

1. *Design and Manufacturing Engineering*
2. *Work Method*

# **APLIKASI TEKNOLOGI DIGITAL FOTOGRAFI UNTUK MEMPERMUDAH PROSES *REVERSE ENGINEERING* KAKI**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan  
mencapai derajat Sarjana Teknik Industri**



**CORNELIUS DWISEPTA ARDIGHASAKTI**

**16 06 08905**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA**

**2020**

# HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

APLIKASI TEKNOLOGI DIGITAL FOTOGRAFI UNTUK MEMPERMUDAH PROSES REVERSE  
ENGINEERING KAKI

yang disusun oleh

CORNELIUS DWISEPTA ARDIGHASAKTI

160608905

dinyatakan telah memenuhi syarat pada tanggal 11 Agustus 2020

		Keterangan
Dosen Pembimbing 1	: Dr. T. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., MT.	Telah menyetujui
Dosen Pembimbing 2	: Dr. T. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., MT.	Telah menyetujui
Tim Penguji		
Penguji 1	: Dr. T. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., MT.	Telah menyetujui
Penguji 2	: A. Tonny Yuniarto, ST., M.Eng.	Telah menyetujui
Penguji 3	: Josef Hernawan Nudu, ST., MT	Telah menyetujui

Yogyakarta, 11 Agustus 2020

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Fakultas Teknologi Industri

Dekan

ttd

Dr. A. Teguh Siswantoro, M.Sc

## PERNYATAAN ORIGINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cornelius Dwisepta Ardighasakti

NPM : 16 06 08905

Dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir yang telah saya kerjakan dengan judul “Aplikasi Teknologi Digital Fotografi untuk Mempermudah Proses *Reverse Engineering* Kaki” merupakan hasil dari penelitian saya pada Tahun Akademik 2019/2020 yang memiliki sifat original dan tidak mengandung unsur *plagiasi* dari karya manapun.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka dari itu saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku termasuk untuk dicabut gelar Sarjana yang telah diberikan Universitas Atma Jaya Yogyakarta kepada saya.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, 11 Agustus 2020

Yang menyatakan,



Cornelius Dwisepta Ardighasakti

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dari penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas kasih dan karunia-Nya dalam menyertai penulis untuk menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Tugas akhir yang berjudul “Aplikasi Teknologi Digital Fotografi untuk Mempermudah Proses *Reverse Engineering* Kaki”. Tugas akhir yang telah disusun dengan tujuan untuk melengkapi syarat dan memperoleh gelar sarjana Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

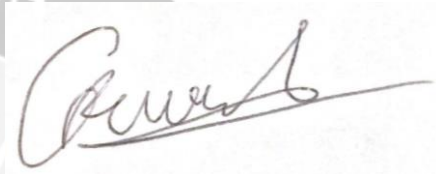
Tercapainya penyusunan tugas akhir ini tidak lepas dari partisipasi dan bantuan dari semua pihak, maka dari itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
2. Ibu Ririn Diar Astanti, S.T.,M.T., D.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak Dr. T. Paulus Wisnu Anggoro, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia memberikan waktu luang, pikiran, dan saran pada saat penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak, Ibu, Kakak yang selalu memberika doa, semangat, dukungan, dan nasehat kepada penulis agar dapat menyelesaikan tugas akhir.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah membantu dan membimbing selama masa kuliah.
6. Ubaidillah dan Bapak Mugiyanto yang telah bersedia menjadi pasien dalam penelitian ini.
7. Emanuel dan Marsel yang telah bersedia memberikan waktu luang untuk menjadi pasien dalam penelitian ini.
8. Ananda Ferdian dan Wayan Reza yang telah membantu penulis dalam proses *scanning* kaki pasien.
9. Maria, Olga, dan Ferisha yang telah memberikan motivasi dalam mengerjakan Tugas Akhir.

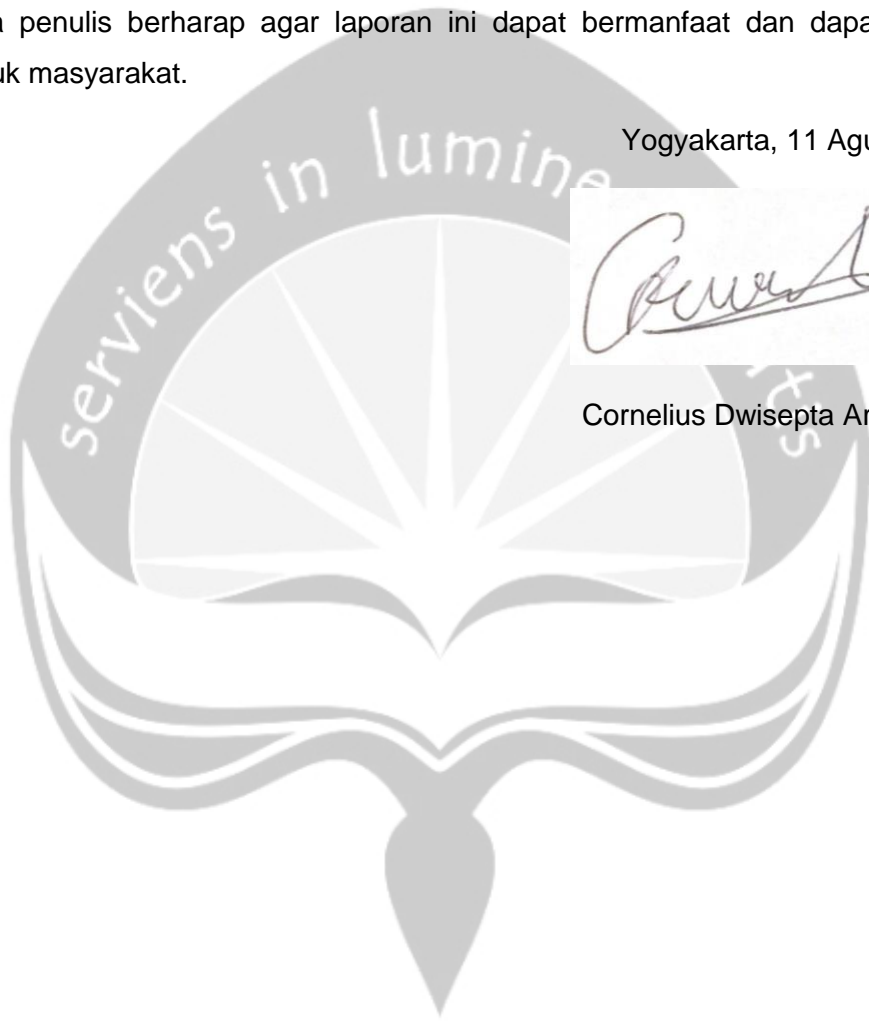
10. Teman-teman Teknik Industri Angkatan 2016 yang saya kasihi atas dukungan dan semangat yang diberikan kepada penulis.

Dalam penulisan ini, penulis menyadari masih banyak kesalahann dalam menyusun laporan ini dikarenakan kurangnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki oleh penulis. Maka dari itu penulis minta maaf jika masih banyak kata dan salah kata dalam penelitian ini, penulis juga menerima kritik dan saran yang dapat membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini. Akhir kata penulis berharap agar laporan ini dapat bermanfaat dan dapat berguna untuk masyarakat.

Yogyakarta, 11 Agustus 2020



Cornelius Dwisepta Ardighasakti



## DAFTAR ISI

<b>BAB JUDUL</b>	<b>Hal</b>
Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Pernyataan Originalitas	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	vi
Daftar Tabel	ix
Daftar Gambar	x
Daftar Lampiran	xii
Intisari	xiii
<b>1. Pendahuluan</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
<b>2. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori</b>	<b>6</b>
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1.1. Penelitian Terdahulu	6
2.1.2. Penelitian Sekarang	11
2.2 Dasar Teori	12
2.2.1. 3D Scanning	12
2.2.2. Photogrammetry	14
2.2.3. Close Range Photogrammetry (CRP)	16
2.2.4. Agisoft PhotoScan Professional	16
2.2.5. <i>Clubfoot</i>	19
	vi

<b>3. Metodologi Penelitian</b>	<b>25</b>
3.1. Data Penelitian	25
3.2. Pengambilan Data	25
3.3. Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Penelitian	26
3.4. Langkah Penelitian	28
<b>4. Profil Data</b>	<b>33</b>
4.1 Data Objek	33
4.1.1 Kaki Normal	33
4.1.2 Kaki Amputasi	34
4.1.3 <i>Club Foot</i>	35
4.1.4 <i>Flat Foot</i>	36
4.2 Data Equipment	36
4.2.1 Kamera	37
4.2.1 Lampu	39
4.3 Kalibrasi	40
4.3.1 Kalibrasi Lapangan	40
4.3.2 Kalibrasi Kamera	41
4.6 Proses Netfebb Ultimate	55
<b>5. Analisis dan Pembahasan</b>	<b>62</b>
5.1 Analisis Pasien	62
5.2 Analisis 5M 2E 1I pada teknik fotogrametri jarak dekat pada objek kaki manusia	63
5.3 Keunggulan Kompetitif	67
5.4 Proses Pengambilan Data Foto	68
5.5 Proses Pembentukan Model 3D	68
5.6 Proses Verifikasi Dimensi Ukuran	69
5.7 Analisis Computer Aided Design (CAD)	70

5.8 Analisis Dimensi Ukuran dan Tekstur Model	70
<b>6. Kesimpulan dan Saran</b>	<b>72</b>
6.1. Kesimpulan	72
6.2. Saran	72
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>77</b>





## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Data Pengukuran Manual Kaki Normal	34
Tabel 4. 2. Data Pengukuran Kaki Mugiyanto	35
Tabel 4. 3. Data Pengukuran Manual Kaki Ubaidillah	35
Tabel 4. 4. Dimensi Pengukuran Manual Kaki Kiri Flat Foot	36
Tabel 4. 5. Spesifikasi Kamera 1	38
Tabel 4. 6. Verifikasi Pengukuran Kaki Pasien dengan Pengukuran Teknik Fotogrametri Kaki Normal	57
Tabel 4. 7. Verifikasi Pengukuran Kaki Pasien dengan Pengukuran Teknik Fotogrametri Kaki Amputasi	58
Tabel 4. 8. Verifikasi Pengukuran Kaki Pasien dengan Pengukuran Teknik Fotogrametri Kaki Clubfoot	59
Tabel 4. 9. Verifikasi Pengukuran Kaki Pasien dengan Pengukuran Teknik Fotogrametri Kaki Flatfoot	61

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. <i>Photogrammetric Images</i>	14
Gambar 2. 2. <i>From Objek to Image</i>	15
Gambar 2. 3. Layar Depan Agisoft PhotoScan	16
Gambar 2. 4. Perbandingan Kaki Normal dengan Clubfoot	19
Gambar 2. 5. Bentuk kelainan tulang tarus	20
Gambar 2. 6. Casting kaki bayi	21
Gambar 2. 7. Urutan untuk manufacture produk (parts/moulds/tools)	23
Gambar 2. 8. Teknik digitalisasi untuk geometri 3D	23
Gambar 2. 9. Perbedaan alur kerja RE dan RID	24
Gambar 3. 1. Kamera Sony DSLR Alpha 55	26
Gambar 3. 2. Laptop Asus A455L Series	27
Gambar 3. 3. Tahapan Penelitian	28
Gambar 4. 1. Pengukuran Manual Kaki Normal	33
Gambar 4. 2. Foto Kaki Mugiyanto	34
Gambar 4. 3. Pengukuran Kaki Mugiyanto	34
Gambar 4. 4. Foto Kaki Ubay	35
Gambar 4. 5. Pengukuran Kaki Ubaidillah	35
Gambar 4. 6. Foto Kaki Flat Foot	36
Gambar 4. 7. Kamera Digital Single Lens Reflex Sony A55	37
Gambar 4. 8. Foto Lampu Bestluck Sunlamp lighting studio	39
Gambar 4. 9. Kalibrasi Lapangan	40
Gambar 4. 10. Kalibrasi Kamera	41
Gambar 4. 11. Proses Pengambilan Data Foto	41
Gambar 4. 12. Proses Pembentukan Model Kaki Kiri Normal	43
Gambar 4. 13. Proses Pembentukan Model Kaki Kanan Normal	45

Gambar 4. 14. Proses Pembentukan Model Kaki Amputasi	47
Gambar 4. 15. Proses Pembentukan Model Kaki Clubfoot	49
Gambar 4. 16. Proses Pembentukan Model Kaki Kanan Flatfoot	51
Gambar 4. 17. Proses Pembentukan Model Kaki Kiri Flatfoot	53
Gambar 4. 18. Proses Verifikasi Model	55
Gambar 4. 19. Data Hasil Pengukuran Scanning Dengan Teknik Fotogrametri Kaki Normal : (a) Kaki Kanan, (b) Kaki Kiri	56
Gambar 4. 20. Data Hasil Pengukuran Scanning Dengan Teknik Fotogrametri Kaki Amputasi	58
Gambar 4. 21. Data Hasil Pengukuran Scanning Dengan Teknik Fotogrametri Kaki Clubfoot	59
Gambar 4. 22. Data Hasil Pengukuran Scanning Dengan Teknik Fotogrametri Kaki Flatfoot: (a) Kaki Kiri, (b) Kaki Kanan	60
Gambar 5. 1. Jumlah Pengambilan Foto	68

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Interelasi

37



## INTISARI

Perkembangan teknologi di Indonesia yang sangat pesat dapat memberikan dampak positif bagi para peneliti untuk memberikan kualitas penelitiannya. Teknologi yang makin berkembang salah satunya adalah 3D *scanning*. Penggunaan mesin *scanning* yang sangat mahal menjadikan peneliti sulit untuk melakukan penelitiannya. Teknologi fotogrametri jarak dekat adalah salah satu teknik yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti mesin *scanning* bagi para peneliti.

Dalam penelitian ini akan membahas tentang bagaimana pengaplikasian teknik fotogrametri jarak dekat pada obyek kelainan bentuk kaki. Proses yang dilakukan dalam penelitian ini dengan cara persiapan kalibrasi pada kamera. Proses *scanning* dengan menggunakan teknik fotogrametri bertujuan untuk mendapatkan data yang nantinya data tersebut dilakukan proses pembentukan model 3D dengan menggunakan *software Agisoft PhotoScan Professional*. Proses pembentukan model dari data .JPG yang akan diproses menghasilkan bentuk *point cloud* dan dibentuk hingga menjadi bentuk *mesh*. Hasil dari proses *scanning* ini akan dilakukan verifikasi ukuran dan bentuk dengan menggunakan *software Netfabb Ultimate* dan *PowerSHAPE2016*. Hasil *mesh* dengan format data .STL dapat digunakan pada *software* lain untuk dilakukan desain ataupun proses *machining*.

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi di Indonesia yang maju dengan pesat mampu memberikan dampak positif bagi peneliti untuk meningkatkan kualitas penelitian dewasa ini. Teknologi yang berkembang di Indonesia salah satunya adalah 3D *Scanning*. Teknologi ini digunakan untuk memindai objek nyata atau model fisik guna mendapatkan bentuk, ukuran dan fitur lainnya supaya gambar yang dihasilkan benar-benar akurat dan presisi. *Output* data proses *scanning* diperoleh *engineer* melalui perangkat lunak yang terpasang pada alat 3D scan. Alat ini pertama kali ditemukan oleh Robert S Ledley, seorang ilmuwan berkebangsaan Amerika Serikat pada tahun 1926. Tahun 1943, lahirlah CT *Scanner* yang mampu memindai seluruh tubuh manusia dari ujung rambut hingga ujung kaki. Mesin ini dinamakan *Automatic Computerized Transverse Axial* (ACTA). Penemuan mesin 3D Scanner ini juga di dukung dengan perangkat lunak untuk membantu proses pemindaian di komputer (<http://www.martinrecords.com>).

Teknik fotogrametri adalah teknik pemetaan menggunakan foto udara. Teknik ini sering digunakan pada pendidikan teknik geodesi untuk membantu pembuatan *mapping* dengan bentuk tiga dimensi seperti yang pernah dipaparkan oleh Gularso. H, dkk (2013). Teknik ini digunakan untuk proses *scanning* pada suatu objek benda mati. Teknik yang digunakan adalah fotogrametri jarak dekat dengan model pengambilan foto dalam jumlah banyak dan mengelilingi objek atau model fisik yang akan dijadikan bentuk tiga dimensi (3D). *Output* yang dihasilkan berupa data *point cloud* atau *mesh*. Data ini agar dapat diperoleh dengan sempurna dibutuhkan *software* pendukung, seperti : *Agisoft PhotoScan Professional*. *Software* ini mampu memproses data dengan format .JPG menjadi bentuk 3D. Sedangkan pada tahap penyempurnaan hasil maka setiap *engineer* atau peneliti dapat menggunakan *software artistic computer aided design* (Art. CAD), seperti : coreldraw, ZBrush, Blender. Namun dalam khusus *scanning* model fisik (*organics part*) ZBrush mampu menampilkan tampilan model 3D hasil *scanning* lebih baik dibandingkan *software* lainnya. Teknik mereplikasi sebuah

model fisik atau benda real menjadi sebuah gambar 3D CAD dapat dikategorikan sebagai metode *Reverse Engineering* (RE).

RE adalah suatu proses dalam bidang *manufacturing* yang bertujuan untuk mereproduksi atau mendesain ulang model yang sudah ada baik (komponen, *sub assembly*, atau produk) tanpa menggunakan data-data dokumen desain atau gambar kerja yang sudah ada (Urbanic. R. J., 2007). Adapun manfaat dari RE yaitu mampu mengevaluasi secara sistematis dari suatu produk dengan tujuan replikasi atau pembuatan model baru (Singh. N., 2012). Metode ini agar mampu diaplikasikan dengan baik dalam dunia kesehatan membutuhkan teknologi manufaktur handal berbasis *computer-aided manufacturing* (CAM), seperti pada industri *orthodontic devices* maupun pada industry manufaktur lainnya. Agar diperoleh sebuah gambaran real dari model fisik yang benar-benar sempurna, dalam teknologi ini sangat mutlak dilakukan tahapan pemindaian (*scanning*). Proses ini, dilakukan dengan memindai obyek atau model fisik menggunakan sinar infra merah atau kilatan foto (teknik fotogrametri) untuk mendapatkan titik – titik (*point cloud*) ataupun *mesh* yang kemudian dapat ditransformasikan dalam CAD menjadi sebuah gambar 3D model dalam *file* dengan format .STL.

3D scanner adalah alat bantu modern yang berbasis *point cloud* ataupun *mesh* dan mampu merekam seluruh permukaan model fisik atau *prototype* melalui teknik pemindaian. Untuk model *point cloud* biasanya digunakan *control measurement machine* (CMM), sedangkan untuk data *mesh* digunakan alat *scanning* dengan sinar infra lebih dari dua kamera pemindai yang terpasang pada alat scanner. Perkembangan 3D scanner saat ini sudah berkembang dengan pesat didasarkan pada kualitas hasil *scanning* berupa resolusi dari kamera yang digunakan. Semakin detail dan akurat hasil *scanning* berimbas pada semakin detailnya kontur permukaan model yang diolah namun berimbas pada biaya pengadaan dan sewa jasanya. Dalam dunia medis, alat *scanning* ini sangat dibutuhkan bagi dokter maupun *engineer* model implant organ tubuh agar hasil yang discanning benar-benar akurat, presisi dan sesuai bentuk anggota tubuh. Namun penggunaan alat scanning yang handal seperti yang pernah dilakukan oleh Anggoro (2018) menjadi kendala bagi beberapa peneliti berikutnya ketika terbatas pada dana riset yang terbatas (kurang dari 10 jt) dimana jumlah pasien kelainan bentuk kaki (*deformity foot*) yang ditemui semakin banyak dan beragam. Bahkan banyaknya pasien diabetes di rumah sakit nasional diponegoro, Semarang yang membutuhkan sepatu *orthotic* yang murah

dan nyaman menjadi kendala juga bila tetap menggunakan alat *scanning* yang baik dan mahal. Dibutuhkan ide kreatif dari peneliti untuk mampu mengatasi kendala proses *scanning* pada pasien *deformity foot* tersebut sehingga output *scanning* yang diperoleh mampu diolah dengan baik pada *software* CAD yang digunakan. Penggunaan teknik fotogrametri jarak dekat dalam penelitian ini merupakan solusi alternative yang kreatif dan inovatif untuk industri kesehatan karena keterbatasan dana penelitian untuk proses *scanning*. Sehingga penyandang disabilitas yang belum dibantu oleh pemerintah dapat memiliki haknya mendapatkan fasilitas untuk kelayakan hidupnya.

Menurut pusat data dan informasi kementerian kesehatan Republik Indonesia tercatat, penyandang disabilitas pada tahun 2018 dikelompokkan menjadi tiga kategori. Kategori pertama adalah anak (5-17 tahun) dengan tingkat penyandang sebanyak 3,3%. Kedua adalah dewasa (18-59 tahun) dengan tingkat persentasi sebesar 22,0%, dan ketiga, kategori lansia ( $\geq 60$  tahun) tingkat persentasi sebesar 74,3% (Budijanto, 2018). Prosentasi ini, diperoleh berdasarkan pada provinsi mana mereka tinggal dan ternyata belum semua penyandang mendapatkan bantuan fasilitas alat kesehatan dari pemerintah. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 19911/MENKES/PER/VIII/2010 menjelaskan bahwa alat kesehatan adalah instrumen, mesin dan atau alat implant yang tidak mengandung obat. Alat ini digunakan untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan dan meringankan penyakit, merawat orang sakit, memulihkan kesehatan pada manusia, dan atau membantu struktur serta memperbaiki fungsi tubuh.

Penelitian desain dan manufaktur sepatu orthotic dan kaki tiruan atas lutut yang sedang dikerjakan oleh Jamari, dkk (2019-2021) dan Bayuseno, dkk. (2019-2021) berhasil secara maksimal mendapatkan hasil 3D *mesh* kaki dari pasien *deformities foot* dan pasien amputasi menggunakan alat *scanning Handyscann 700<sup>TM</sup>*. Alat *scanning* ini, memang terbukti secara valid mampu menghasilkan kualitas *scanning* sampai pada toleransi 0.02 mm dengan resolusi sekitar 0.05 mm, namun bagi team peneliti yang tergabung dalam SIBAD Undip Group Riset, hal ini dirasa sangat memberatkan bila hasil riset diteruskan sampai pada tahap hilirisasi produk di industri akibat biaya sewa jasa *scanning* yang terlalu mahal untuk setiap obyek yang di *scanning*. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, didapatkan sewa jasa *scanning* yang ditetapkan oleh pihak Pusat Unggulan Teknologi Plastik Politeknik ATMI Surakarta adalah sebesar Rp 3.500.000,00 –



5.000.000,00 / kaki (tergantung lokasi dan kondisi pasien). Hal ini tentu akan berimbas pada nilai jual sepatu atau kaki palsu yang dihasilkan. Kendala inilah yang menjadi celah baru bagi peneliti untuk menemukan sebuah metode *scanning* secara manual menggunakan kamera digital sehingga diperoleh data gambar dalam bentuk *point cloud* atau *mesh* yang siap diproses lanjut pada *software computer aided design* (CAD).

Sedikit atau masih jarangya penelitian tentang teknologi fotogrametri jarak dekat yang ditemukan di Indonesia berimbas pada kurangnya pengetahuan pada masyarakat untuk pemanfaatan dari teknologi ini. Ini juga bisa menjadi celah bagi peneliti untuk melakukan penelitian tentang teknik fotogrametri pada obyek fisik real sehingga mampu diimport ke CAD menjadi gambar 3D yang siap di proses manufaktur pada mesin CNC atau 3D printer. Penelitian ini membahas tentang tahapan proses aplikasi teknik fotogrametri jarak dekat secara konsisten pada model fisik pasien yang mengalami kelainan bentuk kaki dan kasus pernah diamputasi. Penelitian ini diharapkan mampu menjawab tantangan proses *scanning* manual berbasis satu kamera digital dengan kualifikasi resolusi kamera 16 – 21 megapixel dan kendala utama yang dialami oleh peneliti sebelumnya (Jamari, dkk. (2019) dan Bayuseno, dkk. (2019)) dalam hal upaya memperoleh biaya produksi yang murah, tepat dan presisi dalam desain dan manufaktur produk *orthotic* dan *prosthetic*. Luaran penelitian ini diharapkan mampu dikerjakan oleh *engineer* CAD yang tergabung dalam SIBAD Undip Grup Riset menjadi gambar 3D CAD model kaki yang sesuai model fisik sebenarnya.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Bagaimana mengaplikasikan teknologi digital photography untuk mempermudah proses RE Alat Kesehatan untuk produk Orthotik dan Prostetik agar dapat diproses lanjut pada *Computer Aided Design* (CAD)?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a. Mendapatkan model *point cloud* atau *mesh* untuk dijadikan model mesh hasil *scanning* pada kaki pasien.
- b. Mendapatkan tahapan standar *scanning* dengan teknik fotogrametri pada pasien kelainan bentuk kaki.

#### 1.4. Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

- a. Proses pengambilan gambar pada objek penelitian menggunakan kamera Sony DSLR Alpha 55 karena dapat menghasilkan data dengan format .JPG.
- b. Objek fisik yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah pasien kelainan bentuk kaki akibat genetika, penyakit dan traumatic, seperti : *DM*, *clubfoot* dan *flatfoot*.
- c. *Software Agisoft Photoscann Professional* digunakan untuk memproses bentuk .JPG menjadi bentuk *point cloud* yang nantinya di *convert* menjadi .STL.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Tahapan ini, peneliti melakukan telusuran pada beberapa pustaka yang terkait dengan topik yang diambil oleh peneliti. Telusuran ini, nantinya akan menjadi dasar acuan bagi peneliti untuk dapat menyelesaikan tujuan penelitian ini. Pada tahap ini, dijelaskan tentang beberapa hasil penelitian sebelumnya yang dilanjutkan dengan penelitian sekarang.

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Harga beli yang mahal dari alat scanning berimbas pada mahalnya biaya jasa sewa *scanning*, walaupun alat ini bagi beberapa industry manufaktur yang benar-benar mengaplikasikan metode *reverse engineering* (RE) sangat dibutuhkan, namun untuk Indonesia hal ini menjadi kendala utama terutama bagi beberapa peneliti yang sering menggunakan teknologi RE dalam proses risetnya. Penggunaan teknologi scanning yang tepat dan sesuai peruntukannya akan dapat membantu perkembangan teknologi RE di Indonesia. Imbasnya kita mampu bersaing dengan Negara lain terutama dalam bidang biomedical engineering.

Penelitian tentang pengaplikasian 3D *scanning* secara manual menggunakan kamera digital telah berhasil dilakukan dengan baik oleh beberapa peneliti yaitu Bayuaji.R.A, dkk (2015); Suwardhi. D, dkk (2016); Ananingtyas. F, dkk (2016); Pesce. M, dkk (2015); Habib. A, dkk (2014); Fourie. Z, dkk (2011). Namun perbedaan utama dari riset yang pernah dilakukan oleh mereka terdapat pada objek yang diamati. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Bayuaji.R.A, dkk (2015) dan Suwardhi. D, dkk (2016) berfokus pada objek bangunan yang mana bangunan yang dilakukan proses *scanning* dengan menggunakan teknik *fotogrammetry* adalah Gereja Blenduk Semarang dan Candi Borobudur. Untuk penelitian yang dilakukan oleh Ananingtyas. F, dkk (2016) dan Pesce. M, dkk (2015) berfokus pada objek tubuh manusia, yang mana objek yang digunakan adalah wajah dan bagian badan manusia. Dari penelitian sebelumnya yang membahas tentang RE telah dilakukan oleh Galantucci. L. M, dkk (2006), dan

Anggoro. P. W, dkk (2018). Dalam penelitian yang dilakukan membahas tentang bagaimana penerapan *reverse engineering* pada tubuh manusia.

Bayuaji. R. A., dkk (2015) dalam penelitiannya menjelaskan tentang pengaplikasian teknik fotogrametri untuk membangun model 3D pada objek bangunan Gereja Blenduk Semarang. Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan kamera non metrik Canon EOS 5D mark II dan menggunakan perangkat lunak yaitu *PhotoModeler Scanner v.7 2013*. Dalam proses dipergunakan perangkat lunak terdapat beberapa tahapan untuk menjadikan model 3D yaitu *marking* dan *referencing*. Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini untuk membantu mempermudah dalam pekerjaan untuk pelestarian bangunan-bangunan bersejarah yang terdapat di kota Semarang maupun untuk pekerjaan lain yang berkaitan tentang pembentukan model 3D. Hasil analisis yang didapatkan dalam penelitian ini adalah penggunaan teknik fotogrametri ini dapat digunakan dalam pembentukan model 3D untuk objek bangunan dengan perbandingan titik koordinat yang bergeser sekitar  $\pm 0,119$ . Luaran penelitian ini berupa model tiga dimensi dari objek Gereja Blenduk Semarang yang diolah dengan membandingkan hasil nilai jarak antara model dengan *Electronic Total Station* sebesar 0,0896 meter.

Suwardhi. D., dkk (2016) dalam penelitiannya yang mengaplikasikan teknik fotogrametri untuk dokumentasi bangunan bersejarah yaitu Candi Borobudur yang berada di Magelang. Dalam penelitian yang dilakukan menggunakan dua jenis kamera digital non matrik dengan format yang kecil yaitu kamera digital Sony NEX-5N untuk pengambilan foto udara dan kamera digital Nikon D5100 untuk pengambilan foto rentang dekat. Kajian yang akan disampaikan dalam penelitian ini adalah beberapa hasil survey yaitu survey pemotretan udara dengan WUNA (Wahana Udara Nir Awak), survey pemotretan terestris, survey menggunakan sensor aktif laser scanner, dan survey GPS (Global Positioning System). Hasil survey yang sudah didapatkan dilakukan proses pemodelan 3D dengan menggabungkan kedua data pemotretan udara dan pemotretan jarak dekat. Luaran dari penelitian yang telah dilakukan ini berupa model 3D dari bangunan Candi Borobudur dengan tingkat resolusi detail pada objek.

Ananingtyas. F., dkk (2016) dalam penelitiannya membahas tentang pengaplikasian fotogrametri jarak dekat untuk pemodelan 3D wajah manusia. Penelitian yang dilakukan ini bertujuan untuk mendapatkan detail wajah yang

dimiliki oleh manusia untuk mempermudah indentifikasi data diri dimasyarakat. Dalam penelitian ini alat yang digunakan untuk pengambilan data dengan menggunakan kamera digital non matrik dan menggunakan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner v7. 2013* untuk pembentukan model 3D. Objek penelitian yang diambil dalam penelitian ini adalah wajah wanita yang diambil dengan mengelilingi seluruh wajahnya. Keluaran yang didapatkan dari penelitian ini adalah model 3D wajah manusia dan analisi perbandingan jarak yang diverifikasi oleh dektek ahli forensik. Hasil uji *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) sebesar 0,495 dan tingkat signifikansi sebesar 0,967.

Pesce. M., dkk (2015) dalam penelitiannya menjelaskan tentang bagaimana mengembangkan system scanning yang powerful, mudah, dan murah yang berdasarkan pada teknik fotogrametri jarak dekat yang dapat melakukan akurasi penuh terhadap subjek non-statis lebih dari 360°. Alat yang digunakan untuk mengambil gambar menggunakan kamera Canon Power Shot A480 dan menggunakan perangkat lunak *PhotoModeler Scanner 2010*. Setelah dilakukan proses pemodelan bentuk 3D, untuk memvalidasikan ukuran yang sudah diperoleh dengan ukuran objek yang asli dalam penelitian ini digunakan mesin *Scanning Konica Minolta Vivid 910*. Dari hasil yang didapatkan pada perbandingan kedua model tersebut didapatkan penyimpangan rata-rata sebesar  $\pm 1,10$  mm. Kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan ini adalah system scanning pada tubuh manusia sesuai dengan yang telah diusulkan terbukti murah, dapat diandalkan, dan akurat. Hasil yang kompetitif dibandingkan dengan system scanning lainnya seperti scanning laser.

Habib. A., dkk (2014) dalam penelitiannya menjelaskan tentang ukuran *Charged Coupled Device (CCD)* dan *Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)* pada pengaplikasian fotogrametri, survey, dan pemetaan tradisional dan baru. Untuk mendapatkan hasil model 3D, di penelitian ini dijelaskan untuk data yang didapatkan harus melewati proses kalibrasi yang cermat untuk menentukan karakteristik matrik seperti yang telah didefinisikan oleh Parameter Orientasi Interior (IOP). Selain itu untuk stabilitas estimasi TIO kamara dalam periode waktu yang cukup pendek dan panjang harus dilakukan analisis dan diukur. Dalam penelitian ini menguraikan penggabungan garis lurus dalam prosedur penyesuaian bundle untuk mengkalibrasi *off-the-shelf* / kamera digital yang murah. Selain itu dalam penelitian ini memperkenalkan tentang pendekatan baru untuk menguji stabilitas kamera dimana tingkat kesamaan antara bundle yang

direkonstruksi menggunakan dua set IOP yang dilakukan evaluasi secara kuantitatif. Hasil dari penelitian ini adalah membuktikan kelayakan pendekatan kalibrasi mandiri berbasis garis.

Percoco. G. (2011) dalam penelitian yang memiliki tujuan untuk membuktikan pengaplikasian photogrammetric jarak dekat yang dapat digunakan untuk insutri tekstil dengan biaya yang rendah dan menjelaskan prosedur proses scanning yang digunakan. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah delapan kamera dengan resolusi kamera sebesar 5 megapiksel yang dilengkapi lensa dengan focal length 16 mm, empat illuminator cahaya putih dengan kapasitas masing-masing cahaya 100 W. Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah seorang wanita yang dikenakan korset yang memiliki target kode dengan ukuran yang telah ditentukan. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah pengukuran dengan menggunakan teknik fotogrametri dapat setara dengan ukuran standar secara manual oleh penjahit dengan bantuan korset atau jas tubuh yang ditandai dengan target yang dirancang dengan baik.

Deli. R, dkk (2011) dalam penelitiannya yang bertujuan untuk mengevaluasi metode fotogrametri dari sisi ukuran dan membandingkan wajah virtual tiga dimensi yang telah dilakukan pada subjek yang berbeda. Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua puluh orang dewasa dan sepuluh orang wanita. Alat yang digunakan untuk pengambilan data dengan menggunakan teknik fotogrametri dengan menggunakan tiga jenis kamera yang nantinya data yang didapatkan akan dianalisis dengan menggunakan *software* PhotoModeler 5.0. Dalam penelitian yang dilakukan dijelaskan bahwa dalam pengambilan data dimungkinkan untuk mengurangi gerakan yang terjadi, karena itu adalah salah satu penyebab kegagalan dalam proses pembentukan model 3D. Hasil yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan ini adalah kemampuan dan keakuratan metode fotogrametri dengan melakukan analisis perbandingan jarak objek wajah asli dengan model tiga dimensi yang memiliki hasil akurat sebesar T0.07 mm.

Anggoro. P.. W., dkk (2018) dalam penelitiannya yang menjelaskan tentang bagaimana menggunakan *Computer-Aided Reverse Engineering System* (CARESystem) untuk meminimalkan kesalahan file yang dihasilkan dalam proses *scanning* kaki pasien. Berdasarkan analisis yang dilakukan toleransi ukuran kurang dari 1 mm. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini menjamin untuk dapat menghasilkan sepatu *orthotics* dengan akurasi dimensi dan

kenyamanan pada saat digunakan. Penelitian ini berdampak pada pasien diabetes, sehingga mereka memiliki harapan untuk mendapatkan alas kaki yang nyaman digunakan. Dari penelitian ini menghasilkan sepatu *orthotics* bagi penderita diabetes yang diteliti.

Kumar. A., dkk (2013) dalam penelitiannya yang menjelaskan tentang bagaimana peran *reverse engineering* dalam pembuatan desain mekanik dan industri berbasis manufaktur. Dalam lingkungan manufaktur yang terkomputerisasi secara teratur terdapat urutan operasi yang dimulai dari desain produk dan berakhir dengan operasi mesin untuk mengubah bahan baku menjadi produk akhir. Dalam pendekatan *reverse engineering* langkah-langkah penting yang terlibat adalah penokohan model geometris dan representasi permukaan terkait segmentasi dan *surface fitting of simple and free-form shapes*, dan menciptakan model CAD yang akurat. Dari hasil penelitian yang dilakukan adalah ulasan tentang metodologi *reverse engineering* dan penerapan dalam bidang yang terkait dengan pengembangan desain produk. *The product re-design* dan penelitian tentang *reverse engineering* sebagian besar akan mengurangi periode produksi dan biaya dalam industri manufaktur.

Singh. N., (2012) dalam penelitiannya yang menjelaskan bagaimana proses untuk mendapatkan model CAD geometri dari titik 3D yang diperoleh dengan *scanning* digital suatu produk. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meninjau proses *reverse engineering*, dan mengetahui peran dalam pengembangan, penyempurnaan dan modifikasi dalam desain produk. Dalam penelitian ini juga menjelaskan tentang berbagai tahapan yang terlibat dalam *reverse engineering* dan penerapannya dalam berbagai bidang yang ada. Sejarah singkat dalam menggunakan teknik *reverse engineering* juga dibahas dalam penelitian ini.

Jebur. A., (2018) dalam penelitiannya yang menjelaskan tentang bagaimana data model 3D yang didapat dari teknik digital fotogrametri dapat diproses dengan sempurna untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Dalam penelitian yang dilakukan untuk menyempurnakan hasil data foto yang diambil dengan menggunakan software *Agisoft PhotoScan*. Software ini adalah software pemodelan 3D berbasis gambar profesional yang berupaya membuat model 3D yang presisi dari gambar yang dihasilkan. Data gambar yang diambil secara sewenang-wenang yang memenuhi syarat dalam kondisi terkontrol dan tidak terkendali. Dalam penelitian ini bertujuan untuk melihat kinerja dari software

*Agisoft PhotoScan* yang dinilai dan dianalisis untuk menunjukkan potensi software untuk aplikasi pemodelan 3D yang akurat. Hasil dari penelitian ini adalah menganalisis bentuk statis dan validasi dari data yang sudah dilakukan.

Rani. M. F. A., & Rusli, N. (2017) dalam penelitiannya yang membahas tentang perbandingan antara dua *software* dengan tingkat keakuratan dalam membuat model 3D. *Software* yang digunakan adalah *Agisoft PhotoScan* versi 1.3.1 dan *Pix 4D* versi 1.3.67. Penelitian ini bertujuan untuk menilai keakuratan orthophoto yang dihasilkan dari kedua *software* ini. *Ground Control Point* (GCP) pada penelitian ini dilakukan selama observasi lapangan dan kemudian gambar dari *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) diproses dengan menggunakan *software*. Terdapat fase yang digunakan dalam pemrosesan ini adalah *photo alignment*, *geo-referencing*, *dense points cloud* dan *mesh*, *texture model*, *Digital Elevation Model* (DEM), dan *orthophoto*. Hasil dari penelitian ini didapat dari hasil keakuratan *software* pada analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kuantitatif mencakup titik dan pengukuran jarak yang menggunakan metode RMSE untuk akurasi, sedangkan untuk analisis kuantitatif digunakan pada kualitas gambar yang dihasilkan.

### **2.1.2. Penelitian Sekarang**

Pada penelitian yang akan dilakukan sekarang dengan melakukan pengaplikasian fotogrametri jarak dekat pada objek kaki yang mengalami penyakit kelainan dari lahir. Dari penelitian yang sudah ada dengan objek pada objek mati ataupun objek hidup pada kepala manusia menjadi referensi dalam penelitian yang akan dilakukan. Pengambilan data foto dengan menggunakan kamera digital yang diambil jumlah banyak dan akan dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan *software* yaitu *Agisoft PhotoScan*. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan model 3D dan sekaligus membantu industry menengah kecil yang membutuhkan proses 3D *scanning* tetapi dengan biaya yang murah. Penelitian ini dilakukan menggunakan teknologi *Reverse Engineering* konvensional yang berfokus pada proses *Computer-Aided Design* (CAD) dengan menggunakan metode fotogrametri jarak dekat untuk pengambilan data yang nantinya dilakukan proses kalibrasi untuk mendapatkan model 3D dengan format .ZTL. Hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk proses manufaktur.



## 2.2 Dasar Teori

Dalam sub bab ini akan membahas tentang teori-teori yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagai salah satu pendukung untuk jalannya penelitian ini. Teori yang digunakan berhubungan dengan proses pembuatan model 3D dengan menggunakan teknik fotogrametri jarak dekat.

### 2.2.1. 3D Scanning

Pemindai tiga dimensi (3D) adalah suatu proses pengambilan data dalam bentuk suatu objek untuk membangun model 3D. Model 3D yang dihasilkan pada dasarnya terdiri dari kumpulan *point* yang tersusun pada muka ruang 3D dari objek yang dipindai (Heo & Lee, 2016). Dalam proses pemindaian 3D dapat dilakukan secara *contact* atau *contactless*.

#### A. Metode Contact

Metode *contact* adalah proses pemindaian yang dikumpulkan dari hasil sentuhan permukaan objek benda 3D dengan cara melakukan kontak langsung dengan meraba dalam sebuah ruangan yang gelap.

Metode ini memiliki keunggulan dalam hal presisi dimana salah satu contohnya adalah *Coordinate Measuring Machine (CMM)*, metode ini banyak digunakan dalam perusahaan *manufacturing*. Proses dari CMM adalah proses dengan melakukan kontak langsung antara *probe* dengan objek yang akan dipindai. Hal ini mengakibatkan kerugian dimana objek yang disentuh dapat mengalami perubahan bentuk karena kikisan dari *probe* yang digunakan. Contoh lain dari metode ini adalah CGI (*Computer Generated Imagery*).

#### B. Metode Contactless

Metode *contactless* adalah proses pemindaian yang menggunakan data yang dikumpulkan berasal dari permukaan objek 3D tanpa melakukan kontak langsung dengan objek. Pemindaian ini dapat dilakukan dengan menggunakan suatu sinar pemancar dan pantulan sinar tersebut akan ditangkap oleh suatu kamera.

#### C. Structured Light

Metode ini adalah metode dengan memproyeksikan sebuah cahaya dengan pola tertentu kepada objek yang akan dipindai. Cahaya yang diproyeksikan tidak

hanya dalam bentuk garis sempit namun juga dapat berupa suatu pola dua dimensi.

Sebuah garis cahaya yang diproyeksikan pada permukaan objek akan menghasilkan garis pencahayaan, yang jika dilihat akan tampak menyimpang dari sisi perspektif lain dibandingkan dari sudut pandang proyektor. Hasil penyimpangan inilah yang akan digunakan untuk melakukan merekonstruksi geometri dari bentuk permukaan objek yang ingin dipindai.

#### **D. Coded Light**

Metode ini dilakukan dengan mengganti salah satu kamera atau dua kamera yang digunakan dengan perangkat yang memproyeksikan pola cahaya ke permukaan objek. Perangkat yang digunakan adalah proyektor video karena dapat memproyeksikan gambar dengan struktur tertentu sehingga piksel dapat diatur dengan mudah untuk membedakan gambar dengan menggunakan *local coding*. Titik yang terproyeksi gambar akan ditangkap oleh kamera.

#### **E. Time-of-flight**

Metode ini melakukan pemindaian dengan menggunakan laser untuk memindai objek. Kedalaman objek diperoleh dengan cara menghitung dan membandingkan waktu tempuh yang dibutuhkan sinar laser yang dipancarkan hingga pantulan diterima oleh detector. Metode ini biasa digunakan untuk membuat model 3D dari objek seperti bangunan, relief batu-batuan, ataupun beberapa objek *landscape* lainnya.

#### **F. Triangulation**

Metode ini pada dasarnya sama dengan metode *time-of-flight* yaitu dengan menggunakan laser sebagai sumber cahaya. Perbedaan metode ini dengan metode yang lain adalah tidak menggunakan waktu tempuh sebagai parameter ukuran melainkan memanfaatkan lokasi jatuhnya titik laser pada permukaan benda.

Letak titik laser dipengaruhi oleh perbedaan jarak permukaan benda ke sumber laser. Terdapat parameter yang perlu diperhatikan yaitu sumber laser, kamera, dan titik laser. Perhitungan jarak dilakukan dengan kombinasi variabel sumber laser, kamera, dan titik laser yang jatuh pada permukaan benda. Ketidak variabel tersebut akan diposisikan membentuk sebuah segitiga.

Proses pemindaian dapat lebih cepat dilakukan dengan menggunakan laser *stripe* dibandingkan dengan menggunakan laser *dot*. Prinsip ini dinamakan triangulasi, karena letak sumber laser dan kamera pengamat membentuk sudut seperti pada segitiga (*triangle*).

### G. Photo-based Scanning

Metode ini adalah metode yang menggabungkan teknologi kamera digital dengan *software* khusus. Tidak seperti teknik lain dimana system yang akan menembakkan cahaya ke objek, teknik ini memanfaatkan sumber cahaya dari luar system yang kemudian pantulannya ditangkap oleh kamera dari beberapa sudut pandang.

#### 2.2.2. Photogrammetry

Photogrammetri adalah metode yang mencakup pengukuran dan interpretasi gambar untuk mendapatkan suatu bentuk dan lokasi suatu objek dari satu atau lebih foto objek. Pada prinsipnya, metode *photogrammetri* dapat diterapkan dalam situasi apapun dimana objek yang akan diukur dapat direkam secara fotografis. Tujuan utama dari pengukuran *photogrammetri* adalah untuk rekonstruksi tiga dimensi dari suatu objek dalam bentuk digital (koordinat dan elemen geometri turunan) atau dalam bentuk grafis (gambar, foto, peta). Foto atau gambar tersebut merupakan penyimpanan informasi yang dapat diakses kembali.

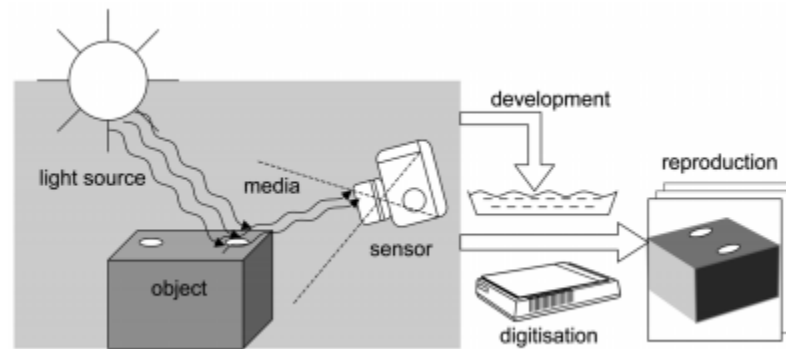


**Gambar 2. 1. Photogrammetric Images**

(Sumber: Luhmann dkk, 2006)

Pada Gambar 2.1 menunjukkan contoh hasil gambar *photogrammetri*. Pengukuran objek tiga dimensi menjadi gambar dua dimensi menyiratkan

hilangnya informasi. Area objek yang tidak terlihat dalam gambar tidak dapat dilakukan rekonstruksi. Ini tidak hanya mencakup bagian-bagian tersembunyi dari suatu objek seperti bagian belakang bangunan tetapi juga daerah yang tidak dapat dikenali karena kurangnya cahaya atau ukuran yang membatasi. Sedangkan posisi dalam ruang dari setiap titik pada objek dapat ditentukan oleh tiga koordinat. Ada perubahan geometris yang disebabkan oleh bentuk objek, posisi relative kamera dan objek, perspektif, dan cacat lensa optic. Adanya perubahan radiometric (warna) karea radiasi elektomagnetik yang direkam dalam gambar dipengaruhi oleh media transisi (udara, kaca) dan media perekaman cahaya (film, sensor elektronik).



**Gambar 2. 2. From Objek to Image**

(Sumber: Luhmann dkk, 2006)

Pada gambar menjelaskan elemen yang dibutuhkan untuk proses rekonstruksi suatu objek, elemen yang dibutuhkan antara lain seperti : sumber cahaya, sifat-sifat permukaan objek, media yang dilalui cahaya, teknologi sensor dan kamera, pemrosesan gambar, pengembangan film, dan pemrosesan lebih lanjut.

Metode interpretasi dan pengukuran gambar kemudian diperlukan suatu gambar untuk memungkinkan titik objek yang akan diidentifikasi dari bentuk, kecerahan atau pengembangan warna. Untuk setiap titik gambar, nilai-nilai dalam bentuk data radiometrik (intensitas, *grey value*, *colour value*) dan data geometris (posisi dalam gambar) kemudian dapat diperoleh. Ini membutuhkan system pengukuran dengan kualitas geometris dan optic yang sesuai. Dari pengukuran ini dan transformasi matematis antara gambar dan ruang objek, objek akhirnya dapat dimodelkan.

### 2.2.3. Close Range Photogrammetry (CRP)

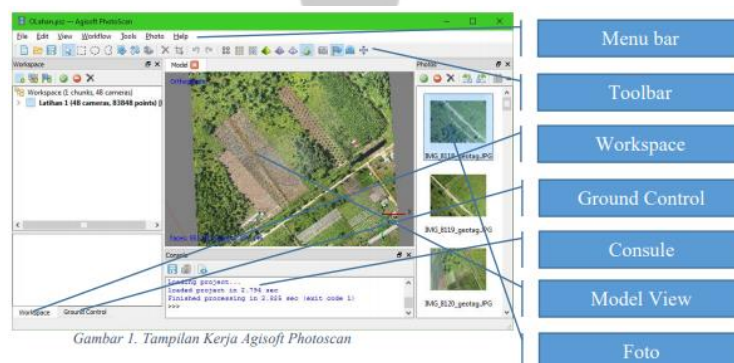
Karena penerapannya yang bervariasi, *Close Range Photogrammetry* (CRP) memiliki karakteristik interdisipliner yang kuat. Tidak hanya hubungan dekat dengan teknik pengukuran lain tetapi juga dengan ilmu-ilmu dasar seperti matematika, fisika, ilmu informasi atau biologi.

CRP memiliki hubungan signifikan dengan aspek grafis dan ilmu fotografi, misalnya *computer graphics* dan *computer vision*, *digital image processing*, *computer aided design* (CAD), *geographic information systems* (GIS), dan *cartography*. Secara tradisional, ada asosiasi kuat CRP dengan teknik survey terutama dalam bidang metode penyesuaian dan survey teknik. Dengan meningkatnya penerapan *photography* pada metrology industry dan control kualitas.

### 2.2.4. Agisoft PhotoScan Professional

Agisoft PhotoScan adalah solusi pemodelan 3D berbasis gambar yang bertujuan untuk menciptakan model 3D dengan kualitas profesional dari gambar diam. Berdasarkan teknologi rekonstruksi 3D *multi-view* terbaru, ini beroperasi dengan gambar sewenang-wenang dan efisien dalam kondisi terkontrol dan tidak terkendali. Foto dapat diambil dari posisi apapun, asalkan objek yang akan direkonstruksi terlihat pada sisi setidaknya dua foto. Baik penyesuaian gambar dan rekonstruksi model 3D sepenuhnya otomatis.

Sebelum melakukan proses pada foto ke *PhotoScan* harus melakukan pemilihan pada foto yang cocok untuk dilakukan rekonstruksi. Foto yang diambil dapat menggunakan kamera digital apa saja (baik metric atau non-metric).



Gambar 1. Tampilan Kerja Agisoft Photoscan

### Gambar 2. 3. Layar Depan Agisoft PhotoScan

(Sumber: Purnomo, 2018)

Pada gambar menunjukkan layar kerja utama pada *software Agisoft PhotoScan* yang memiliki beberapa tampilan seperti: Menu Bar, Toolbar, Workspace, Ground Control, Consule, Model View, dan Foto. Tampilan yang diberikan dalam *software* ini dapat membantu dalam proses pembuatan model 3D dari format foto.

Untuk mendapatkan model 3D dalam *software* ini terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan. Berikut ini adalah langkah-langkah untuk mendapatkan model 3D .

#### **A. Aligning Photos**

Aligning photo adalah proses dimana foto-foto yang telah dimuat dalam *software* Agisoft PhotoScan akan di sejajarkan. Tahap ini bertujuan untuk menemukan posisi dan orientasi kamera untuk setiap foto dan membuat model point cloud.

#### **B. Alignment Parameters**

Parameter berikut mengontrol prosedur pelurusan foto dan dapat dimodifikasi pada pengaturan align photos.

##### **1) Accuracy**

Pengaturan akurasi yang lebih tinggi membantu untuk mendapatkan perkiraan posisi kamera yang lebih akurat. Pengaturan akurasi yang lebih rendah dapat digunakan untuk mendapatkan posisi kamera yang kasar dalam periode waktu yang lebih singkat. Sementara pada pengaturan akurasi High *software* ini bekerja dengan foto-foto dari ukuran aslinya. Medium setting menyebabkan penurunan gambar dengan faktor 4 (2 kali di setiap sisi), dan untuk Low akurasi file diturunkan menjadi 4 kali lebih jauh.

##### **2) Pair Preselection**

Proses penyesuaian foto dengan ukuran besar bisa memakan waktu yang lama. Sebagian besar periode waktu ini dihabiskan untuk mencocokkan fitur yang terdeteksi di foto. Pemilihan pasangan gambar dapat mempercepat proses ini karena pemilihan subset pasangan gambar yang akan dicocokkan. Dalam mode pemilihan umum, pasangan foto yang tumpang tindih dipilih dengan mencocokkan foto menggunakan pengaturan akurasi yang rendah terlebih dahulu. Dalam mode pemilihan referensi, pasangan foto yang tumpang tindih

dipilih berdasarkan pada lokasi kamera yang diukur. Citra miring disarankan untuk mengatur nilai ketinggian Ground dalam dialog pengaturan panel referensi untuk membuat prosedur pemilihan awal lebih efisien. Informasi ketinggian tanah harus disertai dengan data yaw, pitch, data roll untuk kamera yang akan dimasukkan dalam panel referensi juga.

### **3) Key Point Limit**

Angka yang telah didapatkan menunjukkan batas atas titik fitur pada setiap gambar yang akan diperhitungkan selama tahap pemrosesan saat ini. Penggunaan nilai nol memungkinkan PhotoScan untuk menemukan titik points sebanyak mungkin, tetapi hal itu dapat menghasilkan sejumlah besar point yang kurang dapat diandalkan.

### **4) Tie Point Limit**

Angka yang didapatkan menunjukkan batas atas titik pencocokan untuk setiap gambar. Penggunaan nilai nol tidak berlaku penyaringan *point filtering*.

### **5) Constrain Features By Mask**

Saat *option* ini diaktifkan, fitur yang terdeteksi di wilayah gambar yang disarankan dibuang.

## **C. Building Dense Point Cloud**

Software ini memungkinkan untuk menghasilkan dan memvisualisasikan model point cloud. Berdasarkan perkiraan posisi kamera, program ini menghitung informasi kedalam untuk setiap kamera yang akan digabungkan menjadi satu point cloud. Software ini cenderung menghasilkan point cloud yang ekstra padat, yang kepadatannya hampir sama, jika tidak lebih rapat, seperti point cloud LIDAR. Dense point cloud dapat diedit dan diklasifikasikan dalam lingkungan software ini atau dapat diekspor ke alat eksternal untuk analisis lebih lanjut.

## **D. Building Mesh**

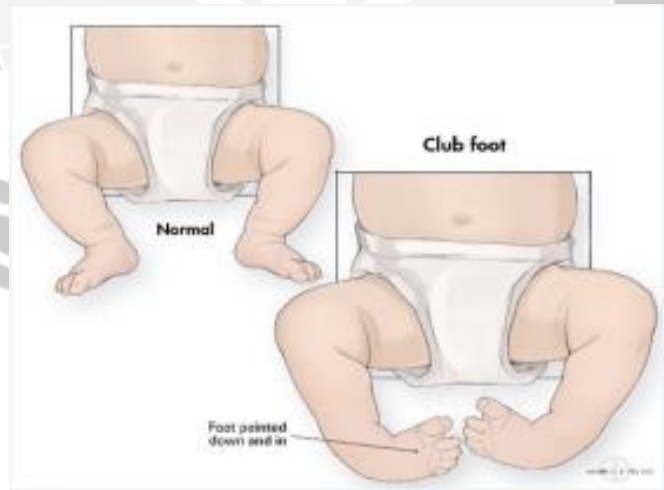
Pada proses ini adalah proses dimana hasil *point cloud* yang didapatkan dijadikan model 3D yang berbentuk padat dan memiliki bentuk sesuai dengan objek yang dipindai. Model *mesh* yang didapatkan dapat digunakan lebih lanjut dalam *software* lain untuk dilakukan analisis, editing, dan proses manufaktur.

## E. Building Model Texture

Pada proses ini hasil *mesh* yang sudah dibuat dapat menentukan bagaimana texture objek akan dikemas dalam texture atlas. Pemilihan model *building texture* yang tepat dapat membantu untuk mendapatkan pengemasan tekstur yang optimal dan memiliki kualitas visual yang lebih baik dari model akhir.

### 2.2.5. Clubfoot

*Clubfoot* atau kaki pengkor dalam bahasa latin dapat disebut *Congenital Talipes Equinovarus* (CTEV). Istilah *Talipes equinovarus* berasal dari kata latin yaitu talus (pergelangan kaki) dan pes (kaki), dan *Equinus* yaitu "horse like" (tumit dalam fleksi plantar) dan varus (terbalik dan adduksi) (Rani and Kumara (2017)). CTEV adalah kondisi bawaan dengan kelainan bentuk dan dideskripsikan oleh Hippocrates pada tahun 400 sebelum masehi. *Clubfoot* adalah salah satu cacat lahir secara umum yang melibatkan *system musculoskeletal*. *Clubfoot* dapat dikaitkan dengan *myelodysplasia*, *arthrogryposis* atau beberapa kelainan bawaan lain, tetapi paling sering dengan kelainan yang terisolasi dan dianggap idiopatik (Parikh and Moradiya (2019)).



**Gambar 2. 4. Perbandingan Kaki Normal dengan Clubfoot**

(Sumber: Rani dan Kumari, 2017)

*Clubfoot* sebagian besar kelainan tulang terjadi di tarsus. Pada saat lahir, tulang tarsal yang hampir seluruhnya masih berupa tulang rawan, berada dalam posisi fleksi, adduksi, dan inversi yang berlebih. Talus dalam posisi plantas fleksi hebat, collumnya melengkung ke medial, mendekati malleolus medialis, dan berartikulasi dengan permukaan medial caput talus.





**Gambar 2. 5. Bentuk kelainan tulang tarus**

(Sumber: Staheli, 2009)

Pada gambar menunjukkan kaki pada bayi berumur 3 hari yang *navicular* bergeser ke medial dan berartikulasi hanya dengan aspek medial caput talus. *Cuneiforme* tampak berada di kanan *navicular*, dan *cuboid* berada dibawahnya. Permukaan pada sendi *calcaneocuboid* mengarah pada posteromedial. Dua pertiga dari bagian anterior calcaneus berada dibawah talus. Tendon tibialis anterior, ekstensor hallucis longus dan ekstensor digitorum longus bergeser kemedial.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Rani, dkk (2017) menjelaskan system klasifikasi dengan beberapa kategori *clubfoot*, yaitu:

- a. Soft foot atau postural foot dapat diobati dengan fisioterapi dan perawatan yang standar.
- b. Soft foot > stiff foot terjadi pada 33% kasus, kondisi kaki ini dapat diperbaiki dan dirawat dengan casting dan dapat sembuh dalam 7-8 bulan tanpa operasi.
- c. Soft foot < stiff foot terjadi pada 61% kasus, kondisi kaki ini sulit untuk diperbaiki dengan cara casting dan fisioterapi. Jika memenuhi kriteria yang diperlukan, maka akan dilakukan tindakan operasi.
- d. Stiff foot dan rumit untuk diperbaiki, terjadi pada kelainan equinus bilateral dan membutuhkan tindakan operasi.



**Gambar 2. 6. Casting kaki bayi**

(Sumber: Staheli, 2009)

Penangan pada bentuk kaki *clubfoot* dapat diatasi dengan menggunakan metode Ponseti. Metode ini dilakukan memperbaiki bentuk kaki pada bayi sehingga posisinya seperti kaki normal pada umumnya. Setelah dilakukan dengan metode ini, kaki bayi dipasang *casting* (penyangga) yang berbentuk seperti pada gambar untuk mempertahankan posisi kaki normalnya. Proses ini dilakukan berulang kali hingga posisi kaki bayi menjadi seperti bentuk kaki normal.

#### **2.2.6. Reverse Engineering (RE)**

*Reverse Engineering* (RE) adalah proses memproduksi model objek yang ada (komponen, subassembly, atau produk), tanpa bantuan spesifikasi formal (seperti gambar atau model computer) dengan menganalisis dimensi fisik objek yang ada, fitur, sifat material, dan fisik. Tujuan dari RE adalah untuk membangun karakteristik produk dengan mengakumulasikan semua data teknis, dan instruksi dan bagaimana suatu produk dapat bekerja. Dalam *reverse engineering industrial* terdapat beberapa khusus yang sering muncul seperti:

- Ketika tidak ada gambar atau model desain untuk produk yang harus diganti (aus, patah, rusak) dan pabrikan asli tidak ada lagi atau menghasilkan produk itu.
- Ketika gambar/model telah dibuat, tetapi komponen telah dimodifikasi selama *prototyping* / sesain berulang, pengujian dan penggunaan karena dokumentasi yang ada tidak lagi direlevan.

- Ketika membandingkan bagian fabrikasi dengan deskripsi CAD-nya atau ke item standar untuk tujuan inspeksi dan / atau jaminan kualitas.

Saat ini *reverse engineering* lebih mengacu pada proses mendapatkan model geometri tiga dimensi (3D) dari objek fisik. Manajemen desain produk *reverse engineering* dapat direalisasikan berdasarkan dua metodologi yaitu “*conventional approach*” dan “*non-conventional approach*”. Penjelasan dari dua metodologi ini sebagai berikut:

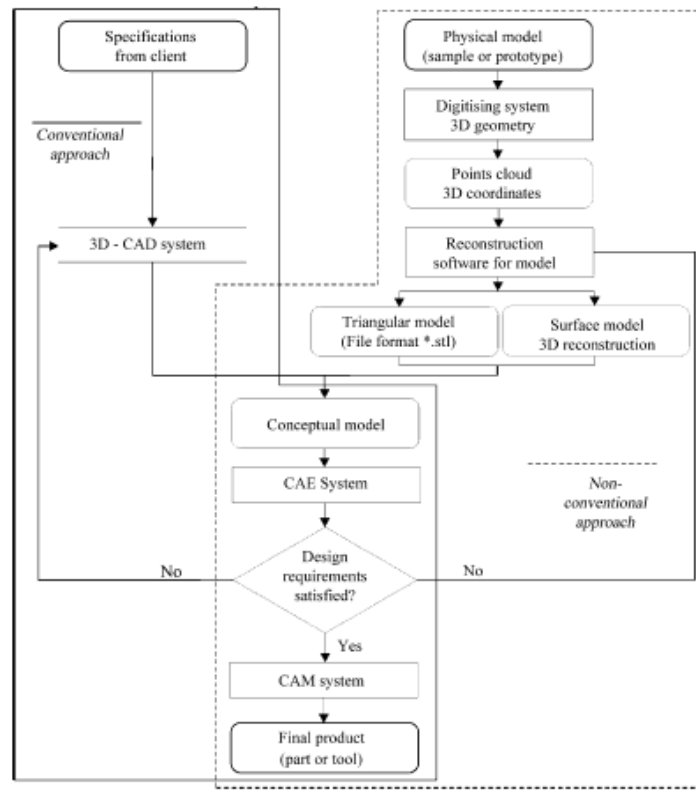
#### A. *Conventional approach*

Pendekatan konvensional untuk mengembangkan produk dengan teknik CAD / CAE / CAM biasanya dimulai dengan pemodelan geometri menggunakan system CAD. Model geometri dapat direpresentasikan sebagai bingkai kawat atau sebagai permukaan atau sebagai struktur padat.

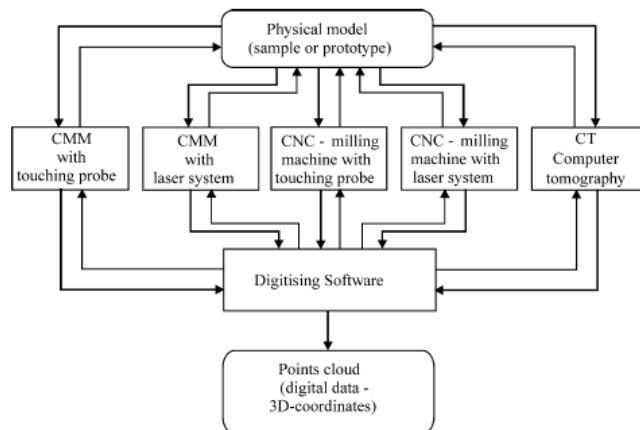
Melalui pemodelan konseptual, informasi CAD yang dihasilkan dapat diekspor dalam format standar (IGES *points* / STL *binary*, ASCII data, DXF *polyline*, VDA *points* atau IGES/STL *surfaces*) dan dapat diimpor dalam format data yang sama ke system CAE (memungkinkan model numerik simulasi) dan / atau system CAM (memungkinkan untuk menghasilkan *tooling trajectories* – *NC-code*).

#### B. *Non-conventional approach*

Pendekatan konvensional adalah desain dari model fisik atau tanah liat ke model digital. Ini pada dasarnya adalah proses pemodelan untuk menduplikat model fisik atau tanah liat dalam bentuk digital. Pengembangan produk dengan pendekatan konvensional tidak berlaku ketika tujuannya adalah merencanakan ulang atau mensimulasikan dan mengoptimalkan bagian / cetakan / alat yang sudah ada tanpa informasi dalam format data CAD. Akibatnya, akan diperlukan untuk menerapkan teknik yang memungkinkan menangkap geometri bagian / cetakan / alat (atau *prototype*), dan untuk menghasilkan model numerik konseptual yang akan digunakan dalam system CAE dan CAM.



**Gambar 2. 7. Urutan untuk manufacture produk (parts/moulds/tools)**  
 (Sumber: Sokovic dan Kopac, 2005)



**Gambar 2. 8. Teknik digitalisasi untuk geometri 3D**  
 (Sumber: Sokovic dan Kopac, 2005)

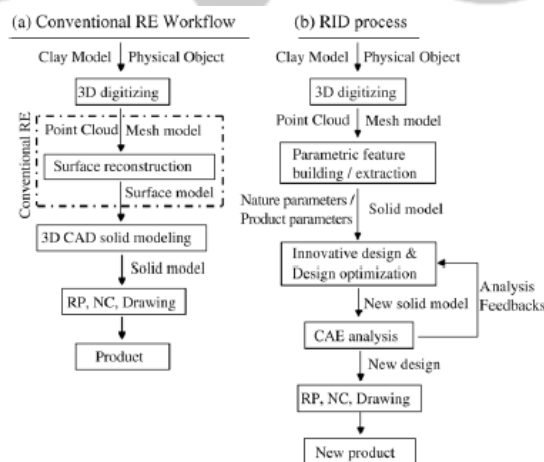
**2.2.7. Reverse Innovative Design (RID)**

Reverse Innovative Design (RID) adalah metodologi desain digital terintegrasi yang menggabungkan digitalisasi, pemodelan dengan bentuk dan parameter

definisi produk, optimasi produk berbasis analisis CAE dan RP. Langkah-langkah utama dalam metodologi RID sebagai berikut:

1. Pengambilan data 3D dalam model fisik atau tanah, pengolahan *point cloud*, *meshing*, dan *processing mesh*. Hasilnya adalah model jaring yang bersih.
2. Pemodelan 3D solid dari *mesh* dengan parameter definisi alami bentuk tingkat tinggi atau parameter definisi produk diekstraksi, bahkan untuk bentuk bebas. Hasilnya adalah model parametric berbasis fitur dengan maksud desain dan pengetahuan dari model fisik atau tanah liat asli dalam perangkat lunak.
3. Membentuk model produk baru dengan mengedit bentuk tingkat tinggi dan parameter definisi produk, atau dengan mengedit permukaan. Deformasi dapat bersifat local atau global, dan untuk beberapa permukaan besar dan kecil lainnya. Fitur tambahan dapat ditambahkan ke model produk baru dalam perangkat lunak 3D CAD. Hasilnya adalah model produk digital baru untuk desain baru.
4. Melakukan analisis CAE pada model baru, dan memodifikasi dan mengoptimalkan model baru berdasarkan umpan balik dari analisis. Ini adalah proses berulang dan perubahan untuk setiap langkah biasanya tidak besar. Hasil dari iterasi ini adalah model digital yang dioptimalkan dari desain baru yang dikeluarkan oleh *rapid prototyping* (RP).

Berikut ini adalah perbedaan alur metodologi *reverse engineering conventional* dengan *reverse innovative design*.



**Gambar 2. 9. Perbedaan alur kerja RE dan RID**

(Sumber: Ye dkk, 2008)

## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan teknik fotogrametri dapat digunakan untuk mempermudah proses RE alat kesehatan untuk produk orthotic dan prostetik. Dari beberapa hasil yang telah didapatkan dari penelitian ini terdapat model yang mendekati bentuk kaki pasien yaitu pada obyek kaki *clubfoot* yang memiliki ukuran error yang didapatkan kurang dari 2 cm dan untuk tekstur model pada obyek kaki amputasi. Teknik ini ke depan diharapkan dapat digunakan untuk proses pemindaian kaki karena dapat meminimalkan biaya yang harus dibutuhkan untuk mendapatkan model 3D.

#### 6.2. Saran

Untuk proses pemotretan diusahakan cahaya yang dibutuhkan untuk menyinari obyek cukup, sehingga tidak ada bagian obyek yang kekurangan cahaya. Pemotretan diusahakan dilakukan dari beberapa sudut lebih banyak, karena semakin banyak foto yang diambil akan membentuk model yang sempurna. Pemotretan dilakukan dengan stabil agar hasil foto yang didapatkan dapat lebih fokus dan detail. Perlunya penelitian selanjutnya untuk membuat suatu produk yang dapat digunakan dalam proses pemotretan dengan mengelilingi obyek secara efektif dan efisien. Selain itu juga penelitian yang digunakan untuk penghalusan model 3D agar model dapat sesuai dengan bentuk aslinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agisoft LLC. (2014). Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.1.
- Ananingtyas, F., Prasetyo, Y., & Suprayogi, A. (2016). Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Wajah Manusia, *Jurnal Teknik Geodesi Universitas Diponegoro*.
- Anggoro, P. W., Tauviqirrahman, M., Jamari, J., Bayuseno, A. P., Bawono, B., & Avelina, M. M. (2018). *Computer-Aided Reverse Engineering System in the Design and Production of Orthotic shoes Patients with Diabetes*, *Cogent Engineering: Biomedical Engineering*, 5, pp. 1-20.
- Bayuaji, R. A., Suprayogi, A., & Sasmito, B. (2015). Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat untuk Pemodelan 3D Gereja Blenduk Semarang, *Jurnal Teknik Geodesi Universitas Diponegoro*.
- Budijanto, D. (2018). Indonesia Inklusi dan Ramah Disabilitas, Pusat Data Informasi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Buku Panduan *Software Netfabb*. Diakses pada tanggal 8 Oktober 2019 dari <https://www.slideshare.net/miftaAlHkiem/netfabb-basic-documentation>
- Deli, R. (2011). *Accurate Facial Morphologic Measurements Using a 3-Camera Photogrammetric Method*, *Journal of Craniofacial Surgery* 22, pp. 54-59.
- Fourie, Z., Damstra, J., Gerrits, P. O., & Ren, Y. (2011). *Evaluation of anthropometric accuracy and reliability using different three-dimensional scanning systems*, *Forensic Science International* 207, pp. 127-134.
- Galantucci, L. M. (2010). *New challenges for reverse engineering in facial treatments: How can the new 3D non-invasive surface measures support diagnoses and cures?*, *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 5, No. 1, March 2010, 3-13.
- Galantucci, L. M., Percoco, G., Angelelli, G., Lopez, C., Introna, F., Liuzzi, C., & Donno, A. D. (2006). *Reverse engineering techniques applied to a human skull, for CAD 3D reconstruction and physical replication by rapid prototyping*, *Journal of Medical Engineering & Technology*, Vol. 30, No. 2, March/April 2006, 102-111.

- Gularso, H., Subiyanto, I. S., & Sabri, L. M. (2013). Tinjauan Pemotretan Udara Format Kecil Menggunakan Pesawat Model Skywalker 1680, *Jurnal Teknik Geodesi Universitas Diponegoro*.
- Habib, A., Datchev, I., & Kwak, E. (2014). *Stability Analysis for a Multi-Camera Photogrammetric System*, *Sensor* 14, pp. 15084-15112.
- Habib, A., & Morgan, M. (2005). *Stability Analysis and Geometric Calibration of Off-the-Shelf Digital Cameras*, *International Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, pp. 733-741.
- Heo, S., & Lee, C. G. (2016). *Three-dimensional Geometrical Scanning System Using Two Line Lasers*, *Korea Journal of Optics and Photonics*, Vol. 27, No. 5, pp. 165-173.
- Jebur, A., Abed, F., & Mohammed, M. (2018). *Assessing The Performance of Commercial Agisoft PhotoScan Software to Deliver Reliable Data For Accurate 3D Modelling*, *MATEC Web of Conferences*, pp. 162.
- Kumar, A., Jain, P. K., & Pathak, P.M. (2013). *Reverse Engineering In Product Manufacturing: An Overview*, Chapter 39 in *DAAAM International Scientific Book*, pp.665-678.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., & Harley, I. (2006). *Close Range Photogrammetry, Dunbeath Mains Cottages, Caithness KW6 6EY, Scotland, UK*.
- Mesin 3D *Handyscan 300* dan *Handyscan 700*. Perbandingan spesifikasi ukuran mesin *scanning*. Diakses pada tanggal 15 Juli 2020 dari <https://www.cati.com/3d-scanning/creaform-3d-scanners/handyscan/>
- Mesin 3D *Handyscan 700*. Harga Mesin *Scanning*. Diakses pada tanggal 15 Juli 2020 dari <https://www.aniwaa.com/product/3d-scanners/creaform-handyscan-700/>
- Parikh, K., & Moradiya, N. P. (2019). *Outcomes of Congenital Talipes Equinovatus Treated with Ponseti Method*, *International Journal of Contemporary Medical Research*, pp 2454 – 7379.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Tentang Alat Kesehatan Diakses pada tanggal 4 Oktober 2019 dari <https://www.legalitas.co.id/tag/peraturan-menteri-kesehatan-republik->



[indonesia-nomor-1191-menkes-per-viii-2010-tentang-penyaluran-alat-kesehatan/](#).

- Percoco, G. (2011). *Digital close range photogrammetry for 3D body scanning for custom-made garments*, *The Photogrammetric Record* 26, pp. 73-90.
- Pesce, M., Galantucci, L. M., Percoco, G., & Lavecchia, F. (2015). *A low-cost multi camera 3D scanning system for quality measurement of non-static subjects*, *Internasional Journal Scientific Committee of the "3<sup>rd</sup> CIRP Global Web Conference"*.
- Purnomo, L. (2018). Modul Agisoft Photoscan, Pengolahan data drone, p. 3.
- Rani, M., & Kumari, P. (2017). *Conenital Clubfoot: A Comprehensive Review*, *Ortho & Rheum Open Access J* 8 (1).
- Rani, M. F. A., & Rusli, N. (2017). *The Accuracy Assesment of Agisoft PhotoScan and Pix4D Mapper Software in Orthophoto Production*, *Geomatics Research Innovation Competition GRIC*, Vol. 1.
- Singh, N., (2012). *Reverse Engineering-A General Review*, *Niranjan et al International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, pp. 24-28.
- Sokovic, M., & Kopac, J. (2005). *RE (Reverse engineering) as necessary phase by rapid product development*, *Journal of Materials Processing Technology xxx (2005) xxx-xxx*.
- Stanhell, D. L. (2009). *Kaki Pengkor: Penanganan Dengan Metode Ponseti (edisi ke tiga, pp. 4-5)*. *Global HELP Organization*.
- Suwardhi, D., Mukhlisin, M., Darmawan, D., Trisyanti, S. W., Brahmantara, & Suhartono, Y. (2016). *Survey dan Pemodelan 3D (Tiga Dimensi) untuk Dokumentasi Digital Candi Borobudur*, *Jurnal Konservasi Cagar Budaya Borobudur*, Vol 10, No 2.
- Urbanic, R. J., EIMaraghy, H. A., EIMaraghy, W. H. (2007). *A Reverse Engineering Methodology for Rotary Components from Point Cloud Data* 37, pp 1146-1167.
- Witana, C. P., Xiong, S., Zhao, J., & Goonetilleke, R. S. (2006). *Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and*

*evaluation of defferent methods, Internasional Journal of Industrial Ergonomics 36, pp 789-807.*

Ye, X., Liu, H., Chen, L., Chen, Z., Pan, X., & Zhang, S. (2008). *Reverse innovative design – an integrated product design methodology, Computer – Aided Design 40, pp 812-827.*



LAMPIRAN



