

PEMODELAN ALIRAN PEMBULUH DARAH CAROTID : APLIKASI PERANGKAT LUNAK FREEFEM++

Oleh

Basuki Rahmat^{a)}

Email : basuki1975@yahoo.co.id

^{a)}STIKES Widya Husada Semarang**Abstrak**

Objek studi ini dilakukan bertujuan untuk membuat sebuah simulasi pola aliran darah pada pembuluh *carotid* dengan kasus *carotid normal*, *carotid stenosis* 40 %, dan *carotid stenosis* 60 % menggunakan program perangkat lunak *FreeFem++* dua dimensi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan rancang bangun pemodelan dalam perangkat lunak *FreeFem++* yang disesuaikan atau mendekati semirip mungkin dengan kondisi pembuluh darah *carotid*. Pada tahap awal terlebih dahulu dibuat *mesh* untuk pola percabangan sesuai dengan pola dan diameter pembuluh *carotid*, kemudian dibuat *mesh* pembuluh *carotid normal*, selanjutnya dibuat *mesh carotid stenosis* dengan penyumbatan pembuluh 40% dan pembuatan *mesh* pembuluh darah *carotid stenosis* dengan penyumbatan pembuluh 60%. *Buildmesh* yang telah dibuat kemudian dibuat program simulasinya dengan iterasi sebesar 15 kali. Hasil aktivasi pada simulasi pola aliran dengan iterasi 15 kali didapat hasil bahwa pada pembuluh *carotid normal* pola aliran yang didapat berupa pola aliran yang laminar dan nilai tekanan berbanding lurus dengan lebar pembuluh. Pola aliran pada *carotid stenosis* dengan penyumbatan sebesar 40% memiliki pola aliran yang tidak laminar, ada sedikit pola aliran yang *turbulence* dan terjadi perubahan nilai tekanan pada *external carotid* dan *internal carotid*. Pola aliran pada *carotid stenosis* dengan penyumbatan sebesar 60% memiliki pola aliran yang tidak laminar dan ada pola aliran *turbulence* serta terjadi pergantian aliran dari pembuluh *externalcarotid* ke pembuluh *internalcarotid*. Hasil penelitian tadi menunjukkan bahwa program *FreeFem++* dapat digunakan untuk membuat simulasi pola aliran pada pembuluh darah *carotid* dengan kasus *carotid stenosis*.

Kata Kunci: *Carotid Stenosis,FreeFem++*, *external carotid,internal carotid*

Abstract

The objective of this research is to make the simulation of carotid blood vessel's flow pattern with the case : normal carotid, 40% stenosis carotid, and 60% stenosis carotid using the two dimension of FreeFem++software program. The methodology is using the modeling of FreeFem++ software that is almost same with the carotid blood vessel condition. The mesh is created to the branch pattern is the first step, then the normal carotid vessel mesh is created. The stenosis carotid mesh with 40% clogging and the manufacture of stenosis carotid mesh with 60% blood vessel clogging. The simulation program of Buildmesh have been created needs to be produced with 15 times iteration. The processes above stated that the normal carotid vessel's flow pattern is laminar and the pressure is directly proportional to the vessel wide. The stenosis carotid pattern with 40% clogging have no any laminar, just a little bit turbulence flow pattern and there is some pressure changing in the external and internal carotid.

Key Words: Carotid Stenosis,FreeFem++, *external carotid,internal carotid*

PENDAHULUAN

Arteri carotid adalah arteri besar dimana denyutnya dapat dirasakan pada pembuluh darah arteri di kedua sisi leher di bawah rahang. Pembuluh ini dimulai dari aorta sebagai carotid umum, kemudian pada saat di leher bercabang menyerupai garpu tala menjadi arteri carotis interna dan arteri carotis eksterna. Pembuluh darah arteri carotis intrena memasok aliran darah ke otak dan arteri carotis eksterna memasok persediaan darah ke wajah. Percabangan seperti garpu tala ini adalah situs/daerah umum yang memungkinkan terjadinya aterosklerosis, suatu inflamasi penumpukan plak yang dapat mempersempit arteri umum atau interna.

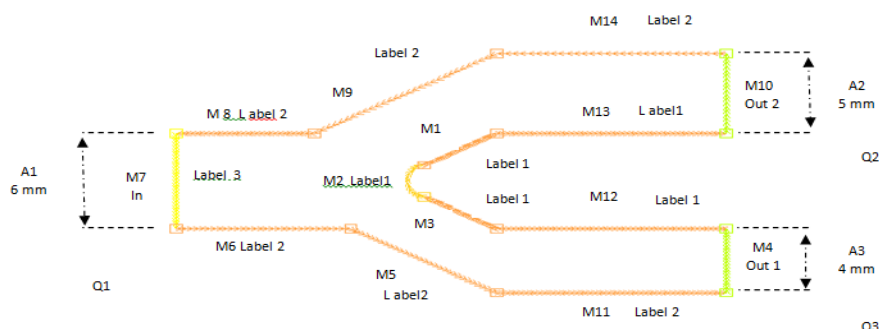
Carotid Stenosis mengacu pada penyumbatan dan penyempitan arteri carotid di leher. Pembuluh darah arteri carotid memiliki tugas untuk memasok darah ke otak sehingga nutrisi di otak dapat terpenuhi dengan baik. Daerah percabangan di *carotid interna* dan *carotid eksternal* memiliki resiko terjadinya penyumbatan/penyempitan yang disebabkan oleh timbunan plak lemak. Kasus terjadinya penyumbatan/penyempitan ini disebut sebagai aterosklerosis. Bahan lemak terakumulasi di lapisan dalam pembuluh darah dan mengakibatkan penyempitan stenosis dan ketidakaturan jalur

pembuluh arteri.

Penelitian mengenai pemodelan pembuluh darah carotid sudah pernah dilakukan sejak tahun 2005, penelitian tersebut mayoritas difokuskan menggunakan pendekatan matematika sebagai pemodelan, dan mayoritas dilakukan oleh peneliti-peneliti di luar Indonesia. Saat ini telah dikembangkan perancangan perangkat lunak *FreeFem++* yang dapat digunakan untuk mengetahui pola aliran yang melalui sebuah media pipa atau dua buah dinding sejajar. Tantangan selanjutnya adalah menyempurnakan penggunaan *software FreeFem++* untuk memodelkan pola aliran darah dalam arteri agar dapat dimanfaatkan oleh peneliti-peneliti Indonesia pada khususnya dan masyarakat luas pada umumnya.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada studi ini berupa eksperimen membuat model pembuluh darah Carotid mendekati kondisi yang sebenarnya. Ukuran diameter pembuluh darah yang digunakan untuk *Common Carotid* 5,9 mm dibulatkan menjadi 6 mm, diameter *Internal Carotid* 5,2 mm dibulatkan menjadi 5 mm dan diameter *external carotid* 3,8 mm dibulatkan menjadi 4 mm.



Gambar 1. *Build Mesh* untuk pemodelan pembuluh darah *carotid*.

Dalam kondisi normal pada pembuluh darah carotid didapat parameter sebagai berikut :

Volume Input = Volume Output

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3$$

$$D_1 = 6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_1 &= \pi \left[\frac{1}{2} D_1 \right]^2 \\ &= 3.14 * [3]^2 \\ &= 28.26 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$D_2 = 5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= \pi \left[\frac{1}{2} D_2 \right]^2 \\ &= 3.14 * [2.5]^2 \\ &= 19.625 \text{ mL} \end{aligned}$$

$$D_3 = 4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_3 &= \pi \left[\frac{1}{2} D_3 \right]^2 \\ &= 3.14 * [2]^2 \\ &= 12.56 \text{ mL} \end{aligned}$$

Sesuai dengan parameter pada tabel *blood rheology* maka;

$$V_1 = 187 \text{ mm/s}$$

$$V_2 = 156 \text{ mm/s}$$

$$V_3 = 157 \text{ mm/s}$$

Sehingga ;

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3$$

$$[28.26 * 187] = [19.625 * 156] + [12.56 * 157]$$

$$5.1 \text{ mL/s} = [3.1 \text{ mL/s}] + [2 \text{ mL/s}]$$

$$Q_1 = 5.1 \text{ mL/s}, Q_2 = 3.1 \text{ mL/s},$$

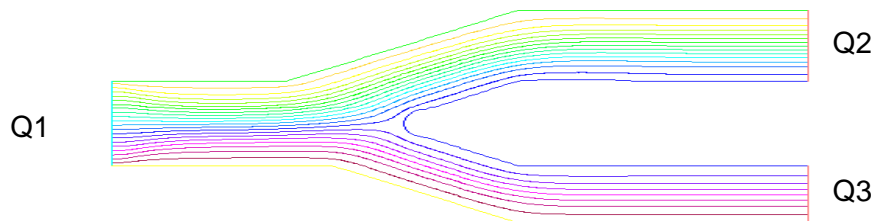
$$Q_3 = 2 \text{ mL/s}.$$

Hasil Dan Pembahasan

Simulasi pola aliran pada pembuluh carotid ini dibuat dengan kasus *carotid stenosis* dengan kondisi penyempitan *internal* sebesar 0 %, 40 % dan 60 % sehingga nantinya diharapkan didapat adanya perbedaan pola aliran yang besar. Simulasi penyempitan pembuluh *carotid* dengan kasus *carotid stenosis* dimisalkan pada cabang *Internal Carotid* bagian bawah.

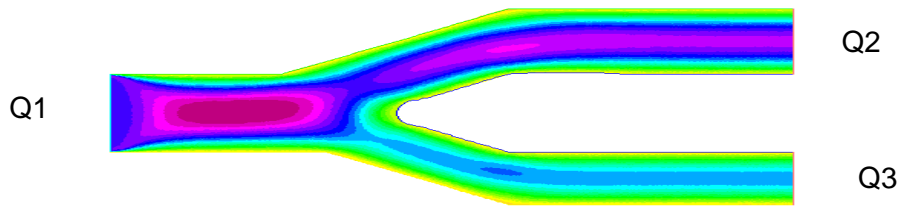
Model pola aliran pada *carotid* 0 % (Normal)

Streamlines yang didapat pada percobaan pola aliran pada pembuluh darah *carotid* normal dengan iterasi 15 kali didapat garis aliran yang *steady* seperti terlihat pada Gambar di bawah.



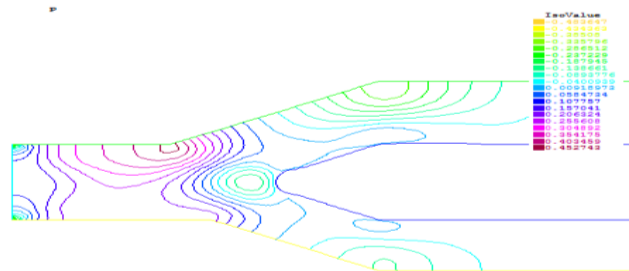
Gambar 2 *Streamlines* dengan iterasi 15 kali.

Pola aliran (U_1) pada pembuluh darah *carotid normal* dapat terlihat bahwa pembagian volume aliran sesuai dengan luas penampang pada masing-masing bagian dimana $Q_1 = Q_2 + Q_3$.



Gambar 3. Pola aliran (U1) pada carotid normal

Tekanan yang terjadi pada pembuluh darah carotid normal dapat dilihat pada parameter yang terekam pada simulasi freefem atau dengan menggunakan persamaan *Hagen-Poiseuille*.



Gambar 4. Titik perbedaan tekanan pada carotid normal

Dengan persamaan *Hagen-Poiseuille* maka didapat nilai perbedaan tekanan :

$$\Delta P = \frac{8\mu LQ}{\pi R^4}$$

Blood density $\rho = 1.06 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
High shear-rate blood viscosity [75] $\eta = 3-5.5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$.

Tekanan pada *carotid normal* :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{8\mu LQ}{\pi R^4} \\ &= \frac{8 * 3\text{mPa} \cdot \text{s} * 30\text{mm} * 5.1\text{mL/s}}{3.14 * (3\text{mm})^4} \end{aligned}$$

$$= 14.43 \text{ mPa.s}$$

Tekanan pada internal carotid:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{8\mu LQ}{\pi R^4} \\ &= \frac{8 * 3\text{mPa} \cdot \text{s} * 30\text{mm} * 5.1\text{mL/s}}{3.14 * (3\text{mm})^4} \end{aligned}$$

$$= 14.43 \text{ mPa.s}$$

Tekanan pada internal carotid:

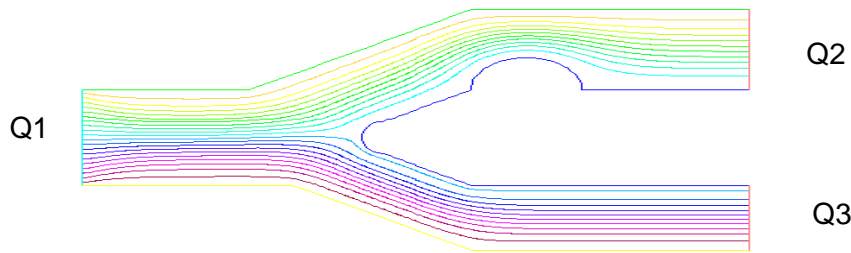
$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{8\mu LQ}{\pi R^4} \\ &= \frac{8 * 3\text{mPa} \cdot \text{s} * 10\text{mm} * 3.1\text{mL/s}}{3.14 * (2.5\text{mm})^4} \\ &= 6.06 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

Tekanan pada eksternal karotis :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \frac{8\mu LQ}{\pi R^4} \\ &= \frac{8 * 3\text{mPa} \cdot \text{s} * 10\text{mm} * 2\text{mL/s}}{3.14 * (2\text{mm})^4} \\ &= 9.55 \text{ mPa.s} \end{aligned}$$

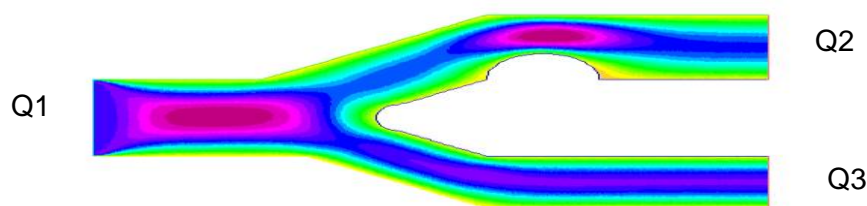
Model Pola Aliran *Carotid Stenosis 40 %*

Streamlines yang didapat pada percobaan simulasi pola aliran pembuluh darah carotid stenosis 40 % dengan iterasi 15 kali didapat garis aliran yang steady seperti terlihat pada gambar di bawah.



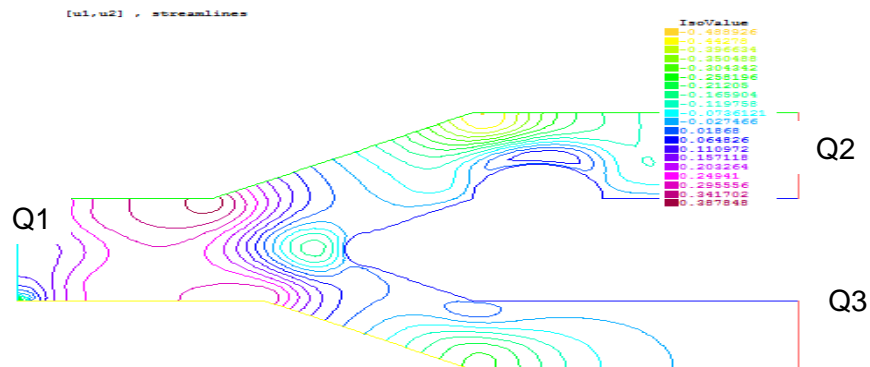
Gambar 8. Streamlines carotid stenosis 40 % dengan iterasi 15 kali.

Pola aliran (U_1) pada carotid stenosis 40 % dapat terlihat bahwa pembagian volume aliran mengalami perubahan dimana pada pembuluh eksternal karotis mengalami peningkatan volume aliran. $Q_2 < Q_3$



Gambar 9. Pola aliran (U_1) pada karotis stenosis 40 %

Tekanan yang terjadi pada pola aliran pembuluh darah dengan kasus carotid stenosis 40 % dapat dilihat pada parameter yang terekam pada simulasi freefem atau dengan menggunakan persamaan *Hagen-Poiseuille*.



Gambar 10. Titik perbedaan tekanan pada karotis stenosis 40 %

Parameter pada kasus stenosis 40 % :

$$Q_2 = A_2 \cdot V_2$$

$$A_2 = \pi \left[\frac{1}{2} D_2 \right]^2$$

stenosis 40 % maka $D_2 = 3 \text{ mm}$

$$= 3.14 [1.5]^2$$

$$= 7.06 \text{ mL}$$

karena ada

$$Q_2 = 7.06 \cdot 156$$

$$= 1.1 \text{ mL/s}$$

$$\Delta P = \frac{8\mu L Q}{\pi R^4}$$

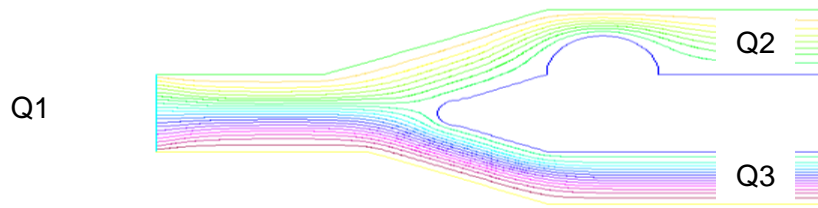
$$= \frac{8 \cdot 3 \text{ mPa} \cdot \text{s} \cdot 10 \text{ mm} \cdot 1.1 \text{ mL/s}}{3.14 \cdot (1.5 \text{ mm})^4}$$

$$= 16.8 \text{ mPa,s}$$

Model Pola Aliran Carotid Stenosis 60 %

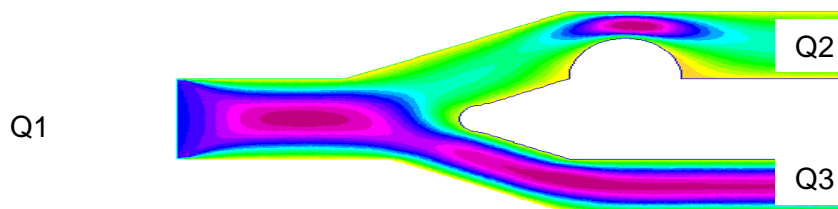
Streamlines yang didapat pada percobaan pola aliran pembuluh darah dengan kasus Interna carotid

stenosis 60 % dengan iterasi 15 kali didapat garis aliran yang steady seperti terlihat pada Gambar 11 di bawah.



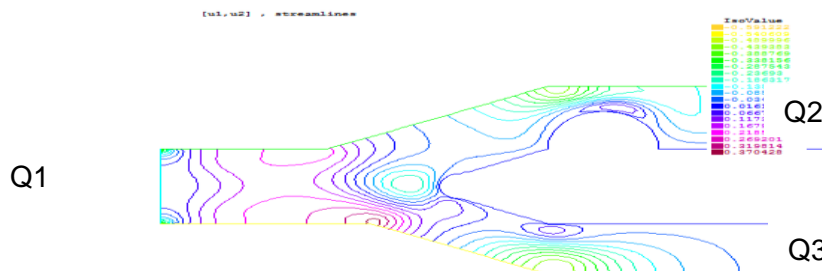
Gambar 11. Streamlines pada carotid stenosis 60 % dengan iterasi 15 kali

Pola aliran (U_1) pada carotid stenosis 60 % dapat terlihat bahwa pembagian volume aliran mengalami perubahan dimana pada pembuluh external carotid mengalami peningkatan volume aliran. $Q_2 \lll Q_3$



Gambar 12. Pola aliran pada carotid stenosis 60 %

Tekanan yang terjadi pada carotid stenosis 60 % dapat dilihat pada parameter yang terekam pada simulasi FreeFem++ atau dengan menggunakan persamaan Hagen-Poiseuille.



Gambar 13. Titik perbedaan tekanan pada karotis stenosis 60 %

Parameter pada kasus stenosis 60 %

$$Q_2 = A_2 \cdot V_2$$

$$A_2 = \pi \left[\frac{1}{2} D_2 \right]^2$$

60 % maka $D_2 = 2 \text{ mm}$

karena ada stenosis

$$= 3.14 [1]^2$$

$$= 3.14$$

$$Q_2 = 3.14 \cdot 156$$

$$= 0.49 \text{ mL/s}$$

$$\Delta P = \frac{8\mu LQ}{\pi R^4}$$

$$= \frac{8 * 3mPa.s * 10mm * 0.49mL/s}{3.14 * (1 mm)^4}$$

$$= 37.45$$

Simpulan dan Saran

Program Freefem++ dapat digunakan untuk pemodelan pola aliran fluida dalam pembuluh darah carotid. Pola aliran darah dalam pembuluh carotid pada kasus carotid stenosis mengalami perubahan pola aliran sesuai dengan derajat prosentase stenosis-nya. Perbedaan tekanan dalam pembuluh carotid pada kasus karotid stenosis berbanding lurus dengan derajat prosentase stenosis-nya. Perlu adanya pemodelan yang lebih mendekati sesuai dengan kondisi sebenarnya sehingga pola yang didapat mendekati dengan kondisi nyata. Dikembangkan untuk pemodelan 3 Dimensi, sehingga pola aliran yang disimulasikan dapat menggambarkan kondisi sebenarnya.

Daftar Pustaka

- Adel M Malek, Seth Alper, Seigo Izumo. *Hemodynamic Shear Stress and Its Role in Atherosclerosis*. American Medical Association. 1999.
- Anne M. Robertson, Adelia Sequeira, Marina V Kameneva. *Hemodynamical Flows Modeling Analysis and Simulation*. Switzerland, 2008.
- D Vader, H Wyss. *Introduction to Rheology*. Weitzlab Group Meeting Tutorial, 2004.
- Franklin W. *Review of Vector Calculus in Transport Phenomena*. Olin College Engineering, 2004.
- O. Pantz. *An Introduction to FreeFem++*, Ecole Polytechnique, 2010.
- R. Byron Bird. Warren E, Stewart, Edwin N Lightfoot. *Transport Phenomena*. Madison, Wisconsin, US, 2001.