



## Modul Instrumentasi Optik

Naila Zahra, S.T., M.T

### 1 PENDAHULUAN

Instrumentasi optik memanfaatkan fenomena dan interaksi optik untuk beragam keperluan pengukuran. Perkembangan instrumen optik sangat pesat mulai dari kamera digital yang digunakan pada berbagai kesempatan hingga perangkat teleskop untuk mengamati benda-benda angkasa, maupun mikroskop untuk mengamati ragam hayati berskala mikro. Kamera merupakan salah satu instrumen optik yang pemanfaatannya sangat luas, mulai dari keperluan di dunia hiburan hingga keperluan saintifik. Sebagai contoh, di bidang sistem otonomus dan robotika kamera berperan sebagai indera penglihatan yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi kondisi spasial lingkungannya, baik dimensi maupun warna objek. Pada praktikum ini, akan diamati bagaimana kamera dapat dimanfaatkan dalam memberikan informasi pemetaan kondisi ruang 3D menjadi informasi 2D melalui kalibrasi kamera dan melihat pemanfaatan kamera dalam sistem sederhana untuk pengukuran jarak.

### 2 KOMPETENSI

Kompetensi yang didapat melalui praktikum ini adalah:

- Memahami kegunaan dan cara kalibrasi kamera untuk keperluan pengukuran
- Memahami pengukuran jarak dengan sistem laser-kamera
- Menggunakan pengolahan citra untuk keperluan pengukuran

### 3 PERALATAN

Peralatan yang perlu disediakan dan digunakan pada praktikum ini adalah:

- Kamera Digital
- Pola kalibrasi papan catur
- Perangkat lunak MATLAB
- Dua buah laser LED
- Busur derajat
- Meteran

### 4 TEORI DASAR

#### 4.1 Kamera Digital dan Kalibrasi

Salah satu penggunaan perangkat optik yang paling umum adalah untuk mendapatkan foto atau citra. Citra dapat kita definisikan sebagai representasi objek 3D pada suatu media 2D, baik film maupun sensor. Optika geometri memungkinkan model formasi citra dari berkas cahaya. Setiap cahaya yang

berinteraksi dengan objek membawa informasi objek tersebut, dengan demikian apabila setiap cahaya tersebut dapat ditangkap maka citra yang merepresentasikan objek dapat diperoleh dengan baik. Pencitraan objek dapat disesuaikan dengan karakter objek melalui refraksi maupun refleksi cahaya.

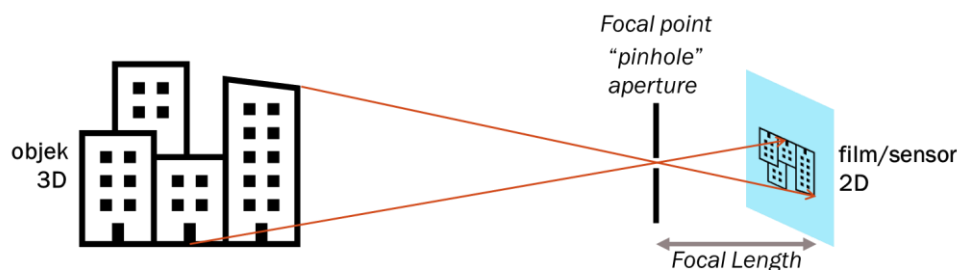
Fenomena pembentukan citra pada kamera umumnya merujuk pada model kamera lubang jarum, yaitu sebuah kamera tanpa lensa yang dengan bukaan *aperture* sangat kecil (“pinhole”).

#### 4.1.1 Model Kamera Lubang Jarum

Kamera lubang jarum memiliki karakter sebagai berikut:

- Memiliki *depth of field* tak hingga, sehingga semua objek terfokus
- Tidak menggunakan lensa sehingga tidak terdapat distorsi
- Butuh waktu *exposure* tinggi menyebabkan objek bergerak menghasilkan citra yang kabur

Model kamera lubang jarum merupakan suatu model kamera ideal yang memberikan hubungan matematis proyeksi titik objek pada koordinat 3D menjadi koordinat pada citra 2D. Oleh karena itu, model kamera lubang jarum umum digunakan dalam menjelaskan kemampuan kamera dalam mendapatkan informasi ruang 3D pada aplikasi visi komputer. Sebagaimana diketahui, setiap berkas cahaya, yang jumlahnya sangat banyak, yang berinteraksi dengan objek memberikan informasi mengenai objek tersebut. Dengan adanya bukaan celah lubang jarum, berkas cahaya dari objek seolah-olah tersaring sehingga memungkinkan pemetaan titik per titik antara objek 3D dengan citra 2D pada film/sensor. Jarak antara bidang 2D dengan celah lubang jarum/*focal point*/pusat kamera disebut dengan *focal length*.



Gambar 1 Model kamera lubang jarum

#### 4.1.2 Kamera dan Lensa

Pada kamera modern, digunakan susunan lensa untuk memfokuskan ataupun menyebarkan cahaya (sesuai keperluan), sehingga parameter *focal length* sistem kamera dengan lensa adalah jarak antara pusat lensa dengan titik fokus. Penggunaan lensa memungkinkan fleksibilitas desain perangkat kamera terhadap jarak perekaman maupun ukuran objek. Namun demikian, penggunaan lensa menyebabkan distorsi pada citra yang terekam. Karena model kamera lubang jarum, tidak menggunakan lensa, maka model tersebut tidak mempertimbangkan adanya parameter distorsi akibat lensa. Terdapat dua jenis distorsi lensa, yaitu distorsi radial yang diakibatkan perbedaan *focal length* pada area lensa sedangkan distorsi tangensial terjadi ketika bidang citra tidak paralel dengan lensa kamera.

#### 4.1.3 Parameter Intrinsik dan Ekstrinsik Kamera

Berdasarkan model kamera lubang jarum, parameter kamera dibagi menjadi dua jenis, yaitu parameter intrinsik dan ekstrinsik. Parameter intrinsik terdiri *focal length* ( $f_x$  &  $f_y$ ), *optical center* ( $c_x$  &  $c_y$ ), dan *skewness* ( $s$ ), merepresentasikan transformasi proyeksi koordinat 3D-2D. Parameter ekstrinsik berhubungan dengan representasi kamera pada ruang 3D yang terdiri dari parameter rotasi dan translasi.

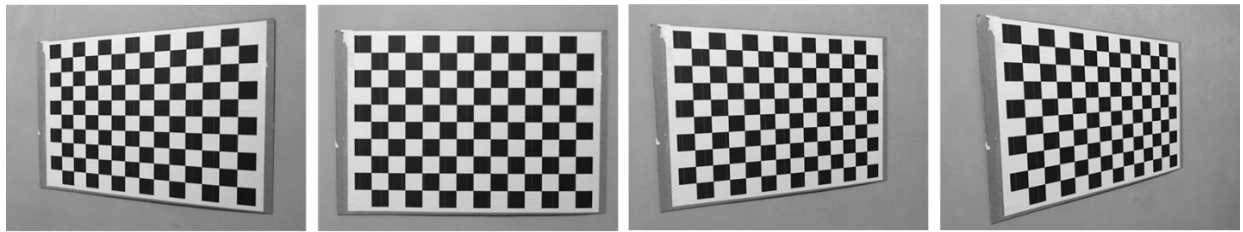
$$w\ m = A\ [R, t]\ M \quad (1)$$

$$A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & 0 \\ s & f_y & 0 \\ c_x & c_y & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Persamaan (1) menunjukkan model pemetaan citra dari ruang 3D.  $M$  adalah koordinat objek pada ruang 3D,  $m$  adalah koordinat objek pada citra 2D,  $w$  adalah faktor skala perekaman,  $A$  adalah matriks parameter intrinsik, dan  $[R, t]$  adalah parameter ekstrinsik (rotasi dan translasi).

#### 4.1.4 Kalibrasi Kamera

Untuk mengetahui secara presisi transformasi dari ruang nyata 3D menjadi citra digital, maka perlu pengetahuan mengenai parameter intrinsik kamera, yang sering kali informasinya tidak dapat diakses atau bahkan tidak tersedia. Maka dari itu dilakukan kalibrasi kamera untuk mendapatkan estimasi parameter intrinsik dan ekstrinsik kamera. Jika citra perekaman dianggap sebagai suatu matriks, maka matriks pada persamaan (1) dapat diselesaikan apabila kita mengetahui dimensi objek pada dunia nyata. Untuk melakukan kalibrasi kamera biasanya digunakan alat bantu kalibrasi berupa pola-pola yang dimensinya diketahui. Terdapat banyak pola kalibrasi kamera yang dikembangkan, salah satu yang populer digunakan adalah pola papan catur seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 2 Pola kalibrasi papan catur

## 4.2 Pengukuran Jarak dengan Dua Bintik Laser

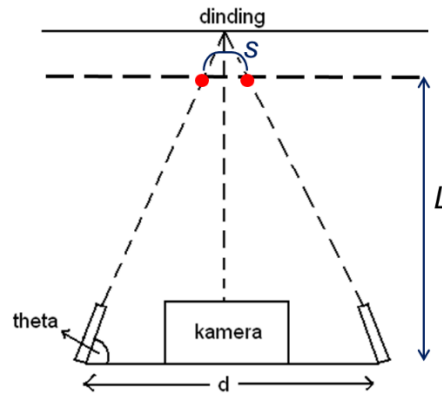
### 4.2.1 Konfigurasi Triangulasi

Konfigurasi triangulasi dari perangkat optik untuk keperluan pengukuran sangat umum digunakan untuk keperluan pengukuran non kontak maupun *remote sensing*, salah satunya untuk pengukuran jarak. Konfigurasi triangulasi memanfaatkan hubungan kesebangunan segitiga antara sumber cahaya-objek-detektor. Suatu sumber cahaya menyinari satu titik pada objek, citra dari berkas cahaya tersebut kemudian akan terbentuk pada bidang sensor. Ketika objek bergerak, maka citra pun akan

bergeser pada sensor. Dengan mengukur posisi titik cahaya pada citra, maka jarak objek terhadap sistem dapat ditentukan dengan syarat jarak dan sudut konfigurasi diketahui.

Pada pengukuran jarak dengan dua bintang laser, digunakan sumber cahaya berupa dua buah laser dan sebuah kamera digital sebagai detektor. Konfigurasi perangkat keras ditunjukkan pada gambar [2].

$$L = \frac{(d-s) \tan \theta}{2} \quad (4)$$



Gambar 3 Konfigurasi pengukuran jarak menggunakan dua bintang laser

#### 4.2.2 Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah salah satu bagian dari pengolahan sinyal, yaitu pengolahan sinyal multidimensi. Di bidang instrumentasi dan kontrol, pengolahan citra banyak dilakukan untuk keperluan pengukuran. Oleh karena itu penting untuk dapat melakukan pengolahan citra dengan optimal agar dapat dilakukan analisa dengan tajam.

##### 4.2.2.1 Ruang warna

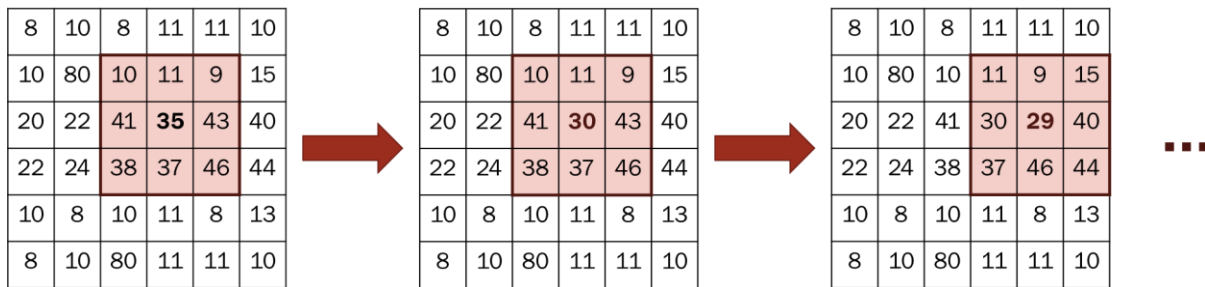
Citra berwarna digital didapat dari kombinasi lebih dari satu kanal warna. Kombinasi kanal warna ini disebut sebagai ruang warna. Salah satu ruang warna adalah RGB (*red-green-blue*) yang paling umum digunakan untuk merepresentasikan citra digital. Suatu citra berwarna akan memiliki matriks 3D yang masing-masing indeks berturut-turut merepresentasikan intensitas warna merah, hijau, dan biru. Ruang warna RGB berangkat dari model spektrum gelombang elektromagnetik cahaya tampak. Pembentukan warna pada ruang RGB bersifat non linier sehingga kurang cocok untuk analisa persepsi warna. Ruang warna lainnya adalah HSV, *hue* merepresentasikan panjang gelombang dominan suatu warna, *saturation* menunjukkan kemurnian warna, dan *value* merepresentasikan tingkat luminans. Ruang warna HSV memungkinkan pemisahan antara informasi warna dan pencahayaan dari suatu citra [3].

##### 4.2.2.2 Filtering

*Filtering* pada pengolahan citra digital adalah salah satu teknik untuk meningkatkan kualitas citra atau yang dikenal sebagai *image enhancement*. Tujuan dari *image enhancement* adalah agar informasi visual yang terkandung pada citra dapat diperoleh dengan kejernihan yang lebih tinggi, baik

melalui penghilangan *noise*, penajaman, maupun *blurring*. *Image enhancement* memiliki kecenderungan subjektif karena sangat bergantung terhadap informasi yang diinginkan pengamat.

Berdasarkan domain kerjanya filter dikategorikan menjadi dua, yaitu *spatial filtering* dan *frequency filtering*. *Linear spatial filtering* merupakan jenis filter paling umum dan banyak digunakan untuk keperluan *noise removal*. Pada *linear spatial filtering* nilai terfilter ditentukan oleh kombinasi linier dari piksel bertetangga (*neighborhood pixel*) yang ditentukan oleh kernel  $N \times N$ . Secara sederhana, prosedur *filtering* dilakukan dengan menggeser kernel ke seluruh area citra asli, melakukan operasi matematika pada pixel yang dilalui kernel sesuai fungsi bebannya, serta merekonstruksi citra baru dari hasil operasi kernel tersebut [3]. Beberapa jenis fungsi filter linear adalah: mean, median, dan gaussian. Gambar menunjukkan ilustrasi prosedur mean filtering dengan kernel  $3 \times 3$ .



Gambar 4 Ilustrasi kernel pada mean filter

#### 4.2.2.3 Thresholding

*Thresholding* merupakan salah satu jenis segmentasi citra paling sederhana, yaitu proses pembagian citra menjadi beberapa area sesuai karakter dari piksel yang umumnya digunakan dalam deteksi objek sehingga mempermudah analisa citra. *Thresholding* menghasilkan citra biner berdasarkan nilai batas intensitas  $T$  yang ditentukan.

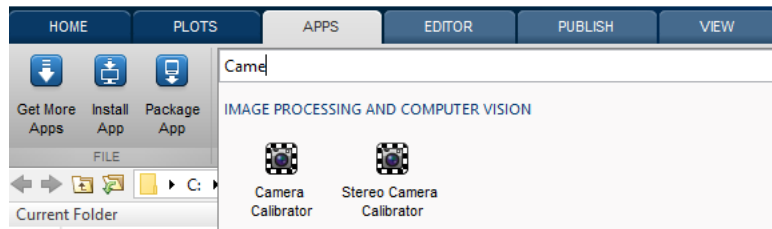
$$b(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jika } I(x, y) > T \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

Salah satu metode *thresholding* yang dapat menentukan batas secara global dan otomatis adalah metode Otsu yang membagi citra menjadi dua kelompok: *background* & *foreground* [4].

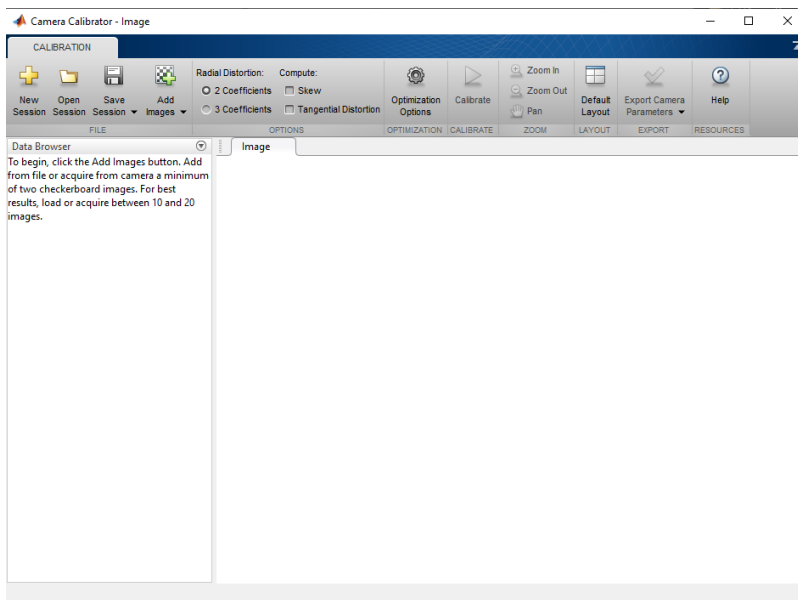
## 5 PETUNJUK TEKNIS

### 5.1 Kalibrasi Kamera

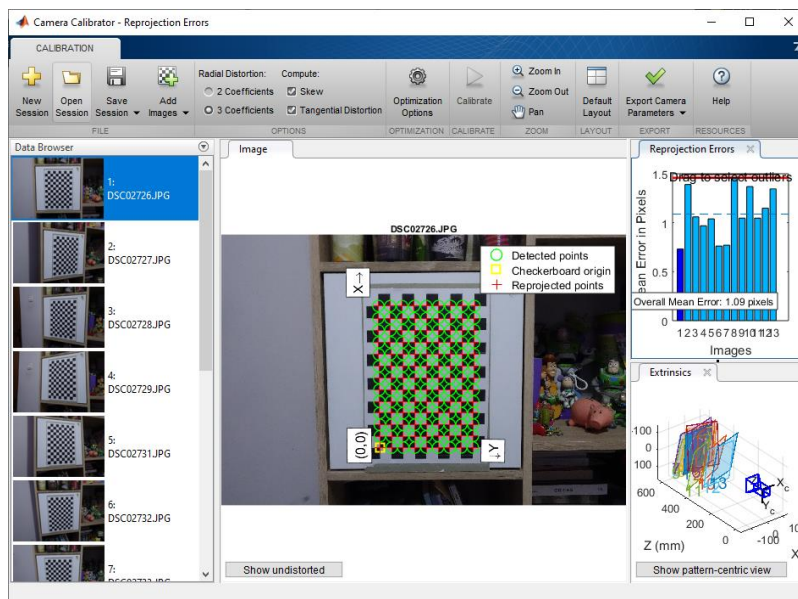
Pada praktikum ini, akan digunakan salah satu aplikasi pada MATLAB, yaitu Camera Calibrator yang dapat diinisiasi dengan perintah `cameraCalibrator` ataupun melalui menu *Apps > Image Processing and Computer Vision* seperti pada Gambar 4. Jendela Camera Calibrator akan terbuka seperti tampak pada Gambar 5, pilih menu *Add Images* untuk memilih citra kalibrasi dan mendeteksi titik sudut pada pola papan catur. Pada jendela Camera Calibrator, hasil dari kalibrasi akan muncul pada jendela *reprojection error* dan *extrinsics parameter* seperti pada Gambar 6, selain itu dapat dilakukan ekspor parameter kamera untuk menyimpan parameter sebagai data yang akan muncul pada workspace utama.



Gambar 5 Menu Camera Calibrator pada Apps ribbon



Gambar 6 Tampilan Camera Calibrator



Gambar 7 Hasil kalibrasi dalam reprojection error dan peta parameter ekstrinsik

## 5.2 Persiapan Pola Papan Catur

Untuk melakukan kalibrasi kamera, akan digunakan pola papan catur. Pola bisa diperoleh dari asisten praktikum atau dapat diunduh melalui tautan berikut ini:

- Pola 1 : [A4 - 20mm squares - 13x9 verticies, 14x10 squares](#)
- Pola 2 : [A4 - 45mm squares - 5x3 verticies, 6x4 squares](#)

Setelah diunduh, cetak pola pada selembar kertas. Kemudian tempel pola pada permukaan datar yang kokoh untuk memastikan pola tidak bergelombang, misalkan karton, duplex, akrilik, ataupun sampul buku *hardcover*. Selanjutnya, sebelum melakukan kalibrasi pastikan ukuran dimensi kotak dengan melakukan pengukuran menggunakan penggaris.

## 5.3 Pengukuran Jarak Dengan Bintik Laser

Berikut adalah parameter konfigurasi perangkat keras pengukuran jarak dengan bintik laser:

Parameter	Simbol	Spesifikasi
Jarak kamera-laser	$\frac{1}{2} d$	15 cm
Sudut laser	$\theta$	80°

Selain itu, berikut ini perangkat keras yang digunakan:

Perangkat	Tipe	Spesifikasi
Kamera	iPhone 7+	12 MP, f/1.8, 28mm
Laser	LED <i>pointer</i>	650nm, 5mW, merah

# 6 TUGAS PENDAHULUAN

Sebelum memulai praktikum, kerjakanlah tugas pendahuluan berikut ini sesuai arahan asisten praktikum.

- 1) Jelaskan konsep triangulasi yang dinyatakan lewat persamaan (4)!
- 2) Jelaskan perbedaan filtering pada domain spasial dan filtering pada domain frekuensi spasial!
- 3) Jelaskan tentang filter gaussian pada konteks filter spasial!
- 4) Jelaskan dengan bahasa sendiri apa yang dimaksud dengan *reprojection error*!
- 5) Jelaskan apa yang dimaksud dengan distorsi radial dan distorsi tangensial serta tuliskan formulasinya!

# 7 PRAKTIKUM

## 7.1 Kalibrasi Kamera

Untuk kegiatan praktikum bagian pertama mengenai kalibrasi kamera, gunakanlah kamera yang tersedia, boleh menggunakan kamera *handphone*, *webcam*, DSLR, atau kamera digital lainnya.

### 7.1.1 Kalibrasi Kamera

Pada percobaan ini kita akan melakukan kalibrasi kamera untuk mendapatkan estimasi parameter sebuah kamera digital. Gunakanlah pola 1 yang sudah disiapkan sebelumnya.

1. Siapkan pola papan catur dan letakkan pada bidang datar
2. Ambillah foto pola papan catur dari beragam sudut yang berbeda
3. Pindahkan citra dari kamera ke komputer
4. Jalankan program MATLAB dan buka aplikasi Camera Calibrator
5. Lakukan kalibrasi kamera dengan memilih citra dari poin 2. Lakukan kalibrasi dengan jumlah citra 5, 10, dan 15 frame.
6. Lakukan perhitungan 3 *coefficient Radial Distortion*, *skew*, serta *Tangential Distortion*.
7. Amati hasil kesalahan reprojeksi dan estimasi parameter ekstrinsik
8. Lakukan perbaikan kalibrasi apabila terdapat kesalahan pemetaan parameter ekstrinsik dan usahakan *reprojection error* hingga bernilai  $\leq 1$  pixel.
9. Apabila hasil kalibrasi sudah memuaskan, *export* dan simpan parameter kamera yang didapatkan
10. Laporkan parameter yang didapat dari kalibrasi yang dilakukan

### 7.1.2 Aplikasi Parameter Kamera untuk Menghilangkan Distorsi Citra

Berdasarkan parameter yang didapatkan dari percobaan sebelumnya, pada praktikum ini parameter tersebut akan kita gunakan untuk melakukan koreksi distorsi citra.

1. Rekam 5 buah citra dari lingkungan di sekitar dengan kamera yang digunakan pada percobaan sebelumnya
2. Dengan menggunakan parameter yang didapatkan pada praktikum sebelumnya, lakukan koreksi citra menggunakan perintah: `undistortImage`
3. Amati perbedaannya

### 7.1.3 Kalibrasi Kamera: Perbandingan Pola Papan Catur

Pada percobaan kali ini, kita akan melihat apakah ada perbedaan dari penggunaan pola papan catur yang berbeda.

1. Siapkan pola 1 dan 2.
2. Lakukan kalibrasi dengan jumlah citra yang sama
3. Laporkan parameter yang didapatkan dari penggunaan ketiga pola tersebut

## 7.2 Pengukuran Jarak Dengan Bintik Laser

---

### 7.2.1 Pengukuran Jarak dengan IMDISTLINE

Dari data set yang ada ([https://drive.google.com/drive/folders/1Hi2\\_HDhdI7tbHCoqG0aiem4-wLldowrq?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1Hi2_HDhdI7tbHCoqG0aiem4-wLldowrq?usp=sharing)), lakukan pengukuran jarak antara dua bintik laser:

1. Baca setiap *frame* citra: dapat dilakukan dengan perintah `imshow(FILENAME)`



2. Setelah *figure handle* muncul, pada *command window* berikan perintah `imdistline` untuk memunculkan “penggaris” pada *figure handle* yang aktif
3. Lakukan pengukuran jarak antara dua bintik laser
4. Catat jarak yang didapatkan pada setiap *frame* (dalam piksel)

### 7.2.2 Pengukuran Jarak dengan Pengolahan Citra

Pada kegiatan praktikum kali ini, akan diupayakan untuk mendeteksi ukuran jarak antara dua bintik laser dengan menggunakan pengolahan citra:

1. *Import* dataset citra ke dalam *workspace* dengan perintah `imread(filename)`
2. Pilih *region of interest* dari masing-masing citra dengan perintah `imcrop`
3. Lakukan *filtering* dengan tipe filter
  - a) Mean dengan ukuran kernel 3, 15, dan 55
  - b) Gaussian dengan standar deviasi 5, 10, dan 25
4. Konversi ruang warna citra dari RGB menjadi HSV
5. Lakukan *thresholding* terhadap citra saturasi
6. Deteksi bintik laser menggunakan fungsi `imfindcircles`, bintik laser yang terdeteksi dapat divisualisasikan dengan perintah `viscircles`
7. Hitung jarak antara bintik laser terdeteksi dengan menggunakan fungsi `pdist`, catat.
8. Ulangi untuk seluruh dataset

## 8 TUGAS PRAKTIKUM (ANALISIS)

### 8.1 Kalibrasi Kamera

- Dari kegiatan kalibrasi kamera, didapatkan estimasi parameter-parameter kamera, carilah referensi dan kajilah masing-masing parameter yang didapatkan
- Kaji dan berikan evaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi:
  - Penolakan terhadap citra pada saat deteksi pola papan catur
  - Nilai *reprojection error*, penyebab *error*, serta upaya untuk menurunkan *reprojection error*
- Evaluasi parameter distorsi dan berikan komentar mengenai distorsi lensa pada kamera yang diamati
- Evaluasi pengaruh dari pola-pola papan catur yang digunakan

### 8.2 Pengukuran Jarak dengan Bintik Laser

- Buatlah *flowchart* pengolahan citra yang dilakukan
- Berikan analisis terhadap hasil pengukuran dengan kedua metode pengolahan data yang dilakukan,
- Carilah referensi dan jelaskan kapan dan mengapa dilakukan konversi ruang warna RGB ke HSV?
- Bagaimana pengaruh penggunaan jenis filter dan parameternya terhadap hasil pengukuran?
- Hasil pengukuran yang didapatkan dari kedua metode masih berupa satuan piksel, menurut anda bagaimana cara agar didapatkan besar jarak dalam satuan panjang?

### 8.3 Ekstra

- Rekomendasikan tahapan pengolahan citra untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat!
- Rekomendasikan algoritma pengolahan citra agar hasil bisa didapatkan serentak untuk seluruh dataset (lampirkan *source code*)!

## 9 REFERENSI

- [1] Jean-Yves Bouguet. "Camera Calibration Toolbox for Matlab". Oktober 2015. Diakses pada: 22 Februari 2021. URL: [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/).
- [2] A. Handojo, E. Juliastuti. Salindia Kuliah Teknik Optika: Perekaman Citra dengan CCD. Teknik Fisika ITB. 2014.
- [3] C. Solomon & T. Breckon. Fundamentals of Digital Image Processing: A Practical Approach with Examples in Matlab. Wiley-Blackwell. 2011.
- [4] Nobuyuki Otsu. "A threshold selection method from gray-level histograms". IEEE Trans. Sys. Man. Cyber. 9 (1): 62–66. (1979). doi:10.1109/TSMC.1979.4310076

## 10 CONTOH SOURCE CODE PRAKTIKUM 6.1.2

```
>> sampel_1=imread('D:\Lab IK\Dataset\210222\IMG_9528.jpg');
>> sampel_crop=imcrop(sampel_1,[1200 1300 2000 400]);
>> sampel_filter=imgaussfilt(sampel_crop,10);
>> sampel_hsv=rgb2hsv(sampel_filter);
>> sampel_sat=sampel_hsv(:,:,2);
>> t=graythresh(sampel_sat);
>> bintik=(sampel_sat>t);
>> imshow(bintik)
>> [centers,radii] = imfindcircles(bintik,[20 50],'ObjectPolarity','dark',
'Sensitivity',0.9)
>> viscircles(centers,radii);
>> D=pdist(centers);
```