

Analisis Numerik Aliran Udara pada Rongga Hidung akibat Penyakit Sinusitis menggunakan Metode Volume Hingga

Mochammad Ulin Nuha ^{1*}, Arif Fatahillah ², Susi Setiawani ³

^{1,2,3}Universitas Jember; Jln Kalimantan No. 37 Kampus Bumi Tegalboto Jember

^{1,2,3}Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

e-mail: ulincoh22@gmail.com

Diajukan: 19 Juli 2022, Diperbaiki: 8 September 2022, Diterima: 12 September 2022

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis. Penyakit sinusitis adalah peradangan yang terjadi pada dinding sinus disebabkan oleh gaya hidup yang tidak sehat. Dampak sinusitis secara umum adalah gangguan sistem pernafasan akibat adanya penumpukan cairan pada rongga hidung. Akibat dari penumpukan cairan tersebut menyebabkan pembengkakan pada lapisan konka hidung yang terhubung langsung dengan organ sinus. Munculnya pemodelan matematika sebagai ilmu baru merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah ini. Pemodelan matematika bertujuan untuk memperoleh formula yang menggambarkan keadaan aliran udara di rongga hidung sesuai dengan kondisi sebenarnya. Pemodelan matematika yang digunakan adalah menggunakan metode volume hingga. Metode volume hingga digunakan untuk menganalisis benda yang tidak terstruktur seperti aliran udara. Pada penelitian ini menggunakan bantuan *software* Matlab dan Fluent. Matlab digunakan untuk menampilkan menghitung numerik dan grafik hasil yang terjadi, sedangkan Fluent digunakan untuk memvisualisasikan keadaan yang terjadi. Hasil dari penelitian ini adalah untuk mengetahui aliran udara yang terjadi pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis, semakin besar ketebalan penumpukan lendir pada dinding sinus maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan semakin cepat. Hasil perhitungan menggunakan metode volume hingga didapatkan tingkat kesalahan kurang dari 0,001.

Kata Kunci: rongga hidung, sinusitis, volume hingga

Abstract

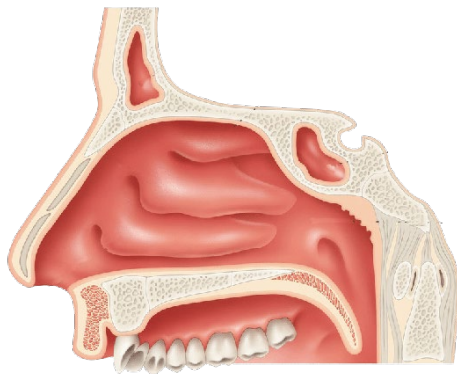
This study aims to analyze the air flow in the nasal cavity due to sinusitis. Sinusitis is an inflammation of the sinus walls caused by an unhealthy lifestyle. The impact of sinusitis in general is a respiratory system disorder due to a buildup of fluid in the nasal cavity. As a result of the accumulation of fluid, it causes swelling of the lining of the nasal conchae which are directly connected to the sinus organs. The emergence of mathematical modeling as a new science is one alternative to solving this problem. Mathematical modeling aims to obtain a formula that describes the state of air flow in the nasal cavity according to actual conditions. The mathematical modeling used is the finite volume method. The finite volume method is used to analyze unstructured objects such as air flow. In this study using the help of software Matlab and Fluent. Matlab is used to display numerical calculations and graphs of the results that occur, while Fluent is used to visualize the situation that occurs. The results of this study were to determine the flow of air that occurs in the nasal cavity due to sinusitis, The greater the thickness of the buildup of mucus on the sinus walls, the faster the air flow rate produced. The results of the calculation using the finite volume method until the error rate is less than 0.001.

Keywords: finite volume, nasal cavity, sinusitis

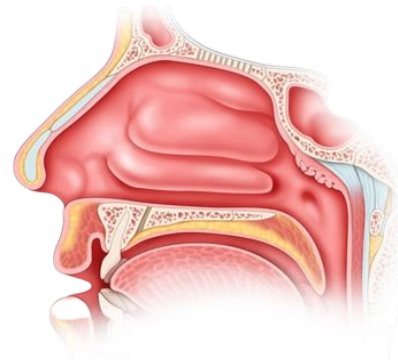
1 Pendahuluan

Komputasi dinamika fluida merupakan ilmu matematika yang sering digunakan dalam ilmu kedokteran maupun disiplin ilmu lainnya. Salah satu hal yang dipelajari dalam ilmu kedokteran yaitu saluran pernapasan atau *tractus respiratorius* (*respiratory tract*). *Respiratory tract* adalah bagian tubuh manusia yang berfungsi sebagai tempat lintasan dan tempat pertukaran gas dalam proses pernapasan [1]. Bagian saluran pernapasan ini dibagi menjadi dua yaitu, saluran pernapasan bagian atas dan saluran pernapasan bagian bawah. Saluran pernapasan bagian atas terbagi menjadi rongga hidung, sinus paranasal, dan faring.

Rongga hidung adalah dua saluran yang satu sama lain dipisahkan oleh septum. Dinding rongga hidung dilapisi oleh mukosa respirasi serta sel epitel batang, bersilia, dan berlapis semu. Mukosa tersebut menyaring, menghangatkan, dan melembabkan udara yang masuk melalui hidung [2]. Anatomi rongga hidung dapat dilihat pada Gambar 1. Apabila rongga hidung pada manusia terjadi sebuah peradangan maka akan menimbulkan penyakit. Salah satu penyakit tersebut adalah rhinosinusitis atau yang lebih biasa dikenal dengan penyakit sinusitis.



Gambar 1. Rongga Hidung



Gambar 2. Penyakit Sinusitis Kronis

Sinusitis adalah inflamasi atau peradangan yang disebabkan oleh gaya hidup yang kurang sehat [3]. Dampak dari penyakit sinusitis adalah gangguan sistem pernapasan karena penumpukan cairan pada organ sinus. Penyakit sinusitis ini umumnya terjadi dalam saluran pernapasan manusia tepatnya pada rongga hidung. Sinusitis dapat diklasifikasikan menjadi 3 bagian yaitu, sinusitis akut, sinusitis sub akut, dan sinusitis kronis [4]. Pada penelitian ini penyakit sinusitis yang diamati adalah penyakit sinusitis kronis. Penyakit sinusitis kronis dapat dilihat seperti Gambar 2.

Insiden kasus sinusitis di Amerika Serikat menunjukkan 1 dari 7 orang dewasa terkena sinusitis dengan lebih dari 30 juta penderita di diagnosa setiap tahunnya. Di sana, sinusitis sering terjadi pada awal musim gugur hingga awal musim semi. Pada tahun 2009 *Global Research in Allergy* menyebutkan insiden sinusitis di Amerika pada tahun 1997 yaitu sekitar 14,7% atau 31 juta kasus per tahun [5]. Menurut data kunjungan pasien baru divisi rinologi departemen THT RS

Cipto Mangunkusumo pada bulan Januari-Agustus 2005 dari sejumlah 435 kunjungan terdapat 60% (300 pasien) adalah terkena penyakit rinosinusitis. Menurut laporan pada Unit Rawat Jalan (URJ) THT-KL RSUD dr. Soetomo Surabaya, Rhinosinusitis merupakan penyakit yang termasuk dalam 10 besar penyakit di URJ THT- KL selama 3 tahun. Pada tahun 2007 rhinosinusitis merupakan terbanyak ke 9 (316 dari 28400 kunjungan), pada tahun 2008 menjadi penyakit terbanyak ke 6 (590 dari 26440 kunjungan) dan tahun 2009 menjadi penyakit terbanyak ke 7 (736 dari 29677 kunjungan).

Berdasarkan fakta-fakta di atas, dilakukan penelitian dengan mengembangkan model matematika aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis. Penelitian sejenis yang telah dilakukan oleh Covello V berjudul "*Numerical Simulation of Thermal Water Delivery in The Human Nasal Cavity*" yang mensimulasikan tentang perilaku pengiriman uap air panas di rongga hidung manusia [6]. Hasil yang didapat pada penelitian menunjukkan bahwa tetesan yang lebih besar mengendap di bagian anterior fossa hidung dan yang lebih kecil menyebar di atas seluruh mukosa. Penelitian sejenis juga dilakukan oleh M Reza *et al* berjudul "*Remodeling Mukosa pada Rhinosinusitis Kronis*" hasil yang didapat adalah ketidakseimbangan antara penumpukan dengan degradasi kolagen sehingga menghasilkan penebalan membran basalis yang menyebabkan hidung tersumbat serta hilangnya daya penciuman [7].

Hasil dari model matematika yang sudah didapat dikembangkan membentuk persamaan diferensial. Persamaan diferensial dapat diselesaikan dengan tiga pilihan metode yaitu, metode beda hingga, metode volume hingga, dan metode elemen hingga. Metode volume hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk membangun suatu persamaan model matematika dengan suatu titik diskrit yang kontinu dan jarak antara titik tersebut teratur membentuk suatu *grid* atau *mesh*. Dalam penelitian ini yang akan diteliti adalah aliran fluida yang tidak teratur yaitu gas O^2 dan diselesaikan menggunakan bantuan *software* Matlab dan Fluent[8]. Model matematika dihasilkan dari persamaan massa dan persamaan momentum.

$$\nabla \cdot u = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla)u - \nu \nabla^2 u + \frac{\nabla P}{\rho} - F_D = 0 \quad (2)$$

dengan

$$P = \frac{8Q\mu l}{\pi r^4}$$

$$F_D = \frac{3}{4} \frac{\rho}{\rho_p} \frac{m_p}{d_p} C_d (u - u_p) |u - u_p|$$

$$C_d = \frac{24}{Re_p}$$

ρ adalah massa jenis udara, μ adalah kekentalan udara, u_p adalah kecepatan partikel, m_p adalah massa partikel, ρ_p adalah massa jenis partikel, d_p adalah diameter partikel, l adalah panjang saluran, Q adalah laju aliran pernapasan, u adalah kecepatan aliran udara, v adalah kecepatan awal aliran udara, F_D adalah gaya seret yang diberikan tetesan dalam fase kontinu, C_d adalah rezim aliran, dan Re_p adalah angka Reynold [9].

Berdasarkan penjelasan diatas, penelitian bertujuan untuk membentuk dan mengembangkan model matematika aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis. Model matematika akan diselesaikan dengan metode volume hingga dan menggunakan diskritisasi QUICK. Model matematika disimulasikan dengan parameter ketebalan penumpukan lendir dan kecepatan laju aliran pernapasan dengan bantuan *software* Matlab dan Fluent.

2 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah tahapan untuk mendapatkan data yang akan dianalisis untuk sampai pada kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian. Penelitian ini merupakan jenis penelitian simulasi yang merupakan replikasi dari perilaku sistem [10]. Simulasi adalah model yang berisi sekumpulan variabel yang menampilkan karakteristik utama dari sistem kehidupan nyata. Dalam penelitian ini akan dilakukan pemodelan matematika aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis menggunakan metode volume hingga. Metode volume hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk membangun suatu persamaan model matematika dengan suatu titik diskrit yang kontinu [11]. Pada penelitian ini, aliran fluida yang akan diteliti adalah gas O_2 yang tergolong tidak terstruktur dengan menggunakan metode volume hingga [12], [13]. Kemudian membuat algoritma pada Matlab serta membuat desain geometrik aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis menggunakan Gambit.

Algoritma merupakan urutan atau susunan langkah-langkah yang logis dan sistematis dalam memecahkan suatu masalah [14]. Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi program algoritma pada Matlab dan simulasi desain geometrik pada Fluent. Fluent adalah salah satu jenis program CFD (*computational Fluid Dynamics*) yang ditulis dalam bahasa C, sehingga memiliki struktur data yang efisien dan lebih fleksibel [15]. Fluent menyediakan fleksibilitas mesh yang lengkap, sehingga dapat menyelesaikan kasus aliran fluida dengan mesh (*grid*) yang tidak terstruktur sekalipun dengan cara yang relatif mudah. Jenis mesh yang didukung oleh Fluent adalah tipe 2D *triangular-quadrilateral*, 3D *tetrahedral-hexahedral-pyramid wedge*, dan mesh

campuran (*hybrid*). Langkah terakhir dalam penelitian ini adalah menganalisis dan menarik kesimpulan dari hasil simulasi.

3 Hasil dan Pembahasan

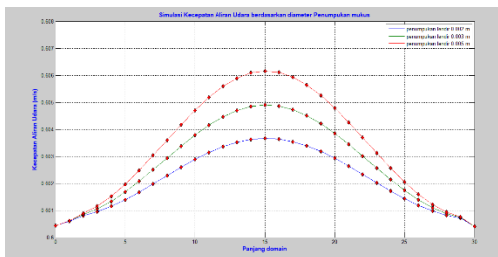
Analisis numerik aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis dilakukan dengan menganalisis hasil simulasi pada model matematika pada program Matlab dan simulasi desain geometri pada program Fluent. Berdasarkan hasil studi jurnal diperoleh data variabel yang mempengaruhi aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis. Berikut ini adalah data variabel yang diperoleh dari hasil studi jurnal [7], [16], [6].

Tabel 1. Variabel dan Nilai Parameter

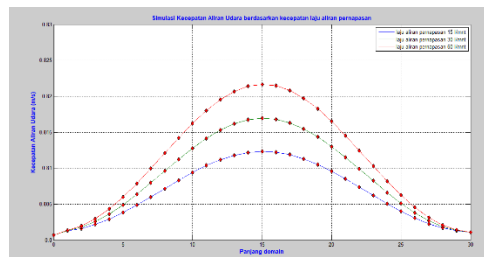
Simbol	Parameter	Nilai	Sumber
π	Phi	3,14	[7]
u_p	Kecepatan partikel	0,01 m/s	
ρ	Massa jenis udara	1,225 Kg/m^3	[16]
μ	Kekentalan udara	1,789 Ns/m^2	
m_p	Massa partikel	0,0015 Kg/m^3	[6]
ρ_p	Massa jenis partikel	1000 Kg/m^3	
d_p	Diameter partikel	0,000005 m	

Dengan menggunakan metode iterasi Gauss-Seidel, hasil simulasi disajikan dalam grafik tabel. Kasus pertama adalah pengaruh ketebalan penumpukan lendir pada aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis. Ketebalan penumpukan lendir yang digunakan adalah 0,002m, 0,003m, dan 0,005m dengan kecepatan awal 0,6 m/s dan batas toleransi yang digunakan adalah 0,001.

Setelah dilakukan perhitungan didapat kecepatan udara pada setiap node pada Gambar 3. Grafik berwarna biru menunjukkan ketebalan penumpukan lendir dengan ketebalan 0,002m. Grafik berwarna hijau menunjukkan ketebalan penumpukan lendir dengan ketebalan 0,003m. Sedangkan grafik berwarna merah menunjukkan ketebalan penumpukan lendir dengan ketebalan 0,005m.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Ketebalan Penumpukan Lendir



Gambar 4. Grafik Pengaruh Kecepatan Laju Aliran Pernapasan

Tabel 2. Pengaruh Ketebalan Penumpukan Lendir

Nilai	Ketebalan Penumpukan Lendir		
	0,002m	0,003m	0,005m
Nilai Numerik	0,6037 m/s	0,6049 m/s	0,6062 m/s
Nilai Eksak	0,6035 m/s	0,6051 m/s	0,6059 m/s

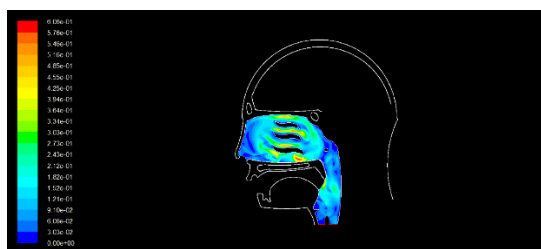
Tabel 2 menunjukkan perolehan kecepatan aliran udara pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa grafik selalu mengalami kenaikan pada saat akan memasuki daerah penyempitan, setelah itu mengalami penurunan kembali saat keluar dari daerah penyempitan. Titik awal grafik adalah masuknya udara dalam rongga hidung sampai dengan menuju daerah penyempitan akibat sinusitis, titik pertengahannya adalah tempat terjadinya penyempitan akibat penyakit sinusitis, dan titik terakhir adalah pada saat keluar dari daerah penyempitan. Grafik berwarna merah ketika ketebalan lendir 0,005m mengalami kenaikan hingga mencapai 0,6062 m/s. Grafik berwarna hijau ketika ketebalan lendir 0,003m mengalami kenaikan hingga mencapai 0,6049 m/s. Sedangkan grafik berwarna biru ketika ketebalan lendir 0,002m mengalami kenaikan hingga mencapai 0,6037 m/s. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tebal penumpukan lendir maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan menjadi semakin lebih cepat. Hal ini bersesuaian dengan penelitian yang dilakukan oleh M Reza *et al* bahwa ketidakseimbangan antara penumpukan dengan degradasi kolagen sehingga menghasilkan penebalan membran basalis yang menyebabkan hidung tersumbat serta hilangnya daya penciuman.

Dalam kasus kedua adalah pengaruh kecepatan laju aliran pernapasan pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis. Kecepatan laju aliran pernapasan yang digunakan adalah 15 L/min, 30 L/min, dan 60 L/min dengan kecepatan awal 0,6 m/s dan batas toleransi yang digunakan adalah 0,001. Pada Gambar 4 grafik berwarna biru menunjukkan kecepatan laju aliran pernapasan sebesar 15 L/min. Grafik berwarna hijau menunjukkan kecepatan laju aliran pernapasan sebesar 30 L/min. Sedangkan grafik berwarna merah menunjukkan kecepatan laju aliran pernapasan sebesar 60 L/min.

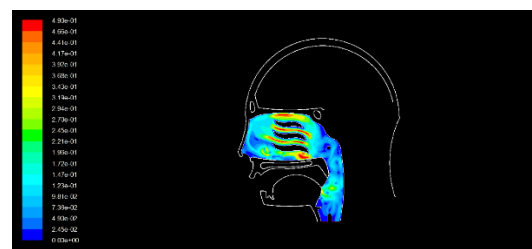
Tabel 3. Pengaruh Kecepatan Laju Aliran Pernapasan

Nilai	Kecepatan Laju Aliran Pernapasan		
	15 L/min	30 L/min	60 L/min
Nilai Numerik	0,8121 m/s	0,8167 m/s	0,8214 m/s
Nilai Eksak	0,8119 m/s	0,8165 m/s	0,8217 m/s

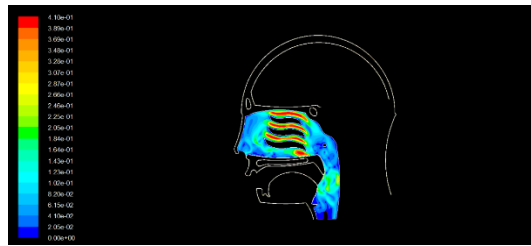
Tabel 3 menunjukkan perolehan kecepatan aliran udara pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara mengalami kenaikan hingga memasuki daerah penyempitan setelah itu kembali mengalami penurunan. Grafik berwarna biru ketika laju aliran 15 L/min mengalami kenaikan tertinggi hingga mencapai 0,8121 m/s. Grafik berwarna hijau ketika laju aliran 30 L/min mengalami kenaikan tertinggi hingga mencapai 0,8167 m/s. Sedangkan grafik berwarna merah ketika laju aliran 60 L/min mengalami kenaikan tertinggi hingga mencapai 0,8214 m/s. Maka dari Gambar 4 dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan laju aliran pernapasan semakin besar kecepatan aliran udara yang dihasilkan. Selanjutnya dilakukan simulasi pengaruh ketebalan penumpukan lendir kecepatan udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis dengan aplikasi Fluent. Gambar 5 hasil simulasi dengan ketebalan penumpukan lendir 0,002m, Gambar 6 hasil simulasi dengan ketebalan penumpukan lendir 0,003m, dan Gambar 7 hasil simulasi dengan ketebalan penumpukan lendir 0,005m. Perbedaan kontur dapat dilihat dari ketiga gambar tersebut, pada Gambar 5 kecepatan udara yang dihasilkan lebih rendah dari Gambar 6 dan Gambar 7. Semakin tebal penumpukan lendir maka semakin tinggi kecepatan udara yang dihasilkan. Hal ini berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Covello V *et al* bahwa tetesan yang lebih besar mengendap di bagian anterior fossa hidung dan yang lebih kecil menyebar di atas seluruh mukosa. Dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 bahwa bagian atas lebih banyak warna merah sehingga udara yang dihasilkan lebih cepat pada bagian atas daripada bagian anterior fossa.



Gambar 5. Simulasi Ketebalan Penumpukan Lendir 0,002m

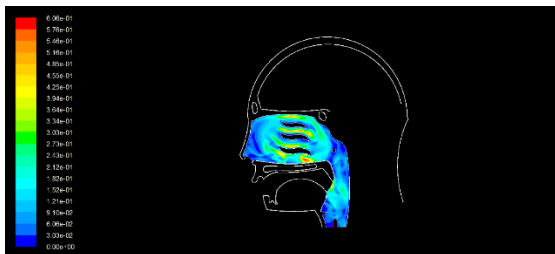


Gambar 6. Simulasi Ketebalan Penumpukan Lendir 0,003m

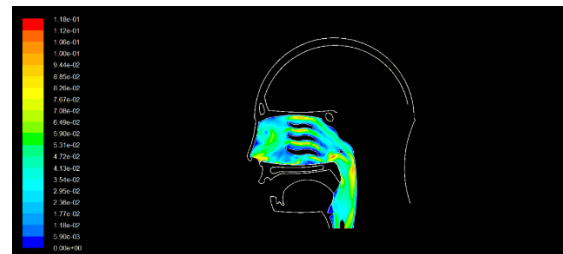


Gambar 7. Simulasi Ketebalan Penumpukan Lendir 0,005m

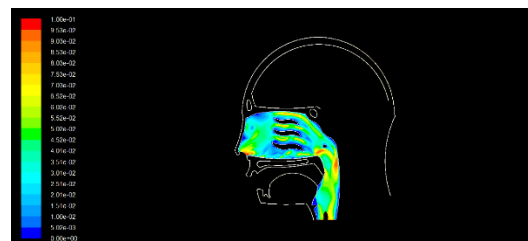
Selanjutnya dilakukan simulasi pengaruh kecepatan laju aliran pernapasan kecepatan aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis dengan Fluent. Gambar 8 merupakan hasil simulasi dengan kecepatan laju aliran pernapasan sebesar 15 *L/min*, Gambar 9 merupakan hasil simulasi dengan kecepatan laju aliran pernapasan sebesar 30 *L/min*, dan Gambar 10 merupakan hasil simulasi dengan kecepatan laju aliran pernapasan sebesar 60 *L/min*. Dari ketiga gambar tersebut terlihat bahwa kontur warna dominan pada gambar berbeda. Pada Gambar 10 kontur yang menjadi warna dominan adalah berwarna hijau kekuningan artinya kecepatan aliran udara yang dihasilkan lebih cepat dari Gambar 8 dan Gambar 9. Hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi Matlab dan Fluent pada penelitian ini, semakin tebal penumpukan lendir dan semakin cepat laju pernapasan maka semakin cepat aliran udara yang dihasilkan.



Gambar 8. Simulasi Kecepatan Laju Aliran Pernapasan 15 *L/min*



Gambar 9. Simulasi Kecepatan Laju Aliran Pernapasan 30 *L/min*



Gambar 10. Simulasi kecepatan Laju Aliran Pernapasan 60 *L/min*

Keefektifan metode volume hingga dalam simulasi aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis dianalisis berdasarkan tingkat kesalahan perhitungan yang diperoleh. Kesalahan adalah perbedaan antara nilai numerik dan nilai eksak. Perhitungan eksak diperoleh dengan membentuk aliran udara setiap node yang merupakan variabel dependent yang akan dicari ke

dalam bentuk matriks. Model matematika yang diperoleh merupakan bentuk persamaan linier dengan variabel U . Sehingga nilai U dapat ditentukan dengan persamaan matriks $AX=B$. dengan A matriks yang terdiri dari koefisien variabel U , matriks X adalah matriks yang terdiri dari variabel U , sedangkan matriks B adalah matriks yang terdiri dari konstanta.

Matriks yang diperoleh dalam persamaan $AX=B$ dihitung menggunakan program Matlab, nilai matriks X dapat dicari dengan cara $X = A^{-1}B$. Berdasarkan hasil perhitungan Matlab menggunakan metode iterasi Gauss Seidel di dapat selisih nilai numerik tiap node dengan nilai eksak setiap node kurang dari 0,001.

4 Simpulan

Berdasarkan pembahasan di atas model matematis aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis adalah persamaan yang menyatakan persamaan massa dan persamaan momentum. Hasil simulasi Matlab menunjukkan bahwa semakin tebal penumpukan lendir maka semakin cepat aliran udara yang dihasilkan. Dapat dilihat pada Gambar 3 hasil simulasi dengan ketebalan penumpukan lendir 0,002m, 0,003m, dan 0,005m menghasilkan kecepatan aliran udara tertinggi masing-masing 0,6037 m/s, 0,6049 m/s, dan 0,6062 m/s. Hasil simulasi Matlab dan Fluent menunjukkan bahwa semakin cepat laju aliran pernapasan maka aliran udara yang dihasilkan juga semakin cepat. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4 hasil simulasi dengan laju aliran pernapasan 15 L/min, 30 L/min, dan 60 L/min menghasilkan kecepatan aliran udara tertinggi 0,8121 m/s, 0,8167 m/s, dan 0,8214 m/s. Hasil simulasi Matlab dan Fluent menunjukkan penyempitan yang terjadi pada rongga hidung menyebabkan aliran udara yang dihasilkan semakin cepat. Metode volume hingga merupakan metode efektif untuk menganalisis aliran udara pada rongga hidung akibat penyakit sinusitis karena kesalahan perhitungan yang didapat lebih kecil dari 0,001.

5 Daftar Pustaka

- [1] N. I. Pradasari and R. L. Atimi, "Pemodelan Bayesian Network untuk Prediksi Penyakit Saluran Pernapasan," *Petir*, vol. 12, no. 2, pp. 292–302, 2019, doi: 10.33322/petir.v12i2.637.
- [2] N. M. D. Agustin Sutrawati and L. M. Ratnawati, "Karakteristik penderita polip nasi di Poli THT-KL RSUP Sanglah Denpasar periode Januari 2014 - Desember 2015," *Medicina (B. Aires)*, vol. 50, no. 1, pp. 138–142, 2019, doi: 10.15562/medicina.v50i1.304.

-
- [3] A. Rianto, B. Widada, and D. Nugroho, “Diagnosa Penyakit Sinusitis Pada Orang Dewasa Dan Anak Menggunakan Metode Certanty Factor,” *J. TIKomSiN*, vol. 5, pp. 46–52, 2017.
- [4] D. V. Paramita and S. H. Juniati, “Fisiologi Dan Fungsi Mukosiliar Bronkus,” *J. THT*, vol. 9, no. 2, pp. 64–73, 2016.
- [5] Z. R. Lumbantobing and M. Imanto, “Hubungan Rinitis Alergi Dengan Rinosinusitis Kronik Relationship of Allergic Rhinitis with Chronic Rhinosinusitis,” *Medula*, vol. 10, no. 4, p. 686, 2021.
- [6] V. Covello, C. Pipolo, A. Saibene, G. Felisati, and M. Quadrio, “Numerical simulation of thermal water delivery in the human nasal cavity,” *Comput. Biol. Med.*, vol. 100, pp. 62–73, 2018, doi: 10.1016/j.compbiomed.2018.06.029.
- [7] M. rez. Mahardika and I. Kristyono, “Remodelling Mukosa Pada Rinosinusitis Kronis,” *Tht- Kl*, vol. 7, pp. 26–36, 2014.
- [8] D. Lopes *et al.*, “Analysis of finite element and finite volume methods for fluid-structure interaction simulation of blood flow in a real stenosed artery,” *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 207, no. July, p. 106650, 2021, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2021.106650.
- [9] H. Yu, H. L. Yen, and Y. Li, “Deposition of bronchiole-originated droplets in the lower airways during exhalation,” *J. Aerosol Sci.*, vol. 142, no. October 2019, p. 105524, 2020, doi: 10.1016/j.jaerosci.2020.105524.
- [10] S. Maulana, “Pemanfaatan Computational Fluid Dynamics (Cfd) Dalama Strategi Penelitian Simulasi Model Pada Teknologi Penghawaan Ruang,” *Educ. Build.*, vol. 2, no. 2, pp. 10–13, 2016, doi: 10.24114/eb.v2i2.4393.
- [11] A. Fatahillah, M. A. Masyhudi, and T. B. Setiawan, “Numerical analysis of air pollutant dispersion in steam power plant area using the finite volume method,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1490, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1490/1/012002.
- [12] I. Sokolova, M. G. Bastisya, and H. Hajibeygi, “Multiscale finite volume method for finite-volume-based simulation of poroelasticity,” *J. Comput. Phys.*, vol. 379, pp. 309–324, 2019, doi: 10.1016/j.jcp.2018.11.039.
- [13] A. Afifi, A. Aabid, and S. Afghan Khan, “Numerical investigation of splitter plate effect on bluff body using finite volume method,” *Mater. Today Proc.*, vol. 38, no. June, pp. 2181–2190, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.559.
- [14] S. Masri, J. Kuncara, and R. Susila, “Model Simulasi Implementasi Algoritma Perturb & Observe MPPT Pada Modul PV Menggunakan Matlab-Simulink,” no. 1, 2020.

- [15] O. Erkan, M. Özkan, T. H. Karakoç, S. J. Garrett, and P. J. Thomas, “Investigation of aerodynamic performance characteristics of a wind-turbine-blade profile using the finite-volume method,” *Renew. Energy*, vol. 161, pp. 1359–1367, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.07.138.
- [16] W. H. Chen, K. H. Lee, J. K. Mutuku, and C. J. Hwang, “Flow dynamics and PM2.5 deposition in healthy and asthmatic airways at different inhalation statuses,” *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 18, no. 4, pp. 866–883, 2018, doi: 10.4209/aaqr.2018.02.0058.