

SIMULASI DAN PEMODELAN ALIRAN DARAH PADA GEOMETRI SEDERHANA ANEURISMA MENGGUNAKAN FREEFEM++

**R. Yunendah N.
F.**

23212312

Dewi Frida

23212072

Amirinnisa D. A

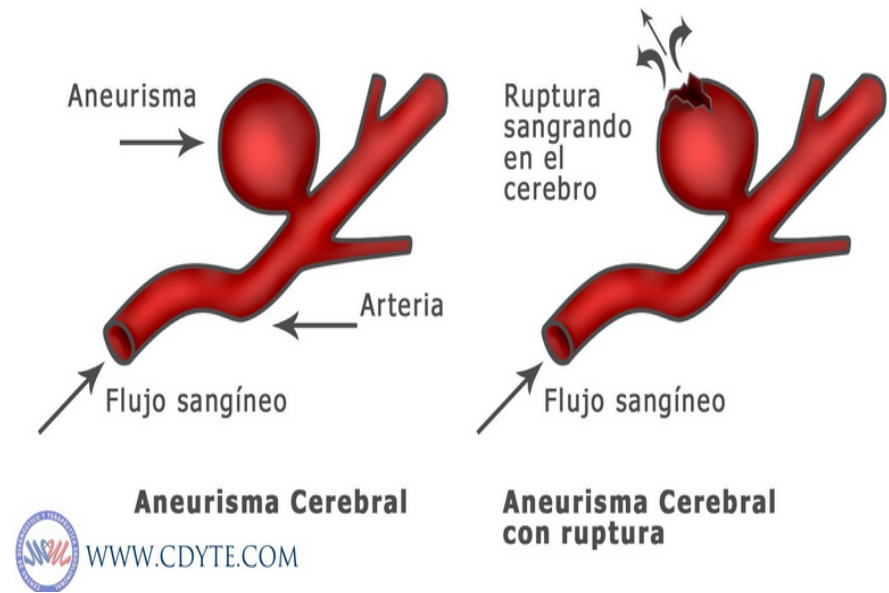
23212041



Aneurisma

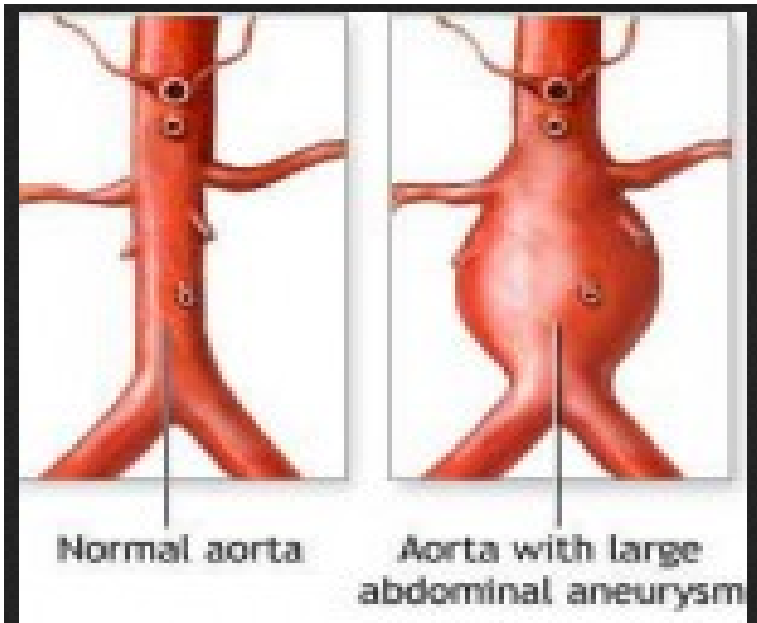
2

- Aneurisma merupakan kondisi pelebaran pembuluh darah dan sering terjadi pada arteri.
- Terjadi akibat melemahnya dinding arteri.
- Kekuatan tekanan darah dapat mendorong bagian dinding yang lemah tersebut, sehingga membentuk kantung.
- Jika tidak ditangani, ukuran kantung akan semakin membesar yang kemudian



Aneurisma

3



- Aneurisme biasanya terjadi pada arteri di otak, perut, dada dan limpa.
- Aneurisma yang umum terjadi yaitu **aneurisma otak dan aneurisma aorta**.
- Aorta berjalan di sepanjang perut dan dada □ sehingga

Penyebab Aneurisma

4

- Penyebab aneurisma belum diketahui.
- Beberapa aneurisma didapat pada saat lahir (kongenital) karena adanya **cacat pada beberapa bagian dari dinding arteri**.
- **Tekanan darah tinggi, kolesterol tinggi, dan merokok** dapat meningkatkan risiko beberapa jenis aneurisma.
- **Penyakit aterosklerosis (penumpukan kolesterol dalam arteri)** juga dapat menyebabkan pembentukan beberapa aneurisma.
- Kehamilan sering dikaitkan dengan pembentukan dan pecahnya aneurisma arteri limpa.

Gejala Aneurisma

5

Gejala Aneurisma Otak

- Aneurisma pada otak yang belum terjadi ruptur, mungkin tidak menimbulkan gejala apapun.
- Jika aneurisma otak pecah (ruptur), terdapat beberapa gejala yang akan timbul seperti **sakit kepala tiba-tiba, nyeri di sekitar leher dan kekakuan, mual dan muntah, pandangan kabur, kepekaan terhadap cahaya, mengantuk, gangguan berbicara, kebingungan dan kejang.**

Gejala Aneurisma

6

- **Gejala Aneurisma Aorta**
- Aneurisma aorta mungkin tidak menunjukkan gejala apapun pada tahap awal.
- Aneurisma yang terdapat di perut atau aneurisma aorta perut dapat menyebabkan **nyeri** di dekat pusar, yang dapat menyebar ke punggung.
- Aneurisma yang terdapat di dada atau aneurisma aorta dada dapat menyebabkan nyeri yang hebat disekitar dada, **batuk ataupun sesak nafas**.
- Bila **aneurisma pecah**, akan **menimbulkan nyeri yang hebat, penurunan tekanan darah** dan tanda-tanda **shock** yang mangancam jiwa

Pemeriksaan Penunjang

7

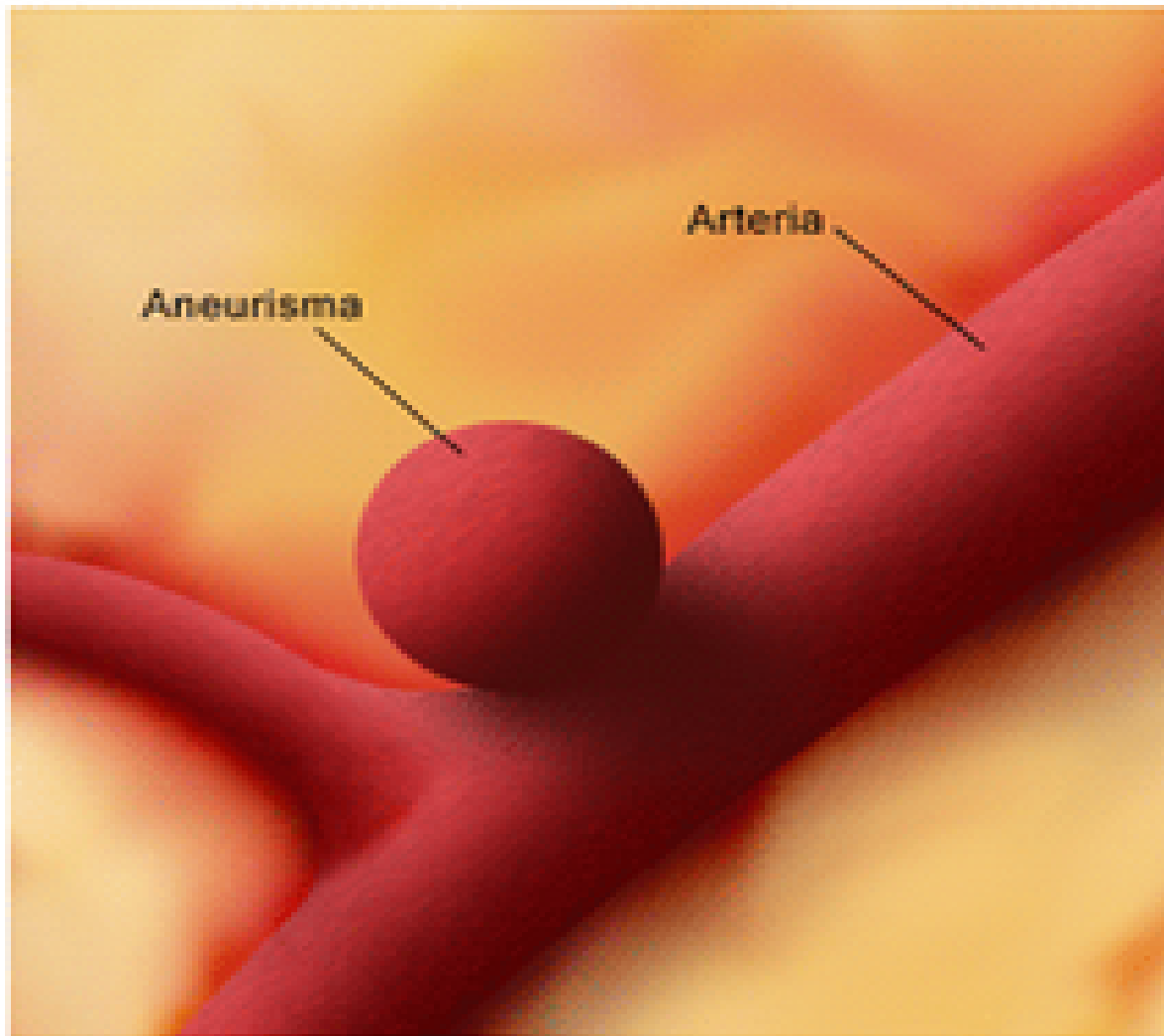
- **Computed tomography (CT) scan.** CT scan dapat membantu mengidentifikasi perdarahan di otak.
- **Computed tomography angiogram (CTA) scan.** CTA adalah metode yang lebih tepat untuk mengevaluasi pembuluh darah daripada CT scan standar dengan menggunakan bahan kontras yang disuntikkan ke dalam darah untuk menghasilkan gambar pembuluh darah agar terlihat lebih jelas.
- **Magnetic resonance angiography (MRA).** Mirip dengan CTA, MRA menggunakan medan magnet untuk memberikan gambar pembuluh darah di dalam tubuh.
- **Angiogram serebral.** Selama tes X-ray ini, kateter dimasukkan melalui pembuluh darah di paha atau lengan dan bergerak naik menuju ke otak. Meskipun tes ini lebih invasif namun cara terbaik untuk mencari aneurisma otak dengan ukuran kecil (kurang dari 5 mm)

Pengobatan

8

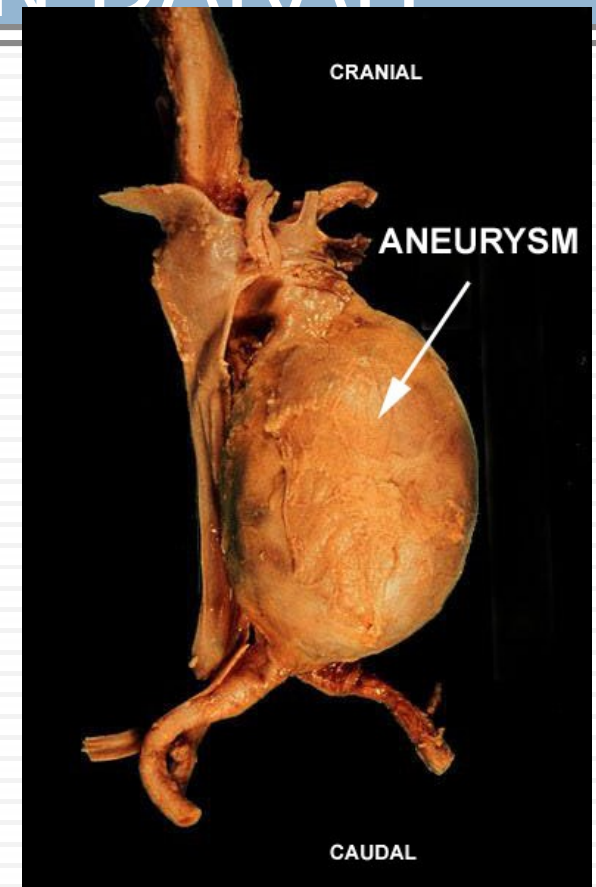
- Jika masih berukuran kecil, dokter mungkin saja tidak akan melakukan tindakan, melainkan hanya memantau kondisi ini.
- Jika aneurisma semakin besar, maka umumnya tindakan **operasi** akan dibutuhkan.
- Jika aneurisma berada dalam perut, maka dokter dapat melakukan **operasi aneurisma aorta abdominal endovascular**.
- Selain dengan operasi, aneurisma otak juga **diobati dengan obat-obatan** yang diperlukan untuk mencegah agar aneurisma otak tidak pecah.
- Aneurisma dapat **dicegah** dengan **mengontrol tekanan darah** dan menjaga **tingkat kolesterol** pada tingkat yang sehat.

Aneurisma Cerebral



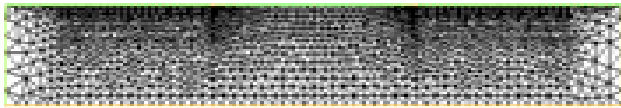
10

SIMULASI TEKANAN DAN KECEPATAN ALIRAN DARAH

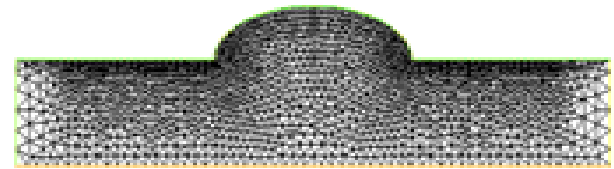


Simulasi Aliran darah pada pembuluh yang mengalami Aneurisma menggunakan FreeFem++

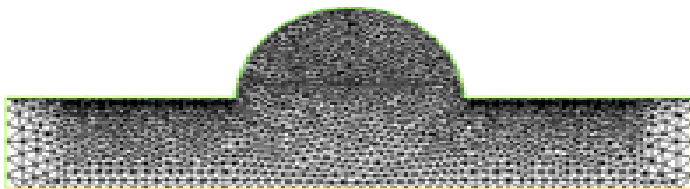
11



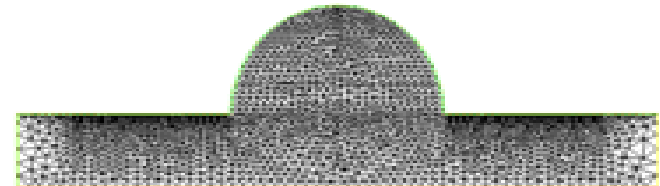
Normal



Aneurism
a 1



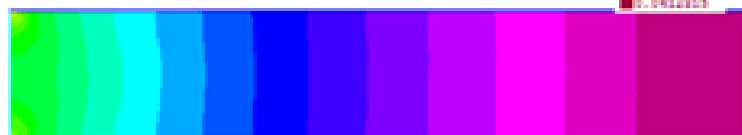
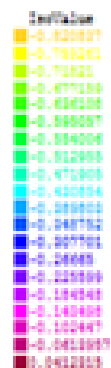
Aneurism
a 2



Aneurism
a 3

P

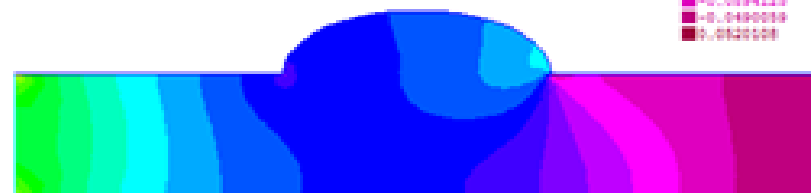
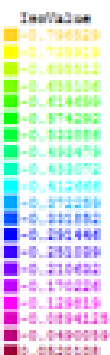
$$\Delta P = (-0.0613957 - (-0.677159)) = 0.6157633$$



P

$$\Delta P = (-0.0490059 - (-0.695512))$$

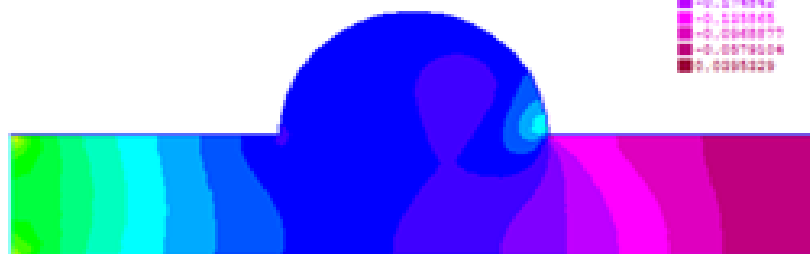
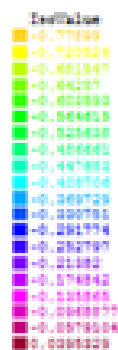
$$\Delta P = 0.6465061$$



P

$$\Delta P = -0.0579104 - (-0.720524)$$

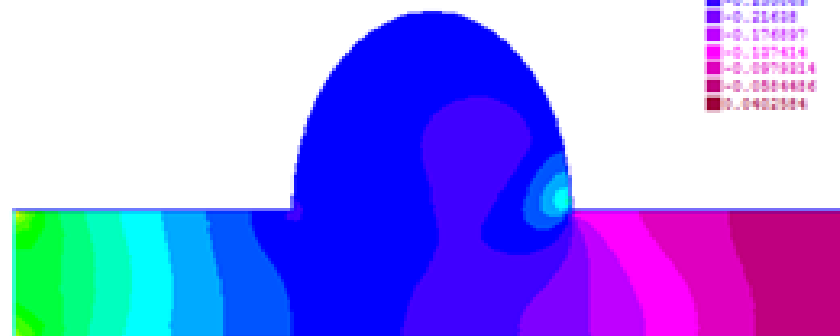
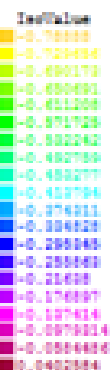
$$\Delta P = 0.6626136$$



P

$$\Delta P = -0.0584486 - (-0.729656)$$

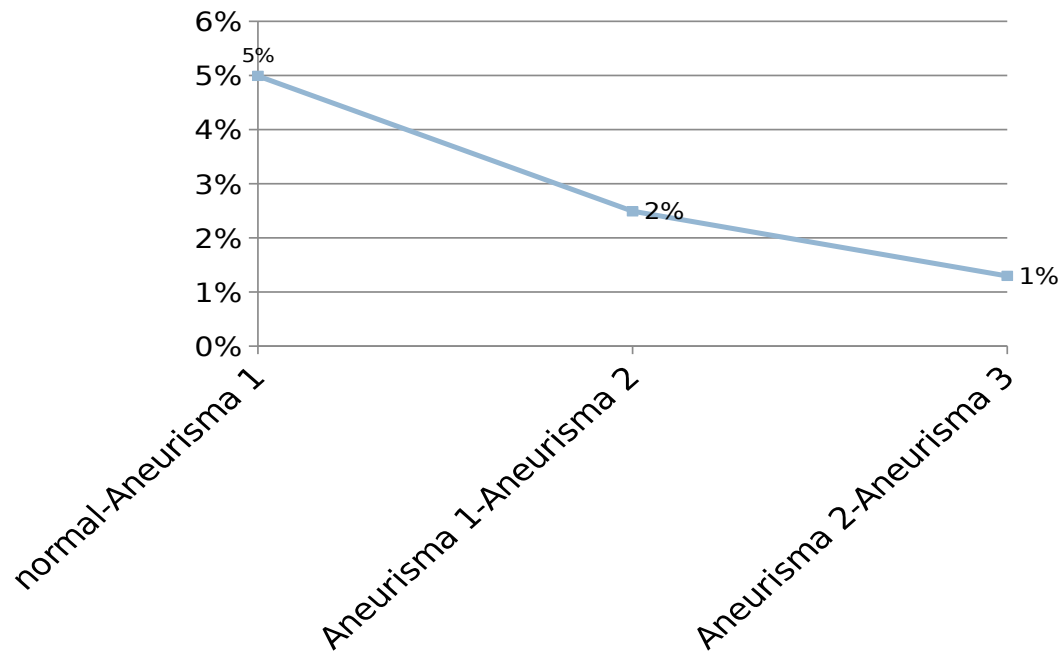
$$\Delta P = 0.6712074$$



Hasil simulasi dengan kondisi u1 tetap (u1=1)

13

Persentase kenaikan tekanan (%)



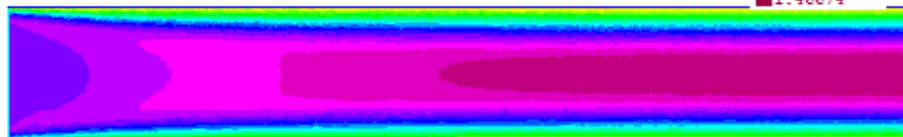
N o	Kondisi Pembuluh Arteri	U 1	ΔP
1	Normal	1	0.6157633
2	Aneurisma 1	1	0.6465061
3	Aneurisma 2	1	0,6626136
4	Aneurisma 3	1	0,6712074

Diameter aneurisma yang terjadi semakin besar seiring dengan tekanan (P) yang semakin besar juga. Semakin lama, hal ini dapat menyebabkan terjadinya ruptur pada aneurisma tersebut.

u1

IsoValue

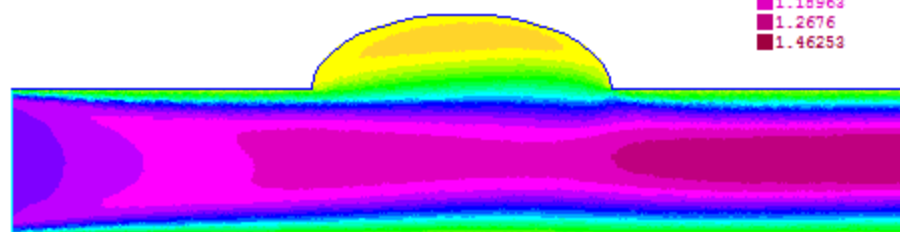
-0.079337
 0.0366685
 0.110005
 0.183342
 0.256679
 0.330016
 0.403353
 0.47669
 0.550027
 0.623364
 0.696701
 0.770038
 0.843375
 0.916712
 0.990049
 1.06338
 1.13672
 1.21006
 1.2834
 1.46674



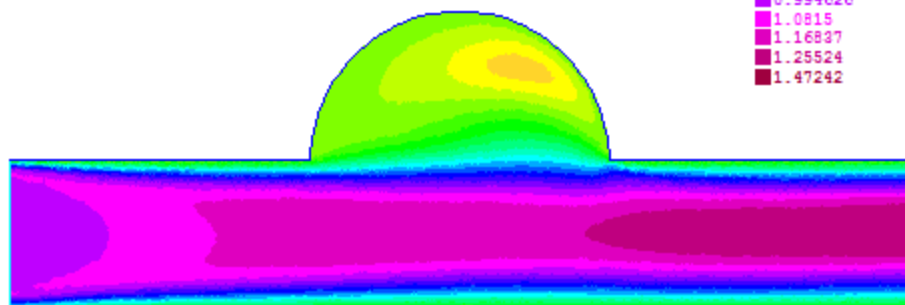
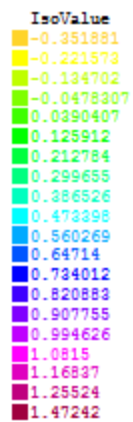
u1

IsoValue

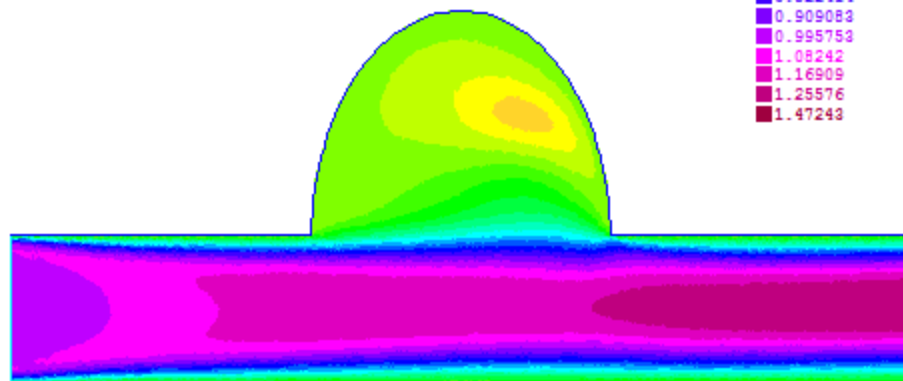
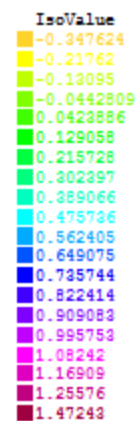
-0.174859
 -0.0579028
 0.020068
 0.0980388
 0.17601
 0.25398
 0.331951
 0.409922
 0.487893
 0.565864
 0.643835
 0.721805
 0.799776
 0.877747
 0.955718
 1.03369
 1.11166
 1.18963
 1.2676
 1.46253



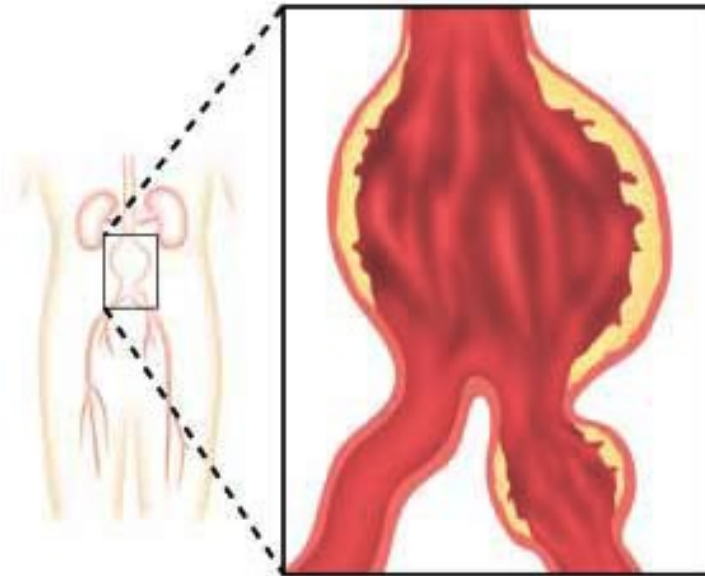
u1



u1



Dengan mengontrol tekanan darah seperti saat pembuluh darah normal, dapat mencegah pecahnya aneurisma



P $U1=1$

$$\Delta P = (-0.0613957 - (-0.677159)) = 0.6157633$$

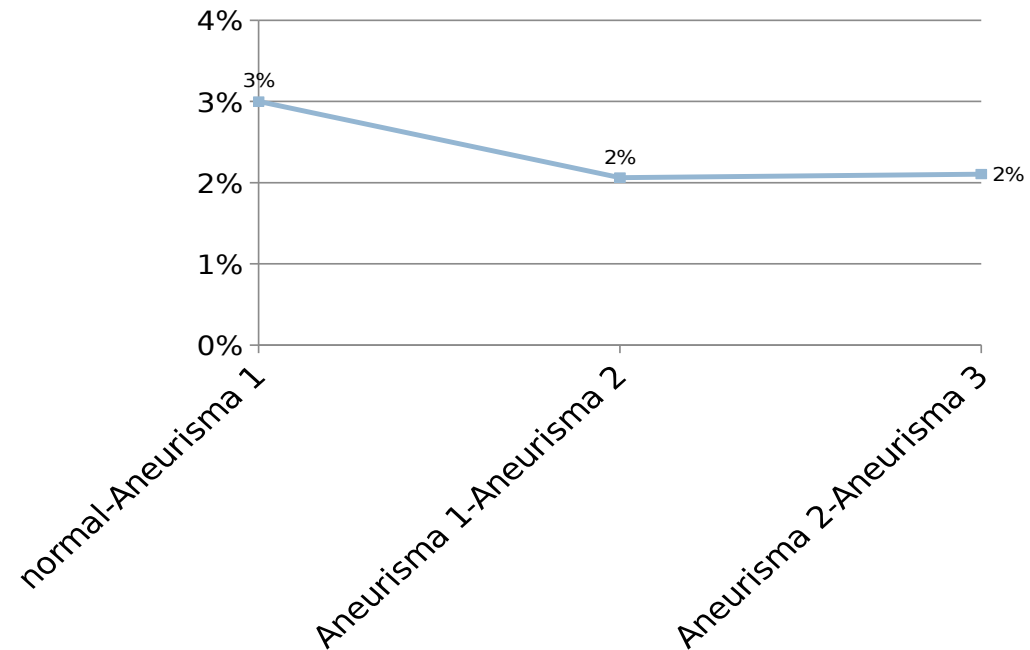
Deviation
 -0.1020027
 -0.1010045
 -0.1000063
 -0.0990081
 -0.0980099
 -0.0970117
 -0.0960135
 -0.0950153
 -0.0940171
 -0.0930189
 -0.0920207
 -0.0910225
 -0.0900243
 -0.0890261
 -0.0880279
 -0.0870297
 -0.0860315
 -0.0850333
 -0.0840351
 -0.0830369
 -0.0820387
 -0.0810405
 -0.0800423
 -0.0790441
 -0.0780459
 -0.0770477
 -0.0760495
 -0.0750513
 -0.0740531
 -0.0730549
 -0.0720567
 -0.0710585
 -0.0700603
 -0.0690621
 -0.0680639
 -0.0670657
 -0.0660675
 -0.0650693
 -0.0640711
 -0.0630729
 -0.0620747
 -0.0610765
 -0.0600783
 -0.0590801
 -0.0580819
 -0.0570837
 -0.0560855
 -0.0550873
 -0.0540891
 -0.0530909
 -0.0520927
 -0.0510945
 -0.0500963
 -0.0490981
 -0.0480999
 -0.0471017
 -0.0461035
 -0.0451053
 -0.0441071
 -0.0431089
 -0.0421107
 -0.0411125
 -0.0401143
 -0.0391161
 -0.0381179
 -0.0371197
 -0.0361215
 -0.0351233
 -0.0341251
 -0.0331269
 -0.0321287
 -0.0311305
 -0.0301323
 -0.0291341
 -0.0281359
 -0.0271377
 -0.0261395
 -0.0251413
 -0.0241431
 -0.0231449
 -0.0221467
 -0.0211485
 -0.0201503
 -0.0191521
 -0.0181539
 -0.0171557
 -0.0161575
 -0.0151593
 -0.0141611
 -0.0131629
 -0.0121647
 -0.0111665
 -0.0101683
 -0.0091701
 -0.0081719
 -0.0071737
 -0.0061755
 -0.0051773
 -0.0041791
 -0.0031809
 -0.0021827
 -0.0011845
 0.0001863
 0.0011881
 0.0021899
 0.0031917
 0.0041935
 0.0051953
 0.0061971
 0.0071989
 0.0081999
 0.0092017
 0.0102035
 0.0112053
 0.0122071
 0.0132089
 0.0142107
 0.0152125
 0.0162143
 0.0172161
 0.0182179
 0.0192197
 0.0202215
 0.0212233
 0.0222251
 0.0232269
 0.0242287
 0.0252305
 0.0262323
 0.0272341
 0.0282359
 0.0292377
 0.0302395
 0.0312413
 0.0322431
 0.0332449
 0.0342467
 0.0352485
 0.0362503
 0.0372521
 0.0382539
 0.0392557
 0.0402575
 0.0412593
 0.0422611
 0.0432629
 0.0442647
 0.0452665
 0.0462683
 0.0472701
 0.0482719
 0.0492737
 0.0502755
 0.0512773
 0.0522791
 0.0532809
 0.0542827
 0.0552845
 0.0562863
 0.0572881
 0.0582899
 0.0592917
 0.0602935
 0.0612953
 0.0622971
 0.0632989
 0.0643007
 0.0653025
 0.0663043
 0.0673061
 0.0683079
 0.0693097
 0.0703115
 0.0713133
 0.0723151
 0.0733169
 0.0743187
 0.0753205
 0.0763223
 0.0773241
 0.0783259
 0.0793277
 0.0803295
 0.0813313
 0.0823331
 0.0833349
 0.0843367
 0.0853385
 0.0863403
 0.0873421
 0.0883439
 0.0893457
 0.0903475
 0.0913493
 0.0923511
 0.0933529
 0.0943547
 0.0953565
 0.0963583
 0.0973601
 0.0983619
 0.0993637
 0.1003655
 0.1013673
 0.1023691
 0.1033709
 0.1043727
 0.1053745
 0.1063763
 0.1073781
 0.1083799
 0.1093817
 0.1103835
 0.1113853
 0.1123871
 0.1133889
 0.1143907
 0.1153925
 0.1163943
 0.1173961
 0.1183979
 0.1193997
 0.1204015
 0.1214033
 0.1224051
 0.1234069
 0.1244087
 0.1254105
 0.1264123
 0.1274141
 0.1284159
 0.1294177
 0.1304195
 0.1314213
 0.1324231
 0.1334249
 0.1344267
 0.1354285
 0.1364303
 0.1374321
 0.1384339
 0.1394357
 0.1404375
 0.1414393
 0.1424411
 0.1434429
 0.1444447
 0.1454465
 0.1464483
 0.1474501
 0.1484519
 0.1494537
 0.1504555
 0.1514573
 0.1524591
 0.1534609
 0.1544627
 0.1554645
 0.1564663
 0.1574681
 0.1584699
 0.1594717
 0.1604735
 0.1614753
 0.1624771
 0.1634789
 0.1644807
 0.1654825
 0.1664843
 0.1674861
 0.1684879
 0.1694897
 0.1704915
 0.1714933
 0.1724951
 0.1734969
 0.1744987
 0.1755005
 0.1765023
 0.1775041
 0.1785059
 0.1795077
 0.1805095
 0.1815113
 0.1825131
 0.1835149
 0.1845167
 0.1855185
 0.1865203
 0.1875221
 0.1885239
 0.1895257
 0.1905275
 0.1915293
 0.1925311
 0.1935329
 0.1945347
 0.1955365
 0.1965383
 0.1975401
 0.1985419
 0.1995437
 0.2005455
 0.2015473
 0.2025491
 0.2035509
 0.2045527
 0.2055545
 0.2065563
 0.2075581
 0.2085599
 0.2095617
 0.2105635
 0.2115653
 0.2125671
 0.2135689
 0.2145707
 0.2155725
 0.2165743
 0.2175761
 0.2185779
 0.2195797
 0.2205815
 0.2215833
 0.2225851
 0.2235869
 0.2245887
 0.2255905
 0.2265923
 0.2275941
 0.2285959
 0.2295977
 0.2305995
 0.2316013
 0.2326031
 0.2336049
 0.2346067
 0.2356085
 0.2366103
 0.2376121
 0.2386139
 0.2396157
 0.2406175
 0.2416193
 0.2426211
 0.2436229
 0.2446247
 0.2456265
 0.2466283
 0.2476301
 0.2486319
 0.2496337
 0.2506355
 0.2516373
 0.2526391
 0.2536409
 0.2546427
 0.2556445
 0.2566463
 0.2576481
 0.2586499
 0.2596517
 0.2606535
 0.2616553
 0.2626571
 0.2636589
 0.2646607
 0.2656625
 0.2666643
 0.2676661
 0.2686679
 0.2696697
 0.2706715
 0.2716733
 0.2726751
 0.2736769
 0.2746787
 0.2756805
 0.2766823
 0.2776841
 0.2786859
 0.2796877
 0.2806895
 0.2816913
 0.2826931
 0.2836949
 0.2846967
 0.2856985
 0.2867003
 0.2877021
 0.2887039
 0.2897057
 0.2907075
 0.2917093
 0.2927111
 0.2937129
 0.2947147
 0.2957165
 0.2967183
 0.2977201
 0.2987219
 0.2997237
 0.3007255
 0.3017273
 0.3027291
 0.3037309
 0.3047327
 0.3057345
 0.3067363
 0.3077381
 0.3087399
 0.3097417
 0.3107435
 0.3117453
 0.3127471
 0.3137489
 0.3147507
 0.3157525
 0.3167543
 0.3177561
 0.3187579
 0.3197597
 0.3207615
 0.3217633
 0.3227651
 0.3237669
 0.3247687
 0.3257705
 0.3267723
 0.3277741
 0.3287759
 0.3297777
 0.3307795
 0.3317813
 0.3327831
 0.3337849
 0.3347867
 0.3357885
 0.3367903
 0.3377921
 0.3387939
 0.3397957
 0.3407975
 0.3417993
 0.3428011
 0.3438029
 0.3448047
 0.3458065
 0.3468083
 0.3478101
 0.3488119
 0.3498137
 0.3508155
 0.3518173
 0.3528191
 0.3538209
 0.3548227
 0.3558245
 0.3568263
 0.3578281
 0.3588299
 0.3598317
 0.3608335
 0.3618353
 0.3628371
 0.3638389
 0.3648407
 0.3658425
 0.3668443
 0.3678461
 0.3688479
 0.3698497
 0.3708515
 0.3718533
 0.3728551
 0.3738569
 0.3748587
 0.3758605
 0.3768623
 0.3778641
 0.3788659
 0.3798677
 0.3808695
 0.3818713
 0.3828731
 0.3838749
 0.3848767
 0.3858785
 0.3868803
 0.3878821
 0.3888839
 0.3898857
 0.3908875
 0.3918893
 0.3928911
 0.3938929
 0.3948947
 0.3958965
 0.3968983
 0.3979001
 0.3989019
 0.3999037
 0.4009055
 0.4019073
 0.4029091
 0.4039109
 0.4049127
 0.4059145
 0.4069163
 0.4079181
 0.4089199
 0.4099217
 0.4109235
 0.4119253
 0.4129271
 0.4139289
 0.4149307
 0.4159325
 0.4169343
 0.4179361
 0.4189379
 0.4199397
 0.4209415
 0.4219433
 0.4229451
 0.4239469
 0.4249487
 0.4259505
 0.4269523
 0.4279541
 0.4289559
 0.4299577
 0.4309595
 0.4319613
 0.4329631
 0.4339649
 0.4349667
 0.4359685
 0.4369703
 0.4379721
 0.4389739
 0.4399757
 0.4409775
 0.4419793
 0.4429811
 0.4439829
 0.4449847
 0.4459865
 0.4469883
 0.4479901
 0.4489919
 0.4499937
 0.4509955
 0.4519973
 0.4529991
 0.4531009
 0.4541027
 0.4551045
 0.4561063
 0.4571081
 0.4581099
 0.4591117
 0.4601135
 0.4611153
 0.4621171
 0.4631189
 0.4641207
 0.4651225
 0.4661243
 0.4671261
 0.4681279
 0.4691297
 0.4701315
 0.4711333
 0.4721351
 0.4731369
 0.4741387
 0.4751405
 0.4761423
 0.4771441
 0.4781459
 0.4791477
 0.4801495
 0.4811513
 0.4821531
 0.4831549
 0.4841567
 0.4851585
 0.4861603
 0.4871621
 0.4881639
 0.4891657
 0.4901675
 0.4911693
 0.4921711
 0.4931729
 0.4941747
 0.4951765
 0.4961783
 0.4971801
 0.4981819
 0.4991837
 0.5001855
 0.5011873
 0.5021891
 0.5031909
 0.5041927
 0.5051945
 0.5061963
 0.5071981
 0.5081999
 0.5092017
 0.5102035
 0.5112053
 0.5122071
 0.5132089
 0.5142107
 0.5152125
 0.5162143
 0.5172161
 0.5182179
 0.5192197
 0.5202215
 0.5212233
 0.5222251
 0.5232269
 0.5242287
 0.5252305
 0.5262323
 0.5272341
 0.5282359
 0.5292377
 0.5302395
 0.5312413
 0.5322431
 0.5332449
 0.5342467
 0.5352485
 0.5362503
 0.5372521
 0.5382539
 0.5392557
 0.5402575
 0.5412593
 0.5422611
 0.5432629
 0.5442647
 0.5452665
 0.5462683
 0.5472701
 0.5482719
 0.5492737
 0.5502755
 0.5512773
 0.5522791
 0.5532809
 0.5542827
 0.5552845
 0.5562863
 0.5572881
 0.5582899
 0.5592917
 0.5602935
 0.5612953
 0.5622971
 0.5632989
 0.5643007
 0.5653025
 0.5663043
 0.5673061
 0.5683079
 0.5693097
 0.5703115
 0.5713133
 0.5723151
 0.5733169
 0.5743187
 0.5753205
 0.5763223
 0.5773241
 0.5783259
 0.5793277
 0.5803295
 0.5813313
 0.5823331
 0.5833349
 0.5843367
 0.5853385
 0.5863403
 0.5873421
 0.5883439
 0.5893457
 0.5903475
 0.5913493
 0.5923511
 0.5933529
 0.5943547
 0.5953565
 0.5963583
 0.5973601
 0.5983619
 0.5993637
 0.6003655
 0.6013673
 0.6023691
 0.6033709
 0.6043727
 0.6053745
 0.6063763
 0.6073781
 0.6083799
 0.6093817
 0.6103835
 0.6113853
 0.6123871
 0.6133889
 0.6143907
 0.6153925
 0.6163943
 0.6173961
 0.6183979
 0.6193997
 0.6204015
 0.6214033
 0.6224051
 0.6234069
 0.6244087
 0.6254105
 0.6264123
 0.6274141
 0.6284159
 0.6294177
 0.6304195
 0.6314213
 0.6324231
 0.6334249
 0.6344267
 0.6354285
 0.6364303
 0.6374321
 0.6384339
 0.6394357
 0.6404375
 0.6414393
 0.6424411
 0.6434429
 0.6444447
 0.6454465
 0.6464483
 0.6474501
 0.6484519
 0.6494537
 0.6504555
 0.6514573
 0.6524591
 0.6534609
 0.6544627
 0.6554645
 0.6564663
 0.6574681
 0.6584699
 0.6594717
 0.6604735
 0.6614753
 0.6624771
 0.6634789
 0.6644807
 0.6654825
 0.6664843
 0.6674861
 0.6684879
 0.6694897
 0.6704915
 0.6714933
 0.6724951
 0.6734969
 0.6744987
 0.6754999
 0.6765017
 0.6775035
 0.6785053
 0.6795071
 0.6805089
 0.6815107
 0.6825125
 0.6835143
 0.6845161
 0.6855179
 0.6865197
 0.6875215
 0.6885233
 0.6895251
 0.6905269
 0.6915287
 0.6925305
 0.6935323
 0.6945341
 0.6955359
 0.6965377
 0.6975395
 0.6985413
 0.6995431
 0.7005449
 0.7015467
 0.7025485
 0.7035503
 0.7045521
 0.7055539
 0.7065557
 0.7075575
 0.7085593
 0.7095611
 0.7105629
 0.7115647
 0.7125665
 0.7135683
 0.7145701
 0.7155719
 0.7165737
 0.7175755
 0.7185773
 0.7195791
 0.7205809
 0.7215827
 0.7225845
 0.7235863
 0.7245881
 0.7255899
 0.7265917
 0.7275935
 0.7285953
 0.7295971
 0.7305989
 0.7316007
 0.7326025
 0.7336043
 0.7346061
 0.7356079
 0.7366097
 0.7376115
 0.7386133
 0.7396151
 0.7406169
 0.7416187
 0.7426205
 0.7436223
 0.7446241
 0.7456259
 0.7466277
 0.7476295
 0.7486313
 0.7496331
 0.7506349
 0.7516367
 0.7526385
 0.7536403
 0.7546421
 0.7556439
 0.7566457
 0.7576475
 0.7586493
 0.7596511
 0.7606529
 0.7616547
 0.7626565
 0.7636583
 0.7646601
 0.7656619
 0.7666637
 0.7676655
 0.7686673
 0.7696691
 0.7706709
 0

Hasil simulasi dengan kondisi ΔP tetap ($\Delta P = 0.615$ (kondisi tekanan tanpa aneurisma))

19

N o	Kondisi Pembuluh Arteri	U1	ΔP
1	Normal	1	0.615763 3
2	Aneurisma 1	0.97	0.620576 7
3	Aneurisma 2	0.95	0,620947
4	Aneurisma 3	0.93	0,613096 8

Persentase penurunan kecepatan (%)



Kesimpulan

20

- Untuk kondisi $u1=1$, ΔP semakin tinggi seiring bertambahnya tinggi pembengkakan aneurisma, tetapi grafik persentase pertambahan tekanannya menurun.
- Kondisi $\Delta P = 0.615$ (Kondisi pembuluh normal tanpa aneurisma) diperoleh pada saat $u1=0.97$ untuk aneurisma1, $u1=0.95$ untuk aneurisma2 dan $u1=0.93$ untuk aneurisma3

Saran

21

- Melakukan pemodelan dan simulasi lebih detail dan akurat dengan bentuk geometri yang lebih rumit
- Menggunakan perangkat lunak lainnya untuk mengurangi kesalahan proses penghitungan
- Melakukan percobaan pemodelan dan simulasi 3D untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi