

**ANALISIS KOMPARASI MODEL 3 DIMENSI FOTOGRAMETRI
RENTANG DEKAT TERHADAP CETAKAN 3 DIMENSI DENGAN ALAT
CETAK RAISE3D N2 PLUS**

Billy Silaen^{*)}, Yudo Prasetyo, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : billy.silaen@gmail.com^{*)}

ABSTRAK

Perkembangan teknologi model 3 dimensi berkembang pesat beberapa tahun belakangan ini, salah satunya adalah *3D Printing*. Salah satu manfaat dari *3D printing* adalah replikasi yang berguna untuk menduplikasi suatu objek. Pengolahan *3D printing* memerlukan model 3D digital untuk di cetak menjadi replika objek tersebut, sehingga dibutuhkan suatu metode pembuatan model 3D digital yang baik yang siap cetak menjadi replika. Pada penelitian ini, menggunakan kamera non metrik seperti kamera DSLR untuk mengambil foto objek. Hasil foto dilakukan pengolahan dengan metode fotogrametri rentang dekat menggunakan *software open source* VisualSfM dalam pembuatan *point cloud*. Pembuatan model 3D siap cetak diolah dengan Meshlab dalam dan menggunakan Raise3D N2 Plus untuk mesin cetak 3D-nya. Hasil akhir penelitian menunjukkan perbandingan objek penelitian, model digital dan model cetak. Kesesuaian bentuk antara objek, model digital dan cetak memperlihatkan hasil yang baik secara detil seperti lipatan lemak pada objek, namun pada model digital masih ada bagian kasar yang juga tercetak pada model cetak. Detil kecil pada lipatan diatas mata pada model cetak tidak terlihat. Kesesuaian warna model digital cukup baik dengan beberapa warna pada daerah kasar kurang sesuai serta warna model cetak hanya bisa satu warna. Akurasi jarak objek, model digital serta model cetak berada dalam satuan milimeter dimana jarak objek dengan model digital rata-rata 3,524 mm; objek dengan model cetak rata-rata 4,167mm; dan model digital dengan model cetak rata rata 3,226 mm.

Kata Kunci : Cetak 3D, Fotogrametri Rentang Dekat, Meshlab, Sumber Terbuka, VisualSfM.

ABSTRACT

New technology development of 3 dimension model has developed rapidly in recent years one of them is *3D Printing*. One of the benefits of *3D printing* is replication that is useful for duplicating an object. For processing, *3D printing* requires a digital 3D model to be printed into a replica of the object. Therefore we need a method of making a good digital 3D model that is ready to print into a replica. In this study, researchers used a non-metric camera like DSLR to take photos of objects. The results then processed with close-range photogrammetry methods using open source software VisualSfM for making point cloud. The making of printable 3D models processed with Meshlab and Raise3D N2 Plus use for the 3D printing. The final results of the study show a comparison of the research objects, digital models and print models. The conformity of shapes between objects, digital and print models show a good result and details such as fat folds, but in the digital models there are still rough parts that are also printed on the print model. Small details on folds above the eyes on the printed model are not visible. The suitability of the digital model's color is quite good with some colors in rough areas not correct and also the color of the print model can only be printed in one color. Accuracy of object distance, digital models and print models are in millimeters where the average distance of object to digital model 3.524 mm; object to print model 4.167mm; and digital model to print model 3.226 mm.

Keyword : *3D Printing, Close Range Photogrammetry, Meshlab, Open Source, VisualSfM.*

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

3D printing ataupun cetak 3D merupakan suatu teknologi baru yang berkembang pesat dalam beberapa tahun belakangan ini. 3D printing merupakan suatu proses mencetak objek yang memiliki tiga dimensi dari suatu model digital menjadi objek nyata. Bahan untuk mencetak 3D printing menggunakan material beragam seperti plastik, kayu, kertas, gelas dan logam. 3D printing sangat berguna dalam dunia manufaktur serta replikasi objek. Manufaktur merupakan kegiatan industri yang mengubah bahan mentah menjadi barang jadi yang memiliki nilai jual sedangkan replikasi merupakan kemampuan untuk menduplikasi suatu objek. Hal ini dapat dilakukan dengan mengubah objek yang hendak di replikasi menjadi model digital siap cetak, namun dalam replikasi memiliki kendala utama berupa pembuatan model digital. Model digital sendiri dapat dibuat menggunakan Computer Assisted Design (CAD) pada proses pembuatan model digital dengan cara menyusun objek menggunakan data vektor. Metode CAD merupakan metode yang cukup populer dalam 3D printing dikarenakan kita dapat membuat model digital dengan ukuran sesuai objek asli. Namun kekurangan metode CAD jika objeknya tak beraturan maka sulit serta membutuhkan waktu yang lama.

Kekurangan metode CAD dapat diatasi dengan menggunakan metode lainnya seperti fotogrametri rentang dekat (Closed Range Photogrammetry) menggunakan data raster berupa rangkaian foto untuk menghasilkan model digital baik itu dari objek yang tak beraturan. Berdasarkan kelebihan metode fotogrametri rentang dekat tersebut sehingga penelitian memanfaatkan metode fotogrametri rentang dekat untuk memodelkan objek menjadi model digital sehingga model tersebut dapat dicetak menjadi model 3D. Software pada pengolahan memanfaatkan software open source berupa VisualSfM yang digunakan untuk mengolah foto menjadi dense point cloud dan Meshlab kemudian mengolah dense point cloud sehingga menjadi model 3D siap cetak. Mesin cetak 3D yang digunakan yaitu Raise3D N2 Plus dengan ketelitian cukup tinggi untuk mesin cetak dikelasnya.

Hasil penelitian ini berupa kesesuaian dari objek penelitian, model 3D digital dan model 3D cetak. Hasil tersebut dapat dilihat komparasi model tiga dimensi fotogrametri rentang dekat terhadap cetakan tiga dimensi dengan teknologi cetak Raise3D N2 Plus apakah dengan metode fotogrametri rentang dekat menghasilkan replikasi yang sesuai serta dapat menjadi metode lain dalam replikasi dalam 3D printing.

I.2 Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Bagaimana kesesuaian objek penelitian dengan model digital pada skala 1 : 1 ?
2. Bagaimana kesesuaian objek penelitian dengan model cetak pada skala 1 : 9 ?
3. Bagaimana kesesuaian model digital skala 1:1 dengan model cetak skala 1:9 ?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan Penelitian

- Adapun tujuan penelitian ini adalah
- a. Mengetahui kesesuaian objek penelitian dengan model digital. skala 1:1.
 - b. Mengetahui kesesuaian objek penelitian dengan model cetak pada skala 1:9.
 - c. Mengetahui kesesuaian model digital skala 1:1 dengan model cetak skala 1:9.

2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah

- a. Segi Keilmuan
Perkembangan ilmu geodesi yang dapat digunakan sebagai sarana memberi informasi ilmu fotogrametri terkait analisis komparasi model 3 dimensi fotogrametri rentang dekat terhadap cetakan 3 dimensi.
- b. Segi Kerekayasaan
Hasil penelitian dapat menjadi produk alternatif dalam proses pencetakan 3 dimensi.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Proses pemodelan dan rekonstruksi objek dengan metode fotogrametri rentang dekat menggunakan software VisualSfm dan Meshlab.
2. Validasi menggunakan data hasil pengukuran terestris, pengukuran model digital dan pengukuran model cetak.

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini sebagai berikut :

I.5.1 Objek Penelitian

Objek yang menjadi studi kasus penelitian adalah Patung Sapi yang berada pada Fakultas Peternakan Universitas Diponegoro berada pada koordinat 7°3'13,53" LS; 110°26'23,33" BT.

I.5.2 Peralatan dan Data Penelitian

1. Peralatan :

- A. Perangkat Keras
 - a. Laptop Core i3, RAM 6 GB, Nvidia GT 540M
 - b. Printer Kertas
 - c. Printer 3D Raise3D N2 Plus
- B. Perangkat Lunak
 - a. Sistem Operasi Windows 7
 - b. Microsoft office 2013
 - c. VisualSFM
 - d. Meshlab
- C. Peralatan Pengukuran Lapangan
 - a. Total Station (TS)
 - b. Kamera DSLR Canon EOS 1100D
 - c. Jangka Sorong

2. Data penelitian :

Data yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Penelitian

No	Data	Keterangan
1	Data Pengukuran <i>Total Station</i>	Data didapatkan dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dengan <i>Total Station</i> yang digunakan untuk mengatur skala model 3D digital serta sebagai data titik uji model 3D digital dan cetak
2	Data Foto Objek	Data didapatkan dengan melakukan pemotretan di sekeliling objek yang digunakan sebagai data olahan untuk mendapat model 3D digital dan cetak

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Fotogrametri

Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik dan pola radiasi energi elektromagnetik yang terekam (Wolf dkk, 2014).

Menurut Wolf dkk, (2014) Fotogrametri mempunyai 2 bagian utama yaitu :

1. *Metric Photogrammetry* merupakan bagian yang memuat pengukuran presisi dari foto dan sumber lain untuk menentukan lokasi relatif dari suatu titik sehingga dapat ditemukan jarak, sudut, area, volume, elevasi, ukuran, dan bentuk objek.
2. *Interpretative photogrammetry* merupakan bagian yang memuat pengenalan dan pengidentifikasian objek dan tingkat signifikansinya melalui analisis yang sistematis. Bagian ini termasuk dalam cabang interpretasi penginderaan jauh.

Menurut Robsan dkk, (2011) fotogrametri dapat dikategorikan dalam beberapa cara :

1. Posisi kamera dan jarak objek
2. Banyaknya gambar
3. Metode perekaman dan pengolahan
4. Ketersediaan hasil pengukuran
5. Aplikasi bidang spesialisnya

Salah satu cabang fotogrametri adalah fotogrametri rentang dekat. Fotogrametri rentang dekat digunakan untuk menjelaskan teknik fotogrametri dimana jarak antara objek dengan kamera dibawah 100 meter (Atkinson, 1996).

Karakteristik lain yang membedakan fotogrametri rentang dekat dengan foto udara adalah posisi pengambilan gambar. Fotogrametri rentang dekat mengambil gambar disekeliling (terkadang dari dalam) objek.

II.2 3D Printing

3D printing merupakan konsep langsung dimana suatu objek dibuat yang diawali dari hal kosong dan menambah material satu lapisan tiap waktu hingga mendapat objek akhir. Ada banyak contohnya salah

satunya yang telah dilakukan bertahun - tahun pembuatan dinding batu bata (Horvath, 2014).

Menurut Horvath (2014) secara umum terdapat 3 kategori dalam *3D printing* yaitu :

1. *Selective binding* membuat objek *3D print* dari bubuk (metal dan gipsum) dengan mengaplikasikan zat penempel atau panas untuk menyatukan tiap lapisan tiap waktu. Lapisan pertama direkatkan ke dasar dan lapisan berikutnya ditambahkan diatas lapisan sebelumnya dan seterusnya hingga modelnya tersebut terbentuk.
2. *Selective solidification* membuat objek dari kumpulan cairan dengan mengirimkan energi secara selektif untuk memadatkan cairan tersebut lapisan per lapisan (di beberapa *printer* dasar *printer* bergerak keatas keluar dari cairan). Salah satu contohnya adalah *stereolithography* (SLA), yang menggunakan sinar UV untuk memadatkan cairan resin dengan laser atau terkadang *Digital Light Projection* (DLP) untuk memadatkan lapisan per lapisan.
3. *Selective deposition* membuat objek dengan meletakkan material dimana diinginkan. *Printer* ini bekerja dengan melelehkan filamen dan meletakkan lelehan tersebut untuk membuat objek secara presisi. Ada juga jenis *3D printer* yang mengeluarkan cairan resin yang kemudian dipadatkan dengan sinar UV.

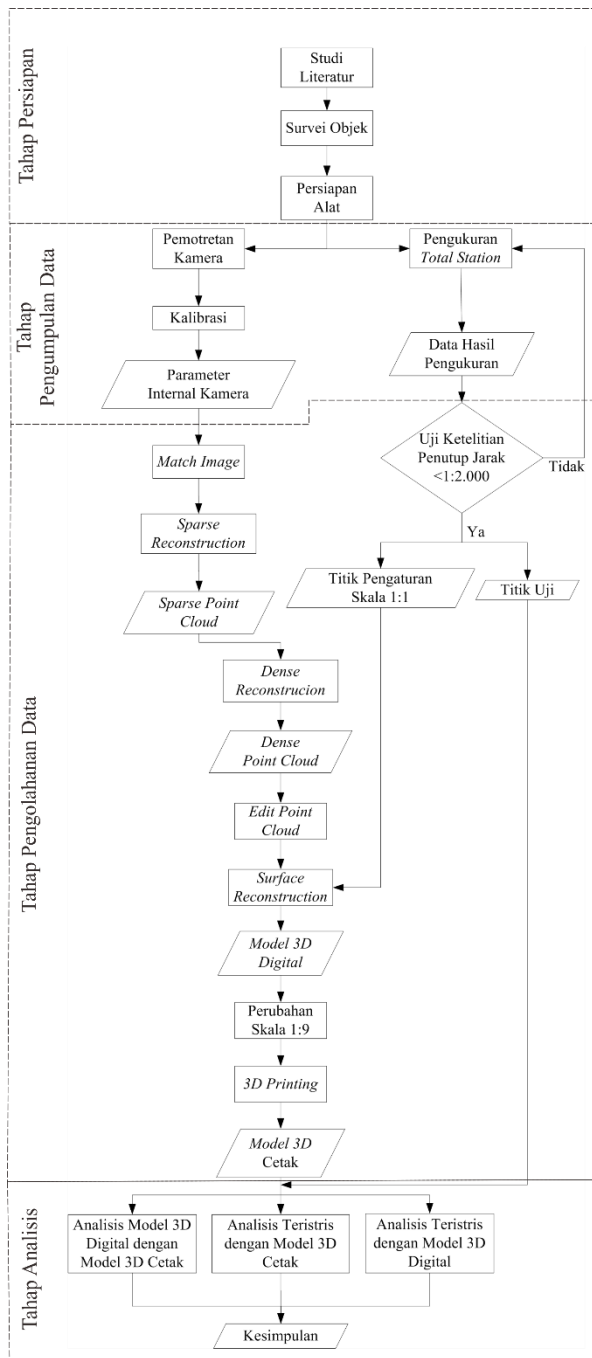
II.3 Raise3DN2 Plus

Raise3D N2 Plus merupakan mesin cetak yang memberi pengguna tinggi cetak hingga 30,5 cm. Mesin ini menggunakan ujung metal yang telah dipatenkan yang memungkinkannya mencetak hampir seluruh filamen termasuk PLA, ABS, PC, PETG, dan HIPS. Selain itu proses pencetakan dapat dipantau dan di kontrol melalui layar sentuh berwarna. N2 Plus juga menghadirkan konektivitas lengkap melalui WIFI, LAN, USB, dan Kartu SD. Salah satu fitur N2 Plus merupakan resolusi Z yaitu 10 mikron dimana termasuk tinggi untuk mesin cetak berjenis filamen (*3Dhubs*, 2018).

Menurut Edward, (2015) selain fitur tersebut diatas N2 Plus juga mempunyai *Dual Extruder* yang memungkinkan untuk mencetak 2 jenis warna filamen dalam satu objek. N2 Plus juga mempunyai tingkat reliabilitas X,Ydan Z yang tinggi dengan rangka aluminium yang di potong dengan mesin akurasi tinggi serta dasar aluminium yang telah dikalibrasi dari pabrik yang dikunci pada 9 titik, sehingga dasar alat akan selalu datar dan tidak memerlukan kalibrasi dasar seperti pada *printer* lain.

III. Metodologi Penelitian

Secara umum, prosedur pelaksanaan penelitian terdiri atas tahapan utama yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

III.1 Tahap Persiapan

Tahap persiapan terdiri dari kegiatan studi literatur, survei objek dan persiapan alat yang dideskripsikan sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur merupakan kegiatan untuk mengkaji dasar teori beserta penelitian terdahulu yang sesuai dengan tema penelitian sebagai referensi serta mempermudah peneliti dalam melakukan penelitian.

2. Survei objek

Survei objek dilakukan untuk mengetahui letak objek, kondisi lapangan sekitar objek dan kendala dalam melakukan pengambilan data sehingga diperoleh strategi pengambilan foto.

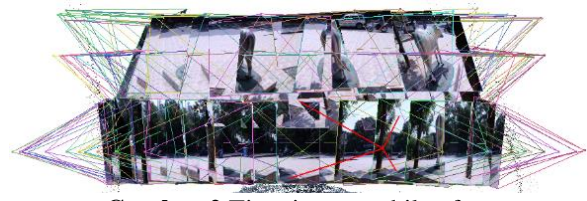
3. Persiapan alat

Persiapan kamera dilakukan dengan mengecek kelengkapan tiap alat. Persiapan lain untuk *total station* berupa pengecekan kolimasi alat. Persiapan untuk *3D printer* tersendiri berupa mempersiapkan filamen untuk *3D printer* yang dilakukan oleh penyedia jasa.

III.2 Pengumpulan Data

III.2.1 Pemotretan Kamera

Pengambilan foto dilakukan menggunakan *tripod* untuk mendapatkan hasil yang stabil bebas guncangan di tiap foto. Pemotretan objek juga menggunakan pengaturan kamera secara manual. Pemotretan sendiri dilakukan pada tiga ketinggian dilakukan untuk mengambil daerah yang sulit dijangkau yaitu bawah dan atas sapi, untuk meminimalisir daerah yang tidak terliput foto yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Tinggi pengambilan foto

III.2.2 Pengukuran Poligon dan Titik Detil

Pengukuran poligon menggunakan *electronic total station*. Pengukuran ini digunakan untuk titik detil terhadap koordinat tanah. Jenis poligon yang dipakai berupa poligon tertutup dengan 2 titik yang telah diketahui koordinatnya yaitu GD 5 serta GD 28 sebagai penentu azimuth. Pengukuran titik detil dilakukan dari titik di dekat patung sapi. Metode yang digunakan yaitu metode koordinat kutub dimana menggunakan jarak secara *reflectorless* serta sudut bacaan horizontal dan vertikal dari alat.

III.3 Pengolahan Data

III.3.1 Pengolahan Data Poligon

Tabel 2 Koordinat Poligon

No	Titik	Koordinat		
		X (m)	Y (m)	Z (m)
1	GD 28	438102,859	9220279,867	210,096
2	GD 5	438005,076	9220310,133	207,596
3	P1	438133,763	9220270,910	210,585
4	P2	438130,790	9220262,764	210,647

Pengukuran poligon dilakukan dengan memakai total 4 titik dimana 2 titik diketahui koordinatnya untuk menentukan azimuth yaitu GD 28 dan GD 5, dan 2 titik yang akan dicari koordinatnya yaitu P1 dan P2 sketsa poligon. Hasil pengolahan koordinat dapat dilihat pada Tabel 2.

III.3.2 Pengolahan Data Detil

Tabel 3 Koordinat Detil

No	Titik	Koordinat		
		X (m)	Y (m)	Z (m)
1	MT1	438130,363	9220265,937	211,972
2	MT2	438130,315	9220265,933	211,980
3	MT3	438130,417	9220265,878	211,968
4	MT4	438130,429	9220265,825	211,969
5	KP1	438130,111	9220265,981	212,036
6	KP2	438130,558	9220265,671	212,002
7	HD1	438130,436	9220265,971	211,787
8	HD2	438130,380	9220265,960	211,791
9	HD3	438130,451	9220265,928	211,791
10	KA1	438130,101	9220265,576	210,932
11	KA2	438130,307	9220265,632	210,941
12	KA3	438130,245	9220264,878	210,930
13	KA4	438130,518	9220264,712	210,932

Pengukuran detil dilakukan dari titik P1 dengan jumlah detil sebanyak 13 buah. Perhitungan koordinat detil menggunakan metode koordinat kutub dimana azimuth dari tiap detil dicari berdasarkan titik pengambilan detil tersebut. Hasil pengolahan detil dapat dilihat pada Tabel 3.

III.3.3 Sparse Reconstruction

Pengolahan *sparse reconstruction* pada VisualSfM berguna untuk membuat *point cloud* yang jarang dari proses *match image* dalam ruang tiga dimensi. Langkah selanjutnya yaitu *3D reconstruction* yang dilakukan untuk memproses hasil *match image* menjadi *point cloud* jarang (*sparse point cloud*). Proses *match image* akan menampilkan orientasi foto dilapangan serta *sparse point cloud*.

III.3.4 Dense Reconstruction

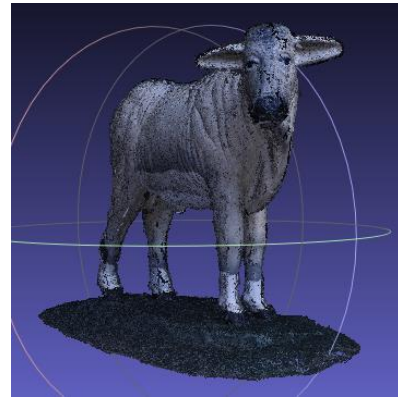
Dense reconstruction merupakan proses yang akan merapatkan *point cloud* sehingga hasilnya akan memiliki jumlah *point cloud* lebih banyak dari *sparse point cloud* yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Hasil dense reconstruction

III.3.5 Filtering

Filtering merupakan tahap membersihkan *vertexes* yang tidak dibutuhkan. Hasil proses *dense reconstruction* kemudian dilakukan *filter* titik yang tidak dibutuhkan secara manual. Hasil *filtering* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Hasil Filter

III.3.6 Surface Reconstruction

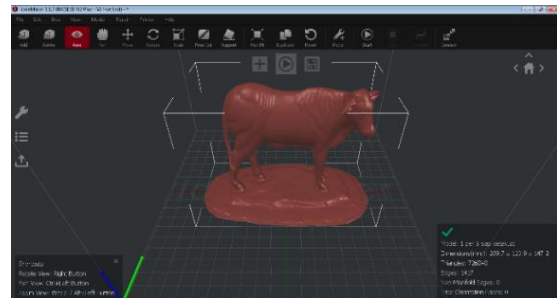
Surface reconstruction merupakan tahap membangun permukaan dari *point cloud / vertexes* yang telah dilakukan proses pembersihan dengan *filtering*. Metode yang dipakai adalah *screened poisson surface reconstruction*. *Screened poisson surface reconstruction* menghasilkan permukaan yang kedap air sehingga tidak ada lubang pada permukaannya. Pengolahan *surface reconstruction* kemudian dilanjutkan dengan melakukan *scaling* 1 : 1 menggunakan data detil pengukuran terestris. Pada model ini digunakan sebanyak 4 titik yaitu MT1, MT3, KA1 dan KA3.



Gambar 5 Hasil surface reconstruction

III.3.7 Pengaturan Skala 1:9

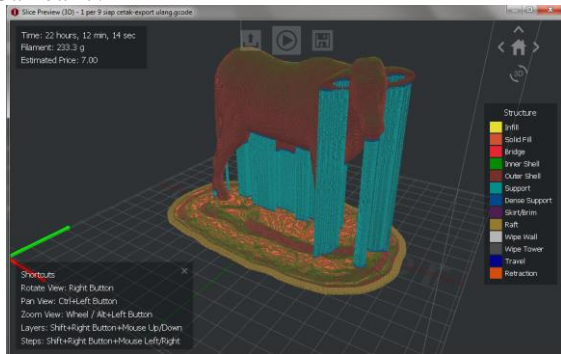
Pengaturan skala 1:9 digunakan untuk mengatur ukuran model agar sesuai dengan ukuran model yang siap dicetak. Skala ini dipilih dikarenakan skala ini merupakan skala paling detail. Pengaturan skala dilakukan menggunakan *ideaMaker* yaitu *software* dari *Raised3D* yang digunakan untuk mempersiapkan model 3D sebelum dicetak. Hasil *scaling* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Hasil scaling

III.3.8 3D Printing

3D Printing dilakukan dengan menggunakan printer 3D Raised3D N2 Plus. Model dicetak oleh penyedia jasa yaitu Aneka3D yang berlokasi di Jakarta. Bahan yang digunakan dalam proses cetak yaitu *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) dengan warna *natural (broken white)*. Harga cetak serta struktur cetak ditentukan dikalkulasi oleh penyedia jasa seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Hasil kalkulasi

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Analisis Parameter Kamera

Parameter kamera diperoleh dari file - *cameras_v2.txt* yang ada pada folder NVM serta dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Parameter Kamera IMG_0323.jpg

Nama File	00000000.jpg
Nama File Asli	D:\TA\Sapi 5\Foto\IMG_0323.JPG
Panjang Fokal	3551,26245117
Pusat Gambar	2136; 1424
Translasi	0,0809435790477; 2,8457000523; 0,838016153314
Posisi Kamera	0,0238346671574; -2,9640775878; 0,143141372589
Sumbu-Sudut	0,0238346671574; -2,9640775878; 0,143141372589
Quaternion	0,0826254581987; 0,0236797674409; 0,989429665483; 0,116849933297
Matrix 3x3	-0,985224896 0,027549011 0,16903802661 0,0661681283 0,971572116 0,22731364852 -0,157970291 0,235139855 -0,9590393546
Distorsi Radial	0,112173877069
Koordinat GPS	-

Tabel 5 Parameter Kamera IMG_0324.jpg

Nama File	00000001.jpg
Nama File Asli	D:\TA\Sapi 5\Foto\IMG_0324.JPG
Panjang Fokal	3553,7565918
Pusat Gambar	2136; 1424
Translasi	-1,0010417594; 2,88218418943; 0,624117133822
Posisi Kamera	-1,01208445579; -2,94212021437; -0,134796012467
Sumbu-Sudut	0,012723951346; 3,05842345408; 0,427081995097

Quaternion	0,0267475261374; 0,004118854682; 0,990038504612; 0,13825018874
Matrix 3x3	-0,9985373 0,000771377 0,05410300314 0,01556277 0,961743296 0,27351660650 -0,05182131 0,273957283 -0,9603442427
Distorsi Radial	0,109762687845
Koordinat GPS	-

Hasil parameter kamera pada Tabel 4, 5 dan *cameras_v2.txt* bisa terlihat bahwa pusat gambar mempunyai nilai pusat gambar yang sama dikarenakan ukuran gambar yang sama pada semua foto. Nilai parameter selain pusat gambar tidak ada yang sama hal ini dipengaruhi oleh pergerakan posisi kamera, jarak kamera terhadap objek yang tidak selalu sama serta adanya pergerakan mikro pada lensa kamera.

IV.2 Analisis Pengukuran Terestris

IV.2.1 Poligon

Pengukuran poligon dilakukan dengan menggunakan *electronic total station* dengan mencatat nilai sudut dan jarak yang muncul pada alat. Berdasarkan hasil perhitungan maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Jarak total : 73,6 meter
2. Koreksi Sumbu X : 0,012 meter
3. Koreksi Sumbu Y : 0,007 meter
4. Kesalahan Penutup Sudut : 5"
5. Koreksi Tiap Sudut : 1,6"

Hasil perhitungan digunakan untuk perhitungan ketelitian penutup jarak yaitu 1:3496,692704.

Tabel 6 Hasil Kelas Pengukuran Poligon

Kelas	IV	Hasil
Kesalahan penutup sudut	1' 43,92"	5"
Koreksi maksimum persudut	6"	1,6"
Ketelitian penutup jarak	1:2.000	1:3496,692704

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan pengukuran poligon berada pada kelas IV seperti dalam Tabel 6.

IV.2.2 Titik Detil

Jumlah titik yang diukur sebanyak 13 buah diukur dari titik P1. Hasil perhitungan dapat dilihat bahwa koordinat X dan Y titik detil lokasinya berdekatan sementara koordinat Z nya juga mempunyai beda tinggi yang tidak terlalu jauh. Hasil tersebut dikarenakan ukuran objek yang relatif kecil serta objek berada pada daerah datar yang menyebabkan antar titik koordinatnya tidak terlalu jauh.

IV.3 Analisis Model 3 Dimensi

IV.3.1 Model 3D Digital

Hasil model digital pada Gambar 8 yang diperoleh secara keseluruhan sudah menyerupai bentuk objek penelitian. Detail yang diperoleh juga cukup baik hal ini dapat dilihat dari lipatan lemak yang dapat diproses di badan sapi. Selain itu objek tidak mempunyai daerah berlubang dikarenakan proses *surface reconstruction* menggunakan metode *screened poisson surface reconstruction* menghasilkan

permukaan *watertight* (kedap air) sehingga tidak mempunyai daerah berlubang. Meskipun secara keseluruhan model digital tidak mempunyai lubang, ada beberapa tempat pada objek yang mempunyai tekstur terlihat kasar dikarenakan jarang nya *point cloud* pada daerah tersebut.



Gambar 8 Model 3D Digital

IV.3.2 Model 3D Cetak

Hasil model cetak pada Gambar 9 secara keseluruhan sudah mendekati bentuk dari model digital serta objek penelitian. Detail yang diperoleh juga terlihat seperti lipatan lemak yang sama dengan model digital. Tekstur dari model cetak jika diperhatikan dari dekat tidak halus dikarenakan pencetakan menggunakan filamen sehingga tekstur terlihat seperti garis – garis. Tekstur kasar ini sangat terlihat pada dasar batu berdirinya objek yang tidak beraturan. Hasil model ini juga mempunyai beberapa daerah yang kasar diakibatkan oleh bagian penyangga yang dibutuhkan saat proses cetak.



Gambar 9 Model 3D Cetak

IV.4 Analisis Akurasi Hasil

IV.4.1 Objek Penelitian dengan Model Digital

Perbandingan objek penelitian dengan model digital di skala 1:1, secara bentuk model digital sudah sangat menyerupai objek penelitian hal ini dapat dilihat dari bentuk keseluruhan model serta beberapa detail yang ditangkap dari model digital yang dapat dilihat pada Gambar 10.



a. Objek Penelitian b. Model Digital
Gambar 10 Tampak samping

Bagian yang kurang sesuai dengan objek pada model yaitu pada bagian belakang model dimana bagian kasar yang disebabkan kurangnya *point cloud* pada model ini menyebabkan warna serta tekstur tidak sesuai. Perbandingan jarak dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan jarak objek dengan model digital

Nama	Jarak (m)		Selisih (m)
	Objek	Model Digital	
HD2 – HD3	0,078039	0,077856	0,000182
KA1 – KA2	0,212917	0,215275	0,002358
KP1 – KP2	0,545186	0,536854	0,008332
MT2 – MT4	0,157025	0,160249	0,003224
		Total	0,014097
		Rata - Rata	0,003524

Hasil pengukuran jarak tersebut menunjukkan nilai selisih tertinggi yaitu KP1-KP2 sebesar 0,008332 m (8,332 mm) dan nilai terendah yaitu HD2 – HD3 sebesar 0,000182 m (0,182 mm). Nilai rata – rata yang diperoleh sebesar 0,003524 m (3,524 mm) dan nilai standar deviasi sebesar 0,002989 m (2,989 mm). Hasil perhitungan jarak menunjukkan selisih objek yang cukup baik dimana seluruh hasil berada pada satuan milimeter.

IV.4.2 Objek Penelitian dengan Model Cetak



a. Objek Penelitian b. Model Cetak
Gambar 11 Detail lipatan

Perbandingan antara objek penelitian dengan model cetak di skala 1:9 mempunyai bentuk yang sudah menyerupai objek penelitian, namun beberapa detail kecil seperti lipatan diatas mata pada Gambar 11 kurang tercetak dengan baik dikarenakan skala cetak yang diperkecil serta pengaruh dari ukuran *nozzle* 0,4 mm sehingga detail yang berukuran dibawah 0,4 mm akan sulit terlihat.

Perbandingan lain yang cukup terlihat yaitu warna objek dan model cetak. Model cetak mempunyai satu warna yaitu warna putih dikarenakan keterbatasan mesin cetak dalam memberikan warna. Warna putih diperoleh dari warna filamen yang dipakai saat proses pencetakan. Selain warna, tekstur dari model tidak

halus seperti objek penelitian namun berupa garis – garis filamen tipis yang disebabkan alat mencetak objek pelapisan filamen. Perbandingan jarak dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8 Perbandingan jarak objek dengan model cetak

Nama	Jarak (m)		Jarak (mm)	Selisih (m)
	Objek	Model Cetak 1:1	Model Cetak 1:9	
HD2–HD3	0,078039	0,077400	8,6	0,000639
KA1–KA2	0,212917	0,207900	23,1	0,005017
KP1–KP2	0,545186	0,537300	59,7	0,007886
MT2–MT4	0,157025	0,153900	17,1	0,003125
Total				0,016667
Rata - Rata				0,004167

Hasil pengukuran jarak tersebut menunjukkan nilai selisih tertinggi yaitu KP1-KP2 sebesar 0,007886 m (7,886 mm) dan nilai terendah yaitu HD2 – HD3 sebesar 0,000639 m (0,639 mm). Nilai rata – rata yang diperoleh sebesar 0,004167 m (4,167 mm) dan nilai standar deviasi sebesar 0,00265 m (2,65 mm). Hasil perhitungan jarak menunjukkan selisih objek yang cukup baik dimana seluruh hasil berada pada satuan milimeter.

IV.4.3 Model Digital dengan Model Cetak



a. Model Digital b. Model Cetak

Gambar 12 Daerah kasar

Perbandingan antara model digital di skala 1:1 dan model cetak di skala 1:9 mempunyai persamaan bentuk yang tinggi, namun masih sama dengan perbandingan sebelumnya antara objek penelitian dan model cetak detail objek seperti lipatan mata dan detail kecil lain tidak tercetak jelas pada model cetak. Warna model digital dengan model cetak juga berbeda seperti perbandingan sebelumnya. Daerah kasar pada model digital menjadi halus pada model cetak dikarenakan detail kasar tersebut menjadi kecil dan tidak dapat dicetak dengan baik namun masih dapat terlihat pada Gambar 12. Perbandingan jarak dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Perbandingan jarak model digital dengan model cetak

Nama	Jarak (m)		Jarak (mm)	Selisih (m)
	Model Digital	Model Cetak 1:1	Model Cetak 1:9	
HD2–HD3	0,077856	0,077400	8,6	0,000456
KA1–KA2	0,215275	0,207900	23,1	0,007375
KP1–KP2	0,536854	0,537300	59,7	0,000446
MT2–MT4	0,160249	0,153900	17,1	0,006349
Total				0,014626
Rata - Rata				0,003657

Hasil pengukuran jarak tersebut menunjukkan nilai selisih tertinggi yaitu KA1-KA2 sebesar 0,007375 m (7,375 mm) dan nilai terendah yaitu KP1 – KP2 sebesar 0,000446 m (0,446 mm). Nilai rata – rata yang diperoleh sebesar 0,003657 m (3,657 mm) dan nilai standar deviasi sebesar 0,003226 m (3,226 mm). Hasil perhitungan jarak menunjukkan selisih objek yang cukup baik dimana seluruh hasil berada pada satuan milimeter.

V. Penutup

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tentang analisis komparasi model 3 dimensi fotogrametri rentang dekat terhadap cetakan 3 dimensi dengan teknologi cetak Raise3D N2 Plus dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kesesuaian objek penelitian dengan model digital berdasarkan bentuk dan warna cukup baik, namun masih terdapat daerah kasar dan mempunyai warna yang kurang sesuai di beberapa tempat yang disebabkan rendahnya *point cloud* pada daerah tersebut. Hasil perbandingan jarak objek penelitian dan model digital mempunyai rata – rata sebesar 0,003524 m (3,524 mm) dan standar deviasi sebesar 0,002989 m (2,989 mm) yang berada dalam satuan milimeter sehingga hasil ini sudah cukup baik.
2. Kesesuaian objek penelitian dengan model cetak berdasarkan bentuk cukup baik, namun detail kecil tidak dapat tercetak dengan baik pada model cetak serta warna model cetak yang hanya memiliki satu warna tidak sesuai dengan objek penelitian disebabkan oleh skala serta keterbatasan alat cetak. Selain itu model cetak mempunyai daerah kasar di beberapa tempat dikarenakan kurang baiknya model digital. Hasil perbandingan jarak objek penelitian dan model digital mempunyai rata – rata sebesar 0,004167 m (4,167 mm) dan standar deviasi sebesar 0,00265 m (2,65 mm) yang berada dalam satuan milimeter sehingga hasil ini sudah cukup baik.
3. Kesesuaian model digital dengan model cetak berdasarkan bentuk cukup baik, namun detail kecil kurang terlihat pada model cetak serta warna dari model cetak yang hanya satu warna tidak sesuai dengan model digital yang disebabkan oleh skala dan keterbatasan alat cetak. Hasil perbandingan jarak objek penelitian dan model digital mempunyai rata – rata sebesar 0,003657 m (3,657 mm) dan standar deviasi sebesar 0,003226 m (3,226 mm) yang berada dalam satuan milimeter sehingga hasil ini sudah cukup baik.

V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan peneliti untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Pengukuran terestris sebaiknya menggunakan alat yang sudah diketahui cara pemakaian serta pengolahannya.
2. Waktu pengambilan foto sebaiknya dilakukan saat siang hari pada saat sumber cahaya tepat berada diatas objek untuk meminimalisir bayangan.
3. Kamera sebaiknya menggunakan lensa *fix* untuk meminimalisir adanya pergerakan pada panjang fokal lensa.
4. Pengambilan foto menggunakan *tripod* yang tinggi untuk memudahkan pengambilan foto di sudut yang tinggi.
5. Pemodelan model digital sebaiknya menggunakan *hardware* yang mumpuni untuk mempersingkat waktu pengolahan.
6. Model cetak dicetak pada skala yang lebih tinggi lagi sehingga detail yang ditangkap lebih baik.
7. Model cetak dilakukan *finishing* untuk menghaluskan permukaan serta memberi warna model.

DAFTAR PUSTAKA

- 3Dhubs (2018), Raise3D N2 Plus, diambil 20 Mei 2018, dari <https://www.3dhubs.com/3d-printers/raise3d-n2-plus>.
- Atkinson, K. B. (1996), *Close range photogrammetry and machine vision*, Caithness: Whittles Publ.
- Edward (2015), Raised 3D Printers - Raise the Standard of 3D Printing, Raised3D.
- Horvath, J. C. (2014), *Mastering 3D printing*, Berkeley, California: Apress.
- Robsan, S., Kyle, S., dan Harley, I. (2011), *Close Range Photogrammetry: principles, techniques and applications*, Whittles Publishing.
- Wolf, P. R., Dewitt, B. A., dan Wilkinson, B. E. (2014), *Elements of photogrammetry with applications in GIS*, 4. ed. [fully updated], New York: McGraw-Hill Education.