

SIMULASI ALIRAN UDARA DALAM RAM-AIR INTAKE PADA SEPEDA MOTOR SPORT DENGAN MENGGUNAKAN COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC

MSK Tony Suryo Utomo* dan Rama Dwi Prayoga
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
*Email: msk_tony@undip.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan tekanan statik yang dihasilkan ram-air intake pada sepeda motor sport diteliti dengan menggunakan computational fluid dynamic (CFD). Desain ram-air intake Yamaha YZF-R6 tahun produksi 1999-2002 dan Kawasaki ZX-9 tahun 1992 menjadi rujukan pada pemodelan ram-air intake dalam penelitian ini. Metode komputasi yang digunakan yaitu $k-\epsilon$ realizable didapat dengan memvalidasi penelitian dari T.S. Cheng dan W.J. Yang mengenai simulasi numerik aliran turbulen berseparasi serta bersirkulasi kembali di dalam sebuah saluran. Dari simulasi yang telah dilakukan terhadap ketiga model ram-air intake yang telah didesain yaitu Ram 1, Ram 2, dan Ram 3 diperoleh hasil bahwa peningkatan tekanan statik untuk masing-masing model ram-air intake sebesar 1.457,57 Pa, 1.482,42 Pa, dan 1.537,82 Pa untuk aliran kecepatan 44 m/s serta 4.569,49 Pa, 4.575,30 Pa, dan 4.649,09 Pa untuk aliran kecepatan 83 m/s (dimana nilai tekanan terukur pada tekanan gauge). Peningkatan tekanan statis menuju ruang bakar memiliki efek positif pada tenaga mesin, baik karena tekanan itu sendiri maupun mass flow udara yang lebih besar memberikan suplai bahan bakar yang besar pula sehingga sistem pembakaran dalam ruang bakar akan menghasilkan ledakan/gaya dorong lebih besar untuk mendorong piston bergerak ke TMB (titik mati bawah) memutar poros engkol sepanjang langkah torak yang pada gilirannya daya motor akan meningkat.

Kata Kunci: Ram-Air Intake, Tekanan Statik, Mass flow, Turbulen, $k-\epsilon$ realizable.

PENDAHULUAN

Ram-Air adalah salah satu pengembangan komponen yang dibuat pada motor sport dalam beberapa dekade terakhir, pertama kali muncul pada Kawasaki ZX-11 model tahun 1992. Pihak Kawasaki pada saat itu mengklaim bahwa dengan menggunakan komponen ini dapat memberikan banyak keuntungan, seperti efek booster saat melaju pada kecepatan yang tinggi dan meningkatnya efisiensi volumetrik. Namun manfaatnya jarang dinyatakan secara objektif, atau secara ilmiah dievaluasi. Sehingga banyak orang pada saat itu meragukan kinerja dari komponen tersebut. Kemudian beberapa orang dari majalah "Sport Rider" melakukan tes secara independen terhadap komponen Ram-Air dan menunjukkan bahwa memang terdapat peningkatan tekanan statik walaupun hasilnya sangat kecil yaitu sekitar 10-20 mili bar untuk kecepatan di atas 150 mph atau sekitar 240 km/jam [1].

Karena itulah pada Tugas Akhir ini, dilakukan penelitian dengan caramendesain dan melakukan analisa sistem Ram-Air untuk melihat apakah memang komponen tersebut mampu meningkatkan tekanan statis dan memberikan massflow yang lebih besar di dalam intake manifold menggunakan pendekatan computational fluid dynamic (CFD).

ANSYS FLUENT adalah salah satu program CFD yang menggunakan metode elemen hingga (finite element method). Penggunaan ANSYS FLUENT cukup mudah, tersedia model yang dapat mewakili kondisi nyata dengan berbagai pilihan solver, dan juga lebih efisien terhadap waktu dan biaya eksperimen [2].

Konsep dasar dibalik ram-air adalah bahwa motor yang bergerak akan menangkap udara dari arah

depan menuju saluran masuk, menghasilkan efek *supercharging*. Ketika kecepatan udara masuk mengalami penurunan akibat perubahan luas penampang serta gesekan dengan dinding saluran ram-air, maka tekanan dinamis akan berkurang sedangkan tekanan statis meningkat. Peningkatan tekanan statis di dalam ruangan ini memiliki efek positif pada tenaga mesin, baik karena tekanan itu sendiri dan massflow udara yang lebih besar memberikan tekanan yang lebih tinggi.

Semakin tinggi kecepatan motor, maka lebih banyak udara yang dapat dipaksa masuk. Karena banyaknya asupan udara masuk, maka injektor (pada motor berinjeksi) secara otomatis akan mensuplai bahan bakar yang lebih banyak pula untuk memenuhi rasio stoichiometric ideal yaitu sebesar 14,7:1. Rasio stoichiometric atau lebih dikenal dengan sebutan *air fuel ratio* merupakan perbandingan jumlah bahan bakar terhadap udara ($AFR = m_{udara}/m_{bahan\ bakar}$).

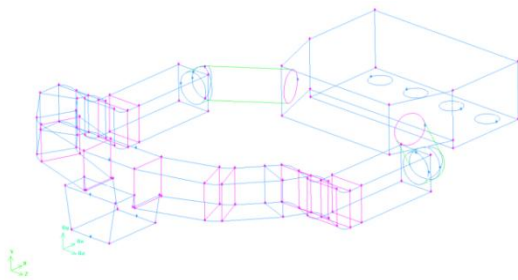
Kemudian, akibat dari suplai bahan bakar dan udara yang kaya tersebut, sistem pembakaran dalam ruang bakar akan menghasilkan ledakan/gaya dorong (F) lebih besar untuk mendorong piston bergerak ke TMB (titik mati bawah) memutar poros engkol sepanjang d (langkah torak) yang pada gilirannya daya motor akan meningkat (Daya motor = $2\pi n F d$).

PEMODELAN

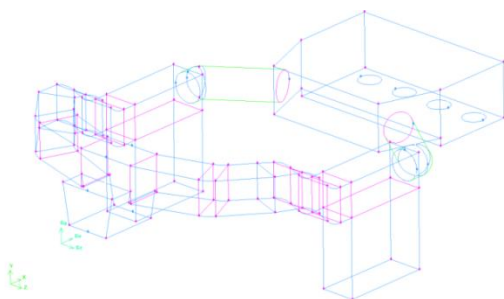
Geometri dan Kondisi aliran

Terdapat tiga model ram-air intake yang digunakan pada penelitian ini, yaitu Ram 1, Ram 2, dan Ram 3. Untuk model Ram 1 merujuk pada desain ram-

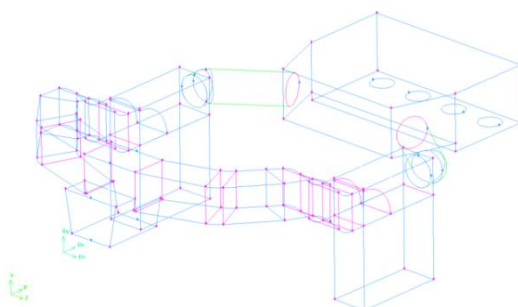
air intake milik Yamaha YZF-R6 tahun 1999-2002. Sedangkan untuk model Ram 2 dilakukan perubahan pada desain model Ram 1 dengan memberikan pembesaran penampang secara tiba-tiba di tengah saluran merujuk pada desain *ram-air intake* milik Kawasaki ZX-11 tahun 1992. Terakhir model ketiga tidak jauh berbeda dengan model Ram 2, hanya saja pada daerah pembesaran penampang secara tiba-tiba di tengah saluran diberikan sebuah damper atau pengarah. *Ram-air intake* dimodelkan sebagai sebuah duct (saluran) dengan bentuk penampang yang berbeda-beda. Dimensi dari *ram-air intake* sendiri ditunjukkan seperti pada Gambar 4. Titik awal koordinat sistem terletak pada jarak offset 70 mm dari sisi masuk *ram-air intake*. Ketiga model *ram-air intake* disimulasikan pada variasi kecepatan aliran masuk sebesar 44 dan 83 m/s. Kondisi batas yang digunakan yaitu *velocity inlet* dan *pressure outlet*. Masing-masing memiliki intensitas turbulen sebesar 13% dan 3,6% untuk kecepatan 44 m/s serta intensitas turbulen sebesar 1,3% dan 1,4% untuk kecepatan 83 m/s. Model turbulen *k-ε realizable* digunakan setelah melakukan validasi dari penelitian yang dilakukan oleh T.S Cheng dan W.J. Yang [11].



Gambar 1. Desain Ram 1.



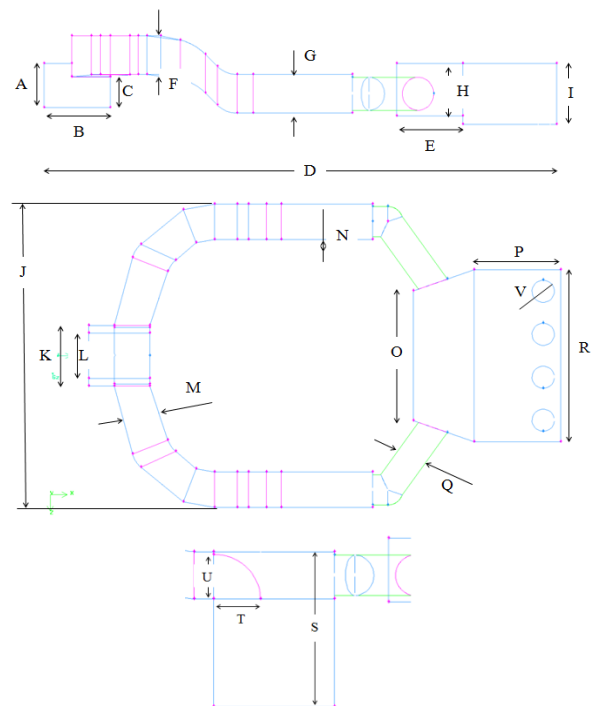
Gambar 2. Desain Ram 2.



Gambar 3. Desain Ram 3.

Penggenerasian *mesh* dilakukan menggunakan metode *mesh edge* dengan elemen *Tet/Hybrid* tipe *Tgrid* pada sisi masuk (inlet), pipa silinder dan *air box*, serta elemen *Hex/Wedge* tipe *Cooper* pada sisi sayap saluran, pembesaran penampang secara tiba-tiba di tengah saluran, dan sisi keluar (outlet) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

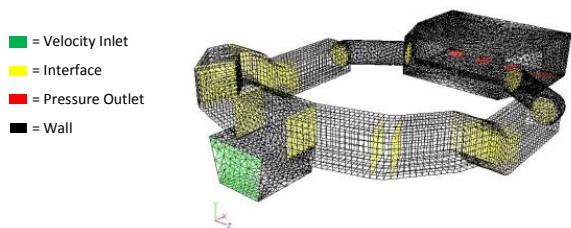
Pemakaian metode *mesh edge* ini mudah digunakan untuk mengatur besaran nilai dari *aspect ratio* serta *angle skewness* yang berpengaruh langsung pada kualitas *mesh* tersebut, dengan harapan dapat meningkatkan keakuratan hasil simulasi terutama pada sisi yang dekat dengan dinding saluran.



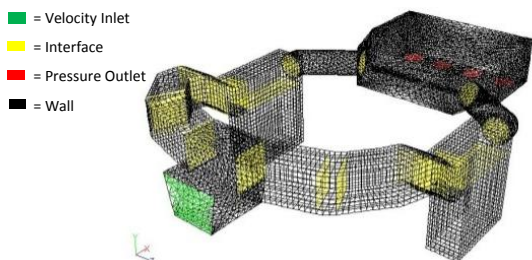
Gambar 4. Dimensi dari *ram-air intake*.

<u>Keterangan:</u>	A = 80 mm	I = 110 mm	Q = 60 mm
	B = 120 mm	J = 600 mm	R = 340 mm
	C = 55 mm	K = 120 mm	S = 230 mm
	D = 930 mm	L = 90 mm	T = 70 mm
	E = 120 mm	M = 70 mm	U = 66 mm
	F = 70 mm	N = 70 mm	V = 44 mm
	G = 70 mm	O = 256 mm	
	H = 95 mm	P = 170 mm	

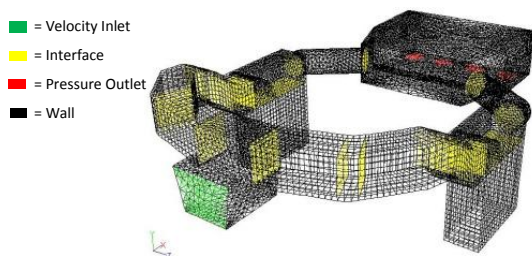
Penggenerasian Mesh



Gambar 5. Penggenerasian mesh pada Ram 1.



Gambar 6. Penggenerasian mesh pada Ram 2.



Gambar 7. Penggenerasian mesh pada Ram 3.

HASIL DAN ANALISA

Data Hasil Simulasi

Tabel 5.1 Data hasil simulasi masing-masing desain ram-air untuk kecepatan 44 m/s.

Parameter	DESAIN RAM AIR		
	Ram 1	Ram 2	Ram 3
Jumlah sel ($y+ < 300$)	678.629	736.477	1.246.581
Tekanan statik inlet (Pa)*	10.899,73	11.071,80	19.766,41
Tekanan dinamis inlet (Pa)*	1.205,67	1.205,67	1.205,66
Tekanan total inlet (Pa)*	12.105,40	12.277,46	20.972,07
Tekanan statik rata-rata zona pembesaran penampang (Pa)*	8.392,20	8.486,01	14.200,72
Tekanan dinamis rata-rata zona pembesaran penampang (Pa)*	1.077,69	537,17	894,72
Tekanan total rata-rata zona pembesaran penampang (Pa)*	9.469,89	9.023,8	15.095,44
Tekanan statik sisi masuk silinder (Pa)*	8.551,11	5.763,27	7.070,15
Tekanan dinamis sisi masuk silinder (Pa)*	937,17	3.441,10	6.053,17
Tekanan total sisi masuk silinder (Pa)*	9.488,28	9.204,37	13.123,32
Tekanan statik outlet (Pa)*	1.457,57	1.482,42	1.537,82
Tekanan dinamis outlet (Pa)*	3.996,74	4.040,29	3.649,52
Tekanan total outlet (Pa)*	5.454,31	5.522,71	5.187,35
Δp statik dari inlet s/d sisi masuk silinder (Pa)*	2.348,62	5.308,53	12.696,26
Δp statik dari pembesaran penampang s/d outlet (Pa)*	6.934,63	7.003,59	12.662,90
Δp statik dari inlet s/d outlet (Pa)*	9.442,16	9.589,38	18.288
Velocity magnitude outlet (m/s)	80,41	80,82	76,92
Y Velocity outlet (m/s)	63,43	63,43	63,43

Turbulence Dissipation Rate (m^2/s^3)	22.462,30	15.058,08	175.126,30
Mass flow rate (kg/s)	0,46	0,46	0,46

*Tekanan gauge

Dari hasil simulasi ini diperoleh data seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Diketahui bahwa masing-masing model ram-air berhasil meningkatkan tekanan statik pada sisi keluar air box. Tekanan statik terbesar diperoleh pada model Ram 3, baik untuk kecepatan 44 m/s dan 83 m/s. Sedangkan untuk laju aliran massa, diketahui bahwa semakin besar kecepatan aliran masuk melalui asupan ram-air intake, maka semakin besar pula laju aliran massa yang diperoleh.

Tabel 5.2 Data hasil simulasi masing-masing desain ram-air untuk kecepatan 83 m/s.

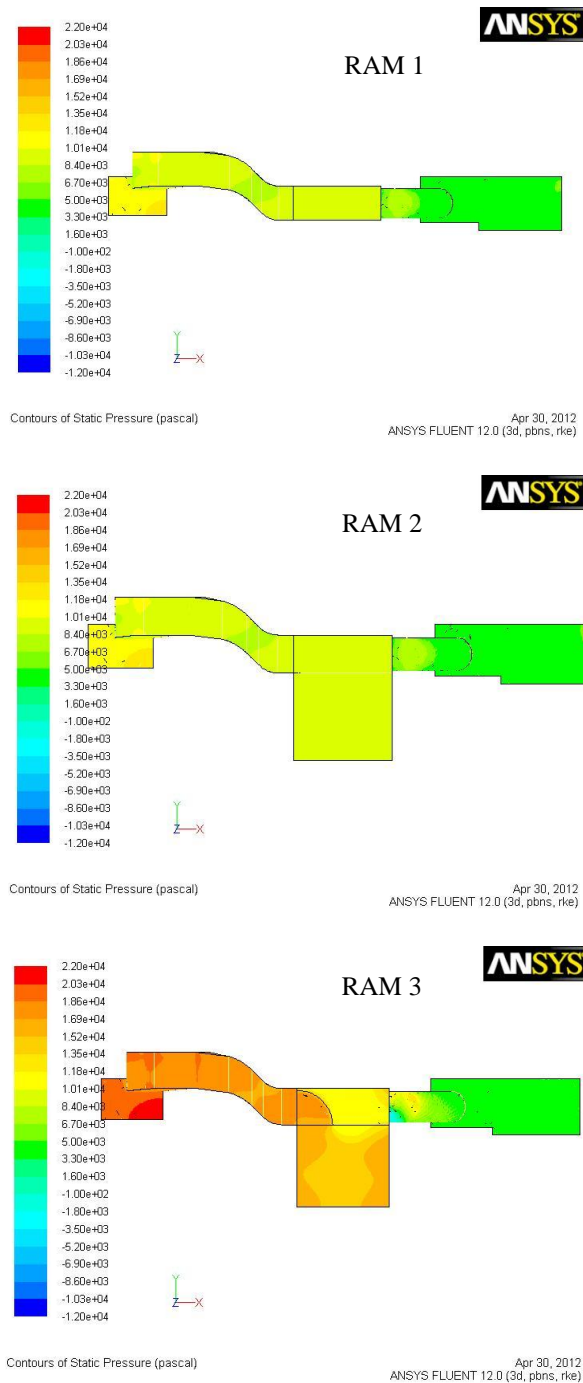
Parameter	DESAIN RAM AIR		
	Ram 1	Ram 2	Ram 3
Jumlah sel ($y+ < 300$)	2.332.998	2.451.853	3.187.595
Tekanan statik inlet (Pa)*	39.878,43	40.205,63	67.579,80
Tekanan dinamis inlet (Pa)*	4.242,51	4.242,54	4.242,39
Tekanan total inlet (Pa)*	44.120,93	44.448,16	71.822,20
Tekanan statik rata-rata zona pembesaran penampang (Pa)*	29.902,16	30.577,58	49.601,72
Tekanan dinamis rata-rata zona pembesaran penampang (Pa)*	3.916,24	1.435,77	2.675,27
Tekanan total rata-rata zona pembesaran penampang (Pa)*	33.818,41	32.013,35	52.276,99
Tekanan statik sisi masuk silinder (Pa)*	30.466,94	20.201,88	25.802,21
Tekanan dinamis sisi masuk silinder (Pa)*	3.401,55	12.534,39	19.425,03
Tekanan total sisi masuk silinder (Pa)*	33.868,48	32.736,27	45.227,24
Tekanan statik outlet (Pa)*	4.569,49	4.575,30	4.649,09
Tekanan dinamis outlet (Pa)*	14.684,05	14.720,80	12.614,07
Tekanan total outlet (Pa)*	19.253,54	19.296,10	17.263,16
Δp statik dari inlet s/d sisi masuk silinder (Pa)*	9.411,49	20.003,75	41.777,59
Δp statik dari pembesaran penampang s/d outlet (Pa)*	25.332,67	26.002,28	44.952,63
Δp statik dari inlet s/d outlet (Pa)*	35.308,94	35.630,03	62.930,71
Velocity magnitude outlet (m/s)	154,32	154,51	143,17
Y Velocity outlet (m/s)	-119	-118,99	-118,99
Turbulence Dissipation Rate (m^2/s^3)	254.174,20	109.961,70	971.290,60
Mass flow rate (kg/s)	0,86	0,86	0,86

*Tekanan gauge

Efek Geometri Saluran Ram-Air Intake Terhadap Distribusi Tekanan Statik

Gambar 7 memperlihatkan nilai kontur distribusi tekanan statik yang dihasilkan Ram 3 pada sisi inlet hingga sisi masuk silinder memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan Ram 1 dan Ram 2. Namun pada sisi masuk silinder menuju airbox hingga berakhir di sisi outlet menunjukkan nilai kontur distribusi tekanan statik yang cenderung sama. Hal ini menunjukkan bahwa kerugian yang terjadi sepanjang sisi masuk silinder hingga outlet sangat besar akibat dari perubahan penampang secara tiba-tiba dari bentuk kotak (rectangular) menuju bentuk bundar (round).

Nilai tekanan statik terbesar yang dihasilkan di sisi outlet untuk kecepatan 44 m/s terjadi pada model Ram 3 yaitu sebesar 1.537,82 Pa. Sedangkan nilai tekanan statik terkecil terjadi pada model Ram1 yaitu dengan nilai sebesar 1.457,57 Pa.

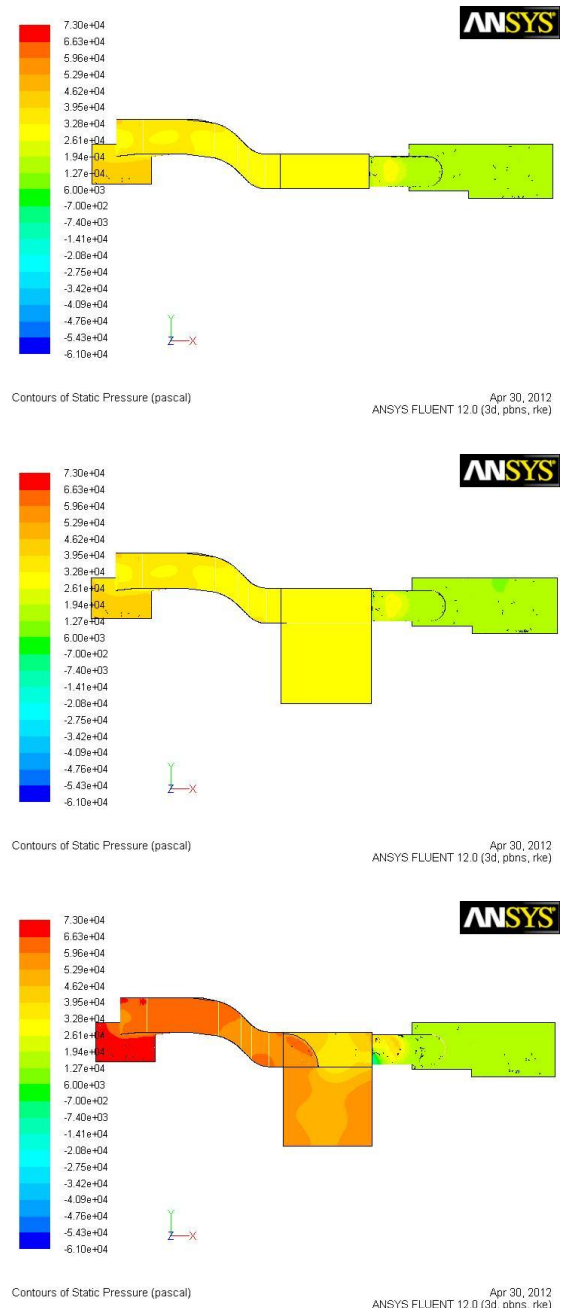


Gambar 7. Kontur distribusi tekanan statik masing-masing model *ram-air intake* untuk kecepatan 44 m/s.

Gambar 8 memperlihatkan nilai kontur distribusi tekanan statik yang tidak jauh berbeda dari kontur distribusi tekanan statik untuk kecepatan 44 m/s, dimana Ram 3 tetap memiliki nilai distribusi tekanan statik yang lebih besar bila dibandingkan dengan Ram

1 dan Ram 2. Namun pada sisi masuk silinder menuju *airbox* hingga berakhir di sisi *outlet* menunjukkan nilai kontur distribusi tekanan statik yang cenderung sama pula.

Nilai tekanan statik terbesar yang dihasilkan di sisi outlet untuk kecepatan 83 m/s juga terjadi pada model Ram 3 yaitu sebesar 4.649,09 Pa. Begitu pula nilai tekanan statik terkecil terjadi pada model Ram 1 yaitu dengan nilai sebesar 4.569,49 Pa.



Gambar 8. Kontur distribusi tekanan statik masing-masing model *ram-air intake* untuk kecepatan 83 m/s.

Penelitian ini pada awalnya melakukan perubahan geometri dan memberikan pembesaran penampang secara tiba-tiba di tengah saluran dengan maksud agar dapat meningkatkan tekanan statik pada sisi outlet

secara signifikan. Setelah dilakukan simulasi, tekanan di sisi outlet memang mengalami peningkatan (baik model Ram 2 maupun Ram 3) bila dibandingkan dengan model *ram-air intake* tanpa adanya pembesaran penampang di tengah saluran (model Ram 1). Akan tetapi, peningkatan yang terjadi tidak signifikan yaitu hanya berkisar antara 80 hingga 100 Pa saja masing-masing untuk kecepatan 44 dan 83 m/s.

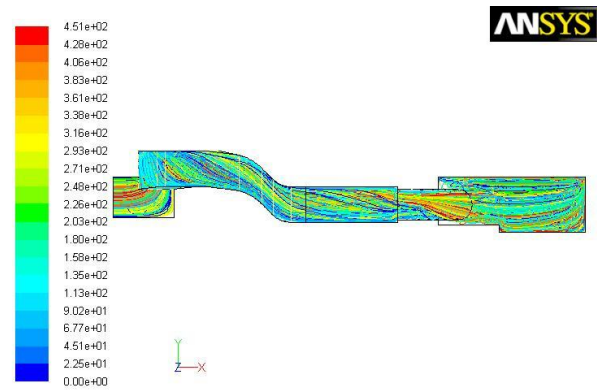
Hal ini disebabkan karena kerugian yang terjadi sepanjang sisi masuk silinder menuju *air box* sangat besar akibat dari perubahan penampang secara tiba-tiba dari bentuk kotak (rectangular) ke bentuk bundar (round) serta lengkungan/bend cukup tajam yang terdapat pada pipa silinder. Terlihat pada Ram 3, meskipun peningkatan tekanan di tengah saluran memiliki nilai yang tinggi (hampir dua kali lebih besar bila dibandingkan dengan Ram 1 dan Ram 2) yaitu 14.200,72 dan 49.601,72 Pa, ketika mulai memasuki pipa silinder, *pressure drop* yang terjadi juga tinggi yaitu 7.130,57 dan 23.799,51 Pa.

1.1 Pola Garis Aliran Sepanjang Saluran *Ram-Air Intake*

Gambar 9 menunjukkan pola aliran yang melalui saluran *ram-air intake* untuk masing-masing model pada kecepatan 44 m/s, dimana terlihat bahwa aliran berputar (*swirl*) terjadi di daerah persimpangan setelah sisi masuk asupan, lekukan/bend (untuk Ram 1), dan pembesaran penampang (untuk Ram 2 dan Ram 3). Aliran *swirl* ini menyebabkan peningkatan intensitas turbulensi sebagai akibat dari peningkatan fluktuasi kecepatan.

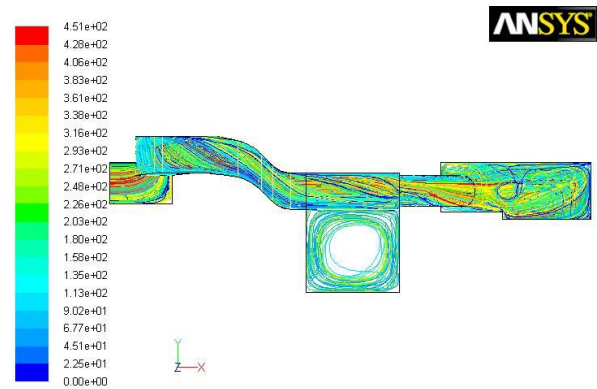
Pada model Ram 2, nampak garis jejak aliran yang melalui daerah pembesaran penampang secara tiba-tiba tidak memenuhi seluruh ruangan, terlihat tidak adanya jejak garis aliran di tengah ruang. Berbeda dengan model Ram 3 yang menggunakan pengarah/damper, jejak garis aliran nampak terlihat memenuhi seluruh ruangan zona pembesaran penampang secara tiba-tiba. Hanya saja terdapat kekosongan ruang pada sisi sebelum aliran masuk menuju pipa silinder.

Gambar 10 menunjukkan pola aliran pada kecepatan 83 m/s, dimana fenomena aliran yang terjadi sama dengan pola aliran pada kecepatan 44 m/s. Hanya saja pada model Ram 2 dan Ram 3 terdapat kekosongan ruangan pada zona pembesaran penampang secara tiba-tiba lebih besar dibandingkan dengan aliran kecepatan 44 m/s. Begitu juga dengan langkah yang diperlukan agar aliran dapat memenuhi seluruh saluran *ram-air* lebih cepat terjadi pada kecepatan 83 m/s.



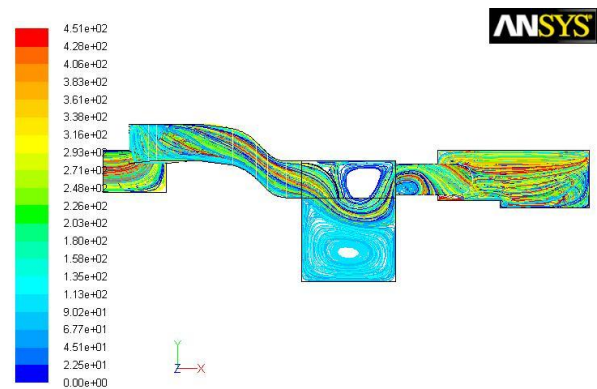
Pathlines Colored by Particle ID

May 15, 2012
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbn, rke)



Pathlines Colored by Particle ID

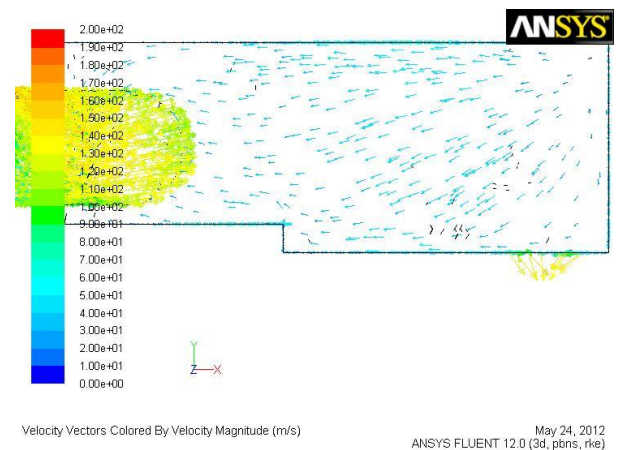
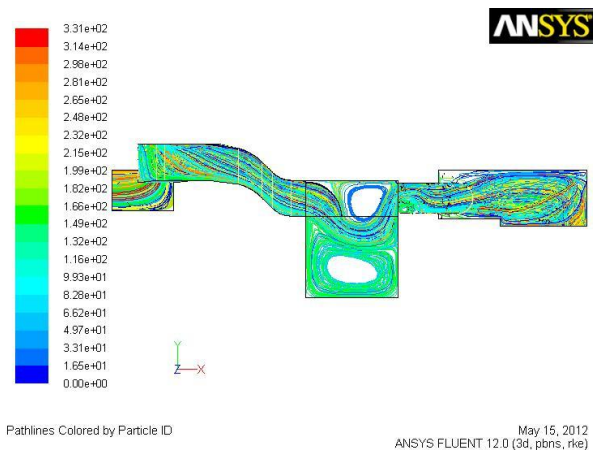
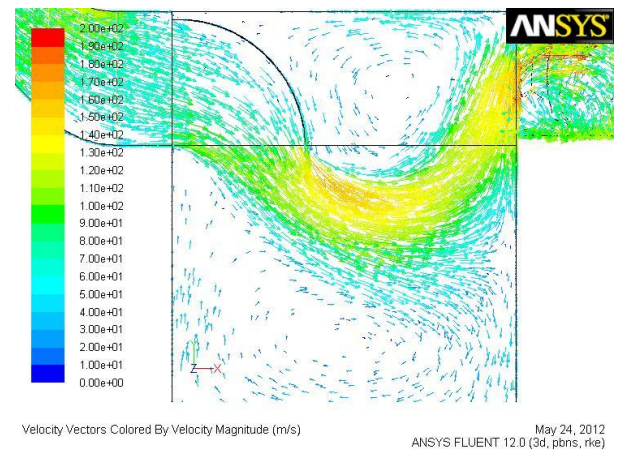
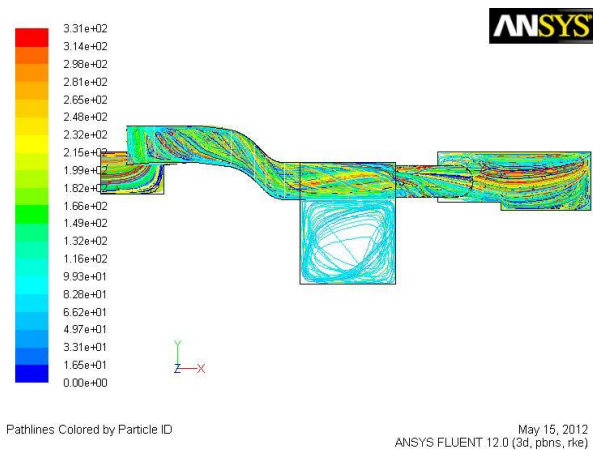
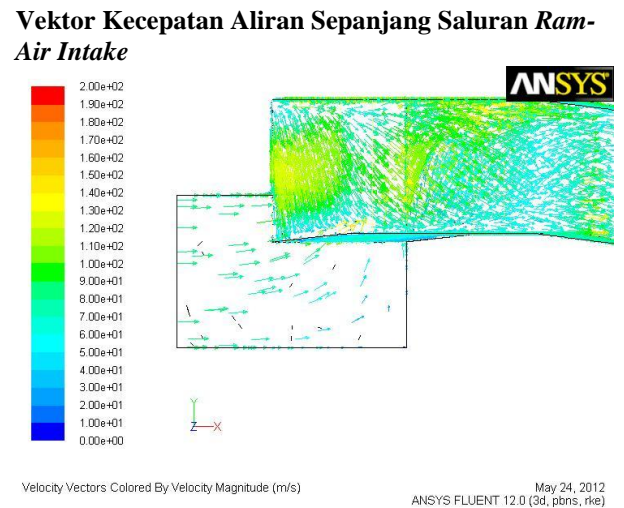
May 15, 2012
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbn, rke)



Pathlines Colored by Particle ID

May 15, 2012
ANSYS FLUENT 12.0 (3d, pbn, rke)

Gambar 9. Pola garis aliran sepanjang saluran untuk masing-masing model *ram-air intake* pada kecepatan 44 m/s.



Gambar 10. Pola garis aliran sepanjang saluran untuk masing-masing model *ram-air intake* pada kecepatan 83 m/s.

Gambar 11. Contoh vector kecepatan yang terjadi pada model Ram 3 untuk kecepatan 83 m/s.

Contoh vektor kecepatan aliran pada *ram-air intake* untuk model *ram-air* ditunjukkan seperti pada Gambar 11, terlihat aliran memasuki sisi inlet dan terus mengarah menuju ke dalam saluran dengan bentuk aliran yang berputar (swirl) dan bersirkulasi kembali di beberapa bagian, seperti pada zona pembesaran penampang secara tiba-tiba di tengah saluran (untuk

Ram 2 dan Ram 3) serta pada sisi *air box*. Hal ini menyebabkan fluktuasi kecepatan yang acak dan menyebabkan peningkatan intensitas turbulen dalam sistem sehingga menyebabkan kerugian yang besar. Dimana nilai *turbulence dissipation rate* terbesar terjadi pada Ram 3 yaitu sebesar 175.126,30 dan 971.290,60 m^2/s^3 masing-masing untuk kecepatan 44 dan 83 m/s. Sedangkan nilai *turbulence dissipation rate* terkecil terjadi pada Ram 2 yaitu sebesar 15.058,08 dan 109.961,70 m^2/s^3 masing-masing untuk kecepatan 44 dan 83 m/s.

KESIMPULAN

Komponen *ram-air intake* terbukti berhasil meningkatkan tekanan statis, baik untuk model Ram 1, Ram 2, dan Ram 3. Masing-masing sebesar 1.457,57 Pa, 1.482,42 Pa, dan 1.537,82 Pa untuk aliran kecepatan 44 m/s serta 4.569,49 Pa, 4.575,30 Pa, dan 4.649,09 Pa untuk aliran kecepatan 83 m/s.

Semakin cepat laju aliran udara yang masuk ke dalam asupan saluran ram-air intake maka semakin besar nilai laju aliran massa yang diperoleh. Yaitu sebesar 0,46 dan 0,86 kg/s masing-masing untuk kecepatan 44 dan 83 m/s.

Penurunan tekanan (Δp) masing-masing model *ram-air intake*, baik untuk model Ram 1, Ram 2, dan Ram 3. yaitu sebesar 9.442,16 Pa, 9.589,38 Pa, dan 18.288 Pa untuk aliran kecepatan 44 m/s serta 35.308,94 Pa, 35.630,03 Pa, dan 62.930,71 Pa untuk aliran kecepatan 83 m/s.

REFERENSI

1. http://www.sportrider.com/tech/146_9910_ram/in dex.html, diunduh pada tanggal 18 april 2011.
2. Tuakia, Firman. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Informatika, Bandung, 2008.
3. Gerhart, Philip M and Richard J. Gross. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc, USA, 1985.
4. Fox, Robert W dan Alan T. Mc Donald. *Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition, SI Version*, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1994.
5. Ansys Fluent Inc, *Manual Fluent Documentation*.
6. Holman, J.P., *Perpindahan Kalor Edisi Keenam*, Erlangga, Jakarta, 1988.
7. Munson, B. R., Young, D. F., and Okiishi, T. H., *Fluid Dynamics, jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 2008.
8. Versteeg, H. K. and Malalaskera, W., *An Introduction to Computational Fluid Dynamic*, Longman Scientific & Technical, England, 1995.
9. Samantha, Hendra R., *Model Turbulen Pada Aliran Campuran Udara dan Hot EGR Mesin Diesel Dengan Menggunakan Simulasi Numerik*, Skripsi, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
10. Situs website, http://www.oppracing.com/product_display/540-macmoto-superbike-airduct/, diunduh pada tanggal 18 april 2011.
11. T.S., Cheng and W. J., Yang, *Numerical Simulation of Three-Dimensional Turbulent Separated and Reattaching Flows Using a Modified Turbulence Model*, Institute of Mechanical and Aerospace Engineering, Chung Hua University, Taiwan, 2007.
12. Cengel, Yunus A., and Cimbala, John M., *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications International Edition*, McGraw-Hill Inc, New York, 2006.
13. Situs website, http://en.wikipedia.org/wiki/File:Moody_diagram.jpg, diunduh pada tanggal 21 Juni 2012.
14. Heywood, John B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Inc, New York, 1989.