

12-3-2004

Modelling and Simulation of Packed Bed Catalytic Converter for Oxidation of Soot in Diesel Powered Vehicles Flue Gas

Mohammad Nasikin

Chemical Reaction Engineering and Catalysis, Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia, mnasikin@che.ui.edu

Praswasti P.D.K. Wulan

Industrial Pollution Prevention and Bioprocess, wulan@che.ui.edu

Vita Andrianty

Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

Follow this and additional works at: <https://scholarhub.ui.ac.id/mjt>



Part of the [Chemical Engineering Commons](#), [Civil Engineering Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Electrical and Electronics Commons](#), [Metallurgy Commons](#), [Ocean Engineering Commons](#), and the [Structural Engineering Commons](#)

Recommended Citation

Nasikin, Mohammad; Wulan, Praswasti P.D.K.; and Andrianty, Vita (2004) "Modelling and Simulation of Packed Bed Catalytic Converter for Oxidation of Soot in Diesel Powered Vehicles Flue Gas," *Makara Journal of Technology*: Vol. 8: Iss. 3, Article 1.

DOI: 10.7454/mst.v8i3.277

Available at: <https://scholarhub.ui.ac.id/mjt/vol8/iss3/1>

This Article is brought to you for free and open access by the Universitas Indonesia at UI Scholars Hub. It has been accepted for inclusion in Makara Journal of Technology by an authorized editor of UI Scholars Hub.

PEMODELAN DAN SIMULASI KATALITIK KONVERTER PACKED BED UNTUK MENGOKSIDASI JELAGA PADA GAS BUANG KENDARAAN BERMESIN DIESEL

M. Nasikin¹, Praswasti P.D.K. Wulan² dan Vita Andrianty

Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik,
Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia
1. Chemical Reaction Engineering and Catalysis
2. Industrial Pollution Prevention and Bioprocess

E-mail: mnasikin@che.ui.edu; wulan@che.ui.edu

Abstrak

Kendaraan bermesin diesel banyak digunakan di Indonesia. Kendaraan jenis ini mengeluarkan polutan terutama jelaga yang dapat direduksi dengan pemasangan katalitik konverter yang dapat mengkonversi jelaga menjadi CO₂. Untuk mendapatkan katalitik konverter dengan ukuran yang optimum diperlukan model yang dapat mewakili profil konsentrasi jelaga, suhu konverter dan tekanan sepanjang konverter. Pada studi ini sebuah model untuk katalitik konverter pada kondisi adibatis menggunakan persamaan kinetika yang telah dipublikasikan sebelumnya. Penyelesaian terhadap model yang dikembangkan menggunakan program Polymath 5.X dan metode Runga Kutta. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi kenaikan suhu sepanjang konverter dengan berkurangnya berat jelaga, sementara itu tekanan sepanjang konverter mengalami penurunan. Kenaikan berat jelaga di gas masuk konverter meningkatkan kebutuhan panjang konverter. Sebaliknya, kenaikan diameter katalis partikel tidak mempengaruhi berat jelaga sepanjang konverter dan suhu tetapi menghasilkan penurunan tekanan. Untuk mesin diesel 2500CC diperlukan sebuah katalitik konverter jenis *packed bed* berpenampang berbentuk elip dengan diagonal 14,5X7,5 cm dan diameter katalis 0,8 cm sepanjang 4,1cm.

Abstract

Modelling and Simulation of Packed Bed Catalytic Converter for Oxidation of Soot in Diesel Powered Vehicles Flue Gas. Diesel vehicle is used in Indonesia in very big number. This vehicle exhausts pollutants especially diesel soot that can be reduces by using a catalytic converter to convert the soot to CO₂. To obtain the optimal dimension of catalytic converter it is needed a model that can represent the profile of soot weight, temperature and pressure along the catalytic converter. In this study, a model is developed for packed bed catalytic converter in an adiabatic condition based on a kinetic study that has been reported previously. Calculation of developed equations in this model uses Polymath 5.X solver with Range Kutta Method. The simulation result shows that temperature profile along catalytic converter increases with the decrease of soot weight, while pressure profile decreases. The increase of soot weight in entering gas increases the needed converter length. On the other hand, the increase of catalyst diameter does not affect to soot weight along converter and temperature profile, but results a less pressure drop. For 2.500 c diesel engine, packed bed catalytic converter with ellipse's cross sectional of 14,5X7,5 cm diagonal and 0,8 cm catalyst particle diameter, needs 4,1 cm length.

Keywords: catalytic converter, soot, diesel engine

1. Pendahuluan

Kualitas udara di kota-kota besar Indonesia, khususnya Jakarta sudah sangat memprihatinkan. Berdasarkan penelitian *United Nation For Environment* (UNEP), Oktober 1995, tingkat pencemaran udara di Jakarta

sudah melebihi baku mutu lingkungan dan menempatkan Jakarta sebagai kota dengan tingkat pencemaran udara tertinggi setelah Meksiko dan Bangkok [1].

Sebagian besar dari pencemaran udara tersebut disebabkan oleh gas buang kendaraan bermotor. Jenis kendaraan bermotor yang membawa dampak terbesar terhadap pencemaran udara di Indonesia adalah kendaraan bermesin diesel. Hal ini dapat dilihat dari jumlah konsumsi solar sebagai bahan bakar kendaraan bermesin diesel yang berjumlah sekitar 21 juta KL per tahun, atau sekitar 40% dari konsumsi bahan bakar total [2].

Selain lebih banyak digunakan, kendaraan bermesin diesel juga mengeluarkan jelaga yang dapat mengganggu kesehatan dan merusak lingkungan. Jelaga merupakan partikulat dengan ukuran sekitar 10 μm dengan 80,5% unsur pembentuknya adalah karbon. Dibandingkan dengan polutan lain seperti CO, HC, SOx, dan NOx, jelaga mempunyai nilai toksisitas yang paling tinggi [3]. Sehingga dengan adanya bahaya yang ditimbulkan oleh jelaga maka untuk kendaraan bermesin diesel dibutuhkan katalitik konverter yang dapat mengkonversi jelaga menjadi komponen lain yang relatif tidak berbahaya. Katalitik konverter yang cocok untuk kendaraan bermesin diesel adalah katalitik konverter jenis *packed bed*, karena emisi yang dikeluarkan mengandung jelaga yang befasa padat.

Besarnya kadar sulfur di dalam minyak solar Indonesia menuntut dikembangkannya katalitik konverter yang tahan sulfur. Untuk mengatasi hal tersebut telah dilakukan beberapa percobaan yang menyimpulkan bahwa penggunaan spinel oksida ZnFe_2O_4 dapat melindungi katalis yang ada di dalam katalitik konverter dari peracunan sulfur [4 - 6]. Percobaan lain yang dapat dijadikan acuan dalam pembuatan katalitik konverter untuk kendaraan bermesin diesel yaitu percobaan Stratakis yang menghasilkan persamaan laju reaksi oksidasi jelaga menjadi karbondioksida dengan menggunakan katalis cerium oksida [7].

Dari percobaan-percobaan yang telah dilakukan memungkinkan kita untuk membuat suatu *prototype* katalitik konverter *packed bed* tahan sulfur yang menggunakan katalis CeO yang ditambahkan dengan spinel oksida ZnFe_2O_4 .

Namun, sebelum membuat suatu *prototype* diperlukan suatu model matematika yang dapat mewakili kondisi katalitik konverter di kendaraan bermesin diesel dan dapat menggambarkan profil berat jelaga, suhu dan tekanan di sepanjang katalitik konverter. Hal ini perlu dilakukan untuk mendapatkan besarnya katalitik konverter yang optimal.

2. Metode Penelitian

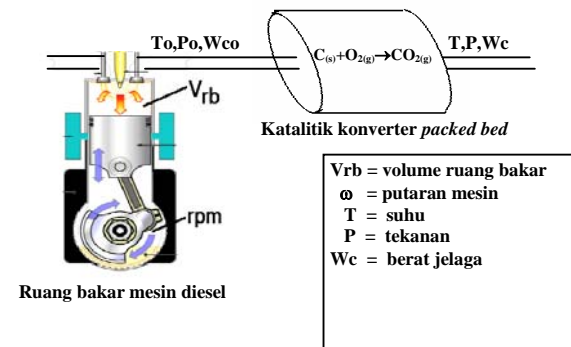
Sebelum dijalankan dengan menggunakan *solver Polymath 5.X*, ada beberapa tahapan yang perlu dilakukan, yaitu :

1. Pembuatan sketsa sistem yang dapat mewakili kondisi katalitik konverter kendaraan bermesin diesel.
2. Perumusan model dengan menggunakan rumus laju reaksi, neraca mol, neraca energi dan *pressure drop*.
3. Pengumpulan variabel-variabel yang diketahui.

Pemodelan katalitik konverter dalam penulisan ini menggunakan reaktor *packed bed*. Jenis katalitik konverter ini dipilih karena di dalamnya terjadi reaksi yang melibatkan fasa padat dengan fasa gas. Umpan yang masuk ke dalam reaktor ini merupakan emisi dari ruang bakar mesin diesel, sehingga besarnya laju alir umpan yang masuk bergantung dari kinerja mesin tersebut.

Asumsi-asumsi yang digunakan, antara lain :

1. Reaktor *packed bed* yang dimodelkan berbentuk silinder dengan penampangnya berbentuk ellips.
2. Reaktor beroperasi pada kondisi tunak.
3. Tidak terjadi perpindahan panas dari maupun ke dalam reaktor (adiabatis).
4. Komponen yang masuk ke dalam reaktor adalah jelaga, O_2 , N_2 , SO_2 dan CO_2 .
5. Reaksi yang terjadi hanya reaksi oksidasi jelaga menjadi karbon dioksida (CO_2).
6. Jelaga dalam perhitungannya dianggap sebagai padatan karbon, karena 80,5% jelaga tersusun atas unsur karbon.
7. Pemodelan yang dibuat hanya mengamati arah aksial saja.
8. Viskositas total di sepanjang reaktor tetap.
9. Tidak memperhitungkan faktor efektivitas, karena diameter jelaga lebih besar daripada diameter pori katalis sehingga reaksi hanya terjadi di permukaan katalis.
10. Besarnya laju alir komponen yang keluar dari ruang bakar mesin diesel dihitung dari besarnya putaran mesin dan volume ruang bakar, tanpa memperhitungkan pengaruh beban kendaraan.



Gambar 1. Sketsa sistem pemodelan

Dalam model katalitik konverter *packed bed* yang dibuat, laju reaksi oksidasi jelaga yang digunakan diambil dari persamaan kinetika yang telah dipublikasikan [7]. Persamaan laju berkurangnya mol jelaga dari penelitian tersebut adalah sebagai berikut :

$$-r_c' = 2,716 \cdot 10^6 \cdot e^{-130/RT} \cdot F_c \quad (1)$$

Reaktor yang dimodelkan merupakan sistem yang mengalir dan diasumsikan tidak ada gradien konsentrasi, suhu dan laju reaksi pada arah radial seperti terlihat pada Gambar 2 maka neraca mol jelaga (C) diperoleh sebagai berikut :

in - out + generation = accumulation

$$F_c \Big|_z - F_c \Big|_{z+\Delta z} + r_c' \cdot W_{kz} = 0 \quad (2)$$

$$F_c \Big|_z - F_c \Big|_{z+\Delta z} + r_c' \frac{W_k}{l} \Delta z = 0 \quad (3)$$

$$\frac{F_c \Big|_{z+\Delta z} - F_c \Big|_z}{\Delta z} = r_c' \frac{W_k}{l} \quad (4)$$

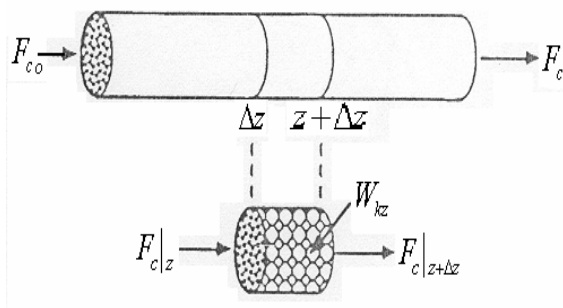
Jika kita mengambil Δz sekecil mungkin sehingga $\Delta z \rightarrow 0$:

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{F_c \Big|_{z+\Delta z} - F_c \Big|_z}{\Delta z} = r_c' \frac{W_k}{l} \quad (5)$$

maka sesuai dengan definisi turunan :

$$\frac{dF_c}{dz} = r_c' \frac{W_k}{l} \quad (6)$$

Berat katalis merupakan hasil kali densitas katalis dengan volumenya.



Gambar 2. Skema neraca mol jelaga

$$W_k = \rho_k \cdot V_k \quad (7)$$

Hubungan volume katalis dengan volume reaktor ditunjukkan dengan persamaan berikut :

$$V_k = V_r (1 - \Phi) \quad (8)$$

$$V_k = A \cdot l (1 - \Phi) \quad (9)$$

Sehingga dari persamaan (8) dan (10), didapatkan berat katalis per satuan panjang :

$$\frac{W_k}{l} = \rho_k \cdot A (1 - \Phi) \quad (10)$$

Dimana persamaan luas penampang reaktor yang berbentuk elips sebagai berikut :

$$A = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot d_2}{4} \quad (11)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (11) ke persamaan (7), maka didapatkan persamaan diferensial mol jelaga di sepanjang reaktor :

$$\frac{dF_c}{dz} = r_c' \cdot \rho_k \cdot A (1 - \Phi) \quad (12)$$

untuk mol O₂ dan CO₂ :

$$\frac{dF_{O_2}}{dz} = r_c' \cdot \rho_k \cdot A (1 - \Phi) \quad (13)$$

$$\frac{dF_{CO_2}}{dz} = -r_c' \cdot \rho_k \cdot A (1 - \Phi) \quad (14)$$

Sedangkan persamaan diferensial untuk mol N₂ dan SO₂ yang jumlahnya tetap di sepanjang reaktor adalah sebagai berikut :

$$\frac{dF_{N_2}}{dz} = 0 \quad (15)$$

$$\frac{dF_{SO_2}}{dz} = 0 \quad (16)$$

Untuk kondisi tunak dan tidak ada kerja yang dilakukan oleh maupun ke dalam sistem, maka bentuk diferensial neraca energi untuk reaktor *packed bed* adalah sebagai berikut [8]:

$$\frac{dT}{dW_k} = \frac{(4U/\rho_k D)(T_a - T) + (-r_c')[-\Delta H_{RX}(T)]}{F_{C_0} (\sum \Theta_i C_{pi} + X \Delta C_p)} \quad (17)$$

Karena adiabatik maka tidak terjadi perpindahan panas (Q=0 atau U ≡ 0), dan persamaan di atas menjadi:

$$\frac{dT}{dW_k} = \frac{(-r_c')[-\Delta H_{RX}(T)]}{F_{C_o}(\sum \Theta_i C_{pi} + X\Delta C_p)} \quad (18)$$

untuk panjang z tertentu :

$$W_k = \rho_k \cdot A \cdot z \cdot (1 - \Phi) \quad (19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (19) ke persamaan (18) didapatkan :

$$\frac{dT}{dz} = \frac{(-r_c')[-\Delta H_{RX}(T)]}{F_{C_o}(\sum \Theta_i C_{pi} + X\Delta C_p)} \cdot \rho_k \cdot A \cdot (1 - \Phi) \quad (20)$$

dimana :

$-r_c'$ = laju reaksi pengurangan mol C (jelaga)

$\Delta H_{RX}(T)$ = panas reaksi pada suhu T, J/mol

F_{C_o} = laju alir mol C inlet, mol/detik

Θ_i = perbandingan antara laju alir mol komponen inlet dengan laju alir mol C inlet

$$\Theta_i = \frac{F_{iO}}{F_{C_o}} \quad (21)$$

ΔC_p = perubahan kapasitas panas overall, J/mol.K

Panas reaksi pada suhu T merupakan penjumlahan dari panas reaksi pada suhu referensi dengan integral perubahan kapasitas panas keseluruhan dari suhu referensi sampai suhu tertentu, T. Pernyataan tersebut secara matematika dapat ditulis sebagai berikut [9] :

$$\Delta H_{RX}(T) = \Delta H_{RX}^o(T_R) + \int_{T_R}^T \Delta C_p dT \quad (22)$$

Karena reaksi yang berlangsung melibatkan fasa gas, maka konsentrasi komponen-komponen yang ada proposional dengan tekanan total. Oleh karena itu dalam pemodelannya perlu diperhitungkan efek *pressure drop* di dalam reaktor.

Persamaan yang paling banyak digunakan untuk menghitung *pressure drop* di dalam *packed porous bed* adalah persamaan Ergun [8] :

$$\frac{dP}{dz} = -\frac{G}{\rho_o \cdot g_c \cdot D_p} \left(\frac{1-\Phi}{\Phi^3} \right) \left[\frac{150(1-\Phi)\mu}{D_p} + 1,75G \right] \quad (23)$$

dimana :

P = tekanan, atm

Φ = porositas = fraksi kekosongan

g_c = faktor konversi

D_p = diameter partikel katalis, cm

μ = viskositas, poise atau gr/cm.detik

z = panjang packed bed, cm

ρ = densitas gas, gr/cm³

$G = \rho \cdot \mu$ = kecepatan massa superfisial, gr/cm².detik

Di dalam menghitung *pressure drop* dengan persamaan Ergun, parameter yang berubah hanyalah densitas gas, ρ . Dengan mengasumsikan reaktor beroperasi pada kondisi tunak, maka kecepatan massa di setiap titik di dalam reaktor sama dengan kecepatan massa yang masuk.

$$\rho_o \cdot v_o = \rho \cdot v \quad (24)$$

dengan :

$$v = v_o \frac{P_o}{P} \left(\frac{T}{T_o} \right) \frac{F_T}{F_{T_o}} \quad (25)$$

Karena koefisien produk dan reaktan berfasa gas dalam reaksi yang akan dimodelkan sama, maka jumlah mol total dalam fasa gas selalu tetap, maka (Tabel 1):

$$v = v_o \frac{P_o}{P} \left(\frac{T}{T_o} \right) \quad (26)$$

substitusi persamaan (26) ke persamaan (24) :

$$\rho = \rho_o \cdot \frac{v_o}{v} = \rho_o \frac{P}{P_o} \left(\frac{T_o}{T} \right) \quad (27)$$

Persamaan di atas disubstitusikan ke dalam persamaan Ergun, maka didapatkan :

$$\frac{dP}{dz} = -\frac{G}{\rho_o \cdot g_c \cdot D_p} \left(\frac{1-\Phi}{\Phi^3} \right) \left[\frac{150(1-\Phi)\mu}{D_p} + 1,75G \right] \frac{T_o P_o}{T P} \quad (28)$$

Tabel 1. Konstanta untuk berbagai gas

Komp.	A J/mol	b.10 ² J/mol	c.10 ⁵ J/mol	d.10 ⁹ J/mol
C	11,18	1,095	4,891.10 ¹⁰	-
O ₂	29,1	1,158	-0,6076	1,311
N ₂	29	0,2199	0,5723	2,871
SO ₂	38,91	3,904	-3,104	8,606
CO ₂	36,11	4,233	-2,887	-7,606

Beberapa variabel yang diketahui diantaranya :

1. Volume ruang bakar mesin (V_{rb}) = 2.500 cm³.
2. Putaran mesin maksimum (ω) = 50 rps
3. Efisiensi ruang bakar mesin diesel (η) = 0.7
4. Komposisi masukan katalitik konverter [10] :

Komponen	%Volume
C	2.10 ⁻⁷ gr/cm ³ gas buang
O ₂	14
N ₂	74
SO ₂	0.03
CO ₂	11,97

5. Diagonal panjang penampang katalitik konverter (d_1) = 14,5 cm
6. Diagonal pendek penampang katalitik konverter (d_2) = 7,5 cm
7. Suhu masuk katalitik konverter (T_0) = 400°C
8. Panas reaksi pada suhu referensi ($\Delta H_{RX}^o(T_R)$) = -393,51 KJ/mol [11]
10. Suhu referensi (T_R) = 298 K
11. Parameter perpindahan panas [12] :

dengan :

$$Cp_i = a_i + (b_i)T + (c_i)T^2 + (d_i)T^3 \quad (29)$$

$$Cp_i = a_i + (b_i)T + \frac{(c_i)}{T^2} \quad (30)$$

12. Tekanan masuk katalitik konverter (P_0)=1,3atm
13. Faktor konversi (g_c) = 1
14. Viskositas gas pada saat $T_0, P = 1$ atm [13] :
15. Densitas gas pada saat T_0, P_0 (ρ_i) [14] :
16. Diameter partikel katalis (d_p) = 0,25 cm
17. Densitas katalis (ρ_k) [15] = 1,2 gr/cm³
18. Porositas katalis (Φ) = 0,476

Tabel 3. Densitas Gas

Komponen	ρ_i (g/cm ³)
O ₂	0,9755.10 ⁻³
CO ₂	1,3424.10 ⁻³
N ₂	0,8538.10 ⁻³
SO ₂	1,3908.10 ⁻³

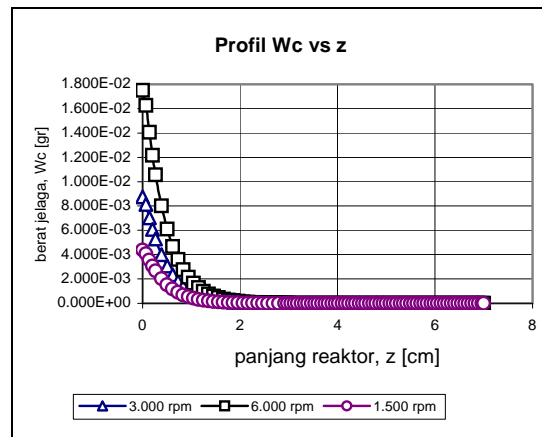
3. Hasil dan Pembahasan

Untuk melihat pengaruh jumlah jelaga terhadap profil berat jelaga, suhu dan tekanan di sepanjang reaktor, maka dilakukan variasi pada nilai putaran mesin. Putaran mesin divariasikan dengan nilai 1.500 rpm, 3.000 rpm dan 6.000 rpm.

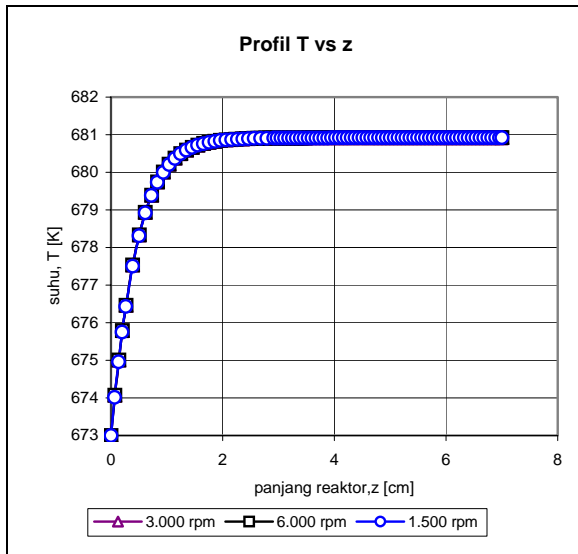
Dari hasil simulasi ketiganya dengan menggunakan Polymath 5.X didapatkan bahwa semakin kecil nilai putaran mesin, berat jelaga yang masuk ke dalam reaktor pun semakin sedikit. Sehingga untuk nilai putaran mesin yang lebih kecil, jumlah jelaga akan habis pada panjang reaktor yang lebih pendek dibandingkan putaran mesin yang lebih besar.

Pada saat berat jelaga sudah mencapai 3,38.10⁻⁷ gr (berat jelaga yang sudah memenuhi baku mutu udara ambien), suhu untuk nilai putaran mesin 3.000 rpm, 6.000 rpm dan 1.500 rpm berturut-turut adalah 680,1971 K, 680,1973 K dan 680,1959 K. Suhu yang lebih tinggi dicapai untuk nilai putaran mesin yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar putaran mesin, jumlah reaktan yang bereaksi semakin banyak, sehingga panas reaksi yang dihasilkan pun semakin banyak pula. Sedangkan kecilnya perbedaan suhu sepanjang reaktor untuk ketiga variasi tersebut disebabkan karena jumlah mol reaktan yang bereaksi sangat kecil.

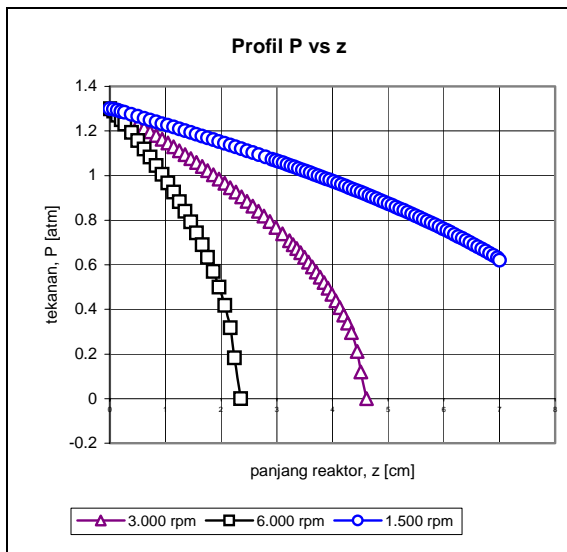
Profil tekanan sepanjang reaktor untuk nilai putaran mesin yang lebih besar akan menurun lebih cepat dari pada putaran mesin yang lebih rendah. Lebih cepatnya penurunan tekanan ini dikarenakan jumlah gesekan yang terjadi antara aliran komponen yang ada di dalam reaktor dengan partikel-partikel katalis lebih banyak.



Gambar 3. Profil berat jelaga terhadap panjang reaktor untuk nilai putaran mesin 3.000 rpm, 6.000 rpm dan 1.500 rpm



Gambar 4. Profil suhu terhadap panjang reaktor untuk nilai putaran mesin 3.000 rpm, 6.000 rpm dan 1.500 rpm

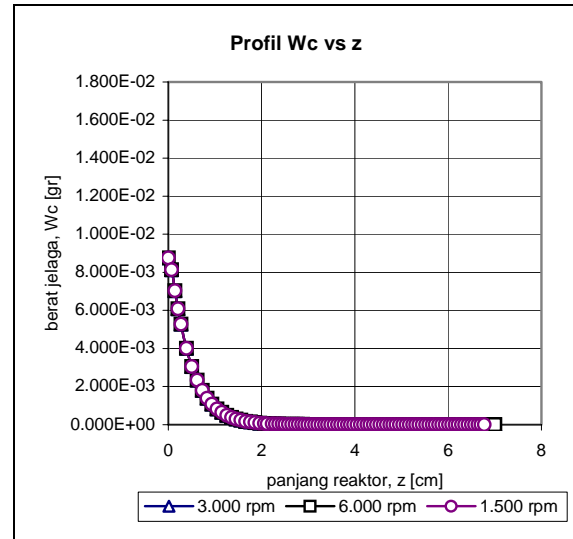


Gambar 5. Profil tekanan terhadap panjang reaktor untuk nilai putaran mesin 3.000 rpm, 6.000 rpm dan 1.500 rpm

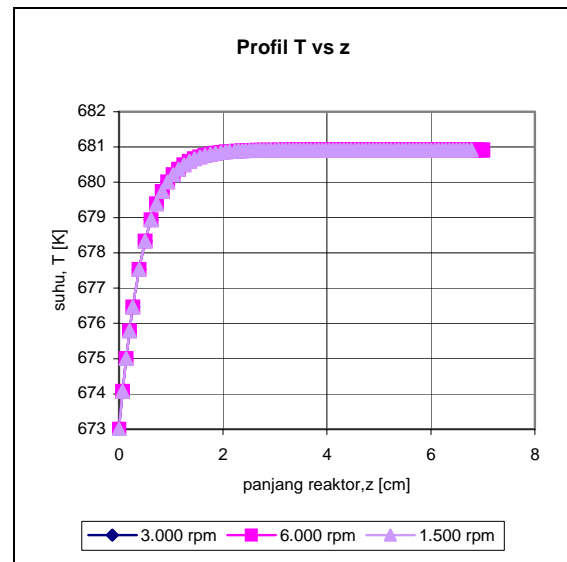
Untuk melihat pengaruh diameter partikel katalis terhadap panjang reaktor yang dibutuhkan, maka diameter partikel katalis divariasikan menjadi 2 kali dan 1/2 kali nilai awal, yaitu 0,5 cm dan 0,125 cm.

Hasil simulasi mendapatkan bahwa perbedaan diameter katalis tidak berpengaruh pada berat jelaga dan suhu di sepanjang katalitik converter, karena reaksi yang

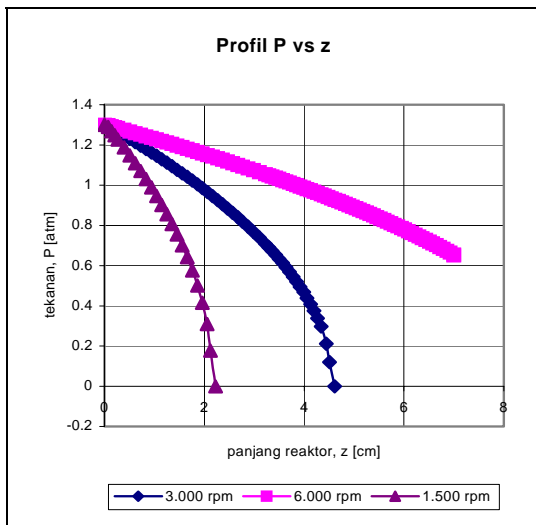
terjadi hanya di permukaan katalis saja. Tetapi perbedaan tersebut sangat berpengaruh terhadap besarnya penurunan tekanan. Hal ini disebabkan karena semakin kecil partikel katalis, maka susunan partikel-partikel tersebut di dalam reaktor lebih padat, sehingga kemungkinan tumbukan yang terjadi antara komponen yang mengalir dengan partikel katalis yang dapat menyebabkan penurunan tekanan semakin besar.



Gambar 6. Profil berat jelaga terhadap panjang reaktor untuk nilai diameter partikel 0,25 cm; 0,5 cm dan 0,125 cm



Gambar 7. Profil suhu terhadap panjang reaktor untuk nilai diameter partikel 0,25 cm; 0,5cm dan 0,125 cm



Gambar 8. Profil tekanan terhadap panjang reaktor untuk nilai diameter partikel 0,25 cm; 0,5cm dan 0,125 cm

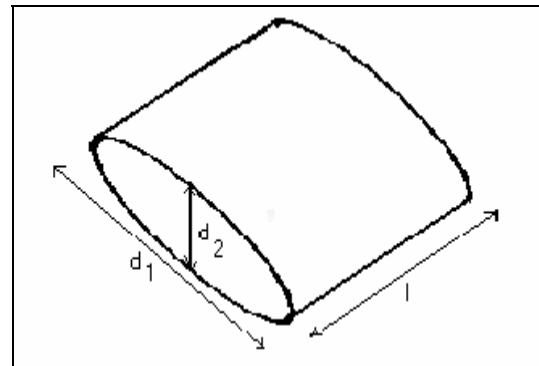
Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain katalitik konverter untuk kendaraan mesin diesel, diantaranya :

1. Desain dilakukan untuk jumlah jelaga maksimum yang mungkin masuk ke dalam katalitik konverter.
2. Berat jelaga yang dikeluarkan sudah dapat memenuhi batas baku udara ambien yang telah ditentukan.
4. Suhu maksimum yang dihasilkan tidak merusak katalis dan material yang digunakan.
5. Penurunan tekanan di sepanjang reaktor kecil, sehingga tekanan di ujung katalitik konverter masih lebih besar dari pada tekanan atmosfer.

Untuk kendaraan bermesin diesel dengan volume ruang bakar 2.500 cc. Pada kendaraan jenis ini jumlah jelaga maksimum dihasilkan dari nilai putaran mesin 3.000 rpm. Dengan menggunakan *solver* Polymath 5.X yang telah berisi persamaan-persamaan yang ada di perumusan model dan mencoba-coba memvariasikan diameter katalis agar dapat memenuhi hal-hal di atas, maka didapatkan dimensi katalitik konverter sebagai berikut :

1. Diagonal panjang penampang katalitik konverter (d_1) = 14,5 cm
2. Diagonal pendek penampang katalitik konverter (d_2) = 7,5 cm
3. Panjang katalitik konverter (L) = 4,1627 cm
4. Diameter partikel katalis (d_p) = 0,8 cm

Ukuran katalitik konverter yang diperoleh lebih pendek dari pada katalitik konverter yang ada di pasaran, karena katalitik konverter yang sudah komersial



Gambar 9. Model katalitik konverter untuk mesin diesel 2.500 cc

tersebut dirancang untuk mengkonversi beberapa gas buang seperti karbon monoksida ($CO_{(g)}$), hidrokarbon (HC) dan oksida nitrogen ($NO_{x(g)}$).

Suhu maksimum yang dihasilkan adalah 680,9171 K, suhu ini tidak merusak katalis maupun material yang digunakan. Tekanan di ujung katalitik konverter ini sebesar 1,1099 atm, sehingga tidak akan terjadi aliran balik dari lingkungan ke katalitik konverter.

4. Kesimpulan

Dari model katalitik konverter *packed bed* untuk kendaraan bermesin diesel yang telah dikembangkan dan simulasi yang telah dilakukan maka diperoleh bahwa panjang katalitik konverter yang diperlukan untuk menurunkan kadar jelaga sampai ambang batas yang diperbolehkan sangat dipengaruhi berat jelaga di gas masuk tetapi tidak terlalu dipengaruhi oleh diameter partikel katalis. Semakin besar laju alir komponen yang masuk ke dalam katalitik konverter, kenaikan suhu dan penurunan tekanan di sepanjang katalitik konverter semakin besar. Besarnya diameter katalis berpengaruh pada besarnya penurunan tekanan. Semakin kecil diameter katalis, penurunan tekanan yang terjadi semakin besar. Dimensi katalitik konverter *packed bed* untuk kendaraan bermesin diesel bervolume ruang bakar 2.500 cc dengan penampang ellips yang berdiagonal 14,5 cm an 7,5 cm adalah panjang katalitik konverter sebesar 4,1627 cm dan diameter partikel katalis 0,8 cm.

Daftar Acuan

- [1] M. Nasikin, Pemanfaatan Catalytic Converter Untuk Kendaraan Bermotor di Indonesia, Laporan, Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Lembaga Penelitian, Universitas Indonesia, Depok, 1997.
- [2] Direktorat Hilir Bidang Pemasaran dan Niaga Dinas Penyuluhan dan Pengendalian Mutu, Bahan Bakar Minyak Elpiji dan BBG, Pertamina, 2001.

- [3] Srikandi, Tingkat Pencemaran Udara, Jakarta, 1995.
- [4] A. Pratomo, Skripsi Sarjana, Jurusan Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia, 2002.
- [5] C. Firmansyah, Skripsi Sarjana, Jurusan Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia, 2002.
- [6] G.A. Stratakis, A.M. Stamatelos, Combustion and Flame 132 (2003) 157.
- [7] H.S. Fogler, Elements of Chemical Reaction Engineering, 3rd ed., Prentice Hall Inc., 1999.
- [8] R.H. Perry, D.W. Green, Perry's Chemical Engineering Handbook, McGraw Hill, New York, 1997.
- [9] Anon., Diesel Engine Exhaust Emission, HSE Book, 1999.
- [10] J.P. Holman, Heat Transfer, 5th ed., McGraw Hill, New York, 1981.
- [11] G. de Soete, Western States Section Meeting, Salt Lake, USA, 1988, p.21.
- [12] J. Lahaye, S. Boehm, PH. Chambrion, P. Ehrburger, Combustion and Flame 104 (1996) 199
- [13] D. M. Himmelbau, Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering, 7th ed., Prentice Hall, 2003
- [14] M. Akbar, Skripsi Sarjana, Jurusan Gas dan Petrokimia Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia, 2003.