

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SETELAH HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR LAMBANG	xiii
DAFTAR ISTILAH	xiv
INTISARI.....	xxi
ABSTRACT.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan dan Batasan Masalah	8
1.3. Keaslian Penelitian	9
1.4. Tujuan Penelitian.....	9
1.5. Manfaat Penelitian.....	10
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	12
2.1. Tinjauan Pustaka	12
2.1.1. Sejarah dan Perkembangan Industri 4.0.....	12
2.1.2. Perkembangan Aplikasi Industri 4.0 dalam Bidang Medis.....	13
2.1.3. Pemetaan Penelitian dalam Lingkup Metode Segmentasi Tulang	15
2.1.4. Pemetaan Penelitian dalam Lingkup Komunikasi Data.....	15
2.1.5. Peluang Penelitian.....	15
2.2. Landasan Teori	21
2.2.1. Teknik Biomedis.....	21
2.2.2. Deskripsi Produk Kerangka Tulang Manusia	22
2.2.3. Tulang Manusia Buatan (<i>Implant</i>).....	24
2.2.4. <i>Platform</i> Perangkat Lunak	25
2.2.4.1. Platform Cloud Computing	25

2.2.4.2. Platform <i>Web</i>	26
2.2.4.3. Platform <i>Internet of Things</i> (IoT).....	27
2.2.5. Pendekatan Kecerdasan Buatan (<i>Artificial Intelegent / AI</i>)	30
2.2.6. Segmentasi Data 3 Dimensi	31
2.2.7. Bahasa Pemrograman	33
2.2.7.1. Bahasa Pemrograman <i>G-Code</i>	33
2.2.7.2. Bahasa Pemrograman Python.....	34
2.2.8. Teknik Komunikasi Data	35
BAB 3 METODE PENELITIAN	38
3.1. Tahap Persiapan Penelitian.....	38
3.1.1. Melakukan Studi Pendahuluan	38
3.1.2. Melakukan Studi Pustaka.....	40
3.1.3. Menentukan Lingkup Studi	40
3.1.4. Merumuskan Permasalahan Dan Tujuan	40
3.2. Merancang Perangkat Lunak.....	40
3.2.1. Mendefinisikan Spesifikasi Perangkat Lunak.....	40
3.2.2. Merancang Perangkat Lunak	41
3.2.3. Mengimplementasikan Dan Pengujian	42
3.2.4. Mengintegrasikan Dan Pengujian	42
3.2.5. Pengoperasian Dan Perawatan.....	43
3.3. Studi Pemilihan Alat <i>Interface Transfer Data</i>	43
3.3.1. Mendefinisikan Spesifikasi Alat.....	43
3.3.2. Menetapkan Kriteria Pemilihan	44
3.3.3. Membuat Daftar Alat Alternatif.....	44
3.3.4. Melakukan Penilaian.....	44
3.3.5. Menetapkan Pemilihan Alat.....	44
3.4. Penentuan Metode Pengurutan Produksi	44
3.5. Penyusunan Model Simulasi Antrian	44
3.5.1. Mendefinisikan Masalah.....	45
3.5.2. Mengkonstruksikan Model	45
3.6. Evaluasi Kinerja Antrian	45
3.7. Analisis dan Pembahasan	46
3.8. Kesimpulan dan Saran untuk Penelitian Lanjutan.....	46
HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Perangkat Lunak Pada Sistem Manual	47



4.2. Pengembangan Aplikasi Perangkat Lunak	48
4.3. Pemilihan Alat <i>Interface Transfer Data</i>	50
4.4. Penentuan Metode Pengurutan Produksi	51
4.5. Hasil Pengujian Kualitatif dan Kuantitatif	52
4.5.1. Hasil Pengujian kualitatif.....	52
4.5.1.1. File DICOM dari Single-Slice CT-Scan.	52
4.5.1.2. File DICOM dari Multi-Slice CT-Scan.....	54
4.5.2. Hasil Pengujian Kuantitatif.....	56
4.6. Evaluasi Waktu Produksi	58
4.7. Evaluasi Kinerja Perangkat Lunak <i>3DPNet-DICOM Cloud</i>	60
PENUTUP DAN SARAN	64
5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Realisasi Pertumbuhan Ekonomi Tahun 2014 – Tahun 2020 (BPS, 2021).....	2
Gambar 1.2. Framework Pembuatan Organ Buatan Secara Manual Menggunakan 3D Printer.....	5
Gambar 1.3. Utilitas InVesalius dan 3D Printer.....	6
Gambar 1.4. Rerata Jumlah Bottleneck.....	6
Gambar 1.5. Lead Time Proses Produksi.....	7
Gambar 1.6. Arsitektur Komunikasi Data Berbasis Cloud dan Online.....	9
Gambar 1.7. Skema Prototipe Sistem Cetak Gambar Medis 3D	10
Gambar 1.8. Skema Manfaat Penelitian.....	11
 Gambar 2.1. Perkembangan Revolusi Industri (Schwab, 2016)	12
Gambar 2.2. Jumlah Publikasi Artikel Ilmiah pada Jurnal Scopus dengan Kata Kunci Industri 4.0 dan Medis (Scopus, November 2019).....	13
Gambar 2.3. Pemetaan Kata Kunci pada Abstrak Jurnal (Scopus, November 2019)	14
Gambar 2.4. Kerangka Manusia Tampak (a) Depan dan (b) Belakang.....	23
Gambar 2.5. Cloud Computing Platform	26
Gambar 2.6. Arsitektur Tradisional M2M pada Industri	28
Gambar 2.7. Contoh Arsitektur IoT pada Industri	28
Gambar 2.8. Hubungan Antara Kelima Domain Fungsional	29
Gambar 2.9. Hubungan Antara Domain Operasi dan Kontrol	29
Gambar 2.10. Topologi IoT	29
Gambar 2.11. Kombinasi Dasar dari Algoritma MC	32
Gambar 2.12. Proses Pencetakan Menggunakan 3D Printer.....	33
Gambar 2.13. Empat Variasi Komunikasi Data, yaitu Menggunakan: a) Kabel, b) Tempat Penyimpan Data Portabel, c) Kabel serta Tempat Penyimpan Data Internal, dan d) Internet.	36
Gambar 2.14. Arsitektur Komunikasi Data Menggunakan Sebuah Router	36
 Gambar 3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	39
Gambar 3.2. Tahapan Aktivitas Merancang Perangkat Lunak	41
Gambar 3.3. Bidang Sagittal, Coronal, dan Axial pada Manusia	43
 Gambar 4.1. Diagram Alur Cetak Gambar Medis 3D Secara Manual.....	47
Gambar 4.2. Framework Pembuatan Organ Manusia Buatan Menggunakan 3DPNet-DICOM Cloud.....	48



Gambar 4.3. Diagram Alir Perangkat Lunak 3DPNet-DICOM Cloud	49
Gambar 4.4. Gambar 3D Skull Bone Dengan Format DICOM	53
Gambar 4.5. Gambar 3D Sternum & Pelvis Dengan Format DICOM.....	53
Gambar 4.6. Gambar 3D Skull Bone Dengan Format G-Code.....	53
Gambar 4.7. Gambar 3D Sternum & Pelvis Dengan Format G-Code	53
Gambar 4.8. Bagian yang Divalidasi	54
Gambar 4.9. Bagian yang Divalidasi Untuk <i>Sternum & Pelvis</i>	54
Gambar 4.10. 3D <i>Craniofacial Bone</i> Dengan Format <i>DICOM</i>	55
Gambar 4.11. Gambar 3D <i>Sternum</i> Dengan Format <i>DICOM</i>	55
Gambar 4.12. Rekonstruksi Gambar 3D <i>Craniofacial Bone</i>	55
Gambar 4.13. Rekonstruksi Gambar 3D <i>Sternum</i>	55
Gambar 4.14. Bagian yang Divalidasi Untuk <i>Craniofacial Bone</i>	55
Gambar 4.15. Bagian yang Divalidasi Untuk <i>Sternum</i>	55
Gambar 4.16. Perubahan Gambar Medis 3D <i>Craniofacial Bone</i> Dari (a) file bertipe DICOM Original Menjadi (b) file bertipe STL Pada Perangkat Lunak 3DPNet-DICOM Cloud	56
Gambar 4.17. Cetak Gambar Medis 3D <i>Craniofacial Bone</i> Pada Tampak (a) Axial, (b) Sagittal, dan (c) Coronal	57
Gambar 4.18. Perubahan Gambar Medis 3D Foot Bone Dari (a) file bertipe DICOM Menjadi (b) file bertipe STL Pada Perangkat Lunak 3DPNet-DICOM Cloud	57
Gambar 4.19. Model Cetak Gambar Medis 3D Foot Bone Pada Tampak (a) Axial, (b) Sagittal, Dan (c) Coronal	58
Gambar 4.20. Model Antrian Dari Perangkat Lunak 3DPNet-DICOM Cloud	61
Gambar 4.21. Jumlah Antrian Pada Stage-2 Didasarkan Atas Jumlah 3D Printer	62
Gambar 4.22. Jumlah 3D Printer Terhadap Normalisasi Utilitas dan Biaya.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perkembangan PDB Per Kapita Tahun 2016 – 2020 (BPS, 2021)	2
Tabel 2.1. Pemetaan Penelitian Terdahulu Pada Lingkup Segmentasi Tulang	17
Tabel 2.2. Pemetaan Penelitian Terdahulu Pada Lingkup Komunikasi Data	18
Tabel 2.3. Pemetaan Penelitian Terdahulu Pada Lingkup Aplikasi Industri 4.0 Dalam Bidang Medis	19
Tabel 2.4. Deskripsi Penelitian Terdahulu Pada Lingkup Aplikasi Industri 4.0 Dalam Bidang Medis, Khususnya Tulang Manusia	20
Tabel 2.5. Daftar Skala HU	31
Tabel 2.6. Fungsi dari Bahasa <i>G-Code</i> dan Kegunaannya.....	34
Tabel 4.1. Penilaian <i>Raspberry Pi 3</i> dan Komputer Mini	51
Tabel 4.2. Spesifikasi Gambar Medis <i>3D Skull Bone</i> dan <i>Sternum dan Pelvis</i>	52
Tabel 4.3. Justifikasi Perbandingan Gambar Medis <i>3D Skull Bone</i>	54
Tabel 4.4. Justifikasi Perbandingan Gambar Medis <i>3D Sternum dan Pelvis</i>	54
Tabel 4.5. Spesifikasi Gambar Medis <i>3D Craniofacial Bone dan Sternum</i>	54
Tabel 4.6. Justifikasi Perbandingan Gambar Medis <i>3D Craniofacial Bone</i>	56
Tabel 4.7. Justifikasi Perbandingan Gambar Medis <i>3D Sternum</i>	56
Tabel 4.8. Perbandingan Pengukuran Fisik dari Gambar <i>3D Medis</i> Format <i>DICOM</i> dan Cetak Gambar Medis <i>3D</i>	59
Tabel 4.9. Perbandingan Waktu Proses Standar Secara Manual dan Perangkat Lunak <i>3DPNet-DICOM Cloud</i>	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Panduan Instalasi dan Setup Aplikasi <i>3DPNet-DICOM</i>	74
Lampiran 2: <i>Source Code</i> dari Perangkat Lunak <i>3DPNet-DICOM Cloud</i>	88
Lampiran 3: Detil Alur Perangkat Lunak <i>3DPNet-DICOM Cloud</i>	99
Lampiran 4: Kontribusi Penulis dan <i>Source Code</i> Dalam Penelitian Ini	104
Lampiran 5: Data, Logika Model, Skenario Simulasi, dan Perhitungannya.....	106
Lampiran 6: Daftar Publikasi.....	116