



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN UDARA PADA BRONKUS
AKIBAT PENYAKIT ASMA BRONKIAL MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

Oleh

Diah Putri Madinda

NIM 160210101007

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2020



**ANALISIS NUMERIK ALIRAN UDARA PADA BRONKUS
AKIBAT PENYAKIT ASMA BRONKIAL MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

SKRIPSI

Oleh

Diah Putri Madinda

NIM 160210101007

Dosen Pembimbing 1 : Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

Dosen Pembimbing 2 : Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.

Dosen Penguji 1 : Prof. Drs.Dafik, M.Sc., Ph.D.

Dosen Penguji 2 : Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si.

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN MATEMATIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2020

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah S.W.T., Tuhan yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar, Nabi Muhammad S.A.W., ku persembahkan sebuah rasa syukur dengan penuh kebahagiaan atas perjalanan dan perjuangan studiku teriring rasa terima kasihku yang terdalam kepada:

1. Kedua orang tua tercinta ayahanda Achmad Subandiyanto dan ibunda Siti Rokaiyah, Mbah Sumi, yang senantiasa mencurahkan doa, rasa cinta dan kasih sayang;
2. Adikku Achmad Putra Zakaria dan Aditya Putra Mubarokah yang senantiasa memberi semangat, dan Iwan Setiawan yang senantiasa bersabar dan menemani;
3. Bapak Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si. dan Ibu Susi Setiawani, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing skripsi yang dengan sabar memberikan ilmu dan bimbingan selama menyelesaikan skripsi ini;
4. Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D. dan Drs. Toto Bara Setiawan, M.Si. selaku penguji skripsi yang dengan sabar memberikan ilmu dan saran selama menyelesaikan skripsi ini;
5. Teman-teman Pemodelan CFD Devi, Sholihin, Fajar, Theriq, dan Mutia.

HALAMAN MOTTO

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ ءَامَنُوا مِنكُمْ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ ﴿١١﴾

"Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Dan Allah maha mengetahui apa yang kamu kerjakan."

(Q.S. Al-Mujadilah:11)

"Do not pray for an easy life, pray for the strength to endure a difficult one."

- Bruce Lee -

"Mulailah dari tempatmu berada. Gunakan yang kau punya. Lakukan yang kau bisa."

- Arthur Ashe -

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Diah Putri Madinda

NIM : 160210101007

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul ” *Analisis Numerik Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Bronkial Menggunakan Metode Volume Hingga*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 08 Maret 2020

Yang menyatakan,

Diah Putri Madinda

NIM. 160210101007

HALAMAN PENGANTAR

**ANALISIS NUMERIK ALIRAN UDARA PADA BRONKUS
AKIBAT PENYAKIT ASMA BRONKIAL MENGGUNAKAN
METODE VOLUME HINGGA**

diajukan untuk dipertahankan di depan Tim Penguji sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dengan Program Studi Pendidikan Matematika pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Oleh:

Nama : Diah Putri Madinda
NIM : 160210101007
Tempat, tanggal Lahir : Jember, 24 Februari 1998
Jurusan / Program Studi : Pendidikan MIPA / Pendidikan Matematika

Disetujui oleh:

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.
NIP. 19820529 200912 1 003

Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.
NIP. 19700307 199512 2 001

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul : Analisis Numerik Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Bronkial Menggunakan Metode Volume Hingga telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 11 Maret 2020

Tempat : Gedung 3 FKIP UNEJ

Tim Penguji :

Ketua,

Sekretaris,

Arif Fatahillah, S.Pd., M.Si.

NIP. 19820529 200912 1 003

Susi Setiawani, S.Si., M.Sc.

NIP. 19700307 199512 2 001

Anggota I,

Anggota II,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19680802 199303 1 004

Drs. Toto' Bara Setiawan, M.Si.

NIP. 19581209 198603 1 003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D.

NIP. 19680802 199303 1 004

RINGKASAN

Analisis Numerik Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Bronkial menggunakan Metode Volume Hingga; Diah Putri Madinda, 160210101007; 2020: 113 halaman; Program Studi Pendidikan Matematika, Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember.

Asma bronkial adalah penyakit penyempitan saluran napas yang terjadi pada saluran napas manusia, yaitu dibronkus. Udara yang terhirup oleh manusia tidak sepenuhnya bersih, melainkan dapat terkontaminasi oleh benda asing salah satunya yaitu *Particulate Matter 2.5*. Dalam kurun waktu yang lama, partikel tersebut masuk kedalam saluran pernapasan dan mengalami pengendapan hingga menyebabkan penyempitan saluran pernapasan.

Dari latar belakang tersebut, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui model matematika aliran udara pada penyakit asma bronkial, model tersebut diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan menganalisis pengaruh ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara yang dihasilkan dan untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah penyempitan saluran napas.

Tahapan kegiatan penelitian melakukan studi pustaka tentang penyakit asma kemudian membangun model matematika dari persamaan kontinuitas massa dan momentum. Persamaan tersebut diselesaikan dengan menggunakan metode volume hingga dan diskritisasi QUICK hingga memperoleh matriks global. Setelah mendapatkan matriks global selanjutnya melakukan komputasi menggunakan program MATLAB dan disimulasikan dengan FLUENT.

Adapun hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Model matematika aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi QUICK sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 & -\phi_e[(-\alpha + \alpha u)\Delta y\Delta t] + \phi_w[(\alpha - \alpha u)\Delta y\Delta t] - \phi_n[(-\alpha + \alpha v)\Delta x\Delta t] + \\
 & \phi_s[(\alpha - \alpha v)\Delta x\Delta t] = \frac{-\alpha P}{\rho}\Delta y\Delta t - \frac{\alpha P}{\rho}\Delta x\Delta t + (2\mu\alpha u + \mu\alpha v)\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} + \\
 & (2\mu\alpha v + \mu\alpha u) + \frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} + (F_{pf} + Stk_n)\Delta x\Delta y\Delta t + (\mu u + \mu v)\Delta t \quad (1)
 \end{aligned}$$

dengan,

$$\begin{aligned}
 F_{pf} &= \frac{1}{8}\pi\pi_p^2\rho C_D(u - u_p)|u - u_p| \\
 Stk_n &= \frac{9U\pi\mu D_{ave}^2}{2Q\rho_p d_p^2 C_c\alpha_p}(u - u_p) + \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p}g
 \end{aligned}$$

2. Grafik hasil simulasi MATLAB pengaruh ukuran jari-jari bronkus 0.008 *m*, 0.010 *m* dan 0.012 *m* berturut-turut pada titik domain ke-1 sebesar 0.9905 *m/s*, 0.9904 *m/s* dan 0.9904 *m/s*. Kemudian ketiganya naik secara signifikan hingga mencapai puncak pada titik domain ke-8 sebesar 1.0344 *m/s*, 1.0163 *m/s* dan 1.0055 *m/s* dan ketiganya turun dari titik domain ke-9 sampai ke-16 sebesar 0.9901 *m/s*. Kecepatan rata-rata aliran udara berdasarkan pengaruh ukuran jari-jari bronkus 0.008 *m*, 0.010 *m* dan 0.012 *m* adalah 1.0058 *m/s*, 1.0002 *m/s* dan 0.9965 *m/s*. Hal ini berarti semakin kecil jari-jari bronkus yang mengalami penyempitan akibat penyakit asma bronkial, maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan semakin besar pada daerah penyempitan tersebut.
3. Grafik hasil simulasi MATLAB pengaruh kecepatan awal 0.6 *m/s*, 0,8 *m/s* dan 1.0 *m/s* berturut-turut pada titik domain ke-1 sebesar 0.6189 *m/s*, 0.8080 *m/s* dan 1.0070 *m/s*. Kemudian ketiganya naik secara signifikan hingga mencapai puncak pada titik ke-8 sebesar 1.0350 *m/s*, 1.7930 *m/s* dan 2.5890 *m/s* dan ketiganya turun dari titik domain ke-9 sampai ke-16 masing-masing sebesar 0.6136 *m/s*, 0.7955 *m/s* dan 0.9870 *m/s*. Kecepatan rata-rata aliran udara berdasarkan pengaruh kecepatan awal 0.6 *m/s*, 0,8 *m/s* dan 1.0 *m/s* adalah 0.7787 *m/s*, 1.1865 *m/s* dan 1.6096 *m/s*. Hal ini berarti semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan juga semakin besar.
4. Metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial dengan

tingkat kesalahan perhitungan error pada setiap node kurang dari 0.001.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Analisis Numerik Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Bronkial Menggunakan Metode Volume Hingga. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini, terutama kepada yang terhormat:

1. Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Ketua Program Studi Pendidikan Matematika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Ketua Laboratorium Matematika Program Studi Pendidikan Matematika Jurusan Pendidikan MIPA FKIP;
5. Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
6. Dosen Pembahas dan Dosen Penguji yang telah memberikan masukan demi kesempurnaan skripsi ini;
7. Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan memberikan ilmu;
8. Dosen dan Karyawan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
9. Semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 08 Maret 2020
Diah Putri Madinda

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PENGAJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMBANG	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Kebaharuan Penelitian	6
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Pemodelan Matematika	7
2.2 Analisis Numerik	9
2.2.1 Metode Numerik	10
2.3 Sistem Pernapasan Manusia	10
2.3.1 Organ-Organ Pernapasan Manusia	11
2.4 <i>Particulate Matter</i>	13
2.5 Asma	14
2.6 Fluida	17
2.6.1 Jenis-Jenis Fluida	17

2.6.2	Jenis-Jenis Aliran Fluida	19
2.7	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	20
2.8	Perangkat Lunak CFD	22
2.8.1	GAMBIT	22
2.8.2	FLUENT.....	23
2.9	Metode Volume Hingga	24
2.9.1	Persamaan Kontinuitas Massa	25
2.9.2	Persamaan Momentum	25
2.10	Teknik Diskritisasi <i>Quadratic Upwind Interpolation</i> <i>Confective Kinematics (QUICK)</i>	26
2.11	Algoritma dan Pemrograman MATLAB	29
2.11.1	Algoritma dan Pemrograman.....	29
2.11.2	MATLAB 7.0 (<i>Matrix Laboratory</i>).....	30
2.12	Metode Gauss Seidel	33
2.13	Galat (<i>Error</i>)	37
2.14	Penelitian yang Relevan	38
BAB 3.	METODE PENELITIAN	40
3.1	Jenis Penelitian	40
3.2	Definisi Operasional.....	40
3.3	Prosedur Penelitian	41
3.4	Tempat Penelitian	44
3.5	Metode Pengumpulan Data	44
3.6	Data dan Analisis Data	44
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1	Model Matematika Kecepatan Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Bronkial	46
4.1.1	Pembuktian Persamaan Massa	47
4.1.2	Pembuktian Persamaan Momentum	49
4.2	Penyelesaian Model Matematika Kecepatan Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma	52

4.3	Diskritisasi Model Matematika Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Menggunakan Metode Volume Hingga dengan Teknik Diskritisasi QUICK.....	56
4.4	Bentuk Matriks $n \times n$ dengan Teknik Diskritisasi QUICK	58
4.5	Efektivitas Metode Volume Hingga	62
4.5.1	Tahap <i>Programming</i>	63
4.5.2	Penggunaan <i>Error</i> dan <i>Error</i> Relatif	64
4.5.3	Simulasi Pemodelan	65
4.6	Analisis dan Pembahasan	65
4.6.1	Komputasi MATLAB	66
4.6.2	Visualisasi Simulasi FLUENT	71
4.6.3	Analisis Efektivitas Metode Volume Hingga	76
BAB 5.	KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1	Kesimpulan	78
5.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	80
A.	Format <i>Programming</i> MATLAB	83
B.	Hasil Simulasi Program MATLAB	89
LAMPIRAN	91
C.	ITERASI	91
LAMPIRAN	115
A.	Matrik Penelitian	115

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Organ-Organ Pernapasan Manusia	11
2.2 Trakea Manusia	12
2.3 Organ-Organ Pernapasan Manusia	13
2.4 <i>Particulate Matter</i>	14
2.5 Saluran udara manusia normal dan asma.....	16
2.6 Fluida Gas	18
2.7 Fluida Cair	18
2.8 Aliran Laminar	19
2.9 Aliran Turbulen.....	20
2.10 Aliran Transisi	20
2.11 Tampilan GAMBIT	22
2.12 Tampilan FLUENT.....	23
2.13 Bagan Volume Kendali Persamaan Kontinuitas Massa	25
2.14 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	26
2.15 Diskritisasi QUICK.....	27
2.16 Tampilan MATLAB	30
2.17 Tampilan Command Windows.....	32
2.18 Tampilan Command Workspace.....	32
2.19 Tampilan Command History.....	33
3.1 Diagram alir prosedur penelitian	43
4.1 Bagan Volume Kendali Kontinuitas Massa	48
4.2 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum	49
4.3 Skema diskritisasi kecepatan aliran udara pada bronkus	60
4.4 Grafik kecepatan aliran udara berdasarkan jari-jari bronkus.....	67
4.5 Grafik kecepatan aliran udara berdasarkan kecepatan awal	70
4.6 Kontur kecepatan aliran udara dengan jari-jari bronkus (a) 0.012 m (b) 0.010 m (c) 0.008 m.....	72
4.7 Kontur kecepatan aliran udara dengan jari-jari bronkus (a) 0.012 m (b) 0.010 m (c) 0.008 m.....	73

4.8 Kontur kecepatan aliran udara dengan kecepatan awal (a) 0.6 m/s (b) 0.8 m/s (c) 1.0 m/s..... 75



DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Parameter Beserta Satuan dan Sumber Data	66
4.2 Pengaruh jari-jari bronkus	69
4.3 Pengaruh kecepatan awal	71



DAFTAR LAMBANG

ϕ_n	= kontrol permukaan <i>north</i> atau utara
ϕ_w	= kontrol permukaan <i>west</i> atau barat
ϕ_e	= kontrol permukaan <i>east</i> atau timur
ϕ_s	= kontrol permukaan <i>south</i> atau selatan
ρ_f	= massa jenis udara
ρ_p	= massa jenis partikel
u	= kecepatan aliran udara
u_p	= kecepatan partikel
F_{pf}	= gaya tekanan partikel
D_{ave}	= diameter rata-rata bronkus
r	= jari-jari bronkus
d_p	= diameter partikel
μ	= viskositas udara
P	= tekanan
C_D	= koefisien gesek
C_c	= Cunningham
α_p	= interaksi antar partikel
α	= fraksi volume fluida
Stk_n	= Hukum <i>Stokes Number</i>
Q	= kecepatan rata-rata aliran udara
v	= kecepatan awal
g	= gravitasi
i	= diskritisasi sumbu x
j	= diskritisasi sumbu y
x	= sumbu x
y	= sumbu y
t	= waktu
$\frac{\partial}{\partial x}$	= derivatif terhadap x
$\frac{\partial}{\partial y}$	= derivatif terhadap y
$\frac{\partial}{\partial t}$	= derivatif terhadap t

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan ilmu dasar yang menjadi pedoman dalam mengembangkan ilmu pengetahuan yang lain. Tujuan dari pengembangan ini menjadikan konsep matematika yang awalnya bersifat abstrak menjadi lebih nyata. Pada dasarnya konsep matematika tidak hanya digunakan untuk pengembangan teori saja, melainkan untuk mendapatkan sebuah jawaban dari suatu permasalahan yang ada dalam dunia nyata dan bidang ilmu lain salah satunya yaitu bidang kedokteran.

Kedokteran merupakan ilmu dan seni yang mempelajari tentang penyakit dan cara penyembuhannya. Secara umum, terdapat dua faktor yang menyebabkan suatu penyakit yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal merupakan faktor yang berasal dari dalam diri manusia, seperti gen atau keturunan. Sedangkan faktor eksternal merupakan faktor yang berasal dari lingkungan luar, contohnya seperti *Particulate Matter 2.5*. Menurut Rixson, et al (2015) kandungan *Particulate Matter 2.5* terdiri dari industri peleburan logam Pb (9.61), debu tanah (17), campuran industri peleburan logam dan garam laut (13.02), transportasi (44.36) serta pembakaran biomassa (22.58).

Pada tahun 2012 *International Institute for Sustainable Development* (IISD) mencatat bahwa terdapat 62.000 penduduk Indonesia meninggal karena polusi udara. "Sumber dari polusi udara salah satunya yaitu debu. Partikel debu disebut juga dengan *Particulate Matter* (PM) yang terdiri dari berbagai jenis ukuran, salah satunya yaitu *Particulate Matter 2.5*" (Martini dkk, 2016: 154). *Particulate Matter 2.5* merupakan sebuah partikel udara yang sejenis dengan debu berukuran lebih kecil dari 2.5 *micrometer*. Partikulat ini berasal dari debu yang terbawa oleh angin, pembakaran bahan bakar fosil seperti kendaraan bermotor dan bahan bakar industri lainnya. Ukuran partikulat ini sangat kecil dan tidak dapat tersaring oleh rambut halus dalam hidung, sehingga dengan mudah masuk bersama udara ke dalam saluran pernapasan manusia yaitu bagian paru-paru. Kemudian, *Particulate Matter 2.5* akan mengendap dalam saluran pernapasan

manusia dan menyebabkan beberapa gangguan sistem pernapasan, salah satunya yaitu asma bronkial. Asma bronkial juga disebut sebagai penyakit asma umum yang disebabkan oleh penyempitan saluran pernapasan di bronkus. Penyakit ini ditandai dengan mengi (*wheezing*), batuk, dan rasa sesak napas di dada. Apabila *Particulate Matter* yang terhirup cukup banyak, maka akan menyebabkan kematian.

Menurut catatan *World Health Organization* (WHO) menunjukkan bahwa pada bulan Mei tahun 2014, angka kematian penyakit asma di Indonesia mencapai 24.773 orang atau sekitar 1,77% dari total jumlah kematian penduduk. Hasil dari Riset Kesehatan Dasar oleh Kementerian RI pada tahun 2013 memperkirakan jumlah pasien asma di Indonesia mencapai 4,5% dari total jumlah penduduk Indonesia. Provinsi dengan jumlah penderita penyakit asma terbanyak terdapat di Provinsi Sulawesi Tengah sebanyak 7,8% dari total penduduk di daerah tersebut. Setelah dilakukan penyesuaian dan pendataan dengan negara lain, Indonesia berada pada urutan ke-19 perihal kematian asma.

Didalam penelitian Chen *et al* (2018) yang berjudul "*Flow Dynamics and PM 2.5 Deposition in Healthy and Asthmatic Airways at Different Inhalation Statures*" mensimulasikan aliran udara pernapasan manusia penderita asma dibawah tiga kondisi, yaitu kondisi ketika sedang beristirahat, beraktivitas ringan, dan berolahraga. Didalam penelitian tersebut telah dibuktikan bahwa penderita asma lebih rentan kambuh ketika mereka dalam kondisi berolahraga atau beraktivitas berat. Hal ini disebabkan karena presentase pengendapan partikel paling besar terjadi ketika aktivitas tersebut.

Berdasarkan permasalahan di atas, dalam penelitian ini didapatkan model aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial. Secara biologis, aliran udara manusia dimulai dari hidung hingga paru. Penyakit asma bronkial terjadi karena penyempitan saluran pernapasan manusia yaitu di bronkus yang letaknya pada paru-paru manusia. Untuk memberikan visualisasi yang jelas terkait penyempitan saluran napas yang terjadi, pernyataan bahasa biologi tersebut diterjemahkan kedalam bahasa matematika yaitu dengan membuat model persamaan matematikanya. Teknik untuk menyelesaikan model matematika

persamaan ini menggunakan metode numerik. Metode numerik merupakan suatu perhitungan model matematika menggunakan suatu alat atau *software* komputer. Metode ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi secara *real* selanjutnya dibawa ke dalam bentuk model matematika dan diselesaikan secara komputasi. Metode numerik juga dapat merancang program sendiri dan dapat melakukan perhitungan sangat banyak atau iterasi (berulang). Perhitungan metode numerik tidak didapatkan secara manual melainkan dengan bantuan *software* atau perangkat lunak yang telah ter-*install*. Pada penelitian ini, model persamaan matematika yang digunakan yaitu persamaan diferensial yang dibentuk dalam dua dimensi. Persamaan diferensial yang dibangun menggunakan rumus-rumus fisika yaitu hukum kekekalan massa dan momentum. Penyelesaian model persamaan diferensial tersebut diselesaikan menggunakan metode volume hingga. Metode volume hingga digunakan karena metode ini sangat baik untuk mendiskritisasi aliran fluida yang bentuknya tidak beraturan, contohnya seperti gas atau udara. Diskritisasi merupakan teknik dengan tujuan untuk memperoleh suatu perhitungan, sehingga nantinya didapatkan nilai aproksimasi mendekati nilai sebenarnya. Selanjutnya, mensimulasikan model matematis aliran udara pengidap penyakit asma bronkial menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Menurut Tuakia (dalam ali, 2018) *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan ilmu yang mempelajari aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, transport massa, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan matematis. CFD sudah banyak digunakan dalam dunia teknik dan matematika khususnya bidang pemodelan, karena CFD memiliki kemampuan yang cukup baik dalam menganalisis permasalahan tersebut, salah satunya terkait aliran udara. Penyelesaian permasalahan dalam kajian CFD memerlukan beberapa bantuan teknologi perangkat lunak khusus yang telah dirancang untuk menyelesaikan masalah aliran fluida tersebut. Perangkat lunak yang digunakan yaitu GAMBIT dan FLUENT. Desain geometri aliran udara digambarkan melalui *software* GAMBIT, sedangkan simulasi kecepatan aliran udara disimulasikan melalui *software* FLUENT.

Berdasarkan uraian di atas, dalam penelitian ini memodelkan dan mensimulasikan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial. Penelitian ini mengembangkan suatu model persamaan diferensial berdasarkan persamaan massa dan momentum. Proses menganalisis dan mensimulasikan model matematika tersebut menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT. Pada penelitian ini penulis memilih judul ”**Analisis Numerik Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Bronkial Menggunakan Metode Volume Hingga**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. bagaimana model matematika aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial?
2. bagaimana pengaruh ukuran jari-jari bronkus terhadap kecepatan aliran udara akibat penyakit asma bronkial?
3. bagaimana pengaruh kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial?
4. bagaimana efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial berdasarkan *error* yang didapat?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan, penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. penelitian ini terfokus pada jenis asma bronkial;
2. asma bronkial merupakan penyakit penyempitan saluran napas yang letaknya pada bronkus manusia;
3. proses yang dianalisis adalah kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial berdasarkan ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal;

4. banyak *Particulate Matter 2.5* yang masuk kurang lebih 500 partikel/ml dengan nilai ambang batas lebih dari $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
5. *Particulate Matter 2.5* adalah sebuah partikel sejenis dengan debu berukuran kurang dari 2.5 *micrometer* dan dapat menembus saluran napas manusia hingga paru;
6. Jenis *Particulate Matter 2.5* yaitu pekat dan tidak dapat tersaring oleh rambut halus manusia dalam hidung;
7. persamaan model matematika yang dilakukan adalah persamaan massa dan momentum yang dimodifikasi dari artikel milik Wei-Hei Chen, *et al* (2018) yang berjudul "*Flow Dynamics and $PM_{2.5}$ Deposition in Healthy and Asthmatic at Different Inhalation Statuses*";
8. metode penyelesaian yang digunakan adalah metode volume hingga dengan teknik *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics* (QUICK);
9. analisis numerik yang digunakan menggunakan bantuan *software* MATLAB dan disimulasikan menggunakan *software* FLUENT.

1.4 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan rumusan masalah dan latar belakang yang telah dipaparkan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. untuk mengembangkan model matematika aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial;
2. untuk mengetahui pengaruh ukuran jari-jari bronkus terhadap kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial;
3. untuk mengetahui pengaruh kecepatan awal terhadap aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial;
4. untuk mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis masalah kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial berdasarkan *error* yang didapat.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. menambah pengetahuan peneliti dalam bidang kesehatan;
2. sebagai sumber bacaan atau acuan bagi peneliti lain yang ingin melakukan penelitian sejenis atau penelitian lebih lanjut;
3. memberikan pengetahuan peneliti dalam bidang pemodelan matematika dengan memberikan kontribusi terhadap berkembangnya pengetahuan baru dalam pemodelan matematika menggunakan metode volume hingga;
4. memberikan pengetahuan baru berupa visual atau gambar terkait aliran udara pengidap penyakit asma bronkial.

1.6 Kebaharuan Penelitian

Adapun kebaruan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. mengembangkan model matematika dari artikel milik Wei-Hei Chen, *et al*(2018). Berikut merupakan model matematika didapat dalam penelitian ini:

$$\begin{aligned}
 & -\phi_e[(-\alpha + \alpha u)\Delta y\Delta t] + \phi_w[(\alpha - \alpha u)\Delta y\Delta t] - \phi_n[(-\alpha + \alpha v)\Delta x\Delta t] + \\
 & \phi_s[(\alpha - \alpha v)\Delta x\Delta t] = \frac{-\alpha P}{\rho}\Delta y\Delta t - \frac{\alpha P}{\rho}\Delta x\Delta t + (2\mu\alpha u + \mu\alpha v)\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} + \\
 & (2\mu\alpha v + \mu\alpha u) + \frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} + (F_{pf} + Stk_n)\Delta x\Delta y\Delta t + (\mu u + \mu v)\Delta t \quad (1.1)
 \end{aligned}$$

dengan,

$$\begin{aligned}
 F_{pf} &= \frac{1}{8}\pi\pi_p^2\rho C_D(u - u_p)|u - u_p| \\
 Stk_n &= \frac{9U\pi\mu D_{ave}^3}{2Q\rho_p d_p^2 C_c \alpha_p}(u - u_p) + \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p}g
 \end{aligned}$$

3. adanya pengaruh variabel yang berbeda dengan penelitian sebelumnya, yaitu jari-jari bronkus dan kecepatan awal;
4. model matematika diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Confective Kinematics* (QUICK).

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan Matematika

Pemodelan Matematika merupakan salah satu cara penyelesaian untuk merepresentasikan sebuah persoalan atau permasalahan kompleks kedalam bentuk matematika. Persoalan yang terjadi biasanya berkaitan dengan fenomena alam atau kehidupan sehari-hari. Perkembangan teknologi dan komputerisasi sangat berperan besar terhadap solusi persoalan yang terjadi. Sebelum melakukan simulasi menggunakan *software* ataupun program dalam komputer, model matematika dari persoalan tersebut harus terbentuk. Model matematika dikarakterisasi dengan variabel (*things that change*), parameter (*things that not change*) dan bentuk fungsi (relasi antara variabel dan parameter) (Ndi, 2018: 2).

Suatu model atau formula menurut Arif (2017: 63) pada dasarnya terdiri dari tiga besaran, yaitu:

1. Variabel

Variabel adalah besaran yang nilainya dapat berubah-ubah dalam domain tertentu atau lambang yang mewakili unsur disuatu himpunan dalam suatu model. Variabel terdiri dari dua macam, yaitu variabel endogen dan variabel eksogen. Variabel endogen merupakan variabel yang nilai penyelesaiannya diperoleh dalam model. Sedangkan variabel eksogen merupakan variabel yang nilainya diperoleh dari luar variabel atau sudah ditentukan berdasarkan data yang ada.

2. Konstanta

Konstanta adalah besaran yang domainnya hanya satu atau lambang yang mewakili unsur disuatu himpunan berunsur tunggal. Konstanta juga disebut sebagai bilangan nyata yang nilainya tidak berubah-ubah.

3. Parameter

Parameter adalah suatu besaran yang dipengaruhi oleh pengaruh lingkungan dari sistem, biasanya variabel ini disebut dengan variabel tidak terkendali.

Menurut Widowati dan Sutimin (dalam Ali, 2018:7) terdapat beberapa jenis model matematika, antara lain:

1. Model Empiris

Model empiris merupakan model yang berhubungan dengan menentukan masalah yang akan diteliti. Gagasan pendekatan ini berupa mengkonstruksi formula atau persamaan matematika yang dapat menghasilkan grafik untuk mencocokkan data.

2. Model Simulasi

Model simulasi merupakan model yang dilakukan dengan pendekatan melalui program ataupun *software* komputer. Pada penelitian ini menggunakan model simulasi. Metode simulasi digunakan sebagai penyelesaian dikarenakan metode ini dapat membentuk dan menerjemahkan bagaimana suatu proses permasalahan atau fenomena yang terjadi dalam kehidupan nyata kedalam bahasa matematika.

3. Model Deterministik dan Stokastik

Model deterministik merupakan model yang dilakukan dengan penggunaan persamaan untuk merepresentasikan hubungan antara berbagai komponen atau variabel. Contohnya persamaan diferensial biasa yang menunjukkan kuantitas tertentu berubah terhadap waktu. Persamaan ini menunjukkan bahwa hubungan antara kuantitas dan waktu sebagai variabel bebas.

Tahapan penyusunan model matematika, yaitu:

1. Identifikasi Masalah

Langkah ini dapat dilakukan dengan memahami permasalahan yang ada dalam dunia nyata sehingga dapat ditransalasi kedalam bahasa matematika. Dalam mengidentifikasi masalah ditetapkan tujuan dan rumusan masalah yang ingin dijawab.

2. Membuat Asumsi

Membuat asumsi mencerminkan bagaimana dugaan atau anggapan sementara yang belum terbukti kebenarannya. Dugaan tersebut melibatkan pengaruh hubungan antar variabel. Dalam penelitian ini dilakukan penelitian terhadap pengaruh ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara pada penderita asma bronkial. Asumsi yang digunakan berpedoman pada rumus-rumus fisika dasar yang telah terbukti kebenarannya.

3. Formulasi Persamaan atau Pertidaksamaan

Setelah membuat asumsi, perlu dilakukan formulasi atau model matematika. Model yang digunakan menggunakan persamaan diferensial yang dibuat sesuai dengan tujuan model formulasi tersebut.

4. Mencari solusi dari model matematika

Solusi dari model matematika dapat diperoleh dengan cara analitik ataupun numerik. Model matematika dalam penelitian ini merupakan model persamaan diferensial yang tergolong kompleks yaitu terdiri dari persamaan kontinuitas massa dan momentum. Model tersebut diselesaikan secara numerik dan disimulasikan dengan pendekatan numerik menggunakan *software* komputer.

5. Interpretasi Hasil

Interpretasi menunjukkan solusi yang diperoleh dari suatu permasalahan, solusi ini diwujudkan berupa grafik atau visualisasi gambar. Dalam penelitian ini solusi berupa grafik ditampilkan menggunakan *software* MATLAB, visual geometrinya ditampilkan menggunakan *software* GAMBIT, sedangkan aliran udara disimulasikan menggunakan *software* FLUENT.

6. Validasi Model

Validasi terhadap model dilakukan dengan mengecek apakah model tersebut memberikan hasil sesuai kenyataan, apakah sesuai asumsi-asumsi yang dibuat, dan apakah dapat diprediksi hasilnya. Jika tidak, maka perlu memeriksa kembali asumsi-asumsi yang telah dibuat (Ndii, 2018:5-6).

Berdasarkan uraian tersebut, dalam penelitian ini memodelkan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial. Persamaan atau formulasi matematika yang digunakan merujuk pada data-data, informasi dan sumber yang berasal dari jurnal. Penelitian ini menggunakan model simulasi dengan berbantuan *software* MATLAB, GAMBIT dan FLUENT.

2.2 Analisis Numerik

Analisis numerik merupakan bagian dari bahan pelajaran mengenai pengolahan informasi. Data yang diberikan adalah informasi masukan dan hasil

yang diperlukan adalah informasi keluaran, sedangkan metode perhitungan tersebut dikenal sebagai algoritma.

2.2.1 Metode Numerik

”Metode Numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan yang diformulasikan secara matematika yang dapat diselesaikan dengan operasi aritmatika (penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan pembagian). Hasil penyelesaiannya bukan berupa nilai eksak, namun berupa nilai pendekatan sehingga dimungkinkan muncul galat atau kesalahan” (Wahid, 2004:34). Tujuan dari metode ini adalah mencari metode yang terbaik untuk memperoleh jawaban dari persoalan matematika dan menarik kesimpulan dari berbagai jawaban yang diperoleh. Terdapat dua macam penyelesaian persoalan matematika, yaitu:

1. Analisis

Penyelesaian persoalan matematika secara analisis menggunakan kaidah-kaidah operasi matematika untuk memperoleh solusi sejati (*exact solution*) atau nilai sesungguhnya.

2. Numeris

Penyelesaian persoalan matematika secara numeris menggunakan metode numerik untuk memperoleh nilai solusi hampiran (*approximation*) atau solusi pendekatan.

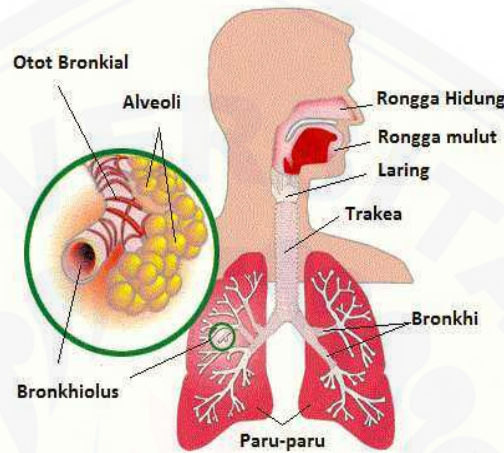
Pada penelitian ini metode yang digunakan untuk menyelesaikan model persamaan matematika yaitu metode numerik. Perhitungan metode numerik tidak didapatkan secara manual, melainkan dengan bantuan *software* yaitu FLUENT, GAMBIT, dan MATLAB.

2.3 Sistem Pernapasan Manusia

Menurut Setiadi (2007) pernapasan merupakan pertukaran oksigen dan karbondioksida antara sel-sel tubuh serta lingkungan. Penghisapan udara kedalam tubuh disebut dengan proses inspirasi dan menghembuskan udara keluar tubuh disebut dengan proses ekspirasi. Sistem Pernapasan disebut juga dengan sistem respirasi yang berperan untuk menukar udara kepermukaan paru-paru. Udara masuk dan menetap dalam sistem pernapasan lalu masuk

dalam pernapasan otot sehingga trakea dapat melakukan penyaringan, penghangatan, melembabkan udara yang masuk, dan melindungi permukaan organ yang lembut. Cahyono (2017: 56) menyimpulkan, "jumlah udara yang dihirup pada saat respirasi normal sebanyak 0,5 liter atau \pm 500 ml. Siklus respirasi normal sebanyak 14-20 kali/menit".

2.3.1 Organ-Organ Pernapasan Manusia



Gambar 2.1 Organ-Organ Pernapasan Manusia
(sumber:catatanipa.com)

1. Rongga Hidung

Rongga hidung dilapisi selaput lendir yang kaya akan pembuluh darah dan tersambung dengan faring. Sewaktu udara masuk melalui hidung, udara akan disaring oleh bulu-bulu. Pada rongga hidung paling dalam (*nasal cavity*) merupakan daerah yang sangat sensitif terhadap benda asing, seperti partikulat, gas, dan energi.

2. Faring

Faring merupakan pipa berotot yang berfungsi sebagai jalur terusan saluran udara setelah manusia menghirup oksigen melalui hidung. Faring letaknya berada dibelakang hidung (*nasofaring*), dibelakang mulut (*orofaring*), dan dibelakang laring (*faring-laringeal*).

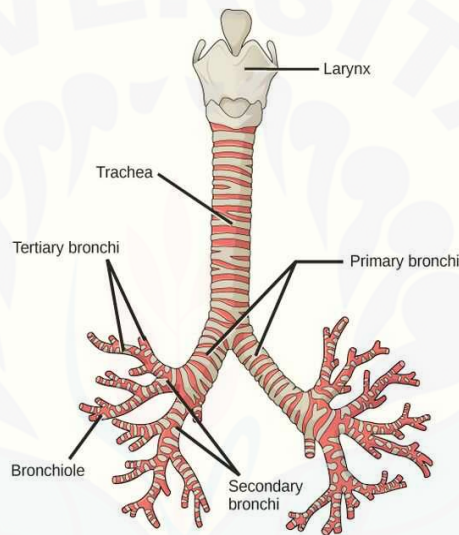
3. Laring

Laring merupakan saluran pernapasan yang membawa oksigen menuju trakea. Selain itu dilaring juga terdapat pita suara guna untuk pembentukan suara manusia.

4. Epiglotis

Epiglotis merupakan katup tulang rawan guna untuk membuka dan menutup laring. Sewaktu manusia berbicara atau bernapas, epiglotis akan terbuka sehingga udara dapat keluar dan masuk dengan leluasa. Sedangkan pada saat menelan makanan, epiglotis akan tertutup sehingga makanan akan masuk kedalam esophagus dan tidak masuk kedalam laring atau jalan napas.

5. Trakea



Gambar 2.2 Trakea Manusia
(sumber:www.ilmudasar.com)

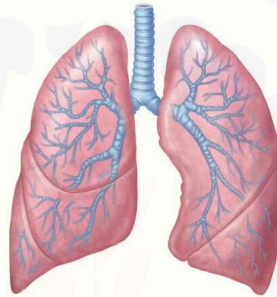
Trakea merupakan batang tenggorok dengan memiliki panjang kira-kira 9 cm. Trakea tersusun atas 16-20 cincin kartilago yang berbentuk seperti C, sehingga saluran ini selalu terbuka. Trakea juga mengandung lendir yang berfungsi untuk menyaring debu yang masuk bersama udara.

6. Bronkus

Bronkus merupakan percabangan dari trakea menuju paru-paru kanan dan kiri. Setiap bronkus bercabang 9-12 kali percabangan. Percabangan dari bronkus disebut juga dengan bronkiolus. Bronkiolus yang paling ujung berakhir dengan kantung-kantung alveoli. Jumlah alveoli sangat banyak dan berfungsi sebagai pertukaran oksigen dengan karbondioksida.

7. Paru-Paru

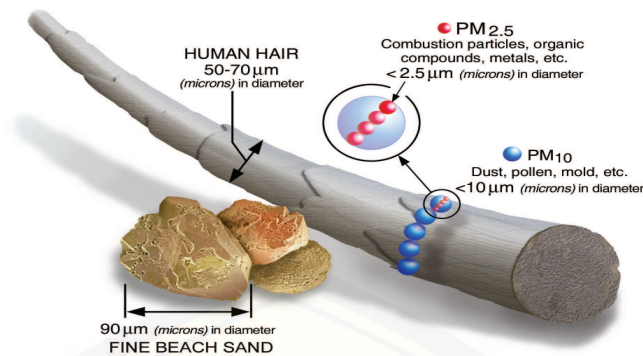
Paru-paru berfungsi mensuplai oksigen masuk kedalam aliran darah dan mengeluarkan karbondioksida dari tubuh. Bentuk paru-paru seperti spons dan berisi udara dengan pembagian ruang yaitu paru kanan memiliki 3 lobus dan paru kiri memiliki 2 lobus (Cahyono, 2017: 56-58).



Gambar 2.3 Organ-Organ Pernapasan Manusia
(sumber:www.informazone.com)

2.4 *Particulate Matter*

Particulate Matter atau PM merupakan campuran partikel padat dan cair dari berbagai sumber, ukuran, dan komposisi yang berbeda. Partikel ini merupakan komponen utama polusi udara yang biasanya terdapat di perkotaan. Ukuran *Particulate Matter* lebih kecil dibandingkan dengan pasir pantai dan diameter rambut manusia (Susanto *et al*, 2018).



Gambar 2.4 *Particulate Matter*
(sumber:www.epa.gov)

Berdasarkan ukurannya, menurut Zhang dkk (2015:14-22) *particulate matter* diklasifikasikan menjadi 3 ukuran, yaitu:

1. *Particulate Matter 10*

Particulate Matter 10 merupakan sebuah partikel yang berukuran 2.5-10 *micrometer*. Partikel ini dapat menembus saluran napas manusia bagian proksimal.

2. *Particulate Matter 2.5*

Particulate Matter 2.5 merupakan sebuah partikel yang memiliki diameter 0.1-2.5 *micrometer*. Partikel ini dapat diinhalasi lebih dalam dan dapat menembus saluran napas bagian bawah hingga paru-paru.

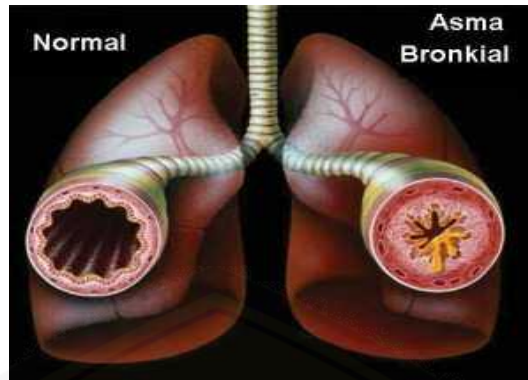
3. *Particulate Matter 1*

Particulate Matter 1 merupakan sebuah partikel yang memiliki diameter ≤ 0.1 *micrometer*. Partikel ini dapat diinhalasi sampai alveolus dan pembuluh darah.

2.5 Asma

”Asma atau sesak napas merupakan suatu penyakit penyempitan saluran pernapasan di bronkus yang disebabkan oleh alergi terhadap rambut, bulu, debu, atau tekanan psikologis. Asma bersifat menurun dari generasi atau keturunan selanjutnya” (Ns.Mustikawati, 2017: 168). Penyakit asma ini ditandai dengan mengi (*wheezing*), batuk, dan rasa sesak napas di dada yang bersifat

episodik. Bersifat episodik artinya penderita akan mengalami penyakit ini pada waktu tertentu saja, tetapi direntang waktu lain penderita akan kembali normal (W.F.Ganong, 2008: 670). Penyakit asma yang sering dialami yaitu asma bronkial. Penderita asma bronkial secara fisik penderita terlihat sehat, namun terkadang kondisi ini juga bisa mengancam jiwa penderita. Kondisi tersebut disebut juga dengan *status asthmaticus* (Naga, 2013: 64). Permasalahan utama yang terjadi pada penderita asma bukan dalam keadaan mengambil napas (inhalasi), melainkan pada saat menghembuskan napas (ekshalasi). Udara yang terhirup oleh manusia tidak sepenuhnya bersih. Udara tersebut bisa terkontaminasi dengan benda asing seperti partikulat atau bibit penyakit yang memiliki ukuran sangat kecil dan akan mengendap di sepanjang saluran pernapasan manusia. *Particulate Matter 2.5* merupakan sebuah partikel yang berukuran kurang dari 2.5 *micrometer*. Menurut Gardner ilmuwan fisika (1974), kerapatan suatu partikel sangat mempengaruhi kecepatan gerak partikel. Semakin besar kerapatan suatu partikel, maka semakin cepat kecepatan gerak partikel tersebut. Hal ini terjadi karena peningkatan konsentrasi jumlah partikel, sehingga kerapatan antar partikel dalam kondisi tersebut meningkat. Kerapatan *particulate Matter 2.5* menurut NAAQS (*National Ambient Air Quality Standards*) memiliki Nilai Ambang Batas (NAB) sebesar $65 \mu/\text{gram}^3$. Keadaan tersebut tergolong tidak sehat apabila NAB lebih dari $65 \mu/\text{gram}^3$. Dalam 1 penampang bronkus terdapat kurang lebih 500 *Particulate Matter 2.5* yang masuk kedalam saluran napas. Keadaan tersebut membuat bentuk saluran pernapasan akan semakin menyempit sehingga penderita akan mengalami kesulitan saat menghembuskan napas. Saluran ini akan mengalami peradangan, berlendir dan menimbulkan terjadinya suara mengi (*wheezing*) pada penderita. Jika dalam kurun waktu yang lama, pengendapan partikel tersebut sangatlah berbahaya dan bahkan dapat menyebabkan kematian. (Gunawan dan Mulyani, 2002: 4).



Gambar 2.5 Saluran udara manusia normal dan asma
(sumber:www.google.com)

Pada manusia normal bronkus berdiameter 2-2.6 *cm* (Djojodibroto, 2009: 15). Bronkus terbagi menjadi dua yaitu bronkus utama kanan dan bronkus utama kiri. Panjang bronkus utama kanan lebih pendek daripada panjang bronkus utama kiri. Panjang bronkus utama kanan sekitar 2-5 *cm* dengan 6-8 cincin tulang rawan. Sedangkan panjang bronkus utama kiri kira-kira 5 *cm* dengan 9-12 cincin tulang rawan (Probst dkk, 2006; Elstad dan Smith, 2009).

Hubungan penyempitan saluran napas manusia dengan hukum fisika sebagai berikut:

1. Hukum Stokes

Hukum Stokes adalah hukum yang menjelaskan bahwa apabila sebuah benda atau partikel mengendap atau melaju dalam suatu fluida, maka akan mendapat suatu tekanan berupa gaya hambat. Besar gaya hambat yang dialami partikel benda merupakan benda gesek.

$$Stk_n = \frac{U}{Stk \cdot D_{ave}} (u - u_p) + \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p} g \quad (2.1)$$

$$Stk = \frac{2Q\rho_p d^2}{9\pi\mu D_{ave}^3} C_c \alpha_p \quad (2.2)$$

dengan,

D_{ave} = Diameter penyempitan (m)

u dan u_p = kecepatan aliran udara dan partikel (m/s)

d = diameter partikel (m)

μ = viskositas (Ns/m^2)

C_c = Cunningham

α_p = interaksi antar partikel

ρ_p dan ρ_f = massa jenis partikel dan udara (kg/m^3)

Q = kecepatan rata-rata aliran udara (m/s)

2.6 Fluida

Fluida disebut juga dengan zat yang dapat mengalir. Fluida memiliki ciri-ciri bentuknya yang selalu berubah sesuai wadahnya dan memiliki tekanan. Bentuk fluida selalu berubah dikarenakan fluida memiliki gaya geser molekul yang dapat bergerak bebas (Fathuroya dkk, 2017: 23). Secara umum sifat-sifat fluida yaitu kerapatan (*density*), berat jenis, gravitasi jenis (*specific gravity*), kekentalan (*viscosity*), tegangan permukaan (*surface tension*), dan kapilaritas (*capillarity*) (Suhendra, 2019: 17). Zat yang termasuk dalam fluida yaitu zat cair dan gas.

2.6.1 Jenis-Jenis Fluida

Menurut Suhendra (2019:16) jenis-jenis fluida dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Gas

Gas memiliki jarak antar molekul yang besar dan gaya kohesifnya sangat kecil sehingga dapat diabaikan dan dapat memuai dengan bebas. Volume zat ini tidak tentu, tergantung wadah yang ditempatinya. Jika tanpa wadah gas akan membentuk atmosfer yang hakikatnya bersifat hidrostatis. Gas tidak dapat membentuk permukaan bebas, karena gas tidak dikaitkan dengan efek gravitasi. Selain itu gas akan mengkerut bila mendapatkan tekanan dan memuai tak terhingga bila tekanannya hilang, sehingga gas bersifat *compressible*. Salah satu contoh dari zat cair yaitu asap dan udara.



Gambar 2.6 Fluida Gas
(sumber:www.teknik-otomotif.com)

2. Cair

Zat cair memiliki molekul yang rapat dengan gaya kohesif yang relatif kuat, cenderung mengumpulkan dan membentuk tetesan (dalam jumlah sedikit), mempertahankan volumenya dan membentuk permukaan bebas (*free surface*) dalam medan gravitasi yang tidak ditahan di atasnya. Sifat lain dari zat cair yaitu perubahan tekanan dan temperatur hampir atau sama sekali tidak berpengaruh terhadap volumenya, sehingga zat cair bersifat *incompressible*. Salah satu contoh dari zat cair yaitu air.



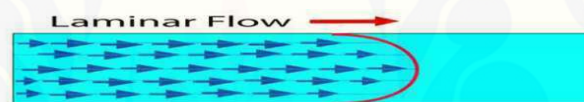
Gambar 2.7 Fluida Cair
(sumber:seventh-education.com)

2.6.2 Jenis-Jenis Aliran Fluida

Berdasarkan karakteristik struktur internal aliran, aliran fluida dibedakan menjadi tiga macam yaitu aliran laminar, turbulen, dan transisi:

1. Aliran Laminar

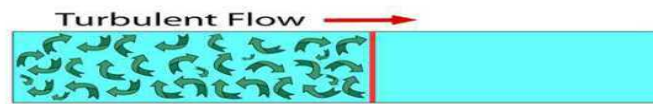
Aliran laminar adalah aliran fluida yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluida yang sejajar dengan garis-garis arusnya. Aliran laminar bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan yang meluncur secara lancar. Aliran laminar mempunyai bilangan Reynolds kurang dari 2300 ($Re < 2300$). Contoh aliran laminar yaitu aliran air dalam pipa. Aliran air dalam pipa akan bergerak sepanjang pipa dan akan keluar dari pipa dengan arah yang sama dan tetap. Jika panjang pipa horizontal, maka aliran air akan berjalan ke arah horizontal sesuai bentuk pipa tersebut.



Gambar 2.8 Aliran Laminar
(sumber:www.wordpress.com)

2. Aliran Turbulen

Aliran turbulen adalah aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara tidak teratur dan kecepatannya juga dapat berubah-ubah. Apabila diekspresikan, garis aliran partikel fluida saling berpotongan. Aliran turbulen mempunyai bilangan Reynolds kurang dari 2300 ($Re > 2300$). Contoh aliran fluida turbulen yaitu udara.



Gambar 2.9 Aliran Turbulen
(sumber:www.wordpress.com)

3. Aliran Transisi

Aliran transisi adalah aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan aliran dipengaruhi oleh viskositas fluida, kecepatan, bentuk geometri, dan lain-lain. Aliran ini memiliki bilangan Reynolds antara 2000-4000. Contoh aliran transisi yaitu aliran darah.



Gambar 2.10 Aliran Transisi
(sumber:www.google.com)

Berdasarkan uraian tersebut, fluida yang diteliti dalam penelitian ini yaitu oksigen berbentuk gas dan bertipe aliran turbulen. Aliran fluida yang diteliti memiliki pergerakan partikel yang bergerak secara tidak teratur dan kecepatannya juga dapat berubah-ubah.

2.7 *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan suatu sistem analisis yang melibatkan perpindahan panas, aliran fluida, dan fenomena yang terkait dengan reaksi kimia dan disimulasikan menggunakan *software* komputer. CFD juga didefinisikan sebagai alat penelitian dalam melakukan percobaan numerik yang digunakan untuk menunjukkan hasil sebuah penelitian berupa visualisasi gambar. Teori yang digunakan dalam *Computational Fluid Dynamics* biasanya fokus pada materi *science* guna untuk mengkonstruksi dan mencari solusi dari sebuah permasalahan melalui persamaan dan perkiraan yang ada (Zikanov, 2010).

Terdapat 3 tahapan untuk mendapatkan solusi yaitu *Theoretical approach*, *Experimental approach* dan *Numerical approach*. *Theoretical approach* merupakan tahapan penyelesaian permasalahan dengan menggunakan sebuah persamaan matematika untuk mendapatkan solusi secara analisis. *Experimental approach* merupakan tahapan percobaan yang dilakukan dengan cara mendesain suatu objek nyata dan disimulasikan melalui perangkat lunak CFD. *Numerical approach* merupakan tahapan secara komputasi dengan tujuan untuk mencari solusi akhir dari suatu permasalahan (Zikanov, 2010).

Menurut Tuakia (2008) proses simulasi CFD dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu:

1. *Pre-processing*

Pre-processor merupakan tahapan awal dalam menganalisis sebuah model CFD. Model yang telah dibuat diterjemahkan kedalam *software* untuk disimulasi. Hal yang harus diperhatikan dalam tahapan ini yaitu, mendesain bentuk geometri yaitu bronkus, membentuk grid (*mesh*) pada model dan menentukan batas (*boundary*) berupa *inlet* (saluran fluida masuk), *outlet* (saluran fluida keluar), dan *wall* (dinding pembatas).

2. *Solver Manager*

Solver manager merupakan tahapan proses pemecahan secara numerik pada CFD. Penyelesaian pada tahapan solver menggunakan metode volume hinggayang memiliki tiga tahapan yaitu melakukan aproksimasi aliran yang tidak diketahui dengan fungsi sederhana, melakukan diskritisasi dengan memsubstitusikan hasil aproksimasi ke dalam persamaan aliran yang dibangun disertai manipulasi matematik dan penyelesaian persamaan secara aljabar.

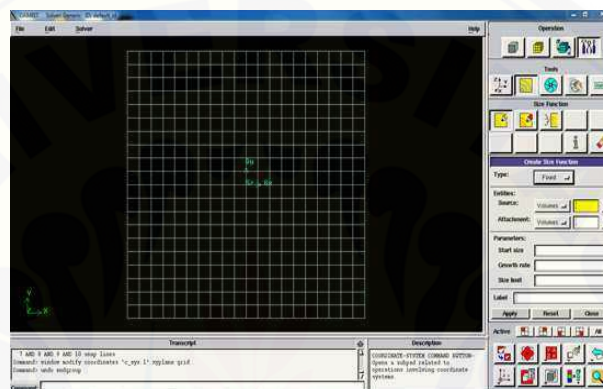
3. *Postprocessing*

Postprocessing merupakan tahapan akhir dalam simulasi CFD. Tahapan ini merupakan hasil gabungan dari tahapan *preprocessing* dan *solver manager* yang direpresentasikan ke dalam bentuk grafik, gambar, vektor, dengan pola warna tertentu yang menjelaskan aliran fluida.

2.8 Perangkat Lunak CFD

Perangkat lunak adalah seluruh perintah yang digunakan melalui kecanggihan teknologi untuk memproses informasi. Perangkat lunak berupa program dan prosedur yang telah *terinstall*. Program merupakan kumpulan perintah yang mendasari antara perangkat lunak (*software*) dan program komputer (Wahid, 2004: 2). Pada penelitian ini perangkat lunak yang digunakan yaitu GAMBIT dan FLUENT.

2.8.1 GAMBIT

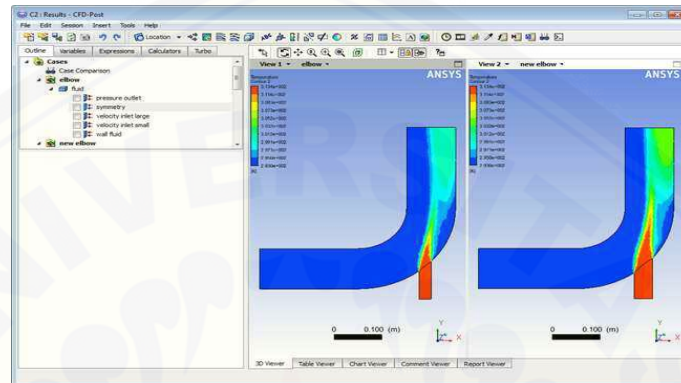


Gambar 2.11 Tampilan GAMBIT

Menurut Tuakia (2008) GAMBIT (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) merupakan alat *pre-processor* yang digunakan untuk membuat model dan *meshing* yang selanjutnya dianalisis menggunakan program CFD. GAMBIT berfungsi untuk mengkonstruksi bentuk secara geometris. Pada *software* ini terdapat beberapa menu untuk membuat bentuk geometris serta bentuk yang tidak teratur. GAMBIT dapat membuat berbagai macam bentuk dua dimensi atau tiga dimensi, bahkan bentuk tak beraturan dan rumit. Hal ini dikarenakan GAMBIT dapat melakukan proses diskritisasi (*meshing*) dengan berbagai macam *mesh* seperti *mesh* heksahedral terstruktur dan tidak terstruktur, tetrahedral, piramid, dan prisma. *Meshing* mempermudah dalam melakukan komputasi karena dapat membagi bentuk geometri dari objek yang diteliti. Ukuran *mesh* yang terdapat pada suatu objek mempengaruhi ketelitian dan daya komputasi analisis CFD. Semakin kecil atau halus *mesh* yang dibuat,

maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, namun dibutuhkan daya komputasi yang semakin besar. Tahapan terakhir dalam penggunaan GAMBIT yaitu menentukan jenis kondisi batas *boundary condition*. Proses dikritisasi yang telah dibuat pada GAMBIT kemudian dianalisis menggunakan FLUENT.

2.8.2 FLUENT



Gambar 2.12 Tampilan FLUENT
(sumber:www.google.com)

FLUENT adalah perangkat lunak komputer yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida dan perpindahan panas. Aliran fluida dan perpindahan panas dapat disimulasikan pada bentuk atau geometri yang rumit. Simulasi dengan menggunakan program FLUENT dapat diketahui dengan parameter-parameter aliran dan perpindahan panas yang diinginkan. Kecepatan aliran, laju aliran massa, distribusi temperatur, distribusi tekanan, dan pola aliran fluida yang terjadi dapat diketahui pada tiap titik yang terdapat dalam sistem yang dianalisa (Tuakia, 2008: 133). Setelah melakukan analisis CFD pada model, langkah-langkah yang dilakukan untuk menyelesaikan analisis CFD pada FLUENT sebagai berikut:

1. membuat geometri dan mesh pada model menggunakan GAMBIT;
2. memilih *solver* yang tepat 2D atau 3D;
3. mengimpor *mesh* model (*grid*) dari GAMBIT;
4. melakukan pemeriksaan pada *mesh* model;

5. memilih *solver*;
6. memilih persamaan dasar yang dipakai dalam analisis, misalnya: laminar, turbulen, reaksi kimia, perpindahan kalor, dan lain-lain;
7. menentukan sifat material yang dipakai;
8. menentukan kondisi batas;
9. mengatur parameter kontrol solusi;
10. *initialize the flow field*;
11. melakukan perhitungan/iterasi;
12. memeriksa hasil iterasi yang dapat ditampilkan dalam bentuk kontur, vektor dan lain sebagainya (Jufrianto et al, 2014).

Berdasarkan langkah-langkah tersebut, FLUENT dapat memberikan hasil simulasi berupa gambaran yang mendekati kondisi sebenarnya. Pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB 7.0 untuk menampilkan grafik hubungan antar variabel, GAMBIT untuk menampilkan bentuk geometri aliran udara dan FLUENT versi 6.0 untuk mensimulasikan aliran udara yang dihasilkan berupa gambaran yang mendekati keadaan sebenarnya.

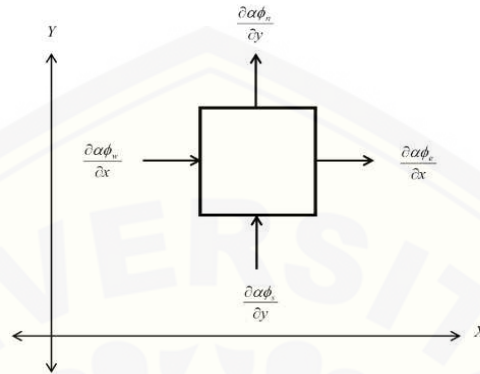
2.9 Metode Volume Hingga

Metode volume hingga merupakan metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada model matematika dengan suatu titik diskrit yang kontinu dan jarak antara titik dengan membentuk suatu grid atau *mesh*. Menurut Aspley (dalam Niam, 2011:20) metode volume hingga sangat sesuai diterapkan pada permasalahan aliran fluida dan aerodinamika yang bentuknya tidak beraturan seperti aliran udara.

Pada penelitian ini menggunakan metode volume hingga karena penelitian ini menggunakan aliran fluida berupa gas. Bentuk geometri metode volume hingga umumnya tidak beraturan seperti gas atau udara. Aliran suatu fluida dapat dibangun dengan persamaan matematika dengan menggunakan rumus-rumus fisika seperti hukum kontinuitas massa, hukum kekekalan energi, dan persamaan momentum. Didalam penelitian ini dibangun suatu persamaan matematika yaitu persamaan kontinuitas massa dan momentum.

2.9.1 Persamaan Kontinuitas Massa

Semua persamaan differensial dasar gerak fluida dapat diturunkan dengan meninjau sebuah volume keunsuran atau suatu sistem keunsuran (White *et al.*, 1986:202).



Gambar 2.13 Bagan Volume Kendali Persamaan Kontinuitas Massa

Persamaan massa yang dibentuk berdasarkan hukum kekekalan massa dengan bentuk persamaan massa adalah:

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = 0 \quad (2.3)$$

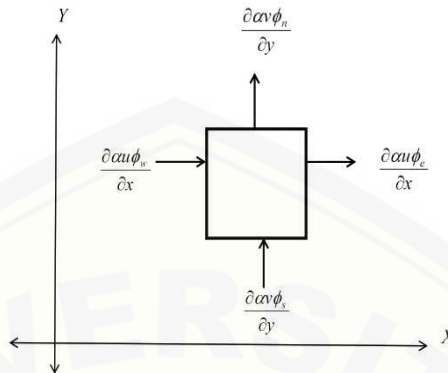
Karena objek yang diteliti tidak terlihat berupa gas atau udara, maka *pure rate* = *output* - *input*.

$$\frac{\partial \phi_0}{\partial t} + [output-input] = 0 \quad (2.4)$$

2.9.2 Persamaan Momentum

Persamaan momentum merupakan bentuk persamaan diferensial yang menghubungkan gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali. ΣF adalah gaya-gaya yang bekerja pada volume kendali yaitu *pressure*/tekanan (P),

gravitasi (g), dan gaya kekentalan (μ). Fluks momentum terjadi di keempat sisi seperti pada Gambar 2.16 yaitu dua masuk dan dua keluar. (White, 1986:209).



Gambar 2.14 Bagan Volume Kendali Persamaan Momentum

Berdasarkan hukum kekekalan momentum maka rumus umum dari persamaan momentum adalah:

$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [pure\ rate] = \sum F \quad (2.5)$$

Karena objek yang diamati tidak terlihat yaitu berupa gas atau udara, maka $pure\ rate = output - input$.

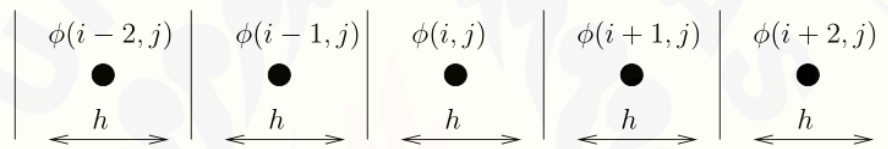
$$\frac{\partial \rho \phi_0}{\partial t} + [output-input] = \sum F \quad (2.6)$$

2.10 Teknik Diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Convective Kinematics* (QUICK)

Diskritisasi adalah cara yang digunakan untuk memecah domain atau daerah perhitungan menjadi beberapa daerah-daerah kecil yang disebut dengan *grid* atau *mesh* dengan tujuan untuk mempermudah dalam memperoleh penyelesaian atau solusi numerik. Dalam penelitian ini, teknik diskritisasi yang digunakan adalah teknik diskritisasi *Quadratic Upwind Interpolation Convective*

Kinematics (QUICK). Bentuk geometris dari aliran fluida pada masing-masing domain dibuat dalam bentuk *grid*. *Grid* dari domain dapat berupa *grid* yang terstruktur atau *grid* tidak terstruktur dan *grid* dalam koordinat kartesius atau *grid* non kartesius. Masing-masing *grid* memiliki kontrol *face* dan kontrol *node*. Kontrol bidang untuk dua dimensi terdiri dari w, e, n, dan s, sedangkan kontrol titik terdiri dari W, E, N dan S. Aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial dimodelkan dalam bentuk dua dimensi pada arah horizontal (pada sumbu- x) dan arah vertikal (pada sumbu- y). Kontrol *face* untuk dua dimensi terdiri dari ϕ_w , ϕ_e , ϕ_n , dan ϕ_s , sedangkan kontrol titik terdiri dari ϕ_W , ϕ_E , ϕ_n , dan ϕ_s (Fatahillah, 2014).

Pendiskritisasian dengan menggunakan metode QUICK untuk merubah nilai pada bidang menjadi nilai pada titik, diilustrasikan seperti Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Diskritisasi QUICK
(Sumber: Fatahillah, 2011)

QUICK *scheme* pada Apsley (dalam Fatahillah, 2014), untuk kecepatan lebih besar dari nol adalah:

$$\phi_n(i, j) = \phi(i, j) + g_1(\phi(i+1, j) - \phi(i, j)) + g_2(\phi(i, j) - \phi(i-1, j)) \quad (2.7)$$

dengan bobot g_1 :

$$g_1 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i, j) - \phi(i-1, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{3}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{3}{8} \quad (2.8)$$

dan bobot untuk g_2 :

$$g_2 = \frac{[\phi_n(i, j) - \phi(i, j)][\phi_n(i+1, j) - \phi(i, j)]}{[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)][\phi(i+1, j) - \phi(i-1, j)]} = \frac{(\frac{1}{2}h)(\frac{1}{2}h)}{(h)(2h)} = \frac{1}{8} \quad (2.9)$$

Substitusikan nilai g_1 dan g_2 , sehingga diperoleh rumus untuk $\phi_n(i, j)$:

$$\begin{aligned}
\phi_w(i, j) &= \phi(i-1, j) + g_1[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] + g_2[\phi(i-1, j) - \\
&\quad \phi(i-2, j)] \\
&= \phi(i-1, j) + \frac{3}{8}[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i-1, j) - \\
&\quad \phi(i-2, j)] \\
&= -\frac{1}{8}\phi(i-2, j) + \frac{3}{4}\phi(i-1, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j)
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh nilai $\phi_s(i, j)$, $\phi_e(i, j)$, $\phi_w(i, j)$ yaitu:

$$\begin{aligned}
\phi_s(i, j) &= \phi(i, j-1) + g_1[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] + g_2[\phi(i, j-1) - \\
&\quad \phi(i, j-2)] \\
&= \phi(i, j-1) + \frac{3}{8}[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j-1) - \\
&\quad \phi(i, j-2)] \\
&= -\frac{1}{8}\phi(i, j-2) + \frac{3}{4}\phi(i, j-1) + \frac{3}{8}\phi(i, j)
\end{aligned} \tag{2.11}$$

$$\begin{aligned}
\phi_e(i, j) &= \phi(i, j) + g_1[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)] + g_2[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] \\
&= \phi(i, j) + \frac{3}{8}[\phi(i+1, j) - \phi(i, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j) - \phi(i-1, j)] \\
&= -\frac{1}{8}\phi(i-1, j) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i+1, j)
\end{aligned} \tag{2.12}$$

$$\begin{aligned}
\phi_n(i, j) &= \phi(i, j) + g_1[\phi(i, j+1) - \phi(i, j)] + g_2[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] \\
&= \phi(i-1, j) + \frac{3}{8}[\phi(i, j+1) - \phi(i, j)] + \frac{1}{8}[\phi(i, j) - \phi(i, j-1)] \\
&= -\frac{1}{8}\phi(i, j-1) + \frac{3}{4}\phi(i, j) + \frac{3}{8}\phi(i, j+1)
\end{aligned} \tag{2.13}$$

Keterangan:

g_1 = gaya permukaan 1,

g_2 = gaya permukaan 2,

i = diskritisasi pada sumbu- x ,

j = diskritisasi pada sumbu- y ,

ϕ_n = kontrol permukaan *north* atau utara,

- ϕ_s = kontrol permukaan *south* atau selatan,
- ϕ_e = kontrol permukaan *east* atau timur,
- ϕ_w = kontrol permukaan *west* atau barat.

2.11 Algoritma dan Pemrograman MATLAB

2.11.1 Algoritma dan Pemrograman

Algoritma merupakan kumpulan perintah yang saling berkaitan untuk menyelesaikan suatu masalah. Penyelesaian algoritma menggunakan sebuah komputer. Komputer dirancang untuk melaksanakan perintah yang diberikan oleh pengguna. Perintah tersebut berupa kumpulan instruksi-instruksi yang disebut dengan program. Program dalam algoritma ditulis dalam bahasa yang biasa disebut bahasa pemrograman (*Programming Language*). Menurut Sukajani (2013:2) algoritma harus memenuhi lima kriteria sebagai berikut:

1. *Input* (Masukan)

Terdapat interaksi pengguna dengan program yang memungkinkan program untuk menerima data atau informasi.

2. *Output* (Keluaran)

Aktifitas program yang telah mendapatkan perintah dari pengguna akan memberikan informasi atau solusi dari permasalahan yang ada. Output yang dihasilkan kurang lebih satu buah keluaran.

3. *Definiteness* (kepastian)

Setiap instruksi yang dimasukkan jelas dan dapat dipahami.

4. *Fititeness* (Keterbatasan)

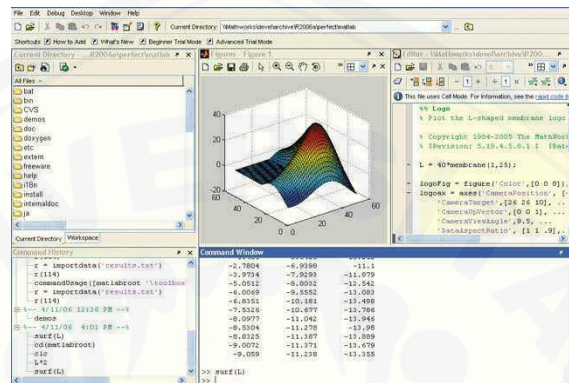
Pengguna memberikan instruksi dari suatu algoritma yang dilakukan dengan sejumlah langkah yang terbatas hingga mendapat suatu penyelesaian yang mendekati sebenarnya.

5. *Effectiveness* (Efektivitas)

Suatu keadaan yang menunjukkan tingkat keberhasilan dalam mencapai sebuah tujuan tertentu. Keberhasilan ini dapat dilihat dari hasil output yang telah dikerjakan.

Berdasarkan uraian di atas, algoritma merupakan suatu prosedur sistematis tertentu yang digunakan dalam memecahkan suatu permasalahan. Setiap penyelesaian masalah yang dilakukan sesuai dengan langkah-langkah tertentu yang telah dirancang akan memperoleh suatu penyelesaian dengan tepat.

2.11.2 MATLAB 7.0 (*Matrix Laboratory*)



Gambar 2.16 Tampilan MATLAB
(sumber:www.mathworks.com)

MATLAB (*Matrix Laboratory*) adalah sebuah program yang digunakan untuk analisis dan komputasi numerik yang merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks (Arhami dan Desiani, 2005: 1). MATLAB juga mampu menampilkan suatu data dalam bentuk dua dimensi maupun tiga dimensi.

Menurut Ramza (2007:1) MATLAB telah berkembang menjadi sebuah pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi untuk melakukan pengelolaan sinyal, aljabar linear, dan kalkulasi matematis lainnya. Pengguna MATLAB meliputi bidang-bidang berikut:

1. matematika dan komputasi;
2. pembentukan algoritma akuisisi data;
3. pemodelan, simulasi, dan pembuatam prototype;
4. analisis data, eksplorasi, dan visualisasi grafik;

5. keilmuan dan bidang rekayasa.

Kelebihan MATLAB:

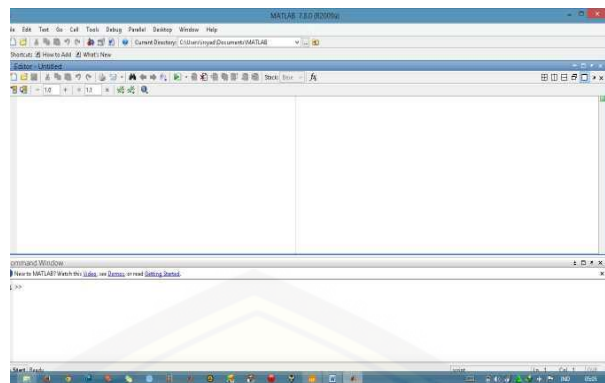
1. mampu mengintegrasikan kemampuan komputasi, visualisasi, dan pemograman;
2. kemampuan grafis yang cukup handal, salah satunya yaitu kualitas menggambar grafik 3 dimensi;
3. ukuran file, baik *FIG-file* maupun *M-file* yang dihasilkan relatif kecil (Pusadan, 2014: 1);
4. MATLAB dapat dihubungkan dengan aplikasi bahasa pemograman seperti C, Java, NET, dan Microsoft Excel (Tjolleng, 2017:1).

Kelemahan MATLAB yaitu MATLAB tidak dapat membaca satuan yang digunakan.

Beberapa menu tampilan yang dimiliki *software* MATLAB adalah sebagai berikut (Setyaningsih, 2015: 32-33):

1. *Command Window* (jendela perintah)

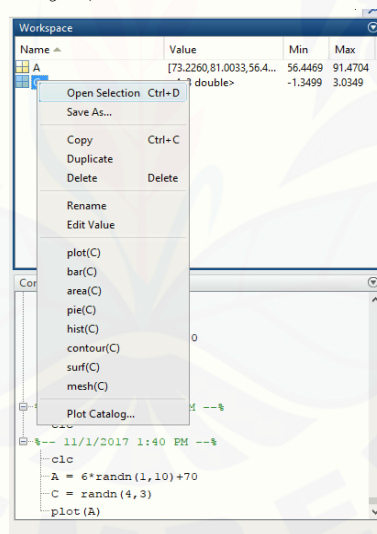
Command Window adalah jendela yang digunakan untuk menuliskan atau menginput semua perintah MATLAB, seperti menuliskan perintah berupa perhitungan sederhana, mencari informasi (*help*), tentang sebuah fungsi dengan aturan penulisannya memanggil fungsi, dan lain sebagainya. Setiap penulisan perintah selalu diawali dengan tanda *prompt* (\gg). Pada *software* MATLAB versi baru tanpa menulis *prompt* (\gg) secara otomatis akan muncul.



Gambar 2.17 Tampilan Command Windows
(sumber:www.google.com)

2. *Workspace* (jendela ruang kerja)

Workspace berisi informasi penggunaan variabel di dalam memori MATLAB. Jendela ini menampilkan semua variabel yang pernah dibuat meliputi nama variabel, ukuran, jumlah *byte*, dan *class*.



Gambar 2.18 Tampilan Command Workspace
(sumber:www.google.com)

3. *Command History* (jendela ruang kerja)

Jendela *history* berisi informasi tentang perintah yang pernah dituliskan sebelumnya. Untuk menampilkan kembali perintah yang telah dibuat dengan

menekan tombol panah keatas atau klik perintah jendela *history*, kemudian melakukan *copy-paste* ke *command window*.



Gambar 2.19 Tampilan Command History
(sumber:www.google.com)

2.12 Metode Gauss Seidel

Suatu persamaan linier dapat diselesaikan menggunakan dua metode, yaitu metode langsung dan metode tidak langsung (iteratif). Contoh metode langsung yaitu metode invers, eliminasi Gauss, dan dekomposisi LU. Sedangkan metode iteratif merupakan metode dengan penentuan nilai awal (x_0) untuk membangun urutan aproksimasi terbaik dalam pemecahan eksak. Contoh metode iteratif yaitu iterasi Jacobian, iterasi Gauss-Seidel, dan iterasi SOR.

Pada penelitian ini menggunakan metode Gauss-Seidel. Menurut Samosir (dalam ali, 2018: 33) metode Gauss-Seidel merupakan metode yang menggunakan proses iterasi hingga diperoleh nilai-nilai yang berubah-ubah. Metode ini merupakan metode yang sangat cocok dalam perhitungan iterasi (perhitungan berulang). Perhitungan pada metode tersebut berupa nilai hasil perhitungan pada baris awal yang langsung digunakan untuk perhitungan selanjutnya, sehingga hal ini membuat konvergensi akan lebih cepat didapat. Selain itu dengan metode ini pembulatan dapat diperkecil dengan meneruskan iterasinya sebanyak mungkin hingga didapatkan solusi sesuai dengan batasan yang ditentukan.

Suatu sistem persamaan linier dapat dituliskan dengan bentuk $AX = B$,

dengan A merupakan matriks koefisien dari x , X merupakan matriks variabel sistem persamaan, dan B merupakan matriks konstanta dari sistem persamaan. Sistem $AX = B$ dan Q adalah matriks *non-singular* dapat dituliskan dalam bentuk:

$$AX = B \quad (2.14)$$

$$(Q - A)X + AX = (Q - A)X + B$$

$$QX = (Q - A)X + B \quad (2.15)$$

Selanjutnya dapat dituliskan dalam bentuk iterasi ke- k :

$$QX^{(k)} = (Q - A)X^{(k-1)} + B, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.16)$$

Sebuah matriks A dapat dituliskan dalam bentuk $A = L + D + U$, dengan L adalah matriks segitiga bawah, D adalah matriks diagonal, dan U adalah matriks segitiga atas. Pada iterasi Gauss-Seidel dipilih $Q = D + L$, tetapi pada iterasi SOR dipilih $Q = \frac{1}{\omega}D + L$ dengan ω adalah faktor skala. Sehingga Persamaan (2.16) menjadi:

$$\begin{aligned} QX^{(k)} &= (Q - A)X^{(k-1)} + B \\ \left(\frac{1}{\omega}D + L\right)X^{(k)} &= \left(\frac{1}{\omega}D + L - A\right)X^{(k-1)} + B \\ \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D + D + L - A\right)X^{(k-1)} + B \\ \frac{1}{\omega}DX^{(k)} &= -LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D - U\right)X^{(k-1)} + B \\ \omega D^{-1} \left(\frac{1}{\omega}DX^{(k)}\right) &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\left(\frac{1}{\omega} - 1\right)D - U\right)X^{(k-1)} + B \right] \\ X^{(k)} &= \omega D^{-1} \left[-LX^{(k)} + \left(\frac{1}{\omega}D - D - U\right)X^{(k-1)} + B \right] \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned}
X^{(k)} &= -\omega D^{-1} L X^{(k)} + (1 - \omega - \omega D^{-1} U) X^{(k-1)} + \omega D^{-1} B \\
X^{(k)} &= (1 - \omega) X^{(k-1)} - \omega D^{-1} L X^{(k)} - \omega D^{-1} U X^{(k-1)} + \omega D^{-1} B \\
X^{(k)} &= (1 - \omega) X^{(k-1)} - \omega D^{-1} (L X^{(k)} + U X^{(k-1)} - B) \quad (2.18)
\end{aligned}$$

untuk $k = 1, 2, 3, \dots$. Sistem persamaan linier merupakan sistem persamaan dengan pangkat dari variabelnya adalah 1. Sistem persamaan linier dengan n persamaan dan n variabel dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n &= b_1 \\
a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n &= b_2 \\
a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + \dots + a_{3n}x_n &= b_3 \\
&\vdots \\
a_{n1}x_1 + a_{n2}x_2 + a_{n3}x_3 + \dots + a_{nn}x_n &= b_n
\end{aligned} \quad (2.19)$$

dapat dituliskan dalam bentuk pemecahan mulai x_1 sampai x_n seperti berikut:

$$\begin{aligned}
x_1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 - \dots - a_{1n}x_n) \\
x_2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1 - a_{23}x_3 - \dots - a_{2n}x_n) \\
x_3 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1 - a_{32}x_2 - \dots - a_{3n}x_n) \\
&\vdots \\
x_n &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1})
\end{aligned} \quad (2.20)$$

Pada iterasi Gauss-Seidel nilai x_1 yang telah diperoleh dimasukkan kedalam x_2 yang akan dicari, karena nilai x_1 yang diperoleh lebih dekat dengan nilai eksak. Selanjutnya untuk mencari nilai x_3 maka tinggal memasukkan nilai x_1 dan x_2 yang telah diperoleh. Dan seterusnya sampai diperoleh akar dari sistem persamaan

tersebut. Berikut contoh langkah-langkah penyelesaiannya:

o iterasi ke-1

$$\begin{aligned}
 x_1^1 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^0 - a_{13}x_3^0 - \dots - a_{1n}x_n^0) \\
 x_2^1 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^1 - a_{23}x_3^0 - \dots - a_{2n}x_n^0) \\
 x_3^1 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^1 - a_{32}x_2^1 - \dots - a_{3n}x_n^0) \\
 &\vdots \\
 x_n^1 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^1 - a_{n2}x_2^1 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1}^1)
 \end{aligned} \tag{2.21}$$

o iterasi ke-2

$$\begin{aligned}
 x_1^2 &= \frac{1}{a_{11}}(b_1 - a_{12}x_2^1 - a_{13}x_3^1 - \dots - a_{1n}x_n^1) \\
 x_2^2 &= \frac{1}{a_{22}}(b_2 - a_{21}x_1^2 - a_{23}x_3^1 - \dots - a_{2n}x_n^1) \\
 x_3^2 &= \frac{1}{a_{33}}(b_3 - a_{31}x_1^2 - a_{32}x_2^2 - \dots - a_{3n}x_n^1) \\
 &\vdots \\
 x_n^2 &= \frac{1}{a_{nn}}(b_n - a_{n1}x_1^2 - a_{n2}x_2^2 - \dots - a_{nn-1}x_{n-1}^2)
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

o dan seterusnya sampai langkah k .

Sehingga untuk mencari nilai x_i menggunakan iterasi Gauss-Seidel dengan langkah $k = 1, 2, 3, \dots$ adalah,

$$x_i^k = \frac{1}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \tag{2.23}$$

Sedangkan untuk mencari nilai x_i menggunakan iterasi SOR dengan $i = 1, 2, 3, \dots, n$ untuk langkah k adalah,

$$x_i^k = (1 - \omega)x_i^{k-1} + \frac{\omega}{a_{ii}} \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij}x_j^k - \sum_{j=1+1}^n a_{ij}x_j^{k-1} \right) \tag{2.24}$$

(Anton, 1987:359).

Pada persamaan (2.18) dan persamaan (2.24), untuk $\omega = 1$ akan diperoleh metode Gauss Seidell. Metode Gauss Seidell inilah yang akan digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan linear yang muncul dalam penyelesaian numerik dari persamaan diferensial parsial tertentu.

2.13 Galat (*Error*)

Galat atau biasa disebut error dalam metode numerik adalah selisih antara nilai eksak (nilai sejati) dengan nilai yang dihasilkan dengan metode numerik atau yang biasa disaebut dengan nilai hampiran (nilai aproksimasi). Hasil yang diperoleh bukanlah hasil yang sama persis dengan nilai sejatinya, namun merupakan hasil yang diperoleh dengan proses iterasi (*lopping*) untuk mendekati nilai yang sebenarnya. Semakin kecil nilai galat (mendekati nol), maka dapat dikatakan metode numerik yang digunakan efektif. Begitu sebaliknya, jika nilai galat semakin besar maka metode numerik yang digunakan terdapat kesalahan. Hubungan antara hasil eksak atau nilai sejati dan aproksimasinya dapat dirumuskan sebagai:

$$\text{galat} = \text{nilai sejati} - \text{nilai aproksimasi}$$

Menurut Volkov (dalam Sahid, 2005:3) beberapa sumber galat (error) pada suatu lampiran penyelesaian yang diperoleh dengan menggunakan suatu metode komputasi numerik adalah:

1. model matematika untuk suatu fenomena alam;
2. metode penyelesaian;
3. adanya pembulatan di dalam melakukan operasi-operasi jenis kain pada bilangan-bilangan terkait.

Juliana dkk (2011: 34-35) terdapat tiga kesalahan numerik yang pasti terjadi, yaitu:

a) Kesalahan Pembulatan (*round-off error*)

Kesalahan pembulatan timbul jika angka-angka hasil pembulatan digunakan untuk menyatakan angka signifikan. Kesalahan ini terjadi karena komputer

atau kalkulator hanya mampu menyimpan sejumlah angka tertentu yaitu sampai 14 angka signifikan. Hampir semua proses perhitungan dalam metode numerik menggunakan bilangan real. Adanya pembulatan galat dikarenakan penyajian bilangan real yang panjangnya tak terhingga dan tidak bisa disajikan secara tepat.

b) Kesalahan Pemotongan (*truncation error*)

Kesalahan pemotongan merupakan kesalahan yang dihasilkan dari penggunaan suatu pendekatan sebagai pengganti prosedur matematika eksak. Penurunan rumus pada metode numerik menggunakan proses iterasi yang tak terhingga, sehingga jumlah iterasi tidak terbatas atau sampai ke- n . Galat pemotongan akan semakin kecil apabila nilai n diperbesar, namun jumlah proses perhitungannya semakin banyak.

c) Kesalahan Pemenggalan (*chopping error*)

kesalahan pemenggalan terjadi karena pemotongan digit angka.

2.14 Penelitian yang Relevan

Penelitian yang relevan sebagai acuan dalam penelitian ini yaitu penelitian yang dilakukan oleh Wei Hsin Chen, Kuo Hao Lee, Justus Kavita Mutuku, dan Chii Jong Hwang (2018) yang berjudul "*Flow Dynamics and PM 2.5 Deposition in Healthy and Asthmatic Airways at Different Inhalation Statuses*". Penelitian ini mensimulasikan aliran udara pengidap penyakit asma dibawah tiga kondisi, yaitu ketika seseorang dalam kondisi sedang beristirahat, beraktivitas ringan, dan berolahraga. Hasil penelitian tersebut terbukti bahwa penderita asma lebih rentan kambuh ketika mereka dalam kondisi berolahraga atau beraktivitas berat. Hal ini disebabkan karena presentase pengendapan partikel paling besar terjadi ketika aktivitas tersebut. Ketika seseorang beristirahat, otot-otot pada pembuluh darah menjadi rileks sehingga udara memiliki ruang untuk masuk ataupun keluar. Beda halnya ketika seseorang dalam kondisi beraktivitas berat, otot-otot yang ada pada pembuluh darah semakin sempit dan tegang. Sehingga udara yang masuk atau keluar akan menjadi sulit dan mengakibatkan seseorang sesak napas.

Berdasarkan uraian diatas, dalam penelitian membahas aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial. Penelitian ini mengembangkan model

matematika pada literatur sebelumnya dan lebih fokus terhadap pengaruh ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal. Penelitian ini menggunakan metode volume hingga dengan pendekatan diskritisasi QUICK dalam penyelesaian model matematika. Proses analisis dan simulasi model matematika menggunakan *software* MATLAB dan FLUENT.

Berikut merupakan hasil model matematika aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial:

$$\begin{aligned}
 & -\phi_e[(-\alpha + \alpha u)\Delta y\Delta t] + \phi_w[(\alpha - \alpha u)\Delta y\Delta t] - \phi_n[(-\alpha + \alpha v)\Delta x\Delta t] + \\
 & \phi_s[(\alpha - \alpha v)\Delta x\Delta t] = \frac{-\alpha P}{\rho}\Delta y\Delta t - \frac{\alpha P}{\rho}\Delta x\Delta t + (2\mu\alpha u + \mu\alpha v)\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} + \\
 & (2\mu\alpha v + \mu\alpha u) + \frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} + (F_{pf} + Stk_n)\Delta x\Delta y\Delta t + (\mu u + \mu v)\Delta t \quad (2.25)
 \end{aligned}$$

dengan,

$$\begin{aligned}
 F_{pf} &= \frac{1}{8}\pi\pi_p^2\rho C_D(u - u_p)|u - u_p| \\
 Stk_n &= \frac{9U\pi\mu D_{ave}^2}{2Q\rho_p d_p^2 C_c \alpha_p}(u - u_p) + \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p}g
 \end{aligned}$$

BAB 3. METODE PENELITIAN

Dalam bagian ini dipaparkan terkait jenis penelitian, definisi operasional, prosedur penelitian, tempat penelitian, metode pengumpulan data, data dan analisis data, instrument validasi, dan metode analisis validasi.

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian simulasi. Penelitian simulasi merupakan bentuk penelitian yang bertujuan untuk mencari gambaran melalui sebuah sistem sederhana (model) yang dilakukan dengan memanipulasi untuk mendapatkan pengaruh yang mirip dengan keadaan sebenarnya (Setyawan, 2017: 78). Penelitian ini memodelkan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial yang dipengaruhi oleh ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal aliran udara, sehingga diperoleh hasil atau data-data yang mendekati keadaan sebenarnya.

3.2 Definisi Operasional

Untuk menghindari perbedaan pemahaman beberapa istilah yang digunakan dalam penelitian, berikut merupakan definisi operasional pada penelitian ini:

1. model matematika merupakan salah satu cara untuk merepresentasikan permasalahan *rill* ke dalam bentuk persamaan matematika. Persamaan tersebut menyajikan hubungan antara variabel dan parameter yang terlibat dalam suatu sistem. Persamaan matematika yang diperoleh mengandung variabel yaitu ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal aliran udara.
2. asma bronkial merupakan penyakit penyempitan saluran napas pada bronkus yang letaknya pada paru-paru manusia. Penyempitan saluran napas ini membuat penderita kesulitan dalam menghembuskan napasnya.
3. *Particulat Matter 2.5* merupakan sebuah partikel sejenis dengan debu yang dapat mengakibatkan penyakit asma.

4. metode volume hingga adalah diartikan sebagai salah satu metode numerik yang digunakan dalam penyelesaian dari model matematika. Metode volume hingga digunakan untuk objek yang bentuknya tidak beraturan.
5. *Computational Fluids Dynamics* (CFD) merupakan ilmu yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisis aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait seperti reaksi kimia dengan simulasi berbasis komputer. Pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB, GAMBIT, dan FLUENT. *Software* MATLAB digunakan untuk menampilkan grafik hubungan antar variabel yang terkait, GAMBIT digunakan untuk menampilkan bentuk geometri aliran udara dan FLUENT digunakan untuk mensimulasikan aliran udara yang dihasilkan.

3.3 Prosedur Penelitian

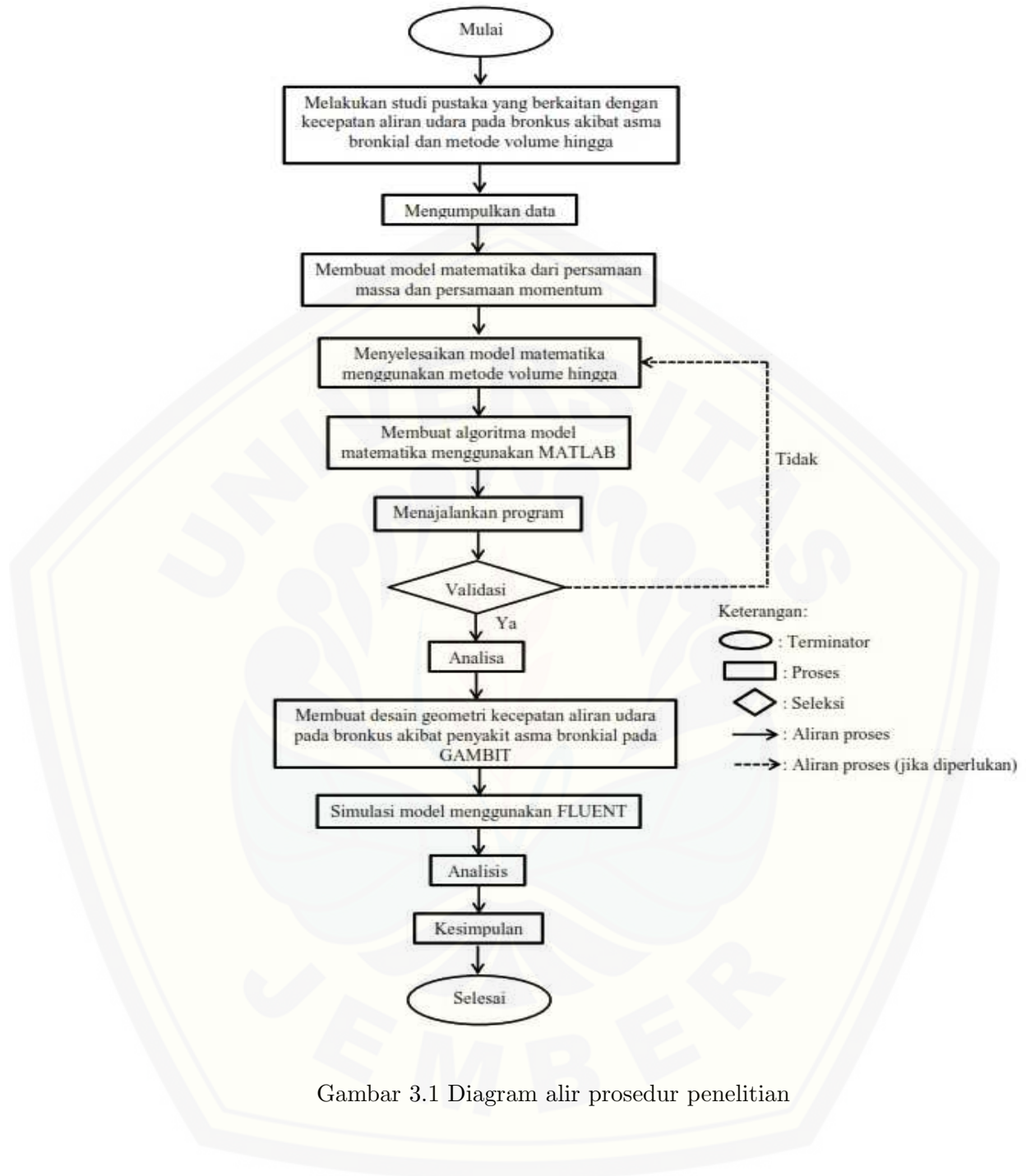
prosedur atau serangkaian kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. melakukan studi pustaka yang berkaitan dengan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial, variabel-variabel yang mempengaruhi kecepatan aliran udara dan metode volume hingga;
2. mengumpulkan data berdasarkan literatur yang sesuai dengan keadaan sebenarnya diantaranya yaitu panjang dan diameter bronkus pada orang dewasa, penyempitan saluran napas pada penderita asma bronkial;
3. menentukan variabel yang diteliti. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal aliran udara, sedangkan variabel terikatnya yaitu kecepatan aliran udara pengidap penyakit asma bronkial;
4. mengembangkan model matematika dari persamaan momentum dan persamaan kontinuitas massa guna mengasah;
5. menyelesaikan model matematika menggunakan metode volume hingga;
6. membuat algoritma dan pemrograman MATLAB;
7. menjalankan program dan menganalisis algoritma aliran udara pengidap penyakit asma bronkial;

8. membuat desain geometri dan menentukan batas kecepatan aliran udara penderita asma bronkial menggunakan *software* GAMBIT;
9. membuat simulasi aliran udara pengidap penyakit asma pada bronkus akibat penyakit asma bronkial menggunakan *software* FLUENT;
10. menganalisis hasil dari penyimulasian model dengan *software* FLUENT;
11. memberikan kesimpulan dan hasil.

Untuk lebih memahami langkah-langkah dalam penelitian ini, dapat dilihat dalam diagram alir (*flowchart*) pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

3.4 Tempat Penelitian

Penyelesaian numerik dan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* dilakukan di laboratorium matematika gedung III FKIP Universitas Jember yang telah tersedia sarana dan prasarana yang mendukung seperti dengan adanya komputer yang dilengkapi dengan program MATLAB untuk penyelesaian numerik dan FLUENT untuk simulasi pemodelan serta berbagai sumber-sumber elektronik lainnya.

3.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan teknik atau cara yang digunakan untuk mendapatkan data dalam suatu penelitian. Pengumpulan data dapat diperoleh dari hasil observasi, wawancara, dokumentasi, dan gabungan atau triangulasi (Sugiono, 2014). Pada penelitian ini menggunakan metode dokumentasi sebagai metode pengumpulan data. Menurut Arikunto (2006), metode dokumentasi merupakan metode pengumpulan data yang berupa hal-hal atau variabel yang terdiri dari catatan, transkrip, buku, surat kabar, majalah, prasasti, notulen rapat, agenda, dan lain sebagainya. Penelitian ini memperoleh data-data yang berasal dari berbagai sumber yaitu jurnal, buku cetak, *e-book*, dan berbagai informasi lainnya dari internet. Data yang dikumpulkan sesuai dengan permasalahan pada penelitian ini yaitu mengidentifikasi pengaruh ukuran jari-jari bronkus dan kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara pengidap penyakit asma. Informasi tersebut berupa penjelesan terkait ukuran jari-jari bronkus (R), massa jenis udara (ρ), kekentalan zat (μ), kecepatan udara (v), panjang saluran pernapasan (l), dan beberapa rumus fisika dasar yang mempengaruhi kecepatan aliran udara.

3.6 Data dan Analisis Data

Analisis data merupakan suatu langkah yang sangat penting dalam mengolah data untuk menghasilkan kesimpulan yang akurat. Analisis data dalam penelitian ini menjabarkan tentang perhitungan terhadap indikator-indikator yang telah diukur dan diamati modelnya menggunakan data simulasi. Langkah pertama adalah membangun model matematika aliran

udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial. Selanjutnya menyelesaikan model matematika tersebut dengan menggunakan metode volume hingga, kemudian melakukan diskritisasi menggunakan teknik QUICK hingga diperoleh matriks yang menyatakan persamaan dari setiap kontrol volume. Persamaan tersebut kemudian diselesaikan secara numerik menggunakan *software* MATLAB sehingga mendapatkan penyelesaian numerik yang konvergen. Hasil dari penyelesaian ini mendekati penyelesaian eksak dari persamaan diferensialnya. Apabila mendapatkan *error* yang kecil pada saat melakukan perhitungan MATLAB (nilai numerik) dengan nilai sebenarnya (nilai sejati), maka hasil yang didapat sudah benar. Akan tetapi, apabila hasil dari perhitungan MATLAB (nilai numerik) dengan nilai sebenarnya (nilai sejati) terjadi perbedaan yang signifikan, maka terdapat kesalahan pada saat memodelkan dan melakukan validasi ulang proses penurunan rumus dan juga penyelesaian dengan MATLAB.

Pada penelitian ini *error* yang digunakan adalah *Error Relative*. Batasan untuk *error* adalah 0,01. Dengan batasan *error* sebesar 1% tersebut sudah menggambarkan akurasi yang baik. Keakuratan penyelesaian model matematika aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial dapat ditentukan dengan *error relative* yang terdapat pada metode Gauss-Seidel. Setelah melakukan perhitungan secara numerik terhadap model matematika aliran udara pengidap penyakit asma bronkial yaitu membentuk objek geometri aliran udara tersebut menggunakan *software* GAMBIT dan mensimulasikan kecepatan aliran udara menggunakan *software* FLUENT. Dari simulasi tersebut aliran udara pada bronkus penyakit asma bronkial ditampilkan secara visual atau gambar 3 dimensi.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Model matematika kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial merupakan persamaan yang dinyatakan berdasarkan persamaan massa dan momentum. Model matematika tersebut diselesaikan menggunakan metode volume hingga dengan teknik diskritisasi QUICK. Berikut adalah persamaannya.

$$\begin{aligned}
 & -\phi_e[(-\alpha + \alpha u)\Delta y\Delta t] + \phi_w[(\alpha - \alpha u)\Delta y\Delta t] - \phi_n[(-\alpha + \alpha v)\Delta x\Delta t] + \\
 & \phi_s[(\alpha - \alpha v)\Delta x\Delta t] = \frac{-\alpha P}{\rho}\Delta y\Delta t - \frac{\alpha P}{\rho}\Delta x\Delta t + (2\mu\alpha u + \mu\alpha v)\frac{\Delta y\Delta t}{\Delta x} + \\
 & (2\mu\alpha v + \mu\alpha u) + \frac{\Delta x\Delta t}{\Delta y} + (F_{pf} + Stk_n)\Delta x\Delta y\Delta t + (\mu u + \mu v)\Delta t \quad (5.1)
 \end{aligned}$$

dengan,

$$\begin{aligned}
 F_{pf} &= \frac{1}{8}\pi\pi_p^2\rho C_D(u - u_p)|u - u_p| \\
 Stk_n &= \frac{9U\pi\mu D_{ave}^2}{2Q\rho_p d_p^2 C_c \alpha_p}(u - u_p) + \frac{\rho_p - \rho_f}{\rho_p}g
 \end{aligned}$$

2. Grafik hasil simulasi MATLAB pengaruh ukuran jari-jari bronkus 0.008 *m*, 0.010 *m* dan 0.012 *m* berturut-turut pada titik domain ke-1 sebesar 0.9905 *m/s*, 0.9904 *m/s* dan 0.9904 *m/s*. Kemudian ketiganya naik secara signifikan hingga mencapai puncak pada titik domain ke-8 sebesar 1.0344 *m/s*, 1.0163 *m/s* dan 1.0055 *m/s* dan ketiganya turun dari titik domain ke-9 sampai ke-16 sebesar 0.9901 *m/s*. Kecepatan rata-rata aliran udara berdasarkan pengaruh ukuran jari-jari bronkus 0.008 *m*, 0.010 *m* dan 0.012 *m* adalah 1.0058 *m/s*, 1.0002 *m/s* dan 0.9965 *m/s*. Hal ini berarti semakin kecil jari-jari bronkus yang mengalami penyempitan akibat penyakit asma bronkial, maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan semakin besar pada daerah penyempitan tersebut.
3. Grafik hasil simulasi MATLAB pengaruh kecepatan awal 0.6 *m/s*, 0,8 *m/s* dan 1.0 *m/s* berturut-turut pada titik domain ke-1 sebesar 0.6189 *m/s*,

0.8080 m/s dan 1.0070 m/s . Kemudian ketiganya naik secara signifikan hingga mencapai puncak pada titik ke-8 sebesar 1.0350 m/s , 1.7930 m/s dan 2.5890 m/s dan ketiganya turun dari titik domain ke-9 sampai ke-16 masing-masing sebesar 0.6136 m/s , 0.7955 m/s dan 0.9870 m/s . Kecepatan rata-rata aliran udara berdasarkan pengaruh kecepatan awal 0.6 m/s , 0,8 m/s dan 1.0 m/s adalah 0.7787 m/s , 1.1865 m/s dan 1.6096 m/s . Hal ini berarti semakin besar kecepatan awal yang diberikan, maka kecepatan aliran udara yang dihasilkan juga semakin besar.

4. Metode volume hingga merupakan metode yang efektif untuk menganalisis kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial dengan tingkat kesalahan perhitungan error pada setiap node kurang dari 0.001.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis model matematika kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma:

1. Pemodelan kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial menggunakan metode volume hingga dapat dikembangkan pada penyakit pernapasan lainnya.
2. Perlu diadakan penelitian lanjutan mengenai faktor-faktor lain yang berpengaruh.
3. Simulasi kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma dapat dilakukan dengan bantuan *software* simulasi selain MATLAB dan FLUENT.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, M. Agustus, 2017. *Pemodelan Sistem*. Sleman: CV Budi Utama. 63.
- Arhami, M. dan A. Desiani. 2005. *Pemrograman MATLAB*. Yogyakarta: ANDI.
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Cahyono, Tri, S. 2017. *Penyehatan Udara*. Yogyakarta: CV. Andi offset.
- Chen, W.H., Hao Lee, K., Mutuku, J. K., dan Jong Hwang, C. 2018. *Flow Dynamics and PM 2.5 Deposition in Healthy and Asthmatic Airways at Different Inhalation Statuses*. Taiwan.
- Djojodibroto, D. 2009. *Respirologi (Respiratory Medicine)*. Jakarta :EGC..
- Smith, M, E., Elstad, M. *Mitomycin C and the endoscopic treatment of laryngotracheal stenosis: are two applications better than one?*. 2009.
- Efiah. 2008. *Sistem pada Tubuh Manusia*. Fakultas Kedokteran: Universitas Jember.
- Fatahillah, Arif. 2014. *Analisis Numerik Profil Sedimentasi Pasir pada Pertemuan Dua Sungai Berbantuan Software Fluent*. Kadikma, No. 3, Vol. 5, hal 35-40.
- Fatahillah, Dafik, EE Riastutik, Susanto. 2014. *The Analysis of Air Circulation on Coffee Plantation Based on the Level of Plants Roughness and Diamond Ladder Graph Cropping Pattern using Finite Volume Method*. Unej, No. 9, Vol. 7, hal 28.
- Fathuroya, V., Muchlisiyah, J., Izza, N., dan Sudarmint. November 2017. *Fisika Dasar Ilmu Pangan*. Malang: UB Press. 23
- Gardner, G.H.F., Gardner L.W dan Gregory. *Formation velocity and density the diagnostic basics for srtatigraphics traps*. 1974. Geophysics. 39: 770-780 (online).
- Gunawan, D dan Mulyani, S. *Ramuan Tradisional untuk Asma*. 2002. Jakarta: PT. Penebar Swadaya.

- Hobri. 2010. *Metodologi Penelitian Pengembangan Aplikasi pada Penelitian Pendidikan Matematika*. Jember: Pena Salsabila.
- Juliana, R. J., Siswantoro, J., Asmawati, E., dan Herlambang, A. 2011. *Metode Numerik dengan Scilab*. Malang: Bayumedia Publishing.
- Martini, S., Lestari, K. S., Artanti, K. D., Megatsari, H., dan Widati, S. 2016. *Perbedaan Hasil Pemeriksaan Kadar PM_{2.5} di Kota Surabaya berdasarkan Jenis Sarana*. 154.
- Naga, S. S. 2013. *Buku Panduan Ilmu Penyakit Dalam*. Jogjakarta: Diva Press.
- Ndii, M. Z. Desember, 2018. *Pemodelan Matematika Dinamika Populasi Dan Penyebaran Penyakit Teori, Aplikasi, dan Numerik*. Sleman: CV Budi Utama.
- Niam, A. G. 2011. *Simulasi Distribusi Suhu dan Pola Pergerakan Udara pada Rumah Tanaman Tipe Standart Peak Berventilasi Menggunakan CFD*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ns.Mustikawati, S. M. 2017. *Anatomi dan Fisiologi*. Jakarta Timur: CV. Trans Info Media.
- Probst,R., Grevers,G., Iro,H. 2006. *Basic Anatomy and Physiology of the Ear. In:Basic Otolaryngology, A Step By Step Learning Guide*. Thieme.
- Pusadan, Y, M. 2014. *Pemrograman MATLAB pada Sistem Pakar Fuzzy*. Yogyakarta: CV Budi Utama.
- Samosir, Ken Kevin dan Masykur. 2014. *Perbandingan Metode Fast-Decouple dan Metode Gauss-Seidell dalam Solusi Aliran Daya Sistem Distribusi 20KV dengan Menggunakan Etap Power Station dan MATLAB*. Singuda Ensikom, No.2, Vol. 7, hal 55-60.
- Setiadi. 2007. *Anatomi dan Fisiologi Manusia*.Yograkarta: Graha Ilmu.
- Setyaningsih, E. *Kriptografi dan Implementasinya menggunakan Matlab*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Setyawan, F.E.B. Juli 2017. *Pedoman Metodologi Penelitian (Statistika Praktis)*. Sidoarjo: Jivatama Jawara. 78

- Sugiyono. 2014. *Metode penelitian pendidikan pendekatan kualitatif dan RnD*. Bandung: Alfabeta.
- Suhendra. 2019. *Konsep Dasar dan Aplikasi Mekanika Fluida Bidang Teknis Mesin*. Sidoarjo: Uwais Inspirasi Indonesia.
- Sukajani, M. 2013. *Algoritma*. Jakarta: Mitra Wacana Media. 2
- Susanto, A. D., Purwitasari, M., Antariksa, B., Sowmarwoto, R. A., dan Mustofa, S. Juli 2018. *Dampak Polusi Udara terhadap Asma*. Lampung: Universitas Lampung. Vol. 2, No. 2.
- Tjolleng, A. 2017. *Pengantar Pemograman MATLAB*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.
- Tuakia, F. 2008. *Dasar-dasar CFD menggunakan FLUENT*. Bandung: Informatika.
- Vitahealth, T. 2006. *Asma*. Jakarta: PT.Gramedia Pustaka Utama. 23-25
- Wahid, Fathul. 2004. *Dasar-Dasar Algoritma dan Pemograman*. Yogyakarta. Andi offset 2, 34.
- W.F.Ganong, MD. 2008. *Fisiologi Kedokteran*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC. 670
- White dan Frank, M. 1986. *Mekanika Fluida*. Jakarta: Erlangga.
- Widowati dan Sutimin. 2007. *Pemodelan Matematika*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Zhang Q, Qiu Z, Chung KF, Huang SK. *Link between Environmental Air Pollution and Allergic Asthma: East meets West*. J Thorac Dis.2015; 7(1):14-22.
- Zikanov. 2010. *Essential Computational Fluid Dynamics*. Canada: John Willey and Sins.

LAMPIRAN A. FORMAT *PROGRAMMING* MATLAB

A.1 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma yang dipengaruhi oleh Ukuran Jari-jari Bronkus

```

clear all;
clc;
disp('=====');
disp('=          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA          =');
disp('=          PADA BRONKUS AKIBAT PENYAKIT ASMA          =');
disp('=          DIPENGARUHI OLEH JARI-JARI BRONKUS          =');
disp('=          MENGGUNAKAN METODE GAUSS SEIDEL          =');
disp('=          Oleh: DIAH PUTRI MADINDA          =');
disp('=          NIM 160210101007          =');
disp('=====');
%TAHAP INPUT
m=16;
n=1;
rmin=0.008;           %jari-jari bronkus minimal (m)
rmax=0.012;           %jari-jari bronkus maksimal (m)
dr=(rmax-rmin)/2;     %rata-rata jari-jari bronkus (m)
xall_plot=[];
tol=0.001;            %toleransi
N=10;                 %batas maksimum iterasi
X0=zeros(m,1);
X0(1:1:m)=2 ;
%TAHAP INISIALISASI
miuf=1.8*(10^-5);     %viskositas udara (Ns/m^2)
rho=1.2;              %massa jenis udara (kg/m^3)
rhop=1000;            %massa jenis udara (kg/m^3)
up=0.01;              %kecepatan partikel (m/s)
dp =0.0000025;        %diameter partikel (m)
CD=0.82;              %koefisien geser
g=9.8;                %gaya gravitasi (m/s^2)
Cc=1.5;               %cunningham
v=0.08;               %kecepatan awal (m/s)
phi=22/7;             %phi
alphap=0.25;          %interaksi antar partikel
alpha=1;              %volume udara
Q=0.1;                %kecepatan udara (m/s)
u=0.1;                %kecepatan udara (m/s)
l=0.05;               %panjang saluran pernapasan (m)

```

```

Fpf=((rho*phi*phi*CD)*((u-up)*abs(u-up)))/8; %gaya geser (N)
deltt=300;
deltx=0.002004;
delty=0.00085;
Xall_plot=[];
for r=rmin:dr:rmax; %jari-jari bronkus (m)
    Stk=(2*Q*rho*(dp^2)*Cc*alphap)/(9*phi*miuf*((2*r)^3));%rumus penyempitan
    Stkn=((u*(u-up))/(Stk*(2*r)))+(((rhop-rho)*g)/rhop);%hukum stokes number
    A1=phi*(r^2); %luas penampang bronkus (m^2)
    D=A1*v ; %debit (m^3/s)
    p=(8*miuf*D*l)/(phi*(r^4)); %tekanan (Pa)
    X_all=[];
%TAHAP PENDEFINISIAN MATRIK
A=(-1/8)*(-alpha+alpha*u)*delty*deltt;
B=((7/8)*(alpha-alpha*u)*delty*deltt;
C=((3/8)*(-alpha+alpha*u)*delty*deltt)+(((3/8)*(-alpha+alpha*v))*
deltx*deltt)
D=((3/8)*(-alpha+alpha*u)*delty*deltt;
E=(-1/8)*(alpha+alpha*v)*deltx*deltt;
F=((7/8)*(alpha+alpha*v)*deltx*deltt;
G=((3/8)*(-alpha+alpha*v)*deltx*deltt;
H((((-alpha*p)/rho)*delty*deltt)+(((alpha*p)/rho)*deltx*deltt)+
((2*miuf*alpha*u)+(miuf*alpha*v)*delty*deltt/deltx)+((2*miuf*alpha*v)+
(miuf*alpha*u)*deltx*deltt/delty)+((Fpf+Stk)*deltx*delty*deltt)+
(miuf*u+miuf*v)*deltt);
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK
K=zeros(m*n:m*n);
%pendefinisian untuk i-2,j
K(3:m*n+1:(m^2*n^2)-2*(m*n))=A;
K((m-2)*m*n+(m+1):m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
K((m-1)*m*n+(m+2):m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
%pendefinisian untuk i-1,j
K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j-2

```

```

K(m*2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;
%pendefinisian untuk i,j-1
K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%pendefinisian untuk i,j+1
K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G; K;
%pendefinisian konstanta
L(1:(m*n),1)=H;

%TAHAP Pengerjaan Matriks
R=X0'; w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N;
    for i=1:m*n;
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:m*n)*X0(i+1:m*n);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)+eps);
    X0=X1;
    R=[R,X0'];
    if(error<tol)|(reller<tol);
        break
    end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]); R; X1;
X_all=[X_all X1]; Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)]; end

%PLOT GRAFIK
plot(1:m*n,Xall_plot(:,:),1:m*n,Xall_plot(:,:),'bd','MarkerEdgeColor','K',
     'MarkerFaceColor','r');
xlabel('panjang domain');
ylabel('Kecepatan aliran udara (m/s)');
title('Simulasi Kecepatan Aliran Udara berdasarkan Ukuran Jari-Jari Bronkus');
legend(strcat('jari-jari bronkus = ',num2str((rmin:dr:rmax)'),'m'));
grid on;
hold on;
disp('Gauss-Seidel method converged');

```

A.2 Format *Programming* Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma yang dipengaruhi oleh Kecepatan Awal

```

clear all;
clc;
disp('=====');
disp('          SIMULASI PROGRAM KECEPATAN ALIRAN UDARA          ');
disp('          PADA BRONKUS AKIBAT PENYAKIT ASMA                ');
disp('          DIPENGARUHI OLEH KECEPATAN AWAL                    ');
disp('          MENGGUNAKAN METODE GAUSS SEIDEL                      ');
disp('          Oleh: DIAH PUTRI MADINDA                            ');
disp('          NIM 160210101007                                    ');
disp('=====');
%TAHAP INPUT
m=16;
n=1;
v1=0.8; %kecepatan awal minimal (m/s)
v2=1.0; %kecepatan awal maksimal (m/s)
dv=(v2-v1)/2; %rata-rata kecepatan (m/s)
xall_plot=[];
tol=0.001; %toleransi
N=10; %batas maksimum iterasi
X0=zeros(m,1);
X0(1:1:m)=2 ;
%TAHAP INISIALISASI
miuf=1.8*(10^-5); %viskositas udara (Ns/m^2)
rho=1.2; %massa jenis udara (kg/m^3)
rhop=1000; %massa jenis udara (kg/m^3)
up=0.01; %kecepatan partikel (m/s)
dp =0.0000025; %diameter partikel (m)
CD=0.82; %koefisien geser
g=9.8; %gaya gravitasi (m/s^2)
Cc=1.5; %cunningham
phi=22/7; %phi
alphap=0.25; %interaksi antar partikel
alpha=1; %volume udara
Q=0.1; %kecepatan sumbu x (m/s)
u=2; %kecepatan sumbu x (m/s)
v=3; %kecepatan sumbu y (m/s)
l=0.05; %panjang saluran pernapasan (m)

```



```

deltt=0.06;
deltx=0.00914;
delty=0.00765;
Fpf=((rho*phi*phi*CD)*((u-up)*abs(u-up)))/8; %gaya geser (N)
Stk=(2*Q*rho*(dp^2)*Cc*alphap)/(9*phi*miuf*((2*rc)^3));%rumus penyempitan
Stkn=((u*(u-up))/(Stk*(2*r)))+(((rho*phi*miuf*g)/rho)); %hukum stokes number
Xall_plot=[];
for vi=v1:dv:v2; %kecepatan udara (m/s)
    A1=phi*(rc^2); %luas penampang bronkus (m^2)
    D=A1*vi; %debit (m^3/s)
    p=(8*miuf*D*1)/(phi*(rc^4)); %tekanan (Pa)
    X_all=[];
%TAHAP PENDEFINISIAN MATRIK
A=(-1/8)*(-alpha+alpha*u)*delty*deltt;
B=((7/8)*(alpha-alpha*u)*delty*deltt;
C=((3/8)*(-alpha+alpha*u)*delty*deltt)+(((3/8)*(-alpha+alpha*v))*
deltx*deltt)
D=((3/8)*(-alpha+alpha*u)*delty*deltt;
E=(-1/8)*(alpha+alpha*v)*deltx*deltt;
F=((7/8)*(alpha+alpha*v)*deltx*deltt;
G=((3/8)*(-alpha+alpha*v)*deltx*deltt;
H((((-alpha*p)/rho)*delty*deltt)+((((-alpha*p)/rho)*deltx*deltt)+
((2*miuf*alpha*u)+(miuf*alpha*v)*delty*deltt/deltx)+((2*miuf*alpha*v)+
(miuf*alpha*u)*deltx*deltt/delty)+((Fpf+Stk)*deltx*delty*deltt)+
((miuf*u+miuf*v)*deltt);
%TAHAP PEMBANGUNAN MATRIK
K=zeros(m*n:m*n);
%pendefinisian untuk i-2,j
K(3:m*n+1:(m^2*n^2)-2*(m*n))=A;
K((m-2)*m*n+(m+1):m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
K((m-1)*m*n+(m+2):m*(m*n+1):m*n*(m*n-2))=0;
%pendefinisian untuk i-1,j
K(2:m*n+1:m*n*(m*n-1))=B;
K(m*n*(m-1)+m+1:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j
K(1:m*n+1:m^2*n^2)=C;
%pendefinisian untuk i+1,j
K(m*n+1:m*n+1:m^2*n^2-1)=D;
K(m^2*n+m:m*(m*n+1):m*n*(m*n-1))=0;
%pendefinisian untuk i,j-2
K(m*2+1:m*n+1:m^2*n*(n-2))=E;

```

```

%pendefinisian untuk i,j-1
    K(m+1:m*n+1:m^2*n*(n-1))=F;
%pendefinisian untuk i,j+1
    K(m^2*n+1:m*n+1:m^2*n^2-m)=G; K;
%pendefinisian konstanta
    L(1:(m*n),1)=H;

%TAHAP Pengerjaan Matriks
R=X0'; w=length(L);
X1=X0;
for k=1:N;
    for i=1:m*n;
        S=L(i)-K(i,1:i-1)*X1(1:i-1)-K(i,i+1:m*n)*X0(i+1:m*n);
        X1(i)=S/K(i,i);
    end
    e=abs(X1-X0);
    error=norm(e);
    reller=error/(norm(X1)+eps);
    X0=X1;
    R=[R,X0'];
    if(error<tol)|(reller<tol);
        break
    end
end
disp(['besarnya error= ',num2str(error)]);
disp(['besarnya relatif error= ',num2str(reller)]); R; X1;
X_all=[X_all X1]; Xall_plot=[Xall_plot X_all(:,end)]; end

%PLOT GRAFIK
plot(1:m*n,Xall_plot(:,:),1:m*n,Xall_plot(:,:),'bd','MarkerEdgeColor','K',
    'MarkerFaceColor','r');
xlabel('panjang domain');
ylabel('Kecepatan aliran udara (m/s)');
title('Simulasi Kecepatan Aliran Udara berdasarkan Kecepatan Awal');
legend(strcat('kecepatan awal = ',num2str((v2:-dv:v1))),'m/s');
grid on;
hold on;
disp('Gauss-Seidel method converged');

```

LAMPIRAN B. HASIL SIMULASI PROGRAM MATLAB

B.1 Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma dengan jari-jari Bronkus 0.008 *m*, 0.010 *m* dan 0.012 *m*

Node ke-	0.008 <i>m</i>	0.010 <i>m</i>	0.012 <i>m</i>
1	0.9905	0.9904	0.9904
2	0.9919	0.9915	0.9912
3	0.9946	0.9936	0.9927
4	0.9995	0.9970	0.9949
5	1.0073	1.0019	0.9980
6	1.0180	1.0080	1.0013
7	1.0290	1.0137	1.0042
8	1.0344	1.0163	1.0055
9	1.0304	1.0144	1.0046
10	1.0199	1.0090	1.0019
11	1.0088	1.0028	0.9985
12	1.0005	0.9977	0.9954
13	0.9952	0.9940	0.9930
14	0.9922	0.9918	0.9914
15	0.9906	0.9905	0.9905
16	0.9901	0.9901	0.9901

B.2 Simulasi Kecepatan Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma dengan Kecepatan Awal 0.6 m/s, 0.8 m/s dan 1.0 m/s

Node ke-	0.6 m/s	0.8 m/s	1.0 m/s
1	0.6189	0.8080	1.0070
2	0.6376	0.8524	1.0780
3	0.6732	0.9364	1.2130
4	0.7301	1.0710	1.4300
5	0.8107	1.2620	1.7360
6	0.9077	1.4910	2.1040
7	0.9953	1.6980	2.4370
8	1.0350	1.7930	2.5890
9	1.0060	1.7230	2.4770
10	0.9233	1.5280	2.1640
11	0.8256	1.2970	1.7920
12	0.7414	1.0980	1.4730
13	0.6807	0.9543	1.2420
14	0.6421	0.8629	1.0950
15	0.6209	0.8128	1.0150
16	0.6136	0.7955	0.9870

LAMPIRAN C1. ITERASI GAUSS SEIDEL

Tabel iterasi kecepatan aliran udara berdasarkan jari-jari bronkus 0.008 m .

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902
node-2	0.9905	0.9905	0.9906	0.9906	0.9907	0.9907	0.9908	0.9908	0.9909	0.9909
node-3	0.9919	0.9920	0.9922	0.9922	0.9923	0.9924	0.9925	0.9926	0.9927	0.9928
node-4	0.9946	0.9947	0.9948	0.9948	0.9949	0.9950	0.9952	0.9953	0.9955	0.9957
node-5	0.9995	0.9997	0.9998	1.0001	1.0004	1.0006	1.0009	1.0012	1.0014	1.0015
node-6	1.0073	1.0076	1.0078	1.0080	1.0083	1.0085	1.0089	1.0090	1.0092	1.0095
node-7	1.0180	1.0183	1.0186	1.0189	1.0190	1.0194	1.0195	1.0197	1.0199	1.0202
node-8	1.0290	1.0294	1.0295	1.0296	1.0298	1.0300	1.0302	1.0303	1.0304	1.0305
node-9	1.0320	1.0319	1.0318	1.0316	1.0315	1.0312	1.0310	1.0307	1.0304	1.0300
node-10	1.0304	1.0303	1.0303	1.0301	1.0299	1.0290	1.0288	1.0280	1.0276	1.0273
node-11	1.0199	1.0197	1.0196	1.0194	1.0193	1.0190	1.0189	1.0187	1.0180	1.0178
node-12	1.0088	1.0086	1.0085	1.0082	1.0080	1.0076	1.0075	1.0074	1.0070	1.0066
node-13	1.0005	1.0002	1.0001	0.9999	0.9996	0.9994	0.9990	0.9989	0.9987	0.9986
node-14	0.9952	0.9950	0.9947	0.9946	0.9946	0.9945	0.9945	0.9944	0.9943	0.9943
node-15	0.9922	0.9919	0.9918	0.9918	0.9918	0.9917	0.9917	0.9916	0.9916	0.9915
node-16	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903
node-2	0.9910	0.9910	0.9910	0.9911	0.9911	0.9911	0.9912	0.9912	0.9912	0.9913
node-3	0.9928	0.9929	0.9930	0.9930	0.9931	0.9932	0.9933	0.9933	0.9934	0.9935
node-4	0.9959	0.9959	0.9960	0.9961	0.9961	0.9962	0.9963	0.9965	0.9966	0.9967
node-5	1.0017	1.0020	1.0023	1.0027	1.0030	1.0031	1.0035	1.0038	1.0043	1.0049
node-6	1.0100	1.0113	1.0115	1.0120	1.0122	1.0126	1.0130	1.0134	1.0136	1.0144
node-7	1.0204	1.0207	1.0212	1.0219	1.0224	1.0225	1.0227	1.0230	1.0234	1.0237
node-8	1.0306	1.0306	1.0307	1.0309	1.0310	1.0311	1.0312	1.0313	1.0315	1.0320
node-9	1.0344	1.0342	1.0342	1.0341	1.0340	1.0338	1.0338	1.0337	1.0336	1.0334
node-10	1.0270	1.0268	1.0265	1.0264	1.0260	1.0258	1.0256	1.0250	1.0249	1.0245
node-11	1.0176	1.0175	1.0172	1.0168	1.0160	1.0158	1.0154	1.0153	1.0151	1.0147
node-12	1.0066	1.0065	1.0060	1.0058	1.0057	1.0055	1.0050	1.0048	1.0045	1.0040
node-13	0.9985	0.9983	0.9980	0.9979	0.9978	0.9978	0.9977	0.9976	0.9976	0.9975
node-14	0.9942	0.9941	0.9938	0.9937	0.9937	0.9936	0.9936	0.9937	0.9937	0.9936
node-15	0.9915	0.9914	0.9915	0.9916	0.9917	0.9918	0.9913	0.9913	0.9913	0.9913
node-16	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904
node-2	0.9913	0.9913	0.9914	0.9914	0.9914	0.9915	0.9915	0.9915	0.9916	0.9916
node-3	0.9936	0.9936	0.9937	0.9937	0.9938	0.9938	0.9939	0.9939	0.9940	0.9940
node-4	0.9967	0.9969	0.9970	0.9972	0.9973	0.9975	0.9977	0.9978	0.9980	0.9981
node-5	1.0053	1.0054	1.0055	1.0055	1.0056	1.0057	1.0060	1.0061	1.0061	1.0062
node-6	1.0148	1.0150	1.0152	1.0152	1.0154	1.0156	1.0157	1.0160	1.0162	1.0165
node-7	1.0239	1.0245	1.0249	1.0252	1.0256	1.0261	1.0265	1.0269	1.0270	1.0274
node-8	1.0322	1.0323	1.0325	1.0327	1.0327	1.0330	1.0331	1.0332	1.0334	1.0337
node-9	1.0332	1.0330	1.0328	1.0328	1.0326	1.0325	1.3225	1.0323	1.0323	1.0322
node-10	1.0243	1.0242	1.0239	1.0237	1.0235	1.0232	1.0230	1.0228	1.0225	1.0220
node-11	1.0145	1.0142	1.0140	1.0138	1.0130	1.0126	1.0120	1.0117	1.0114	1.0110
node-12	1.0037	1.0033	1.0032	1.0030	1.0029	1.0027	1.0024	1.0020	1.0019	1.0019
node-13	0.9974	0.9972	0.9970	0.9967	0.9966	0.9963	0.9962	0.9962	0.9961	0.9961
node-14	0.9935	0.9934	0.9934	0.9933	0.9933	0.9932	0.9931	0.9930	0.9928	0.9927
node-15	0.9913	0.9912	0.9912	0.9912	0.9911	0.9911	0.9911	0.9911	0.9911	0.9910
node-16	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9902	0.9902	0.9902

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40	eksak	error
node-1	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9903	0.0002
node-2	0.9916	0.9916	0.9917	0.9917	0.9917	0.9918	0.9918	0.9918	0.9919	0.9919	0.9918	0.0001
node-3	0.9941	0.9941	0.9942	0.9942	0.9943	0.9943	0.9943	0.9944	0.9945	0.9946	0.9942	0.0004
node-4	0.9981	0.9985	0.9986	0.9988	0.9990	0.9991	0.9992	0.9993	0.9994	0.9995	0.9994	0.0001
node-5	1.0065	1.0066	1.0066	1.0067	1.0068	1.0068	1.0069	1.0070	1.0071	1.0073	1.0072	0.0001
node-6	1.0167	1.0169	1.0170	1.0172	1.0272	1.0173	1.0174	1.0177	1.0179	1.0180	1.0178	0.0002
node-7	1.0250	1.0254	1.0259	1.0267	1.0269	1.0270	1.0276	1.0279	1.0288	1.0290	1.0289	0.0001
node-8	1.0338	1.0339	1.0339	1.0341	1.0341	1.0342	1.0343	1.0343	1.0344	1.0344	1.0342	0.0002
node-9	1.0321	1.0321	1.0318	1.0315	1.0313	1.0310	1.0309	1.0308	1.0307	1.0304	1.0302	0.0002
node-10	1.0219	1.0215	1.0213	1.0210	1.0209	1.0207	1.0205	1.0202	1.0200	1.0199	1.0198	0.0001
node-11	1.0109	1.0105	1.0099	1.0097	1.0096	1.0094	1.0092	1.0091	1.0089	1.0088	1.0085	0.0003
node-12	1.0016	1.0015	1.0012	1.0011	1.0010	1.0009	1.0008	1.0007	1.0006	1.0005	1.0003	0.0002
node-13	0.9960	0.9959	0.9958	0.9957	0.9957	0.9956	0.9954	0.9953	0.9952	0.9952	0.9951	0.0001
node-14	0.9926	0.9926	0.9926	0.9925	0.9925	0.9924	0.9924	0.9923	0.9923	0.9922	0.9920	0.0002
node-15	0.9910	0.9910	0.9909	0.9909	0.9908	0.9908	0.9908	0.9907	0.9907	0.9906	0.9903	0.0003
node-16	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9900	0.0001

LAMPIRAN C2. ITERASI GAUSS SEIDELTabel iterasi kecepatan aliran udara berdasarkan jari-jari bronkus 0.010 m

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9902	0.9902
node-2	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9906	0.9906
node-3	0.9915	0.9915	0.9916	0.9916	0.9916	0.9917	0.9917	0.9917	0.9917	0.9918
node-4	0.9936	0.9936	0.9937	0.9937	0.9938	0.9940	0.9940	0.9941	0.9942	0.9942
node-5	0.9970	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9973	0.9974	0.9975	0.9976	0.9976
node-6	1.0019	1.0020	1.0022	1.0024	1.0026	1.0026	1.0030	1.0032	1.0032	1.0034
node-7	1.0080	1.0081	1.0084	1.0087	1.0089	1.0089	1.0090	1.0092	1.0094	1.0095
node-8	1.0137	1.0139	1.0140	1.0142	1.0144	1.0145	1.0146	1.0147	1.0148	1.0148
node-9	1.0163	1.0161	1.0161	1.0160	1.0159	1.0159	1.0158	1.0156	1.0156	1.0154
node-10	1.0144	1.0140	1.0138	1.0130	1.0126	1.0126	1.0121	1.0116	1.0113	1.0109
node-11	1.0090	1.0089	1.0087	1.0086	1.0086	1.0085	1.0084	1.0082	1.0082	1.0078
node-12	1.0028	1.0027	1.0026	1.0025	1.0025	1.0024	1.0023	1.0020	1.0018	1.0015
node-13	0.9977	0.9976	0.9976	0.9975	0.9975	0.9973	0.9970	0.9968	0.9968	0.9967
node-14	0.9940	0.9939	0.9936	0.9937	0.9936	0.9936	0.9935	0.9935	0.9934	0.9932
node-15	0.9918	0.9918	0.9918	0.9917	0.9916	0.9916	0.9915	0.9915	0.9914	0.9914
node-16	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9904	0.9904

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40	eksak	error
node-1	0.9903	0.9903	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9903	0.0001
node-2	0.9910	0.9910	0.9911	0.9911	0.9911	0.9911	0.9912	0.9913	0.9914	0.9915	0.9914	0.0001
node-3	0.9930	0.9931	0.9932	0.9932	0.9932	0.9933	0.9934	0.9934	0.9935	0.9936	0.9934	0.0002
node-4	0.9961	0.9961	0.9963	0.9963	0.9964	0.9965	0.9965	0.9967	0.9968	0.9970	0.9966	0.0004
node-5	1.0007	1.0007	1.0008	1.0009	1.0009	1.0010	1.0012	1.0014	1.0016	1.0019	1.0018	0.0001
node-6	1.0063	1.0064	1.0065	1.0066	1.0068	1.0070	1.0072	1.0074	1.0079	1.0080	1.0078	0.0002
node-7	1.0131	1.0131	1.0132	1.0132	1.0133	1.0134	1.0134	1.0135	1.0136	1.0137	1.0134	0.0003
node-8	1.0157	1.0157	1.0158	1.0158	1.0159	1.0159	1.0160	1.0161	1.0163	1.0163	1.0161	0.0002
node-9	1.0148	1.0148	1.0148	1.0147	1.0147	1.0146	1.0146	1.0146	1.0145	1.0144	1.0142	0.0002
node-10	1.0115	1.0114	1.0110	1.0105	1.0100	1.0099	1.0098	1.0097	1.0096	1.0090	1.0089	0.0001
node-11	1.0039	1.0038	1.0038	1.0037	1.0035	1.0035	1.0034	1.0030	1.0029	1.0028	1.0027	0.0001
node-12	0.9985	0.9985	0.9984	0.9983	0.9980	0.9979	0.9979	0.9978	0.9977	0.9977	0.9976	0.0001
node-13	0.9948	0.9948	0.9947	0.9947	0.9946	0.9945	0.9945	0.9943	0.9942	0.9940	0.9938	0.0002
node-14	0.9920	0.9920	0.9920	0.9919	0.9919	0.9919	0.9919	0.9918	0.9918	0.9918	0.9917	0.0001
node-15	0.9908	0.9908	0.9907	0.9907	0.9907	0.9907	0.9906	0.9906	0.9905	0.9905	0.9903	0.0002
node-16	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9900	0.0001

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9904	0.9904
node-2	0.9908	0.9908	0.9908	0.9908	0.9908	0.9909	0.9909	0.9909	0.9909	0.9909
node-3	0.9923	0.9923	0.9923	0.9924	0.9924	0.9924	0.9924	0.9925	0.9925	0.9925
node-4	0.9935	0.9935	0.9935	0.9936	0.9937	0.9938	0.9938	0.9939	0.9940	0.9940
node-5	0.9956	0.9956	0.9956	0.9957	0.9958	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963
node-6	0.9991	0.9992	0.9993	0.9994	0.9995	0.9996	0.9997	0.9998	0.9999	1.0000
node-7	1.0036	1.0036	1.0036	1.0037	1.0037	1.0038	1.0038	1.0039	1.0039	1.0039
node-8	1.0051	1.0051	1.0051	1.0051	1.0051	1.0052	1.0052	1.0052	1.0052	1.0052
node-9	1.0045	1.0045	1.0045	1.0045	1.0045	1.0044	1.0044	1.0044	1.0044	1.0043
node-10	1.0026	1.0026	1.0025	1.0025	1.0025	1.0024	1.0024	1.0023	1.0023	1.0023
node-11	0.9993	0.9992	0.9992	0.9991	0.9990	0.9990	0.9990	0.9989	0.9989	0.9989
node-12	0.9968	0.9968	0.9967	0.9967	0.9965	0.9965	0.9964	0.9963	0.9960	0.9959
node-13	0.9939	0.9939	0.9938	0.9938	0.9936	0.9936	0.9936	0.9935	0.9935	0.9935
node-14	0.9920	0.9920	0.9920	0.9919	0.9919	0.9919	0.9919	0.9918	0.9918	0.9918
node-15	0.9908	0.9908	0.9907	0.9907	0.9907	0.9907	0.9907	0.9907	0.9906	0.9906
node-16	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9903	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40	eksak	error
node-1	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9904	0.9903	0.0001
node-2	0.9910	0.9910	0.9910	0.9911	0.9911	0.9911	0.9911	0.9911	0.9912	0.9912	0.9910	0.0002
node-3	0.9925	0.9925	0.9925	0.9926	0.9926	0.9926	0.9927	0.9927	0.9927	0.9927	0.9925	0.0002
node-4	0.9941	0.9942	0.9943	0.9944	0.9945	0.9945	0.9947	0.9948	0.9949	0.9949	0.9947	0.0002
node-5	0.9964	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9980	0.9977	0.0003
node-6	1.0001	1.0002	1.0003	1.0005	1.0007	1.0009	1.0011	1.0012	1.0012	1.0013	1.0011	0.0002
node-7	1.0040	1.0040	1.0040	1.0041	1.0041	1.0041	1.0041	1.0042	1.0042	1.0042	1.0040	0.0002
node-8	1.0053	1.0053	1.0053	1.0054	1.0054	1.0054	1.0054	1.0055	1.0055	1.0055	1.0053	0.0002
node-9	1.0050	1.0050	1.0049	1.0048	1.0048	1.0048	1.0048	1.0047	1.0047	1.0046	1.0044	0.0002
node-10	1.0023	1.0023	1.0022	1.0022	1.0022	1.0020	1.0020	1.0020	1.0019	1.0019	1.0017	0.0002
node-11	0.9989	0.9988	0.9988	0.9988	0.9987	0.9987	0.9986	0.9986	0.9985	0.9985	0.9982	0.0003
node-12	0.9959	0.9959	0.9958	0.9957	0.9956	0.9956	0.9955	0.9955	0.9954	0.9954	0.9951	0.0004
node-13	0.9935	0.9935	0.9934	0.9934	0.9934	0.9933	0.9932	0.9931	0.9930	0.9930	0.9929	0.0001
node-14	0.9918	0.9918	0.9917	0.9917	0.9916	0.9916	0.9915	0.9915	0.9914	0.9914	0.9913	0.0001
node-15	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9905	0.9905	0.9905	0.9905	0.9903	0.0002
node-16	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9902	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9901	0.9903	0.0002

LAMPIRAN C4. ITERASI GAUSS SEIDELTabel iterasi kecepatan aliran udara berdasarkan kecepatan awal 0.6 m/s

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	0.6136	0.6137	0.6138	0.6139	0.6140	0.6141	0.6142	0.6143	0.6144	0.6145
node-2	0.6189	0.6190	0.6200	0.6211	0.6237	0.6256	0.6271	0.6283	0.6293	0.6301
node-3	0.6376	0.6463	0.6528	0.6567	0.6593	0.6612	0.6627	0.6639	0.6649	0.6657
node-4	0.6732	0.7032	0.7097	0.7136	0.7162	0.7181	0.7196	0.7208	0.7218	0.7226
node-5	0.7301	0.7838	0.7903	0.7942	0.7968	0.7987	0.8002	0.8014	0.8024	0.8032
node-6	0.8107	0.8808	0.8873	0.8912	0.8938	0.8957	0.8972	0.8984	0.8994	0.9002
node-7	0.9077	0.9684	0.9749	0.9788	0.9814	0.9833	0.9848	0.9860	0.9870	0.9878
node-8	0.9953	1.0081	1.0146	1.0185	1.0211	1.0230	1.0245	1.0257	1.0267	1.0275
node-9	1.0350	1.0329	1.0264	1.0225	1.0199	1.0180	1.0165	1.0153	1.0143	1.0135
node-10	1.0060	0.9502	0.9437	0.9398	0.9372	0.9353	0.9338	0.9326	0.9316	0.9308
node-11	0.9233	0.8795	0.8730	0.8691	0.8665	0.8646	0.8631	0.8619	0.8609	0.8601
node-12	0.8526	0.7683	0.7618	0.7579	0.7553	0.7534	0.7519	0.7507	0.7497	0.7489
node-13	0.7414	0.7076	0.7011	0.6972	0.6946	0.6927	0.6912	0.6900	0.6890	0.6882
node-14	0.6807	0.6690	0.6625	0.6586	0.6560	0.6541	0.6526	0.6514	0.6504	0.6496
node-15	0.6421	0.6418	0.6413	0.6374	0.6348	0.6329	0.6314	0.6302	0.6292	0.6284
node-16	0.6209	0.6206	0.6204	0.6200	0.6199	0.6197	0.6195	0.6194	0.6194	0.6194

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	0.6146	0.6147	0.6148	0.6149	0.6150	0.6151	0.6152	0.6152	0.6155	0.6158
node-2	0.6308	0.6314	0.6320	0.6324	0.6329	0.6333	0.6336	0.6339	0.6342	0.6345
node-3	0.6664	0.6670	0.6676	0.6680	0.6685	0.6689	0.6692	0.6695	0.6698	0.6701
node-4	0.7233	0.7239	0.7245	0.7249	0.7254	0.7258	0.7261	0.7264	0.7267	0.7270
node-5	0.8039	0.8045	0.8051	0.8055	0.8060	0.8064	0.8067	0.8070	0.8073	0.8076
node-6	0.9009	0.9015	0.9021	0.9025	0.9030	0.9034	0.9037	0.9040	0.9043	0.9046
node-7	0.9885	0.9891	0.9897	0.9901	0.9906	0.9910	0.9913	0.9916	0.9919	0.9922
node-8	1.0282	1.0288	1.0294	1.0298	1.0303	1.0307	1.0310	1.0313	1.0316	1.0319
node-9	1.0128	1.0122	1.0116	1.0112	1.0107	1.0103	1.0100	1.0097	1.0094	1.0091
node-10	0.9301	0.9295	0.9289	0.9285	0.9280	0.9276	0.9273	0.9270	0.9267	0.9264
node-11	0.8594	0.8588	0.8582	0.8578	0.8573	0.8569	0.8566	0.8563	0.8560	0.8557
node-12	0.7482	0.7476	0.7470	0.7466	0.7461	0.7457	0.7454	0.7451	0.7448	0.7445
node-13	0.6875	0.6869	0.6863	0.6859	0.6854	0.6850	0.6847	0.6844	0.6841	0.6838
node-14	0.6489	0.6483	0.6477	0.6473	0.6468	0.6464	0.6461	0.6458	0.6455	0.6452
node-15	0.6277	0.6271	0.6265	0.6261	0.6256	0.6252	0.6249	0.6246	0.6243	0.6240
node-16	0.6193	0.6190	0.6189	0.6188	0.6183	0.6179	0.6176	0.6173	0.6170	0.6167

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	0.6161	0.6163	0.6165	0.6167	0.6169	0.6171	0.6173	0.6175	0.6176	0.6178
node-2	0.6348	0.6350	0.6352	0.6354	0.6356	0.6358	0.6360	0.6362	0.6363	0.6365
node-3	0.6704	0.6706	0.6708	0.6710	0.6712	0.6714	0.6716	0.6718	0.6719	0.6721
node-4	0.7273	0.7275	0.7277	0.7279	0.7281	0.7283	0.7285	0.7287	0.7288	0.7290
node-5	0.8079	0.8081	0.8083	0.8085	0.8087	0.8089	0.8091	0.8093	0.8094	0.8096
node-6	0.9049	0.9051	0.9053	0.9055	0.9057	0.9059	0.9061	0.9063	0.9064	0.9066
node-7	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9933	0.9935	0.9937	0.9939	0.9940	0.9942
node-8	1.0322	1.0324	1.0326	1.0328	1.0330	1.0332	1.0334	1.0336	1.0337	1.0339
node-9	1.0088	1.0086	1.0084	1.0082	1.0080	1.0078	1.0076	1.0074	1.0073	1.0071
node-10	0.9261	0.9259	0.9257	0.9255	0.9253	0.9251	0.9249	0.9247	0.9246	0.9244
node-11	0.8554	0.8552	0.8550	0.8548	0.8546	0.8544	0.8542	0.8540	0.8539	0.8537
node-12	0.7442	0.7440	0.7438	0.7436	0.7434	0.7432	0.7430	0.7428	0.7427	0.7425
node-13	0.6835	0.6833	0.6831	0.6829	0.6827	0.6825	0.6823	0.6821	0.6820	0.6818
node-14	0.6449	0.6447	0.6445	0.6443	0.6441	0.6439	0.6437	0.6435	0.6434	0.6432
node-15	0.6237	0.6235	0.6233	0.6231	0.6229	0.6227	0.6225	0.6223	0.6222	0.6220
node-16	0.6164	0.6162	0.6160	0.6158	0.6156	0.6154	0.6152	0.6150	0.6149	0.6147

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40	ekssak	error
node-1	0.6179	0.6180	0.6182	0.6183	0.6184	0.6185	0.6186	0.6187	0.6188	0.6189	0.6187	0.0002
node-2	0.6366	0.6367	0.6369	0.6370	0.6371	0.6372	0.6373	0.6374	0.6375	0.6376	0.6375	0.0001
node-3	0.6722	0.6723	0.6725	0.6726	0.6727	0.6728	0.6729	0.6730	0.6731	0.6732	0.6730	0.0002
node-4	0.7291	0.7292	0.7294	0.7295	0.7296	0.7297	0.7298	0.7299	0.7300	0.7301	0.7300	0.0001
node-5	0.8097	0.8098	0.8100	0.8101	0.8102	0.8103	0.8104	0.8105	0.8106	0.8107	0.8105	0.0002
node-6	0.9067	0.9068	0.9070	0.9071	0.9072	0.9073	0.9074	0.9075	0.9076	0.9077	0.9074	0.0003
node-7	0.9943	0.9944	0.9946	0.9947	0.9948	0.9949	0.9950	0.9951	0.9952	0.9953	0.9950	0.0003
node-8	1.0340	1.0341	1.0343	1.0344	1.0345	1.0346	1.0347	1.0348	1.0349	1.0350	1.0347	0.0003
node-9	1.0070	1.0069	1.0067	1.0066	1.0065	1.0064	1.0063	1.0062	1.0061	1.0060	1.0058	0.0002
node-10	0.9243	0.9242	0.9240	0.9239	0.9238	0.9237	0.9236	0.9235	0.9234	0.9233	0.9230	0.0003
node-11	0.8536	0.8535	0.8533	0.8532	0.8531	0.8530	0.8529	0.8528	0.8527	0.8526	0.8524	0.0002
node-12	0.7424	0.7423	0.7421	0.7420	0.7419	0.7418	0.7417	0.7416	0.7415	0.7414	0.7410	0.0004
node-13	0.6817	0.6816	0.6814	0.6813	0.6812	0.6811	0.6810	0.6809	0.6808	0.6807	0.6806	0.0001
node-14	0.6431	0.6430	0.6428	0.6427	0.6426	0.6425	0.6424	0.6423	0.6422	0.6421	0.6418	0.0003
node-15	0.6219	0.6218	0.6216	0.6215	0.6214	0.6213	0.6212	0.6211	0.6210	0.6209	0.6207	0.0002
node-16	0.6146	0.6145	0.6143	0.6142	0.6141	0.6140	0.6139	0.6138	0.6137	0.6136	0.6135	0.0001

LAMPIRAN C5. ITERASI GAUSS SEIDELTabel iterasi kecepatan aliran udara berdasarkan kecepatan awal 0.8 m/s

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	0.7662	0.7811	0.7876	0.7915	0.7941	0.7960	0.7975	0.7987	0.7997	0.8005
node-2	0.8080	0.8255	0.8320	0.8359	0.8385	0.8404	0.8419	0.8431	0.8441	0.8449
node-3	0.8524	0.9095	0.9160	0.9199	0.9225	0.9244	0.9259	0.9271	0.9281	0.9289
node-4	0.9364	1.0441	1.0506	1.0545	1.0571	1.0590	1.0605	1.0617	1.0627	1.0635
node-5	1.0710	1.2351	1.2416	1.2455	1.2481	1.2500	1.2515	1.2527	1.2537	1.2545
node-6	1.2620	1.4641	1.4706	1.4745	1.4771	1.4790	1.4805	1.4817	1.4827	1.4835
node-6	1.4910	1.6711	1.6776	1.6815	1.6841	1.6860	1.6875	1.6887	1.6897	1.6905
node-7	1.6980	1.7661	1.7726	1.7765	1.7791	1.7810	1.7825	1.7837	1.7847	1.7855
node-8	1.7930	1.7499	1.7434	1.7395	1.7369	1.7350	1.7335	1.7323	1.7313	1.7305
node-9	1.7230	1.5549	1.5484	1.5445	1.5419	1.5400	1.5385	1.5373	1.5363	1.5355
node-10	1.5280	1.3239	1.3174	1.3135	1.3109	1.3090	1.3075	1.3063	1.3053	1.3045
node-11	1.2970	1.1249	1.1184	1.1145	1.1119	1.1100	1.1085	1.1073	1.1063	1.1055
node-12	1.0980	0.9812	0.9747	0.9708	0.9682	0.9663	0.9648	0.9636	0.9626	0.9618
node-13	0.9543	0.8898	0.8833	0.8794	0.8768	0.8749	0.8734	0.8722	0.8712	0.8704
node-14	0.8629	0.8397	0.8332	0.8293	0.8267	0.8248	0.8233	0.8221	0.8211	0.8203
node-15	0.8128	0.8224	0.8159	0.8120	0.8094	0.8075	0.8060	0.8048	0.8038	0.8030

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	0.8012	0.8018	0.8024	0.8028	0.8033	0.8037	0.8040	0.8043	0.8046	0.8049
node-2	0.8456	0.8462	0.8468	0.8472	0.8477	0.8481	0.8484	0.8487	0.8490	0.8493
node-3	0.9296	0.9302	0.9308	0.9312	0.9317	0.9321	0.9324	0.9327	0.9330	0.9333
node-4	1.0642	1.0648	1.0654	1.0658	1.0663	1.0667	1.0670	1.0673	1.0676	1.0679
node-5	1.2552	1.2558	1.2564	1.2568	1.2573	1.2577	1.2580	1.2583	1.2586	1.2589
node-6	1.4842	1.4848	1.4854	1.4858	1.4863	1.4867	1.4870	1.4873	1.4876	1.4879
node-7	1.6912	1.6918	1.6924	1.6928	1.6933	1.6937	1.6940	1.6943	1.6946	1.6949
node-8	1.7862	1.7868	1.7874	1.7878	1.7883	1.7887	1.7890	1.7893	1.7896	1.7899
node-9	1.7298	1.7292	1.7286	1.7282	1.7277	1.7273	1.7270	1.7267	1.7264	1.7261
node-10	1.5348	1.5342	1.5336	1.5332	1.5327	1.5323	1.5320	1.5317	1.5314	1.5311
node-11	1.3038	1.3032	1.3026	1.3022	1.3017	1.3013	1.3010	1.3007	1.3004	1.3001
node-12	1.1048	1.1042	1.1036	1.1032	1.1027	1.1023	1.1020	1.1017	1.1014	1.1011
node-13	0.9611	0.9605	0.9599	0.9595	0.9590	0.9586	0.9583	0.9580	0.9577	0.9574
node-14	0.8697	0.8691	0.8685	0.8681	0.8676	0.8672	0.8669	0.8666	0.8663	0.8660
node-15	0.8196	0.8190	0.8184	0.8180	0.8175	0.8171	0.8168	0.8165	0.8162	0.8159
node-16	0.8023	0.8017	0.8011	0.8007	0.8002	0.7998	0.7995	0.7992	0.7989	0.7986

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	0.8052	0.8054	0.8056	0.8058	0.8060	0.8062	0.8064	0.8066	0.8067	0.8069
node-2	0.8496	0.8498	0.8500	0.8502	0.8504	0.8506	0.8508	0.8510	0.8511	0.8513
node-3	0.9336	0.9338	0.9340	0.9342	0.9344	0.9346	0.9348	0.9350	0.9351	0.9353
node-4	1.0682	1.0684	1.0686	1.0688	1.0690	1.0692	1.0694	1.0696	1.0697	1.0699
node-5	1.2592	1.2594	1.2596	1.2598	1.2600	1.2602	1.2604	1.2606	1.2607	1.2609
node-6	1.4882	1.4884	1.4886	1.4888	1.4890	1.4892	1.4894	1.4896	1.4897	1.4899
node-7	1.6952	1.6954	1.6956	1.6958	1.6960	1.6962	1.6964	1.6966	1.6967	1.6969
node-8	1.7902	1.7904	1.7906	1.7908	1.7910	1.7912	1.7914	1.7916	1.7917	1.7919
node-9	1.7258	1.7256	1.7254	1.7252	1.7250	1.7248	1.7246	1.7244	1.7243	1.7241
node-10	1.5308	1.5306	1.5304	1.5302	1.5300	1.5298	1.5296	1.5294	1.5293	1.5291
node-11	1.2998	1.2996	1.2994	1.2992	1.2990	1.2988	1.2986	1.2984	1.2983	1.2981
node-12	1.1008	1.1006	1.1004	1.1002	1.1000	1.0998	1.0996	1.0994	1.0993	1.0991
node-13	0.9571	0.9569	0.9567	0.9565	0.9563	0.9561	0.9559	0.9557	0.9556	0.9554
node-14	0.8657	0.8655	0.8653	0.8651	0.8649	0.8647	0.8645	0.8643	0.8642	0.8640
node-15	0.8156	0.8154	0.8152	0.8150	0.8148	0.8146	0.8144	0.8142	0.8141	0.8139
node-16	0.7983	0.7981	0.7979	0.7977	0.7975	0.7973	0.7971	0.7969	0.7968	0.7966

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40	eksak	error
node-1	0.8070	0.8071	0.8073	0.8074	0.8075	0.8076	0.8077	0.8078	0.8079	0.8080	0.8078	0.0002
node-2	0.8514	0.8515	0.8517	0.8518	0.8519	0.8520	0.8521	0.8522	0.8523	0.8524	0.8523	0.0001
node-3	0.9354	0.9355	0.9357	0.9358	0.9359	0.9360	0.9361	0.9362	0.9363	0.9364	0.9362	0.0002
node-4	1.0700	1.0701	1.0703	1.0704	1.0705	1.0706	1.0707	1.0708	1.0709	1.0710	1.0708	0.0002
node-5	1.2610	1.2611	1.2613	1.2614	1.2615	1.2616	1.2617	1.2618	1.2619	1.2620	1.2615	0.0005
node-6	1.4900	1.4901	1.4903	1.4904	1.4905	1.4906	1.4907	1.4908	1.4909	1.4910	1.4908	0.0002
node-7	1.6970	1.6971	1.6973	1.6974	1.6975	1.6976	1.6977	1.6978	1.6979	1.6980	1.6976	0.0004
node-8	1.7920	1.7921	1.7923	1.7924	1.7925	1.7926	1.7927	1.7928	1.7929	1.7930	1.7929	0.0001
node-9	1.7240	1.7239	1.7237	1.7236	1.7235	1.7234	1.7233	1.7232	1.7231	1.7230	1.7227	0.0003
node-10	1.5290	1.5289	1.5287	1.5286	1.5285	1.5284	1.5283	1.5282	1.5281	1.5280	1.5276	0.0004
node-11	1.2980	1.2979	1.2977	1.2976	1.2975	1.2974	1.2973	1.2972	1.2971	1.2970	1.2969	0.0001
node-12	1.0990	1.0989	1.0987	1.0986	1.0985	1.0984	1.0983	1.0982	1.0981	1.0980	1.0978	0.0002
node-13	0.9553	0.9552	0.9550	0.9549	0.9548	0.9547	0.9546	0.9545	0.9544	0.9543	0.9540	0.0003
node-14	0.8639	0.8638	0.8636	0.8635	0.8634	0.8633	0.8632	0.8631	0.8630	0.8629	0.8625	0.0004
node-15	0.8138	0.8137	0.8135	0.8134	0.8133	0.8132	0.8131	0.8130	0.8129	0.8128	0.8127	0.0001
node-16	0.7965	0.7964	0.7962	0.7961	0.7960	0.7959	0.7958	0.7957	0.7956	0.7955	0.7953	0.0002

LAMPIRAN C6. ITERASI GAUSS SEIDELTabel iterasi kecepatan aliran udara berdasarkan kecepatan awal 1.0 m/s .

Node	iterasi-1	iterasi-2	iterasi-3	iterasi-4	iterasi-5	iterasi-6	iterasi-7	iterasi-8	iterasi-9	iterasi-10
node-1	0.9652	0.9801	0.9866	0.9905	0.9931	0.9950	0.9965	0.9977	0.9987	0.9995
node-2	1.0070	1.0511	1.0576	1.0615	1.0641	1.0660	1.0675	1.0687	1.0697	1.0705
node-3	1.0780	1.1861	1.1926	1.1965	1.1991	1.2010	1.2025	1.2037	1.2047	1.2055
node-4	1.2130	1.4031	1.4096	1.4135	1.4161	1.4180	1.4195	1.4207	1.4217	1.4225
node-5	1.4300	1.7091	1.7156	1.7195	1.7221	1.7240	1.7255	1.7267	1.7277	1.7285
node-6	1.7360	2.0771	2.0836	2.0875	2.0901	2.0920	2.0935	2.0947	2.0957	2.0965
node-7	2.1040	2.4101	2.4166	2.4205	2.4231	2.4250	2.4265	2.4277	2.4287	2.4295
node-8	2.4370	2.8321	2.8386	2.8425	2.8451	2.8470	2.8485	2.8497	2.8507	2.8515
node-9	2.8590	2.5039	2.4974	2.4935	2.4909	2.4890	2.4875	2.4863	2.4853	2.4845
node-10	2.4770	2.1909	2.1844	2.1805	2.1779	2.1760	2.1745	2.1733	2.1723	2.1715
node-11	2.1640	1.8189	1.8124	1.8085	1.8059	1.8040	1.8025	1.8013	1.8003	1.7995
node-12	1.7920	1.4999	1.4934	1.4895	1.4869	1.4850	1.4835	1.4823	1.4813	1.4805
node-13	1.4730	1.2689	1.2624	1.2585	1.2559	1.2540	1.2525	1.2513	1.2503	1.2495
node-14	1.2420	1.1219	1.1154	1.1115	1.1089	1.1070	1.1055	1.1043	1.1033	1.1025
node-15	1.0950	1.0419	1.0354	1.0315	1.0289	1.0270	1.0255	1.0243	1.0233	1.0225
node-16	1.0150	1.0139	1.0074	1.0035	1.0009	0.9990	0.9975	0.9963	0.9953	0.9945

Node	i=11	i=12	i=13	i=14	i=15	i=16	i=17	i=18	i=19	i=20
node-1	1.0002	1.0008	1.0014	1.0018	1.0023	1.0027	1.0030	1.0033	1.0036	1.0039
node-2	1.0712	1.0718	1.0724	1.0728	1.0733	1.0737	1.0740	1.0743	1.0746	1.0749
node-3	1.2062	1.2068	1.2074	1.2078	1.2083	1.2087	1.2090	1.2093	1.2096	1.2099
node-4	1.4232	1.4238	1.4244	1.4248	1.4253	1.4257	1.4260	1.4263	1.4266	1.4269
node-5	1.7292	1.7298	1.7304	1.7308	1.7313	1.7317	1.7320	1.7323	1.7326	1.7329
node-6	2.0972	2.0978	2.0984	2.0988	2.0993	2.0997	2.1000	2.1003	2.1006	2.1009
node-7	2.4302	2.4308	2.4314	2.4318	2.4323	2.4327	2.4330	2.4333	2.4336	2.4339
node-8	2.8522	2.8528	2.8534	2.8538	2.8543	2.8547	2.8550	2.8553	2.8556	2.8559
node-9	2.4838	2.4832	2.4826	2.4822	2.4817	2.4813	2.4810	2.4807	2.4804	2.4801
node-10	2.1708	2.1702	2.1696	2.1692	2.1687	2.1683	2.1680	2.1677	2.1674	2.1671
node-11	1.7988	1.7982	1.7976	1.7972	1.7967	1.7963	1.7960	1.7957	1.7954	1.7951
node-12	1.4798	1.4792	1.4786	1.4782	1.4777	1.4773	1.4770	1.4767	1.4764	1.4761
node-13	1.2488	1.2482	1.2476	1.2472	1.2467	1.2463	1.2460	1.2457	1.2454	1.2451
node-14	1.1018	1.1012	1.1006	1.1002	1.0997	1.0993	1.0990	1.0987	1.0984	1.0981
node-15	1.0218	1.0212	1.0206	1.0202	1.0197	1.0193	1.0190	1.0187	1.0184	1.0181
node-16	0.9938	0.9932	0.9926	0.9922	0.9917	0.9913	0.9910	0.9907	0.9904	0.9901

Node	i=21	i=22	i=23	i=24	i=25	i=26	i=27	i=28	i=29	i=30
node-1	1.0042	1.0044	1.0046	1.0048	1.0050	1.0052	1.0054	1.0056	1.0057	1.0059
node-2	1.0752	1.0754	1.0756	1.0758	1.0760	1.0762	1.0764	1.0766	1.0767	1.0769
node-3	1.2102	1.2104	1.2106	1.2108	1.2110	1.2112	1.2114	1.2116	1.2117	1.2119
node-4	1.4272	1.4274	1.4276	1.4278	1.4280	1.4282	1.4284	1.4286	1.4287	1.4289
node-5	1.7332	1.7334	1.7336	1.7338	1.7340	1.7342	1.7344	1.7346	1.7347	1.7349
node-6	2.1012	2.1014	2.1016	2.1018	2.1020	2.1022	2.1024	2.1026	2.1027	2.1029
node-7	2.4342	2.4344	2.4346	2.4348	2.4350	2.4352	2.4354	2.4356	2.4357	2.4359
node-8	2.8562	2.8564	2.8566	2.8568	2.8570	2.8572	2.8574	2.8576	2.8577	2.8579
node-9	2.4798	2.4796	2.4794	2.4792	2.4790	2.4788	2.4786	2.4784	2.4783	2.4781
node-10	2.1668	2.1666	2.1664	2.1662	2.1660	2.1658	2.1656	2.1654	2.1653	2.1651
node-11	1.7948	1.7946	1.7944	1.7942	1.7940	1.7938	1.7936	1.7934	1.7933	1.7931
node-12	1.4758	1.4756	1.4754	1.4752	1.4750	1.4748	1.4746	1.4744	1.4743	1.4741
node-13	1.2448	1.2446	1.2444	1.2442	1.2440	1.2438	1.2436	1.2434	1.2433	1.2431
node-14	1.0978	1.0976	1.0974	1.0972	1.0970	1.0968	1.0966	1.0964	1.0963	1.0961
node-15	1.0178	1.0176	1.0174	1.0172	1.0170	1.0168	1.0166	1.0164	1.0163	1.0161
node-16	0.9898	0.9896	0.9894	0.9892	0.9890	0.9888	0.9886	0.9884	0.9883	0.9881

Node	i=31	i=32	i=33	i=34	i=35	i=36	i=37	i=38	i=39	i=40	eksak	error
node-1	1.0060	1.0061	1.0063	1.0064	1.0065	1.0066	1.0067	1.0068	1.0069	1.0070	1.0069	0.0001
node-2	1.0770	1.0771	1.0773	1.0774	1.0775	1.0776	1.0777	1.0778	1.0779	1.0780	1.0776	0.0004
node-3	1.2120	1.2121	1.2123	1.2124	1.2125	1.2126	1.2127	1.2128	1.2129	1.2130	1.2126	0.0004
node-4	1.4290	1.4291	1.4293	1.4294	1.4295	1.4296	1.4297	1.4298	1.4299	1.4300	1.4298	0.0002
node-5	1.7350	1.7351	1.7353	1.7354	1.7355	1.7356	1.7357	1.7358	1.7359	1.7360	1.7358	0.0002
node-6	2.1030	2.1031	2.1033	2.1034	2.1035	2.1036	2.1037	2.1038	2.1039	2.1040	2.1038	0.0002
node-7	2.4360	2.4361	2.4363	2.4364	2.4365	2.4366	2.4367	2.4368	2.4369	2.4370	2.4367	0.0003
node-8	2.8580	2.8581	2.8583	2.8584	2.8585	2.8586	2.8587	2.8588	2.8589	2.8590	2.8589	0.0001
node-9	2.4780	2.4779	2.4777	2.4776	2.4775	2.4774	2.4773	2.4772	2.4771	2.4770	2.4765	0.0005
node-10	2.1650	2.1649	2.1647	2.1646	2.1645	2.1644	2.1643	2.1642	2.1641	2.1640	2.1637	0.0003
node-11	1.7930	1.7929	1.7927	1.7926	1.7925	1.7924	1.7923	1.7922	1.7921	1.7920	1.7919	0.0001
node-12	1.4740	1.4739	1.4737	1.4736	1.4735	1.4734	1.4733	1.4732	1.4731	1.4730	1.4726	0.0004
node-13	1.2430	1.2429	1.2427	1.2426	1.2425	1.2424	1.2423	1.2422	1.2421	1.2420	1.2415	0.0005
node-14	1.0960	1.0959	1.0957	1.0956	1.0955	1.0954	1.0953	1.0952	1.0951	1.0950	1.0946	0.0004
node-15	1.0160	1.0159	1.0157	1.0156	1.0155	1.0154	1.0153	1.0152	1.0151	1.0150	1.0148	0.0002
node-16	0.9880	0.9879	0.9877	0.9876	0.9875	0.9874	0.9873	0.9872	0.9871	0.9870	0.9869	0.0001

LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Matrik Penelitian

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
Analisis Numerik Aliran Udara pada Bronkus akibat Penyakit Asma Bronkial Menggunakan Metode Volume Hingga	1. Bagaimana model matematika aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial? 2. Bagaimana pengaruh ukuran jari-jari bronkus terhadap kecepatan aliran udara akibat penyakit asma bronkial? 3. Bagaimana pengaruh kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial? 4. Bagaimana efektivitas metode	a. Variabel bebas: -Ukuran jari-jari bronkus -kecepatan awal aliran udara b. Variabel terikat: kecepatan aliran udara pengidap penyakit asma	1. Menentukan model matematika aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial 2. Menganalisis pengaruh ukuran jari-jari bronkus terhadap kecepatan aliran udara akibat asma bronkial 3. Menganalisis hasil pengaruh kecepatan awal terhadap kecepatan aliran udara akibat penyakit asma bronkial	1. Chen, W.H., Hao Lee, K., Matuku, J.K., dan Jong Hwang Flow Dynamics and PM 2.5 Deposition in Healthy and Asthmatic at Different Inhalation Statuses. 2018. Taiwan	Metode Simulasi

Judul	Rumusan Masalah	Variabel	Indikator	Sumber Data	Metode Penelitian
	<p>volume hingga dalam menganalisis masalah kecepatan aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial berdasarkan <i>error</i> yang didapat</p>		<p>4. Mengetahui efektivitas metode volume hingga dalam menganalisis aliran udara pada bronkus akibat penyakit asma bronkial</p>	<p>2. Kepustakaan</p>	