

Material dan proses pada konverter katalis otomotif

Sri Harjanto

Departemen Teknik Metalurgi dan Material, Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424
E-mail : harjanto@metal.ui.ac.id

Abstrak

Sebagai bagian dari upaya pencegahan polusi udara, pengembangan dan komersialisasi kontrol katalitik pada gas buang kendaraan bermotor makin meningkat beberapa dekade terakhir ini. Salah satu jenis katalis otomotif yang paling maju adalah 'three-way catalyst' (TWC) yang mampu mereduksi emisi hingga lebih dari 99%. Kemampuan reduksi gas buang berbahaya seperti CO, NO_x atau hidrokarbon itu tidak terlepas dari peran material aktif berupa logam-logam mulia seperti platina (Pt), paladium (Pd) dan rhodium (Rh). Makalah ini membahas secara ringkas material-material yang berperan dalam konverter katalis otomotif, termasuk proses daur ulang logam berharga yang terkandung di dalam residu katalis sebelum digunakan.

Kata kunci: lingkungan, three way catalyst, PGM, logam berharga, daur ulang

Pendahuluan

Perkembangan dunia otomotif belakangan ini makin penting dengan diberlakukan kebijakan baru yang lebih ramah lingkungan untuk mengurangi polusi yang dihasilkan kendaraan bermotor (otomotif). Salah satu upaya dilakukan adalah kontrol emisi gas buang dengan menggunakan konverter katalis. Meskipun riset dan pengembangan teknologi katalis untuk kontrol emisi gas buang kendaraan telah dilakukan sejak dekade 1980 di dunia, khususnya AS dan Jepang, tapi untuk Indonesia perkembangan ini relatif baru.

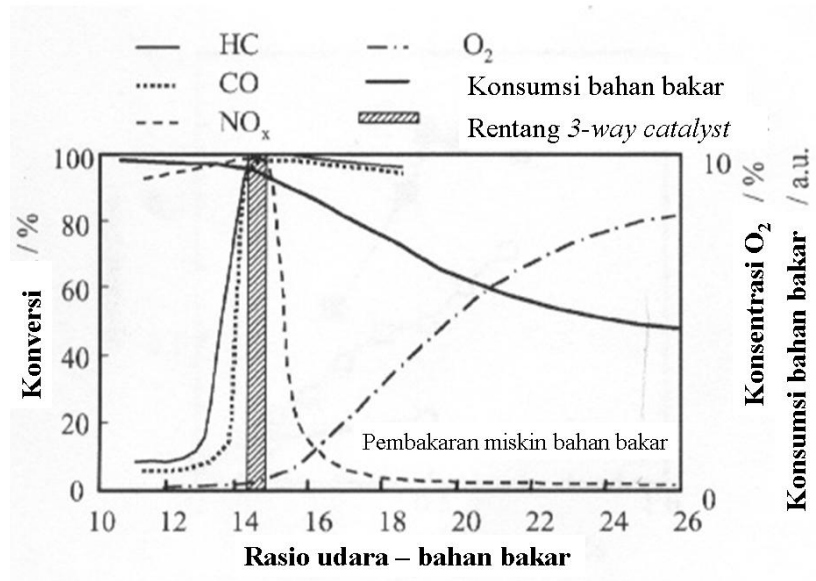
Tujuan utama penggunaan katalis pada kendaraan bermotor adalah untuk mengurangi kadar gas-gas berbahaya sebagai hasil pembakaran dalam mesin, berupa gas karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC) dan nitrogen oksida (NO_x). Gas NO_x digolongkan sebagai gas berbahaya jika terakumulasi di atmosfer dan gas ini merupakan kontributor terjadinya hujan asam.

Penggunaan konverter katalis emisi gas buang kendaraan bermotor ditargetkan untuk bisa mengurangi emisi hingga 99%. Di sisi lain perkembangan teknologi motor bakar yang digunakan pada kendaraan bermotor modern (bensin), memiliki kecenderungan bekerja pada daerah miskin bahan bakar, untuk upaya menghasilkan kendaraan bermotor irit bahan bakar (Gbr. 1). Isu penghematan bahan bakar mendorong daerah kerja mesin lebih dari rasio udara bahan 14,5:1 (Matsumoto, 2004). Nilai tersebut (14,5:1) merupakan nilai stoikiometri keseimbangan pembakaran bahan bakar yang menghasilkan gas CO, H₂ dan HC. Pembakaran pada daerah miskin bahan bakar umumnya dilakukan pada perbandingan udara-bahan bakar (air-fuel ratio, A/F ratio) 25:1. Seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 1, meskipun konversi NO_x di daerah miskin campuran menjadi rendah, akan tetapi sangat sulit untuk mereduksi NO_x dalam kondisi atmosfer yang sangat kaya oksigen. Hal ini yang menjadi permasalahan utama kontrol emisi gas buang otomotif melalui konverter katalis.

Selain gas NO_x, gas lainnya yang juga direduksi kadarnya dari gas buang otomotif adalah CO dan HC. Dengan demikian konverter katalis yang mampu mengkatalisasi ketiga reaksi, yaitu reduksi NO_x, oksidasi CO dan oksidasi HC disebut 'three-way catalyst' (Gandhi et al., 2003). Permasalahan lain yang tidak kalah kompleksnya adalah pemilihan material baik material aktif katalis maupun material pendukungnya.

Untuk memahami perkembangan material katalis, lebih jauh tulisan ini akan membahas perkembangan material aktif katalis beserta material pendukungnya. Pada bagian lain pmerosesan material katalis juga akan dibahas, mengingat residu atau sisa produksi konverter katalis yang belum

digunakan merupakan sumber sekunder dari pengolahan dan pemurnian logam mulia seperti platina (Pt), palladium (Pd) dan rhodium (Rh).



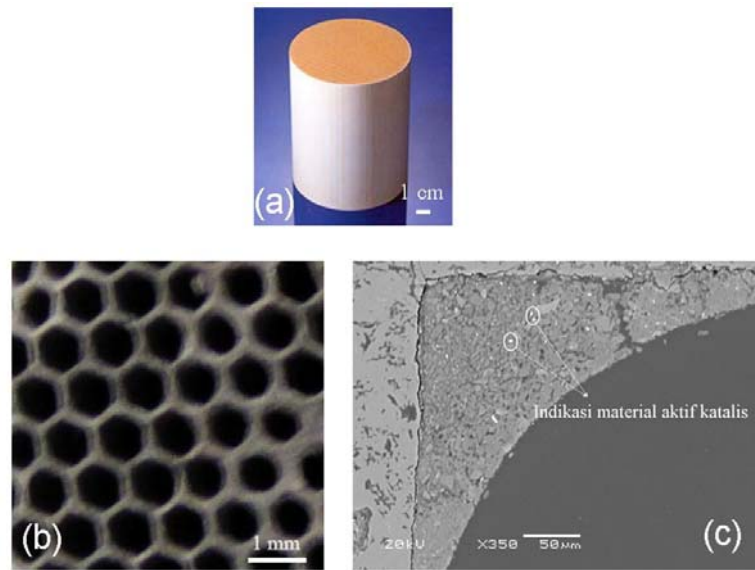
Gbr. 1 Kondisi konversi pembakaran pada mesin bensin dan pengaruh perubahan rasio udara-bahan bakar terhadap gas buang dan konsumsi bahan bakar (diolah kembali dari **Matsumoto, 2004**)

Material pada konverter katalis

Terdapat tiga jenis material aktif yang yang digunakan pada konverter katalis dewasa ini, yaitu Pt, Pd dan Rh. Pemilihan ketiga material ini merupakan perkembangan terakhir dari riset seputar material aktif katalis otomotif. Logam-logam lainnya yang sebelumnya digunakan (misal Ni, Cu, Co, Mn dan lainnya), memiliki kinerja yang kurang memadai untuk katalis otomotif (**Gandhi et al., 2003**). Beberapa sifat yang merupakan kelemahan logam-logam di atas diantaranya adalah rendahnya reaktivitas, mudah menjadi pasif dan cenderung bereaksi dengan material pendukungnya. Sebaliknya, logam-logam mulai dari kelompok platina (Pt, Pd dan Rh) memiliki sifat yang lebih baik, berupa stabilitas termal yang sangat baik, tidak bereaksi dengan material pendukung dan kemampuannya untuk memproses aliran gas dengan kandungan sulfur tinggi (1000 ppm) tanpa terbentuk sulfat. Namun demikian tidak, semua logam mulia sesuai untuk katalis otomotif. Logam mulia seperti iridium (Ir) atau osmium (Os) membentuk oksida yang mudah menguap.

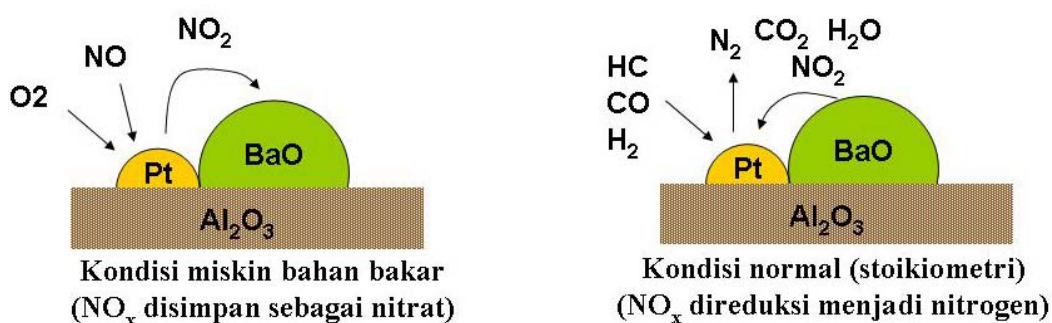
Pada aplikasinya, material aktif katalis tidak berdiri sendiri. Dalam sistem konverter katalis, material aktif tadi didukung dengan material lain yang umumnya berupa oksida logam (keramik). Material pendukung ini berfungsi sebagai tempat untuk material aktif berada. Umumnya material pendukung dibuat dari campuran beberapa oksida, seperti Al₂O₃, CeO₂, ZrO₂, BaO dan lain-lainnya untuk mendapatkan sifat optimal sebagai sebuah sistem material katalis otomotif. Gbr. 2 mengilustrasikan bentuk konverter katalis, penampang dan struktur mikro penampang katalis. Dari gambar struktur mikro diindikasikan bahwa material-material aktif sangat kecil tersebar diantara material-material pendukung pada skala nano (**Graham et al., 2003**)

Kandungan CeO₂ dalam material pendukung ditujukan untuk mengikat kelebihan oksigen yang keluar bersama gas buang. Penambahan ZrO₂ pada material ini lebih ditujukan untuk meningkatkan kemampuan material sebagai penyimpan oksigen pada temperatur tinggi (**Muraki and Zhang, 2000**). Sedangkan Al₂O₃ ditambahkan ke dalam campuran material pendukung untuk meningkatkan stabilitas struktur dan butir terhadap temperatur tinggi. Aglomerasi dan pertumbuhan butir dicegah dengan adanya Al₂O₃.



Gbr. 3 Konverter katalis (dimodifikasi dari www.cataler.com, 2006) (a), struktur penampang (b) dan struktur mikro dengan scanning electron microscope (SEM) (c). Bintang putih pada (c) mengindikasikan lokasi material aktif katalis.

Pada jenis konverter katalis terkini, teknologi reduksi gas buang kendaraan bermotor difokuskan langsung pada reduksi gas NO_x . Untuk memenuhi fungsi ini, material pendukung BaO ditambahkan ke dalam campuran. Material ini memiliki kemampuan menyimpan NO_x pada kondisi campuran bahan bakar miskin dan mereduksi NO_x pada kondisi campuran normal bahan bakar (stoikiometri). Dalam kondisi atmosfer yang kaya oksigen (miskin bahan bakar), kelebihan NO_x dioksidasi dan disimpan dalam bentuk senyawa nitrat (NO_3^-). Sedangkan gas-gas lainnya seperti CO, H_2 dan HC dengan mudah teroksidasi menjadi CO_2 dan air dalam atmosfer oksidatif tersebut. Ketika mesin bekerja pada kondisi normal dimana campuran udara dan bahan bakar mendekati nilai stoikiometri, gas-gas CO, H_2 dan HC bereaksi dengan NO_3^- yang ada dalam katalis. Reaksi ini mereduksi NO_3^- menjadi N_2 , H_2O dan CO_2 yang tidak berbahaya bagi lingkungan (Matsumoto, 2004). Mekanisme di atas diperlihatkan pada Gbr. 4.

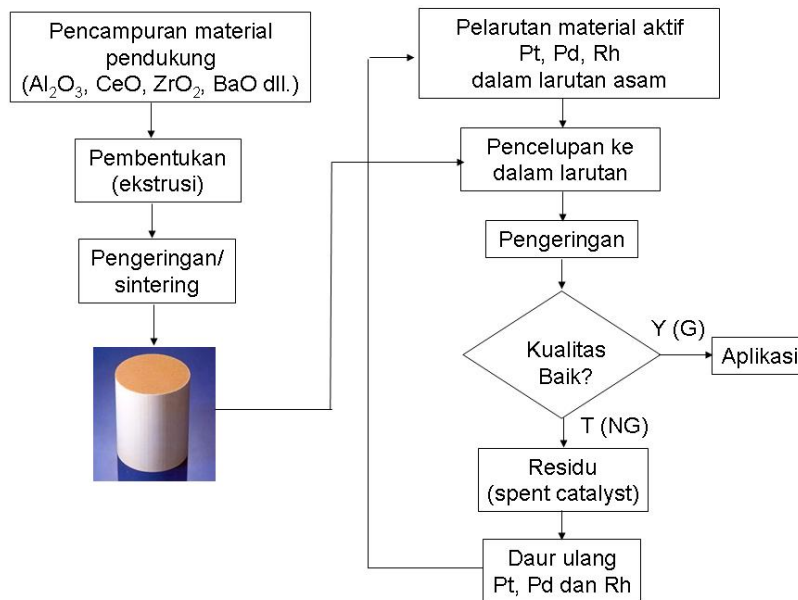


Gbr. 4 Mekanisme penyimpanan dan reduksi NO_x pada konverter katalis otomotif.

Pemrosesan material

Tahapan proses pembuatan konverter katalis diperlihatkan secara skematik pada Gbr. 5. Pada prinsipnya proses pembuatan dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah pembuatan selongsong konverter katalis dari keramik yang merupakan campuran material pendukung. Tahap

berikutnya adalah penanaman material aktif logam mulia ke dalam material selongsong melalui proses pencelupan ke dalam larutan mengandung ion logam mulia seperti Pt, Pd dan Rh. Pemeriksaan akhir akan memisahkan konverter katalis yang sesuai dengan standard kualitas yang ditentukan. Sedangkan konverter katalis yang tidak sesuai standar akan didaur ulang untuk diolah dan diproses pengambilan logam mulia yang terkandung di dalamnya.



Gbr. 5 Diagram alir sederhana pemrosesan pembuatan konverter katalis.

Pemrosesan daur ulang logam mulia dalam konverter katalis memiliki nilai penting karena makin terbatasnya sumber daya alam primer. Perolehan kembali logam mulia dari konverter katalis dapat dilakukan dengan proses metalurgi piro maupun hidro. Salah satu proses perolehan kembali telah dilakukan dengan menggunakan metode metalurgi hidro dengan campuran larutan NaClO-HCl-H₂O₂ (Harjanto *et al.*, 2006). Secara garis besar tahapan proses daur ulang logam mulia diperlihatkan pada Gbr. 6.



Gbr. 6 Diagram alir salah satu proses daur ulang material aktif Pt, Pd dan Rh.

Konverter katalis yang tidak sesuai dengan standard dihancurkan, kemudian dipeletasi. Untuk meningkatkan kadar logam mulia, reduksi hidrogen dilakukan agar logam mulia Pt, Pd dan Rh yang mungkin teroksidasi dapat kembali dimurnikan. Selanjutnya pelet hasil reduksi tersebut dimasukkan ke dalam larutan untuk mengekstraksi logam-logam mulia yang terkandung di dalamnya. Proses filtrasi akan memisahkan larutan filtrat kaya ion logam mulia dan endapan sisa. Dengan menggunakan larutan lindi NaClO-HCl-H₂O₂ pada kondisi optimum diperoleh hasil ekstraksi logam Pt, Pd dan Rh secara berurutan masing-masing 88%, 99% dan 77% (**Harjanto et al., 2006**).

Penutup

Telah diuraikan dengan singkat perkembangan teknologi material dan pemrosesan konverter katalis untuk kendaraan bermotor. Perkembangan material dan pemrosesan mengarah pada upaya dan produk yang sama, yaitu produk yang lebih ramah lingkungan.

Daftar Pustaka

Harjanto, S., Cao, Y. Shibayama, A., Naitoh, I., Nanami, T., Kasahara, K., Okumura, Y., Liu, K., Fujita, T. (2006) Leaching Pt, Pd and rh from automotive catalyst residue in various chloride based solutions, *Mat. Trans.*, 47 (1), pp. 129-135.

<http://www.cataler.co.jp/english/prod00.html>

Gandhi, H.S., Graham, G.W., and McCabe, R.W. (2003) Automotive exhaust catalysis, *J. of Catal.*, 216, pp. 433-442.

Graham, G.W., O'Neill, A.E., Chen, A.E. (2003) Pd encapsulation in automotive exhaust-gas catalyst, *Appl. Catal. A*, 252, pp. 437-445.

Matsumoto, S. (2004) Recent Advances in automobile exhaust catalysts, *Catal. Today*, 90, pp. 182-190.

Muraki, H. and Zhang, G. (2000) Design of advanced automotive exhaust catalysts, *Catal. Today*, 63, pp. 337-345.