

Sistem Otomasi Penggerak Kamera Dengan Motor Step Sebagai Alat Bantu Kalibrasi Alat Ukur Panjang

Adam Wicaksono dan Iwan D. W. Susanto

Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung

afaqih15@gmail.com

Abstrak

Alat ukur panjang merupakan alat yang digunakan untuk mengukur jarak antara dua titik dan mengukur pada kegiatan teknik maupun penelitian yang paling banyak dipakai dalam dunia industri maupun perdagangan. Sehingga, pengujian alat ukur panjang mutlak dibutuhkan untuk menjamin kebenaran alat ukur. Saat ini pengujian tera dan tera ulang alat ukur panjang yang ada di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Kemetrolagian (PPSDMK) Bandung dilakukan dengan membandingkan alat ukur terhadap komparator standar. Pengamatan dilakukan menggunakan *web-camera* yang ditampilkan pada layar monitor. Kondisi kamera terpasang diam sehingga area pengamatan titik uji sempit, pemosisian kamera, dan pembacaan hasil uji harus dilakukan secara manual. Untuk meningkatkan mobilitas kamera, dalam penelitian ini dibuat sistem otomasi penggerak kamera menggunakan motor step. Motor dikontrol menggunakan mikrokontroler, sehingga kecepatan motor dapat diatur untuk menempatkan kamera pada posisi yang diinginkan menggunakan antar muka yang dilengkapi dengan pengolahan citra sederhana sehingga dapat mendeteksi posisi skala dan menentukan posisi kamera. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, posisi kamera telah dapat dikontrol sehingga motor akan berhenti ketika kamera mendeteksi posisi skala standar, serta menampilkan citra Gambar secara langsung. Karakteristik pengukuran selisih skala meliputi sensitivitas 0,095 mm/pixel, akurasi 96% dan presisi 98%.

Kata kunci: Alat ukur; kontrol; web-camera; motor stepper; citra; pengukuran

Abstract

Length measurement device is an instrument to measure the distance of two points in technical or research field that usually used for industrial or custody requirement. Due to those reasons, reliability of the instrument is very important. Nowadays, calibration and examination of the length measurement instrument are performed by PMDK Bandung by comparing the instrument with standard meter. The examination was observed using a web camera and displayed on the screen. The camera was statically placed so that testing point area becomes limited. Observation was manually performed. In this study, automation for camera movement was developed using a motor stepper. Motor stepper was controlled by microcontroller in order to set its velocity in placing camera into the right position. Those processes were performed using an interface module that equipped with simple image processing to detect position, scale and set the position of the camera. This system has been tested. As a result, the camera was stopped and the image was captured while standard position has been detected. Sensitivity, accuracy and precision were obtained at 0.0095 mm/pixel, 96% and 98%, respectively.

Keywords: measurement device, control, web camera, motor stepper, image, measurement.

1 Pendahuluan

Alat ukur panjang merupakan salah satu alat yang banyak digunakan dalam bidang perdagangan sehingga perlu dilakukan peneraan untuk memastikan kebenarannya. Peneraan dilakukan sesuai dengan SK Dirjen PDN No. 32 tahun 2010 tentang Syarat Teknis Alat Ukur Panjang [1]. Pada saat pelaksanaan pengujian alat ukur panjang terutama

ban ukur di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Kemetrolgian (PPSDMK) Bandung dilakukan dengan metode komparasi antara alat ukur yang diuji dengan meter standar. Pengamatan dilakukan melalui kamera yang ditampilkan pada layar monitor. Penempatan serta pembacaan skala hasil pengukuran dilakukan secara manual. Hal ini berpotensi memungkinkan terjadinya kesalahan *paralaks*, sehingga bisa mengakibatkan kesalahan penghitungan, sudut pengamatan kamera atau penempatan posisi kamera. Posisi kamera yang diam mengakibatkan titik ujinya sempit sehingga metode yang digunakan saat ini menyita waktu dan tenaga yang cukup besar.

Pembuatan sistem penggerak kamera dengan menggunakan motor step dengan program pengolah citra untuk menentukan posisi perhentian kamera serta mengukur jarak antara dua titik uji dan menghasilkan laporan kalibrasi alat ukur panjang terhadap standar. Hal ini untuk meningkatkan kemampuan sistem sehingga membantu penguji dalam mengatur posisi kamera. Integrasi pergerakan kamera dengan sistem pengolahan citra yang ditangkap kamera dapat mempermudah penguji menentukan posisi skala yang paling tepat serta mempermudah penghitungan nilai jarak antara dua titik uji. Langkah ini dapat memperluas titik uji, meminimalisasi terjadinya kesalahan *paralaks*, serta menghemat waktu dan tenaga penguji.

2 Kalibrasi

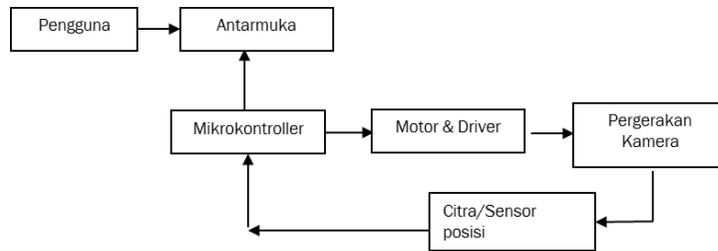
Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu [2]. Tujuan kalibrasi adalah untuk mengetahui ketertelusuran suatu alat ukur, simpangan alat ukur, serta menjamin alat ukur telah tertelusur dengan standar nasional maupun internasional. Hal ini akan bermanfaat untuk menjaga kondisi alat ukur agar tetap sesuai dengan spesifikasi dan mendukung sistem mutu di industri atau bidang lain yang berkaitan dengan alat tersebut.

Kalibrasi panjang merupakan suatu pengujian ketertelusuran terhadap alat ukur panjang. Kalibrasi panjang ini dilakukan dengan membandingkan alat ukur yang diuji dengan standar uji yang juga disebut komparator. Teknis pengujian panjang yang dilakukan mengacu pada OIML R35 [3] yang telah disesuaikan metodenya pada SK Dirjen PDN No. 32 tahun 2010 tentang Syarat Teknis Alat Ukur Panjang [1].

3 Prinsip Dasar

3.1 Sistem Pengukuran

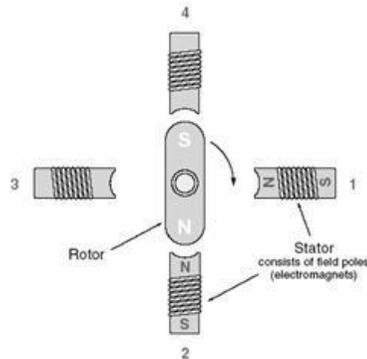
Sistem pengukuran dilakukan dengan antarmuka antara mikrokontroler dengan komputer. Pengguna akan mengomunikasikan mikrokontroler dengan komputer melalui *serial port*. Mikrokontroler akan memberikan pulsa kepada motor step melalui *driver* untuk mengontrol arah pergerakan motor step. Selama motor step bergerak, kamera akan menangkap citra yang kemudian diolah komputer. Ketika komputer mendeteksi adanya citra skala standar kemudian pulsa diberikan ke mikrokontroler untuk memberhentikan pergerakan motor step. Setelah motor step berhenti komputer akan menangkap citra skala uji kemudian akan memberitahukan selisih jarak antara citra skala standar dengan skala uji. Gambar 1 merupakan Gambar blok diagram sistem pengukuran.



Gambar 1 Diagram sistem pengukuran

3.2 Motor Step

Motor step adalah perangkat mekanik elektri yang mengkonversi pulsa listrik menjadi gerak putaran diskrit (gerak patah-patah). Motor step dapat berputar dengan langkah tetap dengan besar sudut tertentu. Besarnya sudut untuk tiap langkah bervariasi antara 0, 9° hingga 90°. Motor step digunakan pada aplikasi yang memerlukan perputaran pada sudut tertentu namun tidak memerlukan umpan balik dari sensor posisi. Sudut perpindahan dapat diketahui dengan menghitung jumlah langkah yang dilakukan dalam satu putaran [4]. Berdasarkan konstruksinya motor step dapat dibedakan menjadi dua yaitu motor step magnet permanen dan motor step reluktansi variable. Konstruksi dasar dari suatu motor step dalam hal ini jenis magnet permanen, yang terdiri dari rotor berupa magnet permanen dan stator berupa elektromagnet ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Komponen Motor Step

3.3 Antar muka (Graphical User Interface, GUI)

Antar muka merupakan perangkat yang mempermudah interaksi antara komputer dengan pengguna untuk meningkatkan kinerja dan produktivitas penggunaannya. Pembuatan antar muka menggunakan perangkat lunak Visual Basic. Visual Basic (VB) adalah salah satu alat untuk membangun aplikasi di platform Windows. Dalam pengembangan aplikasi, VB menggunakan pendekatan visual untuk merancang *user interface* dalam bentuk form, sedangkan untuk pemrogramannya menggunakan bahasa *Basic*.

3.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan keseluruhan sistem komputer yang dibuat dalam satu chip atau disebut juga mikrokomputer yang terdiri dari komponen utama komputer (CPU, RAM(Random Acces Memory), ROM(Read Only Memory), Port I/O) yang dikemas berupa IC digunakan untuk tujuan tertentu [5].

Mikrokontroler yang digunakan pada proyek ini adalah Arduino UNO. Mikrokontroler Arduino adalah mikrokontroller *single-board* yang bersifat *open source* [6]. Selain itu mikrokontroler Arduino dipilih karena bahasa dalam Arduino yang relatif mudah dan tersedia *bootloader* untuk mengupload program dari komputer. Dalam proyek ini mikrokontroler Arduino akan menggerakkan motor step dengan memberikan kombinasi *input* sinyal digital yaitu *High* (1) atau *Low* (0) pada *driver* untuk mengaktifkan kumparan pada motor step yang akan membuat pergerakan motor step secara *clockwise* atau *counterclockwise*.



Gambar 3 Mikrokontroler arduino

3.5 Motor Driver IC L 293D

Motor driver yang digunakan sebagai pengontrol motor step pada proyek akhir ini adalah IC L 293 D. IC L 293D terdiri 16 pin berupa *input*, *output*, *vcc*, *ground*, dan *enable*. Motor driver ini menggunakan rangkaian H-Bridge dua pasang yang masing-masing dikendalikan oleh dua *enable*. Pin *enable* berfungsi untuk mengaktifkan motor yang menerima sinyal dari keluaran PWM pada mikrokontroler. Pin *input* digunakan untuk *input* logika yang mengatur putaran motor. Vcc pin 8 merupakan sumber tegangan untuk motor sedangkan Vcc pada pin 16 untuk sumber tegangan IC.

3.6 Pengolahan Citra Digital

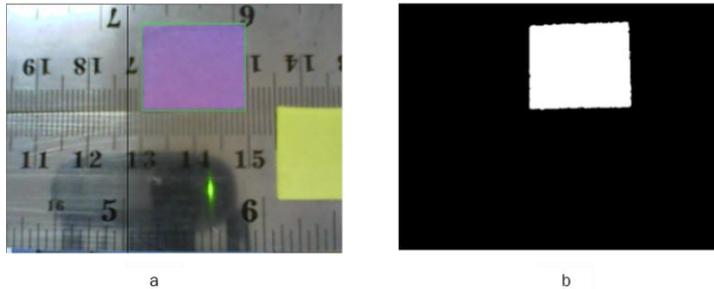
Citra digital merupakan suatu *array* yang memiliki nilai real atau kompleks yang direpresentasikan dalam nilai bit tertentu. Suatu citra digital dapat didefinisikan sebagai suatu fungsi $f(x,y)$ dengan ukuran baris A dan kolom B dan x,y merupakan koordinat spasial dan f merupakan derajat keabuan dari citra tersebut [7]. Citra digital dimodelkan dalam bentuk matrik piksel seperti pada Persamaan

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0,2) & \dots & f(0,B-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,B-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(A-1,0) & f(A-1,1) & \dots & \dots & f(A-1,B-1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Piksel merupakan irisan baris dan kolom. Posisi x,y piksel disebut juga dengan *picture element*, atau pels

3.7 Analisis Citra Digital

Pada proyek ini dilakukan objek *tracking* yang merupakan teknik untuk melacak atau mendeteksi suatu objek yang diinginkan. Metode yang digunakan dalam pelaksanaannya adalah operasi deteksi tepi dan garis dan segmentasi warna.



Gambar 4 a. Gambar asli kamera sebelum di lakukan segmentasi warna b. Gambar biner hasil segmentasi warna

Metode segmentasi warna mengandalkan *color filtering* untuk mendeteksi warna tertentu pada suatu objek Gambar. Setelah menemukan warna yang diinginkan barulah menentukan langkah pengolahan selanjutnya. Definisi warna yang difilter ditentukan dari kombinasi warna *red*, *green*, *blue*. Keluaran dari metode ini langsung akan menghasilkan sebuah Gambar biner. Gambar biner sendiri adalah sebuah Gambar yang hanya memiliki 2 derajat keabuan yaitu hitam dan putih seperti pada Gambar 4. Warna putih pada Gambar adalah merupakan representasi dari sebuah piksel yang warnanya diloloskan. Sedangkan warna hitam pada Gambar merupakan representasi dari piksel yang warnanya tidak diloloskan.

4 Rancangan Alat dan Implementasi

4.1 Perancangan Sistem Purwarupa Dudukan Kamera

Secara garis besar alat terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras berkaitan dengan kerja mekanik alat dan perangkat lunak berkaitan dengan pemrosesan Gambar yang ditangkap. Alat bekerja dengan cara dikontrol melalui antarmuka komputer yang mengakses mikrokontroler Arduino untuk memposisikan kamera pada titik uji. Kamera selanjutnya menangkap Gambar titik uji yang kemudian diproses. Pada sistem otomasi ini digunakan motor step. Motor step digunakan untuk menggerakkan kamera ke posisi yang diinginkan. Posisi tersebut ditentukan oleh hasil pembacaan citra Gambar dari webcam yang terpasang pada dudukan kamera. Kamera bergerak pada lintasan yang telah dirancang sehingga memungkinkan untuk melakukan gerak empat arah. Berikut tahapan prinsip kerja alat :

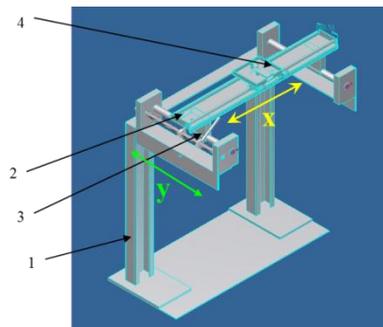
1. Pergerakan kamera dipicu oleh pengguna yang mengkoneksikan antara komputer dan mikrokontroler secara manual dengan memberikan *input* pulsa melalui *button* pada program Visual Basic. Hal ini dilakukan dengan menekan *button* arah.
2. Sinyal dari *button* yang masuk ke mikrokontroler kemudian dieksekusi. Mikrokontroler memasok tegangan untuk penggerak motor step berupa tegangan DC 5 volt.
3. Motor bergerak pada lintasan.

4. Kamera akan menangkap Gambar dan mengirim citra Gambar ke *processor* komputer. Kemudian dari citra kamera yang dikirim ke komputer Gambarnya diolah sehingga diperoleh Gambar yang diinginkan. Dari Gambar tersebut diperoleh koordinat piksel (x,y) sudut Gambar. Hasil pengolahan tersebut akan menghasilkan *set point* untuk menghentikan pergerakan pada posisi yang diinginkan. Dari ujung ke ujung diukur koordinat pikselnya kemudian dikonversi menjadi jarak.

4.2 Pembuatan Perangkat Keras Penggerak Kamera

Perangkat keras sistem penggerak kamera ini terdiri dari dua bagian besar yaitu perangkat mekanik dan rangkaian elektronik. Perangkat keras sistem penggerak kamera ini terdiri dari dua bagian besar yaitu perangkat mekanik dan rangkaian elektronik.

Rancangan alat dibuat dengan memperhatikan kemudahan gerak dan arah gerak agar kamera bisa mendapatkan sampel yang lebih banyak. Rancangan mekanik tentunya sangat berpengaruh terhadap hasil pengambilan Gambar pada kamera, sehingga diperlukan rancangan mekanik yang sesuai.



Gambar 5 Rancangan awal alat

Keterangan bagian alat :

- | | |
|--------------------------|-------------------|
| 1. Kerangka penyangga | 3. Mur dan baut |
| 2. <i>Shaft</i> lintasan | 4. Dudukan kamera |

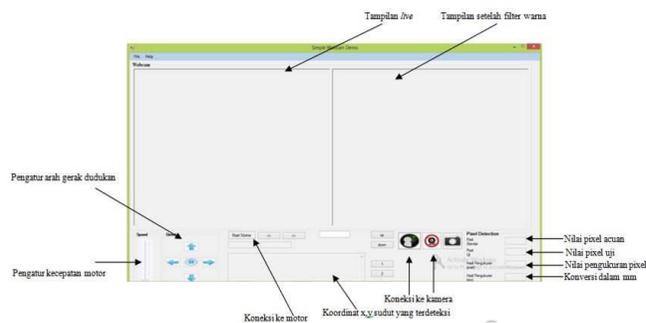
Konstruksi di atas memungkinkan untuk membuat gerakan empat arah dengan pengontrol semi otomatis. Penggunaan motor step juga memungkinkan untuk mengatur laju putaran serta jumlah step yang diberikan, dan ketika motor berhenti otomatis dudukan akan berhenti seketika.

Rangkaian elektronik pada penelitian ini terdiri dari mikrokontroler, *driver* dan motor. Motor yang digunakan membutuhkan daya 5 V sehingga *input* langsung diberikan melalui mikrokontroler. Untuk menggerakkan motor juga dibutuhkan IC L293d sebagai Motor *Driver*. Pada rangkaian ini mikrokontroler terhubung ke IC sebagai *input* kemudian dari IC langsung terhubung ke motor.

4.3 Pemrograman Mikrokontroler

Antarmuka pengontrol sendiri dari “form1” dan “form2”. “Form1” berisi beberapa button, combo box dan statusStrip seperti berikut :

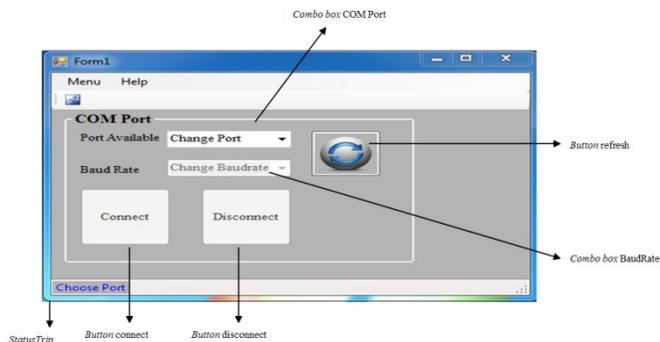
1. *Button refresh* yang berguna untuk mendeteksi port yang terbaca pada komputer dan menambahkannya pada *combo box port* yang berguna untuk memilih port mikrokontroler yang akan dikoneksikan dengan komputer.
2. *Combo box baudrate* yang berguna untuk memilih *baudrate* untuk melakukan koneksi serial dengan mikrokontroler.
3. *Button connect* dan *disconnect* yang berguna untuk mengkoneksikan dan memutus koneksi antara mikrokontroler dan komputer.
4. *Status Strip* yang berguna untuk menampilkan kondisi antar muka antara komputer dan mikrokontroler.



Gambar 6 Tampilan form1

Langkah interkoneksi antarmuka sebagai mana ditunjukkan pada Gambar 6 antara lain sebagai berikut :

1. Mengaktifkan koneksi komputer dengan mikrokontroler melalui pemilihan *port COM* dan *baudrate* yang tersedia pada “form1”.
2. Ketika pemilihan *port COM* dan *baudrate* sesuai pada mikrokontroler maka muncul “form2” yang berisi toolbox yang berguna untuk mengatur arah pergerakan motor maupun untuk mengetahui posisi dan mengetahui jarak antara skala standar dan uji sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.
3. Selanjutnya dilakukan pergerakan motor step dengan menekan *button* “start motor” dan memilih arah pergerakan kamera. Kecepatan pergerakan motor step dapat diatur dengan menggeser *scrollbar* “speed”.
4. Untuk mengaktifkan kamera dilakukan dengan mengklik *button* “webcam”



Gambar 7 Tampilan form2

5. sehingga pada “form2” akan menampilkan Gambar yang terekam kamera secara langsung dan Gambar yang hanya terdeteksi sesuai segmen warna yang diterapkan berupa citra *grayscale*.
6. *Button* kiri dan kanan digunakan untuk memposisikan garis bantu vertikal pada tampilan kamera secara *live*.
7. Motor step akan bergerak dan mendeteksi adanya objek penanda standar yang berupa *rectangle* dan menampilkan keempat koordinat titik ujung *rectangle* tersebut pada *textbox* “x,y”.
8. Posisi garis bantu berperan terhadap posisi pandangan kamera dalam mendeteksi objek. Ketika posisi garis bantu berhimpit dengan titik ujung *rectangle* (X3), maka komputer akan memberikan *input* pulsa ke mikrokontroler untuk memberhentikan motor step. Ketika motor step berhenti akan menunjukkan deteksi yang lebih stabil dibandingkan dengan ketika bergerak.
9. Komputer selanjutnya mendeteksi objek penanda skala uji yang juga berupa *rectangle* dan menampilkan keempat koordinat titik ujungnya pada *textbox* “x,y”.
10. Selanjutnya koordinat salah satu titik ujung *rectangle* yang diletakkan berhimpit dengan skala uji (X0) ditampilkan pada sebuah *textbox* “Posisi2” dan menyimpannya ke dalam suatu variabel “Posisi2”.
11. Setelah variabel tersebut tersimpan selanjutnya menekan *button* “1” untuk mendeteksi koordinat titik ujung skala yang standar yang dihimpitkan dengan skala pada mistar dalam hal ini diperoleh koordinat (X3) dan disimpan dalam variabel “Posisi1”. Selisih koordinat variabel “Posisi1” dan “Posisi2” menunjukkan jarak antara skala standar dan uji yang dinyatakan dalam satuan piksel.

4.4 Pemrosesan Gambar dan Proses Pengukuran

Pada perancangan program citra digital RGB diubah menjadi HSV karena rentang RGB sangat luas, sedangkan dalam HSV nilai warna berdasarkan *Hue* dibatasi dari 0-180. Dalam menentukan penanda yang akan dikenali, diberikan rentang minimum dan maksimum nilai HSV agar dapat memfilter citra objek yang spesifik yang sesuai dengan penanda yang diinginkan.

Kemudian hasil citra HSV tersebut ditampilkan dengan format *gray scale* untuk memastikan bentuk (*contour*) objek yang akan dideteksi. Dalam tampilan *gray scale* sesuai

nilai rentang HSV, akan diperoleh tampilan yang sesuai dengan *contour* objek. Pada tampilan *gray scale*, objek yang sesuai dengan rentang nilai HSV yang ditentukan akan berwarna putih dan *background* ataupun objek lain yang tidak spesifik dengan rentang HSV yang ditentukan akan berwarna gelap (hitam).

Setelah diperoleh *contour* yang sesuai dengan objek, maka luas area objek yang terdeteksi dibatasi untuk mencegah terdeteksinya objek yang berwarna serupa dengan objek yang ingin dideteksi. Luas area objek sebanding dengan jumlah piksel dalam objek yang terdeteksi. Selanjutnya dicari titik sudut kontur tersebut.

Contour yang terdeteksi hanya yang berbentuk *rectangle* sehingga titik pada *rectangle* harus ada empat. Setelah menemukan titik ujung pada objek tersebut untuk memastikan bahwa *contour* tersebut adalah benar-benar berupa *rectangle*, maka diberikan batas nilai sudut antar tepi-tepi objek. Jika sudut antar tepi-tepi objek kurang dari 80 derajat atau lebih dari 100 derajat, maka objek dianggap bukan *rectangle*. Setelah didapat suatu objek *rectangle* berdasarkan kondisi-kondisi diatas, selanjutnya adalah mendeteksi penanda skala standar yang akan disimpan keempat koordinat point-nya dalam objek *rectangle* yang telah terdeteksi.

Untuk mendeteksi penanda skala uji digunakan penanda dengan warna yang berbeda jauh dari warna penanda skala standar. Dengan demikian, rentang HSV untuk penanda skala uji juga berbeda sehingga perbedaan rentang HSV tersebut yang juga digunakan untuk membedakan antara skala standar dan uji.

Untuk menggerakkan motor, pada program dibuat suatu logika agar motor step bergerak bila ada pulsa sebagai akibat penekanan pada *button* arah. Motor step akan bergerak ke arah sesuai dengan penekanan *button* arah yang ditekan pengguna. Selanjutnya, kamera berjalan dan mendeteksi objek yang dimaksud. Ketika kamera menangkap koordinat garis bantu berhimpit dengan koordinat salah satu *point rectangle* skala standar (X3), motor step akan berhenti.

Untuk memastikan kebenaran koordinat antara garis bantu dan point dari penanda *rectangle*, skala standar yang terdeteksi (X3) yang diperoleh dibandingkan dengan hasil pembacaan dari *histogramBox* yang tersedia dalam *library OpenCv*. Perbandingan kebenaran dilakukan dengan meletakkan posisi mouse di atas koordinat dari objek piksel yang diinginkan. Sehingga, deteksi kesalahan penentuan koordinat, baik untuk garis bantu ataupun objek yang ingin dideteksi lebih mudah. Saat semua kondisi algoritma pemrograman terpenuhi, program kemudian mendeteksi penanda skala uji dan mengambil koordinat titik ujung salah satu yang berhimpit dengan tepi skala mistar. Dari koordinat antara penanda skala standar dan penanda skala uji akan diketahui selisih koordinatnya yang kemudian dikonversi dalam skala (mm).

5 Data Dan Analisis

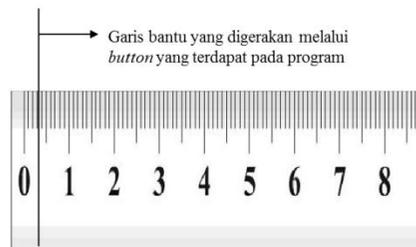
Alat yang dibuat berfungsi untuk mengukur pembacaan jarak dua skala berdasarkan citra yang ditangkap pada kamera untuk memperoleh hasil pembacaan citra digital yang berupa nilai piksel menjadi nilai dalam satuan panjang (milimeter) dengan beberapa pengujian sebagai berikut :

1. Dilakukan pengujian membandingkan jumlah piksel dengan jarak sebenarnya secara manual. Selanjutnya dari perbandingan tersebut diperoleh Persamaan untuk mengkonversi hasil selisih piksel.
2. Untuk mengetahui karakteristik statik pengukuran dilakukan pengujian histerisis, linieritas, akurasi, dan presisi. List the nomenclature in alphabetical order.

5.1 Konversi Jumlah Pixel Menjadi Jarak (mm)

Pengujian pertama dilakukan secara manual dengan cara membandingkan nilai piksel yang tertangkap pada kamera dengan skala mistar yang berfungsi sebagai skala standar. Adapun langkah kerjanya sebagai berikut :

3. Kamera dalam posisi diam
4. Mistar diletakkan di depan kamera
5. Komputer menjalankan aplikasi
6. Selanjutnya pada tampilan kamera tampak garis bantu yang dapat digeser posisinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Kalibrasi kamera

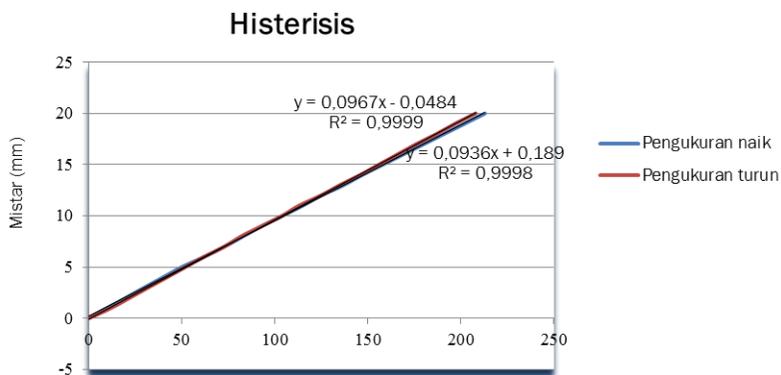
Dengan menentukan satu titik acuan data, diambil selisih 1 mm hingga 20 mm dari titik acuan. Pengujian kamera dilakukan dengan cara menggeser garis bantu 1 mm sampai 20 mm. Pada pengujian ini program akan menghitung selisih piksel pada setiap pergeseran perubahan skala dari skala acuan. Pada setiap pergeseran, selisih pikselnya dicatat secara manual. Dilakukan pengamatan posisi piksel yang ditangkap kamera, dan dibandingkan dengan posisi skala mistar. Hasil pengamatan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1 Pengukuran Posisi Pixel

Panjang (y) Standar (mm)	Posisi garis bantu naik (piksel)	Δ piksel naik (x)	Posisi garis bantu turun (piksel)	Δ piksel turun(x)	Δ pixel rata- rata (x)
1	328	10	330	12	11
2	338	20	340	22	21
3	348	30	350	32	31
4	358	40	360	42	41
5	368	50	370	52	51
6	380	62	380	62	62
7	391	73	391	73	73
8	401	83	400	82	82,5
9	411	93	411	93	93
10	422	104	422	104	104
11	433	115	431	113	114
12	443	125	443	125	125
13	455	137	453	135	136
14	465	147	464	146	146,5
15	476	158	474	156	157
16	487	169	484	166	167,5
17	498	180	494	176	178
18	509	191	505	187	189
19	520	202	515	197	199,5
20	531	213	526	208	210,5

5.2 Pengujian Histerisis

Berdasarkan Tabel 1 kemudian dibuat kurva hubungan perubahan skala dengan perubahan piksel sebagai perbandingan *output-input* untuk perubahan *input* naik dan turun sehingga diperoleh kurva histerisis seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Histerisis Pembacaan Pikel dan Mistar

Berdasarkan kurva pengukuran naik dan pengukuran turun terlihat kedua garis cukup berhimpit. Ini menunjukkan hubungan antara pengukuran naik dengan pengukuran turun memiliki histerisis yang cukup baik. Kurva pada Gambar 9 kemudian dinyatakan dengan Persamaan regresi linier sehingga diperoleh Persamaan:

Pengukuran naik

$$y = 0.093 x + 0.189 \tag{2}$$

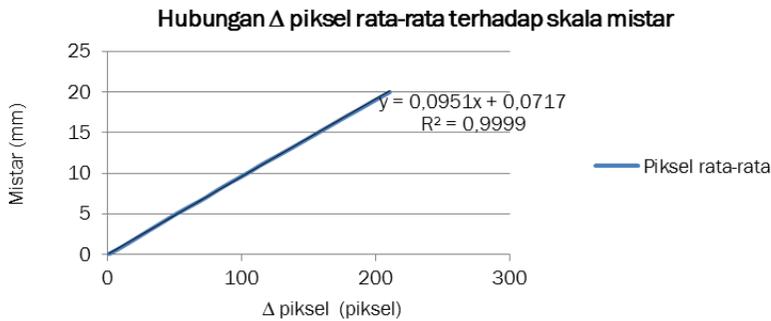
Pengukuran turun

$$y = 0.096 x - 0.048 \tag{3}$$

Kemudian dari data tersebut dihitung nilai histerisis, sehingga diperoleh presentase histerisis 0,3%. Nilai histerisis tersebut menunjukkan hasil yang cukup baik.

5.3 Pengujian Linieritas

Berdasarkan Tabel 1 kemudian dibuat kurva hubungan antara perubahan piksel rata-rata dengan perubahan skala mistar seperti pada Gambar 10



Gambar 10 Grafik Hubungan Piksel Rata-rata terhadap Jarak Aktual

Kurva hubungan antara perubahan pixel rata-rata dengan perubahan skala mistar kemudian dinyatakan dalam Persamaan regresi linier :

$$y = 0.095 x + 0.071 \tag{4}$$

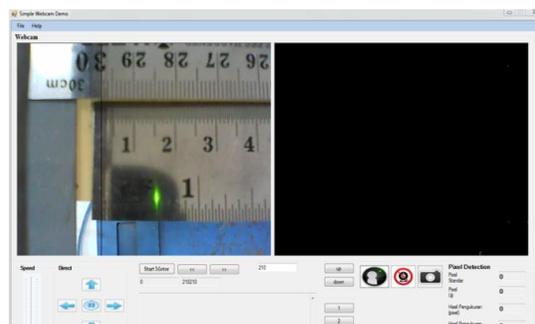
y : selisih jarak antara dua skala dalam milimeter (mm)

x : selisih jarak antara dua skala dalam piksel

Dari Persamaan (4), dapat diketahui sensitivitas yang merupakan output dibagi input dari pembacaan pixel kamera terhadap nilai skala yakni 0,095 mm/pixel. Selain itu dari kurva menunjukkan koefisien linieritas rata-rata (R^2) cukup baik untuk rentang pengukuran 20 mm dari titik acuan yaitu 0,999. Persamaan (4) digunakan untuk mengkonversi hasil pembacaan program yang berupa selisih piksel menjadi besaran panjang dalam satuan milimeter.

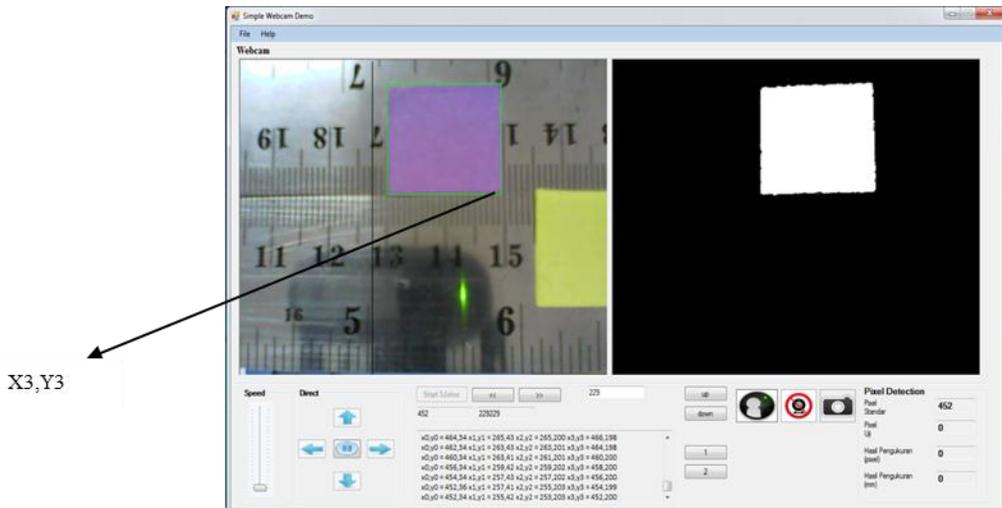
5.4 Pengujian Akurasi dan Presisi

Pengujian akurasi dan presisi dilakukan dengan simulasi pengukuran secara berulang pada beberapa titik yang telah ditentukan. Pada kondisi awal, program belum mendeteksi adanya penanda skala standar dari citra yang ditangkap kamera sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.

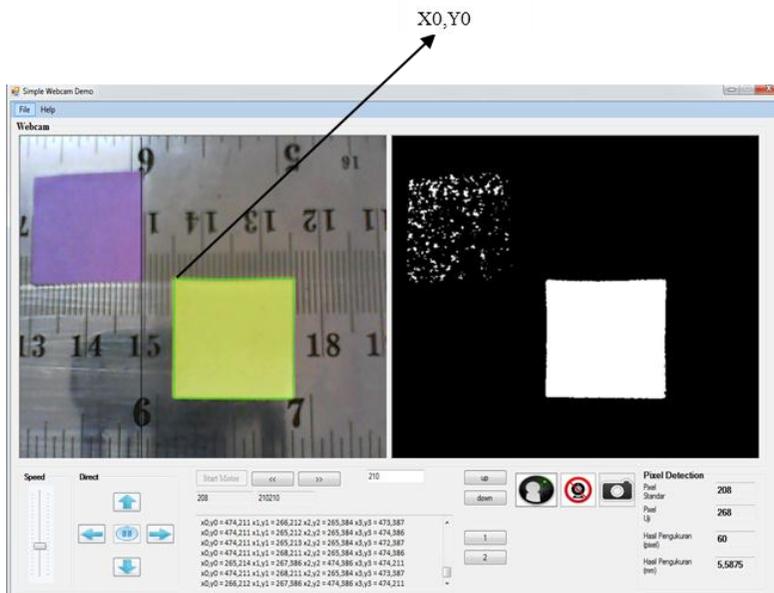


Gambar 11 Tampilan awal kamera

Selanjutnya, motor step bekerja dan menggerakkan kamera. Ketika kamera mulai bergerak komputer akan menemukan citra penanda yang ditangkap oleh kamera seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 Tampilan kamera ketika berjalan



Gambar 13 Tampilan Kamera yang Mendeteksi Skala Uji

Setelah komputer mendeteksi citra dari kamera selanjutnya program akan menyimpan keempat koordinat *rectangle*. Ketika posisi garis bantu berhimpit dengan salah satu koordinat titik ujung *rectangle* (X_3) maka motor step akan berhenti. Koordinat X_3 diletakkan berhimpit dengan skala standar yang akan diketahui jaraknya dengan skala uji.

Setelah kamera berhenti berjalan komputer berganti mendeteksi penanda skala uji seperti pada Gambar 13 dan kemudian menyimpan nilai koordinat X0 dalam variabel "Posisi2". Selanjutnya pengguna menekan *button* "1" mengetahui koordinat titik acuan dan menyimpan kedalam variabel "Posisi1" .

Selisih koordinat piksel antara skala standar dengan skala uji merupakan selisih koordinat piksel X3 dan X0 pada variabel yang telah disimpan pada komputer yang kemudian dikonversi kedalam besaran panjang dengan satuan milimeter menggunakan Persamaan (4).

Tabel 2 Rangkuman pengolahan data pengukuran

Titik Uji	X benar mm	X rata2 mm	STD	Bias	Akurasi	Presisi	Error
1	5	5	0,1	0,2	91%	95%	9%
2	10	10	0,1	0,0	98%	98%	2%
3	15	15	0,1	0,0	98%	99%	2%
4	20	20	0,1	0,1	99%	99%	1%
Rata - rata					96%	98%	4%

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, nilai akurasi rata-rata untuk rentang pengukuran 0 mm – 20 mm adalah 96%. Sedangkan untuk nilai presisi pada rentang pengukuran yang sama adalah 98%. Nilai akurasi terbesar adalah pada titik 20 mm dengan persentase akurasi 99% sedangkan nilai akurasi terkecil pada titik pengukuran 5 mm dengan prosentase akurasi 91%. Nilai presisi pengukuran terbesar pada titik 15 mm dan 20 mm dengan prosentase kepresisian 99% sedangkan prosentase kepresisian paling kecil adalah pada titik 5 mm.

6 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan maka diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Secara mekanik alat telah bekerja dengan baik sehingga kamera dapat digerakkan dan kemudian berhenti pada skala standar.
2. Purwarupa yang dibuat memiliki karakteristik statik pengukuran sebagai berikut:
 - Konversi perubahan piksel menjadi panjang diperoleh dari Persamaan $y = 0,095x - 0,071$ dengan y adalah hasil pengukuran jarak, x adalah jumlah perubahan piksel.
 - Koefisien linieritas (R^2) adalah 0,999 dan sensitivitas 0,095mm/piksel.
 - Histerisis untuk pengukuran naik dan turun adalah 0,003.

Akurasi rata-rata 96% dan presisi rata-rata 98%.

7 Daftar Pustaka

- [1] SK Dirjen PDN No.32 Tahun 2010 tentang Syarat Teknis Alat Ukur Panjang dan Lampiran
- [2] *ISO/IEC Guide 17025:2005*
- [3] *OIMLR-35, "Material Measures of Length for General Use", OIML, 1980.*
- [4] Kilian, Christopher. 2000. *Modern Control Technology, Components and Systems.* Delmare.
- [5] Nur, Anna. 2010. *Penggunaan Microcontroller Sebagai Pendeteksi Posisi Menggunakan Sinyal GSM.* <http://www.portalgaruda.org/> (17 Maret 2014)
- [6] [Arduino] <http://www.arduino.cc/> (17 Maret 2014)
- [7] Putra, Darma, 2010, *Pengolahan Citra Digital*, ANDI OFFSET, Yogyakarta