



# **Rekonstruksi 4D Citra MRI Aliran Darah dan Trombus pada Pasien Aneurisma Aorta Abdominalis**

**DISERTASI**

**CUT MAISYARAH KARYATI**

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS GUNADARMA  
2013**



**Rekonstruksi 4D Citra MRI Aliran Darah dan  
Trombus pada Pasien Aneurisma Aorta  
Abdominalis**

**DISERTASI**

**CUT MAISYARAH KARYATI**

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS GUNADARMA  
2013**

## ABSTRACT

Abdominal aortic aneurysm (AAA) is the most common location of an aneurysm in the blood vessel diseases. Therapeutic indications for AAA non-rupture is mainly based on the criteria of maximum diameter of the aneurysm. Commonly accepted therapeutic indication is when the largest diameter reaches 5.5 cm. In fact, some small aneurysms (less than 5.5 cm) can rupture, while the bigger may not. In addition, there are other variability that have big influence in the evolution of diameter on small AAA was observed, such as the presence of thrombus in the AAA, the velocity profile of blood flow, and the blood volume inside the AAA. Image processing is a job out of range for a doctor. Thus, improve the living material modeling techniques and simplifies the material biomechanical that still a matter of discussion, will create new opportunities for the application of Information Technology in medical area.

Deformable models approach for image segmentation of dynamic blood flow has been used and developed in conjunction with the method of scalar volume data (isosurface) to produce image reconstruction which can represent the anatomy of the aortic aneurysm with blood flow animation in each category of thrombus. This method has been proven to successfully presenting the animation of blood flow based on distinction the color of vector that adapted to the direction of blood flow in each coordinate axis (x, y, z). White color which has the highest intensity value has been successfully visualized as a color that represents the presence of thrombus in the aneurysm. The results of this research can be used by relevant experts in the field of Cardiovascular whose using MRI for observations, as well as helping the aortic surgeon in the decision to perform surgery before the rupture of the aortic wall that causes death.

The result of this research is a software that can categorize thrombus in the small AAA. This software also can extract and reconstruct the image of the blood flow along with the animation of blood flow in each thrombus category automatically. In addition, this software can process the calculation of the size of thrombus area, the maximum diameter, blood flow velocity and volume of blood flow. In this study, it can be seen that the presence of thrombus parameters can affect the volume and blood flow velocity, ie, the larger thrombus would further reduce the volume and blood flow velocity. However, the presence of thrombus, blood flow velocity and volume of blood flow has not been shown to affect the evolution of diameter of the small AAA.

**Keywords :** Abdominal Aortic Aneurysm , Blood Flow, Image Processing, MRI, Thrombus

## ABSTRAK

Aneurisma Aorta Abdominal (AAA) merupakan lokasi yang paling umum pada penyakit aneurisma di pembuluh darah. Indikasi terapi untuk AAA non-ruptura terutama didasarkan pada kriteria diameter maksimum kantung aneurisma. Indikasi terapi yang umum diterima adalah ketika diameter terbesar melebihi 5,5 cm. Pada kenyataannya, beberapa aneurisma kecil (kurang daripada 5,5 cm) dapat ruptura sementara yang lebih besar mungkin tidak. Selain itu, terdapat variabilitas lain yang besar pengaruhnya dalam evolusi diameter AAA kecil yang diamati, misalnya adanya trombus di dalam AAA, profil kecepatan aliran darah, dan volume darah yang berada di dalam AAA tersebut. Penanganan dengan pengolahan citra adalah pekerjaan yang berada di luar jangkauan dokter. Sehingga, meningkatkan teknik pemodelan bahan hidup dan menyederhanakan materi biomekanik yang masih terus menjadi bahan perdebatan, akan menciptakan peluang baru untuk aplikasi Teknologi Informasi di bidang kesehatan.

Pendekatan deformable model untuk segmentasi citra aliran darah yang dinamis telah digunakan dan dikembangkan bersama dengan metode isosurface data guna menghasilkan rekonstruksi citra yang dapat merepresentasikan anatomi aneurisma aorta beserta aliran darah di dalamnya pada setiap kategori trombus. Metode ini terbukti telah berhasil memberikan animasi aliran darah dengan pembedaan warna vektor yang disesuaikan dengan arah aliran darah pada tiap-tiap sumbu koordinat ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Warna putih yang memiliki nilai intensitas tertinggi telah berhasil divisualisasikan sebagai warna yang mewakili keberadaan trombus pada aneurisma.

Bentuk keluaran dan sekaligus merupakan tujuan dari penelitian ini adalah membuat perangkat lunak yang dapat mengkategorikan trombus di dalam AAA kecil, serta dapat mengekstraksi dan merekonstruksi citra aliran darah beserta animasi aliran darah didalamnya pada setiap kategori trombus secara otomatis. Selain itu perangkat lunak ini juga dapat memproses perhitungan ukuran wilayah trombus, ukuran maksimum diameter, nilai kecepatan aliran darah dan nilai volume aliran darah. Pada penelitian ini dapat dilihat bahwa parameter keberadaan trombus dapat mempengaruhi volume dan kecepatan aliran darah, yakni semakin besar wilayah trombus akan semakin mengurangi nilai volume dan nilai kecepatan aliran darah, demikian juga sebaliknya. Namun, keberadaan trombus, nilai kecepatan aliran darah, maupun volume aliran darah belum terbukti dapat mempengaruhi evolusi diameter dinding AAA kecil.

**Kata Kunci** : Aliran Darah, Aneurisma Aorta Abdominal, MRI, Pengolahan citra, Trombus

## PERNYATAAN ORIGINALITAS DAN PUBLIKASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cut Maisyarah Karyati

NIM : 99208903

Judul Disertasi : **Rekonstruksi 4D Citra MRI Aliran Darah dan Trombus pada Pasien Aneurisma Aorta Abdominalis**

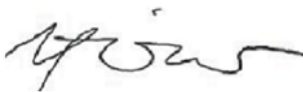
Tanggal Sidang : 3 Desember 2013

Tanggal Lulus : 3 Desember 2013

Menyatakan bahwa tulisan ini adalah merupakan hasil karya saya sendiri dan dapat dipublikasikan sepenuhnya oleh Universitas Gunadarma. Segala kutipan dalam bentuk apa pun telah mengikuti kaidah dan etika yang berlaku. Mengenai isi dan tulisan adalah merupakan tanggung jawab Penulis, bukan Universitas Gunadarma.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya dan dengan penuh kesadaran.

Depok, 3 Desember 2013



(Cut Maisyarah Karyati )

# **Rekonstruksi 4D Citra MRI Aliran Darah dan Trombus pada Pasien Aneurisma Aorta Abdominalis**

**DISERTASI**

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar Doktor Teknologi Informasi  
di bawah Pimpinan Rektor Universitas Gunadarma  
Profesor Doktor E.S. Margianti, SE., MM

Dipertahankan dalam Sidang Terbuka Senat Universitas Gunadarma  
Pada Hari Selasa Tanggal 3 Desember 2013 Jam 09.00 WIB - Selesai

**CUT MAISYARAH KARYATI**

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS GUNADARMA  
2013**

# **Rekonstruksi 4D Citra MRI Aliran Darah dan Trombus pada Pasien Aneurisma Aorta Abdominalis**

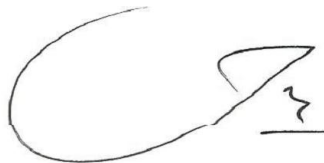
DISERTASI

**CUT MAISYARAH KARYATI**

Telah disetujui oleh:



Profesor Doktor Sarifuddin Madenda  
Promotor



Profesor Doktor Johan Harlan  
Ko-Promotor



Profesor Doktor rer nat Achmad Benny Mutiara  
Ko-Promotor

Depok, 2013

## **Daftar Riwayat Hidup**

**Cut Maisyarah Karyati**, dilahirkan di kota Banda Aceh pada tanggal 21 Mei 1971 dari Bapak H. Teuku Zaini dan Ibu Hj. Cut Ismarjati. Anak terakhir dari 7 bersaudara (5 perempuan dan 2 laki-laki). Lulus Sekolah Dasar tahun 1984 di SDN 14 Jakarta, selanjutnya lulus di SMPN 99 Jakarta tahun 1987 dan lulus di SMAN 31 Jakarta tahun 1990. Melanjutkan kuliah di STMIK Gunadarma jurusan Manajemen Informatika dan lulus S1 pada tahun 1996. Kemudian menerskan S2 pada Universitas Gunadarma program studi Magister Manajemen dan lulus pada tahun 1998. Lulus pendidikan S3 tahun 2013 pada program studi Teknologi Informasi di Universitas Gunadarma. Menikah dengan Aries Muslim sejak 2 November 1997. Saat ini bertempat tinggal di Perumahan Rancabana Jln. Bhineka II B/7 Rumbut Kelapa Dua, Depok 16951.



# KATA PENGANTAR

*Bismillaahirrahmaanirrahiim.*

*Assalamu 'alaikum Warrahmatullaahi Wabarokaatuh*

Alhamdulillah robbil'aalamiin, segala puji bagi Allah, Tuhan semesta alam. Puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas berkat rahmat, bimbingan, pertolongan, karunia, ilmu, dan pengetahuan-NYA, Penulis dapat menyelesaikan penyusunan disertasi ini dengan sebaik-baiknya.

Disertasi ini dihasilkan dengan bantuan berbagai pihak, baik bantuan materi, maupun bantuan moril. Pada kesempatan ini, Penulis dengan segala kerendahan dan ketulusan hati ingin menghaturkan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya bagi semua pihak yang memberikan bantuan tersebut, kepada :

1. Yayasan Pendidikan Gunadarma, yang telah memberikan beasiswa kepada Penulis untuk melanjutkan pendidikan di Program Doktor Teknologi Informasi di Universitas Gunadarma.
2. Ibu Prof. Dr. E. S. Margianti, SE., MM, Rektor Universitas Gunadarma dan Bapak Prof. Suryadi H. S, SSi., MMSI., Pembantu Rektor II Universitas Gunadarma, yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan kepada Penulis untuk melanjutkan studi di Program Doktor Teknologi Informasi Universitas Gunadarma.
3. Bapak Prof. Dr. Yuhara Sukra, MSc., Koordinator Program Pasca Sarjana Universitas Gunadarma, yang telah memberikan petunjuk penulisan disertasi ini.
4. Bapak Prof. Dr Busono Soerowirdjo, MSc., Direktur Program Doktor Teknologi Informasi.
5. Bapak Prof. Dr. I Wayan Simri Wicaksana, Ketua Program Doktor Teknologi Informasi
6. Bapak Dr. Eri Prasetyo, Sekretaris Program Doktor Teknologi Informasi beserta staff.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Tati Latifah R. Mengko, selaku Penguji luar.
8. Bapak Prof. Dr. Sarifuddin Madenda, sebagai Promotor yang dengan segala keikhlasan dan kesabarannya selalu menyediakan waktu dan membagi ilmunya, meluruskan di kala Penulis salah arah, mengingatkan agar fokus pada penelitian, memotivasi di kala Penulis mulai kurang semangat, dan banyak memberikan masukan serta koreksi terhadap penelitian yang Penulis lakukan.

9. Bapak Prof. Dr. dr. Johan Harlan, selaku Ko-Promotor yang dengan keikhlasan dan kesabarannya membagi waktunya dan memberikan ilmu serta masukan dalam bidang medis terhadap penelitian yang Penulis lakukan.
10. Bapak Prof. Dr. rer nat. Achmad Benny Mutiara, selaku Ko-Promotor, yang senantiasa meluangkan waktu dan kesempatan pada Penulis untuk berdiskusi tentang materi penelitian sejak awal perkuliahan hingga diselesaikannya penelitian ini.
11. Prof. François Brunotte, Prof. Eric Steinmentz, dr. Alexandre Cochet, PhD, dan dr. Olivier Buchot, PhD dari CHU de Bocages, Dijon, Perancis, yang telah memberikan waktu dan kesempatan Penulis untuk belajar dan mengambil data penelitian.
12. Alain Lalande, PhD, Paul M. Walker, PhD, Marie Xavier, PhD, dan Sebastian Parfait, PhD, selaku guru dan rekan sejawat pada groupe Imagerie Médicale, Le2i, Faculté de Médecine, Université de Bourgogne, France.
13. Bapak Dr.ing Adang Suhendra dan Akbar Marwan, ST, MT beserta keluarga, atas dukungannya kepada penulis.
14. Teman-teman S3-TI Universitas Gunadarma, Angkatan 9, Dr. Andini Sintawati, Dr. Onny Marleen, Dr. Rodiah, Dr. Novrina, Achmad Tantawi, ST, MT, Riza, Doddy dan Narendro, atas berbagi suka duka selama perkuliahan berlangsung.
15. Sahabat sesama peneliti di Université de Bourgogne, Dr. Sunny Arief, Dr. Elfitrin, Dr. M. Iqbal, Dr. Ira Puspita, Dr. Dian Kemalaputri, Dr. Debyo Saptono, Aning, Dr. Purnawarman Musa, dan Yudi Nugraha, terimakasih karena sudah menjadi saudara bagi Penulis selama berada di Perancis.
16. Rekan-rekan VIBOT dan MCV Université de Bourgogne tahun 2009-2011, Philip, Bakr, Vanya, Rocio, Adiguna Mahendra dan Ruddy J. Suhatri, atas persahabatan yang luar biasa selama belajar di Perancis.
17. Adik-adikku di jurusan SarMag TI dan Elektro Universitas Gunadarma Angkatan 1-4 yang belajar Université de Bourgogne, le-Creusot, Perancis, atas kebersamaan dan bantuannya kepada Penulis untuk berbagi ilmu, terutama pada saudara Sigit Widiyanto, Prasetyo, dan Arrumaisha.
18. Suami tercinta, Aries Muslim, SKom, MM, atas segenap cinta dan pengertiannya, atas dukungan dan motivasinya, dan atas do'a yang luar biasa hingga Penulis bisa menyelesaikan disertasi ini. Bagi Penulis, beliau juga adalah guru, sahabat dan partner kerja di semua bidang, dengan penuh suka dan duka.
19. Ayahanda T. Zaini, SH (alm) dan Ibunda Cut Ismarjati (alm) tersayang, yang selalu memberi restu dan doa, serta kasih sayang yang tak putus kepada penulis. Rasanya

Penulis tak akan sanggup membayar segala perjuangan, pengorbanan, perhatian dan kasih sayang yang diberikannya dengan tulus dan ikhlas.

20. Papa Mudjadid Djafar (alm) dan Mama Yayah Saroyah, serta adik-adikku Arief, Reza dan Ana beserta keluarga, yang selalu memberi restu dan do'a kepada Penulis.
21. Kakak-kakakku tercinta, T. Dharyan Surya Chandra (alm), Cut Lis Marita, Cut Noviani, Cut Lisa Marlina, Cut Efriati dan T. Putra, beserta keluarga, atas dukungan lahir dan batin demi kelancaran dan kesuksesan Penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
22. Rekan-rekan di Bagian Sidang PI dan Sidang Sarjana, di PSMA Online serta BAAK, yang selalu menyemangati Penulis dalam menyelesaikan disertasi ini.
23. Keluarga Courtot, Keluarga Barshot, Keluarga Zainan, Keluarga Julia dan Keluarga Saepudin, atas kesediaannya menjadi kerabat Penulis selama melakukan penelitian di Dijon, Perancis. Terimakasih atas kebersamaan yang indah.
24. Semua Pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah turut memberikan bantuan dan peran serta dalam penyelesaian penelitian ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan, saran, masukan serta do'a yang telah diberikan. Hanya Allah SWT yang dapat membalas semua itu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa disertasi ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu Penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun.

Akhir kata semoga disertasi ini dapat berguna bagi diri Penulis pada khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

*Wabillahi taufiq wal hidayah*

*Wassalamu'alaikum warrahmatullohi wa barokaatuh*

Depok, 3 Desember 2013

Penulis

(Cut Maisyarah Karyati)

# DAFTAR ISI

<b>JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN ORIGINALITAS DAN PUBLIKASI</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1</b>	
<b>PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian	3
1.2 Batasan Penelitian	8
1.3 Rumusan Penelitian	11
1.4 Tujuan Penelitian	12
1.5 Kontribusi Hasil Penelitian	13
<b>BAB 2</b>	
<b>TELAAH PUSTAKA</b>	<b>14</b>
2.1 Pengolahan Citra	14
2.2. Citra Medis	16
2.3. Segmentasi Citra Medis	29
2.3.1. Thresholding (pengembangan)	33
2.3.2. Polygon	34
2.3.3. Operasi Morfologi	35

2.3.4.	<i>Deformable Model</i> (Model Terdeformasi)	35
2.3.5.	Pendekatan Terhadap Metode Segmentasi Citra Medis	40
2.4.	Rekonstruksi Citra Medis	44
2.4.1.	Metode Interpolasi	46
2.4.2.	Pendekatan Terhadap Metode Rekonstruksi Citra Medis	47
2.5.	Visualisasi Citra Medis	54
2.6.	Aorta	56
2.6.1.	Anatomi Aorta	56
2.6.2.	Aneurisma Aorta	57
2.6.3.	Pendekatan Terhadap Parameter Diameter Aneurisma Aorta Abdominalis	60
2.6.4.	Aliran Darah	62
2.6.5.	Aplikasi Mekanika Fluida pada Aliran Darah	63
2.6.6.	Pendekatan Terhadap Parameter Kecepatan Aliran Darah Pada Aneurisma Aorta Abdominalis	64
2.6.7.	Penggumpalan Darah ( <i>Trombus</i> )	68
2.6.8.	Pendekatan Terhadap Parameter Trombus Pada Aneurisma Aorta Abdominalis	69
2.7.	Rangkuman Hasil Penelitian Aneurisma Aorta Abdominal	72

### **BAB 3**

#### **METODE PENELITIAN** **77**

3.1	Sampel Pasien Aneurisma Aorta Abdominal (AAA) Kecil	78
3.2	Akuisisi Citra Aorta Menggunakan MRI	79
3.2.1.	Protokol Akuisisi Citra Menggunakan MRI dalam penelitian ini	79
3.2.2.	Citra Relaksasi T1 dan T2	84
3.2.3.	Citra Amplitudo dan Fase Kontras	85
3.3	Manajemen Citra dengan DICOM	87
3.4	Pengolahan Citra dengan Perangkat Lunak MatLab	88
3.4.1.	Analisis Trombus	88
3.4.2.	Analisis Aliran Darah	95
3.4.3.	Rekonstruksi Citra Aliran Darah	104
3.4.4.	Pembuatan GUI pada Matlab	107

<b>BAB 4</b>	
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>112</b>
4.1 Hasil Analisis Trombus	112
4.2 Hasil Analisis Aliran Darah	117
4.3 Hasil Rekonstruksi Citra Aliran Darah	123
<b>BAB 5</b>	
<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>122</b>
5.1 Kesimpulan	125
5.2 Saran	126
5.3 Penelitian Lanjutan	126
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>127</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh Informasi Tags pada DICOM	25
Tabel 2.2. Interval waktu yang Disarankan untuk Pengamatan Citra Digital pada Aneurisma Aorta Abdomen vs Diameter Aorta	61
Tabel 3.1 Karakteristik Pasien	79
Tabel 3.2 Jenis Protokol Akuisisi Citra dengan MRI	80
Tabel 3.3 Informasi umum	87
Tabel 3.4 Informasi rinci	87
Tabel 4.1 Hasil Analisis Trombus	114
Tabel 4.2 Hasil Analisis Trombus dan Hasil Analisis Aliran Darah	117

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Anatomi Jantung	4
Gambar 1.2 Pembuluh Darah	5
Gambar 1.3. Anatomi Aorta	6
Gambar 2.1 Skema sistem MRI	18
Gambar 2.2 Orientasi bidang citra (a) axial, (b) sagittal, (c) Coronal	20
Gambar 2.3 Skema Dasar Ruang MRI	21
Gambar 2.4 Area aplikasi DICOM	24
Gambar 2.5 Penentuan Nilai Ambang $T$	33
Gambar 2.6 Contoh polygon 8 sisi dengan warna merah tertutup oleh tepi hitam	34
Gambar 2.7 Bentuk dasar aktif kontur	39
Gambar 2.8 Topologi aktif kontur (Snake)	39
Gambar 2.9 Segmentasi citra multislices dengan Deformable Model pada pasien AAA	40
Gambar 2.10 Proses Deteksi Tepi	42
Gambar 2.11 Contoh hasil segmentasi aorta dari beberapa pendekatan segmentasi	42
Gambar 2.12 Piksel tetangga dalam 8 arah	44
Gambar 2.13 Citra Paralel (a) dan citra divergent (b) dari jenis irisan citra 2D	45
Gambar 2.14 Luas segitiga sebangun menunjukkan area yang digunakan untuk menurunkan formula interpolasi linear	47
Gambar 2.15 Citra Rekonstruksi Janin dari USG	48
Gambar 2.16 Epipolar Geometri	50
Gambar 2.17 Blok diagram sistem rekonstruksi permukaan cortical	51



Gambar 2.18 Rendering permukaan medial pada citra cortical yang direkonstruksi	51
Gambar 2.19 Arsitektur dari rekonstruksi citra terurut dari kamera	52
Gambar 2.20 Hasil rekonstruksi Citra 4D dari materi tiruan (phantom) dari organ jantung	53
Gambar 2.21 Model penyimpanan piksel pada <i>buffer</i> memori	54
Gambar 2.22 Operasi pengubahan citra 24 bit (piksel warna) ke citra abu-abu YUV	55
Gambar 2.23 Aorta dalam tubuh manusia	56
Gambar 2.24 Jenis Aneurisma aorta	58
Gambar 2.25 <i>Contrast-enhanced CT scan</i> dengan rekonstruksi 3D menampilkan nilai diameter AAA 5.6 cm	60
Gambar 2.26 Tingkat pertumbuhan aneurisma aorta abdomen kecil vs ukuran diameter aneurisma	61
Gambar 2.27 Aliran Darah Normal	62
Gambar 2.28 Perilaku rheologi darah dan plasma sesuai dengan Kurva Viscosimetric dari cairan Newtonian dan fluida non-Newtonian	63
Gambar 2.29 Jalur/baris arus dalam tabung	64
Gambar 2.30 Contoh aneurisma aorta abdominalis (AAA) dengan menggunakan protokol cine MR	65
Gambar 2.31 Prinsip metode 3D paraboloid	66
Gambar 2.32 Citra 3D Paraboloid	66
Gambar 2.33 Plot kontur dari profil kecepatan (m/s) dari <i>peak systole</i> pada semua subjek	67
Gambar 2.34 Citra 2D yang merepresentasikan vektor kecepatan aliran darah	67
Gambar 2.35 Trombus pada aorta	68
Gambar 2.36 Kategori trombus pada pria 71 tahun	70

Gambar 2.37 Permukaan lumen (magenta), trombus (kuning) dan dinding AAA (ungu) divisualisasikan oleh CT-scan (kiri). Hasil visualisasi dari metode finite element mesh (kanan)	71
Gambar 3.1 Diagram Metodologi Penelitian Secara Umum	77
Gambar 3.2 (a) MRI Siemens 3T (b) Citra Sagittal (c) Citra yang digunakan dalam penelitian ini	83
Gambar 3.3 (a) citra relaksasi T1 dan (b) T2, pada aneurisma aorta abdominal	84
Gambar 3.4 (a) citra amplitudo, (b) citra fase kontras	86
Gambar 3.5 Tiga arah pemantauan (a) LR, (b) AP, (c) TP	86
Gambar 3.6 Polygon yang diwakilkan dengan beberapa simpul	90
Gambar 3.7 Kontur manual pada citra T1	90
Gambar 3.8 Diameter aorta yang diperoleh secara otomatis	92
Gambar 3.9 (a) citra relaksasi T1, (b) citra relaksasi T2, (c) area normalisasi	94
Gambar 3.10 (a) penelusuran kontur otomatis pada citra amplitudo, (b) aorta terpilih	101
Gambar 3.11 Encoding Kecepatan pada Citra Fase Kontras dari MRI	101
Gambar 3.12 Kaitan Vektor 3D dengan piksel citra pada skala keabuan	102
Gambar 3.13 Pemilahan warna untuk mewakili arah vektor	103
Gambar 3.14 Hasil segmentasi irisan citra aorta	106
Gambar 3.15 GUI Utama	108
Gambar 3.16 Bagan Alir GUI Analisis Trombus	109
Gambar 3.17 Bagan Alir GUI Analisis Aliran Darah	110
Gambar 3.18 Tampilan GUI untuk Analisis Trombus	111
Gambar 3.19 Tampilan GUI untuk Analisis Aliran Darah	111
Gambar 4.1 (a) Kategori AAA tanpa trombus (luas permukaan trombus = $11,6\% < 30\%$ ), (b) Kategori AAA dengan trombus (luas permukaan trombus =	112

86,1% > 30%)

Gambar 4.2 Citra pasien penderita AAA dengan kategori trombus heterogen	115
Gambar 4.3 Citra pasien penderita AAA dengan trombus Homogen	115
Gambar 4.4 Citra pasien penderita AAA Kecil dengan trombus tidak terdefinisi	116
Gambar 4.5 Citra pasien penderita AAA Kecil tanpa trombus	116
Gambar 4.6 Grafik Kecepatan Aliran Darah Sesaat dengan beberapa irisan citra aliran darah 3D pada kategori trombus heterogen	118
Gambar 4.7 Grafik Kecepatan Aliran Darah Sesaat bersama dengan beberapa irisan citra aliran darah 3D pada kategori trombus homogen	119
Gambar 4.8 Grafik Kecepatan Aliran Darah Sesaat bersama dengan beberapa irisan citra aliran darah 3D pada kategori trombus tidak terdefinisi	120
Gambar 4.9 Grafik Kecepatan Aliran Darah Sesaat bersama dengan beberapa irisan citra aliran darah 3D pada AAA kecil tanpa trombus	121
Gambar 4.10 Rekonstruksi 4D citra aliran darah pada kategori trombus heterogen	122
Gambar 4.11 Rekonstruksi 4D citra aliran darah pada kategori trombus homogen	122
Gambar 4.12 Rekonstruksi 4D citra aliran darah pada kategori trombus tidak terdefinisi	123
Gambar 4.13 Rekonstruksi 4D citra aliran darah pada AAA kecil tanpa trombus	123

## DAFTAR ISTILAH

Abdominal/Abdomen	Perut
Aneurisma/Aneurysm	Pelebaran setempat pembuluh darah arteri
Angiografi	Visualisasi pembuluh darah secara radiologi dengan menyuntikkan zat kontras yang radio-opak ke dalam sirkulasi darah
Aorta	Pembuluh darah arteri terbesar yang membawa darah yang tinggi oksigen keluar dari jantung kiri
Aorta ascendens	Aorta menaik
Aorta descending	Aorta menurun
Asimptomatik	Tanpa gejala
Clipping	Penjepitan pembuluh darah pada area aneurisma dengan menggunakan klip
Degeneratif	Proses kemunduran karena usia
Diseksi	Pemisahan dinding aorta lapis demi lapis
Disfagia	Kesulitan menelan
Dislipidemi	Kadar lemak dalam darah tak seimbang
Embolisasi	Pelepasan <i>coil</i> (spiral) pada kateterisasi yang akan menghasilkan pembekuan darah yang menutup aneurisma
Endoluminal	Di dalam lumen
Enzimatik	Proses kerja enzim, yaitu protein yang menjadi katalisator biologis
Fibrin	Protein berwarna putih yang dibentuk dari fibrinogen sebagai hasil aktivitas trombus
Fusiform	Salah satu bentuk aneurisma yang pelebarannya simetris
Hemodinamik	Tidak statik dan selalu bergerak pada porosnya
Hemoptisis	Batuk darah
Intraluminal	Di dalam lumen

Koagulasi	Penggumpalan darah
Lumen	Rongga di dalam pembuluh darah, tempat darah mengalir
Phantom	Tiruan anatomi tubuh
Pseudoneurysm/false aortic aneurysm	Akumulasi darah ekstrasvaskuler disertai disrupsi ketiga lapisan pembuluh darah
Refluks/Regurgitasi	Pembalikan aliran darah
Ruptura	Sobek/koyak
Toraks	Dada
Trombus	Bekuan darah dalam lumen pembuluh darah