

## Pengukuran Dimensi Nonkontak pada Objek Bola, Silinder, dan Kubus dengan Metode Triangulasi Menggunakan Laser Garis

### *Non-Contact Dimension Measurement on Spherical, Cylindrical, and Cube Objects by Triangulation Method Using Line Laser*

**Gianto\*, Muhamad Barron Maksalmina, Decky Ari Irwanto, Vera Firmansyah, Dudi Adi Firmansyah, Budi Yasri, Azis Muslim, Willi Sutanto, Nandang Gunawan Tunggal Waras**

Akademi Metrologi dan Instrumentasi, Jl. Raya Bandung - Sumedang Km 25, Kutamandiri, Kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, 45362

Email\* : gianto@akmet.ac.id

**Abstrak** - Pengukuran dimensi secara kontak mengharuskan alat ukur menyentuh permukaan objek ukur. Metode tersebut dapat menyebabkan goresan pada objek ukur. Salah satu solusi dari kendala tersebut adalah pengukuran nonkontak berbasis optik menggunakan kamera dengan proses konversi piksel ke satuan panjang. Beberapa metode mengharuskan objek referensi selalu ada dan ditampilkan pada citra hasil rekaman. Sebagai standar ukuran, objek referensi seharusnya tidak terlalu sering digunakan. Berdasarkan hal tersebut, tujuan penelitian adalah menghasilkan sistem pengukuran nonkontak dengan penggunaan objek referensi hanya saat kegiatan kalibrasi. Penelitian ini menggunakan prinsip triangulasi berbasis *laser scanner* dengan penerapan metode pengolahan citra untuk mendapatkan ukuran objek berdasarkan koordinat piksel dari berkas laser yang mengenai permukaan objek. Metode yang diusulkan kemudian diuji pada objek ukur berupa bola dengan diameter 111,50 mm, kubus dengan panjang rusuk 20,00 mm, dan silinder dengan diameter 82,00 mm dan tinggi 140,00 mm (berdasarkan hasil pengukuran menggunakan jangka sorong dengan daya baca 0,02 mm). Hasil pengukuran nonkontak pada objek ukur adalah 111 mm pada pengukuran diameter bola, 20 mm pada pengukuran rusuk kubus, 82 mm pada pengukuran diameter silinder, dan 140 mm pada pengukuran tinggi silinder. Hasil penelitian ini diterapkan pada objek ukur berupa anak timbangan yang berbentuk silinder di bidang metrologi.

**Kata kunci** : *Laser scanner*, pengolahan citra, triangulasi, laser garis

**Abstract** - Contact dimensional measurement requires the measuring instrument to touch the surface of the measuring object. This method can cause scratches on the measuring object. One solution to this problem is optical-based non-contact measurement using a camera with a pixel to unit length conversion process. Some methods require that the reference object always exists and is displayed on the resulting image. As a size standard, reference objects should not be used too often. Based on this, the purpose of the research is to produce a non-contact measurement system with the use of reference objects only during calibration activities. This research uses the principle of laser scanner-based triangulation with the application of an image processing method to obtain the size of the object based on the pixel coordinates of the laser beam that hits the surface of the object. The proposed method was then tested on measuring objects in the form of a sphere with a diameter of 111.50 mm, a cube with a rib length of 20.00 mm, and a cylinder with a diameter of 82.00 mm and a height of 140.00 mm (based on the measurement results using a caliper with a reading power of 0.02 mm). The results of non-contact measurements on the measuring object are 111 mm in the measurement of the diameter of the ball, 20 mm in the measurement of the ribs of the cube, 82 mm in the measurement of the cylinder diameter, and 140 mm in the measurement of the height of the cylinder. The results of this research are applied to measuring objects in the form of cylindrical test weights in the field of metrology.

**Keywords** : *Laser scanner*, image processing, triangulation, line laser

## I. PENDAHULUAN

Pengukuran dimensi merupakan aspek penting dalam beberapa industri manufaktur. Umumnya pengukuran tersebut dilakukan untuk memastikan produk yang dihasilkan memiliki akurasi dan konsistensi yang diperlukan sesuai dengan spesifikasi desain. Proses pengukuran dimensi tersebut melibatkan penggunaan berbagai alat ukur, seperti mikrometer, jangka sorong, dan mesin pengukur koordinat atau *Coordinate Measuring Machine* (CMM) untuk memastikan produk akhir memenuhi toleransi yang ditetapkan.

Pada proses pengukurannya, alat-alat ukur ini harus disentuh dengan permukaan objek ukur. Sifat pengukuran dimensi dengan cara tersebut dikenal sebagai pengukuran kontak. Terdapat kekurangan ketika dilakukan pengukuran dimensi secara kontak, di antaranya risiko kerusakan objek yang diukur akibat goresan alat ukur, keterbatasan alat ukur untuk menjangkau fitur-fitur objek yang kompleks, dan kecepatan sampling titik-titik ukur yang rendah [1]. Pengukuran profil secara kontak juga memiliki keterbatasan jika diterapkan pada permukaan yang elastis, dan tidak memungkinkan untuk diterapkan pada objek dengan temperatur yang tinggi [2].

Pengukuran secara nonkontak menjadi solusi untuk mengatasi kendala pada pengukuran secara kontak. Pengukuran nonkontak dengan sistem optik adalah salah satu cara untuk melakukan pengukuran secara nonkontak karena tidak mengharuskan adanya sentuhan langsung antara alat ukur dengan permukaan objek ukur. Kelebihan pengukuran dimensi optik, di antaranya mengefisieni waktu yang digunakan ketika objek diukur, meminimalisir hasil pengukuran yang bersifat subjektif dan mengurangi dampak *error* akibat penglihatan manusia yang kurang mumpuni ketika mengukur secara manual [3-4].

Penerapan pengukuran nonkontak dengan sistem optik untuk mengukur dimensi pernah diteliti sebelumnya. Salah satu contoh referensinya yaitu penelitian berjudul “Prototipe Alat Pengukur Dimensi Diameter Silinder Berbasis Kamera *Smartphone*” [5]. Pengukuran diameternya dilakukan pada tangki air plastik. Kekurangan penelitian tersebut masih menggunakan benda referensi yang harus diikutsertakan dalam pengambilan citra. Benda referensi berupa kertas origami ditempelkan pada tangki air yang berfungsi sebagai pembanding ukuran dengan objek ukur tersebut. Penelitian selanjutnya dengan

judul “Akurasi Pengujian Diameter Pelat Orifice Dengan Analisis Citra OpenCV” mengukur diameter pelat orifice dan masih menggunakan benda referensi berupa koin di samping pelat tersebut untuk kalibrasi prototipe [6]. Penggunaan benda referensi juga dapat ditemukan di penelitian yang berjudul “Prototipe Pendeteksi Dimensi Anak Timbangan Berbasis Kamera *Smartphone*” [7]. Penelitian tersebut mengukur diameter dari anak timbangan dengan benda referensi berupa persegi yang telah diketahui nilainya. Ketiga penelitian tersebut mengharuskan persamaan perspektif antara objek referensi dengan objek ukur. Objek referensi juga harus selalu ada dan tampil pada citra ketika pengukuran dilakukan. Penelitian tersebut juga terbatas pada pengukuran diameter dari objek ukur.

Berdasarkan hal tersebut, pengembangan yang dilakukan bertujuan untuk melengkapi parameter dimensi berupa tinggi dari objek ukur. Penelitian ini juga menerapkan metode triangulasi berbasis laser garis. Objek referensi hanya digunakan sekali untuk keperluan kalibrasi parameter yang digunakan pada pengukuran berbasis pengolahan citra. Prinsip triangulasi dengan metode *laser scanner* dapat menghasilkan profil permukaan dari objek ukur. Pengukuran dimensi secara nonkontak diterapkan pada objek ukur berupa bola, kubus, dan silinder. Hasil pengukuran tersebut juga dapat diterapkan pada benda yang ukurannya diatur oleh peraturan perundangan seperti anak timbangan [8]. Penelitian ini menggunakan kamera Sony  $\alpha 6400$  sebagai pengambilan citra, pixel dari proyeksi laser garis untuk menentukan nilai dimensi, dan *software* Octave untuk melakukan pengolahan citra. Hasil pengolahan citra pada penelitian ini menampilkan data nilai dimensi diameter dan tinggi dari objek ukur.

## II. METODOLOGI

### A. Alur Kerja Penelitian

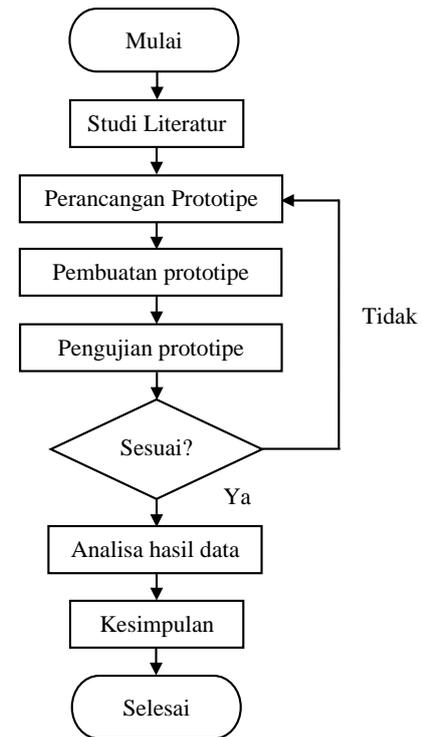
Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Dimensi Akademi Metrologi dan Instrumentasi (Akmet). Metode yang digunakan dalam penelitian sistem pengukuran berbasis pengolahan citra ini adalah metode *Analysis, Design, Development, Implementation*, dan *Evaluation* (ADDIE). Metode tersebut diharapkan menghasilkan pendekatan sistematis dan terstruktur dalam perancangan dan pengembangan dari sistem pengukuran dimensi objek dengan metode triangulasi berbasis laser garis. **Gambar 1** menunjukkan alur kerja penelitian ini.

## B. Perancangan Sistem

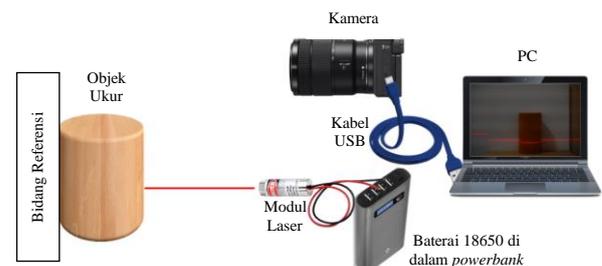
Sistem pengukuran berbasis pengolahan citra ini dirancang menggunakan beberapa komponen yang dapat diterapkan untuk prinsip triangulasi dengan metode *laser scanner* [9-14]. Masing-masing komponen yang digunakan memiliki fungsi. Kamera berfungsi untuk perekaman citra objek ukur. Lensa kamera ini memiliki spesifikasi  $f/3,5-5,6$  16-50 mm dengan jarak fokus lensa  $d$  yang digunakan pada penelitian ini adalah 50 mm. Modul laser berfungsi untuk memproyeksikan sinar laser ke arah objek ukur dan bidang referensi. Modul laser yang digunakan memiliki spesifikasi, di antaranya tegangan kerja 3-5V DC, panjang gelombang 650 nm, daya laser 5 mW, dan berkas cahaya berwarna merah. Berkas sinar laser yang digunakan berbentuk garis horisontal. Baterai 18650 dalam *powerbank* berfungsi sebagai sumber tegangan yang dihubungkan dengan modul laser. Parameter  $s$  yang digunakan adalah setengah dari nilai ukuran sensor sebesar 7,8 mm (berdasarkan spesifikasi kamera). Parameter  $H$  didapatkan dari hasil pengukuran langsung menggunakan penggaris dengan daya baca 1 mm. Nilai  $H$  hasil pengukuran menggunakan penggaris divalidasi dengan kalibrasi menggunakan objek ukur referensi berupa tinggi silinder. Nilai  $H$  yang telah tervalidasi selanjutnya digunakan sebagai parameter untuk konversi piksel ke satuan panjang pada pengukuran dimensi objek yang lain, yaitu diameter bola, rusuk kubus, dan diameter silinder. Proses konversi satuan piksel ke satuan panjang yang menggunakan parameter-parameter pada **Tabel I** memberikan hasil pengukuran dimensi objek dengan Nilai Skala Terkecil (NST) 1 mm. **Gambar 2** dan **Gambar 3** menunjukkan skematik instalasi tampak samping sistem pengukuran dimensi objek menggunakan laser garis dengan prinsip triangulasi.

Tabel I. Parameter perekaman citra untuk pengukuran objek

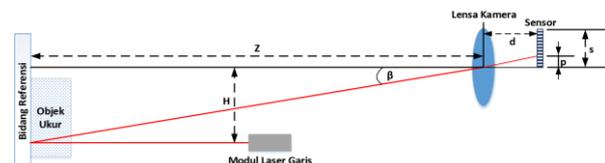
Jenis Parameter	Nilai Parameter
Resolusi citra	6000×4000 piksel
Jarak fokus ( $d$ )	50 mm
Baris citra berdasarkan garis tengah horisontal lensa	Baris ke-2000
Setengah ukuran sensor kamera pada arah vertikal ( $s$ )	7,8 mm
Jarak garis tengah horisontal lensa dengan berkas laser output dari modul ( $H$ )	60 mm



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Skematik komponen sistem yang digunakan

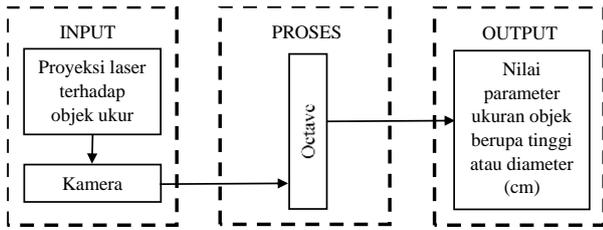


Gambar 3. Skematik instalasi sistem pengukuran dimensi objek menggunakan laser garis dengan prinsip triangulasi

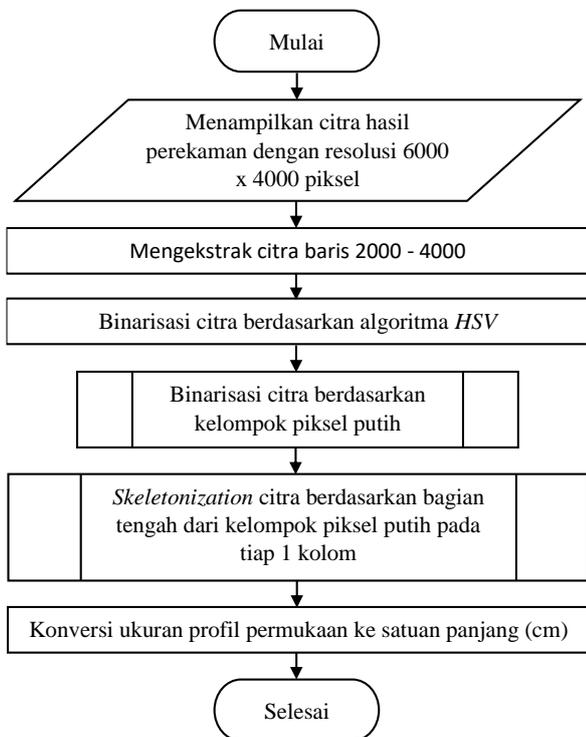
## C. Cara Kerja Sistem

Cara kerja sistem yaitu berkas laser diproyeksikan terhadap objek ukur dan bidang referensi. Objek ukur harus terletak di tengah perekaman citra dan memiliki garis tengah horisontal lensa ketika citra diambil menggunakan kamera. Hasil citra yang telah direkam, selanjutnya dikirimkan ke *Personal Computer* (PC) melalui kabel USB. Berkas laser yang diproyeksikan pada permukaan objek akan mendapatkan deviasi garis laser hasil refleksi pada permukaan objek. Deviasi garis laser tersebut dianalisis untuk mendapatkan ketinggian  $z$  pada posisi  $y$  menggunakan *software*

Octave. Ukuran sensor dan jarak sensor dengan lensa pada spesifikasi kamera dapat memberikan kontribusi pada proses konversi dari satuan piksel menjadi satuan panjang [15]. Hasil konversi tersebut akan mendapatkan nilai parameter dimensi objek berupa tinggi atau diameter dalam satuan milimeter (mm). Pada **Gambar 4** ditunjukkan diagram blok kerja dari sistem prototipe pengukuran dimensi objek menggunakan laser garis dengan prinsip triangulasi.



Gambar 4. Diagram blok kerja sistem

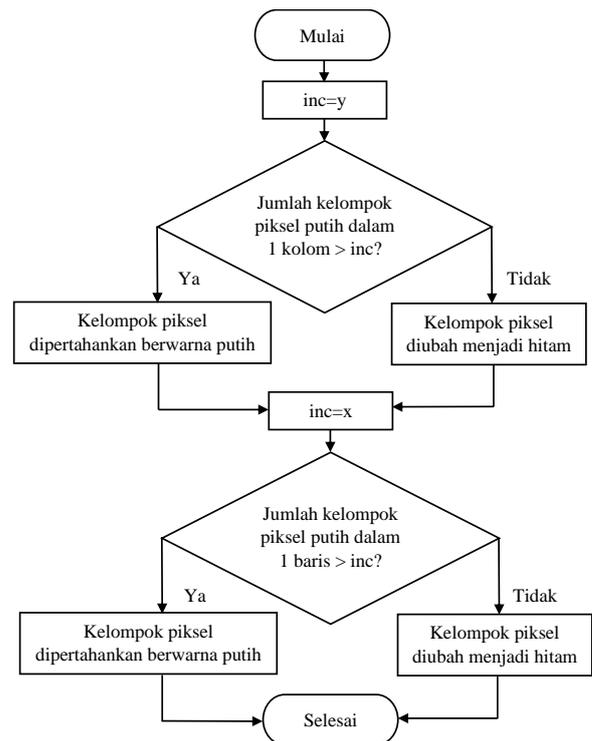


Gambar 5. Flowchart pengolahan citra

Hasil perekaman citra diolah menggunakan software Octave sesuai dengan flowchart pada **Gambar 5** Citra hasil perekaman ditampilkan dengan resolusi 6000x4000 piksel. Selanjutnya citra tersebut diekstrak pada baris 2000 sampai 5000 untuk diolah agar memperjelas berkas sinar laser pada objek, tetapi tetap mempertahankan posisi tengah dari objek ukur. Proses pengolahan citra dilakukan dengan tahap binarisasi [16-18]. Binarisasi citra dilakukan berdasarkan algoritma

*Hue, Saturation, Value (HSV)*. Selanjutnya hasil dari binarisasi citra HSV diolah dengan binarisasi citra berdasarkan kelompok piksel putih atau citra yang bernilai 1 biner. Pengolahan binarisasi tersebut ditunjukkan pada **Gambar 6**.

Binarisasi citra berdasarkan kelompok piksel putih dilakukan dengan menginisialisasi nilai *increment* dalam kolom  $y$  ( $inc=y$ ) terlebih dahulu. Apabila terdapat kelompok atau jumlah piksel berdekatan yang melebihi nilai *increment*, maka piksel dipertahankan berwarna putih. Adapun kelompok piksel yang berdekatan kurang dari sama dengan nilai *increment*, maka kelompok piksel diubah menjadi hitam. Proses selanjutnya menginisialisasi nilai *increment* dalam baris  $x$  ( $inc=x$ ). Sama halnya dengan proses kolom, jika kelompok piksel yang berdekatan lebih dari nilai *increment*, maka akan dipertahankan berwarna putih dan jika sebaliknya piksel diubah menjadi hitam. Proses ini akan menghasilkan biner citra kelompok piksel putih yang akan diproses sesuai **Gambar 7**.

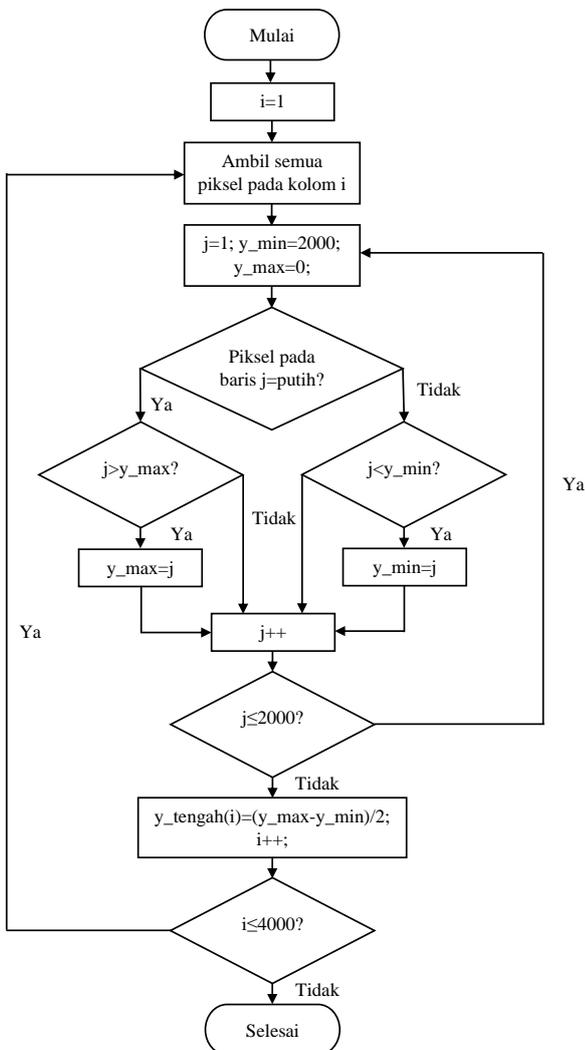


Gambar 6. Flowchart binarisasi citra berdasarkan kelompok piksel putih

*Skeletonization* citra dilakukan pada bagian tengah kelompok piksel putih pada bagian baris citra 1 hingga 4000. Variabel  $i$  merupakan nilai baris pada citra, sedangkan variabel  $j$  adalah nilai kolom pada citra. Proses *Skeletonization* dilakukan pada semua piksel di kolom  $i$ . Variabel  $j$

bernilai 1 menandakan kolom kesatu pengolahan *skeletonization* yang dilakukan secara kontinu hingga kolom ke-2000 pada baris *i*. Apabila terdapat piksel putih di baris *j*, maka data *y\_max* dan *y\_min* akan disimpan untuk menentukan nilai bagian tengah kelompok piksel putih. Nilai piksel dari hasil *Skeletonization* citra tersebut selanjutnya diolah untuk konversi ukuran profil permukaan dari piksel menjadi satuan panjang milimeter (mm).

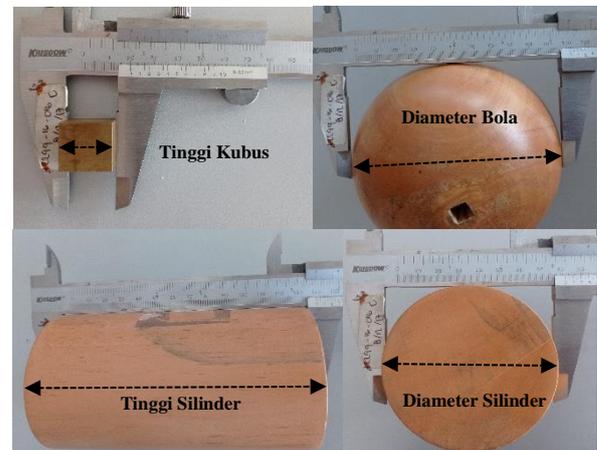
Sistem pengukuran dimensi nonkontak ini bekerja dengan memperhatikan beberapa parameter pada prinsip triangulasi yang ditunjukkan **Gambar 3**. Parameter tersebut harus diterapkan pada semua objek ukur di kondisi yang sama dan parameter yang sama, tanpa mengubah parameter di tengah proses perekaman citra agar dapat diketahui bahwa sistem bekerja dengan konsisten.



**Gambar 7.** Flowchart *skeletonization* citra berdasarkan bagian tengah kelompok piksel putih pada 1 kolom

### D. Pengujian

Setelah dilakukan perancangan dari sistem, dilakukan pula pengujian sistem. Pengujian bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem. Sistem pengukuran dimensi objek menggunakan laser garis dengan prinsip triangulasi dianggap berhasil ketika dapat mengkonversi nilai piksel citra menjadi satuan panjang dan dapat diketahui ukuran diameter atau tinggi dari objek ukur. Pengujian dilakukan pada objek bola, kubus, dan silinder. Parameter ukuran dimensi ataupun tinggi dari ketiga objek tersebut diukur menggunakan jangka sorong atau *caliper* dengan daya baca 0,02 mm. Nilai tersebut dijadikan sebagai nilai standar atau acuan untuk menentukan akurasi dan *error* hasil pengukuran. Objek yang diukur diameter atau tingginya menggunakan *caliper* dapat dilihat pada **Gambar 8**.



**Gambar 8.** Pengukuran tinggi dan diameter objek ukur menggunakan *caliper*

**Tabel II.** Nilai standar objek ukur

Dimensi	Nilai Standar (mm)
Diameter bola	111,50
Tinggi kubus	20,00
Tinggi silinder	140,00
Diameter silinder	82,00

Setelah nilai standar dari objek ukur diketahui, selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan prototipe dengan prinsip triangulasi dan metode *laser scanner*. Pengujian dilakukan dengan menyiapkan beberapa parameter pada **Tabel I**. Parameter pada **Tabel I** harus diterapkan pada semua objek ukur tanpa adanya perubahan di tengah proses pengujian. Berkas laser garis yang diproyeksikan harus dipastikan lurus horisontal mengenai bagian tengah dari objek ukur. Hal tersebut agar nilai dimensi yang didapatkan dari hasil konversi sesuai dengan nilai standar objek

ukurannya. Perbedaan jarak berkas laser garis akibat permukaan referensi dan permukaan objek ukur menghasilkan dua nilai parameter  $Z$  yang berbeda. Parameter  $Z$  dapat dilihat pada **Gambar 3**. Selisih kedua nilai  $Z$  tersebut merupakan dimensi objek ukur pada titik yang terkena berkas laser garis.

Hasil pengukuran tersebut selanjutnya diterapkan pada benda yang ukurannya diatur oleh peraturan perundangan seperti anak timbangan. Pada penelitian ini anak timbangan yang digunakan memiliki nominal 1 kg. Nilai standar untuk diameter luar ( $DI$ ) anak timbangan dengan nominal 1 kg adalah 4,8 cm. Adapun dimensi tinggi ( $H$ ) dari anak timbangan disesuaikan dengan densitas bahan yang digunakan. Bahan dengan densitas tinggi akan memiliki dimensi tinggi yang rendah, sebaliknya densitas rendah akan memiliki dimensi tinggi anak timbangan yang tinggi [8]. Sehingga, dimensi anak timbangan tersebut perlu diukur menggunakan *caliper* yang sama seperti objek ukur sebelumnya yang dapat dilihat pada **Gambar 9**. Hasil pengukuran anak timbangan menggunakan *caliper* dapat dilihat pada **Tabel III**.



**Gambar 9.** Pengukuran tinggi dan diameter anak timbangan 1 kg menggunakan *caliper*

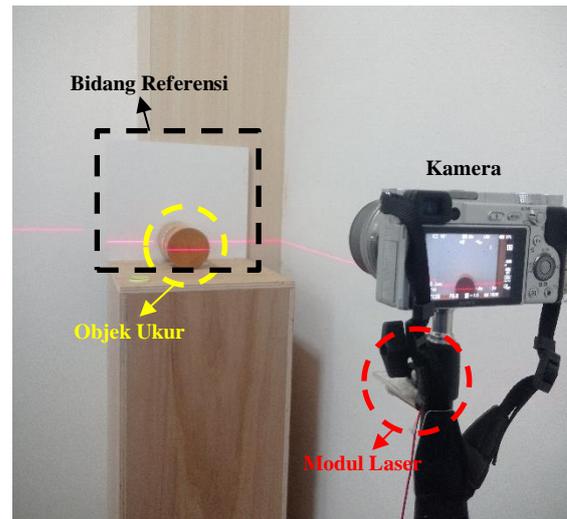
**Tabel III.** Nilai standar anak timbangan

Dimensi	Nilai Standar (mm)
Tinggi anak timbangan	85,70
Diameter anak timbangan	49,30

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pengukuran dimensi objek dengan metode triangulasi berbasis laser garis dapat dilihat pada **Gambar 10**. Akuisisi data dilakukan dari perekaman citra menggunakan kamera, pengolahan citra dengan *Personal Computer* (PC), sampai dihasilkan konversi nilai piksel menjadi nilai satuan panjang milimeter dari diameter atau tinggi objek ukur. Hasil perekaman citra dari kamera ditransmisikan ke PC melalui kabel USB, lalu citra tersebut diolah menggunakan *software* Octave. Adapun modul laser garis dihubungkan dengan baterai 18650 untuk mendapatkan sumber tegangan. Baterai 18650 di dalam *powerbank* dapat diisi ulang dayanya, sehingga modul laser selalu

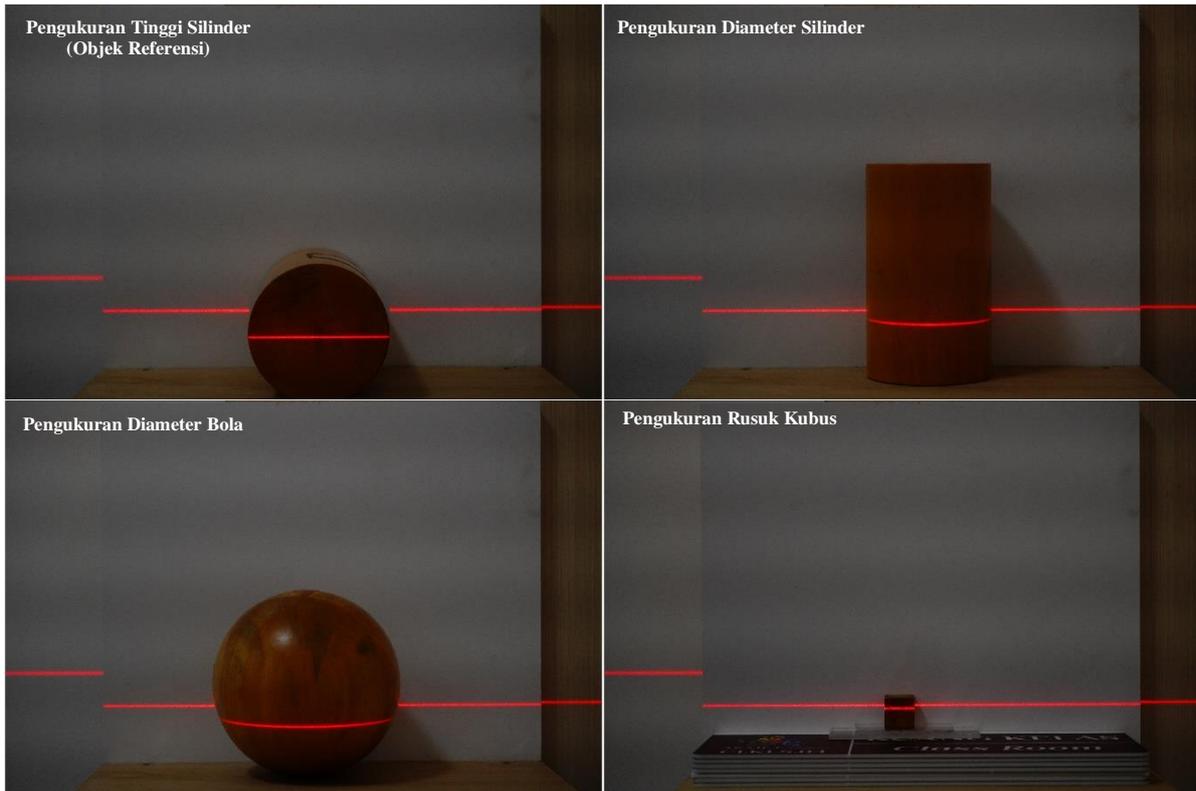
mendapatkan sumber tegangan selama daya baterai masih ada. Sisa daya dari baterai 18650 dapat dilihat dari indikator *Liquid Crystal Display* (LCD) pada *powerbank*. Berkas laser yang mengenai permukaan objek ukur harus tepat di titik tengah pada objek tersebut. Laser juga diproyeksikan lurus horisontal terhadap bidang referensi dan objek ukur. Hal tersebut bertujuan agar pengukuran profil berupa diameter atau tinggi objek ukur dapat ditampilkan pada *software* Octave.



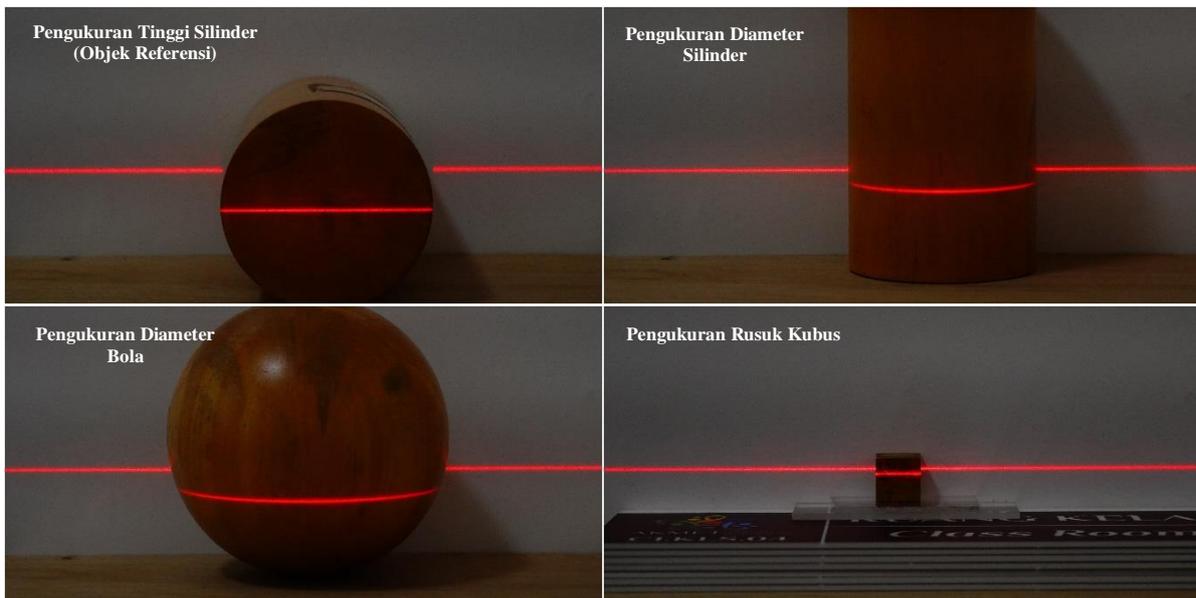
**Gambar 10.** Bentuk fisik instalasi pengukuran objek berbasis laser

Citra hasil perekaman pada **Gambar 11** yang akan diproses lebih lanjut dibatasi berdasarkan posisi tengah dari objek pada persepsi kamera, sehingga dihasilkan citra yang ditunjukkan pada **Gambar 12** dengan ukuran 4000×2000 piksel. Bagian kiri dan kanan baris citra dipotong 1000 piksel untuk mengefisiensi *Region of Interest* (ROI) dari pengolahan citra yang dilakukan, tetapi tetap mempertahankan garis tengah horisontal dari **Gambar 11** yang berada pada kolom citra ke-2000. Sehingga citra yang diekstrak pada **Gambar 12** adalah kolom citra dari 2000 – 5000 dan baris citra dari 2000 – 4000. Selain mengefisiensi ROI, ekstrak citra dilakukan untuk menyamakan tahap *preprocessing* pada semua objek ukur. Hal ini juga berfungsi untuk memperjelas berkas laser yang diolah dari rekaman citra pada *software* Octave.

Pengolahan citra dilakukan pada **Gambar 12** untuk menentukan citra biner. Pengolahan citra tersebut menggunakan metode *Hue Saturation Value* (HSV). Kelebihan menggunakan metode HSV yaitu dapat menoleransi perubahan intensitas cahaya [19]. Terdapat dua ambang batas pada masing-masing *Hue*, *Saturation*, dan *Value*, yaitu ambang batas bawah dan ambang batas atas.



Gambar 11. Bagian citra hasil rekaman kamera dengan ukuran 6000×4000 piksel



Gambar 12. Bagian ekstrak citra dari kolom 2000 – 5000 berdasarkan gambar 11

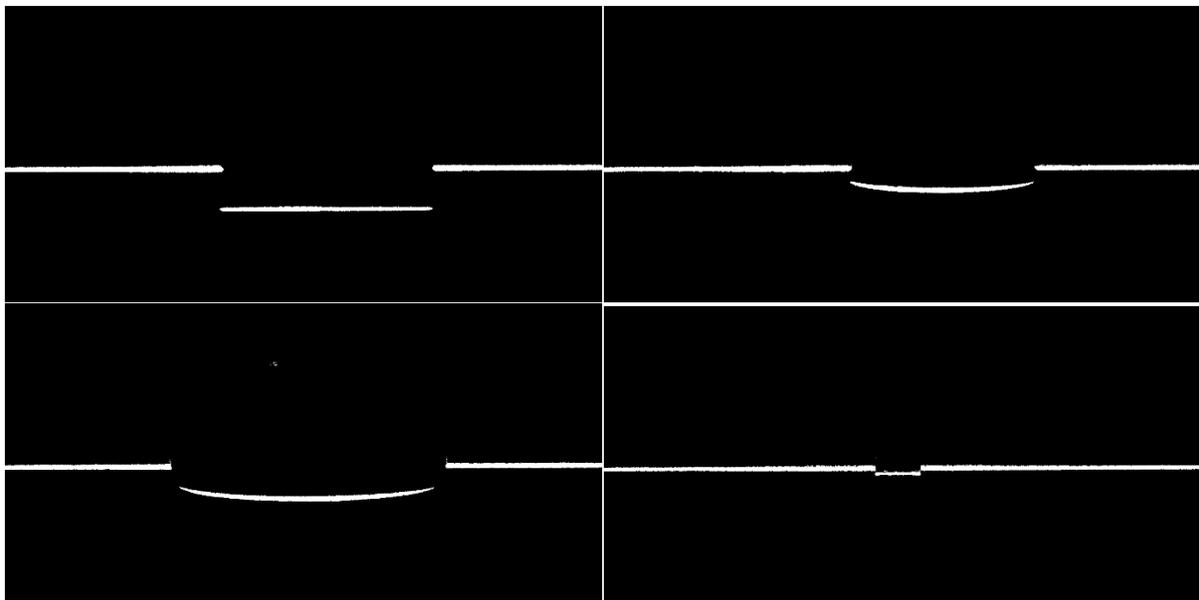
*Hue* merepresentasikan jenis-jenis pada warna. *Saturation* merepresentasikan intensitas warna, warna terlihat jelas ketika nilai *saturation* tinggi. *Value* mengatur warna kegelapan, semakin tinggi nilainya maka semakin terang warna. Ambang batas atau *threshold* metode HSV disesuaikan agar binarisasi citra yang dihasilkan dapat diproses ke tahap selanjutnya. Proses tersebut menghasilkan citra yang ditunjukkan pada **Gambar 13**.

**Gambar 13** menunjukkan bagian dari citra yang berisi informasi kedalaman objek ukur berdasarkan berkas sinar laser. **Gambar 13** masih memiliki derau berupa titik-titik piksel. Proses selanjutnya adalah menentukan jumlah elemen putih dalam 1 garis piksel pada masing-masing arah vertikal dan horisontal. Garis piksel arah vertikal (kolom) dengan jumlah elemen putih lebih besar dari nilai  $y$  ( $inc=y$ ) dipertahankan tetap berwarna putih. Garis piksel arah vertikal dengan

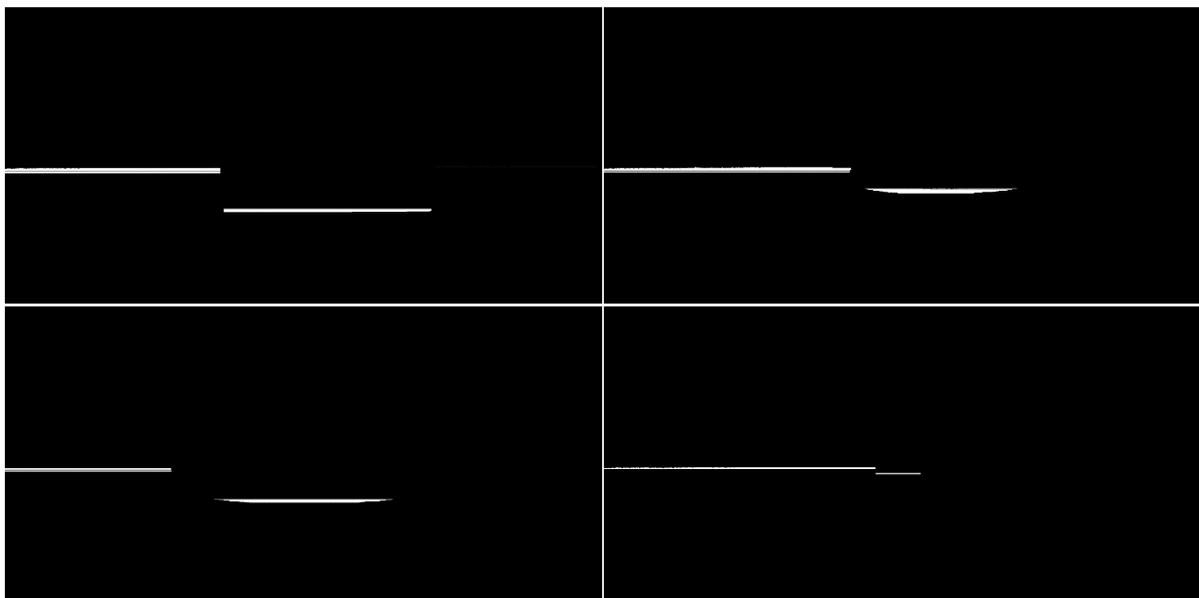
jumlah elemen putih kurang dari atau sama dengan nilai  $y$  menghasilkan garis piksel vertikal yang berwarna hitam. Garis piksel arah horisontal dengan jumlah elemen putih lebih dari nilai  $x$  ( $inc=x$ ) dipertahankan berwarna putih. Garis piksel arah horisontal dengan jumlah elemen putih kurang dari atau sama dengan nilai  $x$  menghasilkan garis piksel vertikal yang berwarna hitam. Proses binarisasi citra berdasarkan kelompok piksel putih ini sesuai dengan *flowchart* pada **Gambar 6**.

**Gambar 14** menunjukkan hasil binarisasi citra berdasarkan kelompok piksel putih dari citra **Gambar 13**. Berkas sinar laser pada **Gambar 14** memiliki ketebalan tertentu dan lebih besar dari 1

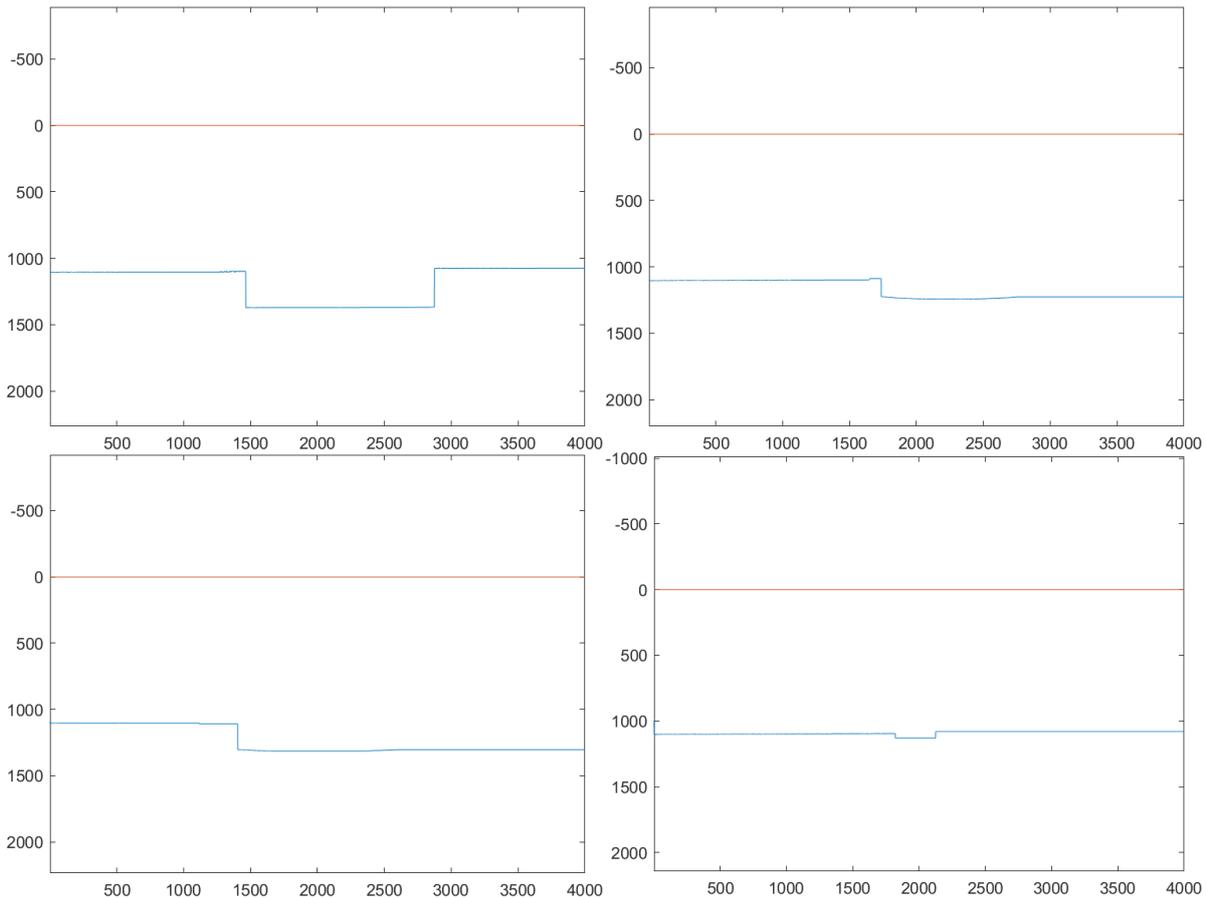
piksel. Bagian tengah ketebalan sinar laser adalah bagian-bagian yang akan diproses lebih lanjut, sehingga dilakukan proses *skeletonization* citra berdasarkan bagian tengah kelompok piksel putih pada 1 kolom. Proses *Skeletonization* dilakukan pada semua piksel di kolom  $I$  sesuai diagram alir **Gambar 7**. Untuk suatu nilai  $x$  yang tidak memiliki berkas laser, nilai tersebut menggunakan nilai berkas laser pada nilai  $x$  sebelumnya. Proses *ini* dilakukan dengan menentukan nilai data  $y_{min}$  dan  $y_{max}$  pada kelompok piksel putih seperti pada **Gambar 16**. Kedua variabel tersebut dibagi 2 hasil penjumlahannya untuk menghasilkan berkas laser dengan ketebalan 1 piksel



**Gambar 13.** Hasil binarisasi citra menggunakan algoritma HSV berdasarkan gambar 12



**Gambar 14.** Hasil binarisasi citra pada kelompok piksel putih berdasarkan gambar 13



Gambar 15. Grafik hasil *skeletonization* untuk penentuan jarak dalam piksel antara posisi berkas sinar laser terhadap posisi garis tengah horisontal lensa berdasarkan gambar 14



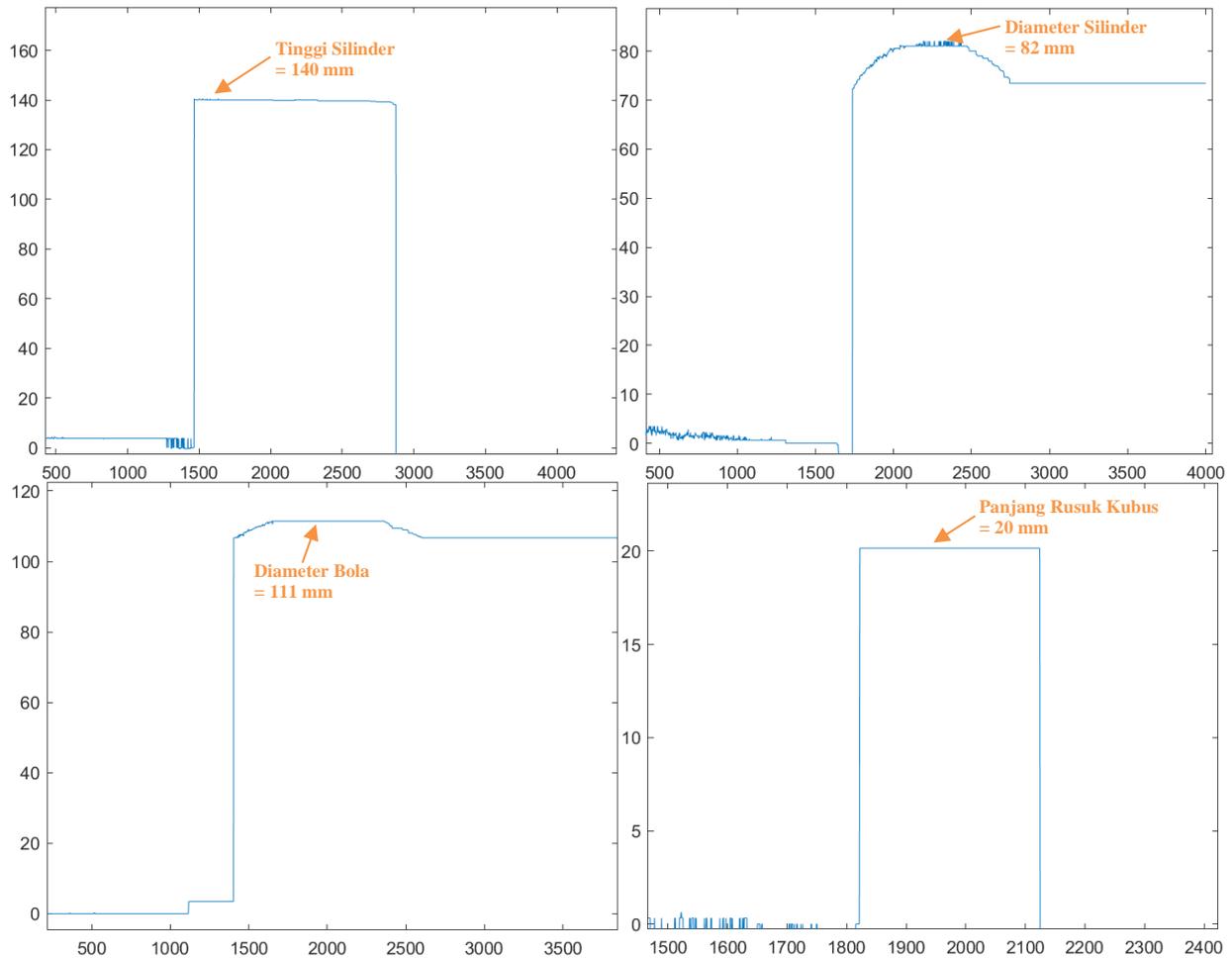
Gambar 16. Contoh penentuan bagian tengah kelompok piksel putih

Proses *skeletonization* menghasilkan ketebalan 1 piksel yang ditampilkan dalam grafik **Gambar 15**. Grafik ini menunjukkan posisi berkas laser dan posisi garis tengah horisontal lensa. **Gambar 15** juga memiliki informasi selisih nilai piksel antara sinyal merah dan biru. Sinyal merah adalah posisi garis tengah horisontal lensa pada citra, sedangkan sinyal biru adalah posisi berkas laser yang mengenai permukaan objek pada citra. Selisih nilai piksel dilakukan pada arah sumbu  $y$  untuk masing-masing piksel dengan nilai  $x$  yang sama. Adapun dengan adanya parameter  $H$ ,  $d$ , dan  $s$  berdasarkan **Tabel I** dan instalasi pada **Gambar 2**, data selisih nilai piksel berdasarkan **Gambar 14** dapat dikonversi menjadi jarak  $Z$  dalam satuan panjang.

Nilai  $H$  hasil pengukuran menggunakan penggaris divalidasi dengan kalibrasi menggunakan objek ukur referensi berupa tinggi silinder 140,00 mm. Nilai  $H$  yang telah tervalidasi selanjutnya digunakan sebagai parameter untuk konversi piksel ke satuan panjang pada pengukuran dimensi objek yang lain yaitu diameter silinder 82,00 mm, diameter bola 111,50 mm, dan rusuk kubus 20,00 mm. Nilai  $Z$  maksimal adalah jarak antara lensa kamera dengan bidang referensi. Adanya nilai  $Z$  maksimal sebagai nilai referensi, ukuran dimensi objek berdasarkan nilai referensi dapat ditentukan dalam satuan panjang yang ditunjukkan pada **Gambar 17**.

Ukuran diameter atau tinggi dari objek ukur ditentukan berdasarkan nilai data maksimum pada grafik **Gambar 17**. Nilai ukuran tersebut dianggap sebagai nilai uji pengukuran berbasis pengolahan citra. Nilai uji dan nilai standar pada **Tabel II** dapat menentukan nilai persentase akurasi, persentase *error*, dan rata-rata hasil pengukuran berdasarkan persamaan (1), (2), dan (3). Ketiga persamaan tersebut menghasilkan nilai yang ditunjukkan pada **Tabel IV**.

$$\%Error = \frac{Nilai\ Uji - Nilai\ Standar}{Nilai\ Standar} \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 17. Data hasil rekonstruksi objek ukur pada arah sumbu Z dalam satuan milimeter berdasarkan parameter-parameter di instalasi pengukuran

$$\%Akurasi = 1 - \%Error \quad (2)$$

$$\text{Rata - rata} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3)$$

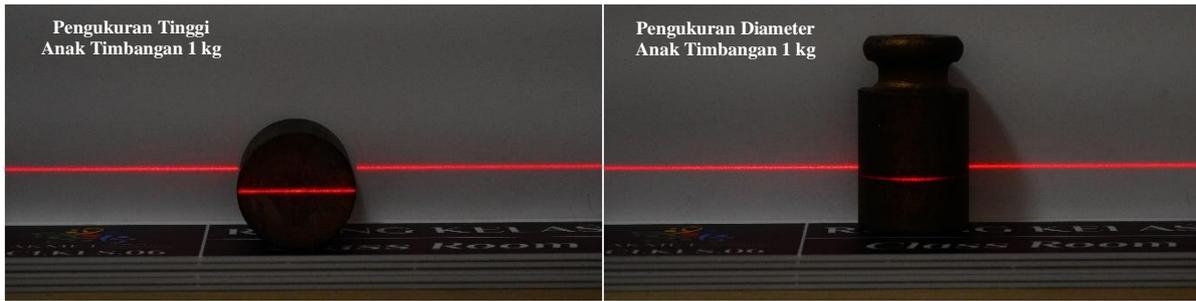
Tabel IV. Nilai persentase akurasi dan error hasil pengukuran berbasis pengolahan citra

Dimensi	Nilai Akurasi	Nilai Error
Tinggi silinder	100,00%	0,00%
Diameter silinder	100,00%	0,00%
Diameter bola	99,55%	0,45%
Rusuk kubus	100,00%	0,00%
<b>Rata-rata</b>	<b>99,89%</b>	<b>0,11%</b>

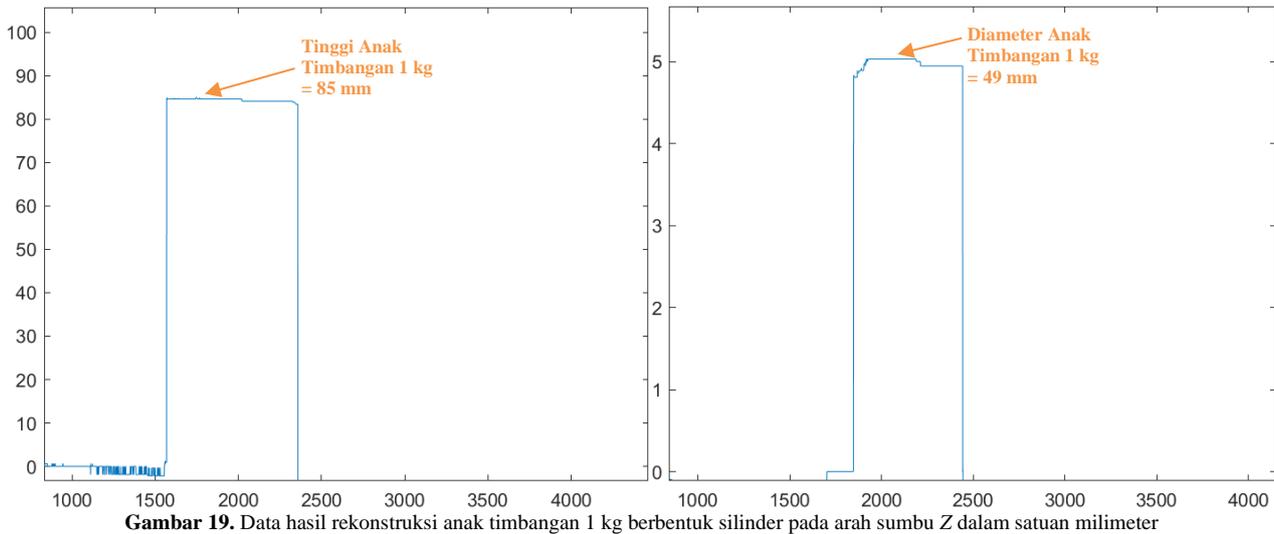
Parameter Tabel I harus sama diterapkan pada seluruh objek ukur. Pengukuran panjang rusuk kubus pada Gambar 11 membutuhkan benda tambahan agar parameter pengukuran tidak berubah dan berkas laser mengenai permukaan kubus. Berdasarkan parameter Tabel I, pengukuran berbasis pengolahan citra ini dapat menghasilkan rata-rata persentase akurasi 99,89% dan error 0,11%.

Objek ukur yang digunakan memiliki karakteristik desain yang sama seperti anak timbangan berbentuk silinder. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari objek ukur sebelumnya, pengukuran berbasis pengolahan citra ini dapat diterapkan juga pada anak timbangan berbentuk silinder. Parameter yang sama pada Tabel I juga diterapkan pada pengukuran diameter dan tinggi anak timbangan.

Desain ukuran diameter dan tinggi dari anak timbangan diatur pada peraturan perundangan kementerian perdagangan [8]. Anak timbangan berbentuk silinder dengan nominal 1 kg memiliki standar desain diameter luar ( $D_I$ ) 4,8 cm dan tinggi ( $H_{AT}$ ) tergantung pada bahan pembuat anak timbangan (densitas tinggi akan memiliki ukuran tinggi yang rendah, dan sebaliknya). Untuk memastikan ukuran diameter dan tinggi anak timbangan dilakukan pengukuran secara langsung menggunakan caliper yang memiliki daya baca 0,02 mm. Hasil pengukuran tersebut dijadikan sebagai nilai standar yang dapat dilihat pada Tabel III.



Gambar 18. Bagian ekstrak citra kolom 2000 – 5000 anak timbangan berbentuk silinder



Gambar 19. Data hasil rekonstruksi anak timbangan 1 kg berbentuk silinder pada arah sumbu Z dalam satuan milimeter

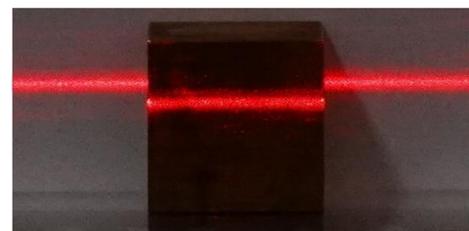
Nilai uji anak timbangan berdasarkan pengukuran berbasis pengolahan citra pada **Gambar 19** dapat menentukan nilai akurasi dan *error* dengan persamaan (1) dan (2). Berdasarkan parameter dan kondisi yang sama, pengukuran pengolahan citra untuk tinggi anak timbangan menghasilkan nilai akurasi 99,18% dan diameter anak timbangan 98,58%. Nilai akurasi dan *error* pengukuran objek anak timbangan ditunjukkan pada **Tabel V**. Hasil ini melengkapi penelitian sebelumnya untuk mendapatkan ukuran tinggi anak timbangan [7].

Tabel V. Nilai persentase akurasi dan *error* hasil pengukuran berbasis pengolahan citra

Dimensi	Nilai Akurasi	Nilai Error
Tinggi anak timbangan	99,18%	0,82%
Diameter anak timbangan	99,39%	0,61%

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran berbasis pengolahan citra ini. Pendaran berkas laser pada objek yang diukur mengakibatkan *noise* pada citra, sehingga hasil pengukuran kurang optimal. Berkas laser yang

saling tumpang didih akan menghilangkan berkas laser garis *x* selanjutnya dalam proses pengolahan citra, contohnya pada **Gambar 20**. Berkas laser yang mengenai bidang referensi (papan putih) tumpang didih dengan berkas laser yang mengenai sisi kiri kubus. Hal ini menghilangkan data berkas laser pada kubus yang tumpang didih dengan berkas laser yang mengenai bidang referensi. Akurasi pengukuran objek kubus menjadi berkurang akibat hal ini dibandingkan objek ukur silinder dan bola yang dapat dilihat pada **Tabel IV**. Warna bahan objek juga mempengaruhi intensitas dari berkas laser. Contohnya pada citra anak timbangan untuk menentukan diameter, intensitas berkas laser pada ujung permukaan kiri dan kanan kurang terlihat. Hal ini mengakibatkan hilangnya data piksel dari berkas laser yang membuat profil diameter anak timbangan tidak sempurna yang ditunjukkan pada **Gambar 19**.



Gambar 20. Contoh faktor yang mempengaruhi hasil pengukuran

#### IV. KESIMPULAN

Sistem pengukuran dimensi objek dengan metode triangulasi berbasis laser garis telah dapat direalisasikan dan hasil pengujian menunjukkan keakurasian yang bagus antara nilai uji dengan nilai standar. Sistem ini dapat menggantikan pengukuran kontak yang dilakukan pada umumnya. Sistem ini juga menambah parameter pengukuran berupa diameter pada objek. Adapun penggunaan objek referensi hanya dilakukan satu kali untuk menetapkan parameter yang digunakan. Parameter hasil kalibrasi selanjutnya digunakan untuk objek ukur lainnya. Pengukuran secara nonkontak ini mendapatkan nilai dimensi 140 mm pada pengukuran tinggi silinder, 82 mm pada pengukuran diameter silinder, 111 mm pada pengukuran diameter bola, dan 20 mm pada pengukuran rusuk kubus. Pengukuran tersebut mendapatkan akurasi rata-rata 99,89% dan *error* 0,11%. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, penelitian ini juga dapat diterapkan untuk mengukur dimensi anak timbangan berbentuk silinder. Hasil pengukuran untuk objek anak timbangan adalah 85 mm (akurasi 99,18%) pada dimensi tinggi dan 49 mm (akurasi 99,39%) pada dimensi diameter.

Sistem pengukuran ini diharapkan dapat digunakan untuk pemeriksaan dimensi pada tahap produksi anak timbangan agar sesuai dengan spesifikasi desain. Harapan pengembangan pada penelitian selanjutnya yaitu sistem pengukuran ini dapat mengoptimalkan *noise* yang dihasilkan dari pendaran berkas laser agar pengukuran lebih akurat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. P. Syam, *Metrologi Manufaktur Pengukuran Geometri dan Analisis Ketidakpastian*, 1st ed. Yogyakarta: Deepublish, 2018.
- [2] L. Han, X. Cheng, Z. Li, K. Zhong, Y. Shi, and H. Jiang, "A robot-driven 3D shape measurement system for automatic quality inspection of thermal objects on a forging production line," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 12, pp. 1–18, Dec. 2018.
- [3] K. Amri and R. Sumiati, "Pengukuran Objek 2 Dimensi Dengan Menggunakan Kamera Berbasis LabVIEW," *JURNAL Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 43–46, 2018.
- [4] V. K. Bakti, Dairoh, and M. Huda, "Segmentasi Dan Perbaikan Citra Untuk Proses Pengukuran Dimensi Beras," *Jurnal Infotel*, vol. 8, no. 1, pp. 88–93, 2016.
- [5] R. S. Fitriani and Z. S. Khayat, "Prototipe Alat Pengukur Dimensi Diameter Silinder Berbasis Kamera Smartphone," Bandung: Akademi Metrologi dan Instrumentasi, 2020.
- [6] A. Rakhmawati, E. Juliastuti, A. K. Umma, and B. P. Sari, "Akurasi Pengujian Diameter Pelat Orifice Dengan Analisis Citra OpenCV," *Seminar Nasional Multimedia & Artificial Intelligence*, pp. 38–42, 2019.
- [7] D. A. Paraswati, "Prototipe Pendeteksi Dimensi Anak Timbangan Berbasis Kamera Smarthone," Bandung: Akademi Metrologi dan Instrumentasi, 2023.
- [8] Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga, "Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Konsumen dan Tertib Niaga Nomor 123 Tahun 2020 tentang Syarat Teknis Standar Ukuran Metrologi Legal Besaran Massa," 2020.
- [9] M. M. Auerswald, A. von Freyberg, and A. Fischer, "Laser line triangulation for fast 3D measurements on large gears," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 100, no. 9–12, pp. 2423–2433, Feb. 2019.
- [10] Z. Cai, C. Jin, J. Xu, and T. Yang, "Measurement of potato volume with laser triangulation and three-dimensional reconstruction," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 176565–176574, 2020.
- [11] C.-F. Lin, C.-H. Hwang, H.-R. Fang, C.-Y. Chen, and J.-R. Sze, "Real-time Pitch Diameter Measurement of Internal Thread for Nut using Laser Triangulation," *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, pp. 1–4, 2017.
- [12] M. Breier, P. Moller, Li Wei, M. Bosling, T. Pretz, and D. Merhof, "Accurate laser triangulation using a perpendicular camera setup assess the height profile of PCBs," *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pp. 1613–1618, 2015.
- [13] E. Minnetti, P. Chiariotti, P. Castellini, L. Violini, G. Garcia, H. Vicente, N. Paone, "Smart portable laser triangulation system for assessing gap and flush in car body assembly line," *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Workshop on Metrology for Industry 4.0 and Internet of Things*, pp. 49–53, 2019.
- [14] G. Zhang, S. Yang, P. Hu, and H. Deng, "Advances and Prospects of Vision-Based 3D Shape Measurement Methods," *Machines*, vol. 10, no. 2, pp. 1–26, Feb. 2022.
- [15] Y. Liu, N. Pears, P. L. Rosin, and P. Huber, *3D Imaging, Analysis and Applications*, 2nd ed. Switzerland Ag: Springer Nature Switzerland AG, 2020.
- [16] I. Sarief, H. Y. Bui, F. Harismana, and S. I. Chandra, "Pendeteksian Plat Nomor Kendaraan Menggunakan Metode Template Matching," *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 7, no. 1, pp. 14–24, Apr. 2019.
- [17] L. Satrio Tegar and J. Utama, "Rancang Bangun Sistem Informasi Lahan Parkir Kendaraan Roda Empat di Unikom Berbasis Image Processing," *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 4, no. 1, pp. 27–33, 2016.
- [18] R. I. Kafila and T. Rahajoeningroem, "Rancang Bangun Sistem Peringatan Batas Penumpang pada Lift Berbasis Pengolahan Citra Di Masjid Al-Karomah," *Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 10, no. 1, pp. 38–46, Aug. 2022.
- [19] A. K. Panggabean, A. Syahfaridzah, and N. A. Ardiningih, "Mendeteksi Objek Berdasarkan Warna dengan Segmentasi Warna HSV Menggunakan Aplikasi Matlab," *METHOMIKA Jurnal Manajemen Informatika dan Komputerisasi Akuntansi*, vol. 4, no. 2, pp. 94–97, Oct. 2021.