

KALIBRASI PARAMETER KAMERA DENGAN PLATE CALIBRATION PADA 3D LASER SCANNER

Fendik Eko P¹, Eko Mulyanto², I Ketut Edy Purnama³, Mauridhi Hery Purnomo⁴
^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
Telp. (031) 5947274 ext. 1206, Faks. (031) 5931237
E-mail: fendik10@mhs.ee.its.ac.id, ekomulyanto@ee.its.ac.id, ketut@ee.its.ac.id, hery@ee.its.ac.id.

ABSTRAK

Kalibrasi kamera merupakan hal yang penting pada 3D laser scanner, untuk menentukan posisi kamera terhadap koordinat dunia didalam frame. Pada penelitian-penelitian sebelumnya banyak yang menggunakan papan siku sebagai cheesboard kalibrasi, ini menimbulkan permasalahan pemantulan sinar laser menjadi tidak merata dikarenakan terdapat kotak hitam dan putih sehingga kotak hitam banyak menyerap sinar laser dibandingkan kotak putih. Pada penelitian ini kami mencoba memperbaikinya dengan merubah letak cheesboard berada dibawah sehingga papan siku dapat maksimal memantulkan sinar laser. Hasil sementara yang didapat adalah kamera dapat terkalibrasi menggunakan plate calibration dengan focal length $f_c = [689.727533646402090 ; 688.701046438875550]$; Principal point: $cc = [351.977481986223210 ; 248.370491399469810]$; ukuran gambar $n_x = 640$; $n_y = 480$ pada kamera PROLINK PPC2050. Sehingga didapat koordinat 3D dalam frame tersebut dan juga posisi kamera terhadap koordinat frame.

Kata kunci: Kalibrasi eksternal Kamera, plate Calibration, 3D laser scanner.

1. PENDAHULUAN

3D laser scanner merupakan salah satu cara untuk mendapatkan obyek 3D dari benda sesungguhnya dengan cara *scanning* menggunakan laser line, seperti terlihat pada gambar 1. Cara ini memiliki keunggulan yaitu bisa mendapatkan hasil scan lebih detail jika dibandingkan dengan scanner 3D yang lain. Sedangkan kekurangannya adalah harganya yang mahal serta permasalahan pada obyek (obyek harus benda padat serta tidak banyak pantulan cahaya). Penelitian tentang laser scanner di Indonesia tergolong minim, hal ini yang mendorong penulis untuk mengangkat masalah tersebut diatas.

Untuk mengawali penelitian ini kami membahas kalibrasi kamera yang memiliki peranan penting dalam menentukan parameter intrinsik kamera dan juga ekstrinsik kamera dari parameter kalibrasi tersebut dapat diketahui posisi kamera dalam koordinat dunia.

Penelitian tentang 3D laser scanner dan kalibrasi kamera antara lain: H-J.Pryzbilla dan J. Peipe meneliti tentang warisan cagar budaya (benda pusaka) di modelkan 3D dengan laser scanner[1]. M.Ionnides dan A.Wher meneliti tentang pemodelan 3D pada arkeologi[2]. Cara baru kalibrasi kamera oleh B.W.He dan Y.F.Li[3]. Empat langkah kalibrasi kamera menggunakan implicit Image Correction oleh Janne Heikkila dan Olli Silven[4]. Cara baru untuk rekonstruksi obyek 3D berukuran kecil oleh V.Tsioukas, P.Patiás, P.F. Jacobs[5]. Permasalahan yang dihadapi pada penelitian sebelumnya adalah menggunakan papan siku sebagai cheesboard kalibrasi, ini menimbulkan permasalahan pemantulan sinar laser menjadi tidak merata dikarenakan terdapat kotak hitam dan putih sehingga

kotak hitam banyak menyerap sinar laser dibandingkan kotak putih

Pada penelitian ini kami mencoba memperbaikinya dengan merubah letak cheesboard berada dibawah sehingga papan siku dapat maksimal memantulkan sinar laser. Hasil sementara yang didapat adalah kamera dapat terkalibrasi menggunakan plate calibration sehingga didapat koordinat 3D dalam frame tersebut dan juga posisi kamera terhadap koordinat frame.

Pembahasan dalam paper ini terdiri dari lima bahasan yaitu: pertama pendahuluan, kedua teori penunjang, ketiga proses kalibrasi, keempat hasil yang didapat dan kelima kesimpulan.



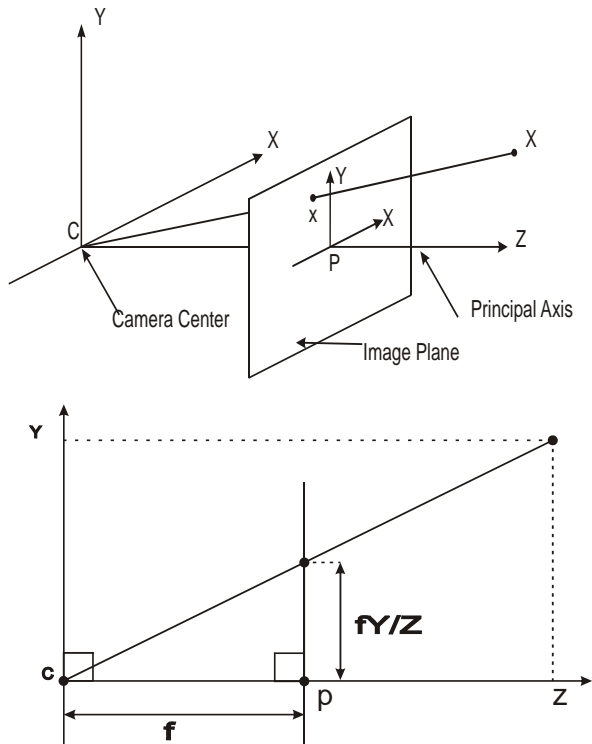
Gambar 1. Prototipe laser scanner dilihat dari kamera

2. TEORI PENUNJANG

2.1 Model Kamera

Kamera dapat menghasilkan gambar 2D berasal dari gambar nyata (*world coordinates*) 3D. Kamera mentransformasi media 3D (*world plane*) menjadi 2D (*image plane*). Model kamera salah satunya adalah pinhole camera, Gambar yang dihasilkan

adalah gambar perespertif yang mana Kamera merupakan pusat proyeksi. Semua sinar yang datang akan dikumpulkan menjadi satu pada pusat kamera.



Gambar 2. pinhole kamera

- $Z = f$ = image plane atau focal plane
- C = Pusat proyeksi adalah pusat kamera
- P = Garis pusat kamera tegak lurus ke bidang gambar = principal axis atau principal ray
- Titik pertemuan principal axis dan bidang image disebut principal point (cc)
- 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 matrik

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} fx \\ fy \\ z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} f & & 0 \\ & f & 0 \\ & & 1 \\ & & & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

2.2 Kalibrasi Kamera

Kalibrasi kamera dalam penelitian ini menggunakan metode yang digunakan oleh Janne Heikkila[4]. Dengan memanfaatkan bidang dasar (*plate*) dari papan siku, untuk mendapatkan parameter intrinsik dan ekstrinsik kamera.

2.2.1 Kalibrasi Parameter Internal

Kalibrasi intrinsik dibutuhkan untuk mentransformasi koordinat dari obyek ke dalam koordinat kamera. Pada model kamera pinhole telah dijelaskan bagaimana prinsip terbentuknya gambar dengan prinsip kamera. Dimana koordinat asli kamera adalah (x_0, y_0, z_0) terletak pada pusat proyeksi. Dimana sumbu z tegak lurus dengan bidang gambar. Untuk merotasi sebuah titik pada gambar dibutuhkan sudut Euler yaitu ω, ϕ, κ , di rotasikan pada tiga sudut x, y, z . Rotasi pertama pada x -axis, kedua y -axis dan terakhir pada z -axis.

Dalam mendapatkan titik P koordinat (X_i, Y_i, Z_i) dalam koordinat gambar, pertama kita membutuhkan transformasi titik tersebut kedalam koordinat kamera (x_i, y_i, z_i) . Transformasi ini terdiri dari transformasi dan rotasi, jika diformasikan dalam matrik adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} M_{12} &= \sin\omega \sin\phi \cos\kappa - \cos\omega \sin\kappa & m_{11} &= \cos\phi \cos\kappa \\ M_{22} &= \sin\omega \sin\phi \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa & m_{21} &= \cos\phi \sin\kappa \\ M_{13} &= \cos\omega \sin\phi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa & m_{31} &= -\sin\phi \\ M_{23} &= \cos\omega \sin\phi \sin\kappa - \sin\omega \cos\kappa & m_{32} &= \sin\omega \cos\phi \\ M_{33} &= \cos\omega \cos\phi \end{aligned}$$

Intrinsik kamera didalamnya terdapat *focal length* (f), faktor skala (s_u), dan pusat gambar (u_0, v_0) biasa disebut *principal point*. Dalam bidang gambar memiliki koefisien koordinat (D_u, D_v) dan dirubah dalam pixel. Didapat dari frame kamera, nilai ini biasanya tidak sama karena masih terdapat *focal length* (f), faktor skala (s_u). Dengan menggunakan pinhole proyeksi titik (x_i, y_i, z_i) pada gambar didapat dengan persamaan:

$$\begin{bmatrix} \tilde{u}_i \\ \tilde{v}_i \end{bmatrix} = \frac{f}{z_i} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} \quad (4)$$

Koresponden koordinat gambar (u_i, v_i) dalam pixel diperoleh dari proyeksi $(\tilde{u}_i, \tilde{v}_i)$ dengan menerapkan transformasi:

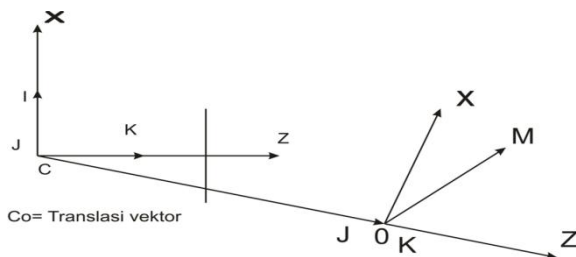
$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_u & s_u & \tilde{u}_i \\ & & \tilde{v}_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_0 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Pinhole hanyalah model aproksimasi dari proyeksi kamera. Model ini merupakan persamaan matematis yang menghubungkan obyek dengan koordinat gambar. Untuk distorsi kamera kami memperhitungkan hal tersebut dengan nilai 1, yaitu diabaikan. Hasil yang didapat dalam kalibrasi internal kamera adalah nilai dari matrik K, yaitu:

$$Wint = \begin{bmatrix} fx & 0 & Cx \\ 0 & fy & Cy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2.2 Kalibrasi Parameter Eksternal

Selain matriks intrinsik, kalibrasi kamera juga harus dikalibrasi eksternal agar mengetahui posisi kamera terhadap koordinat dunia. Disini kami menggambarkan sebuah titik yang dirotasi dan ditranslasikan menggunakan ekstrinsik kamera.



Gambar 3. Rotasi dan translasi kamera

$$CM=CO+OM \quad (7)$$

Dari gambar diatas dapat dibuat persamaan untuk merotasi dan translasi matrik, sehingga menghasilkan matriks ekstrinsik yang merupakan orientasi posisi dari kamera terhadap koordinat dunia. Matriks ekstrinsik Terdiri dari atas matriks rotasi (R) dan matriks translasi (T).

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (8)$$

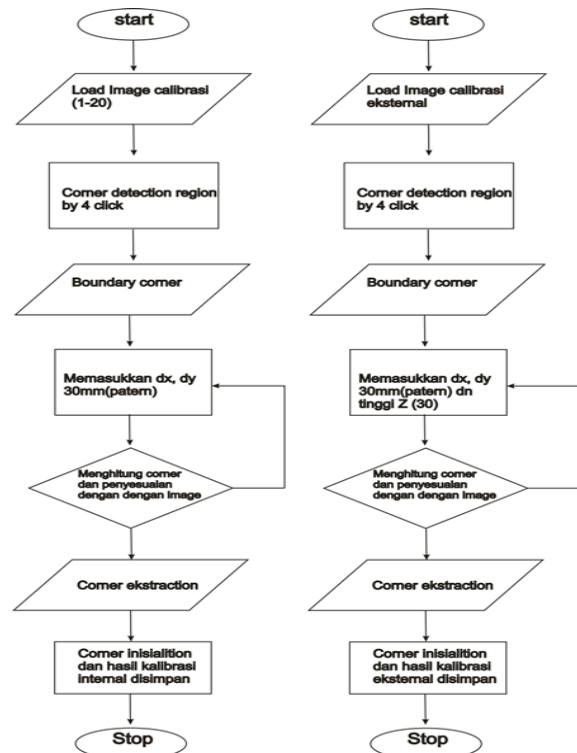
$$T = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix} \quad (9)$$

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

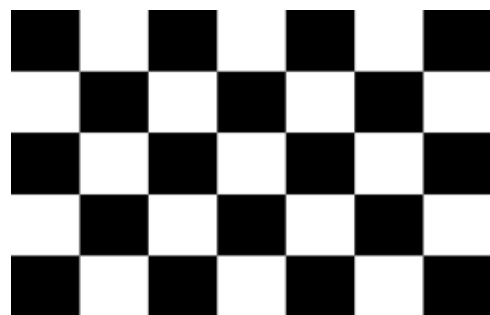
$$R = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \psi & -\sin \psi \\ 0 & \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \quad (10)$$

3. PROSES KALIBRASI

Dalam hal ini kami menggunakan toolbox matlab calib, tetapi kami modifikasi sehingga pada saat kalibrasi eksternal dapat digunakan sebagai koordinat 3D obyek yang di scan.



Kalibrasi internal Kalibrasi eksternal
Gambar 4. Flochart kalibrasi



Gambar 5. Cheesboard calibration

Gambar 5 menunjukkan *cheesboard* yang bertujuan supaya corner yang ter bentuk dari sudut-sudutnya dapat terdeteksi sebagai titik yang teratur dalam koordinat gambar. Langkah-langkah kalibrasi antara lain sebagai berikut:

3.1. Pengambilan Gambar

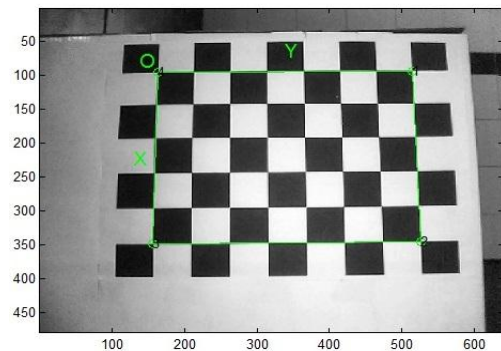
Gambar chessboard di ambil dalam berbagai posisi minimum 20 gambar, ini bertujuan supaya dalam ekstraksi corner dapat merata dari beberapa sudut, gambar ini kemudian dirubah menjadi *gray scale* dalam *preprocessing image*.

3.2. Pembacaan Gambar

Gambar yang sudah *dipreprocessing* disimpan dalam satu folder calib sehingga mudah dalam eksekusi, lalu dibaca oleh program matlab.

3.3. Corner Detection Region

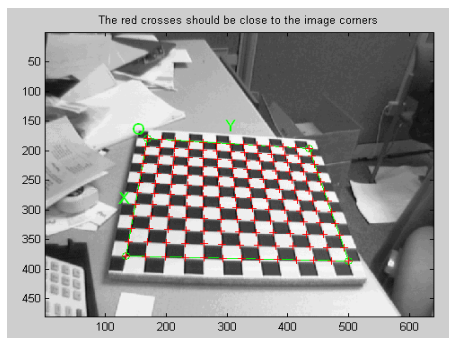
Menentukan bagian corner yang akan dideteksi menggunakan klik 4 langkah yaitu, pojok awal terus pojok kanan dari pojok awal, lalu bawah kanan dan terakhir bawah pojok kiri. Sehingga akan terbentuk corner region yang tepat, seperti ditunjukkan pada gambar:



Gambar 6. Hasil dari corner detection region

3.4. Boundary Corner

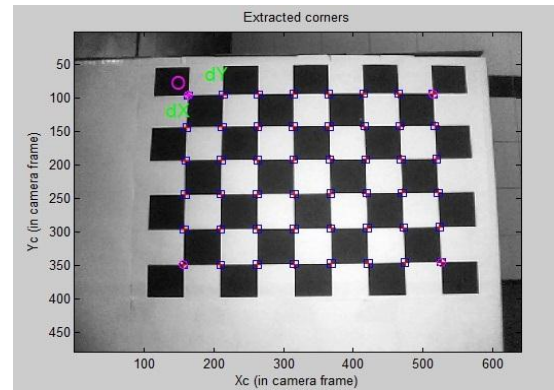
Boundary corner yang bagus adalah garis hasil corner detection dan pojok-pojok setiap gambar berhimpit, jika hal ini tidak terjadi maka perlu diadakan perbaikan distorsi, hasil boundary corner seperti dibawah ini:



Gambar 7. Hasil dari boundary corner

3.5. Menghitung Corner dan Corner Ekstraktion

Dalam langkah ini kita masukkan nilai antar kotak dalam keadaan sebenarnya (30mm) sehingga nilai yang ada menjadi besarnya jarak referensi antar titik dalam koordinat dunia, sedangkan hasilnya adalah jarak antar corner dalam gambar.



Gambar 8. Hasil corner ekstraktion

3.6. Corner Inisialisation

Dalam hal ini hasil kalibrasi dari masing – masing gambar dihitung dan dicari error sehingga parameter kalibrasi bisa didapat

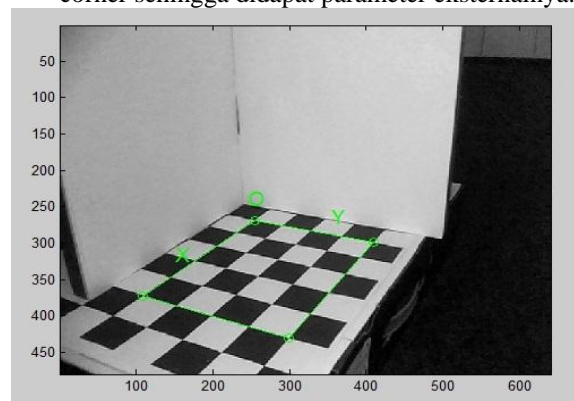
3.7. Kalibrasi Internal

Setelah 1-20 gambar diekstrak nilai cornernya akan didapat nilai dari parameter internal camera antarlain sebagai berikut:

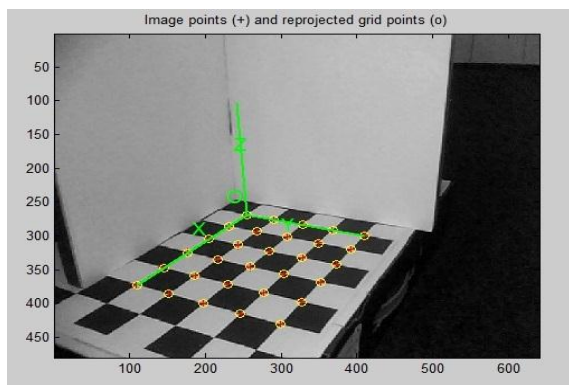
```
%-- Focal length:
fc = [ 689.727533646402090 ; 688.701046438875550 ];
%-- Principal point:
cc = [ 351.977481986223210 ; 248.370491399469810 ];
%-- Skew coefficient:
alpha_c = 0.000000000000000;
%-- Distortion coefficients:
kc = [ -0.077864766233317 ; -0.161893280077051 ; -
0.004478410062365 ; 0.000891445511091 ; 0.000000000000000
];
%-- Image size:
nx = 640;
ny = 480;
```

3.8. Kalibrasi Eksternal

Sebelum menggunakan kalibrasi eksternal, terlebih dahulu melakukan loading kalibrasi internal. Pada bagian ini diambil gambar lengkap bidang chessboard dengan papan pembentuk pola laser selanjutnya diekstraksi corner sehingga didapat parameter eksternalnya.



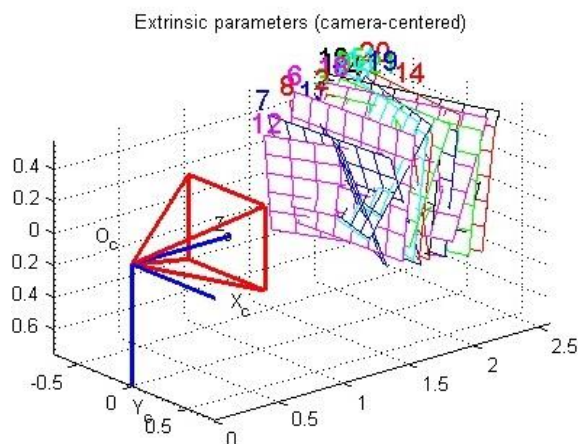
Gambar 9. Hasil deteksi X, Y



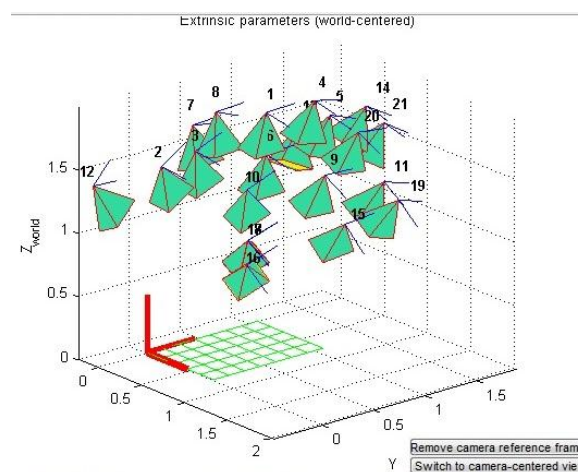
Gambar 10. Hasil deteksi koordinat x, y, z

4. HASIL EKSPERIMEN

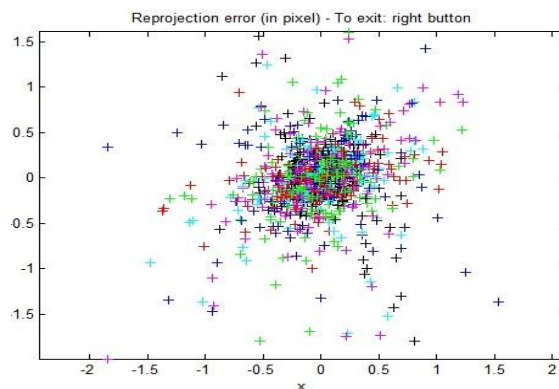
Dalam kalibrasi ini diperoleh hasil yaitu data kalibrasi parameter internal kamera dan juga hasil proyeksi kalibrasi hasil. error pada kalibrasi internal kamera



Gambar 11. Hasil proyeksi chessboard kalibrasi internal



Gambar 12. Hasil proyeksi kamera pada kalibrasi internal



Gambar 13. Hasil error kalibrasi internal kamera

Hasil kalibrasi eksternal didapatkan sebagai berikut:

Extrinsic parameters:

Translation vector:
 $T_{c_ext} = [-71.683549 \quad 14.386578 \quad 499.096928]$

Rotation vector:
 $omc_ext = [1.204252 \quad 1.868901 \quad -1.241454]$

Rotation matrix:
 $R_{c_ext} = [\begin{matrix} -0.419197 & 0.907840 \\ -0.009995 & 0.361165 \\ 0.156648 & -0.919250 \\ -0.832967 & -0.388957 \\ -0.393547 & \end{matrix}]$

Pixel error:
 $err = [0.31197 \quad 0.29451]$

5. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. metode ini dapat digunakan sebagai kalibrasi kamera pada yang nantinya akan digabungkan dengan 3D laser scanner
2. dalam kalibrasi internal terdapat error besar sehingga perlu diperbaiki
 $fc_error = [3.254077170257425 ; 3.178926602060231]$;
 $cc_error = [4.601613148064455 ; 3.519587554055267]$;
3. dalam kalibrasi eksternal terdapat error
 $err = [0.31197 \quad 0.29451]$ masih baik digunakan.

PUSTAKA

- [1] Zhang, Zhengyou. Flexible Camera Calibration by Viewing aPlane from Unknown Orientation. In International Conf. on Computer Vision, 1999
- [2] Janne Heikkilla and Olli silven. *A four-step Calibration procedure with Implicit Image Correction*, Infotech Oulu and Departement 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] Arjun Jain, Christian Kurz, Thorsten Hormahlen, and Hans-Peter Seidel Max-Planck Institut Informatik. tt
- [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
- [7] Ana S. Ferreira, A. Paulo Moreira, Paulo G. Costa. Low-Cost System for Object Positioning Through Laser-Camera Triangulation. University of Porto Department of Electrical and Computer Engineering Porto – Portugal. tt