

OPTIMASI *DIFFUSER* PADA *EXHAUST SYSTEM* DENGAN *CATALYTIC CONVERTER* UNTUK SEPEDA MOTOR 110 CC DENGAN SIMULASI *CFD* ALIRAN FLUIDA

Tresna P. Soemardi, Ahmad Indra Siswantara dan Erwin

Perancangan Teknik dan Pengembangan Produk, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: tresdi@eng.ui.ac.id

Abstrak

Simulasi *CFD* (*Computational Fluid Dynamic*) digunakan untuk mendapatkan perilaku aliran gas buang yang menuju katalis, hasil dari simulasi itu akan digunakan untuk mengoptimasi bentuk geometri *diffuser inlet* yang akan menghasilkan distribusi aliran yang lebih seragam pada katalis, dan simulasi *CFD* juga akan digunakan untuk menganalisis penurunan tekanan yang terjadi pada model.

Abstract

Diffuser Optimation at Exhaust System with Catalytic Converter for 110 cc Mopet with Fluid Flow CFD Simulation. *CFD* simulation used to get behavior of exhaust gas through catalyst, this result will be used to optimize geometry form to perform uniform stream distribution to catalyst, and *CFD* Simulation will used to analyze backpressure that happened at the model.

Keywords: catalytic converter, selection of material, CFD simulation, diffuser optimization

1. Pendahuluan

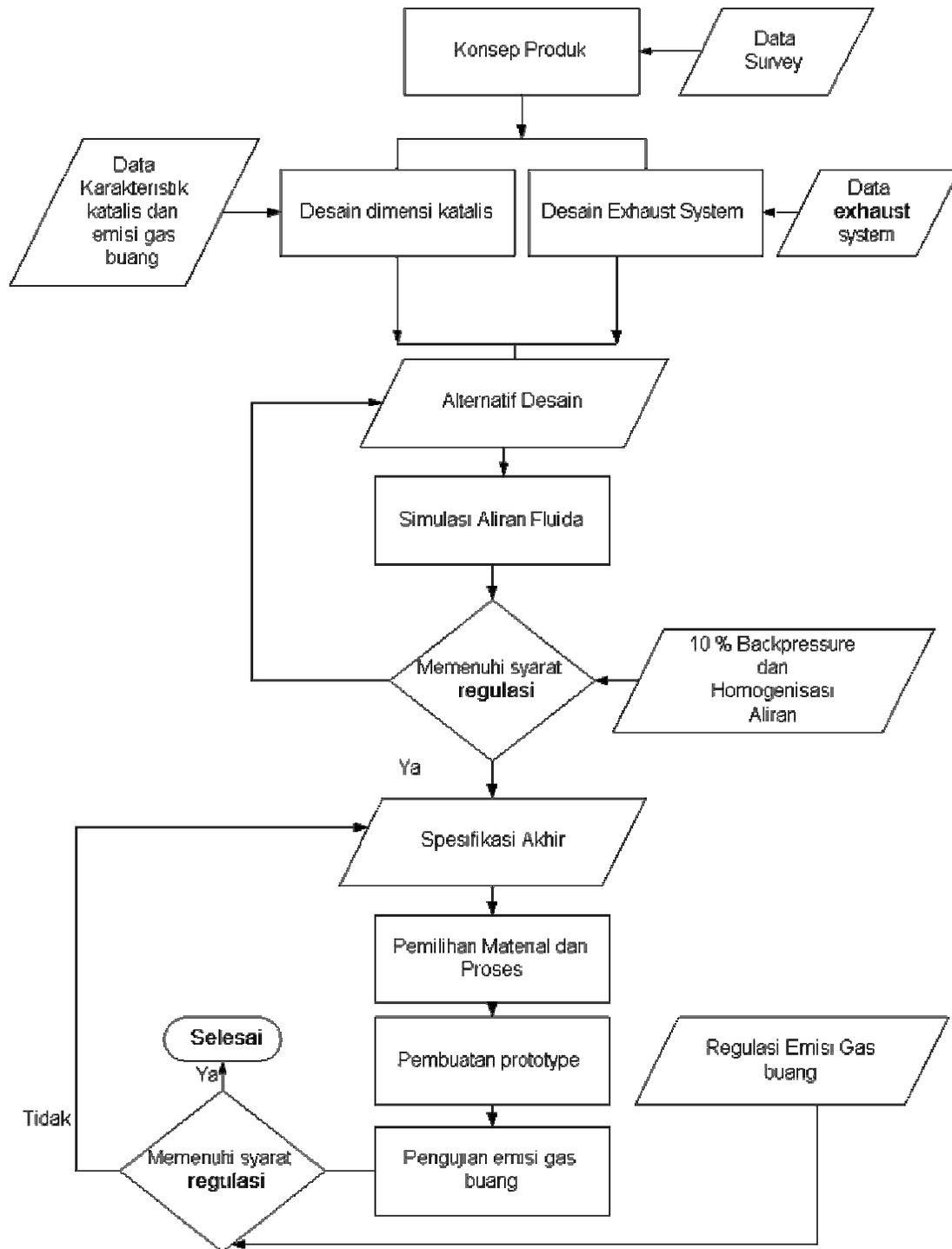
Pada tahun-tahun terakhir negara-negara Asia, Eropa, Amerika semakin memperketat peraturan tentang emisi gas buang dari kendaraan bermotor sehubungan dengan peningkatan jumlah kendaraan yang beroperasi. Pemerintah Indonesia juga berencana untuk memperketat peraturan tentang emisi gas buang kendaraan bermotor dengan mengacu kepada *EURO 1*, *EURO 2*, *EURO 3*.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang geometri *exhaust system* yang dapat memberikan aliran fluida yang merata pada katalitik *converter* dan agar tekanan balik yang terjadi pada *header* tidak melebihi atau kurang dari 10 % tekanan kerja sistem. Permasalahan pada penelitian ini dibatasi sebagai berikut: unit yang dikembangkan adalah *oxidation catalyst*. Pengujian dengan simulasi *CFD* digunakan untuk memperoleh penurunan tekanan yang dihasilkan sistem, dan optimasi keseragaman distribusi aliran yang melalui katalis. Produk digunakan pada sepeda motor jenis bebek bermesin 4 tak dengan volume langkah 110 cc.

Suatu alat tambahan pada sistem pembuangan sepeda motor harus bekerja pada tekanan konstan dengan penurunan tekanan tidak boleh melebihi 10 % dari tekanan kerjanya [1]. Pemilihan jenis *diffuser* juga berpengaruh terhadap keseragaman aliran gas yang melalui penampang *monolith*. Jika aliran ini tidak seragam maka kanal dengan aliran gas yang rendah tidak akan bekerja secara optimal, sedangkan kanal dengan aliran gas yang tinggi polutan dapat melalui reaktor tanpa tereaksi, fenomena ini dikenal sebagai *slippage*. Biasanya diameter *converter* lebih besar daripada diameter pipa *exhaust* sehingga fluida akan masuk ke *converter* melalui pipa konvergen yang pendek dan membentuk aliran yang kompleks, aliran radial yang tidak seragam melalui bagian depan *monolith* [2].

Katalitik *converter* dapat meningkatkan penurunan tekanan yang berpengaruh terhadap performa mesin. Penurunan tekanan ini perlu dikurangi sehingga pengaruhnya pada performa mesin sekecil mungkin. Penambahan katalis dan pendukungnya dapat meningkatkan bobot knalpot yang berakibat pada penambahan bobot produk. Penambahan katalis akan

Tahapan Perancangan Exhaust System dengan menggunakan katalitik konverter



Gambar 1. Diagram alir pengembangan produk *exhaust system* dengan katalis

meningkatkan biaya material dan manufaktur yang berdampak pada peningkatan harga produk. Dimensi katalis menggunakan standar yang diberikan untuk kendaraan 100 cc, seperti tertulis pada Tabel 1 dan 2.

2. Metode Penelitian

Diagram alir proses pengembangan produk *exhaust system* dengan katalitik *converter* diperlihatkan pada Gambar 1.

Langkah awal penelitian adalah melaksanakan *survey* kepada konsumen dan keadaan pasar kendaraan. Penjualan motor bebek pada tahun 2001 mencapai 1,3 juta unit dan 91 % dari nilai tersebut yakni 1,181 juta unit merupakan jenis motor bebek 4 tak [3]. Perbandingannya dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 2. Jika sepeda motor jenis bebek 4 tak yang masih berfungsi diasumsikan berjumlah 5 juta unit di seluruh Indonesia maka hasil *survey* yang dilakukan di daerah Depok dan Palembang memperlihatkan bahwa sekitar 70 % pengguna merasa puas dengan knalpot yang digunakannya, 50 % menyatakan akan mengganti knalpotnya dengan knalpot *aftermarket* jika knalpot aslinya rusak, 10 % menyatakan akan mengganti knalpotnya walaupun knalpot aslinya tidak rusak dan

90 % pengguna belum mengetahui fungsi katalitik *converter*.

Alasan utama pengguna mengganti knalpot dengan produk *aftermarket* adalah harganya yang lebih murah dari harga knalpot asli, bentuknya yang lebih menarik, suara yang dihasilkan lebih bagus dan peningkatan performa kendaraan serta tahan lama. Berdasarkan data di atas maka sebenarnya peluang penggunaan knalpot hasil rancangan sangat kecil. Namun jika melihat kepada tren dunia yang semakin ketat meningkatkan pemberlakuan peraturan emisi gas buang maka hal ini juga akan diberlakukan di Indonesia, dengan demikian peluang ini masih terbuka.

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan *software Ansys Flotran* dan *Cosmos Flow*. Simulasi digunakan untuk mengetahui pengaruh bentuk dan ukuran *exhaust system* terhadap bentuk aliran gas dan penurunan tekanan yang terjadi pada model.

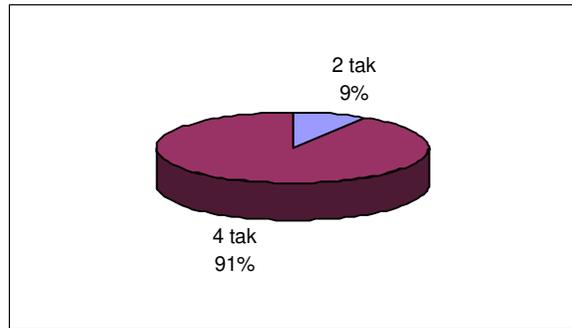
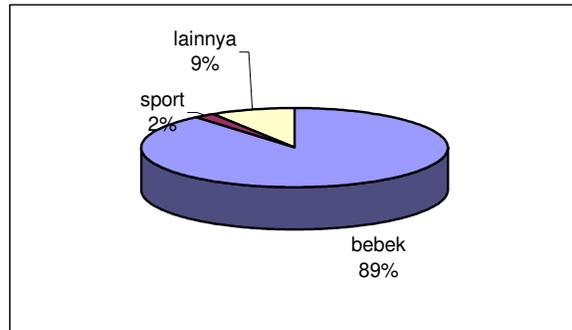
Untuk menentukan pengaturan (*setting*) simulasi yang tepat perlu dilakukan penelusuran terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penurunan tekanan dan keseragaman aliran.

Tabel 1. Dimensi Katalis Oksidasi

Catalyst Volume (CC)	100	200	350
Diameter Substrate (cm)	4	6	8
Panjang Substrate (cm)	8	7.1	7

Tabel 2 Komposisi Katalis

Karakteristik Catalyst	Unit	Nilai
Pengisi Washcoat	g/L	160
% Ceria	By wt	50
% alumina	By wt	50
Pengisi Metal katalis	g/L	1.8
% Platinum	By wt	83.3
% Palladium	By wt	0
% Rhodium	By wt	16.7



Gambar 2. Persaingan penjualan motor bebek

Jim McFarland [4] menyatakan bahwa penurunan tekanan terjadi saat sistem tidak lagi dapat mengalirkan sejumlah gas, sehingga sistem menjadi penghalang aliran. Oleh karena itu pada penelitian ini, pengujian penurunan tekanan akan dilakukan pada aliran gas maksimum.

Dieter [5] menyatakan bahwa pengujian distribusi aliran dapat dilakukan dengan menggunakan aliran statis dalam kondisi terbuka, dan ditampilkan dalam *node* kecepatan, dengan menentukan terlebih dahulu nilai bilangan *Reynold* sistem agar dapat diketahui kondisi aliran turbulen atau laminar.

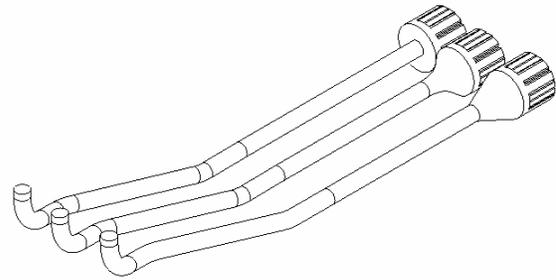
Untuk pengaturan simulasi *Ansys* dilakukan pembuatan model yang terdiri atas 3 model katalis ke *manifold* seperti diperlihatkan pada Gambar 3 kemudian dilakukan pengaturan simulasi *Ansys*. Data yang digunakan dalam melakukan simulasi adalah aliran gas buang diasumsikan adalah udara SI (Sistem Internasional), kecepatan aliran 20,141 m/s, jenis aliran turbulen dan kompresibel, kondisi aliran *steady state* dan adiabatik, penampang *monolith* berbentuk segi empat, kerapatan katalis 4 cell/cm², temperatur gas 923 K (1200 °F) dan tekanan referensi: 101350 Pa [6]. Sifat udara SI pada temperature 923 K adalah memiliki densitas 0,457 kg/m³ dan viskositas kinematik 7,77.10⁻³ m²/s. Nilai-nilai sifat fisis udara SI diambil dari Frank M. White [7]. Kontrol simulasi melalui iterasi perhitungan 40.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan komputer berspesifikasi prosesor 2GHz, memori 256 MB, *hard disk* 7200 rpm 40 Gb, VGA Card 64 Mb. Perhitungan nilai kecepatan aliran berdasarkan pada brosur Honda [8] dan Tyler G Hicks [9].

Setelah dilakukan beberapa pengujian pada model dasar, kemudian dilakukan pengembangan terhadap model tersebut sehingga didapat 2 model dengan 1 model standar yang menggunakan katalis.

Pada program *Ansys*, *meshing* dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Bentuk katalis yang dibuat tidak memungkinkan untuk dilakukan *meshing* secara manual sehingga pada penelitian ini dilakukan *free meshing*. Perbaikan *mesh* dilakukan pada beberapa bagian yang dianggap mempengaruhi hasil perhitungan seperti lekukan *header* dan *diffuser*. *Refine mesh* yang dilakukan secara menyeluruh mengakibatkan waktu perhitungan menjadi lama dan sering kali gagal.

Analisis *Cosmos Flow* ini merupakan lanjutan dari analisis *Ansys*. Pada analisis *Ansys*, nilai penurunan tekanan hanya menggambarkan rasio dari penurunan tekanan sebenarnya karena katalis hanya dimodelkan dengan pembesaran. Pada analisis *cosmos flow* ini digunakan *porous media* dan perbaikan disain *diffuser*



Gambar 3. Tiga model awal yang digunakan dalam simulasi *Ansys*

serta dilakukan pengujian indenpendensi *mesh* dengan parameter berikut (satuan : SI) jenis analisis internal, *roughness* 0 *wall roughness*, *wall condition* adiabetic, fluida udara, kecepatan aliran gas 20,141 m/s, tekanan 101325 Pa, suhu 923 K, jenis aliran turbulen, porositas 0,71, *permeability type unidirectional*. *Resistant calculation formula: pressure drop, flow rate, dimension*. *Monolith* yang digunakan memiliki P = 20 Pa pada m = 0,01 kg/s, S= 0,282 m², L = 0,4 m

Pengujian *mesh* dilakukan pada model dengan *diffuser* nomor 10 untuk menguji apakah *mesh* yang digunakan sudah optimal atau belum. Saat awal simulasi digunakan *mesh* level nomor 3 (skala 1-10) kemudian dilakukan perbaikan *mesh* menyeluruh pada level nomor 4.

Setelah simulasi, pemilihan material dan pemilihan jenis proses pengerjaan dilakukan dengan menggunakan *survey* konsumen dan metode yang dikembangkan oleh Asbhy [10]. Langkah-langkah perencanaan material dilakukan dengan *survey* konsumen mengenai produk yang meliputi harga dan daya tahan produk, penentuan material yang dapat memenuhi kriteria yang didapat dari *survey*, pengujian material yang dapat memenuhi kriteria disain untuk kondisi kerja meliputi kekuatan pada temperatur tinggi (*yield* dan *tensile strength* dari *base metal*) [10], oksidasi dan ketahanan korosi [11], kemudian dilakukan estimasi biaya material

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga model, yaitu model 1 dengan laluan lurus dengan *diffuser* miring lurus katalis yang diperbesar *screen*-nya sepuluh kali, model 2 dengan laluan dengan *diffuser* membesar berangsur-angsur membentuk parabola (*loft*) dengan katalis yang diperbesar *screen*-nya sepuluh kali, model 3 (model standar) dengan bentuk asli dari *exhaust system* mesin yang digunakan. Dalam melakukan perhitungan diatur *global iteration* 40. Hasilnya adalah pada model 1 sampai dengan 3, hasil perhitungan telah

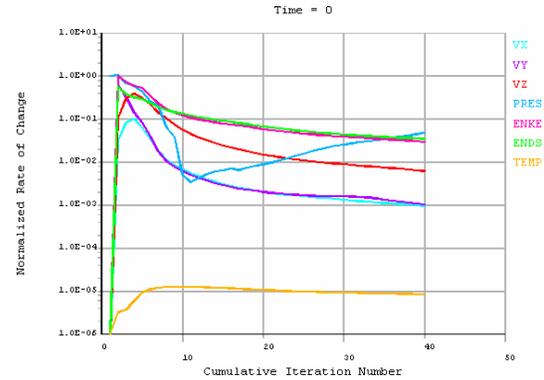
menuju konvergen dan telah mencapai rata-rata 0,05 atau 5 % sehingga hasil iterasi selanjutnya sudah dapat dianggap konstan (Gambar 4).

Hasil analisis tekanan yang terjadi pada sistem memperlihatkan bahwa tekanan maksimum terjadi pada daerah ujung pangkal dari *header*, tekanan yang terjadi pada model 1 (327,2 Pa) dan model 2 dengan katalis (307,4 Pa) jauh lebih rendah daripada tekanan yang terjadi pada model standar dengan katalis (497,2 Pa), sehingga dapat diharapkan bahwa model yang dikembangkan akan menghasilkan tekanan balik yang lebih kecil. Perbedaan tekanan yang terjadi antara model 1 dan 2 hanya terpaut 20 Pascal, dengan model 2 yang lebih kecil.

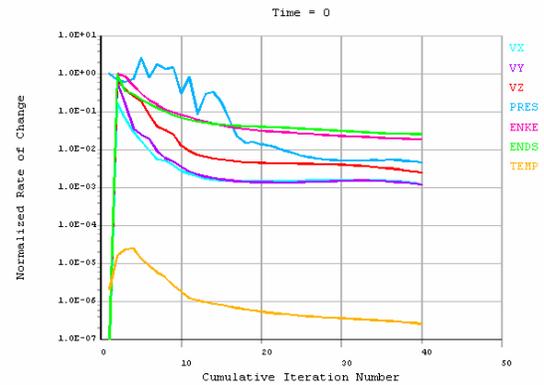
Analisis distribusi aliran di depan katalis memperlihatkan pada ketiga model dilakukan pengambilan gambar kontur kecepatan pada jarak 0.003 m dan 0.008 m untuk melihat perkembangan aliran menuju katalis seperti diperlihatkan pada Gambar 5 dan 6. Pada jarak 0.008 m, aliran pada model 2 masih belum berkembang, sedangkan pada model 1 sudah lebih dulu berkembang, sedangkan pada model standar, aliran tidak berkembang sama sekali dan kecepatan terpusat pada bagian tengah. Kecepatan pada model standar berkisar antara 0-30 m/s, sedangkan pada model 1 dan 2 berkisar 0-9 m/s. Pada jarak 0.003 m, perkembangan aliran pada model 2 sangat signifikan dan mendekati aliran pada model 1 yang berkisar antara 0-7 m/s, sedangkan pada model standar, aliran berkembang pesat namun tidak lebih dari 50 % dari area katalis dan kecepatannya berkisar antara 0-25m/s. Pada bagian *slice* memanjang katalis dapat dijelaskan aliran pada model standar cenderung lurus dan hanya mengisi kanal bagian tengah saja, sedangkan pada distribusi aliran pada model 1 lebih baik daripada model 2, keduanya berkisar antara 0-8 m/s.

Analisis uji simulasi *cosmos flow* menghasilkan perbandingan penurunan tekanan level 3 (499 Pa), pada level 4 (407,7 Pa), pada level 4 *refine local mesh* (386,3 Pa) dan pada level 4 *refine mesh 3* (382,5 Pa). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pada *refine mesh global* level 4 dan *refine local mesh* level 2 hasil yang ingin dicapai dari simulasi sudah konvergen, dengan perbedaan perhitungan berikutnya hanya 0,33 %. *Mesh* ini dapat digunakan pada simulasi berikutnya.

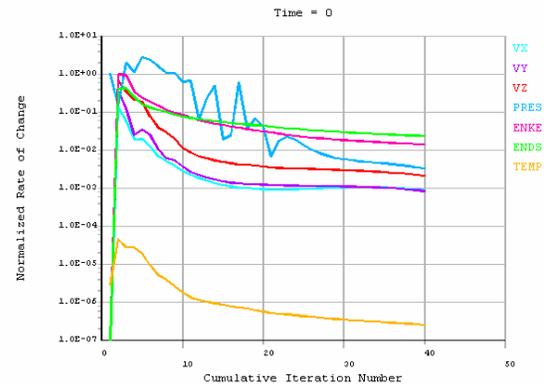
Pada perhitungan *cosmos flow* jumlah iterasi dapat ditentukan sendiri atau dapat pula ditentukan menggunakan program untuk mencapai konvergensi perhitungan, jika tidak terjadi kesalahan atau pesan peringatan. Pada seluruh perhitungan yang dilakukan *goal* yang akan dicapai telah mencapai nilai yang konvergen.



iterasi kasus 1

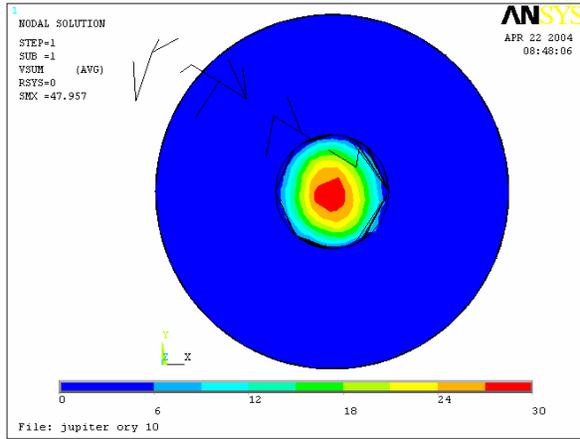


iterasi kasus 2

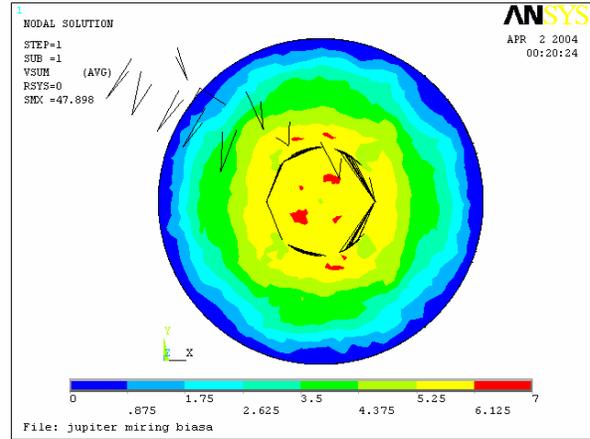


iterasi kasus 3

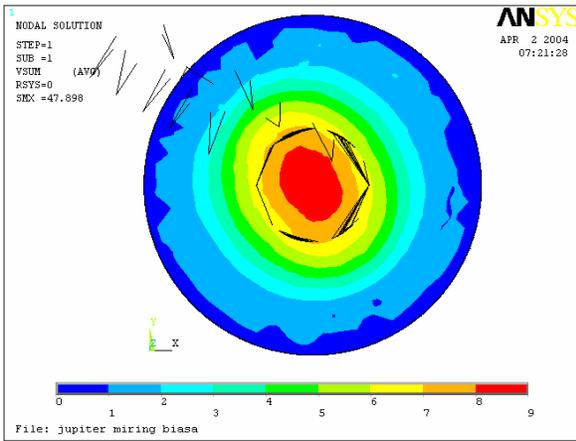
Gambar 4. Konvergensi perhitungan simulasi



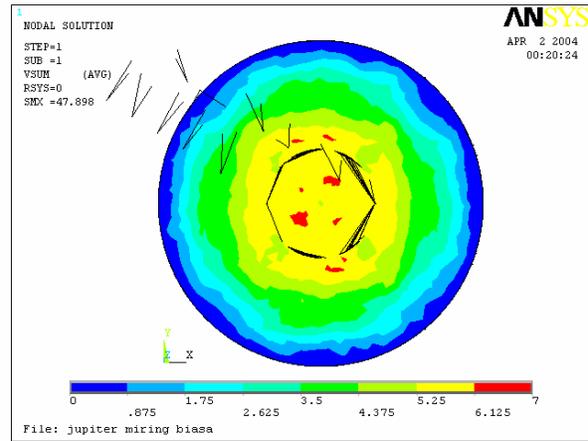
model standar



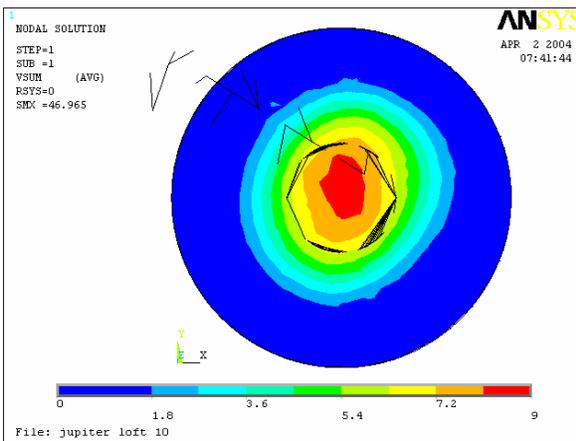
model standar



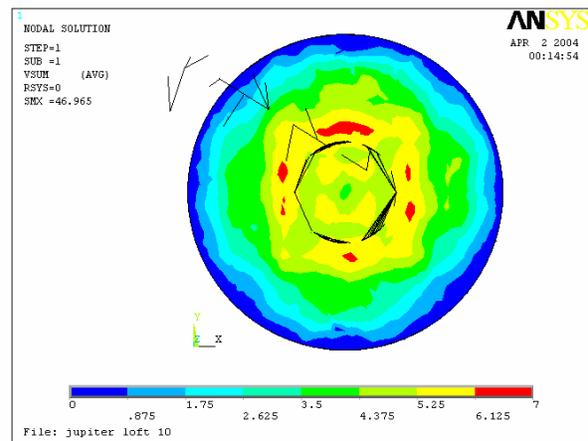
model 1



model 1



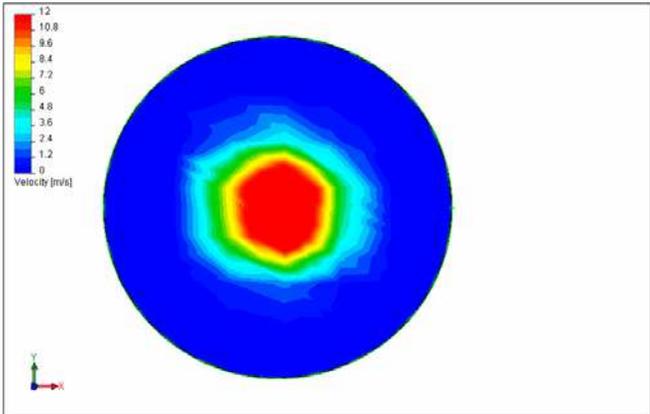
model 2



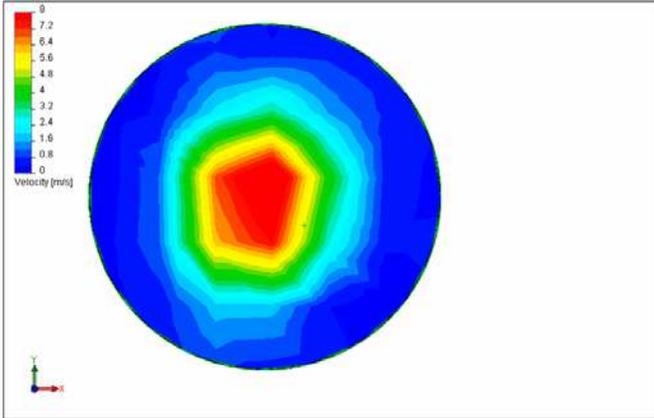
model 2

Gambar 5. Grafik simulasi Ansys berupa kontur kecepatan di dekat katalis (0,008 m)

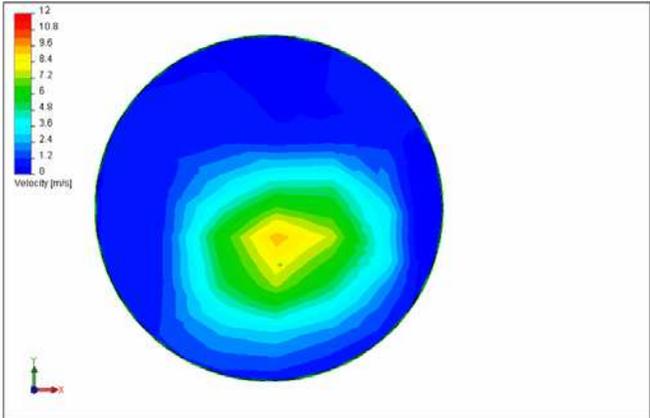
Gambar 6. Grafik simulasi Ansys berupa kontur kecepatan di dekat katalis (0,003 m)



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Grafik simulasi *Cosmos Flow* berupa laju aliran di katalis sistem (a) standar, (b) loft, (c) miring

Untuk penurunan tekanan yang terjadi pada ketiga model adalah 382,5 Pa untuk model standar, 365 Pa untuk model *loft* dan 356,6 Pa untuk model miring. *Backpressure* yang terjadi pada model *diffuser* standar lebih tinggi dari kedua model lainnya.

Analisis distribusi aliran di depan katalis seperti diperlihatkan kontur kecepatan pada Gambar 7 menunjukkan pengaruh dari bentuk *header* knalpot terhadap arah aliran yang cenderung mengumpul pada satu sisi. Pada bentuk *diffuser loft*, pengaruh itu sedikit lebih tereliminasi sehingga alirannya lebih simetris dibanding dengan yang lain. Pada model standar, kecepatan aliran relatif lebih tinggi 1-8 m/s (konsentrasi 8 m/s lebih banyak) dibandingkan dengan 2 model lainnya. Aliran tidak berkembang sehingga sekitar 60 % permukaan katalis tidak dialiri gas, kecepatan 0 m/s (Gambar 7a). Kecepatan aliran di depan katalis pada model *loft* berkisar antara 1-8 m/s, dengan daerah permukaan dengan kecepatan 0 m/s berkisar 30 %. Kecepatan aliran di depan katalis pada model miring berkisar antara 1-10 m/s dengan daerah permukaan dengan kecepatan 0 m/s berkisar 40 %.

Distribusi aliran ini dapat diperbaiki dengan memperbaiki bentuk *diffuser* yang konvensional. Konsepnya adalah mengubah panjang *eccentric* antara pipa *exhaust* dan katalis [12] (Gambar 8). Perubahan dilakukan berdasarkan bentuk penyebaran kecepatan ketiga model di atas dengan beberapa bentuk melalui cara *trial and error*. Setelah melakukan simulasi terhadap sekitar 30 bentuk *diffuser* didapat bentuk *diffuser* dengan distribusi aliran terbaik seperti pada Gambar 9 dan 10.

Keseragaman distribusi aliran dan kecepatan berperan pada efisiensi katalis dalam reaksi pembakaran karbonmonoksida dan UHC (*Unburned Hidro Carbon*). *Backpressure* berpengaruh pada efisiensi bahan bakar dan tenaga yang dihasilkan oleh mesin. Menurut Cecile Pavre [13], aliran di dalam *exhaust manifold* harus dioptimasi dengan baik untuk meminimalkan *aging* pada *washcoat*, katalis, dan emisi gas buang. Kedua hal ini menjadi *trade off* dalam disain yang harus mendapatkan suatu kompromi sehingga bisa dihasilkan produk yang sesuai dengan misi produk.

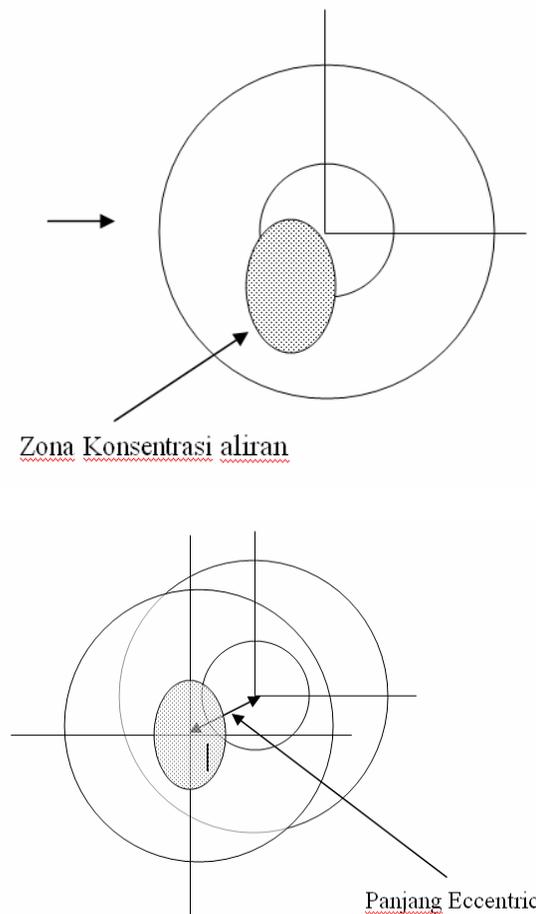
Menurut Bong Yong Jin [12], semakin panjang *diffuser* maka distribusi aliran menjadi lebih baik. Hal ini ditunjukkan oleh bentuk model standar, keseragaman aliran cukup baik namun kecepatan aliran lebih tinggi. Efek jarak eksentrik yang mempengaruhi keseragaman aliran diperlihatkan oleh model standar dengan aliran yang cenderung berkumpul pada bagian atas sumbu katalis.

Pada model 1 dan model 2 didapat bahwa penurunan tekanan yang terjadi jauh lebih rendah daripada model

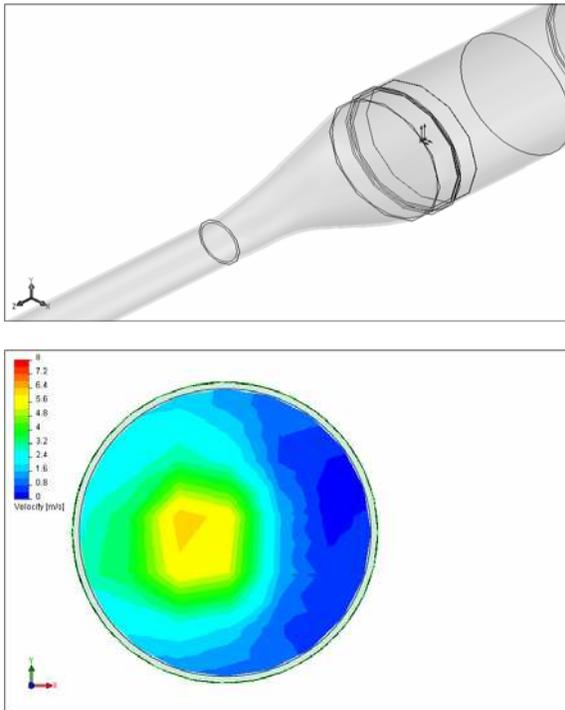
standar. Hal ini menunjukkan bahwa jika kedua model ini dipasang katalis dengan ukuran 100 cel/cm² akan menghasilkan penurunan tekanan yang lebih kecil daripada model standar. Kecepatan aliran pada katalis juga lebih rendah daripada model standar, sehingga menghasilkan waktu tunggu yang lebih untuk reaksi katalis [14].

Jika melihat kecepatan aliran yang terjadi pada bagian belakang kanal terlihat bahwa model 2 lebih seragam dan kecepatan alirannya lebih lambat dibandingkan dengan model 1. Model 2 memberikan penurunan tekanan yang lebih kecil dibandingkan dengan model 1 meskipun perbedaannya hanya 20 Pascal.

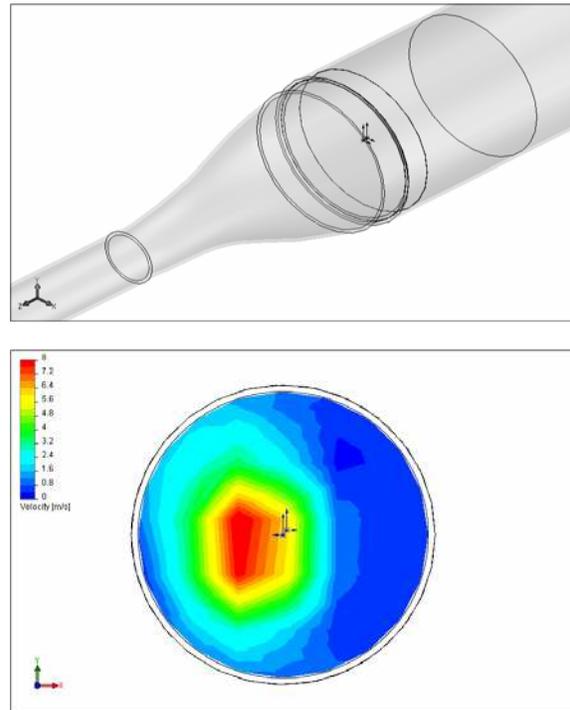
Gambar 9 dan 10 memperlihatkan kecepatan aliran pada *diffuser* nomor 10 dan 28. Kecepatan aliran pada *diffuser* nomor 10 lebih homogen dan lebih rendah dibandingkan nomor 28. Kecepatan aliran di depan katalis *diffuser* nomor 10 berkisar antara 1- 6,5 m/s dengan daerah kecepatan 0 m/s sedikit lebih kecil dari *diffuser* nomor 28, dan berkisar antara 1-8 m/s.



Gambar 8. Perubahan *eccentric* untuk mensimetriskan konsentrasi aliran



Gambar 9. Detail *diffuser* nomor 10 dan kontur kecepatan di depan katalis



Gambar 10. Detail *diffuser* nomor 28 dan kontur kecepatan di depan katalis

Tabel 3. Perhitungan biaya material

No	Nama Bagian	Berat (kg)	Material	Harga / kg	Total
1	<i>Header Manifold</i>	0,38855	Baja Paduan	\$ 0,88	\$ 0,34192 – Rp 2.900
2	Katalis	0,1154	Al ₂ O ₃	All	\$ 10.00 – Rp. 85.000
3	Pemegang katalis	0,0976	St Steel 304	\$ 3	\$ 0,2928 – Rp 2.488
4	<i>Muffler</i>	2,0676	Baja Paduan	\$ 0,88	\$ 1,81945 – Rp 15.465
5	Pemegang <i>Muffler</i>	0,1323	Baja Paduan	\$ 0,88	\$ 0,1164 – Rp 989,4
Total					Rp. 106.842,4

Penurunan tekanan yang terjadi pada *diffuser* nomor 10 sekitar 387 Pa, dan pada *diffuser* nomor 28 sekitar 395,4 Pa. Kedua nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan *diffuser loft* dan miring, dan meningkat sekitar 10 %, namun jika dibandingkan dengan model standar dengan katalis, peningkatannya sekitar 2,6 %. Jika dilihat dari distribusi aliran maka *diffuser* nomor 10 yang lebih baik, dan dapat digunakan sebagai *prototype*

exhaust system dengan *catalytic converter*, meskipun peningkatan penurunan tekanan ini harus diperhatikan, yakni batasan 10 % dari tekanan kerja sistem.

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan sesuai dengan metode Asbhy diperoleh tabel material yang akan digunakan seperti diperlihatkan pada Tabel 3. Dengan menentukan kompleksitas, presisi tengah (*mean*

precision), berat unit, dan kekasaran permukaan dari produk. Kemudian menggunakan grafik *P2 Information product* (byte) versus berat unit [10] akan didapat area proses pengerjaan yang sesuai dari beberapa pilihan yang ada. Hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa proses pengerjaan yang sesuai adalah proses deformasi dingin dan metode fabrikasi konvensional, dengan langkah-langkah pengerjaannya adalah pemotongan plat tipis (1,2 mm) menggunakan alat potong, pembentukan *sheet* dengan hidrolis *press/stamping*, pembengkokan pipa, pembentukan ujung pipa, *mechanical assembly*, *welding with filler metal*. Untuk unit *header to manifold* dan *muffler* perlu dilakukan perlindungan karat dan oksidasi melalui pelapisan (*coating*), *electroplating*, *inhibitor* (yang akan dipilih salah satunya).

4. Kesimpulan

Material yang akan digunakan pada produk telah terdefinisi. Studi *mesh* perlu dilakukan untuk meyakinkan bahwa hasil yang didapat tidak akan berubah lagi jika dilakukan perbaikan *mesh* lebih lanjut. Hasil uji *mesh* independensi pada *cosmos flow* didapat *global mesh level 4*, dan *local mesh* nomor 2 dapat digunakan. Peningkatan performans dari *catalytic converter* dapat dilakukan dengan memperbaiki distribusi aliran yang melalui katalis dengan optimasi bentuk geometri dari *exhaust system* pada kondisi yang terbatas. Hasil simulasi memperlihatkan secara kualitatif perbaikan distribusi aliran yang menuju ke katalis, dan rasio tekanan yang terjadi antar model yang diuji. Pemilihan pada model 2 (*diffuser loft*) memiliki distribusi aliran yang lebih seragam, dan penurunan tekanan yang cenderung lebih rendah. Namun perlu juga diperhatikan kegiatan manufaktur untuk membuat model 2 (model *loft*) lebih susah daripada model 1 (model miring lurus). Setelah dilakukan perbaikan geometri pada model *loft*, model *diffuser* nomor 10 menghasilkan perbaikan kontur kecepatan gas yang melalui permukaan katalis, dengan kecepatan yang relatif lebih rendah 1-7 m/s. Penurunan tekanan yang terjadi pada *diffuser* nomor 10 sekitar 395,4 Pa. Model *diffuser* nomor 10 merupakan model yang dapat dijadikan *prototype exhaust system* dengan katalis.

Daftar Acuan

- [1] I Gusti Bagus Wijaya Kusuma, *Dampak Penggunaan Alat Penurun Emisi Gas Buang CO terhadap Daya Efektif dan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Motor Bensin 4 Langkah dengan Volume Silinder 100 cc*, Jurnal Teknologi, Edisi No. 2 Tahun XVII, Universitas Indonesia, Juni 2003
- [2] RE Hayes and ST Kolaczowski, *Introduction to Catalytic Combustion*, Gordon & Breach Science Publisher, 1997
- [3] Majalah Motoriders, "Peluang pasar motor bebek Suzuki Smash", 2001
- [4] Jim McFarland, "The Performance Professor", N2performance.com
- [5] Dr.Ing. H Dieter E, "First ULEV Turbo Gasoline Engine", SAE Ppaper 2001-01-1350, 2001
- [6] Saeed Moaveni, *Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS*, Minnesota State University, Prentice Hall, New Jersey, 1999
- [7] Frank M White, *Mekanika Fluida Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1988.
- [8] Brosur Honda, *Honda Karisma 125 CC*, 2003
- [9] Tyler G Hicks, *Standard Handbook of Engineering Calculation*, Mechanical Engineering Part 3, McGraw Hill Inc, NY, 1995
- [10] MF, Asbhy, *Materials Selection in Mechanical Mechanics*, Pergamon Press, Oxford NY, 2001
- [11] KA Lichti dkk, *Corrosion Behaviour of Four High Temperature Engineering Material Exposed to landfill gas engine flue gas*, jurnal Science and Technology letters New Zealand, 1999
- [12] Bong Yon Jin, *Geometri optimization of catalytic converter for improved flow distribution*, Engineering Journal Korea, 1998
- [13] Cecile Favre & Said Zidat, "Emission System Optimization to Meet Future European Legislation, SAE Technical Paper 2004-01-0138, Detroit Michigan, 2004
- [14] J. Victor Tuapetel, Thesis, Program Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik, Universitas Indonesia, Indonesia, 2002.