

KALIBRASI PARAMETER KAMERA DENGAN PROYEKSI PATERN MENGGUNAKAN PROJECTOR PADA PROSES REKONSTRUKSI 3D BERBASIS STRUCTURED LIGHT

R Dimas Adityo¹, Eko Mulyanto Yuniarno², I Ketut Eddy Purnama³, Mauridhi Hery Purnomo⁴

¹Jurusan Teknik Komputer, Politeknik Sakti Surabaya

^{2,3,4} Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

E-mail: dms@ikc.co.id, ekomulyanto@ee.its.ac.id, ketut@ee.its.ac.id, hery@ee.its.ac.id

ABSTRAK

Sebelum melakukan proses rekonstruksi 3D, Parameter kamera dan karakteristik kamera harus diketahui dengan cara melakukan Kalibrasi, proses kalibrasi biasanya menggunakan media checkerboard yang diletakkan pada sebuah papan. Pada percobaan kami, Patern checker board yang dijadikan acuan ditampilkan dengan cara melakukan proyeksi patern menggunakan LCD Projector. Tujuan dari Kalibrasi ialah untuk mendapatkan parameter instrinsik dan ekstrinsik, Parameter instrinsik meliputi geometri internal kamera dan parameter optik seperti, focal length, koefisien distorsi lensa. Parameter ekstrinsik meliputi orientasi posisi kamera terhadap sistem koordinat dunia. Teknik dalam pengiriman patern atau pola menggunakan projector disebut dengan Structured Light.

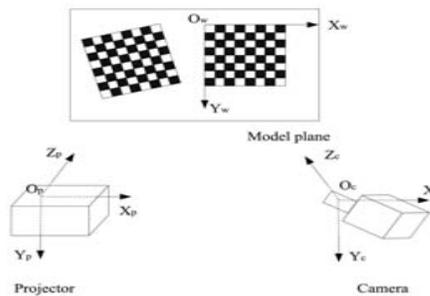
Kata Kunci: Kalibrasi, Focal Length.

1. PENDAHULUAN

Rekonstruksi 3D Merupakan salah ilmu yang sangat menarik untuk dipelajari dalam dunia komputasi Geometri. Sebelum melakukan proses Rekonstruksi 3D Kalibrasi kamera perlu dilakukan untuk mendapatkan beberapa parameter dari kamera digital yang digunakan. Parameter ini meliputi matriks intrinsik dan ekstrinsik. Pembahasan mengenai teknik Rekonstruksi 3D telah lama menjadi topic penelitian yang sangat menarik untuk dipelajari. Beberapa Teknik metode untuk mendapatkan titik – titik 3D dari sebuah obyek / benda yang akan di rekonstruksi antara lain dengan menggunakan teknik *Laserline*, dan *Structured Light*.

Pada paper ini teknik kalibrasi kamera yang pada umumnya menggunakan papan checkerboard. Diganti dengan cara melakukan proyeksi pola checkerboard menggunakan LCD Proyektor, sesuai dengan gambar 1. Melalui program kalibrasi didapatkan Parameter dari matriks intrinsik meliputi 4 unsur yaitu :

- Focal Length, yaitu jarak antara pusat optik lensa dengan titik focus yang terletak pada sensor film.
- Principel Point, yaitu lokasi titik tengah Dari bidang gambar dalam koordinat Pixel.
- Ukuran *pixel* efektif.
- Koefisien distorsi, yaitu koefisien tingkat kelengkungan lensa meliputi radial dan tangensial distorsi. Sedangkan parameter ekstrinsik ini terdiri dari dua buah matriks, yaitu matriks translasi dan matriks rotasi. Parameter ekstrinsik ini menggambarkan orientasi posisi dari kamera terhadap sistem koordinat sebenarnya dalam ruang 3 dimensi atau *world coordinate*.



Gambar 1: Design Percobaan

Gambar 1, merupakan design dari percobaan yang akan kami gunakan dalam penelitian, kemudian pada Gambar 2. merupakan implementasi dengan menggunakan peralatan projector dan kamera. Untuk percobaan ini kami menggunakan 2 unit PC, PC pertama kami gunakan sebagai pembangkit pola patern yang akan diproyesikan kedalam bidang gambar, kemudian PC kedua berfungsi sebagai penangkap citra yang dihubungkan dengan perangkat kamera. Untuk bidang gambar yang akan menerima pola proyeksi kami menggunakan kertas dengan warna dasar hitam.



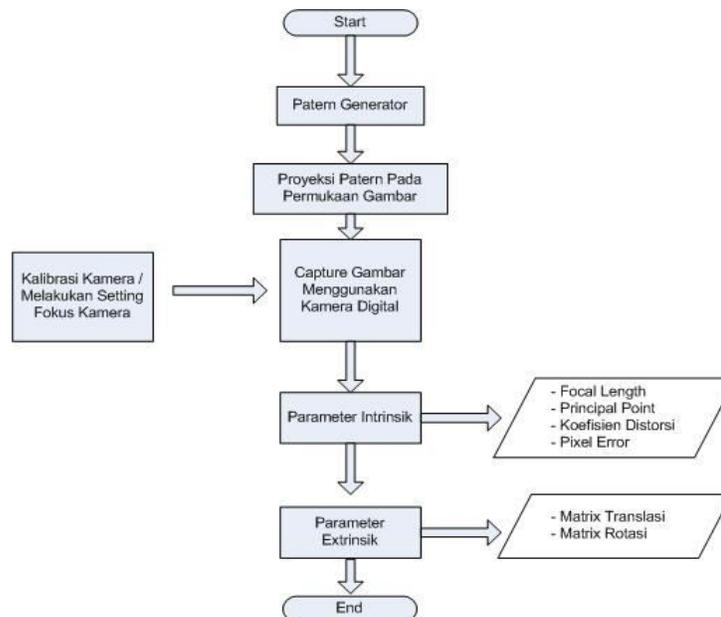
Gambar 2: Susunan Rangkaian Peralatan

2. LATAR BELAKANG

Latar belakang dari penelitian ini, ialah membantu menciptakan sebuah teknik persiapan kalibrasi yang mudah tanpa membutuhkan papan checkerboard pada saat kita melakukan proses 3D scanning menggunakan metode Structured Light sehingga melalui metode ini parameter kalibrasi dari sebuah kamera dapat diperoleh dengan cepat.

3. FLOW CHART

Untuk mendapatkan data yang kami inginkan, dilakukan langkah percobaan sesuai dengan flowchart pada Gambar. 3.



Gambar 3: Flowchart

4. TEORI PENUNJANG

4.1 MODEL KAMERA

Kamera dapat menghasilkan gambar 2 D berasal dari gambar nyata (world coordinate) 3D. Kamera mentransformasi media 3D (world plane) menjadi 2D (image plane) [4]. Model kamera salah satunya adalah pinhole camera, Gambar yang dihasilkan adalah gambar perspektif yang mana Kamera merupakan pusat proyeksi. Semua sinar yang datang akan dikumpulkan menjadi satu pada pusat kamera.



Gambar 4. pinhole kamera

- $Z = f =$ image plane atau focal plane
- Pusat proyeksi adalah pusat kamera
- Garis pusat kamera tegak lurus ke bidang gambar = principal axis atau principal ray
- Titik pertemuan principal axis dan bidang image disebut principal point.
- Bidang yang melewati pusat kamera ke bidang image secara parallel disebut bidang principal camera

Dapat dihitung bahwa titik di $(X, Y, Z)^T$ dapat di mappingkan ke $(fX/Z, fY/Z, f)^T$ sehingga didapat persamaan

$$(X, Y, Z)^T \rightarrow (fX/Z, fY/Z, f)^T \quad (1)$$

Sehingga akan didapat matriks

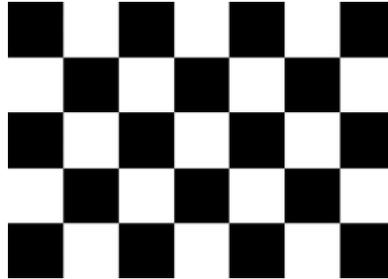
$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} fX \\ fY \\ Z \\ z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

4.2 KALIBRASI KAMERA

Kalibrasi kamera dibagi menjadi dua bagian yaitu :

4.2.1 KALIBRASI PARAMETER INTERNAL

Langkah pertama yang harus diambil sebelum melakukan kalibrasi kamera adalah mengambil beberapa gambar dari *chessboard pattern*, dalam percobaan ini kami mengambil 20 sample gambar. Kemudian melakukan proses deteksi tepi pada *chessboard pattern* dari citra yang telah diproyeksikan. Dengan mengetahui letak titik titik pada *world coordinate* dan *pixel coordinate* maka dapat ditemukan matriks yang menghubungkan keduanya. Matriks inilah yang disebut sebagai matriks intrinsik.



Gambar5. chessboard pattern.

Setelah dilakukan proses kalibrasi maka didapatkan matriks intrinsik dan ekstrinsik dari kamera. Matriks intrinsik (W) terdiri atas focus kamera, titik tengah proyeksi atau *principal point*, ukuran pixel efektif dan koefisien distorsi radial dan tangensial. Matriks intrinsik adalah matriks yang menyatakan geometri dari kamera itu sendiri.

$$Wint = \begin{bmatrix} fx & 0 & Cx \\ 0 & fy & Cy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

4.2.2 KALIBRASI PARAMETER EKSTERNAL

Selain matriks intrinsik, kalibrasi kamera juga menghasilkan matriks ekstrinsik yang merupakan orientasi posisi dari kamera terhadap world coordinate. Matriks ekstrinsik ini terdiri atas matriks rotasi (R) dan matriks translasi (T).

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

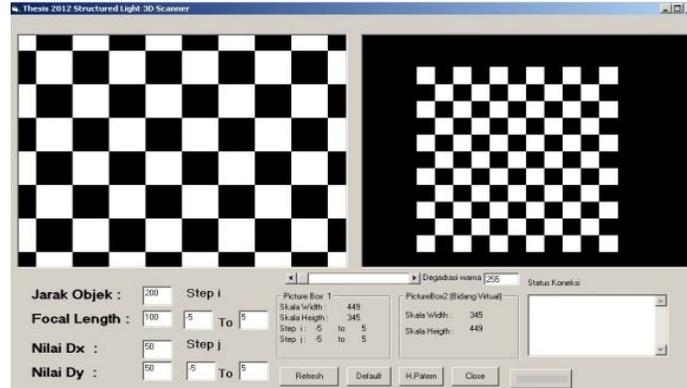
$$T = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Matriks rotasi sebenarnya adalah gabungan dari rotasi terhadap sumbu X, Y dan Z yang masing-masing berotasi dengan sudut (ψ, θ, ϕ).

$$R = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (5)$$

5. METHODOLOGY PENELITIAN

Langkah pertama yang harus diambil sebelum melakukan kalibrasi kamera adalah mengambil beberapa gambar dari *chessboard pattern* dengan menggunakan software pembangkit checkerboard, Sesuai gambar 6, Nilai Jarak Objek dan Focal length telah ditentukan melalui software.



Gambar 6: Software *Chessboard Pattern*

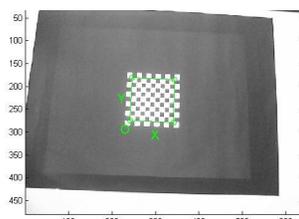
dalam percobaan kami mengambil 11 sample citra Checkerboard dengan berbagai posisi, seperti pada gambar 7. Kemudian melakukan pencarian titik-titik *chessboard pattern* pada gambar. Dengan mengetahui letak titik titik pada *world coordinate* dan *pixel coordinate* maka dapat dicari matriks yang menghubungkan keduanya. Matriks inilah yang disebut sebagai matriks intrinsik. Untuk mendapatkan matriks ekstrinsik dari kamera, dilakukan dengan cara memproyeksikan model virtual chessboard dari layar komputer ke bidang Gambar hingga diperoleh nilai Translasi dan Rotasi pada bidang Nyata (X,Y,Z)



Gambar 7: Beberapa sample proyeksi patern checker board pada bidang Gambar.

5.1 Mendapatkan Nilai Parameter Intrinsik

Untuk mendapatkan parameter intrinsik kamera, dilakukan dengan menggunakan beberapa langkah procedure, yang pertama ialah dengan melakukan deteksi tepi / ekstrasi kornet dari bidang checkerboard sebanyak 11 kali sesuai dengan gambar 8



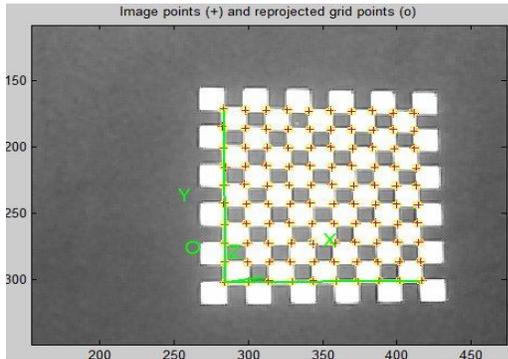
Gambar 8: Deteksi Tepi Checkerboard

Tujuan dari deteksi tepi untuk mendapatkan nilai X, Y pada Bidang Gambar. Setelah beberapa gambar di Ekstrak nilai cornernya akan didapat nilai dari parameter Internal Camera Antara lain sbb:

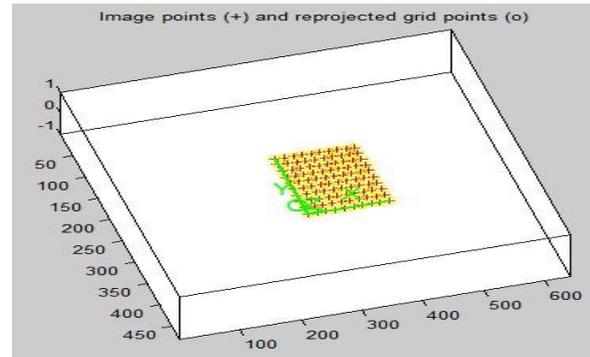
Focal Length: $fc = [829.60744 \quad 800.79599] \pm [71.15948 \quad 62.92107]$
 Principal point: $cc = [314.34458 \quad 181.76288] \pm [26.50983 \quad 41.26414]$
 Skew:
 $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000]$
 \Rightarrow angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000 degrees
 Distortion:
 $kc = [0.18889 \quad -2.98662 \quad -0.00309 \quad -0.00102 \quad 0.00000] \pm [0.15406 \quad 2.69919 \quad 0.01934 \quad 0.01228 \quad 0.00000]$

5.2. Mendapatkan Nilai Parameter Extrinsik

Setelah mendapatkan matriks intrinsik, langkah berikutnya mencari nilai parameter Extrinsik. Nilai parameter Extrinsik merupakan orientasi posisi dari kamera terhadap world coordinate. Matriks ekstrinsik ini terdiri atas matriks rotasi (R) dan matriks translasi (T).



Gambar 9: Pencarian Parameter Extrinsik Pada Koordinat Dunia



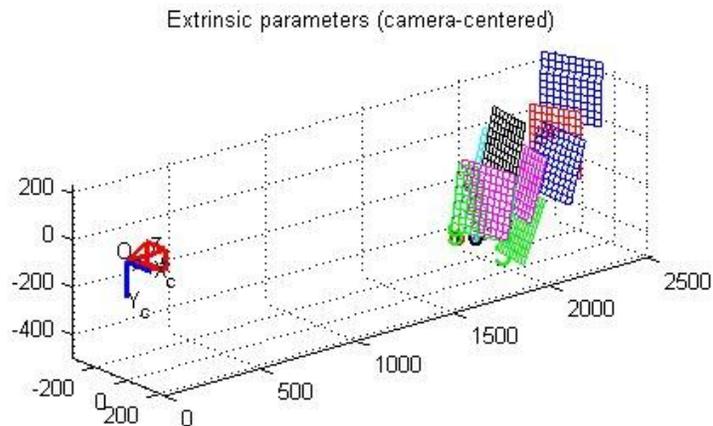
Gambar 10: Hasil Visualisasi Pada Koordinat Dunia (X,Y,Z)

6. HASIL PERCOBAAN

Dari Serangkaian Ujicoba diperoleh hasil percobaan nilai parameter Intrinsik dan Extrinsik kamera .

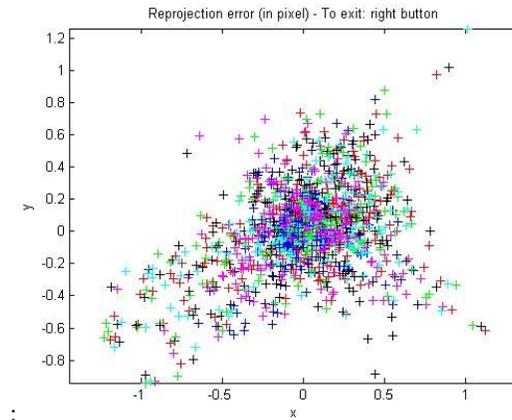
6.1 Parameter Intrinsik

Secara visualisasi nilai parameter intrinsik kamera dari dijelaskan pada gambar



Gambar 11: Visualisasi nilai parameter ekstrinsik

Dari hasil percobaan, nilai Error Proyeksi Parameter Matrix intrinsik



Gambar 12: Hasil Error Kalibrasi Internal Kamera

6.2 Extrinsic parameters:

Translation vector: $Tc_ext = [-27.291101 \quad 272.000036 \quad 1704.563516]$
Rotation vector: $omc_ext = [2.891396 \quad -0.051299 \quad 0.442488]$
Rotation matrix: $Rc_ext = [\begin{matrix} 0.954170 & -0.066688 & 0.291740 \\ -0.001829 & -0.976137 & -0.217150 \\ 0.299259 & 0.206664 & -0.931522 \end{matrix}]$
Pixel error: $err = [0.56540 \quad 0.50234]$

7. KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat kami peroleh kesimpulan sebagai berikut :

Dengan Metode ini, Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan mudah tanpa perlu menggunakan Papan Checker Board, sehingga melalui proses ini parameter kalibrasi intrinsik maupun ekstrinsik bisa diperoleh dengan cepat, hal ini tentunya sangat mendukung bila digunakan dalam teknik rekonstruksi 3D menggunakan Structured Light.

PUSTAKA

- [1] Zhang, Zhengyou. Flexible Camera Calibration by Viewing a Plane from Unknown Orientation. In International Conf. on Computer Vision, 1999
- [2] Janne Heikkilä and Olli Silven. *A four-step calibration procedure with implicit image correction*, Infotech Oulu and Department Electrical of Engineering University of Oulu (1997). Finland
- [3] Roger Y. Tsai. A Versatile Camera Calibration Technique for High-Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-Shelf TV Camera and Lenses. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, Vol. RA-3, No. 4, August 1987
- [4] Richard Hartley and Andrew Zisserman. *Multiple View Geometry in computer vision*. Cambridge University press. 2003.
- [5] Elena Stoykova, Jane Harizanova, Ventslav Sainov: Pattern Projection Profilometry for 3D Coordinates Measurement of Dynamic Scenes. in *Three Dimensional Television*, Springer, 2008, ISBN 978-3-540-72531-2
- [6] Tsioukas, P. Patias, P.F. Jacobs. A Novel System For The 3d Reconstruction Of Small Archaeological Objects. Mississippi State University, Cobb Institute of Archaeology. tt