UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA **i**
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS **ii**
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING **iii**
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI **iv**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI **iv**
NASKAH SOAL TUGAS AKHIR **vi**
KATA PENGANTAR **vii**
UCAPAN TERIMA KASIH **viii**
DAFTAR ISI **ix**
DAFTAR GAMBAR **xiii**
DAFTAR TABEL **xv**
DAFTAR LAMPIRAN **xvii**
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN **xiv**
INTISARI **xv**
ABSTRACT **xvi**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 11
1.3. Asumsi dan Batasan 12
1.4. Tujuan Penelitian 12
1.5. Manfaat Penelitian 13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **14**
BAB III LANDASAN TEORI **28**
3.1 Additive Manufacturing 28
3.2 Fused Deposition Modeling 29
3.3 *Master Pattern* 32
3.4 Defect dalam 3D *Printing* 33

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5 Struktur Pori dan Porositas 34
3.6 Hip Prosthesis 35
3.7 *Design* of Experiment (DOE) 37
3.8 Response Surface Method (RSM) 38
3.9 ANOVA dan Koefisien Determinasi dalam RSM 41
3.10 Uji Asumsi Residual (IIDN) 42
BAB IV METODE PENELITIAN 44
4.1 Objek Penelitian 44
4.2 Alat Penelitian 44
4.3 Bahan Penelitian 48
4.4 Tahap Penelitian 49
4.4.1 Studi Literatur 50
4.4.2 Persiapan Desain Obyek 51
4.4.3 Persiapan Alat dan Bahan 53
4.4.4 *Pilot Study* 53
4.4.5 Perancangan Experimen 56
4.4.6 Pengambilan data 61
4.4.7 Pengolahan Data 66
4.4.8 Penentuan Respons Optimum 67
4.4.9 Uji Validasi 67
4.4.10 *Pembuatan Master Pattern Hip Ukuran 1:1* 68
4.4.11 Interpretasi Hasil 68
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 69
5.1 Analisis Data Eksperimen dan Validitas Model 69
5.1.1 Hasil Eksperimen 69
5.1.2 Analisis Model Orde Pertama 74

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.1.3 Analisis Model Orde Kedua 80
5.1.4 Uji Asumsi Residual 88
5.2 Optimasi Response surface method 92
5.2.1 Hasil Analisis *Surface Plot* 92
5.2.2 Optimasi Hasil dengan Multi-Respon 96
5.2.3 Validasi Hasil Optimasi 98
5.3 Pembahasan Hasil Analisis 100
5.3.1 Pengaruh Parameter Proses *Printing* 100
5.3.2 Perbandingan dengan Literatur dan Studi Sebelumnya 103
5.3.3 Hasil *Study case* Pembuatan Hip Prosthesis Ukuran Asli 106
BAB VI PENUTUP **113**
6.1 Kesimpulan 113
6.2 Saran 114
DAFTAR PUSTAKA **115**
LAMPIRAN **121**

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Tren Jumlah THA dari tahun 2014 hingga 2019 RS. Dr. R. Soeharso (Mustiko and Pristianto, 2021) 1
Gambar 1.2. Pengukuran tulang femoral dari hasil foto radiografi (Mishra et al., 2009) 2
Gambar 1.3 Desain Hip Prosthesis Komersial (a) Modular Double-tapered Stem (Metha Stem by B-Braun (b) Straight Double-tapered Non modular (Ceraver)(c) Curved Stem (Taperloc Stem by Zimmer Biomet) 3
Gambar 3.1. Scope teknologi AM. (Tontowi, 2016) 28
Gambar 3.2. Ilustrasi FDM (3DPROS, 2024) 30
Gambar 3.3. Proses Pencetakan 3DP (Kumar *et al*., 2018) 31
Gambar 3.4. *Mater Pattern* Hasil *3D Printing* (Garg, A., *et al*., 2016) 32
Gambar 3.5. *Defect* pada *3D Printing* (Erokhin *et al*., 2023). 34
Gambar 3.6. Komponen dan Parameter *Design Hip prosthesis* (Jaypee Brothers Medical Publishers, 2017*)* 36
Gambar 3.7. Visualisasi Hasil RSM 41
Gambar 4.1. Mesin FDM Ender 3 Max 45
Gambar 4.2. ANALYTIC BALANCE OHAUS PA214 45
Gambar 4.3. Mitutoyo Digimatic calipers 45
Gambar 4.4. Krisbow Dry Cabinet AD 040 46
Gambar 4.5. *Sandpaper* 46
Gambar 4.6. Filament PolyCast 48
Gambar 4. 7 Isoprophyl Alcohol 99% 49
Gambar 4..8. Diagram Alir Penelitian 50
Gambar 4.9. *Drawing* Spesimen Representatif *Prosthesis Hip* 52

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.10. *Drawing Study case Prosthesis Hip* 53
Gambar 4.11. Representasi Parameter *Printing* terhadap Hasil Cetakan FDM (Medibew, 2022) 54
Gambar 4.12. waktu pencetakan rata-rata saat *pilot study* 54
Gambar 4..13. *Setting* Parameter *Build angle* (a) 0° terhadap sumbu-x (b) 30° terhadap sumbu-x 56
Gambar 4.14. Rangkuman Variabel Penelitian 56
Gambar 4.15. *Setting* untuk Variabel Bebas 61
Gambar 4.16. Proses Pencetakan Spesimen 62
Gambar 4.17. Hasil pencetakan spesimen (a) Sebelum *Post processing* (b) Setelah *Post processing* 62
Gambar 5.1. Hasil Printing Spesimen 69
Gambar 5.2. Bar Chart Hasil Run Test 72
Gambar 5.3. Pengujian Asumsi Homoskedastisitas 89
Gambar 5.4. Pengujian Asumsi Independensi 90
Gambar 5..5. Pengujian Asumsi Normalitas 91
Gambar 5. 6 Grafik Surface Plot Galat Porosity 92
Gambar 5.7. Grafik Surface Plot Galat Diameter 94
Gambar 5.8. Grafik Surface Plot Skor Defect 95
Gambar 5. 9 Tampilan Printing Build angle 0 ° (a) Pada sofftware cura 108
Gambar 5. 10 Hasil Printing dengan Penyesuaian Build Angle 90° 108
Gambar 5. 11 Struktur Pori Tidak Terbentuk 110

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Ringkasan Perbandingan Teknis Material Master Pattern 22
Tabel 2.2. Peta Penelitian 26
Tabel 3.1. Komponen Nilai ANOVA (Montgomery, 2017) 42
Tabel 3.2. Uji Asumsi Residual 43
Tabel 4.1. Spesifikasi dari Filament Polycast 48
Tabel 4.2. Faktor Penelitian 57
Tabel 4.3. DoE Orde 1 59
Tabel 4.4. DoE Orde 2 60
Tabel 4.5. Penjabaran Bobot dan Keterangan Subkriteria Skor Defect 64
Tabel 4.6. Penjabaran Bobot dan Keterangan Subkriteria Skor Defect (lanjutan)
Error! Bookmark not defined.
Tabel 5.1. Hasil *Run Test* untuk Tiga Respon Utama 70
Tabel 5.2. Hasil Eksperimen Orde Pertama 74
Tabel 5.3. Analisis model matematika 76
Tabel 5.4. Analisis Varian Respon Galat *Porosity* Orde Pertama 78
Tabel 5.5. Analisis Varian Respon Galat Diameter Orde Pertama 78
Tabel 5.6. Analisis Varian Respon Skor *Defect* Orde Pertama 78
Tabel 5.7. Rangkuman Hasil Uji ANOVA 80
Tabel 5.8. Hasil Eksperimen Orde Kedua 81
Tabel 5..9. Analisis Perbandingan Model antara Orde Pertama dengan Orde Kedua 83
Tabel 5.10. Analisis Varian Respon Galat *Porosity* Orde Kedua 84
Tabel 5.11. Analisis Varian Respon Galat Diameter Orde Kedua 85
Tabel 5.12. Analisis Varian Respon Skor *Defect* Orde Kedua 85
Tabel 5.13 Perbandingan Uji ANOVA antara Orde Pertama dengan Orde Kedua 87
Tabel 5. 14 Hasil Uji Normalitas Residual Respon 91
Tabel 5.15. Kriteria Optimasi pada *Softtware Design* Expert 96
Tabel 5.16. Kriteria Optimasi pada *Softtware Design* Expert (lanjutan) 97

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 5.17. Titik Optimum Faktor Terpilih 97
Tabel 5.18. Nilai Prediksi Respon pada Titik Optimum 97
Tabel 5.19. Hasil Eksperimen Validasi 98
Tabel 5.20. Validasi dengan *One Sample t-test* 99
Tabel 5.21. Perbandingan Hasil Penelitian ini dengan Toleransi Acuan 104
Tabel 5.22. Perbandingan Galat atau Deviasi dengan Penelitian Sebelumnya 104

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Optimasi Parameter Proses 3D Printer Fused Deposition Modeling untuk Memperoleh Master Pattern Investment Casting Hip Prosthesis dengan Defect Minimal
Fifi Trista Andriyani, Prof. Ir. ALVA EDY TONTOWI, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng.
Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Parameter Proses tetap dan default pada Cura 5.10 121
Lampiran 2. Proses Pengukuran Diameter 123
Lampiran 3. Proses Pengukuran Porositas 123
Lampiran 4. Proses Inspeksi Defect 124
Lampiran 5. Perhitungan Galat Diameter 126
Lampiran 6. Perhitungan Galat Porositas 127
Lampiran 7. Perhitungan Skor Defect 128
Lampiran 8. Hasil Lengkap Anova 129
Lampiran 9. Hasil Sebelum dan Setelah Pelepasan *Support* 131
Lampiran 10. Proses *Post processing* hasil printing *Master Pattern* 132
Lampiran 11. Perbandingan Hasil *Master Pattern* setelah *Post processing* 133