

PEMODELAN EKSPANSI STENT JANTUNG DENGAN BALON HYPER - ELASTIS

Donny Suryawan¹, Suyitno²

Jurusan Teknik Mesin¹, Teknik Industri², Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Teknika., Bulaksumur, Yogyakarta
Email : donny_s@ymail.com¹, Suyitno@ugm.ac.id²

ABSTRACT

Coronary artery disease (CAD) is a disease that most cause mortality in Indonesia. CAD is caused by cholesterol-containing deposit (plaque) that make the coronary artery become narrow and can cause a heart attack. Stent implantation is the most common treatment to opens or alleviates the narrowing coronary artery. A preliminary study has done to simulate the expansion of coronary stent with negligible balloon method. The negligible balloon is less accurate and far from realistic condition because it neglects the presence of the balloon. This study has proposed another method to simulate the stent expansion. Hyper-elastic balloon method is used to investigate the stress distribution, outer diameter change, and dogboning phenomena of the stent.

Keywords : Design, Stent, Modelling, Manufacturing.

1. PENDAHULUAN

Penyakit jantung koroner (PJK) adalah salah satu penyakit yang banyak menyebabkan kematian. PJK terjadi karena penyumbatan atau penyempitan pada arteri koroner sehingga menyebabkan darah tidak mengalir dengan lancar dan jantung menjadi bekerja lebih keras dari biasanya. Pada tahun 2013, lebih dari 2 juta orang terdiagnosa dan terindikasi menderita PJK (*Data Centre and Information of Indonesian Health Ministry, 2013*).

Beberapa upaya perawatan untuk penderita penyakit jantung koroner adalah dengan melakukan operasi *bypass* atau dengan memasang *stent* jantung. Pilihan kedua menjadi alternatif yang banyak digunakan karena biayanya relatif lebih murah dibanding dengan operasi *bypass*. *Stent* merupakan salah satu perlengkapan medis yang sampai saat ini masih bergantung dari impor. Penelitian ini menawarkan salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan impor *stent* yaitu dengan memproduksi secara mandiri. Pembuatan desain dan pemodelan merupakan salah satu langkah awal sebelum proses manufaktur. Pemodelan merupakan salah satu metode alternatif untuk membuat banyak skenario terkait geometri, material ataupun strategi lain untuk menghasilkan suatu gambaran fungsi produk

tersebut sebelum dibuat atau dimanufaktur. Pemodelan cukup penting sebagai alat riset untuk kemudian divalidasi dengan hasil eksperimen. Pada penelitian ini, hasil pemodelan akan menjadi pertimbangan terkait catatan - catatan desain sebelum di manufaktur. Tentunya kemudahan manufaktur menjadi salah satu kunci utama agar *stent* mampu dibuat dengan *Electrical Discharge Machine (EDM)*. Mesin EDM dipilih untuk proses manufaktur *stent* dengan pertimbangan mahalannya mesin *laser cutting* produksi *stent*.

Studi terkait pemodelan *stent* cukup banyak ditemukan diliteratur. Terdapat beberapa strategi untuk memodelkan ekspansi *stent*. Strategi ekspansi *stent* dengan mengabaikan balon adalah salah satu strategi yang paling sederhana (David Chua SN, 2002, Gu, L., Santra, S., Mericle, R.A., et al, 2005). Tekanan diberikan langsung pada permukaan dalam *stent* dan mengabaikan efek dari ekspansi balon. Skenario pemberian tekanan juga diperlukan supaya gaya ekspansi yang dihasilkan sama dengan gaya ekspansi yang dihasilkan saat balon diperhitungkan (Suryawan. D and Suyitno, 2016). Kelebihan dari strategi ekspansi yang mengabaikan balon adalah komputasi yang cepat dan tidak membutuhkan sumber komputasi yang tinggi.

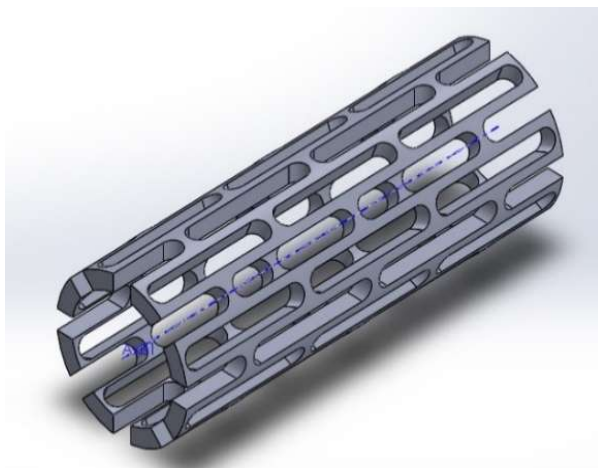
Hal tersebut terjadi karena diabaikannya interaksi *stent* dengan balon. Strategi ekspansi lain yang dapat digunakan adalah dengan memodelkan balon menggunakan material *hyper* - elastis. Strategi tersebut cukup baik untuk menginvestigasi ekspansi *stent* karena memperhitungkan kontak balon dengan *stent* (Esghei, N, M. H. Hojjati, M. Imani, A. M. Goudarzi, 2011).

Pada penelitian ini pemodelan dilakukan dengan menggunakan balon *hyper* - elastis untuk mengetahui deformasi, distribusi tegangan dan fenomena *dogbone* pada ekspansi *stent* yang dilakukan.

2. METODE PENELITIAN

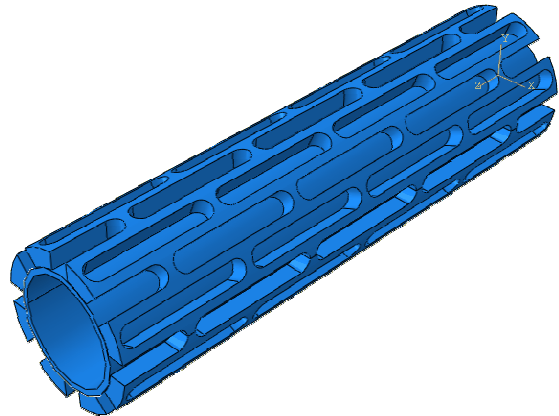
2.1. Geometri Model

Model *stent* jantung yang digunakan adalah desain dengan pertimbangan kemudahan manufaktur menggunakan EDM (Suryawan. D and Suyitno, 2016). Pertimbangan tersebut meliputi pemilihan bentuk lubang yang sederhana. *Stent* di desain dengan panjang 10 mm. Panjang tersebut disesuaikan dengan produk komersil *stent* yang telah beredar dipasaran. Ukuran diameter dalam yang digunakan adalah sebesar 2 mm dan diameter luar adalah sebesar 2.6 mm. Ukuran diameter tersebut dibuat dengan mempertimbangkan kemampuan mesin bubut konvensional dalam menyediakan bahan *stent*. Panjang lubang *stent* adalah 2 mm dan lebar lubang adalah 0.32 mm. Desain *stent* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Desain *Stent*.

Model balon yang digunakan adalah balon silinder *hyper* - elastis dengan panjang 10 mm. diameter dalam dan diameter luar balon tersebut adalah 1.8 mm dan 2 mm. Model keseluruhan antara *stent* dan balon *hyper* - elastis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Keseluruhan *Stent* dan Balon *Hyper* - Elastis.

2.2. Spesifikasi Material

Material yang digunakan untuk pemodelan *stent* adalah *Stainless steel 316 L*. Spesifikasi material tersebut adalah *modulus young* sebesar 196000 N/mm², *poisson* rasio sebesar 0.4 dan tegangan luluh sebesar 375 N/mm². Sedangkan Material balon di modelkan sebagai *polyurethane* yang di definisikan dengan *hyper* - elastis *Mooney - rivlin nonlinier* orde pertama. Konstanta fungsi energi yang digunakan adalah $C(10) = 1.06881\text{MPa}$, $C(01) = 0.710918\text{MPa}$ dan $d=1070\text{Kg/m}^3$ (Murphy, B.P., Savage, P., McHugh, P.E. 2003).

2.3. Aspek Numerik

Stent dimodelkan dengan elemen *8-node linear brick with reduce integration (C3D8R)* yang terdiri dari 2376 elemen *mesh*. Sedangkan balon *hyper*-elastis dimodelkan dengan 6800 elemen *8-node linear brick with reduce integration (C3D8R)*. Pemodelan proses ekspansi *stent* dibagi dalam 4 tahap skenario. Skenario tersebut di adaptasi dari prosedur pemasangan *stent*. Skenario pertama adalah tahap awal. Tahap awal adalah saat *stent* dan balon dalam kondisi normal tanpa beban apapun.

Skenario kedua adalah tahap *crimping* atau tahap mengecilkan *stent* agar dapat dimasukkan ke dalam pembuluh darah. Skenario ketiga adalah tahap ekspansi yaitu dengan memberikan tekanan pada permukaan dalam balon hingga *stent* mengembang. Skenario terakhir adalah tahap pelepasan tekanan. Tahap ini dilakukan saat *stent* sudah mengembang atau berekspansi.

Pemodelan proses ekspansi dilakukan menggunakan perangkat lunak *ABAQUS* dengan prosedur eksplisit. Variasi tekanan diberikan untuk mengetahui diameter akhir dari proses ekspansi dan besarnya *dogbone* akibat dari tekanan tersebut. Variasi tekanan yang diberikan adalah 1 MPa, 1.25 MPa, 1.5 MPa, 1.75 MPa, and 2 MPa. Kondisi batas diberikan pada ujung - ujung balon dengan memaksa tidak ada deformasi aksial pada ujung balon. Definisi kontak yang digunakan adalah *general contact*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

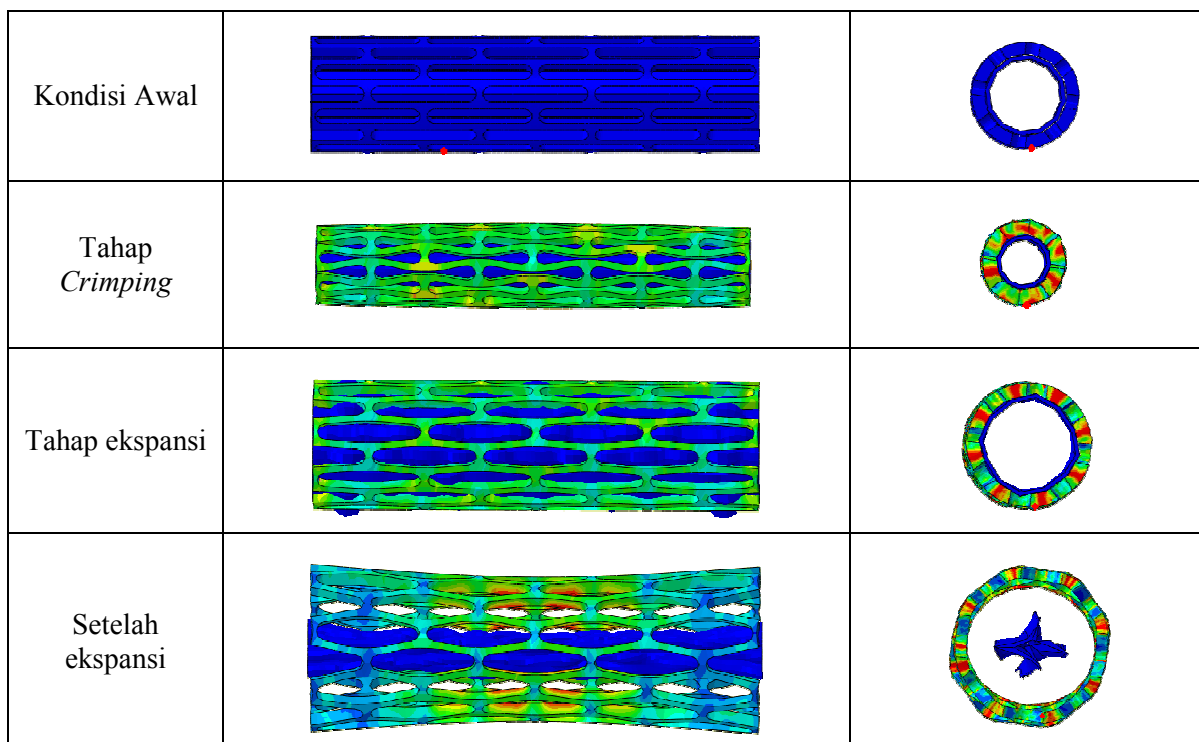
3.1. Hasil Ekspansi

Hasil pemodelan proses ekspansi dapat dilihat pada gambar 3. Secara umum, *stent* dapat berekspansi dengan baik akan tetapi fenomena *dogbone* tidak dapat dihindarkan.

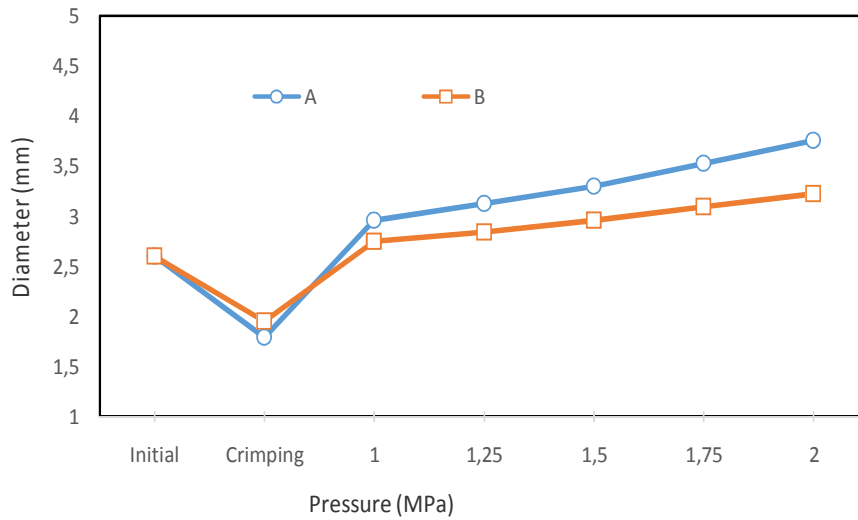
Dogbone adalah fenomena perbedaan diameter bagian tepi *stent* dengan bagian tengah *stent* setelah proses ekspansi. Meski tak dapat dihindarkan fenomena *dogbone* harus diminimalkan karena *dogbone* yang terlalu besar akan menyebabkan luka pada pembuluh koroner. Fenomena *dogbone* terjadi karena pada bagian ujung *stent* lubang *stent* (*cell*) terbuka. Sehingga hanya ada dua *strut* yang menyangga deformasi *stent*. Hal tersebut menyebabkan bagian tepi *stent* lebih cepat dan lebih mudah terdeformasi sehingga menyebabkan diameter tepi *stent* lebih besar dibanding bagian tengah *stent*.

3.2. Distribusi Tegangan

Konsentrasi tegangan terjadi pada bagian tengah dari permukaan dalam *stent*. Hal tersebut terjadi karena tambahan tegangan yang diakibatkan oleh deformasi bagian tepi *stent*. Bagian tepi yang terdeformasi lebih cepat dan lebih besar menyebabkan bertambahnya tegangan tarik di bagian tengah dari permukaan dalam *stent*. Pada tekanan 2 MPa, tegangan maksimum yang terjadi adalah 367MPa. Distribusi tegangan secara jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3. Proses Ekspansi.



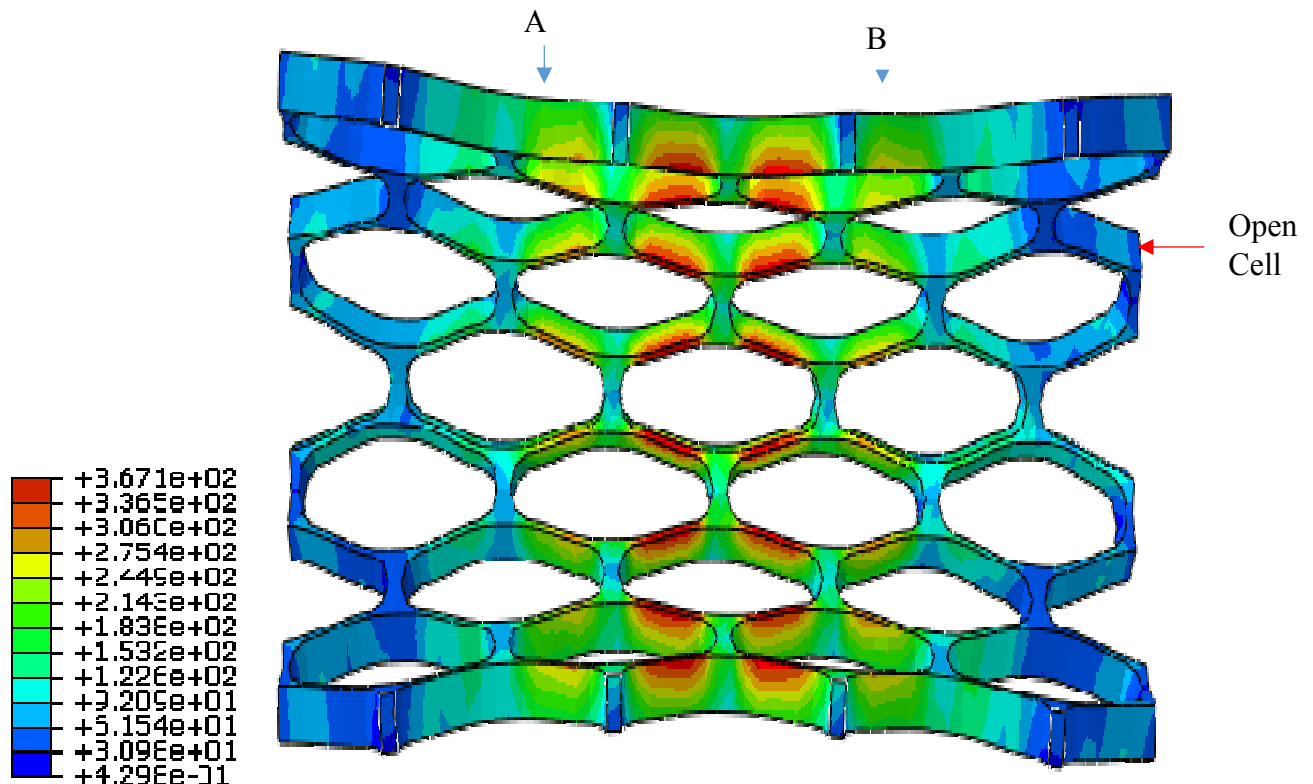
Gambar 4. Pengukuran Diameter Luar Stent Terhadap Variasi Tekanan.

3.3. Perubahan Diameter Luar Stent

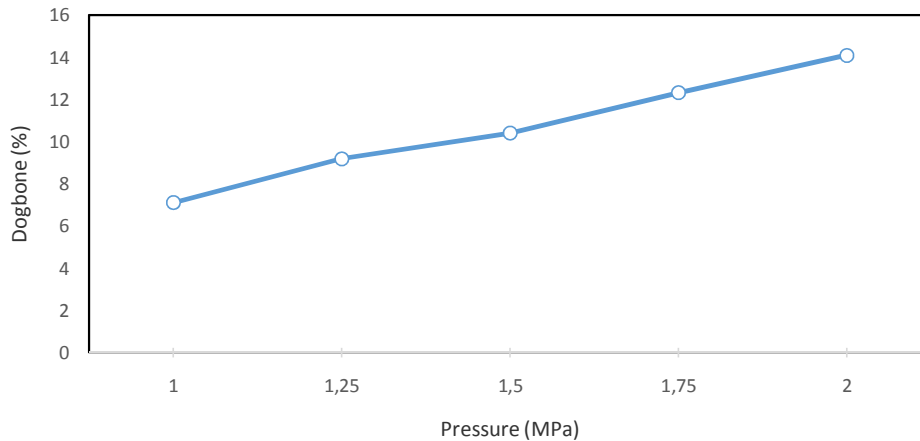
Pengukuran diameter luar stent dilakukan pada dua bagian. Bagian pertama adalah diameter tepi stent (A) dan bagian kedua adalah diameter bagian tengah stent (B).

Pengukuran diameter menunjukkan korelasi linier selisih diameter tepi dan tengah terhadap tekanan yang di berikan.

Semakin besar tekanan yang diberikan maka perbedaan diameter luar dengan diameter dalam stent semakin besar. Hal tersebut berarti juga bahwa prosentase dogbone juga semakin besar. Hasil pengukuran diameter luar stent secara lengkap dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Distribusi Tegangan.



Gambar 6. Prosentase *Dogbone*.

3.4. Prosentase Fenomena *Dogbone*

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, fenomena *dogbone* merupakan fenomena yang tidak dapat dihindari akan tetapi harus diminimalkan untuk mencegah terjadinya luka pada pembuluh koroner.

Luka pada pembuluh koroner dapat memicu terjadinya *stent thrombosis* atau penggumpalan darah pada daerah pemasangan *stent*. Prosentase *dogbone* paling kecil terjadi saat tekanan yang diberikan adalah 1 MPa. Prosentase akan semakin naik seiring dengan semakin tingginya tekanan yang diberikan.

4. KESIMPULAN

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa desain *stent* yang dibuat mampu berekspansi dengan baik. Hanya saja ada beberapa catatan yang harus diperhatikan antara lain pada beberapa titik masih terjadi konsentrasi tegangan yang cukup tinggi.

Konsentrasi tegangan tersebut terjadi karena gaya tarik deformasi pada tepi *stent*. Evaluasi dan optimasi desain *stent* tentunya masih perlu dilakukan untuk mengurangi adanya konsentrasi tegangan pada lokasi tertentu. Selain itu fenomena *dogbone* yang masih cukup besar pada tekanan tinggi juga

perlu menjadi perhatian sebelum *stent* di manufaktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Auricchio, F., Di Loreto, M., Sacco, E. Finite-element analysis of a stenotic artery revascularization through a stent insertion. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering* 4, 249–263, 2001.
- Data Centre and Information of Indonesian Health Ministry. The heart health condition. Indonesian Health Ministry. Indonesia : Jakarta, 2013.
- David Chua SN, Mac Donald BJ, Hashmi MSJ. *Finite - element Simulation of Stent Expansion*. *Journal of Materials Processing Technology*; 120 : 335 - 40, 2002.
- Esghei, N, M. H. Hojjati, M. Imani, A. M. Goudarzi. *Finite Element Analysis of Mechanical Behaviour of A Coronary Stent*. *Procedia Engineering* 10 (2011) 3056 – 3061, 2011.
- Gu, L., Santra, S., Mericle, R.A., et al. *Finite Element Analysis of Covered Microstents*. *Journal of Biomechanics* 38, 1221 – 1227, 2005.

Murphy, B.P., Savage, P., McHugh, P.E. *The stress – strain behavior of coronary stent struts is size dependent*. *Annals of Biomedical Engineering* 31, 686 – 691, 2003.

Suryawan. D and Suyitno. *Design and modelling balloon-expandable coronary stent for manufacturability*. Submitted to 11th Joint Conference on Chemistry, 2016.