

Simulasi Numerik Perilaku Aliran dan Pemisahan Termal di dalam Tabung Vorteks

Radi Suradi K dan Sugianto

Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, PO BOX 1234 Bandung
E-mail : radisuradik@gmail.com

Abstrak

Vortex tube yang dikenal dengan nama Ranque Hilsch Vortex Tube (RHVT) adalah sebuah alat sederhana tanpa ada komponen yang bergerak didalamnya yang memisahkan udara masuk yang bertekanan menjadi dua aliran terpisah yaitu udara panas dan udara dingin secara bersamaan pada masing-masing keluarannya. Proses pemisahan dua aliran dimana yang satu menjadi aliran dingin dan yang satu menjadi aliran panas bisa ditinjau sebagai proses pemisahan energi. Teori mengenai proses pemisahan energi umumnya didapat dari hasil eksperimental dan sebagian dari simulasi numerik.

Paper ini membahas mengenai fenomena aliran *swirl* pemisahan aliran dingin dan panas di dalam RHVT jenis *counter flow* pada tekanan udara masuk ke *nozzle* sebesar 2 atm dengan jumlah *nozzle* 4 buah pada kondisi fraksi dingin yang bervariasi 24%, 35% dan 42%. Kajian dilakukan secara numerik menggunakan perangkat lunak komputasi dinamika fluida Fluent. kajian numerik ini menggunakan model aliran *viscous* Kappa Epsilon ($k-\epsilon$) dengan domain komputasi 3D.

Hasil simulasi numerik *properties* fluida ditampilkan dalam bentuk visualisasi aliran *swirl colour by* temperatur yang terjadi didalam RHVT. Pada fraksi dingin 24% temperatur minimum 12.6°C dan maksimum 36.2°C, pada fraksi dingin 35% temperatur minimum 11.4°C dan maksimum 36.3°C dan pada fraksi dingin 42% temperatur minimum 11.6°C dan maksimum 37.2°C

Kinerja RHVT ditunjukkan oleh kurva selisih temperatur udara masuk dengan temperatur udara keluar dingin ΔT_c terhadap fraksi massa udara dingin terhadap massa udara masuk dua *nozzle*.

Keywords: simulasi numerik, vorteks aliran, tabung vorteks, Ranque Hilsch Vortex Tube, kappa-epsilon, fluent

Pendahuluan

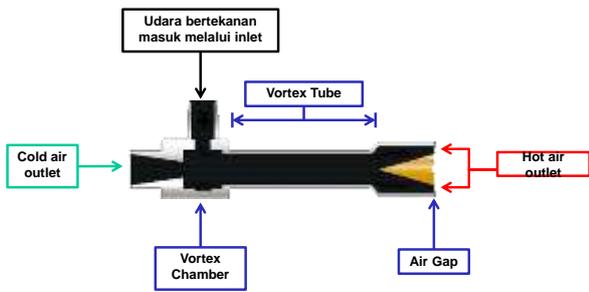
Vortex tube yang dikenal dengan nama Hilsch atau Ranque tube (yang kemudian disebut dengan RHVT ,Ranque Hilsch Vortex Tube) adalah sebuah alat sederhana tanpa ada komponen yang bergerak didalamnya yang menghasilkan udara masuk yang bertekanan menjadi dua aliran terpisah yaitu udara panas dan udara dingin secara bersamaan pada masing-masing keluarannya. Proses pemisahan dua aliran, dimana yang satu menjadi dingin dan yang satu menjadi panas bisa ditinjau sebagai proses pemisahan energi. Teori mengenai proses pemisahan energi umumnya didapat dari hasil eksperimental dan sebagian dari simulasi numerik (Akhmesh, Pourmahmoud, 2008).

Fenomena pemisahan dua aliran disebabkan oleh susunan nozzle sedemikian rupa sehingga aliran udara menjadi berputar dan menyebabkan adanya gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal ini mengakibatkan distribusi kecepatan bervariasi kearah radial yang berakibat pada adanya gradien

tekanan dan viskositas fluida. Gradien tekanan kearah radial dan aksial akan menyebabkan terjadinya perpindahan panas (Wood, 1982).

Permasalahan fenomena separasi energi yang terjadi di dalam RHVT masih menjadi bahan kajian yang menarik, belum ada teori yang bersifat baku yang dapat menjelaskan secara tuntas, baik tentang fenomena perpindahan panas yang terjadi ataupun teori bagaimana cara mendapatkan penurunan temperatur yang maksimal, yang secara tidak langsung menunjukkan keoptimalan dari sebuah RHVT (Akhmesh, Pourmahmoud, 2008).

Secara fisik mengamati proses separasi energi di dalam RHVT sulit untuk dilakukan. Untuk itu diperlukan kajian simulasi numerik untuk dapat memvisualisasi perilaku aliran udara berputar di dalam RHVT. Prinsip kerja RHVT seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa aliran di dalam RHVT.

Simulasi numerik telah dilakukan sebelumnya oleh banyak peneliti diantaranya K.K.Zin, A.Hanskee and F.Ziegler (2010). Radi dan Sugianto (2013) telah melakukan kajian simulasi numerik untuk aliran di dalam RHVT jenisnya adalah type counter flow dengan tekanan udara masuk 2 bar dan fraksi massa dingin 24% sampai 35%.

Pada paper ini dilakukan simulasi numerik aliran di dalam RHVT yang mempunyai nozzle 4 buah dan tekanan udara masuk 2 bar.

Skema Numerik

Simulasi numerik aliran di dalam RHVT menggunakan perangkat lunak komersial Fluent. Inc yang menggunakan Metode Volume Hingga untuk pencarian solusinya yaitu dengan melakukan:

- diskretisasi daerah aliran menjadi sejumlah volume atur.
- Persamaan transport yaitu

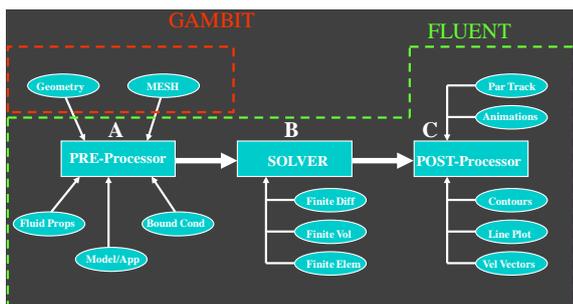
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV + \oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A} = \oint_A \Gamma_\phi \nabla \phi \cdot d\mathbf{A} + \int_V S_\phi dV$$

Unsteady Convection Diffusion Generation

untuk massa, momentum, energi, dipecahkan pada sejumlah volume atur ini.

- Persamaan diferensial parsial di diskretisasi menjadi persamaan aljabar
- Semua persamaan aljabar dipecahkan secara numerik

Tahapan simulasi menggunakan Fluent seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan simulasi menggunakan

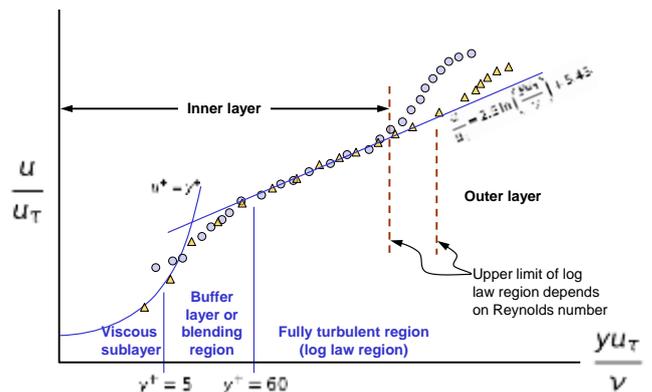
Fluent.

Tahap awal simulasi aliran di dalam RHVT adalah membuat geometri RHVT yang memiliki diameter pipa keluaran udara panas 10 mm, diameter keluaran udara dingin 5 mm dan panjang 100 mm, luas penampang masuk 5.19 mm², lebar vortex chamber 1.5 mm dan lebar gap keluaran udara panas 1 mm yang memiliki jumlah nozzle 4, seperti tampak pada Gambar 3.



Gambar 3. Geometri RHVT memiliki nozzle 4 buah.

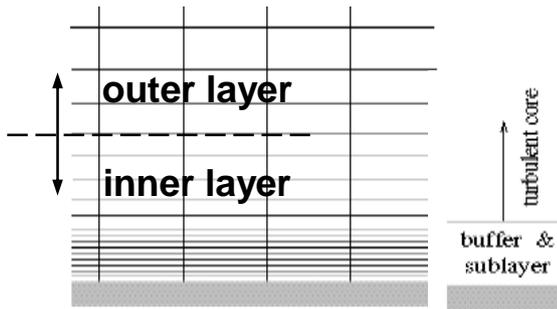
Tahap selanjutnya yaitu pada geometri RHVT dilakukan proses pembuatan grid pada domain komputasinya (daerah aliran) RHVT. Pembuatan grid pada daerah aliran yang dekat dengan dinding harus meninjau pengaruh dinding terhadap aliran yang di indikasikan oleh nilai y^+ yaitu nilai yang harus dimiliki oleh tinggi grid terdekat dengan dinding y sedemikian sehingga mempunyai nilai $y^+ \leq 5$, seperti tampak pada Gambar 4 yang diusulkan oleh Nikuradse (1948).



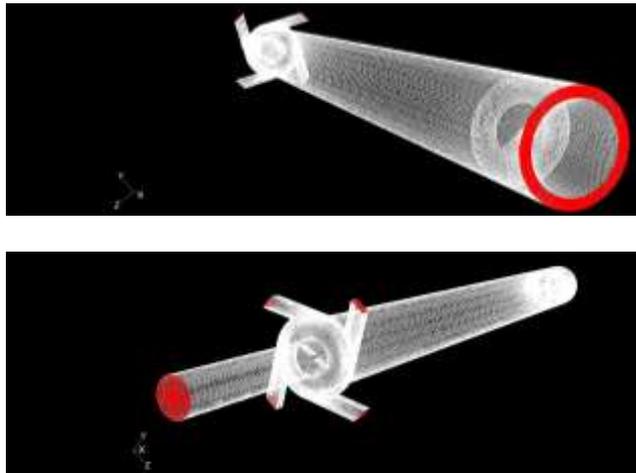
Gambar 4. Kurva pengaruh dinding terhadap aliran di indikasikan oleh nilai y^+ (Fluent, 2006)

Grid atau meshing yang dibuat pada daerah aliran harus dibuat bergradasi pada tingkat kerapatannya dengan maksud agar waktu yang dibutuhkan untuk proses iterasi tidak terlalu lama dan kriteria pengaruh dinding pada aliran terpenuhi. Meshing yang dibentuk bergradasi seperti tampak pada Gambar 5.

Meshing yang dibuat pada daerah aliran RHVT mempunyai jenis meshing hexahedral yang berjumlah 1.8 juta cell hexahedral, seperti tampak pada Gambar 6.



Gambar 5. Meshing gradasi yang dibuat dengan memasukkan kriteria y^+ . (Fluent, 2006)

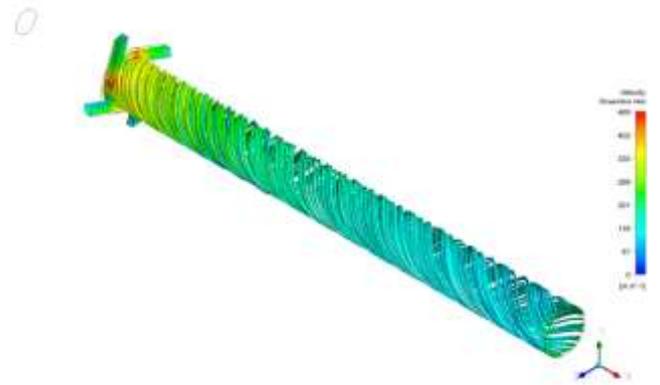


Gambar 6. Hasil meshing gradasi yang dibuat dengan memasukkan kriteria y^+ .

Hasil dan Pembahasan

Hasil simulasi aliran di dalam RHVT pada kondisi tekanan udara masuk 2 bar melalui 4 buah nozzle-nya dapat ditampilkan dalam berbagai bentuk kontur, streamline dan distribusi temperature dan distribusi kecepatan aliran udara di dalam RHVT.

Aliran udara bertekanan yang masuk nozzle akan berputar di dalam vortex chamber dan terus merambat ke arah sumbu X yaitu keluaran panas (Gambar 7)

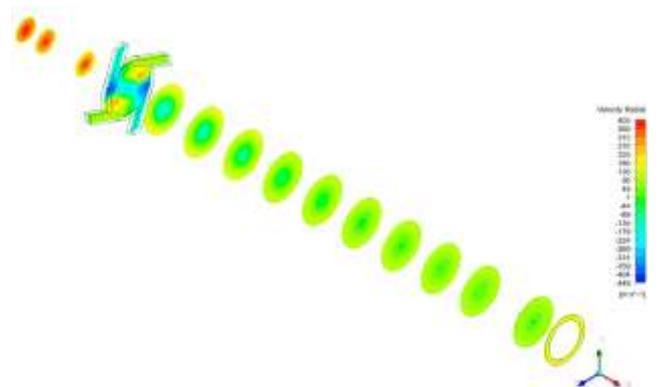


Gambar 7. Putaran aliran dari inlet di dalam RHVT. dengan kecepatan 469 m/s pada posisi keluar nozzle dan kecepatan semakin menurun mendekati 200 m/s pada daerah keluaran panas. Ketika aliran udara mendekati keluaran panas dengan kecepatan yang berkurang, maka aliran pada daerah sumbu tabung akan mengalami kondisi stagnasi oleh control screw dan berbalik menuju keluaran dingin dengan kecepatan yang meningkat sampai 340 m/s, seperti tampak pada Gambar 8.

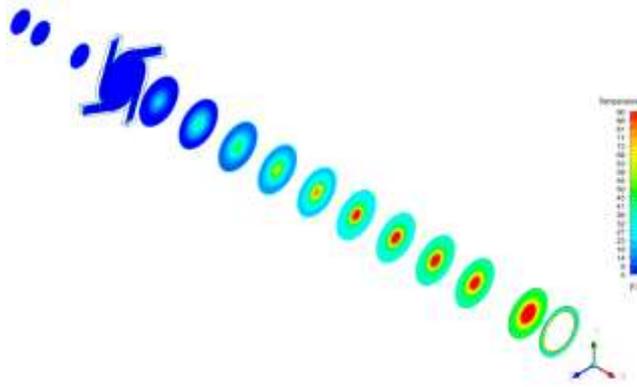


Gambar 8. Hasil meshing gradasi yang dibuat dengan memasukkan kriteria y^+ .

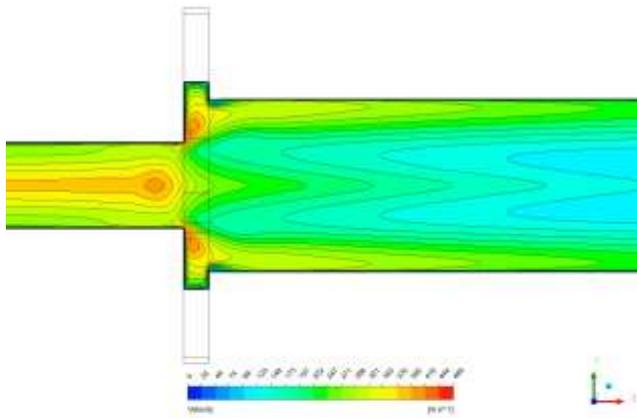
Aliran yang dekat dengan dinding RHVT akan memiliki kecepatan yang lebih besar dibanding kecepatan dekat sumbu tabung yang berakibat terjadi perpindahan panas dalam arah radial, dan distribusi kecepatan seperti tampak pada Gambar 9, 10 dan 11.



Gambar 9. Putaran aliran dari inlet di dalam RHVT.

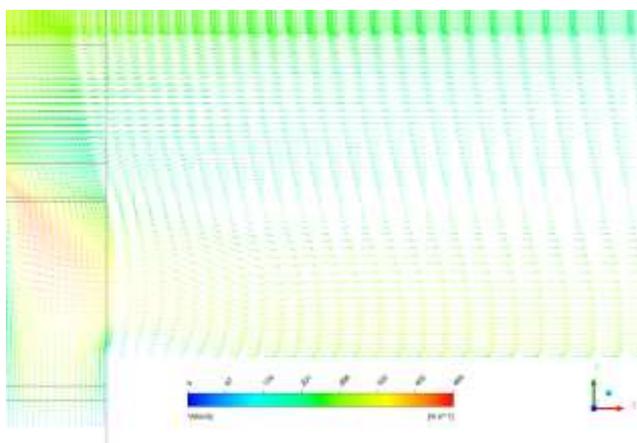


Gambar 10. Temperatur pada sepanjang RHVT. Kontur kecepatan pada daerah dekat dengan vortex chamber tampak terlihat bahwa aliran dekat dinding memiliki kecepatan lebih tinggi daerah dekat sumbu poros, seperti tampak pada Gambar 11.

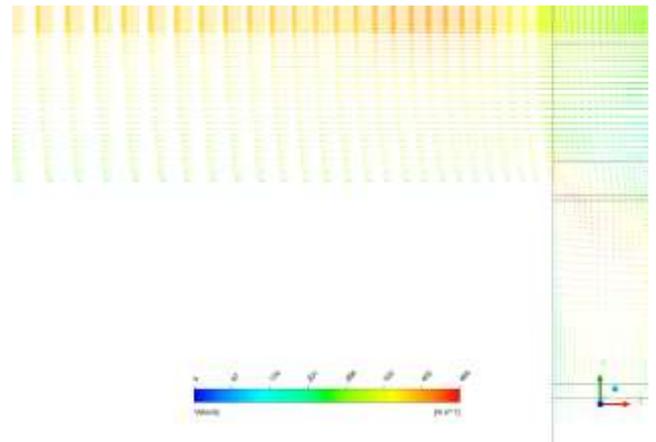


Gambar 11. Distribusi kecepatan aliran dekat vortex chamber.

Aliran keluar nozzle dan dekat vortex chamber akan mengalami pusaran karena pada kondisi aliran sudah mantap maka akan ada aliran balik menuju keluaran dingin yang bertemu aliran keluar nozzle menuju keluaran panas, seperti tampak pada Gambar 12 dan 13.

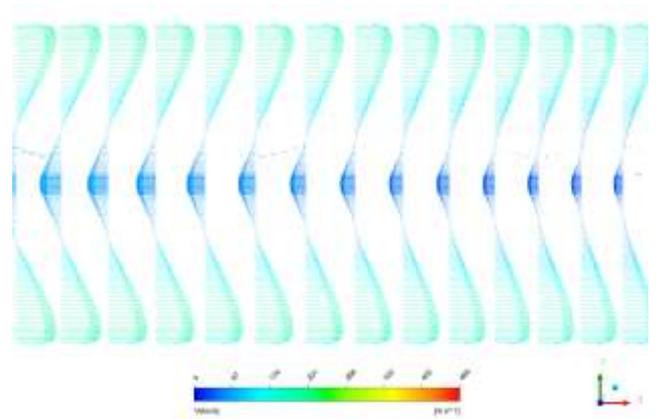


Gambar 12. Vektor kecepatan aliran dekat vortex chamber menuju keluaran panas



Gambar 13. Vektor kecepatan aliran menuju keluaran dingin

Aliran di dalam RHVT akan memiliki arah yang berlawanan pada saat aliran dari nozzle yang menuju keluaran panas mengalami kondisi stagnasi oleh control screw dan berbalik ke arah keluaran dingin. Sehingga akan tampak ada lapisan aliran udara yang memiliki kecepatan 0 m/s, seperti tampak pada Gambar 14 yaitu vektor aliran di dalam RHVT.



Gambar 14. Vektor kecepatan aliran pada daerah dekat dinding dan sumbu tabung..

Kesimpulan

Hasil simulasi numerik properties fluida ditampilkan dalam bentuk visualisasi aliran swirl colour by temperatur yang terjadi didalam RHVT.

Pada fraksi dingin 24% temperatur minimum 12.6°C dan maksimum 36.2°C, pada fraksi dingin 35% temperatur minimum 11.4°C dan maksimum 36.3°C dan pada fraksi dingin 42% temperatur minimum 11.6°C dan maksimum 37.2°C

Ucapan Terima kasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu selesainya penelitian ini yaitu:

- Jajaran Manajemen Politeknik Negeri Bandung
- Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Bandung
- Para Reviewer Penelitian Internal Politeknik Negeri Bandung
- Koordinator Layanan Akademik dan Pelatihan politeknik Negeri Bandung
- Para rekan sejawat di Program Studi Teknik Aeronautika-Politeknik Negeri Bandung
- Para Dosen Teknik Mesin UGM
- Panitia SNTTM XII Unila Lampung.

Referensi

Saeid Akhmesh, Nader Pourmahmoud and Hasan Sedgi, Numerikal Study of the Temperature Separation in the Ranque-Hilsch VortexTube, American Journal of Engineering and Applied Sciences, 2008.

N.Pourmahmoud, S.Akhesmesh, Numerical Investigation of The Thermal Separation in a Vortex Tube, World Academy of Science ,Engeneering and Technology, 2008.

Radi Suradi K, Sugianto, Simulasi Numerik Pemisahan Aliran Dingin-Panas di dalam Tabung Vorteks, Prosiding KNEP IV-UDAYANA-BALI, Vol 1, Juni 2013

Radi Suradi K, Samsul, Hermawan, Simulasi Numerik Pengaruh Jumlah Nozzle Terhadap Separasi Energi pada Ranque-Hilsch Tube Vortex, Industrial Research Workshop and National Seminar-Politeknik Negeri Bandung, 2011.

Radi Suradi K, Analisis Fenomena Separasi Energi Ranque –Hilsch Tube Menggunakan Kaji Eksperimental dan Silmulasi Numerik, Tesis UGM, 2012.

Wood, B. D., Application Of Thermodynamic, Second Edition, Wesley Publshing, 1982.

Fluent Inc, Guideline Document, Centerra Resource Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766, 2006

Alireza Hossein Nezhad and Rahim Shamsuddin, Numerikal,Three Dimensional Analysis of The Mechanism of Flow and Heat Transfer in a

Voretex Tube, Thermal Sciences Vol 13, 2009.

K.K.Zin, A.Hanskee and F.Ziegler, Modeling and Optimization of the Vortex Tube with Computational Fluid Dynamic Analysis, Energy Research Journal, 2010.