

APLIKASI FOTOGRAMMETRI JARAK DEKAT UNTUK PEMODELAN 3D WAJAH MANUSIA

Fadlila Ananingtyas, Yudo Prasetyo, Andri Suprayogi^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
email : fadlila.tyjaass@hotmail.com

ABSTRAK

Wajah adalah bagian frontal kepala manusia, membentang dari dahi ke dagu dan termasuk mulut, hidung, pipi, dan mata. Identitas seseorang dapat dibangun berdasarkan wajah. Oleh karena itu, wajah banyak digunakan diberbagai token otentikasi seperti KTP, paspor dan SIM. Fotogrametri jarak dekat merupakan salah satu bidang penerapan fotogrametri yang dapat digunakan untuk perekaman objek dengan jarak kurang dari 100 meter. Fotogrametri jarak dekat dapat dimanfaatkan dalam pemodelan 3D bangunan, kendaraan, jembatan maupun forensik.

Pada penelitian ini, metode fotogrametri jarak dekat digunakan untuk pemodelan 3D wajah manusia dengan kamera digital non metrik. Kamera yang digunakan harus melalui proses kalibrasi untuk mengetahui parameter internal kamera. Proses kalibrasi dan pengolahan data dalam tugas akhir ini menggunakan perangkat lunak PhotoModeler Scanner v.7 2013. Tahap pemodelan bangunan terdiri dari marking dan referencing, proses hitungan dan pembuatan model 3D, dan visualisasi model 3D. Data yang digunakan adalah data foto yang diambil secara keseluruhan mengelilingi wajah objek manusia.

Hasil akhir dalam penelitian ini adalah model 3 dimensi wajah manusia. Pengujian hasil pengolahan model 3D dilakukan dengan analisis perbandingan selisih jarak dan analisis visual oleh dokter ahli forensik. Dari hasil pengolahan data, didapat nilai RMS foto terbesar adalah 1,275 piksel. Hasil statistik menunjukkan bahwa hubungan variabel hasil *Photomodeler* memiliki korelasi/keterkaitan secara positif dengan variabel hasil ukuran forensik dengan hasil nilai sig 0,00000513922 memenuhi tingkat signifikansi 5%. Potensial akurasi pemrosesan model 3D masih rendah yaitu nilai 2 (*Low*). Berdasarkan hasil perbandingan jarak 3D, menunjukkan bahwa pemodelan memiliki nilai rata-rata selisih sebesar 1,066 mm, dengan nilai deviasi sebesar $\pm 1,323$ mm. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara pengukuran hasil model dan hasil pengukuran meteran.

Kata Kunci : Fotogrametri Jarak Dekat, Kamera Digital Non Metrik, Wajah Manusia, Antropologi, *PhotoModeler Scanner*

ABSTRACT

The face is the frontal part of the human head, stretching from the forehead to the chin including the mouth, nose, cheeks and eyes. A person's identity can be recognized based on the face. Therefore, the face is widely used in various authentication tokens such as ID cards, passports and driver's license. Fotogrametri close range is one of the areas of application of photogrammetry. Close range photogrammetry can be used for recording the object within less than 100 meters. Close range photogrammetry is typically used in 3D modeling of buildings, vehicles, bridges and forensics.

In this study, close-range photogrammetry method used for 3D modeling of human faces with non-metric digital camera. The camera is used to go through the calibration process to determine the internal parameters of the camera. The Process calibration and data processing in this study use software PhotoModeler Scanner v.7 2013. The building modeling stage consists of marking and referencing, the count process and 3D model creation and visualization of 3D models. The data used is the data of photos taken as a whole around the face of a human object .

The final result in this study is three-dimensional model of a human face. The test results of the processing of 3D models performed by a comparative analysis of distances and visual analysis by forensic specialists. From the data processing, obtained the RMS value of the largest photo was 1.275 pixels. The statistical results showed that the relationship Photomodeler outcome variables have a correlation / relationship positively with variable results with the results of forensic size sig .00000513922 meet the 5% significance level. Potential accuracy of processing the 3D model still lower than the value of 2 (Low). Based on the comparison results within the 3D modeling has showed that the average value of a difference is 1.066 mm, with a deviation of ± 1.323 mm. This shows that there is no significant difference between the measurement results of the model and meter measurement results.

Keywords: *Close Range Photogrammetry, Digital Camera Non Metrics, Human Face, Anthropology, PhotoModeler Scanner*

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Wajah adalah bagian frontal kepala manusia, membentang dari dahi ke dagu dan termasuk mulut, hidung, pipi, dan mata. Wajah terdiri dari organ-organ sensorik dasar yang diperlukan untuk memahami dunia sekitar, yaitu mata untuk melihat, hidung untuk mencium, mulut untuk mencicipi, dan telinga untuk mendengar. Dan identitas seseorang dapat dibangun berdasarkan wajah. Oleh karena itu, wajah banyak digunakan diberbagai token otentikasi seperti KTP, paspor dan SIM.

Untuk mengungkapkan mekanisme pengolahan wajah yang tepat dalam otak manusia dilakukan studi menggunakan teknik pencitraan otak canggih seperti pencitraan resonansi magnetik fungsional (fMRI). Studi antropometri mencirikan dimensi wajah berdasarkan landmark anatomis atau point fidusial yang menunjukkan titik-titik landmark yang digunakan di dalam beberapa penelitian antropometri.

Secara umum, pandangan wajah bagian depan lebih berisi rincian dari tampilan dari samping wajah sehingga pencocokan wajah dari depan ini diharapkan dapat memberikan keakurasian saat pengenalan wajah seseorang dalam sistem pengenalan wajah. Sistem pengenalan berdasarkan foto wajah 2D juga sangat dipengaruhi oleh variasi iluminasi dan resolusi spasial. Tipe sistem akuisisi wajah memiliki jarak operasi terbatas sekitar 1-2 meter. Subjek yang diamati pada jarak yang lebih jauh, wajah akan ditangkap pada resolusi rendah yang dapat menyebabkan proses pengenalan wajah gagal. Salah satu pendekatan untuk menangani masalah resolusi spasial rendah adalah menghasilkan gambar wajah resolusi yang lebih tinggi dari yang diberikan citra resolusi rendah melalui proses yang disebut super-resolution. Pendekatan lain untuk meningkatkan resolusi citra wajah adalah dengan menggunakan kamera resolusi tinggi atau kamera PTZ. Sebuah kamera PTZ dapat menggunakan *zoom* dinamis *zoom in* atau *zoom out* untuk mendapatkan gambar *close-up* dari objek.

Laser scanner menyediakan model wajah 3D yang lebih akurat, sementara kamera stereografik memiliki kemampuan menangkap jarak dekat secara *real-time* dengan sedikit kehilangan keakurasian. Berdasarkan pernyataan di atas bahwa deskripsi wajah 3D yang akurat dapat dilakukan dengan 3D Laser Scanner. Namun, teknologi tersebut memerlukan biaya yang sangat mahal sehingga diperlukan metode alternatif untuk memperoleh ketelitian geometri yang tinggi namun dengan biaya yang relatif murah. Untuk itu, dalam tugas akhir ini peneliti mencoba melakukan penelitian dengan metode alternatif, yakni dengan teknologi *Close*

Range Photogrammetry (CRP) atau Fotogrametri Jarak Dekat, dengan memanfaatkan kamera digital.

Dalam teknik CRP, kualitas proses penentuan koordinat dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen dari beberapa kamera agar diperoleh ukuran lebih. Teknik ini mempunyai kelebihan terutama jika objek yang diukur sulit untuk dijangkau dan atau memiliki dimensi yang kecil. Selain itu, kamera digital populer (non metrik) umumnya mempunyai harga yang relatif terjangkau.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah metode Fotogrametri Jarak Dekat (*Close Range Photogrammetry*) dapat menjadi alternatif dalam melakukan dokumentasi antropometri dengan menggunakan parameter ukuran jarak *Exocanthion – Pronasale – Cheilion* yang terletak di wajah setiap manusia?
2. Bagaimana tingkat kesesuaian model 3D dengan Fotogrametri Jarak Dekat (*Close Range Photogrammetry*) dalam antropometri berdasarkan tingkat ketelitian garis ukur?

1.3 Ruang Lingkup Masalah

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah:

1. Objek penelitian tugas akhir adalah wajah manusia berjenis kelamin wanita berumur 17 tahun.
2. Proses pemodelan dan rekonstruksi objek berbasis metode Fotogrametri Jarak Dekat menggunakan *SmartPoint Projects*.
3. Pengukuran geometrik objek untuk mendapatkan data pengukuran di lapangan.
4. Parameter ukuran didasarkan pada jarak yang terbentang diantara titik-titik *Exocanthion – Pronasale – Cheilion*.

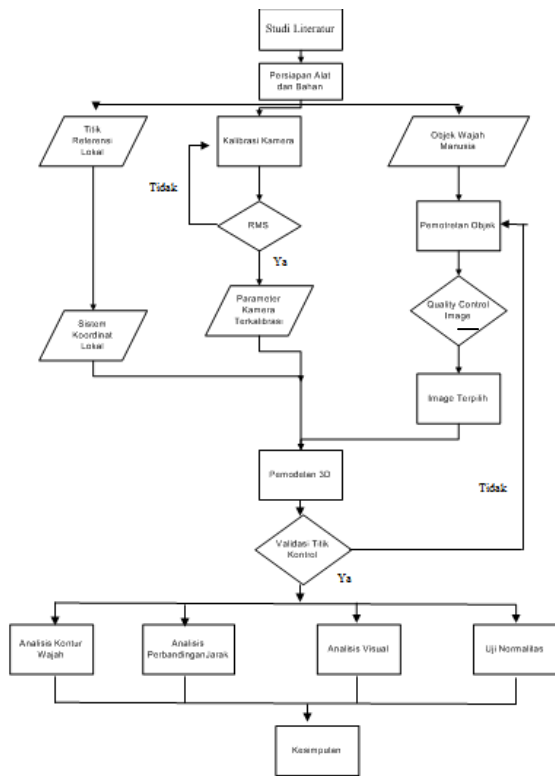
1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Pemanfaatan metode fotogrametri jarak dekat untuk dokumentasi antropometri
2. Mengetahui kesesuaian metode yang digunakan dengan bentuk wajah asli.

1.5 Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada diagram alir penelitian berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

1.6 Alat dan Data Penelitian

Peralatan dan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah

1. Alat Penelitian

Alat yang diperlukan untuk penelitian ini terdiri dari dua komponen :

a. Perangkat keras (*hardware*)

Laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a) Merek laptop : DELL n series
- b) Sistem Operasi : Windows 7 Ultimate 64-bit
- c) Processor : Intel(R) Core(TM) i5-2410M, CPU @2.30 GHz
- d) RAM : 2.00 GB

b. Perangkat Lunak

- a) *Photomodeller Scanner v7, 2013*
- b) *Microsoft Office 2007*
- c) *Microsoft Visio 2007*
- d) *SPSS Statistic 17.0*

2. Data Penelitian

Data Spasial yang digunakan:

Tabel 1. Data Penelitian

No.	DATA	SUMBER DATA	JENIS DATA
1	Data kalibrasi kamera	Pengaturan kamera	Digital
2	Foto wajah manusia	Survei lapangan	Digital
3	Pengukuran wajah manusia	Survei lapangan	Teks dan Digital

Tinjauan Pustaka

2.1 Antropometri

Antropometri berasal dari bahasa Yunani yakni kata *anthropos* yang berarti manusia dan *metron* yang berarti mengukur. Jadi, antropometri secara literal adalah pengukuran manusia. Antropometri adalah pengetahuan mengenai dimensi tubuh manusia serta aplikasi yang berkaitan dengan geometri fisik, massa dan kekuatan tubuh manusia. Variasi dimensi tubuh manusia sering kali menjadi faktor utama untuk menghasilkan rancangan sistem/alat yang sesuai untuk pengguna (Karwowski, W. 1998).

Perbedaan dimensi tubuh manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang harus diperhatikan saat mengambil sampel data tersebut, antara lain:

1. Umur
2. Ukuran tubuh pria akan berkembang sejak lahir sampai dengan ± 20 tahun, sedangkan tubuh wanita akan sampai dengan ± 17 tahun. Namun, ada kecenderungan penyusutan dimensi tubuh setelah 60 tahun.
3. Jenis kelamin
4. Ukuran tubuh pria umumnya lebih besar dibandingkan wanita, kecuali di bagian dada dan pinggul.
5. Rumpun dan suku bangsa
6. Kondisi sosial ekonomi serta konsumsi gizi
7. Pekerjaan/aktivitas harian
8. Waktu pengukuran

Antropometri dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu:

1. Antropometri statis (dimensi struktur tubuh). Pengukuran manusia pada posisi diam pada permukaan tubuh.
2. Antropometri dinamis (dimensi fungsional tubuh). Pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan-gerakan yang mungkin terjadi saat melakukan pekerjaan atau kegiatan.

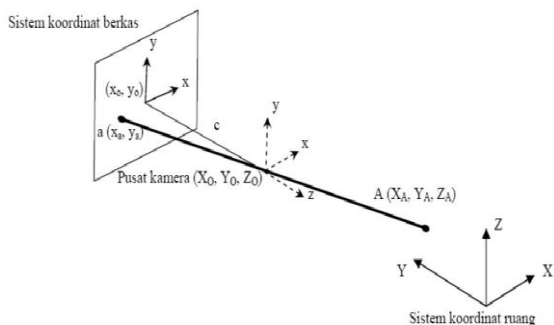
Data antropometri yang berhasil diperoleh akan diaplikasikan secara luas antara lain dalam hal pengamatan kesehatan dan pertumbuhan manusia, perancangan area kerja (*work station*), perancangan peralatan kerja, perancangan produk-produk konsumtif, dan perancangan lingkungan kerja fisik.

2.2 Fotogrametri Jarak Dekat

Fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi untuk memperoleh informasi terpercaya tentang obyek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi gambaran fotografik, dan pola radiasi tenaga elektromagnetik

yang terekam. Istilah “fotogrammetri rentang dekat” pada umumnya digunakan untuk foto terestrial yang mempunyai jarak objek sampai dengan 100 meter (Atkinson 1996). Orientasi kesudutan kamera biasanya dapat juga diukur atau disetel pada nilai-nilai tertentu sehingga semua unsur orientasi luar foto terestrial pada umumnya diketahui dan tidak perlu dihitung. Teknik ini memiliki kelebihan yaitu jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau dan memiliki dimensi yang sangat kecil, selaiannya itu metode ini juga memerlukan biaya yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan metode fotogrammetri rentang jauh, karena jenis kamera yang digunakan adalah dengan menggunakan kamera non metrik.

Dalam bidang geodesi, metode fotogrammetri rentang dekat ini banyak dimanfaatkan karena dapat memberikan informasi jarak, luas, volume. Dari hasil pengukuran dengan metode fotogrammetri rentang dekat dapat diperoleh koordinat tiga dimensi dalam sistem foto. Untuk itu agar dapat dibandingkan dengan koordinat yang sebenarnya maka harus dilakukan transformasi ke sistem koordinat tanah. Fotogrammetri rentang dekat banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang non topografi karena memiliki banyak keunggulan. Aplikasi yang berkembang antara lain dalam bidang arsitektur, arkeologi, forensik, medis, deformasi, industri dan lainnya.



Gambar 2. Prinsip kondisi kesegarisn berkas sinar atau kondisi kolinearitas (Soeta’at,1994)

2.3 Pemodelan Tiga Dimensi

Dari dua buah foto yang bertampalan yang dihasilkan dari dua posisi pemotretan yang berbeda, akan dapat dibentuk sebuah model tiga dimensi. Model ini direpresentasikan oleh titik-titik tiga dimensi (x, y, z). *Orthofoto* adalah foto yang menyajikan gambaran objek pada posisi orthogonal yang benar, oleh karena itu orthofoto secara geometris ekuivalen dengan peta garis. Orthofoto memperlihatkan gambar-gambar fotografis yang sebenarnya dan dapat diperoleh detail yang lebih banyak. Orthofoto yang benar secara *planimetris*, maka dapat dianggap sebagai sebuah peta atau lebih tepat disebut peta orthofoto, dapat digunakan untuk melakukan pengukuran langsung atas jarak, sudut,

posisi dan daerah tanpa melakukan koreksi bagi pergeseran letak gambar. Hal ini tentu saja tidak dapat dilakukan diatas foto perspektif. Orthofoto dibuat dari foto udara melalui proses yang disebut rektifikasi diferensial, yang meniadakan pergeseran letak oleh kemiringan fotografik dan relief.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Persiapan

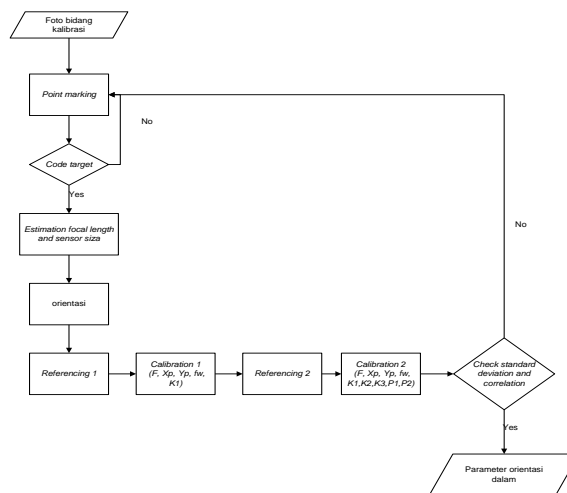
Pada tahap ini dilakukan tahapan persiapan peralatan, kalibrasi kamera dan pengumpulan data yang berkaitan dengan pembuatan model 3D wajah manusia. Data yang digunakan adalah data hasil kalibrasi kamera dan data foto. Sedangkan alat penunjang yang digunakan terdiri dari laptop, kamera *Digital Single lens Reflex* dan perangkat lunak yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

3.2 Pemotretan Obyek

Pemotretan obyek wajah manusia dilakukan secara teratur, mengitari objek secara detil dan sebaiknya foto yang diambil, antara foto satu dengan foto selanjutnya bertampalan agar dapat diproses dengan baik pada perangkat lunak. Jarak antar kamera tidak teratur atau bebas dengan syarat sudut pengambilan antara kamera minimal 45° .

3.3 Kalibrasi Kamera

Pada tahap awal atau persiapan dilakukan proses kalibrasi kamera. Tahapan ini sangat mempengaruhi ketelitian dari objek kajian. Kalibrasi kamera adalah proses menentukan parameter internal dari sebuah kamera. Parameter internal dibutuhkan untuk dapat merekonstruksi ulang berkas-berkas sinar pada saat pemotretan dan untuk mengetahui besarnya kesalahan sistematik dari sebuah kamera. Proses kalibrasi kamera menggunakan menu yang sudah ada pada perangkat lunak *PhotoModeler Scanner*.



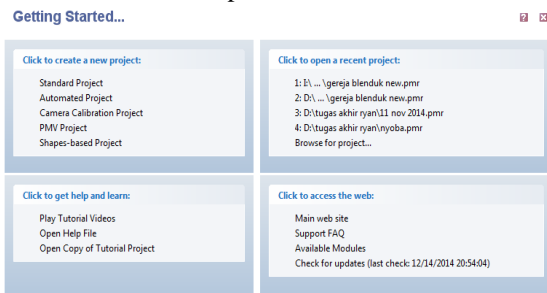
Gambar 3. Alur kalibrasi kamera pada *PhotoModeler Scanner*

3.4 Pemodelan 3D Menggunakan *PhotoModeler Scanner 2013*

Dari dua buah foto yang bertampalan yang dihasilkan dari dua posisi pemotretan yang berbeda, akan dapat dibentuk sebuah model tiga dimensi. Model ini direpresentasikan oleh titik-titik tiga dimensi (x, y, z). Untuk dapat membentuk model tiga dimensi tersebut diperlukan suatu proses hitungan fotogrametri seperti orientasi dalam, orientasi luar, dan orientasi absolut. *Photomodeler Scanner* merupakan perangkat lunak yang menyediakan alat yang digunakan untuk pemodelan 3D dengan basis 3D scanning. *Scanner 3D* mampu memberikan hasil yang sama dengan *laser scanner 3D*., Kegunaan utama perangkat lunak ini adalah adanya suatu proses yang dinamakan dengan *inverse camera*, dalam proses tersebut dapat dilakukan pengukuran yang akurat di origin foto yang belum terdefinisi. Modul *PhotoModeler Scanner* digunakan untuk membuat sebuah model 3D dari rangkaian foto suatu obyek. Model yang dihasilkan berupa sekumpulan titik-titik tiga dimensi yang mempunyai nilai berupa koordinat kartesian 3D. Titik-titik dan tepi model 3D tersebut dapat dihubungkan dengan suatu garis atau model permukaan obyek itu sendiri.

New Project

Saat memulai menggunakan *PhotoModeler Scanner* maka perangkat lunak ini akan menampilkan *Getting Started*. Untuk memulai *Project* baru dapat digunakan pilihan *Point-Based Project*. Pilihan ini digunakan jika model obyek 3D dibentuk berdasarkan titik-titik pada foto.



Gambar 4. Tampilan menu awal untuk membuat project baru

SmartPoints Project

Pada tahap ini *Photomodeler Scanner* menyediakan *tools* yaitu *SmartMatch* - alat yang secara otomatis menandai dan mereferensi poin pada fitur alami, menghasilkan 'SmartPoints', kemudian *Orients* dan memproses foto untuk memberikan proyek sepenuhnya otomatis mengatur dan orientasi untuk proyek-proyek non-target. *SmartMatch* mencari tahu poin fitur alam di gambar, cocok mereka antara foto, dan menghasilkan poin xyz 3d otomatis

Transformasi Koordinat 3D

Koordinat model 3D yang dihasilkan belum memiliki ukuran sebenarnya, oleh karena itu diperlukan transformasi koordinat untuk mengubahnya menjadi ukuran sebenarnya. Transformasi koordinat ini menggunakan koordinat hasil pengukuran. Proses transformasi ini dilakukan pada sub menu *Scale/Rotate*.

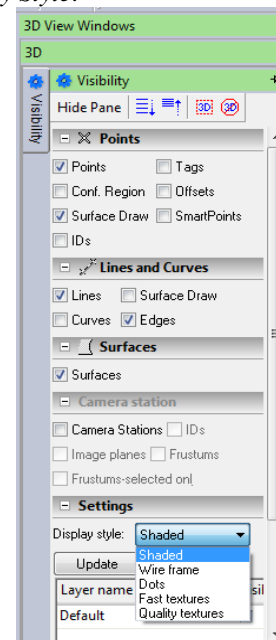
A. V. ...	Name	OP Id	X (m)	Y (m)	Z (m)
<input checked="" type="checkbox"/>	point 1	Pt-193	978.03	967.72	99.64
<input checked="" type="checkbox"/>	point 2	Pt-10	959.58	966.54	99.68
<input checked="" type="checkbox"/>	point 3	Pt-563	961.78	995.80	108.88

Gambar 5. Tampilan sub menu 3D scale and rotation

Visualisasi Model 3D

Untuk mendapatkan visualisasi model tiga dimensi yang terbentuk berupa *shade surface* dan kerangka model, sub menu yang digunakan untuk visualisasi model 3D adalah *Open 3D View* yang terdapat pada menu *View*.

Kemudian agar bangunan menyerupai fisik sebenarnya, dapat diberikan tekstur. Langkah pemberian tekstur dapat dilakukan pada *3D View windows* dengan memilih *Fast Textures* pada sub menu *Display Style*.

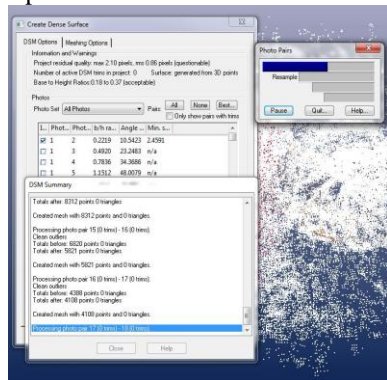


Gambar 6. Tampilan menu 3D view windows

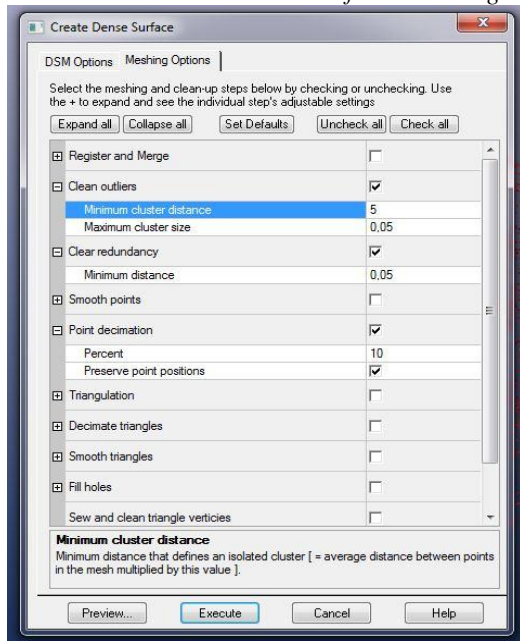
Proses Dense Surface Modeling

Dense Surface Modeling (DSM) adalah salah satu fitur dalam *Photomodeler Scanner* untuk mengekstraksi dan memanipulasi pola padat poin dari foto. Permukaan dalam foto-foto harus memiliki tekstur acak dan / atau alami terlihat dan foto-foto idealnya harus diambil dalam konfigurasi stereo

dipasangkan. *Dense Surface Modeling* dapat dianggap sebagai kamera berbasis 3D 'laser scanner'. DSM dapat memperoleh pengukuran permukaan rinci dan model yang tidak akan praktis jika dengan fotogrametri berbasis point. *Dense Surface Modeling* tersedia dalam produk.



Gambar 7. Proses *Dense Surface Modeling*



Gambar 8. *Meshing Option*

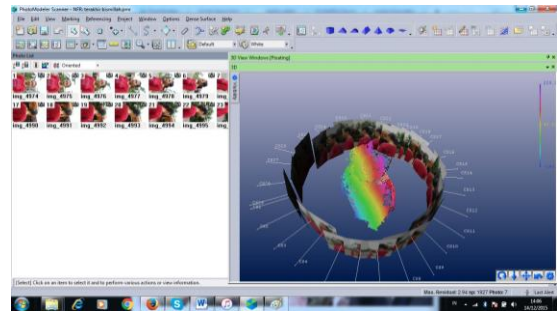
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pembentukan Model 3 Dimensi

Setelah pemrosesan foto yang dilakukan, didapatkan hasil pembentukan model 3D yang mendekati sama dalam artian tidak terdapat perbedaan signifikan dalam perubahan bentuk geometrik model 3D.



Gambar 9. Hasil 3D



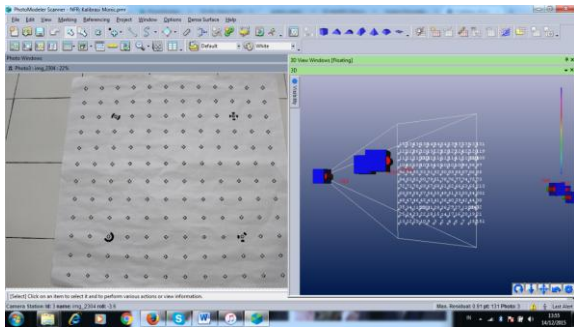
Gambar 10. *Camera Station*

4.2 Evaluasi Hasil Kalibrasi Kamera

Hasil dari kalibrasi merupakan salah satu hasil yang penting dalam pembentukan model 3D. Kalibrasi kamera merupakan suatu proses yang berpengaruh terhadap parameter internal dari kamera yang dibutuhkan untuk merekonstruksi ulang berkas sinar pada saat pemotretan. Oleh karena itu proses kalibrasi sangat penting untuk melakukan pekerjaan tersebut.

Tabel 2. Hasil kalibrasi kamera Canon1200D

Parameter Orientasi	Nilai	Simpang Baku
Panjang Fokus	19.118012 mm	0.005 mm
Xp (posisi titik utama foto)	11.249958 mm	0.001 mm
Yp (posisi titik utama foto)	7.634926 mm	0.005 mm
K1 (Distorsi Radial)	4.679e-004	1.3e-006
K2 (Distorsi Radial)	-1.052e-006	8.4e-009
K3 (Distorsi Radial)	0.000e+000	0.000e+000
P1 (Distorsi Tangensial)	1.492e-005	1.1e-006
P2 (Distorsi Tangensial)	4.306e-005	2.7e-006
<i>Average Photo Point Coverage</i>		84%



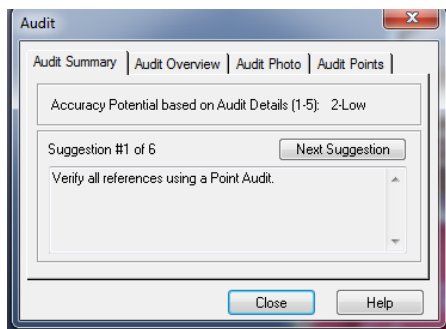
Gambar 11. Letak stasiun kamera kalibrasi

Dari hasil kalibrasi kamera Canon 1200D tersebut dapat dilihat bahwa panjang fokus kamera yang digunakan dalam penelitian ini adalah 19.118012 mm. Kemudian nilai *Average Photo Point Coverage* adalah 84%, nilai tersebut sudah masuk dalam syarat kalibrasi kamera pada *PhotoModeler Scanner* karena nilai minimal untuk *Average Photo Point Coverage* adalah 80%. Maka nilai tersebut telah memenuhi standard kriteria yang ditentukan.

4.3 Hasil Pemrosesan 3D

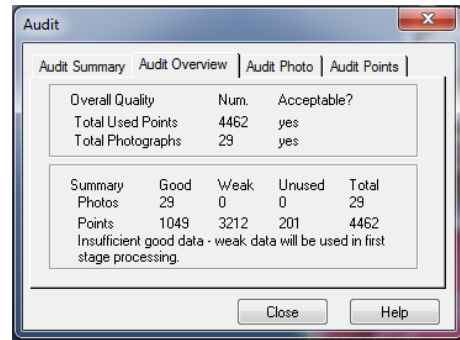
4.3.1 Audit Summary

Audit Summary menampilkan hasil pemrosesan model 3D secara ringkas. Seberapa baik hasil pemrosesan model 3D ditampilkan dalam bentuk angka numerik. Angka numerik tersebut mempunyai nilai 1 sampai 5 dimana potensial hasil tertinggi adalah angka 5 dan hasil terendah adalah angka 1. Analisis tentang *Audit Summary* memiliki angka numerik 2 (*Low*), hal ini menunjukkan bahwa potensial hasil akurasi yang dihasilkan oleh model 3D dari perangkat lunak *PhotoModelerScanner* masih rendah.



Gambar 13. Hasil Audit Summary

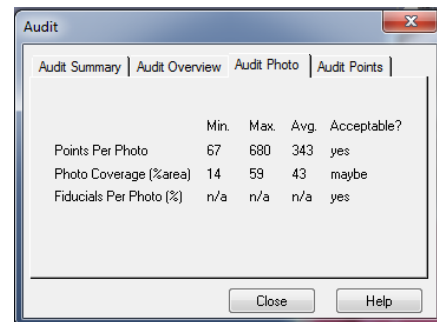
4.3.2 Audit Overview



Gambar 14. Hasil Audit Overview

Foto dan titik yang dikategorikan *Good* merupakan foto dan titik yang memenuhi kriteria yang disyaratkan oleh *PhotoModeler Scanner*. Titik yang dikategorikan *Weak* merupakan foto dan titik yang hanya memiliki dua perpotongan sinar tetapi masih dapat digunakan pada pemrosesan model 3D dengan algoritma yang berbeda. Foto dan titik yang dikategorikan *Unused* tidak dapat digunakan karena hanya memiliki satu sinar sehingga tidak terjadi perpotongan sinar untuk mendefinisikan posisi 3D titik tersebut.

4.3.3 Audit Photo



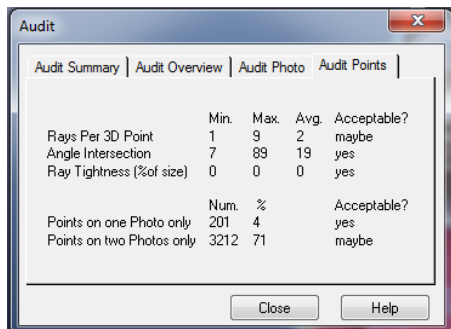
Gambar 15. Hasil Audit Photo

Photo Coverage menunjukkan persentase area yang ditutup oleh *Marked Points* dalam masing-masing foto. Persentase area menggambarkan persentase regional rectangular yang mengelilingi seluruh *Marked Points* dalam satu area foto. *Fiducials Per Photo (%)* menunjukkan jumlah minimum, maksimum dan rata-rata dari *fiducials marked*. Pada pemrosesan model 3D ini digunakan kamera digital non metrik yang tidak memiliki *fiducial marked* sehingga pada baris *Fiducials Per Photo (%)* terdapat tulisan n/a yang merupakan singkatan dari *not available*.

Setiap foto minimal memiliki empat *Marked Point* agar dapat digunakan untuk pemrosesan model

3D. Nilai *Photo Coverage* minimum sebesar 14%, nilai maksimum sebesar 59% dan nilai rata-rata *Photo Coverage* sebesar 43%.

4.3.4 Audit Points



Gambar 16. Hasil Audit Points

Rays per Point menunjukkan jumlah sinar dalam pendefinisian titik-titik 3D. Dengan kata lain, *Rays Per Point* menunjukkan seberapa banyak foto yang digunakan untuk menandai satu titik 3D. Setiap titik 3D harus ditandai pada minimal dua buah foto dan lebih baik ditandai pada lebih dari dua foto.

Angle Intersection menunjukkan informasi tentang sudut yang terbentuk antara sinar-sinar yang saling berpotongan untuk membentuk titik-titik 3D. Perpotongan sudut yang diterima oleh *PhotoModeler Scanner* berkisar antara 30° hingga 90°.

Ray Tightness menunjukkan informasi tentang seberapa baik seluruh sinar yang digunakan untuk mendefinisikan titik 3D.

Points on one Photo only menunjukkan jumlah titik 3D yang hanya ditandai pada satu foto saja. Titik seperti ini tidak dapat digunakan dalam pemrosesan model 3D.

Points on two Photos only menunjukkan jumlah titik 3D yang hanya ditandai pada dua foto saja.

4.4 Analisis Perbandingan Jarak

Analisis perbandingan jarak merupakan analisis dengan melakukan perbandingan antara panjang jarak yang dihasilkan melalui pengukuran langsung pada subjek yang dibandingkan dengan hasil ukuran melalui perangkat lunak *Photomodeler Scanner 2013*.

Id	Active	Type	IDs	PhotoModeler Distance	Measured Distance	Delta Distance	Delta (percent)
21	yes	Check ...	Pt-822...	62,177166	63,000000	-0,822834	-0,013061
22	yes	Check ...	Pt-822...	67,950115	66,000000	1,950115	0,029547
17	yes	Check ...	Pt-603...	65,398911	65,500000	-0,101089	-0,001543
18	yes	Check ...	Pt-743...	39,676413	40,000000	-0,323587	-0,008090
24	yes	Check ...	Pt-189...	32,502149	34,000000	-1,497851	-0,044054
27	yes	Check ...	Pt-724...	65,405834	64,000000	1,405834	0,021966

Gambar 17. Hasil analisa perbandingan jarak pada model

Tabel 3. Tabel perhitungan analisis jarak (mm)

Sisi	Jarak		Delta
	Ukuran	Model	
21	63,000000	62,177166	-0,822834
27	64,000000	65,405834	1,405834
22	66,000000	67,950115	1,950115
17	65,000000	65,398911	0,398911
18	40,000000	39,676413	-0,323587
24	34,000000	32,502149	-1,497851
	min		-1,497851
	max		1,950115
	mean		1,066522
	α		1,32349553

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa nilai selisih maksimum pengukuran di lapangan dengan *software* sebesar 1,950115 milimeter dan minimum -1,497851 milimeter, dengan toleransi selisih jarak adalah 2 milimeter dari pengukuran yang dianggap benar. Kemudian nilai rata-rata selisih tiap sampel untuk pengukuran langsung di lapangan sebesar 1,066522 milimeter. Lalu diperoleh nilai standar deviasi untuk perbandingan pengukuran langsung di lapangan dengan hasil melalui *software* sebesar 1,32349553mm.

4.5 Analisis Visual

Analisis visual merupakan analisis yang dilakukan secara objektif oleh dokter ahli Forensik RSUD Karyadi Semarang, dr Tuntas Dhanardhono SpF dan dr. Gatot Suharto SH SpF Mkes dengan menilai kesesuaian objek dan hasil pemodelan 3D.

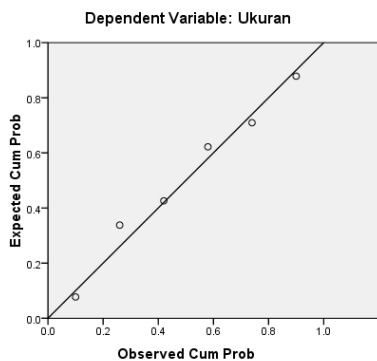
Dalam diskusi pribadi (Tuntas, 2015) menilai bahwa model 3D dengan objek dapat dikatakan sesuai, dalam arti ketika melihat hasil pemodelan maka seseorang dapat langsung mengenali model tersebut. Rata-rata penyimpangan antara pengukuran di lapangan dengan pengukuran pada *software* masih dalam batas toleransi, yaitu kurang dari 2 mm (Suwardhi, D., 2005).

Dalam diskusi pribadi (Gatot, 2015) meskipun penyimpangan pada pengukuran *software* masih dalam batas toleransi, namun untuk pemakaian metode ini selanjutnya diperlukan pengembangan lebih lanjut terutama perihal akurasi dalam proses identifikasi, agar nantinya dapat dimanfaatkan dalam lingkup yang lebih luas. Namun keseluruhan pemodelan 3D dengan fotogrametri jarak dekat sudah cukup baik sebagai alternatif dokumentasi antropometri, dimana hasil pemodelan nampak sesuai dengan modelnya.

4.6 Uji Normalitas

Uji normalitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi, variabel yang digunakan memiliki distribusi normal (Ghozali, 2012). Uji normalitas perlu dilakukan karena uji t

mengasumsikan bahwa model regresi memiliki nilai residual yang terdistribusi normal. Dalam penelitian ini digunakan 6 data hasil pengolahan Photomodeller dan ukuran morfometrik wajah.



Gambar 18. Normal probability plot

Berdasarkan analisis grafik dapat disimpulkan bahwa model regresi memenuhi asumsi normalitas.

Selain menggunakan analisis grafik, normalitas suatu data juga dapat diuji dengan analisis statistik menggunakan uji statistik *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Statistik *Kolmogorov-Smirnov* (K-S)

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
		Unstandardized Residual
	N	6
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	.0000000
	Std. Deviation	.93242600
Most Extreme Differences	Absolute	.202
	Positive	.126
	Negative	-.202
	Kolmogorov-Smirnov Z	.495
	Asymp. Sig. (2-tailed)	.967

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Berdasarkan hasil uji statistik *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) pada tabel di atas yang menunjukkan nilai *Kolmogorov Smirnov* sebesar 0,495 dengan tingkat signifikansi sebesar 0,967. Model hasil regresi tersebut menunjukkan nilai signifikansi yang lebih besar dari 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa residual terdistribusi secara normal.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

1. Fotogrametri jarak dekat dengan menggunakan kamera digital non metrik dapat digunakan untuk pemodelan manusia, namun diperlukan kalibrasi kamera agar dapat diperoleh ketelitian geometrik 3D yang baik. Faktor pengambilan foto yang baik diperlukan juga untuk mendapatkan kualitas foto yang baik. Antara lain melakukan pemotretan objek di lokasi yang bebas dari banyak benda lain, di lakukan di tempat yang cukup cahaya dan bisa dilakukan dengan menggunakan alat bantu tripod agar foto dapat stabil. Nilai RMS foto terbesar dimiliki oleh Photo 10 sebesar 1,275 piksel, hal ini dapat terjadi karena kesalahan teknik pengambilan foto pada objek.

Metode fotogrametri jarak dekat juga dapat menghasilkan pemodelan 3D disamping dengan metode pengukuran lainnya, antara lain dengan metode *laserscanning*. Oleh karena itu metode fotogrametri jarak dekat dapat digunakan sebagai salah satu alternatif dokumentasi antropometri dalam dunia kedokteran. Tetapi ketepatan dalam proses identifikasi masih perlu proses pengembangan.

Hasil statistik menunjukkan bahwa hubungan variabel hasil *Photomodeler* memiliki korelasi/keterkaitan secara positif dengan variabel hasil ukuran forensik dengan hasil nilai sig 0,000000513922 memenuhi tingkat signifikansi 5%.

2. Potensial akurasi pemrosesan model 3D masih rendah yaitu nilai 2 (*Low*). Dari hasil *Audit Summary* nilai Overall RMS adalah sebesar 9,67 mm. Hal ini dapat disebabkan antara lain stasiun kamera yang tidak memenuhi persyaratan *Photomodeler Scanner* serta banyak benda di sekeliling objek pada saat pemotretan yang menyebabkan foto objek tidak terlihat sempurna, jarak foto yang terlalu pendek dikarenakan kondisi objek di lapangan, banyaknya jumlah titik yang bertampalan pada dua buah foto yang dapat mempengaruhi hasil dari akurasi pemrosesan model 3 dimensi. Namun model 3D yang dihasilkan dari metode ini adalah dalam bentuk model yang sederhana, bentuk detail pada subjek tidak digambarkan secara mendetail pada setiap sisi subjek, dikarenakan keterbatasan lokasi, waktu dan metode itu sendiri.

5.2 Saran

1. Kalibrasi sebaiknya dilakukan pada bidang datar yang memiliki cahaya cukup agar memiliki hasil yang baik.

2. Kalibrasi lebih mudah dilakukan menggunakan bidang A0 dibandingkan A4, karena fokus bidang kalibrasi dapat terlihat lebih jelas.
3. Hindari posisi pemotretan objek yang menentang matahari karena dapat menimbulkan efek *backlight* sehingga foto atau gambar yang dihasilkan tidak terlihat secara jelas, hal ini dapat mengganggu untuk melakukan proses selanjutnya dan lakukan pemotretan objek dari tempat yang lebih tinggi untuk menjangkau bagian yang tidak terlihat secara horisontal.
4. Pemotretan diatur sedemikian rupa sehingga objek dapat terpotret keseluruhan dalam satu *frame*.
5. Proses pengambilan sudut fotopada setiap titik sebaiknya dilakukan lebih dari dua foto agar memiliki hasil akurasi yang tinggi. Karena titik yang hanya pada dua buah foto masih masuk dalam kategori *Weak* walaupun dapat membentuk 3D.
6. Saat melakukan pemotretan, usahakan tidak ada benda lain yang menutupi objek yang akan dipotret, sebab ini akan berpengaruh pada saat akan melakukan proses pemodelan nantinya.
7. Ketika melakukan pemotretan sebaiknya menggunakan tripod agar dapat mengambil foto dengan stabil dan menghasilkan foto yang baik.
8. Perlu dilakukan pengambilan banyak titik-titik wajah yang diukur untuk validasi dari aturan Antropometri agar hasil lebih presisi.
9. Dalam penelitian selanjutnya sebaiknya diambil sampel data dari banyak model.

DAFTAR PUSTAKA

Atkinson, K.B. 1996 : *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing. Scotland - UK.

Baris DJ., dkk. 2014. *Aplikasi Fotogrametri jarak dekat untuk Pemodelan 3D Gedung A Lawang Sewu*. Jurnal Geodesi Undip. Volume 4, Nomor 3, Tahun 2015, (ISSN : 2337-845X). Universitas Diponegoro. Semarang.

Himasari, dkk. 2015. *Batak Toba Cultural Heritage and Close-range Photogrammetry*. Procedia - Social and Behavioral Sciences 184 (2015) 187 – 195. Dibawakan pada *5th Arte Polis International Conference and Workshop – “Reflections on Creativity: Public Engagement and The Making of Place”*, Arte - Polis 5, 8 -9 Agustus 2014. Bandung.

Habib A., and M. Morgan, 2004. *Stability Analysis and Geometric Calibration of off-the-shelf digital cameras*, Accepted for publication in the *Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*.

Hanifa, R. 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik AutoFocus untuk Pemantauan Deformasi*. Tesis. Program Studi Teknik Geodesian Geomatika. Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Karwowski, W. 1998. *The Occupational Ergonomics Handbook*. CRC Press. USA

Kuncoro, A. 2010. *Aplikasi Fotogrametri Jarak Dekat Untuk Pemodelan Bangunan*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Geodesi. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.Semarang.

Soeta'at. 1994. *Diktat Fotogrametri Analitik*. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Suwardhi, dkk. 2005. *Coordinate System Integration for Craniofacial Database from Multimodal Devices*. PROC. ITB Eng.Science Vol.37 B, No.1,2005, 1-14. Institut Teknologi Bandung. 2015.

Tahir, dkk. 2005. *Quantification of Facial Morphology Using 3D Laser Scanning. Method: Preliminary Results*. Faculty of Geoinformation Science and Engineering. Universiti Teknologi Malaysia. Johor, Malaysia.

Muzaka, R.N. 2015. *Aplikasi Terrestrial Laser Scanner Untuk Pemantauan Deformasi Bangunan*. Universitas Diponegoro. Semarang.

Soeta'at. 1994. *Hubungan Distorsi Kamera Dalam Bentuk Tabel dengan Bentuk Polinomial*. Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Weinhaus, F.M., Devarajan, V. 1997. *Texture Mapping 3D Models of Real-World Scenes*. ACM Computing Surveys Vol. 29, No. 4. University of Texas. Arlington.

Wolf, Paul R. 1993. *Elemen Fotogrametri*. Diterjemahkan oleh Gunadi, Totok Gunawan, dan Zuharnen. Gajah Mada University Press.

Website :

Mursyidin. 2013. *Face Recognition*, <http://mursyidin.blog.unigha.ac.id> (diakses pada tanggal 24 Maret 2015).

Saktia. B.A. 2013. *Kalibrasi Kamera Non-Metrik Digiital Dengan Metode Self-Calibration*, <http://iptek.its.ac.id/index.php/geoid/article/view/721> (diakses pada tanggal 13 Juni 2015).

_____. 2013. <http://www.photomodeler.com/tutorial-vids/online-tutorials.html> (diakses pada tanggal 24 Maret 2015).

_____. 2013. *Canon EOS 1200D*, <http://www.canon.co.uk/forhome/productfinder/camera/>

- product_finder/cameras/digital_slr/eos_1200d/ (diakses pada tanggal 24 Juni 2015).
- _____. 2013. Matematika geometri kamera lubang jarum, <http://opticsphysics.weebly.com/pinholers/matematika-geometri-kamera-lubang-jarum> (diakses pada tanggal 24 Juni 2015).
- _____. 2014. Macam-macam Ukuran dan Jenis Sensor Kamera , <http://www.fotodidak.com/2014/11/macam-macam-ukuran-dan-jenis-sensor-kamera.html> (diakses pada tanggal 24 Juni 2015).
- _____. Antropology, <https://id.wikipedia.org/wiki/Antropologi> (diakses pada tanggal 24 Juni 2015).