

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iii |
| NASKAH SOAL TUGAS AKHIR | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN | xvii |
| INTISARI | xix |
| ABSTRACT | xx |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 4 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| BAB III DASAR TEORI | 8 |
| 3.1 <i>Stent</i> | 8 |
| 3.1.1 Mekanisme Ekspansi | 9 |
| 3.1.2 Desain Dasar | 11 |
| 3.1.3 Komposisi Material | 12 |
| 3.2 Metode Elemen Hingga | 13 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 3.3 | Sifat Mekanik Bahan | 15 |
| 3.3.1 | Faktor Deformasi Bahan..... | 15 |
| 3.3.2 | Kekuatan Tarik | 17 |
| 3.3.3 | Keuletan | 17 |
| 3.3.4 | Kekerasan | 17 |
| 3.4 | Tegangan <i>Von Mises</i> | 18 |
| 3.5 | <i>Displacement</i> | 18 |
| 3.6 | <i>Radial Recoil</i> | 18 |
| 3.7 | <i>Longitudinal Recoil</i> | 18 |
| 3.8 | <i>Foreshortening</i> | 20 |
| BAB IV METODOLOGI PENELITIAN | | 21 |
| 4.1 | Objek Penelitian | 21 |
| 4.2 | Alat Penelitian | 22 |
| 4.3 | Bahan Penelitian | 23 |
| 4.4 | Tahapan Penelitian | 24 |
| BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN | | 30 |
| 5.1 | Hasil Uji Ekspansi | 30 |
| 5.1.1 | Analisis Tegangan <i>Von Mises</i> | 30 |
| 5.1.1.1 | Hubungan Ketebalan <i>Stent</i> dengan Tegangan <i>Von Mises</i> | 43 |
| 5.1.1.2 | Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya..... | 48 |
| 5.1.2 | Analisis <i>Displacement</i> | 49 |
| 5.1.2.1 | Hubungan Ketebalan <i>Stent</i> dengan <i>Displacement</i> | 55 |
| 5.1.3 | Analisis <i>Radial Recoil</i> | 59 |
| 5.1.3.1 | Hubungan Ketebalan <i>Stent</i> dengan <i>Radial Recoil</i> | 62 |
| 5.1.4 | Analisis <i>Longitudinal Recoil</i> | 64 |
| 5.1.4.1 | Hubungan Ketebalan <i>Stent</i> dengan <i>Longitudinal Recoil</i> .. | 67 |
| 5.1.5 | Analisis <i>Foreshortening</i> | 70 |
| 5.1.5.1 | Efek Ketebalan <i>Stent</i> dalam Analisis <i>Foreshortening</i> | 73 |

| | |
|-----------------------------|----|
| BAB VI PENUTUP | 76 |
| 6.1 Kesimpulan | 76 |
| 6.2 Saran..... | 77 |
| DAFTAR PUSTAKA | 78 |
| LAMPIRAN | 82 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 3.1 | Proses <i>Angioplasty</i> | 8 |
| Gambar 3.2 | Tegangan <i>Plaque</i> | 9 |
| Gambar 3.3 | <i>Balloon Expandable Stents</i> : (A) Kateter balon dan <i>stent</i> dimasukkan dalam pembuluh darah; (B) Balon dan <i>stent</i> diekspansikan; (C) <i>Stent</i> telah terekspansi dan balon meninggalkan pembuluh darah | 10 |
| Gambar 3.4 | <i>Self Expanding Stent</i> : (A) Kateter dan <i>stent</i> menuju pembuluh darah yang dituju; (B) <i>Stent</i> mulai dikembangkan; (C) <i>Stent</i> telah mengembang sebagian; (D) <i>Stent</i> telah mengembang seluruhnya | 11 |
| Gambar 3.5 | <i>Open Cell Stent</i> | 12 |
| Gambar 3.6 | <i>Closed Cell Stent</i> | 13 |
| Gambar 3.7 | Pemodelan benda dengan metode elemen hingga | 14 |
| Gambar 3.8 | Kurva Tegangan vs. Regangan | 16 |
| Gambar 4.1 | <i>Stent mirror direction</i> ($S \gg \langle$): (A) Sketsa dasar; (B) Bentuk 3D | 21 |
| Gambar 4.2 | <i>Stent one direction</i> ($S \gg \gg$): (A) Sketsa dasar; (B) Bentuk 3D | 22 |
| Gambar 4.3 | Diagram Alir Penelitian | 24 |
| Gambar 4.4 | <i>Import Part</i> pada Abaqus 6.14 | 25 |
| Gambar 4.5 | <i>Edit Material</i> pada Abaqus 6.14 | 26 |
| Gambar 4.6 | <i>Reference point</i> dan <i>coupling-constraint</i> pada Abaqus 6.14 | 26 |
| Gambar 4.7 | <i>Edit load</i> pada Abaqus 6.14 | 27 |
| Gambar 4.8 | <i>Boundary Condition</i> pada Abaqus 6.14 | 28 |
| Gambar 4.9 | <i>Mesh Controls</i> pada Abaqus 6.14 | 38 |
| Gambar 4.10 | <i>Edit Job</i> pada Abaqus 6.14 | 29 |
| Gambar 5.1 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent</i> $S \gg \langle$ tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,2 MPa | 30 |
| Gambar 5.2 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent</i> $S \gg \langle$ tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,4 MPa | 31 |

| | | |
|--------------------|---|----|
| Gambar 5.3 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,6 MPa | 31 |
| Gambar 5.4 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,8 MPa | 32 |
| Gambar 5.5 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1 MPa | 32 |
| Gambar 5.6 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,2 MPa | 33 |
| Gambar 5.7 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,4 MPa | 33 |
| Gambar 5.8 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,6 MPa | 34 |
| Gambar 5.9 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,8 MPa | 34 |
| Gambar 5.10 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 2 MPa | 35 |
| Gambar 5.11 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,2 MPa | 35 |
| Gambar 5.12 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,4 MPa | 36 |
| Gambar 5.13 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,6 MPa | 36 |
| Gambar 5.14 | Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 0,8 MPa | 37 |

| | |
|---|----|
| Gambar 5.15 Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1 MPa | 37 |
| Gambar 5.16 Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,2 MPa | 38 |
| Gambar 5.17 Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,4 MPa | 38 |
| Gambar 5.18 Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,6 MPa | 39 |
| Gambar 5.19 Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 1,8 MPa | 39 |
| Gambar 5.20 Tegangan <i>von mises</i> yang dialami <i>stent S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 2 MPa | 40 |
| Gambar 5.21 Perbandingan nilai tegangan <i>von mises</i> maksimum untuk <i>stent S><</i> dan <i>S>></i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 42 |
| Gambar 5.22 Perbandingan nilai tegangan <i>von mises</i> maksimum untuk <i>stent S><</i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 45 |
| Gambar 5.23 Perbandingan nilai tegangan <i>von mises</i> maksimum untuk <i>stent S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 45 |
| Gambar 5.24 Perbandingan nilai tegangan <i>von mises</i> maksimum untuk <i>stent S><</i> dan <i>S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 46 |
| Gambar 5.25 Analisis <i>displacement</i> dalam arah X untuk <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 2 MPa; (A) Kondisi ekspansi | 49 |
| Gambar 5.26 Analisis <i>displacement</i> dalam arah X untuk <i>stent S><</i> tebal 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> ketika diberikan tekanan 2 MPa (B) Kondisi relaksasi | 50 |

- Gambar 5.27** Analisis *displacement* dalam arah Z untuk *stent S><* tebal 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* ketika diberikan tekanan 2 MPa; (A) Kondisi ekspansi 50
- Gambar 5.28** Analisis *displacement* dalam arah Z untuk *stent S><* tebal 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* ketika diberikan tekanan 2 MPa; (B) Kondisi relaksasi 51
- Gambar 5.29** Analisis *displacement* dalam arah X untuk *stent S>>* tebal 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* ketika diberikan tekanan 2 MPa; (A) Kondisi ekspansi; 51
- Gambar 5.30** Analisis *displacement* dalam arah X untuk *stent S>>* tebal 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* ketika diberikan tekanan 2 MPa; (B) Kondisi relaksasi 52
- Gambar 5.31** Analisis *displacement* dalam arah Z untuk *stent S>>* tebal 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* ketika diberikan tekanan 2 MPa; (A) Kondisi ekspansi; 52
- Gambar 5.32** Analisis *displacement* dalam arah Z untuk *stent S>>* tebal 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* ketika diberikan tekanan 2 MPa; (B) Kondisi relaksasi 53
- Gambar 5.33** Grafik perbandingan nilai *radial recoil* untuk *stent S><* dan *S>>* ketebalan 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* 61
- Gambar 5.34** Grafik perbandingan nilai *radial recoil* untuk *stent S><* dan *S>>* ketebalan 65 dan 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* 64
- Gambar 5.35** Grafik perbandingan nilai *longitudinal recoil* untuk *stent S><* dan *S>>* ketebalan 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* 67
- Gambar 5.36** Grafik perbandingan nilai *longitudinal recoil* untuk *stent S><* dan *S>>* ketebalan 65 dan 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* 69
- Gambar 5.37** Grafik perbandingan nilai *foreshortening* untuk *stent S><* dan *S>>* ketebalan 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* 72
- Gambar 5.38** Grafik perbandingan nilai *foreshortening* untuk *stent S><* dan *S>>* ketebalan 65 dan 70 μm dengan material *cobalt chromium L605* 75

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabel 4.1 | Material Properties <i>Cobalt Chromium L605</i> | 23 |
| Tabel 5.1 | Perbandingan nilai tegangan <i>von mises</i> maksimum untuk <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 41 |
| Tabel 5.2 | Perbandingan nilai tegangan <i>von mises</i> maksimum untuk <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 43 |
| Tabel 5.3 | Hasil perhitungan nilai tegangan <i>von mises</i> maksimum untuk <i>stent S>></i> dan <i>S<></i> ketebalan 80, 90 dan 100 μm dengan material <i>stainless steel 316L</i> dan <i>cobalt chromium L605</i> Ramadhan (2016) | 48 |
| Tabel 5.4 | Hasil analisis <i>displacement X</i> <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 54 |
| Tabel 5.5 | Hasil analisis <i>displacement Z</i> <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 55 |
| Tabel 5.6 | Hasil analisis <i>displacement X</i> <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 56 |
| Tabel 5.7 | Hasil analisis <i>displacement Z</i> <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 57 |
| Tabel 5.8 | Perbandingan <i>radial recoil</i> untuk <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 60 |
| Tabel 5.9 | Perbandingan nilai <i>radial recoil</i> dari <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 62 |
| Tabel 5.10 | Perbandingan <i>longitudinal recoil</i> untuk <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 66 |
| Tabel 5.11 | Perbandingan nilai <i>longitudinal recoil</i> dari <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 68 |
| Tabel 5.12 | Perbandingan nilai <i>foreshortening</i> untuk <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 71 |
| Tabel 5.13 | Perbandingan nilai <i>foreshortening</i> untuk <i>stent S<></i> dan <i>S>></i> ketebalan 65 dan 70 μm dengan material <i>cobalt chromium L605</i> | 73 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. Hasil simulasi analisis tegangan <i>von mises</i> (σ_{vm}) <i>stent</i> S>< dan S>> | 84 |
| Lampiran 2. Hasil simulasi analisis <i>displacement stent</i> S>< dan S>> | 91 |

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

| | |
|------------|--|
| A | : Luas penampang (m^2) |
| BMS | : <i>Bare Metal Stent</i> |
| DES | : <i>Drug Eluting Stent</i> |
| CAD | : <i>Computer Aided Design</i> |
| CFD | : <i>Computational Fluid Dynamic</i> |
| D_1 | : Diameter saat ekspansi (mm) |
| D_2 | : Diameter saat relaksasi (mm) |
| D_0 | : Diameter awal <i>stent</i> (mm) |
| E | : Modulus Elastisitas (GPa) |
| F | : Gaya yang bekerja tegak lurus bidang (N) |
| L | : Panjang awal <i>stent</i> (mm) |
| L_2 | : Panjang stent setelah dikembangkan saat relaksasi (mm) |
| MRI | : <i>Magnetic Resonance Imaging</i> |
| RSUP | : Rumah Sakit Umum Pusat |
| RSUD | : Rumah Sakit Umum Daerah |
| RSJPD | : Rumah Sakit Jantung dan Pembuluh Darah |
| RP | : <i>Reference Point</i> |
| SF | : <i>Safety Factor</i> |
| $S_{>>}$ | : <i>Stent one direction</i> |
| $S_{><}$ | : <i>Stent mirror direction</i> |
| UTS | : <i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa) |
| X_1 | : <i>Displacement</i> saat kondisi ekspansi (mm) |
| X_2 | : <i>Displacement</i> saat kondisi relaksasi (mm) |
| Z_2 | : <i>Displacement</i> total saat kondisi relaksasi (mm) |
| σ | : Tegangan atau gaya per satuan luas (N/m^2) |
| ϵ | : Regangan |

| | |
|-----------------|---|
| δ | : Perubahan bentuk aksial total (mm) |
| σ_{UTS} | : <i>Ultimate tensile strength</i> (MPa) |
| σ_{vm} | : Tegangan <i>von mises from stent expansion</i> (MPa) |
| σ_{vmsr} | : Tegangan <i>von mises from stent relaxation</i> (MPa) |
| σ_{vmap} | : Tegangan <i>von mises asymmetric plaque</i> (MPa) |
| σ_{vmSP} | : Tegangan <i>von mises symmetric plaque</i> (MPa) |
| σ_y | : <i>Yield Stress</i> (MPa) |
| ρ | : Massa jenis (g/cm ³) |
| ν | : <i>Poisson's ratio</i> |
| 3D | : 3 dimensi |