

Analisis Perhitungan Laser *Range finder* Menggunakan Persamaan Geometri Pada Sistem Keamanan Ruang

Shoffin Nahwa Utama, M. Aziz Muslim, Onny Setyawati

Abstrak—Kamera pengawas saat ini sudah sangat lazim digunakan, tidak hanya memantau tapi juga dapat memberikan rasa aman bagi penggunanya. Penelitian ini membahas akurasi perhitungan jarak laser memakai persamaan geometri pada *webcam* yang diterapkan untuk keamanan ruangan. Persamaan geometri digunakan untuk menghitung nilai parameter cahaya laser yang ditangkap *webcam*. Sinar laser yang diarahkan pada objek tertentu dengan kondisi jarak antara laser dan *webcam* 6 cm memiliki tingkat akurasi paling bagus pada jarak 22 cm, 40 cm dan 80 cm dengan rata-rata *error* sebesar 0,11%. Aplikasi sistem ini kemudian digunakan sebagai parameter untuk mendeteksi adanya penyusup pada sebuah ruangan kosong.

Kata Kunci—: geometri, jarak, , keamanan ruangan, laser, *webcam*.

I. PENDAHULUAN

PADA panca indra, mata merupakan indera utama yang digunakan manusia untuk mengamati di seluruh dunia. Jumlah informasi yang diterima melalui mata tak tertandingi dengan indera lainnya. Manusia kemudian membuat sebuah bidang keilmuan komputer vision yang bertujuan untuk membangun sebuah prototipe komputasi yang mampu memahami gambar digital untuk mendeskripsikan suatu kejadian [1].

Pengembangan komputer vision ditujukan untuk membantu manusia dalam proses perhitungan yang melibatkan penglihatan buatan dengan komputer, seperti pengenalan pola, perhitungan statistik, proyeksi geometri, pengolahan citra, Pada tulisan ini proyeksi visi akan digunakan dalam sistem keamanan ruangan.

Telah banyak diciptakan alat keamanan ruangan yang ditempatkan pada ruangan pribadi dalam mewujudkan sebuah ruangan yang aman maka diperlukan sistem yang mampu memberikan jaminan keamanan bagi pemiliknya pada saat ditinggalkan[2] ,[3]. Adanya kamera keamanan sudah mulai tidak efektif, walaupun kamera

keamanan sudah dimanfaatkan dalam jumlah yang banyak sekali namun kamera keamanan masih terbatas digunakan secara pasif [4].

Pada sebuah penelitian digambarkan adaptasi dari prototipe *scanner* berdasarkan laser *pointer* dan *webcam* yang diterapkan untuk estimasi jarak absolut pada gambar yang diperoleh dari urutan video *real time*. Percobaan dilakukan untuk menunjukkan efektivitas perhitungan jarak secara *real time* melalui model geometris dan sistem sederhana regresi linier. Dari data percobaan dengan parameter pemindaian yang berbeda, didapatkan hasil rata-rata *error absolut* (MAE) dari perkiraan adalah 0.8613cm dan MAPE adalah 0,824% untuk kamera yang tidak dikalibrasi dan diperoleh MAE 0.6492cm dan 0.557% MAPE untuk kamera yang dikalibrasi [1].

Persamaan geometri digunakan dalam perhitungan pencarian jarak menggunakan *laser-pointer* yang diproyeksikan ke sebuah objek [5], di bidang pandang kamera yang menjadi ide untuk diterapkan dalam mendeteksi penyusup. Titik dari laser ditangkap bersama bidang yang terdapat disekitar titik cahaya dengan kamera. Kemudian sebuah algoritma pencari piksel paling terang pada gambar dijalankan, dengan asumsi bahwa titik cahaya laser adalah area paling terang maka posisi titik dalam bingkai gambar diketahui. Kemudian menghitung rentang ke objek berdasarkan jumlah pixel gambar titik laser yang jatuh ke pusat kamera. Semakin dekat ke pusat gambar, semakin jauh benda tersebut [6].

II. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan dalam penulisan ini termasuk dalam bidang Rekayasa Software menggunakan metode rekayasa perangkat lunak yang disebut *System Development Life Cycle* (SDLC). Langkah-langkah SDLC meliputi fase *planning*, *analysis*, *desain*, *implementation* dan *testing*.

Spesifikasi sistem keamanan ruangan yang dibangun berdasarkan fungsionalitas terdiri dari 3 sub sistem yaitu:

A. Sub sistem *device*

Sub sistem *device* dalam sistem keamanan ruangan berfungsi sebagai alat yang digunakan sebagai input data dari sistem. Spesifikasi Sub sistem *device* pada

Shoffin Nahwa Utama adalah dosen di Universitas Islam Negeri Malang, Jurusan teknik Informatika dan mahasiswa Program Magister Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang (085648540954, sofin036@gmail.com)

M. Aziz Muslim adalah Dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang (muh_aziz@ub.ac.id)

Onny Setyawati adalah Dosen pada jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang (osetyawati@ub.ac.id)

penelitian berupa *webcam* yang digunakan untuk mengambil data video, serta laser yang digunakan untuk memancarkan cahaya pada sebuah bidang.

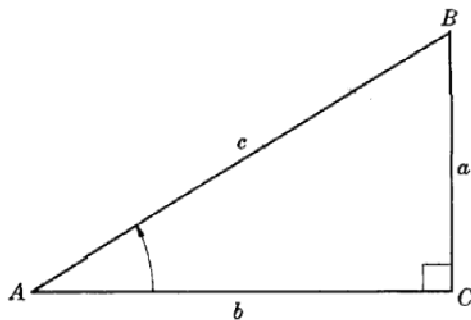
B. Sub sistem pendeteksi

Sub sistem pendeteksi dalam sistem keamanan ruangan berfungsi untuk mengolah input video yang diambil dari *webcam*. Spesifikasi sub sistem pendeteksi diantaranya dapat mendeteksi adanya api yang menyala pada ruangan, mendeteksi adanya penyusup yang melewati sinar laser.

C. Sub sistem user interface (UI)

Sub sistem UI berfungsi untuk visualisasi pengaturan sistem dan hasil dari data video yang sudah diproses. Spesifikasi UI berbasis dekstop dengan antar muka didesain menggunakan IDE NetBeans.

Pada penelitian ini algoritma pencari jarak merupakan penjabaran dari sebuah persamaan yang sudah dipelajari sejak bangku sekolah, yaitu trigonometri. Trigonometri (dari bahasa Yunani *trigonon* = tiga sudut dan *metro* = mengukur) adalah sebuah cabang matematika yang berhadapan dengan sudut segi tiga dan fungsi trigonometrik. Trigonometri terdiri dari sinus(*sin*), cosinus(*cos*), tangens(*tan*), cotangens(*cot*), secan(*sec*) dan cosecan (*cosec*) [7].



Gambar 1. Sudut istimewa segitiga siku-siku

Trigonometri merupakan nilai perbandingan yang didefinisikan pada koordinat kartesius atau segitiga siku-siku [7]. Jika trigonometri didefinisikan dalam segitiga siku-siku sebagaimana ditunjukkan Gambar 1, maka definisinya ditunjukkan pada Persamaan 1 berikut ini:

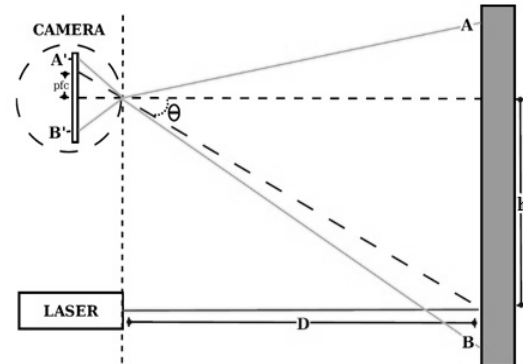
$$\begin{aligned} \sin A &= \frac{a}{c}; \quad \cos A = \frac{b}{c}; \quad \tan A = \frac{a}{b}; \\ \cot A &= \frac{b}{a}; \quad \sec A = \frac{c}{b} \end{aligned} \quad (1)$$

Dengan menggunakan Persamaan 1 khususnya $\tan A = \frac{a}{b}$ dapat dirumuskan algoritma mencari jarak dengan menggunakan bantuan beberapa alat seperti *webcam* dan laser [6],[8].

III. PROSES DETEKSI JARAK DENGAN LASER

Pada proses deteksi jarak ini akan digunakan prinsip alat laser *rangefinder* untuk mencari jarak, dimana pada proses ini akan dicari jarak antara obyek yang terkena

oleh cahaya laser dengan *webcam*. Prinsip laser *rangefinder* dapat dilihat pada Gambar 2. yang menunjukkan bagaimana pemroyeksian suatu laser yang memberi titik cahaya ke suatu target yang berada dalam bidang pandang suatu kamera, sistem akan menjalankan algoritma untuk mencari titik cahaya laser yang di indikasikan sebagai titik cahaya paling terang pada bidang target. Kemudian jarak *webcam* dengan target cahaya laser tersebut akan dihitung. :



Gambar 2. Cara Kerja Perangkat Pencari Jarak [1]

Dari diagram yang ditunjukkan pada Gambar 2, dengan persamaan geometri kita dapat menghitung jarak (*D*) laser dengan target yang dituju seperti ditunjukkan pada Persamaan 2 [6]:

$$D = \frac{h}{\tan \theta} \quad (2)$$

Setelah jarak ditemukan pada proses *scanning*, kemudian akan dicocokkan dengan jarak yang didapat pada saat proses kalibrasi. Saat nilai jarak (*D*) pada saat proses *scanning* sama dengan nilai jarak (*D'*) pada proses kalibrasi maka sistem akan menganggap tidak ada penyusup atau obyek yang tidak dikenal masuk dan melewati sinar laser. Namun, ketika nilai jarak (*D'*) pada saat kalibrasi berbeda dengan nilai jarak (*D*) awal pada saat *scanning* maka sistem akan menganggap ada penyusup atau obyek yang tidak dikenal masuk ruangan dan melewati sinar laser [8].

Jarak (*D*) dapat dihitung menggunakan persamaan 2. Untuk memecahkan persamaan ini harus diketahui tinggi (*h*) yang mana telah ditetapkan dengan mengukur jarak antara *webcam* dengan laser, sedangkan θ (sudut) dihitung menggunakan Persamaan 3 [6] sebagai berikut :

$$\theta = \text{pfc} * \text{rpc} + \text{ro} \quad (3)$$

Dimana: *pfc* = Jumlah pixels dari Pusat Focal Plane
rpc = Radians per pixel pitch
ro = Radian offset

Sehingga persamaan akhir penyelesaian menjadi [6] :

$$D = \frac{h}{\tan(\text{pfc} * \text{rpc} + \text{ro})} \quad (4)$$

untuk mendapatkan nilai-nilai *rpc* (mengubah setiap pixel dalam gambar menjadi nilai dalam centimeter) dan *ro* kita menggunakan model persamaan linier untuk

menemukan hubungan antara variabel Y dan Z. Model ini didefinisikan pada Persamaan 5:

$$rpc_i = \frac{Y_i}{Z_i} \tag{5}$$

Nilai Y_i didapatkan dari sudut θ_{actual} (sudut sebenarnya) dikurangi dengan rata-rata jumlah nilai sudut sebenarnya (θ_{actual}) dalam uji coba, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$y_i = \theta_{actual_i} - \frac{\sum_{i=1}^n \theta_{actual_i}}{n} \tag{6}$$

dimana :

$$\theta_{actual} = \{ \theta_{actual_1}, \theta_{actual_2}, \dots, \theta_{actual_n} \}$$

Sedangkan sudut θ_{actual} diperoleh dari persamaan trigonometri, karena tinggi antara laser dengan *webcam* (h) sudah diketahui dan jarak sebenarnya *webcam* dengan titik laser terhadap objek (D_{actual}) juga sudah diketahui, maka diperoleh Persamaan 7 berikut :

$$\theta_{actual_i} = \text{Arctan} \left(\frac{h}{D_{actual}} \right) \tag{7}$$

Nilai Z_i diperoleh dari *pfci* dikurang dari nilai rata-rata total *pfci* pada uji coba, sehingga Persamaan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Z_i = pfc_i - \frac{\sum_{i=1}^n pfc_i}{n} \tag{8}$$

dimana :

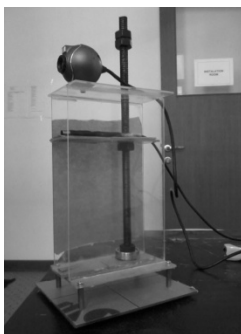
$$pfc = \{ pfc_1, pfc_2, \dots, pfc_n \}$$

Sedangkan untuk ro dimodelkan pada Persamaan 9 berikut :

$$Ro_i = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_{actual_i}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n pfc_i}{n} \cdot X_i \tag{9}$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ini dibangun menggunakan dua komponen pendukung yaitu *hardware* dan *software*, *hardware* yang digunakan berupa laser *pointer*, *webcam*, serta komputer atau laptop. Untuk hasil desain perangkat laser dan *webcam* ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Desain Sistem Pengambilan Gambar dilengkapi *Webcam* dan Laser

Software dibangun menggunakan bahasa pemrograman Java dengan library Java media framework, desain user interface form yang hanya memiliki satu form utama

pada aplikasi *client*, dimana dalam form tersebut terdiri dari tiga bagian utama yaitu layar gambar, panel sistem, dan panel setting [9]. Layar frame berfungsi sebagai media untuk menampilkan gambar keadaan ruangan sehingga dapat memantau secara langsung. *User interface* ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Form User Interface

A. Hasil Uji Coba Kalibrasi

Uji coba kalibrasi ini bertujuan mencari nilai rata-rata dari *rpc* dan *ro* yang akan digunakan sebagai variabel dalam perhitungan pencarian jarak. Pada pengujian ini akan diambil beberapa kali uji coba untuk menunjukkan hasil kalibrasi awal dengan nilai jarak antara laser dan *webcam* (h) sebesar 6 cm.

TABEL I.
HASIL UJI COBA KALIBRASI DENGAN TINGGI (H) 6 CM

pfc	D _{actual}	θ_{actual_i}	Zi	rpc	ro
239	22	0.266252049	125.8	0.001446215	-0.079393261
162	40	0.148889948	48.8	0.001323191	-0.065466945
126	60	0.099668652	12.8	0.001199251	-0.051436953
108	80	0.074859848	-5.2	0.001818922	-0.121583722
97	100	0.059928155	-16.2	0.001505561	-0.086111253
89	120	0.049958396	-24.2	0.001419828	-0.076406327
84	140	0.042830933	-29.2	0.001420798	-0.076516121
79	160	0.037482437	-34.2	0.001369468	-0.070705534
75	180	0.033320996	-38.2	0.001335006	-0.066804487
73	200	0.029991005	-40.2	0.001351424	-0.068662933

Pada Tabel I. dilakukan sepuluh kali pengujian dengan jarak aktual yang berbeda, dari data tersebut didapatkan nilai rata-rata dari *ro* sebesar - 0.076308753 dan nilai rata-rata *rpc* sebesar 0.001418966.

TABEL II.
HASIL UJI COBA KALIBRASI DENGAN TINGGI (H) 7 CM

pfc	D _{actua}	θ_{actual_i}	Zi	rpc	ro
239	25	0.273009	122.8	0.001453	-0.07434
175	40	0.173246	58.8	0.001339	-0.06101
136	60	0.116142	19.8	0.001091	-0.03226
112	80	0.087278	-4.2	0.001728	-0.10628
99	100	0.069886	-17.2	0.001433	-0.072
90	120	0.058267	-26.2	0.001384	-0.06632
82	140	0.049958	-34.2	0.001303	-0.05692
78	160	0.043722	-38.2	0.00133	-0.06003
77	180	0.038869	-39.2	0.00142	-0.07048
74	200	0.034986	-42.2	0.001411	-0.06944

Hasil pengujian yang menggunakan tinggi jarak antara kamera dan laser sebesar 7 cm ditunjukkan pada Tabel II.

Dari Tabel II . diperoleh nilai rata-rata dari ro sebesar -0.06691 dan nilai rata-rata rpc sebesar 0.001389.

Hasil pengujian yang menggunakan tinggi jarak antara kamera dan laser sebesar 9 cm ditunjukkan pada Tabel III.

TABEL III.
HASIL UJI COBA KALIBRASI DENGAN TINGGI (H) 9 CM

pfc	D_ actual	θ_{actual}	Zi	rpc	ro
238	28	0.310998281	86.3	0.002244284	-0.22314126
234	40	0.221314442	82.3	0.001263643	-0.07437812
182	60	0.148889948	30.3	0.001042025	-0.04075861
154	80	0.112028962	2.3	-0.002298967	0.466069946
139	100	0.089758174	-12.7	0.002169954	-0.21186540
127	120	0.074859848	-24.7	0.001718896	-0.14343998
118	140	0.064197376	-33.7	0.001576238	-0.12179867
114	160	0.056190786	-37.7	0.001621374	-0.12864585
108	180	0.049958396	-43.7	0.001541377	-0.11651036
103	200	0.044969662	-48.7	0.001485563	-0.10804334

Dari Tabel III. diperoleh nilai rata-rata dari ro sebesar -0.070251169 dan nilai rata-rata rpc sebesar 0.001236439.

Setelah pengujian pengambilan data kalibrasi selesai maka hasil nilai ro dan rpc yang diperoleh akan digunakan sebagai parameter tambahan dalam perhitungan deteksi jarak.

B. Uji Coba Perhitungan Deteksi Jarak

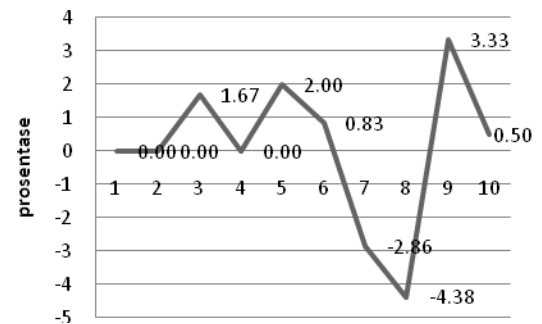
Tujuan uji coba ini untuk mengetahui akurasi dari perhitungan jarak menggunakan nilai parameter-parameter hasil dari proses kalibrasi. Pada Tabel IV. ditunjukkan hasil perbandingan jarak yang diperoleh dari hasil perhitungan sistem (D_{laser}) dengan jarak yang sebenarnya (D_{actual}).

TABEL IV.
HASIL PERHITUNGAN JARAK

Uji coba	h=9 (cm)		h=7 (cm)		h=6 (cm)	
	D_ actual	D_ laser	D_ actual	D_ laser	D_ actual	D_ laser
1	37	37	25	25	22	22
2	40	40	40	40	40	40
3	60	58	60	59	60	59
4	80	77	80	78	80	80
5	100	91	100	98	100	98
6	120	108	120	117	120	119
7	140	118	140	136	140	144
8	160	134	160	158	160	167
9	180	144	180	174	180	174
10	200	157	200	187	200	199

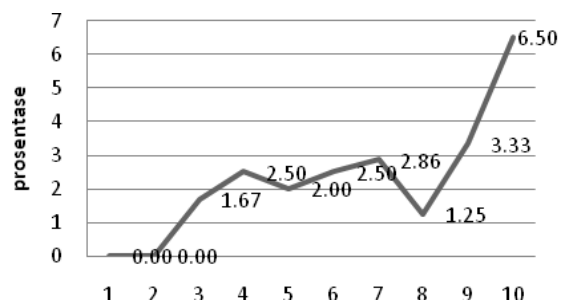
Hasil perhitungan jarak pada Tabel IV dengan h=6 menggunakan nilai ro sebesar -0.076308753 dan nilai rpc sebesar 0.001418966. Dari sepuluh kali uji coba hasil yang memiliki tingkat akurasi paling bagus pada

jarak 22 cm, 40 cm dan 80 cm. Prosentase error ditunjukkan pada Gambar 5. dengan nilai rata-rata $error$ sebesar 0.11%.



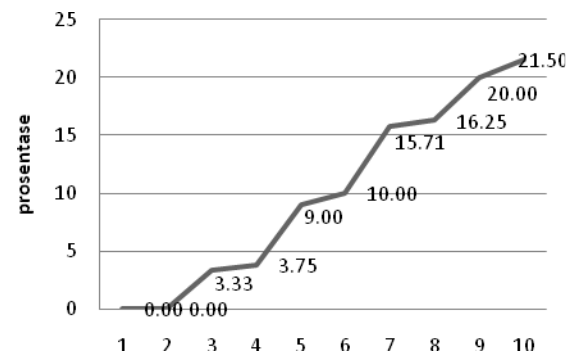
Gambar 5. Prosentase $error$ Saat Uji Coba h=6 cm

Hasil perhitungan pada Tabel IV dengan h=7. menggunakan nilai ro sebesar -0.06691 dan nilai rpc sebesar 0.001389 yang diperoleh dari perhitungan pada Tabel II. Dari sepuluh kali uji coba hasil yang memiliki tingkat akurasi paling bagus pada jarak 25 cm dan 40 cm. dengan nilai rata-rata $error$ sebesar 2.26%, prosentase $error$ ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Prosentase $error$ Saat Uji Coba h=7 cm

Hasil perhitungan untuk h = 9, menggunakan nilai ro -0.070251169 dan nilai rpc sebesar 0.001236439 yang diperoleh dari perhitungan pada Tabel III. Akurasi paling bagus pada jarak 37 cm dan 40 cm. Prosentase kesalahan ditunjukkan pada Gambar 7. dengan nilai rata-rata $error$ sebesar 9.95%.



Gambar 7. Prosentase $error$ Saat Uji Coba h=9 cm

C. Hasil Uji Integrasi Sistem

Pengujian integrasi sistem dilakukan untuk mengetahui akurasi seberapa peka sistem mendeteksi obyek yang melewati sinar laser. Hasil uji coba dapat

dilihat pada Tabel V berikut ini :

TABEL V.
HASIL PENGUJIAN INTEGRASI SISTEM KEAMANAN RUANG

Objek	Pencahaya-an Jarak dengan webcam (meter)	Terang Hasil Deteksi	Gelap Hasil Deteksi
Manusia	1	Sukses	Sukses
	2	Sukses	Sukses
	3	Sukses	Sukses
	4	Sukses	Sukses
	5	Sukses	Sukses
	6	Sukses	Sukses
	7	Gagal	Sukses

Pengujian integrasi sistem mengabaikan tingkat akurasi nilai jarak, pengujian difokuskan untuk mengetahui seberapa jauh sistem dapat mendeteksi objek yang melewati cahaya laser .

D. Pembahasan

Deteksi jarak pada penelitian ini menggunakan webcam dan laser sebagai hardware untuk proses input data, kemudian data diolah untuk dihitung sesuai Persamaan 4. untuk mengetahui nilai jarak. Hasil yang didapatkan dari proses pengujian kalibrasi untuk mendapatkan nilai ro dan rpc , pada uji kalibrasi digunakan tiga nilai h yang berbeda yakni 6 cm, 7cm, dan 9 cm. Masing-masing uji kalibrasi dengan setiap nilai h dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan nilai D_{actual} yang sama. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai rata-rata ro dan rpc berbeda untuk h yang berbeda. Nilai ini dipengaruhi dari posisi pixel titik laser yang ditangkap oleh kamera yang menyesuaikan dari nilai D_{actual} dan h .

Pada pengujian jarak menggunakan tiga parameter h yang berbeda nilai rata-rata $error$ paling kecil didapatkan menggunakan $h = 6$ sedangkan nilai $error$ paling besar menggunakan $h = 9$. Dari hasil analisis dapat diketahui hal ini terjadi ketika webcam berada pada posisi dekat dengan objek titik sinar sehingga laser yang ditangkap oleh webcam berada pada posisi terjauh dari pusat focal lensa, citra yang didapatkan juga masih baik dan nilai sudut (θ) yang diperoleh juga besar sehingga perhitungan jarak masih sangat optimal, namun ketika posisi webcam semakin jauh dari objek sinar maka laser yang ditangkap oleh webcam berada pada posisi terdekat dari pusat focal lensa sehingga nilai sudut (θ) yang diperoleh sangat kecil dan citra yang didapatkan juga sudah mulai tidak bagus karena sinar laser mulai membias yang menyebabkan titik pada objek menjadi lebih besar.

Hasil pengujian integrasi dari deteksi sinar laser yang memanfaatkan teknologi laser *rangefinder* untuk sistem keamanan ruangan, diketahui bahwa deteksi dengan bantuan sinar laser diperoleh hasil yang maksimal ketika digunakan pada keadaan ruangan yang gelap maupun terang, hasil uji coba pada Tabel V pada keadaan ruangan terang sistem mulai gagal mendeteksi pada jarak 7 meter. Hal ini disebabkan semakin jauh jarak

laser yang dipancarkan mengakibatkan sistem sulit mendeteksi sinar laser karena cahaya laser semakin tertutupi oleh sumber cahaya yang lain .

Ada beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil maksimal diantaranya sinar laser diarahkan pada bidang datar, padat, tidak berwarna gelap (menyerap cahaya), namun jika terdapat sumber cahaya lain yang lebih terang tertangkap kamera maka didapatkan hasil yang kurang bagus karena cahaya dari sinar laser terkadang kalah dengan sumber cahaya lain, sehingga terkadang sistem peringatan aktif walaupun tidak ada obyek yang melewati cahaya laser

V. KESIMPULAN

Hasil yang didapatkan dari proses pengujian kalibrasi untuk mendapatkan nilai ro dan rpc , pada uji kalibrasi digunakan tiga nilai h yang berbeda yakni 6, 7, dan 9 cm. Masing-masing uji kalibrasi dengan setiap nilai h dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan nilai D_{actual} yang sama dengan tingkat akurasi paling bagus pada jarak antara 22 – 80 cm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai rata-rata ro dan rpc berbeda untuk h yang berbeda. Nilai rata-rata $error$ paling kecil didapatkan menggunakan $h = 6$ sebesar 0.11% sedangkan nilai $error$ paling besar menggunakan $h = 9$ sebesar 9.95%. Nilai ini dipengaruhi dari posisi pixel titik laser yang ditangkap oleh kamera yang menyesuaikan dari nilai D_{actual} dan h .

Hasil pengujian deteksi penyusup menunjukkan bahwa diperoleh hasil yang baik ketika digunakan pada keadaan ruangan yang gelap maupun terang, namun lebih maksimal digunakan pada kondisi ruangan minim cahaya penerangan

REFERENCES

- [1] C.E. Portugal-Zambrano, J.P. Mena-Chalco. 2011. Robust Range Finder Through a Laser Pointer and a Webcam . Electronic Notes Theoretical Computer Science. 281 (143–157).
- [2] Agung B, dkk. 2005 .Aplikasi Web Cam dengan Java Media Framework. Transmisi, Vol. 9, No. 1: 5 - 10.
- [3] Nugraha, Nur Ocvian dan Subali. 2010. Monitoring Dan Sistem Keamanan Ruang Penyimpan Barang-Barang Berharga Berbasis Mikrokontroler Atmega8535. Undergraduate thesis, Undip. Unpublished
- [4] Dick, A.R., Brooks, M.J.. 2004. A Stochastic Approach to Tracking objects Across multiple cameras. In: Advances in Artificial Intelligence, pp. 160-170.
- [5] Anand Panangada. Maja Matari'. Gaurav Sukhatme. 2004. Detecting Anomalous Human Interactions using Laser Range-finders. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS).
- [6] Danko, T. Webcam Based DIY Laser Rangefinder. https://sites.google.com/site/toddanko/home/webcam_laser_ranger. Diakses tanggal 12 Agustus 2012.
- [7] Krismanto. 2008. Pembelajaran Trigonometri SMA. Yogyakarta :Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Matematika.
- [8] Gunawan,F. 2005. Membuat Sistem Pendeteksi Ruangan Dengan Sinar Laser. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [9] Utama N, Shoffin. 2012. Penerapan Teknologi Laser Rangefinder Dan Deteksi Gerakan Untuk Sistem Keamanan Ruangan. Seminar Nasional Green Technology 3. Malang.