangga
Katalis Dan Mekanisme Reaksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

Polutan pada emisi gas buang kendaraan tersebut berupa gas CO , NO_x dan hidrokarbon (HC). Untuk mengubah gas tersebut diperlukan material aktif atau katalis yang dapat mengadopsi gas tersebut kemudian bereaksi dengan gas lain menjadi gas yang tidak mencemari lingkungan. Katalis umumnya berupa logam aktif atau bentuk oksidasinya. Beberapa logam aktif yang digunakan sebagai katalis serta sifatnya adalah sebagai berikut (Borg, 1995:48-49):

Tabel 2
Jenis Dan Reaksi Pada Katalis

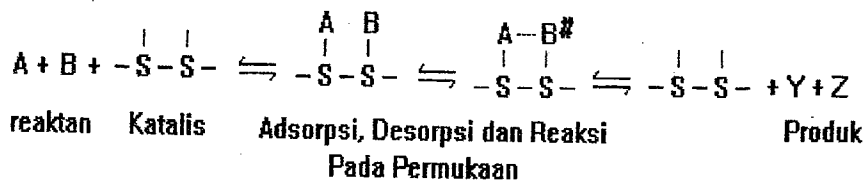
Logam	Bidang	Reaksi
Ni (Nikel)	(100) (111) poly	adsorpsi CO, O ₂ , H ₂ adsorpsi CO; hydrogenasi CO adsorpsi CO, H ₂ ; koadsorpsi CO dan H ₂
Ru (Rutenium)	(0001)	adsorpsi CO; disosiasi CO dan interaksi C-D; koadsorpsi CO dan C ₂ H ₄
Rh (Rhodium)	(111) dan (331) (210) (111) poly	adsorpsi CO, NO adsorpsi dan disosiasi CO adsorpsi O ₂ , CO adsorpsi dan koadsorpsi CO dan O ₂
Pd (Paladium)	(111) (100) poly	adsorpsi CO; oksidasi CO adsorpsi CO adsorpsi CO; defek-penyebab disosiasi CO
Pt (Platina)	poly (111)	adsorpsi CO; dekomposisi panas CH ₃ OH adsorpsi O ₂ ; reaksi H ₂ O dengan kemisorpsi oksigen; koadsorpsi K, CO dan CO ₂ ; dekomposisi termal CH ₃ OD dan CH ₂ CO; dehidrogenasi C ₂ H ₄ dan C ₃ H ₆ ; konversi -CHCH ₂ menjadi ≡CCH ₃ dan CH ₄ .

Reaksi katalitik yang terjadi pada emisi gas buang kendaraan bermotor adalah sebagai berikut:



Reaksi ini terjadi jika ada katalis melalui mekanisme katalis heterogen. Dalam katalis heterogen, katalis dan zat yang bereaksi atau berada pada fase yang berbeda yaitu katalis berbentuk padat sedangkan zat yang bereaksi dalam bentuk larutan atau gas.

Mekanisme reaksi heterogen pada reaksi katalitik emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan mekanisme reaksi permukaan. Reaksi permukaan terjadi melalui 5 tahap secara berurutan yaitu (1) difusi molekul yang bereaksi atau reaktan menuju permukaan; (2) adsorpsi reaktan pada permukaan; (3) reaksi terjadi pada permukaan; (4) desorpsi produk dan (5) difusi produk yang terdesorpsi meninggalkan permukaan. Tahap 1 dan 5 yang merupakan proses difusi, diduga proses yang paling lambat dan menentukan kecepatan reaksi. Pada penelitian lebih lanjut, hal ini hanya berlaku pada katalis yang berpori. Pada kenyataannya proses katalis heterogen melibatkan energi aktivasi, sedangkan tahap 1 dan 5 tidak melibatkan energi aktivasi. Dari kenyataan ini terbukti proses difusi (*tahap 1 dan 5*) merupakan proses paling cepat dibanding proses yang lain. Proses adsorpsi dan desorpsi merupakan tahap yang paling lambat pada tahap reaksi heterogen karena keduanya melibatkan energi aktivasi. Energi aktivasi proses desorpsi umumnya paling tinggi, sehingga proses ini yang menentukan kecepatan reaksi menghasilkan produk. Secara praktis adsorpsi dan desorpsi tidak dapat dipisahkan, sehingga kedua tahap tersebut menjadi satu kesatuan dan penentu kecepatan reaksi (*tahap 2 dan 4*). Teori yang mendasari mekanisme reaksi di atas ada 2 yaitu (Laidler, 1997: :241-242: mekanisme Langmuir-Hinshelwood dan Langmuir-Rideal. Mekanisme Langmuir-Hinshelwood terjadi bila dua zat yang beraksi teradsorpsi pada permukaan yang berdampingan kemudian terjadi reaksi, seperti pada gambar berikut:

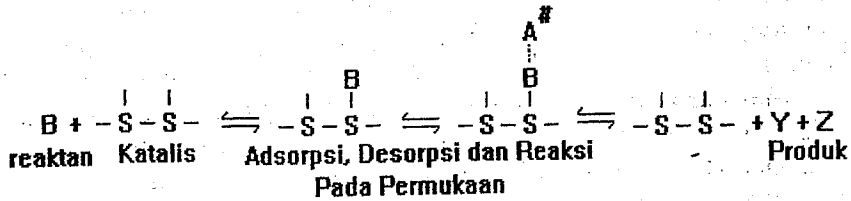


Gambar 5
 Mekanisme Langmuir-Hinshelwood

Pada mekanisme Langmuir-Hinshelwood ini, semua reaktan teradsorpsi secara berdampingan selanjutnya terjadi reaksi yang merupakan reaksi permukaan bimolekular.

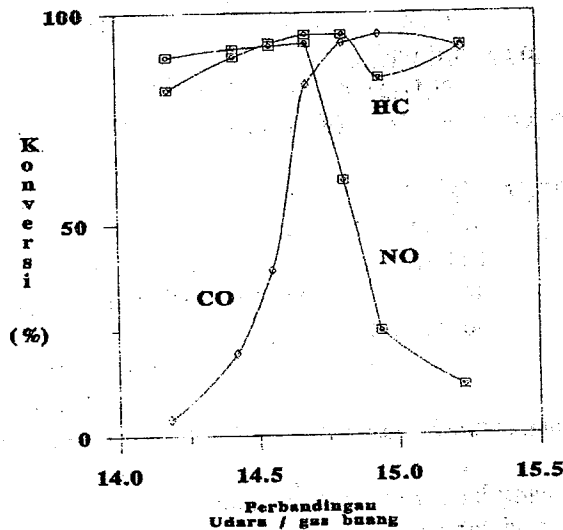
Mekanisme yang kedua yaitu mekanisme Langmuir-Rideal, reaktan teradsorpsi hanya satu jenis dan menempati permukaan katalis penuh kemudian reaktan yang lain bereaksi dengan reaktan yang teradsorpsi tersebut. Adsorpsi permukaan katalis melibatkan satu jenis zat

sehingga reaksi yang terjadi merupakan reaksi permukaan unimolekular. Diagram mekanisme reaksinya sebagai berikut:



Gambar 6
Maknisme Langmuir-Rideal

Dari tabel 2 (*jenis dan reaksi pada katalis*) dan teori mekanisme reaksi yang terjadi pada reaksi permukaan, dapat menggunakan katalis Ni, Ru, Rh, Pd dan Pt. Reaksi perubahan HC menjadi gas CO₂ dan H₂O menggunakan Pt dan Pd, sedangkan perubahan gas NO_x menjadi N₂ menggunakan Rh. Berdasarkan data ini dapat disimpulkan bahwa agar terjadi reaksi yang optimum pada emisi gas buang kendaraan bermotor dengan mengkombinasikan katalis Pt dengan Rh atau Pd dengan Rh. Kesimpulan ini dibuktikan oleh K. C Taylor (1993:462) dengan mengkombinasikan 0,042% berat Pt dan 0.018% berat Rh didapatkan grafik berikut:

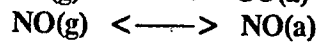
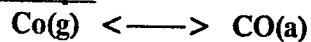


Gambar 7
Grafik kontrol emisi gas buang kendaraan bermotor dengan katalis 3 jalan

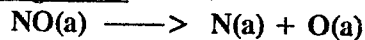
Grafik di atas ditunjukkan bahwa perbandingan udara/gas buang yang menghasilkan produk yang tidak beracun secara optimum pada sebesar 14,68. Katalis yang demikian disebut katalis tiga jalan (*three-Way Catalysts*) karena didasarkan kenyataan dapat mengkatalis 3 polutan sekaligus.

Mekanisme reaksi heterogen yang terjadi pada emisi gas buang kendaraan bermotor tergantung katalis yang digunakan. Hasil tadi mekanisme reaksi pada emisi gas buang khususnya NO dan CO pada kendaraan bermotor yang dilakukan Shelef dan Graham (1994:450) dengan katalis rhodium (*Rh*) adalah sebagai berikut:

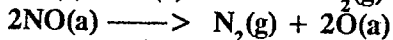
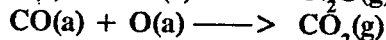
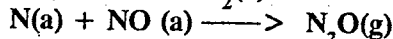
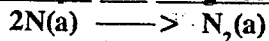
Tahap Adsorpsi



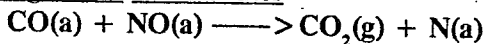
Tahap Penguraian



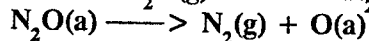
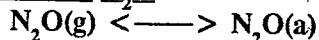
Tahap Desorpsi dan Pengaturan Pada Permukaan



Tahap Penguraian Bimolekuler



Tahap "antara" N₂O



Keterangan: (g): fasa gas; (a): zat teradsorpsi pada penyangga
Tahap elementer reduksi NO dengan melibatkan adsorpsi molekul CO, penguraian NO, pengumpulan spesies pada permukaan dan terjadi reaksi dan desorpsi hasil.

Penutup

Berdasarkan pembahasan di atas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penyangga yang baik untuk katalis konverter emisi gas buang kendaraan bermotor adalah cordierit atau cordierit-multi.
2. Katalis Campuran platina (*Pt*) dan rhodium (*Rh*) atau *palladium* (*Pd*)

dan rhodium (*Rh*) sangat baik untuk katalis konverter emisi gas buang kendaraan bermotor.

3. Teknik pelekatan katalis pada campuran silinder geometris melalui pengisian lubang dengan slury (*campuran lapisan penghanyut dan katalis*) dilanjutkan peniupan lubang dengan udara.
4. Reaksi katalis yang terjadi merupakan reaksi permukaan dengan mekanisme Langmuir-Hinshelwood (*reaksi permukaan-bimolekular*) dan Langmuir-Rideal (*reaksi permukaan unimolekular*).

Daftar Pustaka

- Blake Klob, W, Papadimitriou, et al, (1993). "The Ins and Outs Of Coating Monolithic Structures". *Chemical Engineering Progress*. February, 61-67.
- Borg, H. (1995). *Secondary Ion Mass Spectrometry in Catalysis*. Den Haag: Netherlans Orbanization for Scientific Research.
- Cybulski, A and Mouljin, JA. (1994). "Monolith in Heterogeneous Catalysis". *Catal Rev-Sci. Eng.* 36(2), 179-270.
- Duffus, J.H. (1980). *Environmental Toxicology*. London: Edward Arnold Publishers.
- Johan Budi (1995). "Katalis Konverter Dipasang di Kanlpot Mengurangi Polusi Emisi Gas Buang". *Republika*. 4 Mei 1995. Hal. 9.
- Laidler, K.J. (1987). *Chemical Kinetic*, Third edition, New York : Harper Collins Publishers Inc.
- Shelef, M. and Grham, H. (1994). "Why Rhodium in Automotive Three-Way Catalysts". *Catal.rev - Sci. Eng.* 36 (3), 433-457.
- Taylor, K.C. (1994). "Nitric Oxide Catalysis in Automotive Exhaust Systems". *Catal Rev-Sci. Engn.* 35 (4), 457-481.
- Wood, S.C. (1994). "Select the Right NO_x Control Technology". *Chemical Engineering Progress* January, 32-38.