

OPTIMALISASI *PHOTOGRAMMETRY* TEKNIK *QUALITY OF CAMERA* PADA VISUALISASI MODEL 3D

¹⁾Ibnu Hadi Purwanto, ²⁾M. Suyanto, ³⁾Sukoco

^{1), 2), 3)} Program Studi MTI Universitas AMIKOM Yogyakarta
Jalan Ring Road, Condong Catur, Depok, Sleman. Telp. : 0274-884201
Email : ¹⁾ibnuphyta@gmail.com, ²⁾yanto@amikom.ac.id, ³⁾pak_koco@yahoo.com

ABSTRACT

The development of increasingly advanced visualization of 3D models. One method of visualization model 3 that is using close range photogrammetry. Starting from the number of digital cameras with high resolution, the authors are interested in doing research on optimization photogrammetry using techniques quality of the camera on a 3D model visualization. The purpose of this research is to optimize the quality of the camera for 3D models pembuatan particular model of a human head. In per cent of research using methods of research and development. The results show to get a good result in this photogrammetry photograph obtained configuration between 65 ° angle and the image is taken every 15 ° with setting shutter speed 1/60, aperture 6.3 and ISO 400. For taking pictures made outdoors when the weather is right - Right flat, in the sense not too dark and not too light. This is to anticipate the object is in backlight conditions. The impact of the quality of camera is very influential on the visualization of 3D shapes generated. If the quality of the camera is not guaranteed, the results visualization 3d models using close range photogrammetry method will not be formed. Less appropriate camera settings can cause picture to become unfocused, under exposure and over exposure. Objects to be imperfect and there is a hole or a hole issue. Over exposure can also cause a hole in the object. While under exposure will cause intersection on the object.

Keyword: Photogrammetry, research and development, quality of camera

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi media digital saat ini memungkinkan pengolahan citra objek (*image*) menjadi bentuk model 3 dimensi. Teknik yang dapat digunakan untuk mewujudkan gambar (*image*) menjadi objek 3d, salah satunya menggunakan metode *close range photogrammetry*.

Perkembangan *photogrammetry* pada Industri semakin banyak digunakan oleh perusahaan di bidang game maupun film. Dikutip dari website starwars yang mengembangkan game nya *Battlefront* (2015) menggunakan *photogrammetry*, Andrew Hamilton menyampaikan bahwasanya *photogrammetry* merupakan teknik pengolahan gambar atau foto untuk menghasilkan mesh 3D dengan resolusi tinggi . Hal ini baru pertama kali dilakukan oleh Starwars dalam pembuatan aset yang ada pada game *Battlefront*. Pengambilan aset pohon, batu dan tebing pada game *Battlefront* menggunakan proses *photogrammetry*. Dengan menggunakan *photogrammetry* hamilton dan timnya terhindar

dari permasalahan benda buatan. Pada dunia film teknik *close range photogrammetry* juga telah digunakan dalam film “ the matrix ”, sedangkan perkembangan lain google juga menggunakan *photogrammetry* dalam A Google Mpa 3D building yang diproduksi oleh google.

Pfeifle (2012) menyatakan bahwa *close range photogrammetry* merupakan salah satu cara untuk melakukan data capture benda nyata secara 3 dimensi sehingga dari bentuk nyata tersebut diproses menjadi bentuk digital. Hasil data yang diperoleh kemudian dijadikan output berupa objek 3 dimensi dan dapat disempurnakan lagi bentuk dan mesh nya.

Close range photogrammetry merupakan bagian dari *photogrammetry*. *Close range photogrammetry* mempunyai arti yang lebih sempit yaitu pengambilan objek nyata menggunakan camera metrik maupun non metrik dengan jarak pengambilan gambar secara dekat dan digunakan sebagai dokumentasi benda artefak, rekayasa ulang kecelakaan, mengetahui ukuran bangunan dan film set.

Penggunaan kamera pada close range photogrammetry ini tidak mempunyai batasan. Semua kamera metrik dan non metrik dapat digunakan. Tetapi ada batasan dari kamera tersebut yaitu *focal length*. Jechev (2012) dalam penelitiannya mendefinisikan elemen yang tidak diketahui oleh orientasi internal adalah panjang fokus (*focal length*) dan prinsip titik koordinat dari foto itu. Jarak pengambilan gambar menjadi titik penting dalam penelitian ini, karena focal length pada sebuah lensa kamera memiliki titik fokus tertentu.

Menurut Fraser (2002) dalam *close range photogrammetry* kamera digital dibagi menjadi 3 jenis, kamera digital yang pertama adalah kamera amateur yang mampu memberikan ketepatan relatif kurang dari 1:20.000, kamera digital yang kedua adalah kamera digital profesional yang mampu memberikan ketepatan relatif kurang dari 1:100.000, dan kamera digital yang ketiga adalah kamera digital khusus untuk photogrammetry yang mampu memberikan ketepatan relatif kurang dari 1:200.000. Parameter dalam pengambilan gambar adalah kalibrasi kamera yang stabil, jadi kamera digital kelas amateur sudah dapat digunakan untuk keperluan *photogrammetry*.

Pengambilan gambar menggunakan kamera amateur dapat dioptimalisasikan untuk mendapatkan hasil yang bagus. Pada penelitian O. Kissiyar et al (2008) memaparkan bahwa hal yang penting dilakukan adalah self-kalibrasi yaitu memperkuat pengukuran geometry sehingga parameter titik koordinat dapat diselesaikan secara akurat.

Tingkat resolusi dari kamera yang digunakan untuk close range photogrammetry juga berpengaruh pada hasil. Pada penelitian Lema dan Munir (2014) memiliki kelemahan dalam penggunaan kamera non profesional yang mempunyai resolusi 10 MP sehingga gambar yang dihasilkan tidak dapat diproses dengan sempurna. Penelitian Abd. Manan Samad et al. (2012) dalam pengujiannya belum terpaparkan konfigurasi kamera yang tepat untuk pengambilan gambarnya. Penelitian Abdul Rauf et al. (2013), mencoba melakukan konfigurasi kamera pada percobaannya namun gambar yang dihasilkan masih minim yaitu 6 gambar dari sudut yang berbeda.

Penelitian ini mencoba mengetahui dampak yang didapatkan dari optimalisasi quality of camera, dengan mengkombinasikan standar pengetahuan dasar camera dan percobaan elemen-elemen photogrammetry. Proses scanning image akan dilakukan oleh 2

software yang berbeda sehingga akan mudah didapatkan kesimpulan dari percobaan yang dilakukan. Dalam penelitian ini nantinya akan menggunakan orang sebagai model, dan hanya bagian kepala yang akan dijadikan sampel. Mengingat modeling 3D wajah manusia merupakan pekerjaan yang sulit dan membutuhkan waktu yang lama, sehingga menjadi problem yang harus dipecahkan.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Photogrammetry

Slama (1980) dalam bukunya *Manual of Photogrammetry* menyatakan bahwa photogrammetry merupakan seni, ilmu pengetahuan, dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan menafsirkan gambar foto dan pola energi radiasi elektromagnetik dan fenomena lainnya. Menurut Pillay (2015) photogrammetry dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian, diantaranya adalah *close range photogrammetry* dan *aerial photogrammetry*.

Close range photogrammetry yaitu jarak antara objek ke kamera kurang dari 100 meter seperti yang telah diperkenalkan oleh Cooper dan Robson (1996). Mathews et al. (2006) menyatakan bahwa *Close range photogrammetry* (CRP) merupakan metode nontradisional yang dapat memproduksi sample tanah dengan jarak 0,25 mm dan mempunyai akurasi tata ruang setara dengan 0,025 mm. Secara teoritis tidak ada yang membatasi untuk pencapaian gambar dengan CRP ini.

Aerial photogrammetry sering digunakan dalam pemetaan topografi, dimuali dengan foto digital atau kamera video yang diambil dari sebuah pesawat. Dengan pergerakan pesawat yang berkelok-kelok pada jalur penerbangan sehingga dapat mengambil foto atau video seluruh daerah untuk mendapatkan cakupan yang lengkap (Pillay, 2015).

2.2 Close Range Photogrammetry (CRP)

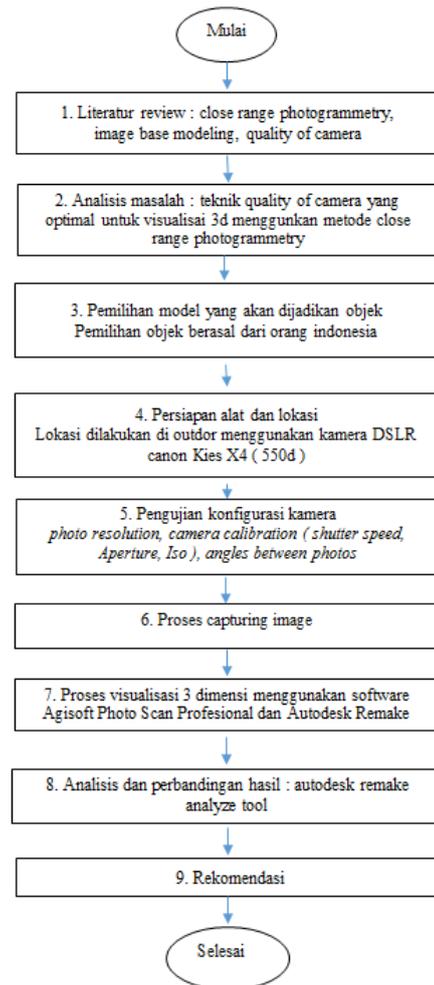
Close range photogrammetry merupakan bagian dari photogrammetry. Photogrammetry mempunyai beberapa definisi oleh ahli. Photogrammetry dapat dilakukan menggunakan kamera metrik dan non metrik seperti kamera 35mm, kamera DSLR, pocket kamera dan kamera CCD.

Close range photogrammetry menawarkan keuntungan untuk melakukan survey tanah yang melebihi cara konvensional yang biasa digunakan (Stylianidis, 2013). Selain hal tersebut kersten dan Mass (1995) menyampaikan bahwasanya CRP memang pantas dimiliki oleh perusahaan sebagai monitoring industri atau arkeologi. Arias, P., Lorenzo, H., & Ordoñez, C. (2004) menyatakan bahwasanya CRP merupakan cara yang mudah dan menghemat biaya dalam pengumpulan foto-foto di dunia nyata.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) Borg and Gall (dalam Sugiyono, 2011:9) menyatakan bahwa penelitian dan pengembangan (*research and development/R&D*), merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mengembangkan atau memvalidasi produk produk yang digunakan dalam pendidikan dan pembelajaran. Sedangkan menurut Sugiyono (2011:407) mengatakan bahwa metode penelitian dan pengembangan atau dalam bahasa Inggrisnya *Research and Development* adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tersebut.

Data yang akan diuji dalam penelitian ini adalah hasil pengaturan dan jenis kamera yang digunakan pada saat proses visualisasi 3 dimensi kemudian hasil tersebut akan dianalisis. Adapun alur penelitian digambarkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Alur penelitian

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan literatur review terhadap teori yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Penelusuran teori photogrammetry dilakukan berdasarkan dari poin - poin yang telah ditetapkan dalam penulisan ini. Maksud dan tujuan dari literature review ini untuk menghasilkan metode penelitian dan dasar teori dalam penelitian ini. Tahapan ke dua yaitu melakukan analisis masalah tentang teknik quality of camera yang optimal untuk menghasilkan visualisasi model 3d. Hal dan permasalahan yang berhubungan dengan teknik quality of camera dalam photogrammetry akan dikaji dan kemudian dioptimalkan dalam proses selanjutnya. Tahapan ketiga yaitu pemilihan objek untuk penelitian. Pada penelitian ini menggunakan objek orang Indonesia. Objek diambil sampel foto kemudian dijadikan sebagai penelitian. Tahapan ke empat adalah persiapan alat dan lokasi. Lokasi yang digunakan dalam penelitian ini berada di luar ruangan (*outdoor*). Hal ini

bertujuan untuk membantu pembentukan marker secara otomatis pada objek saat dilakukan proses capturing. Alat yang digunakan dalam tahap ini adalah kamera DSLR Canon Kies X4 (550D) yang memiliki resolusi 18 megapixel. Tahap ke lima yaitu melakukan pengujian konfigurasi kamera dalam proses capture image. Pengaturan kamera meliputi *photo resolution, camera calibration (shutter speed, Aperture, Iso), angles between photos*. Setelah proses ini dilakukan maka lanjut ke tahap enam yaitu dilakukan pengambilan gambar menggunakan kamera DSLR. Tahap ke tujuh adalah proses visualisasi model 3D menggunakan software autodesk remake dan agisoft photoscan professional. Tahap ke delapan yaitu melakukan analisis terhadap bentuk 3d yang telah degenerate oleh software autodesk remake dan agisoft photoscan professional. Dalam proses ini model 3d sudah dibentuk secara kasar. Dengan software autodesk remake dapat dilakukan analisis tentang bentuk 3D yang telah degenerate dari foto 2 dimensi. Pengujian hasil juga didapatkan dari ahli, akan tetapi ahli dijadikan data pengujian pendamping. Tahap terakhir yaitu memberikan rekomendasi dari hasil penelitian. Rekomendasi ini bertujuan untuk memberikan hasil yang dapat dioptimalkan oleh penelitian selanjutnya. Dengan adanya rekomendasi ini diharapkan mampu memberikan kontribusi yang positif dalam penelitian yang akan datang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis dan Rancangan Sistem

Sebelum proses pengambilan gambar dilakukan maka harus dipersiapkan alat dan lokasi untuk tahap capture. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera Canon Kies X4 dengan resolusi 18.7 MP. Lensa yang digunakan adalah Lensa Kit Canon 18-55 mm IS II.

Tata letak objek dan camera diukur menggunakan meteran dengan panduan calculator depth of field. Objek diletakkan pada kursi putar yang telah ditempel protactor. Pengaturan kamera juga dilakukan dalam 8 kali percobaan. Variabel yang diukur adalah shutter speed, photo resolution, iso dan aperture.

4.2 Tahap Pengambilan Gambar

Proses dimulai dengan implementasi ilustrasi satu sampai delapan. Resolusi pada saat pengambilan gambar menggunakan 2 resolusi yang berbeda yaitu 5184x3456 dan 3456x2304 Pada percobaan pertama yaitu melakukan pengambilan gambar dengan kerapatan sudut pengambilan gambar dilakukan setiap 36° dengan konfigurasi kamera shutter speed 1/30, aperture 6.3, iso 400.

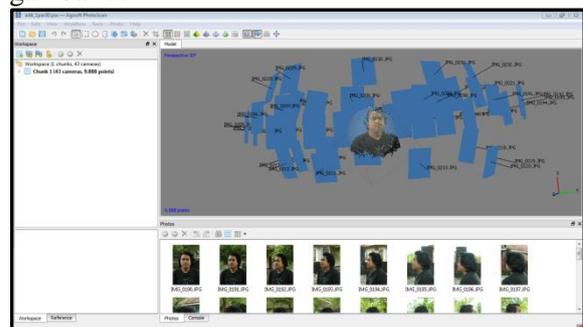
Percobaan kedua yaitu melakukan pengambilan gambar dengan kerapatan sudut pengambilan gambar dilakukan setiap 60° dengan konfigurasi kamera shutter speed 1/60, aperture 6.3, iso 400.

Percobaan ketiga yaitu melakukan pengambilan gambar dengan kerapatan sudut pengambilan gambar dilakukan setiap 90° dengan konfigurasi kamera shutter speed 1/100, aperture 6.3, iso 400.

Percobaan keempat yaitu melakukan pengambilan gambar dengan kerapatan sudut pengambilan gambar dilakukan setiap 180° dengan konfigurasi kamera shutter speed 1/200, aperture 6.3, iso 400.

4.3 Tahap 3D Stitching

Tahap 3D *stitching* merupakan proses penggabungan foto untuk dijadikan model 3d menggunakan software Agisoft Photoscan Professional. Pada penelitian ini menggunakan Agisoft Photoscan dengan versi 1.2.4 build 2336 (64 bit). Software ini berjalan pada operating sistem berbasis windows. Untuk spesifikasi komputer menggunakan Intel core i5-4690K , ram 16gb, vga Nvidia gt 750 TI 2gb. Dengan menggunakan spesifikasi komputer ini sudah mampu menjalankan software agisoft photoscan profesional. Hasil dari proses 3d stiching digambarkan pada gambar 2.



Gambar 2. Hasil Proses 3D Stitching

Pada gambar 2 terlihat jelas bahwasanya foto yang diambil telah mewakili semua sudut pandangan secara 360°. Dalam tahap ini bentuk 3D masih kasar. Bentuk 3d masih dalam bentuk titik-titik yang masih acak. Untuk tahap selanjutnya adalah proses build dense cloud. Proses ini akan menyatukan titik-titik sehingga akan menjadi bentuk 3d yang lebih bagus dari sebelumnya. Pada tahapan ini ada lima pilihan dalam proses dense cloud yaitu lowest, low, medium, high, ultra high. Terdapat dua tahap pembentukan objek 3d dalam proses 3d Stitching menggunakan agisoft photoscan professional, tahap 1 adalah *build mesh* kemudian dilanjutkan dengan *build tekstur*.

4.4 Pengolahan Data

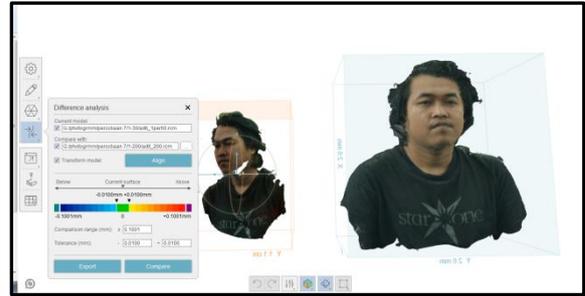
Dalam penelitian ini ada beberapa variabel yang sifatnya berubah dan ada variabel yang sifatnya tetap. Adapun variabel yang berubah adalah shutter speed, resolusi dan angle between photos. Untuk diafragma lensa, focal length dan iso bersifat tetap. Hal ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Daftar Variabel

No	Nama variabel	Simbol	Sifat variabel	Keterangan
1	Tinggi objek	t_o	Tetap	167 cm
2	Lebar objek	l_o	Tetap	48 cm
3	Tinggi kamera	t_c	Tidak tetap	-
4	Kamera	C	Tetap	Canon eos kies X4 (550d)
5	Iso	i	Tetap	400
6	Diafragma	f	Tetap	6.3
7	Shutter speed	ss	Tidak tetap	1/30, 1/60, 1/100, 1/200
8	Resolusi	r	Tidak tetap	3456 x 2304 dan 5184 x 3456
9	Focal length	fl	Tetap	55mm
10	Angle between photo	Abp	Tidak tetap	36°, 60°, 90°, 180°

Pengolahan data akan dilakukan menggunakan analyze tool yang dimiliki oleh software auto desk remake. Pada tahap ini nantinya akan didapatkan 32 kondisi yang berbeda pada setiap eksperimen. Yang dijadikan analisis adalah jumlah vertices, faces, surface area, hole issue, particle dan intersection. Semua kondisi tersebut akan dilakukan analisis. Vertice adalah titik yang membentuk mesh, face adalah permukaan yang dibentuk minimal dari 3 edge dan antar vertice, dan surface area adalah luas area permukaan mesh. Untuk *hole issue* akan terjadi apabila ada bagian mesh yang tidak terbaca atau hilang, sedangkan particle adalah cacat dimana ada bagian mesh yang tidak terhubung dengan baik dan intersection adalah cacat yang terjadi karena tumpang tindih mesh yang tidak

beraturan. Berikut tabel hasil olah data menggunakan autodesk remake analys tool. Untuk menampilkan hasil perbedaan dari proses penelitian, hasil akan di compare seperti gambar 3



Gambar 3. Perbandingan resolusi foto

Pada gambar 3 di paparkan bahwa resolusi yang rendah akan menjadikan hasil 3D tidak sempurna. Selain hasil 3d berkurang detail teksturnya, juga ditimbulkan hole issue pada objek 3D. Inilah yang menjadi alasan bahwasanya resolusi yang tinggi dapat berpengaruh terhadap tingkat detail tekstur model 3D.

Untuk mengetahui hasil perbandingan angle pengambilan gambar dipaparkan pada gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan angle between photo

Pada gambar 4 objek sebelah kiri menggunakan konfigurasi sudut pengambilan gambar 60°. Jika dibandingkan dengan eksperimen 1 yang menggunakan konfigurasi angle between photo 36° jelas terlihat bagian bawah dagu tidak terdapat hole issue. Pada konfigurasi sudut pengambilan gambar 60° terdapat hole issue, hal ini terjadi karena detail objek saat berada pada kondisi mid low tidak tertangkap oleh kamera. Hal ini membuktikan bahwa konfigurasi sudut pengambilan gambar dengan 36° dapat menghasilkan model 3D yang sempurna.

Untuk mengetahui informasi dari hasil objek 3D yang dihasilkan dengan photogrammetry akan dipaparkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis

No	SS	ABP	R (pixel)	Jumlah vertices	Jumlah face	Surface area	Holes issue	Intersections issue	Particle issue
1	1/30	36°	3456 x 2304	654.208	1.105.332	9mm ²	23	5	7
2	1/60	36°	3456 x 2304	715.472	1.267.145	10mm ²	8	9	4
3	1/100	36°	3456 x 2304	670.071	1.113.816	8 mm ²	13	3	9
4	1/200	36°	3456 x 2304	654.986	1.108.716	4 mm ²	10	4	11
5	1/30	36°	5184 x 3456	677.490	1.108.012	6 mm ²	14	7	18
6	1/60	36°	5184 x 3456	812.652	1.388.618	12 mm ²	2	2	2
7	1/100	36°	5184 x 3456	766.163	1.192.301	7 mm ²	7	18	5
8	1/200	36°	5184 x 3456	713.087	1.099539	8 mm ²	10	22	7

Keterangan:

SS = Shutter speed ABP = Angel between photo

R (pixel) = Resolusi

Berdasarkan informasi dari tabel 2 , hasil paling baik yaitu menggunakan konfigurasi angle between photo 36 derajat dan Shutter speed 1/60 dengan resolusi 5184 x 3456. Hal ini ditunjukkan dengan minimnya hole issue yang terbentuk.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diampil kesimpulan sebai berikut :

1. Dampak dari *quality of camera* sangat berpengaruh terhadap visualisasi bentuk 3d yang dihasilkan. Apabila *quality of kamera* tidak terjamin maka hasil visualisasi model 3d menggunakan metode close range photogrammetry ini tidak akan terbentuk secara sempurna. Pengaturan kamera yang kurang tepat dapat menimbulkan foto menjadi tidak fokus, under exposure maupun over exposure. Objek menjadi tidak sempurna dan terdapat hole issue atau lubang. Over exposure juga dapat menimbulkan lubang dalam objek. Sedangkan under exposure akan menimbulkan intersection pada objek.
2. Untuk mendapatkan hasil yang baik dalam photogrammetry ini didapatkan konfigurasi angle beetwen foto 65° dan pengambilan gambar dilakukan berputar setian 15° dengan pengaturan shutter speed 1/60, diafragma 6.3 dan iso 400. Untuk pengambilan gambar dilakukan saat cuaca di luar ruangan benar-benar flat, dalam arti

tidak terlalu gelap dan tidak terlalu terang. Hal ini untuk mengantisipasi objek berada dalam kondisi backlight.

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu untuk pengambilan gambar sebaiknya menggunakan lebih dari 5 sudut kamera dengan konfigurasi sudut pengambilan gambar 36° dan menggunakan shutter remot. Untuk lebih memudahkan kamera diletakkan menggunakan holder pada besi setengah lingkaran yang disesuaikan dengan tinggi objek.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd. Manan Samad Norazlini, Hassan Sauri Muhd Asyraf, Hamdani Ramli Adnan & Anuar Ahmad, 2012, *Kellie's Castle Facade Recording Using Digital Close-Range Photogrammetry*, IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Application
- Abdul Rauf Abdul Rasam Nuraifah wahyu A. Hamid Mimi Zaleha A.Hamid Ismail Maarof & Abd Manan Samad, 2013, *3D Photorealistic Modeling of University Building Using Digital Close Range Photogrammetry*, IEEE
- Arias, P., Lorenzo, H., & Ordoñez, C. (2004). *Simple Methods For Close Range Photogrammetry Surveying Of Rural Industrial Constructions*, In *XXth International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress: Geo-Imagery Bridging Continents* (Vol. 4).
- Chandra K, Ian. Koreksi dan Manipulasi Foto Digital. 2008. PT. Elex Media Komputindo, Jakarta
- Clive Fraser, 2015, *Advances in Close-Range Photogrammetry*, Wichmann/VDE Verlag, Belin & Offenbach, Melbourne
- Gallo, A., Muzzupappa, M. and Bruno, F., 2014. *3D Reconstruction Of Small Sized Objects From A Sequence Of Multi-Focused Images*, Journal of Cultural Heritage, 15(2), pp.173-182.
- How We Used Photogrammetry To Capture Every Last Detail For Star Wars™ Battlefront™*
<http://starwars.ea.com/starwars/battlefront/news/how-we-used-photogrammetry>, diakses pada tanggal 15 September 2016, 08:41:35.
- Lerma, J.L. and Muir, C., 2014, Evaluating the

- 3D documentation of an early *Christian Upright Stone With Carvings From Scotland With Multiples Images*, *Journal of archaeological science*, 46, pp.311-318.
- Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S. and Boehm, J., 2014. *Close-range photogrammetry and 3D Manual of Photogrammetry*, ASPRS, 4th Ed., 1980, p. 1056. <http://104.197.178.73/manual/manual-asprs.pdf>, diakses pada tanggal 6 Agustus 2016, 05:21:39.
- Matthews, N. A., T. A. Noble, and B. H. Breithaupt. 2006. *The Application Of Photogrammetry, Remote Sensing, And Geographic Information Systems (GIS) To Fossil Resource Management*. Pages 119–131 in S. G. Lucas, J. A. Spielmann, P. M. Hester, J. P. Kenworthy, and V. L. Santucci, editors. *Fossils from Federal Lands*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 34.
- Matthews, N. A., T. A. Noble, and B. H. Breithaupt, 2006, *The Application Of Photogrammetry, Remote Sensing, And Geographic Information Systems (GIS) to Fossil Resource Management*. Pages 119–131 in S. G. Lucas, J. A. Spielmann, P. M. Hester, J. P. Kenworthy, and V. L. Santucci, editors. *Fossils from Federal Lands*. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 34.
- Moe, D., Sampath, A., Christopherson, J., & Benson, M., 2010, *Self Calibration of Small and Medium Format Digital Cameras*. *ISPRS TC VII Symposium* (pp. 395-400). Vienna: ISPRS.
- Nugrahajati, P., Targo, E. *Buku Pintar Fotografi dengan Kamera DSLR*, 2011, Kawah Media
- Pfeifle, Sam, 2012, *What is 3D Data?*, SPAR Point Group, Diversified Business Communication, University College London, <http://www.ucl.ac.uk/slade/know/admin/wp-content/uploads/What-is-3D-Data-Capture1.pdf> , diakses pada tanggal 10 Agustus 2016, 08:01:21
- Remondino, F and El-Hakim, S., 2006, *Image-based 3D modeling: a review*. *The Photogrammetric Record Journal* 2006; 21 269-91 https://www.researchgate.net/publication/227786426_Image-based_3D_Modelling_A_Review, diakses pada tanggal 20 Juli 2016, 20:33:05
- Sharlene Pillay, 2015, *Survey Technician, Surveying and Information Departement*, Ethekewini Municipality.
- Sugiono, 2011, *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D)*, Alfabeta, Bandung.
- The Art of Photogrammetry: How To Take Your Photos* <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/>, diakses pada tanggal 26 juli 2016, 18:05:20
- What Is Photogrammetry*, <http://www.photogrammetry.com>, diakses pada tanggal 22 juli 2016, 08:23:19.