

# ANALISIS SIRKULASI UDARA PADA SISTEM PERNAFASAN MANUSIA MENGUNAKAN METODE VOLUME HINGGA

Andhi Septian Hadi Putra<sup>1</sup>, Suharto<sup>2</sup>, Arif Fatahillah<sup>3</sup>

*E-mail:* andhi.sma4jbr@gmail.com

**Abstract.** *In human respiration there are several factors that can affect the speed of air flow. This study describes the effect of initial velocity and Prandtl numbers on the velocity of airflow in the human respiratory system. In this study built airflow equations in the human respiratory system built from the mass continuity equation, changes in momentum and energy using the volume method up. Then made a discretization of the flow of air circulation in the human respiratory system. Next make the air circulation program on the human respiratory system using MATLAB and FLUENT applications. The result of this research is airflow equation with error less than 1% and air circulation simulation program on human respiratory system.*

**Keywords :** *Air Circulation, Finite Volume Method*

## PENDAHULUAN

Matematika merupakan ilmu yang mendasari pengembangan ilmu-ilmu lainnya. Hal ini dikarenakan pada sebagian disiplin ilmu tertentu, matematika sering digunakan untuk membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan. Matematika tidak hanya diterapkan oleh matematisasi, namun matematika juga kerap digunakan seorang dokter. Matematika sangat erat kaitannya pada bidang kesehatan. Adapun dalam hal ini yaitu mengenai sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.

Pernapasan adalah pertukaran gas antara makhluk hidup (organisme) dengan lingkungan. Pernapasan adalah suatu proses dimana kita menghirup oksigen dari udara serta mengeluarkan karbon dioksida dan uap air). Respirasi adalah proses pembakaran (oksigen) zat-zat makanan (glukosa) di dalam sel-sel tubuh dengan bantuan oksigen dan enzim.

Paru-paru menempati sebagian besar ruangan rongga dada. Di dalam paru-paru bronkus bercabang-cabang membentuk saluran yang semakin kecil ukurannya. Saluran yang terkecil disebut bronkiolus. Pada setiap bronkiolus terdapat segerombol kantung kecil seperti anggur, berdinding tipis yang disebut alveolus. Pertukaran gas oksigen dan karbondioksida terjadi di antara alveolus dengan kapiler darah. Oksigen diikat oleh

---

<sup>1</sup> Mahasiswa S-1 Prodi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember

<sup>2</sup> Dosen Prodi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember

<sup>3</sup> Dosen Prodi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Jember

hemoglobin dan diedarkan ke seluruh tubuh. Seiring dengan kejadian tersebut, gas karbondioksida dikembalikan oleh sel-sel tubuh melalui kapiler darah. Karbondioksida akan meninggalkan tubuhmu pada saat mengeluarkan napas.

Salah satu jenis fluida adalah gas. Dalam sistem pernafasan manusia terjadi pertukaran gas, dengan kata lain terjadi aliran fluida dalam sistem pernafasan manusia. Dengan demikian studi aliran udara dalam sistem pernafasan manusia memiliki peran yang penting untuk pemahaman, diagnosis dan pengobatan penyakit pada sistem pernafasan manusia.

## **METODE PENELITIAN**

Berdasarkan jenisnya, penelitian ini merupakan jenis penelitian studi kasus (Yin, 2003). Dengan studi kasus yaitu membandingkan variabel-variabel yang berpengaruh pada sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia berdasarkan tingkat kelembaban udara dalam pemodelan matematika menggunakan metode volume hingga.

Di dalam penelitian dibutuhkan langkah-langkah (prosedur penelitian) yang merupakan suatu tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis hingga mencapai suatu kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam prosedur penelitian ada rancangan penelitian dan teknik penelitian. Rancangan penelitian merupakan rencana yang menggambarkan atau menjelaskan apa yang hendak diteliti dan bagaimana penelitian dilaksanakan (Sudjana, 1989: 469).

Teknik penelitian merupakan tahapan yang dilakukan sampai diperoleh data-data untuk dianalisis hingga dicapai suatu kesimpulan sesuai dengan tahapan dalam menyelesaikan pemodelan matematika secara numerik.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode volume hingga. Hal ini karena metode numerik volume hingga dapat digunakan pada bentuk benda yang tidak teratur sehingga benda menjadi lebih mudah didiskritisasi untuk menentukan nilai-nilai yang akan dicari pada proses diskritisasi.

Dalam penelitian ini, penulis akan menentukan model persamaan berdasarkan hukum fisika yaitu hukum momentum, energi, dan kontinuitas massa. Kemudian persamaan matematika diselesaikan dengan metode numerik volume hingga, setelah itu melakukan penanganan model matematika dengan menggunakan MATLAB dan FLUENT, dan selanjutnya menganalisis hasil yang didapat.

Adapun uraian penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka tentang sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.
2. Mengumpulkan data tentang pernafasan manusia.
3. Membuat model matematika dari persamaan momentum, persamaan massa dan persamaan energi.
4. Menyelesaikan model matematika menggunakan metode volume hingga.
5. Membuat algoritma dari model matematika.
6. Menganalisis algoritma dan keadaan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.
7. Simulasi menggunakan FLUENT.
8. Menganalisis hasil dari penyimulasian dengan FLUENT.
9. Memberikan kesimpulan dari hasil.

Metode pengumpulan data adalah prosedur yang sistematis dan standar untuk memperoleh data yang diperlukan. Metode pengumpulan data yang tepat merupakan salah satu syarat kesempurnaan penelitian. Data penelitian dikumpulkan sesuai dengan rancangan penelitian yang telah ditentukan. Data yang dikumpulkan merupakan pernyataan fakta mengenai objek yang diteliti. Dalam penelitian ini, metode pengumpulan data penelitian yang digunakan yaitu metode observasi, metode dokumentasi dan analisis data.

Setelah mencari model sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia berdasarkan tingkat kelembaban udara, kemudian diselesaikan dengan metode volume hingga, kemudian mendiskritisasi dengan teknik QUICK. Sehingga didapatkan matriks yang menyatakan persamaan dari setiap kontrol volume kendali, persamaan ini akan diselesaikan secara numerik dengan menggunakan MATLAB sehingga didapatkan penyelesaian numerik yang konvergen. Penyelesaian ini mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya.

Apabila perhitungan MATLAB sudah mendekati nilai sebenarnya maka hasil yang didapat sudah baik. Akan tetapi, apabila hasil dari perhitungan MATLAB dengan sebenarnya terdapat perbedaan yang jauh, maka akan dicari kesalahan saat memodelkan dan validasi ulang dari proses penurunan rumus dan juga penyelesaian dengan MATLAB hingga didapat hasil yang baik.

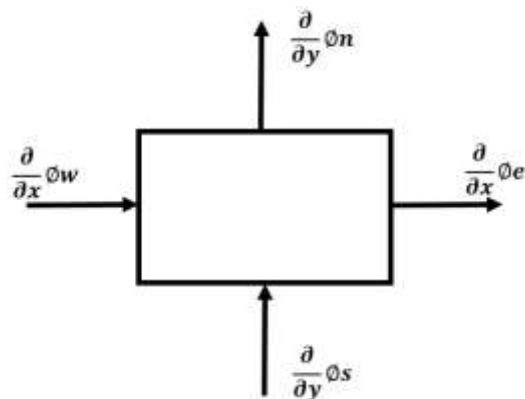
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Persamaan Matematika Sirkulasi Udara Pada Sistem Pernafasan Manusia

- Persamaan massa sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia

$$\frac{\partial \phi_o}{\partial t} + \frac{\partial \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \phi_s}{\partial y} = 0$$

Fluks massa terjadi di empat sisi seperti pada gambar berikut.

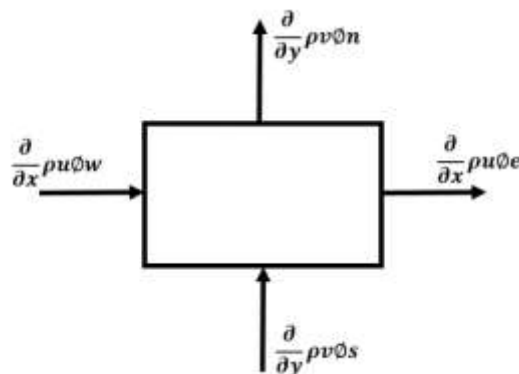


Gambar 1. Bagan volume kendali persamaan massa

- Persamaan momentum sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia

$$\frac{\partial \rho \phi_o}{\partial t} + \frac{\partial \rho u \phi_e}{\partial x} - \frac{\partial \rho u \phi_w}{\partial x} + \frac{\partial \rho v \phi_n}{\partial y} - \frac{\partial \rho v \phi_s}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} + f_x + f_y + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right)$$

Fluks momentum terjadi di empat sisi seperti pada gambar berikut.



Gambar 2. Bagan volume kendali persamaan momentum

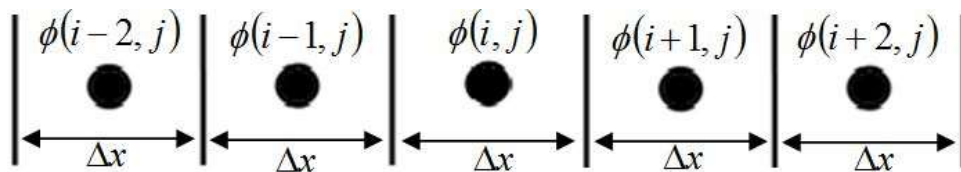
### 2. Penyelesaian Model Matematika

Penyelesaian model matematika ini dilakukan dengan mengintegrasikan semua persamaan di atas terhadap tiga variabel yaitu  $x$ ,  $y$  dan  $t$ . Setelah mendapat hasil integral tersebut persamaan-persamaan tersebut disubstitusikan satu dengan yang lain sehingga diperoleh persamaan akhir sebagai berikut.

$$(\phi_w(\rho - \rho u) - \phi_e(\rho - \rho u))\Delta y + (\phi_s(\rho - \rho v) - \phi_n(\rho - \rho v))\Delta x = -P\Delta x - P\Delta y + (f_x + f_y)\Delta x\Delta y + \mu\left(\frac{u\Delta y}{\Delta x} + \frac{u\Delta x}{\Delta y}\right) + \mu\left(\frac{v\Delta y}{\Delta x} + \frac{v\Delta x}{\Delta y}\right)$$

### 3. Diskritisasi

Untuk menentukan nilai  $\phi$  pada persamaan di atas maka harus dilakukan diskritisasi dengan teknik diskritisasi QUICK. Model diskritisasi QUICK dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Diskritisasi QUICK

Dengan teknik diskritisasi QUICK diperoleh hasil sebagai berikut.

$$\phi_s(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i-2, j) + \frac{3}{4}\phi(i-1, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j)$$

$$\phi_n(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i-1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j)$$

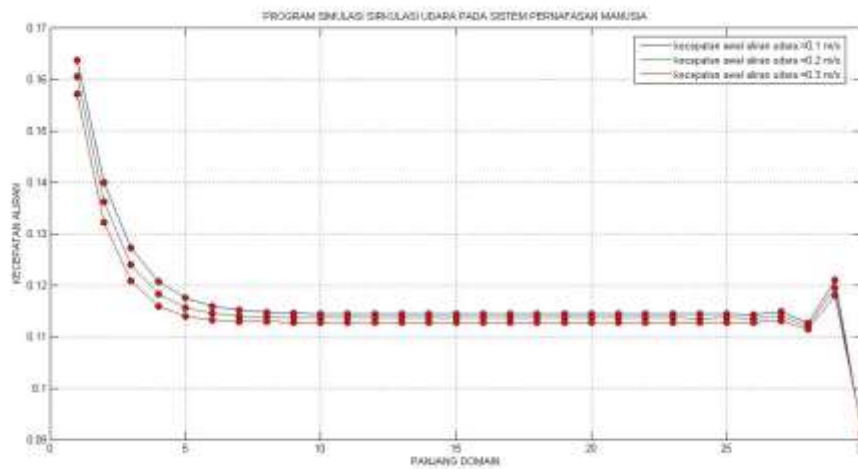
$$\phi_w(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i, j-2) + \frac{3}{4}\phi(i, j-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j)$$

$$\phi_e(i, j) = -\frac{1}{8}\phi(i, j-1) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j+1)$$

- Simulasi MATLAB

Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat bahwa kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan manusia mengalami penurunan dan pada akhirnya mendekati nilai yang hampir sama yaitu berkisar di nilai 0,1 m/s. Hal ini membuktikan bahwa walaupun udara yang masuk pada saluran pernafasan manusia berbeda-beda namun ketika sudah masuk dalam rongga saluran pernafasan akan mengalami penurunan dan mendekati nilai tertentu. Nilai tersenut juga menandakan bahwa tubuh manusia memiliki batas karena jika kecepatan yang mengalir terlalu besar terdapat kemungkinan tubuh manusia tersebut akan mengalami kerusakan.

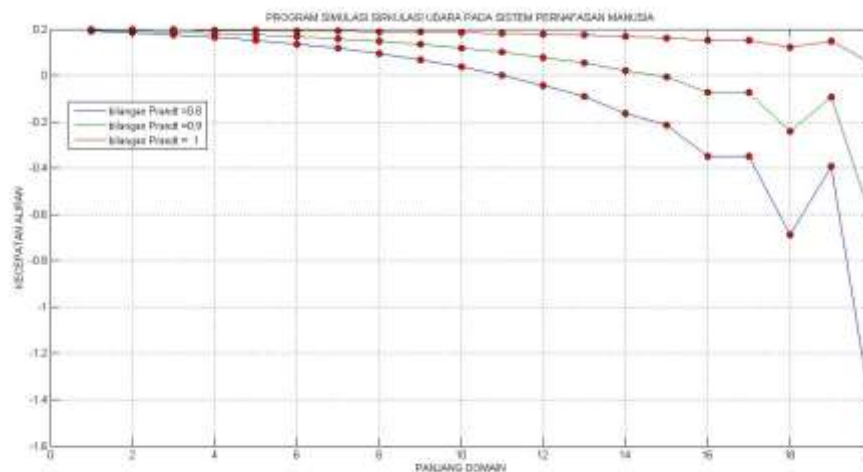
Hasil penelitian yang pertama adalah berdasarkan kecepatan awal yang masuk pada saluran pernafasan manusia yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 4. Kecepatan aliran udara berdasarkan kecepatan awal

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa pada titik awal kecepatan yang tinggi namun ketika sudah masuk ke sistem maka terjadi penurunan kecepatan dan terjadi kecepatan aliran yang cenderung tetap. Kecepatan yang tetap tersebut menandakan bahwa udara terdapat pada bagian yang sama yaitu pada bagian trakea. Pada bagian akhir terjadi penurunan lagi yang menandakan bahwa pada titik tersebut udara telah sampai pada bagian selanjutnya dari sistem yaitu bagian bronkus.

Adapun penelitian kedua adalah tentang pengaruh bilangan Prandtl terhadap kecepatan aliran udara pada sistem pernafasan manusia. Adapun hasilnya dapat dilihat pada grafik berikut.

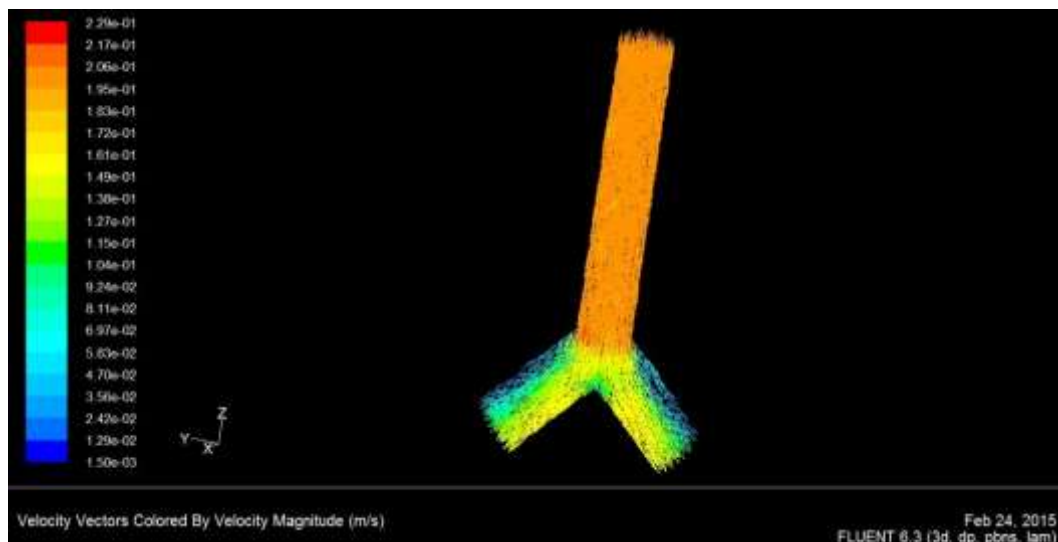


Gambar 5. Kecepatan aliran udara berdasarkan bilangan Prandtl

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa udara memang cenderung mengalami penurunan kecepatan setelah masuk di sistem. Hal ini menguatkan bahwa memang saat udara memasuki sistem terdapat batas kecepatan yang dapat diterima oleh tubuh. Pada grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa pada titik akhir terdapat perbedaan yang signifikan yaitu pada bilangan Prandtl 0,8 dan 0,9 terjadi kecepatan aliran negatif yang hal tersebut tidak mungkin terjadi karena kecepatan selalu positif. Sedangkan pada bilangan Prandtl 1 kecepatan selalu pada nilai positif. Hal ini membuktikan bahwa bilangan Prandtl yang dapat digunakan pada simulasi ini adalah 1.

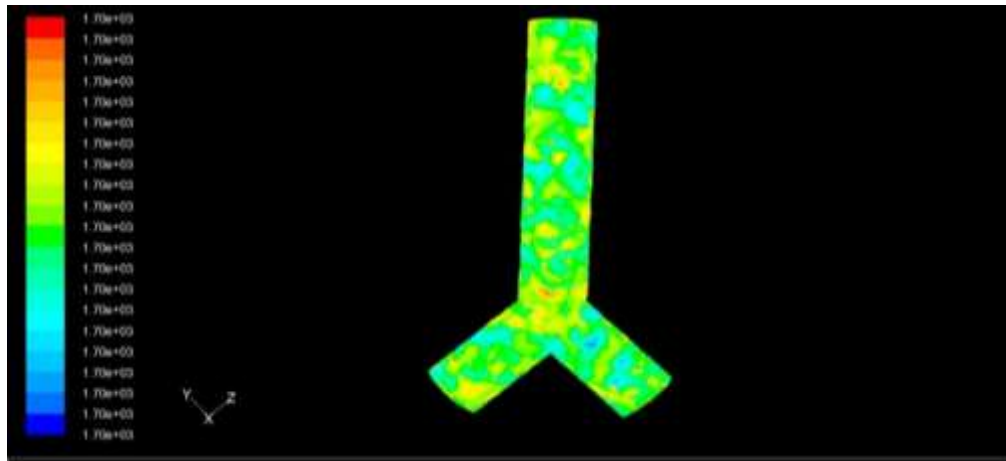
- Simulasi FLUENT

Simulasi selanjutnya adalah dengan aplikasi FLUENT. Dari simulasi tersebut didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 6. Visualisasi Kecepatan Aliran Udara

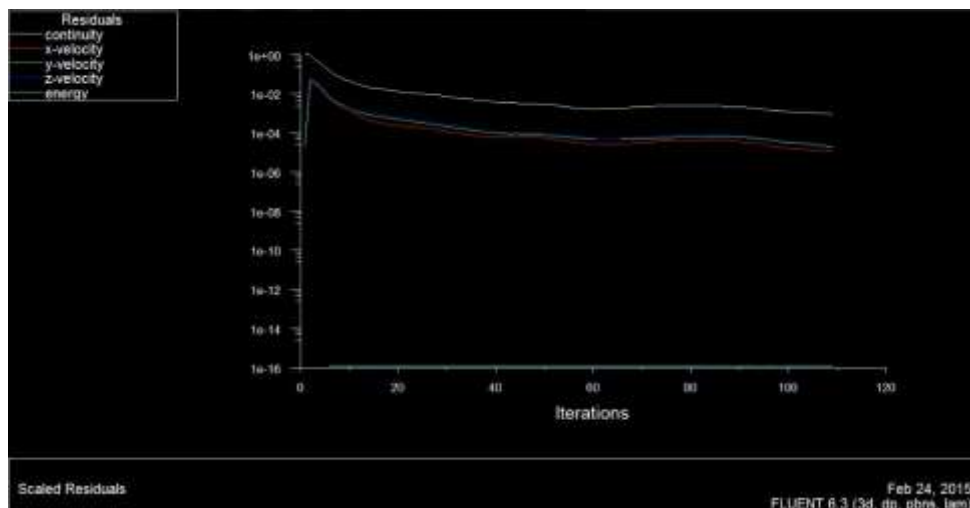
Simulasi pada FLUENT menggunakan bagian dari sistem pernafasan manusia yaitu bagian trakea dan bronkus. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa pada bagian trakea kecepatan aliran udara lebih tinggi dibandingkan dengan pada bagian bronkus. Hasil ini menegaskan hasil simulasi dengan MATLAB yang kecepatan cenderung turun pada titik akhir yaitu pada bagian bronkus. Dari gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa pada sepanjang saluran trakea kecepatan aliran udara adalah sama.



Gambar 7. Visualisasi Energi dalam Sistem Pernafasan Manusia

Simulasi dengan aplikasi FLUENT yang kedua adalah tentang penyebaran energi. Pada gambar tersebut didapat bahwa energi tidak dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara karena pada bagian trakea dan bronkus tidak terdapat perbedaan. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan aliran udara tidak berpengaruh pada energi sistem.

Setelah analisis dengan MATLAB maupun FLUENT dilanjutkan dengan analisis efektifitas metode volume hingga pada masalah sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia. Adapun hasilnya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 8. Kecepatan Aliran Udara Pada Sistem Pernafasan Manusia

Pada tahap ini akan ditarik kesimpulan dari grafik yang didapat dari fluent. Grafik iterasi yang dihasilkan dari FLUENT ini didapat dan dijalankan dari gambar geometri fluida gas dan didefinisikan sedemikian hingga agar mirip dengan model aslinya. Grafik iterasi pada FLUENT akan otomatis berhenti jika proses iterasi yang dilakukan telah



mencapai perhitungan yang konvergen, seperti pada gambar tersebut. Dari grafik didapatkan hasil bahwa solusi model matematika sirkulasi udara pada system pernafasan manusia memiliki solusi yang konvergen.

Pada mulanya iterasi diatur sampai titik ke-100, tetapi sampai titik ke-100 iterasi berhenti tetapi belum konvergen. Sehingga iterasi dilanjutkan dengan menambah titik sampai 200. Pada iterasi ke-108 iterasi berhenti, sehingga simulasi FLUENT pada system pernafasan manusia konvergen pada titik ke-108.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan analisis dan pembahasan tentang sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Model matematika sirkulasi udara pada siste pernafasn manusia adalah persamaan yang diselesaikan dengan metode volume hingga, dimana persamaan tersebut merupakan persamaan yang dinyatakan dalam persamaan momentum, persamaan massa dan persamaan energi yang bekerja pada sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia.
2. Pada proses pernafasan manusia kecepatan aliran udara cenderung mengalami penurunan pada bagian yang semakin dalam dari bagian-bagian sistem pernafasan manusia.
3. Persamaan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia adalah model yang akurat dalam menyelesaikan kasus sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia karena persamaan ini error relatifnya kurang dari 1%.

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisa model matematika sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia disarankan pada peniliti selanjutnya untuk :

1. Pemodelan sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia menggunakan metode volume hingga ini dikembangkan dengan melakukan penelitian dengan menggunakan faktor lain yang berpengaruh pada proses pernafasan manusia.
2. Pada simulasi sirkulasi udara pada sistem pernafasan manusia ini menggunakan MATLAB dan FLUENT sebaiknya menggunakan data-data yang terbaru dan sesuai dengan keadaan sebenarnya agar didapatkan hasil penyebaran aliran fluida yang mendekati keadaan nyata.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Away, G.A. 2010. The Shortcut of MATLAB Programming. Bandung: Informatika.
- [2] Sahid. 2005. Pengantar Komputasi Numerik dengan MATLAB. Yogyakarta: ANDI.
- [3] Tim Penyusun. 2011. Pedoman Penulisan Karya Ilmiah Edisi Ketiga. Jember: Jember Univesuty Press.
- [4] Tuakia, F. 2008. Dasar-dasar CFD Menggunakan FLUENT. Bandung: Informatika.
- [5] Veersteeg, H.K. 1995. Computational Fluid Dinamic: The Finite Volume Method. New York: Longman Scientific and Technical.
- [6] White, F.M. 1986. Mekanika Fluida. Jakarta: Erlangga.
- [7] Alexopoulos, Aleck. 2010. Particle Transfer and Deposition Using an Integrated CFD Model of the Respiratory System. Greece: European Symposium on Computer Aide Process Engineering.
- [8] Zhang, Jun. 2013. Characteristic Size research of human nasal cavity and the respiratory airflow CFD analysis. China: Journal of Biosciences and Medicines.