

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
INTISARI	xvi
<i>ABSTRACT</i>	xvii
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1. Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2. Perumusan Masalah	Error! Bookmark not defined.
1.3. Tujuan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.4. Batasan Penelitian	Error! Bookmark not defined.
1.5. Manfaat Penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1. Manufaktur <i>Stent</i> Jantung	Error! Bookmark not defined.
2.1.1. <i>Bridged Stent</i>	Error! Bookmark not defined.
2.1.2. <i>Laser Cutting</i>	Error! Bookmark not defined.
2.1.3. EDM (<i>Electrical Discharge Machining</i>)	Error! Bookmark not defined.
2.2. Perlakuan permukaan <i>stent</i> Jantung	Error! Bookmark not defined.
BAB III LANDASAN TEORI	Error! Bookmark not defined.
3.1. EDM (<i>Electrical Discharge Machining</i>)	Error! Bookmark not defined.
3.1.1. Parameter Proses EDM	Error! Bookmark not defined.
3.1.2. Pengaruh EDM Terhadap Karakteristik Material	Error! Bookmark not defined.
3.1.3. Persamaan Matematika EDM	Error! Bookmark not defined.

3.2. Kekasaran Permukaan	Error! Bookmark not defined.
3.3. Integritas Permukaan	Error! Bookmark not defined.
3.4. <i>Austenitic stainless steel</i> 316 L	Error! Bookmark not defined.
3.4.1. Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik AISI 316 L	Error! Bookmark not defined.
3.4.2. Perlakuan permukaan AISI 316 L <i>stainless steel</i>	Error! Bookmark not defined.
3.5. CP Titanium	Error! Bookmark not defined.
3.5.1. Komposisi kimia dan sifat mekanik CP Titanium	Error! Bookmark not defined.
3.5.2. Perlakuan permukaan CP Titanium	Error! Bookmark not defined.
BAB IV METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
4.1. Alat dan Bahan	Error! Bookmark not defined.
4.1.1. Alat	Error! Bookmark not defined.
4.1.2. Bahan	Error! Bookmark not defined.
4.2. Diagram Alir Penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.2.1. Penjelasan diagram alir penelitian	Error! Bookmark not defined.
4.2.2. Proses <i>Electrical Discharge Machining</i> (EDM)	Error! Bookmark not defined.
4.2.2.1. Penjelasan proses <i>Electrical Discharge Machining</i> (EDM)	Error! Bookmark not defined.
4.2.3. Skema Proses <i>Electropolishing</i>	Error! Bookmark not defined.
4.2.3.1. Penjelasan proses <i>electropolishing</i>	Error! Bookmark not defined.
4.2.4. Instalasi proses <i>electropolishing</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
5.1. Material	Error! Bookmark not defined.
5.1.1. Pengujian komposisi kimia	Error! Bookmark not defined.
5.1.2. Pengujian stuktur mikro	Error! Bookmark not defined.
5.2. Pembuatan <i>Minitube</i>	Error! Bookmark not defined.
5.3. Pembuatan prototipe <i>stent</i> jantung dengan EDM	Error! Bookmark not defined.

5.3.1. Pembuatan Elektroda (<i>tool</i>)	Error! Bookmark not defined.
5.3.2. Pengaruh variasi Arus EDM terhadap kualitas <i>strut stent</i> jantung	Error! Bookmark not defined.
5.3.2.1. <i>Recast layer</i>	Error! Bookmark not defined.
5.3.2.2. Kekasaran dan morfologi permukaan	Error! Bookmark not defined.
5.3.2.3. <i>Material Removal Rate</i> (MRR)	Error! Bookmark not defined.
5.3.3. Prototipe <i>stent</i> jantung	Error! Bookmark not defined.
5.3.4. Pengaruh variasi arus (I) EDM terhadap transformasi fasa material	Error! Bookmark not defined.
5.4. <i>Electropolishing</i>	Error! Bookmark not defined.
5.4.1.1. Analisis gravimetri	Error! Bookmark not defined.
5.4.1.2. Reduksi lebar <i>strut stent</i> jantung	Error! Bookmark not defined.
5.5. Analisis dan Pembahasan	Error! Bookmark not defined.
5.5.1. Pembuatan <i>minitube</i>	Error! Bookmark not defined.
5.5.2. Pembuatan prototipe <i>stent</i> jantung dengan mesin EDM	Error! Bookmark not defined.
5.5.3. Transformasi fasa dan struktur mikro	Error! Bookmark not defined.
5.5.4. <i>Electropolishing</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Wire bridged stent</i> dengan fraksi komposit dan <i>wire</i> yang berbeda (Zou, dkk, 2016)	8
Gambar 2.2	Hasil uji bengkok untuk masing masing <i>stent</i> (Zou, dkk, 2016)	9
Gambar 2.3	Material <i>Tube</i> yang digunakan untuk membuat <i>stent</i> (Hanada, Matsuzaki, Huang, & Chino, 2013) (Hanada, dkk, 2013)	10
Gambar 2.4	<i>Stent</i> yang dibuat dari material awal <i>tube</i> (Hanada, dkk, 2013)	10
Gambar 2.5	<i>Sheet stent</i> hasil proses <i>laser cutting</i> (Catalano, dkk, 2017)	11
Gambar 2.6	<i>Sheet stent</i> hasil proses <i>chemical etching</i> (Catalano, dkk, 2017)	11
Gambar 2.7	<i>Rod</i> yang digunakan untuk membuat <i>stent</i> (Suryawan, 2017)	12
Gambar 2.8	Alur proses <i>face turning</i> pada permukaan <i>stent</i> pada saat pembuatan <i>tube</i> (Suryawan, 2017)	12
Gambar 2.9	<i>Re-cast layer</i> yang dihasilkan dari proses EDM (Tanda panah) (Suryawan, 2017)	12
Gambar 2.10	Hasil foto SEM perbandingan kualitas permukaan <i>stent</i> ; (a) permukaan <i>stent</i> setelah proses <i>laser cutting</i> , (b) permukaan <i>stent</i> setelah proses <i>descaling</i> , (c) permukaan <i>stent</i> setelah proses <i>electropolishing</i> (Sojitra, et al., 2010)	14
Gambar 2.11	Hasil foto SEM proses pembuatan <i>stent</i> ; (a) <i>minitube</i> sebagai <i>raw material stent</i> , (b) dan (c) <i>stent</i> hasil proses <i>laser cutting</i> , (d) <i>stent</i> hasil proses <i>descaling</i> (Hermawan & Mantovani, 2013)	16
Gambar 2.12	Hasil foto SEM Perbandingan kualitas permukaan <i>stent</i> ; (a) hasil proses <i>descaling</i> dan (b) Hasil proses <i>electropolishing</i> (Hermawan & Mantovani, 2013)	16
Gambar 3.1	Ilustrasi Proses EDM (<i>Electrical Discharge Machining</i>) (Groove, 2010)	17
Gambar 3.2	Mekanisme Proses EDM (Oberg, dkk, 2000) (Oberg, jones, Horton, & Ryffel, 2000)	18
Gambar 3.3	Skema <i>wire</i> EDM (<i>Electrical Discharge Machining</i>)	18
Gambar 3.4	Distribusi Panas pada Proses EDM (Karastojkovic, 2003)	22

Gambar 3.5	Harga kekerasan pada permukaan hasil EDM (Karastojkovic, 2003)	23
Gambar 3.6	Kordinat yang digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan	25
Gambar 3.7	a) Pengukuran kekasaran permukaan dengan stylus. b) jalur stylus pada saat mengukur kekasaran permukaan. c) d) f) dan e) perbedaan profil permukaan material.	26
Gambar 3.8	Perbedaan Struktur Permukaan Logam yang disebabkan oleh proses Kimia dan Mekanik	28
Gambar 3.9	<i>Schaeffler Diagram</i> (Schaeffler, 1949)	30
Gambar 3.10	Struktur mikro AISI 316 L (Ratner, 2004)	30
Gambar 3.11	Skema proses sensitisasi pada <i>stainless steel</i> (Tarmizi, 2016).	31
Gambar 3.12	Skema proses <i>abrasive blasting</i> (Arivianto, dkk, 2011)	32
Gambar 3.13	Proses <i>Electrocleaning</i> (Davis, 1994)	34
Gambar 3.14	Proses <i>Electropolishing</i>	35
Gambar 3.15	Diagram fasa CP Titanium (Pillar, 2009)	36
Gambar 3.16	Struktur mikro CP Titanium <i>Single Phase</i> (Pillar, 2009)	37
Gambar 3.17	Struktur mikro CP-titanium : (A) <i>equiaxed grains alfa</i> (x100) di hasilkan dari proses <i>annealing</i> selama 1 jam pada temperatur 700 °C ; (B) martensit alfa (α') (x150) hasil proses pendinginan cepat (<i>quenching</i>) dari fasa beta; (C) <i>Widmanstatten plate</i> (α) (x100) hasil proses pendinginan lambat (<i>air cooled</i>) dari fasa beta; (D) paduan <i>near- α</i> IMI 685, <i>Widmanstatten plate</i> dan sedikit fasa beta. (Polmear, Stjohn, Nie, & Qian, 2017)	38
Gambar 3.18	Pengaruh unsur O, H, dan N terhadap sifat mekanik CP Ti (Lampman, 1994)	39
Gambar 3.19	<i>S-N Curve</i> pada temperatur kamar untuk Cp Ti dengan variasi kandungan Oksigen dari Beevers dan Robinson (Ratner, 2004)	40
Gambar 3.20	<i>S-N Curve</i> pada temperatur kamar untuk CP Ti dari Turner dan Robert (Ratner, 2004)	41
Gambar 4.1	Mesin EDM JS NCF 304 N, Taiwan	43

Gambar 4.2	Mesin bubut konvensional	44
Gambar 4.3	<i>Dividing head</i> sebagai <i>holder stent</i> untuk permesinan dengan EDM	44
Gambar 4.4	Mikroskop optik Olympus, Jepang	45
Gambar 4.5	Surfcom 120A roughness tester	45
Gambar 4.6	Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 4.7	Diagram alir pembuatan <i>minitube</i>	49
Gambar 4.8	Desain <i>stent</i> jantung	50
Gambar 4.9	Diagram alir proses EDM	51
Gambar 4.10	Diagram alir pembuatan elektroda (<i>tool</i>) EDM	52
Gambar 4.11	Diagram alir proses <i>electropolishing</i>	54
Gambar 4.12	Instalasi proses <i>electropolishing</i>	56
Gambar 5.1	Foto struktur mikro material CP-Titanium <i>grade 2</i> dengan mikroskop optik ; (A) material <i>stent</i> jantung (x 200), (B) standar struktur mikro CP-Titanium <i>grade 2</i> (x 100) (Polmear, Stjohn, Nie, & Qian, 2017).	59
Gambar 5.2	Foto struktur mikro material AISI 316 L <i>stainless steel</i> dengan mikroskop optik; (A) material <i>stent</i> jantung (x 200). (B) standar struktur AISI 316 L (ASM International ; Metallography and Microstructure Volume 9, 2004).	59
Gambar 5.3	Hasil proyeksi nilai Cr dan Ni equivalen kedalam diagram Scaffler	61
Gambar 5.4	Patah pada <i>minitube</i> disebabkan oleh proses <i>boring</i> dan <i>face turning</i> tidak dilakukan secara berurutan	62
Gambar 5.5	Ketidakhomogenan ukuran diameter <i>minitube</i> , bagian A memiliki diameter yang lebih besar di bandingkan bagian B	62
Gambar 5.6	Arah gaya pada mesin bubut.	63
Gambar 5.7	Defleksi (δ) pada ujung <i>minitube</i>	63
Gambar 5.8	Foto kegagalan <i>minitube</i> : (A) Ketidakhomogenan ketebalan <i>minitube</i> dan (B) <i>minitube</i> yang mengalami retak dan berluban	64
Gambar 5.9	Ilustrasi simpangan (Δx) yang timbul pada mesin bubut.	64
Gambar 5.10	Besarnya simpangan (Δx) pada masing masing titik pengukura	65

Gambar 5.11	Proses <i>boring</i> pada saat pembuatan <i>minitube</i>	65
Gambar 5.12	Proses <i>face turning</i> pada saat pembuatan <i>minitube</i>	66
Gambar 5.13	Foto produk <i>minitube</i> ; (A) <i>minitube</i> AISI 316 L dan CP-Ti <i>Grade 2</i> . (B) Skala ukuran <i>minitube</i> .	66
Gambar 5.14	Kekasaran permukaan (Ra) <i>minitube</i> hasil proses <i>mechanical polishing</i> .	67
Gambar 5.15	Elektroda yang digunakan untuk membuat <i>stent</i> jantung dengan mesin EDM	68
Gambar 5.16	Foto Makro kualitas <i>strut stent</i> jantung hasil proses EDM ; (A) 1,5 A / 45 μ s (B) 3 A / 90 μ s (C) 4,5 A / 120 μ s, dan (D) 6 A / 150 μ s.	69
Gambar 5.17	Foto Mikro kualitas <i>strut stent</i> jantung hasil proses EDM dengan mikroskop optik (x 30) ; (A) 1,5 A / 45 μ s (B) 3 A / 90 μ s (C) 4,5 A / 120 μ s, dan (D) 6 A / 150 μ s.	70
Gambar 5.18	Pengaruh variasi arus EDM terhadap ketebalan rata rata <i>recast layer</i> pada permukaan pinggir <i>strut stent</i> jantung.	71
Gambar 5.19	Pengaruh variasi arus EDM terhadap kekasaran permukaan material AISI 316 L.	72
Gambar 5.20	Foto mikro perbandingan morfologi permukaan (x200) pada arus yang berbeda ; (A) 1,5 A / 45 μ s, (B) 3 A / 90 μ s, (C) 4,5 A / 120 μ s, dan (D) 6 A / 150 μ s.	73
Gambar 5.21	Pengaruh variasi arus EDM terhadap diameter <i>crater</i> pada permukaan <i>strut stent</i> jantung.	74
Gambar 5.22	Pengaruh variasi arus EDM terhadap waktu pelubangan <i>minitube</i>	75
Gambar 5.23	Hubungan pengaruh variasi arus EDM terhadap nilai MRR	76
Gambar 5.24	Nilai <i>duty factor</i> untuk masing masing parameter arus (I) EDM	78
Gambar 5.25	Prototipe <i>stent</i> jantung AISI 316 L <i>stainless steel</i>	79
Gambar 5.26	Prototipe <i>stent</i> jantung CP-Ti <i>garde 2</i>	80
Gambar 5.27	Foto perbandingan laju keausan elektroda ; elektroda pada material AISI 316 L <i>stainless steel</i> (atas) dan elektroda pada material CP-Ti <i>grade 2</i> (bawah)	80

Gambar 5.28	Perbandingan <i>percent loss of electrode</i> untuk masing masing material	81
Gambar 5.29	Foto strukturmikro bagian pinggir <i>strut</i> pada material CP Ti <i>grade 2</i> dengan arus 1,5 A / 45 μ s.	82
Gambar 5.30	Foto strukturmikro CP Ti <i>grade 2</i> dengan arus 6 A / 150 μ s ; daerah (A), (B), dan (C) merupakan daerah bagian pinggir <i>strut stent</i> jantung.	84
Gambar 5.31	Hasil uji kekerasan mikro vikers untuk masing masing fasa dan partikel TiH pada material CP Ti 2.	85
Gambar 5.32	Foto strukturmikro AISI 316 L <i>stainless steel</i> dengan arus 1,5 A / 45 μ s ; (A) bagian <i>strut</i> dan (B) bagian pinggir lubang.	86
Gambar 5.33	Foto strukturmikro AISI 316 L <i>stainless steel</i> dengan arus 6 A / 150 μ s ; (A) bagian <i>strut</i> dan (B) bagian pinggir lubang.	86
Gambar 5.34	Foto kualitas <i>strut stent</i> jantung ; (A) sebelum proses <i>pickling</i> , (B) setelah proses <i>pickling</i> .	87
Gambar 5.35	Foto kualitas <i>strut stent</i> jantung ; setelah proses <i>electropolishing</i> (A) selama 3 menit, (B) 7 menit, dan (C) 11 menit	88
Gambar 5.36	Ilustrasi perubahan sudut <i>strut stent</i> jantung sebelum dan setelah proses <i>electropolishing</i>	89
Gambar 5.37	Perubahan nilai kekasaran permukaan (Ra) <i>strut stent</i> jantung bagian pinggir (permukaan hasil proses EDM)	90
Gambar 5.38	Perubahan nilai kekasaran permukaan <i>strut stent</i> jantung bagian atas (permukaan <i>minitube</i>)	91
Gambar 5.39	Prototipe <i>stent</i> jantung hasil proses <i>electropolishing</i>	92
Gambar 5.40	Perubahan berat material Vs proses	94
Gambar 5.41	Persentase kehilangan berat Vs proses	95
Gambar 5.42	Reduksi lebar <i>strut</i> Vs proses	97
Gambar 5.43	Persentase reduksi lebar <i>strut</i> Vs Proses	98
Gambar 5.44	Ilustrasi defleksi pada <i>minitube</i>	99
Gambar 5.45	Ilustrasi proses <i>anodic leveling</i>	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan fraksi komposit dan <i>wire</i> (Zou, dkk, 2016)	Error!
Bookmark not defined.		
Tabel 3.1	Prediksi <i>Ease of Machining</i> dengan EDM untuk material yang berbeda (Mahardika, dkk, 2008)	21
Tabel 3.2	Komposisi kimia AISI 316 L (Pilliar, 2009)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.3	Sifat mekanik AISI 316 L (Pilliar, 2009)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.4	Komposisi kimia CP Ti dan sifat mekanik (Pillar, 2009)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1	Parameter yang divariasikan pada proses EDM	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2	Parameter tetap pada proses EDM	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3	Parameter proses <i>electropolishing</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 5.1	Hasil pengujian komposisi kimia material AISI 316 L dan CP-Ti-2	Error! Bookmark not defined.
Tabel 5.2	Perubahan kehilangan berat pada masing masing proses	Error! Bookmark not defined.
Tabel 5.3	Besarnya reduksi lebar <i>strut stent</i> jantung	Error! Bookmark not defined.