

Studi Pengukuran Konstanta Pegas dengan Pengolahan Citra

Adhitya Alkautsar dan Suprijadi

Program Studi Fisika, Institut Teknologi Bandung

Jln. Ganesa No. 10 Bandung

supri@fi.itb.ac.id

Abstrak

Object tracking merupakan aplikasi dari konsep pengolahan citra digital (*digital image processing*). *Object tracking* biasanya digunakan untuk mengamati suatu fenomena jarak jauh, namun demikian kepresisiannya juga dapat digunakan untuk mengamati fenomena dekat yang membutuhkan ketelitian dalam pengamatannya, salah satunya adalah pengamatan gerak pegas untuk menentukan suatu konstanta pegas melalui pengolahan citra dalam penelitian ini. Sebagai perbandingan kami menggunakan dua metode pengamatan, yaitu metode statik dan metode dinamik. Hasilnya terdapat perbedaan nilai konstanta pegas antara hasil pengolahan citra dan hasil mekanik untuk metoda statistik sebesar 2.51% sedangkan untuk metode dinamik sebesar 4.05%.

Kata kunci : citra digital, gerak harmonik sederhana, konstanta pegas, pengolahan citra, pegas.

Abstract

Object tracking is an application of digital image processing concept. It is usually used to observe long distance phenomena. However, its accuracy is also can be used to observed surrounding phenomena. At this paper we obtained spring constant using image processing. As comparison, we employed two observation methods and obtained different spring constant by mechanic and static method 2.51% and 4.05%, respectively.

Keyword: digital image, simple harmonic motion, spring constant, image processing, spring

1 Pendahuluan

Penglihatan pada mata manusia dewasa ini masih dianggap sebagai alat yang paling sempurna untuk mendeteksi dan menyeleksi informasi berbagai macam benda dalam suatu lingkungan tertentu. *Object tracking* pada umumnya digunakan untuk pengamatan yang tidak terjangkau oleh penglihatan manusia, baik itu karena jarak objek yang jauh maupun karena objek tersebut dalam lingkungan yang membahayakan. Aplikasinya dewasa ini digunakan pada objek *follower robot*, satelit mata-mata dll. Namun tidak menutup kemungkinan *object tracking* ini juga dapat digunakan untuk meneliti objek yang dekat tetapi membutuhkan intensitas pengamatan yang tinggi. Aplikasi sederhana yang dilakukan menggunakan *object tracking* ini adalah penentuan konstanta pegas yang pada umumnya menggunakan pengamatan secara mekanik dengan menghitung langsung dengan pengamatan mata seperti yang sekarang ini dilakukan di laboratorium Fisika Dasar ITB. Untuk mempermudah pengamatan dalam praktikum fisika dasar, penelitian ini mengembangkan pengolahan citra untuk menentukan konstanta pegas.

2 Pegas dan Gerak Harmonik Sederhana

Gerak harmonik sederhana (GHS) pada pegas merupakan contoh sederhana dari sebuah gerak periodik, gerak benda yang berulang sendiri dalam interval waktu yang sama. GHS pada pegas diakibatkan oleh adanya gaya pemulih ketika pegas diberi beban. GHS ini

bekerja berdasarkan hukum Hooke. Ekspresi hukum Hooke secara matematis dituliskan sebagai berikut

$$F = -ky \quad (1)$$

Persamaan GHS dapat ditentukan dengan mengaplikasikan Hukum II Newton yaitu

$$-ky = m \frac{d^2y}{dt^2} \quad (2)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{k}{m}y = 0 \quad (3)$$

Solusi dari persamaan ini dapat diasumsikan sebagai fungsi sinusoidal karena gerak periodiknya.

$$y(t) = Ae^{i\omega t} \quad (4)$$

$$\ddot{y}(t) = -\omega^2 Ae^{i\omega t} \quad (5)$$

Sehingga persamaan geraknya menjadi

$$-\frac{1}{\omega^2} \ddot{y}(t) = y(t)$$

$$\ddot{y}(t) + \omega^2 y(t) = 0 \quad (6)$$

Dengan membandingkan persamaan gerak pegas terhadap formulasi matematis hukum Hooke,

$$m\ddot{y}(t) + ky(t) = 0$$

$$\ddot{y}(t) + \omega^2 y(t) = 0 \quad (7)$$

Maka didapatkan $\omega^2 = \frac{k}{m}$ dimana $\omega = \frac{2\pi}{T}$ dimana ω adalah frekuensi sudut.

3 Pengolahan Citra Digital

Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan untuk memetakan gambar bergerak menjadi sebuah objek yang dapat diolah dalam bentuk data melalui *object tracking*.

Video yang ditangkap oleh kamera web dijadikan masukan sistem berupa frame-frame warna RGB yang selanjutnya diubah menjadi frame *gray scale* dengan mereduksi tiga kanal warna RGB menjadi hanya satu kanal warna saja. Secara matematis *gray scaling* merupakan penjumlahan nilai rata-rata intensitas warna merah, hijau, biru pada tiap piksel.

$$f_0(i, j, k) = \alpha f_i^R(i, j, k) + \beta f_i^G(i, j, k) + \gamma f_i^B(i, j, k) \quad (8)$$

Langkah berikutnya proses *thresholding* yaitu merubah citra abu-abu (*gray scaling*) menjadi citra biner (hitam (0) -putih (1)). Digunakan untuk memisahkan objek tertentu dengan objek lainnya dengan menghilangkan piksel-piksel yang tidak diinginkan (0) pada peta piksel. Persamaan matematis yang digunakan menggunakan set point yang telah ditentukan

$$f_0(x, y) = \begin{cases} 1 & ; T_l < f_i(x, y) < T_u \\ 0 & ; \text{Selain rentang } f_i(x, y) \end{cases} \quad (9)$$

Tepi-tepi objek dipertegas dengan menggunakan metode deteksi tepi Canny sehingga hanya menyisakan tepi-tepi objek aja pada tepi frame dan karena objek yang diamati berupa bola berbentuk lingkaran, maka objek-objek yang ada disortir dengan menggunakan transformasi *Hough Circle*.

4 Deteksi Tepi Canny

John F. Canny mengembangkan sebuah algoritma bertingkat untuk mendeteksi tepi sebuah citra pada tahun 1986. Tingkatan deteksi tepi Canny terdiri dari proses penghalusan, penentuan magnitudo gradien, supresi non maksimum dan *thresholding* histerisis.

4.1 Penghalusan (*smoothing*)

Untuk meningkatkan mutu citra digital (*image enhancement*) setelah proses *gray scaling* dilakukan proses penghilangan *noise* yang tersisa dari citra yang sering disalahartikan sebagai tepi. Penghilangan *noise* ini menggunakan *masking* filter Gaussian. Citra diperhalus dengan cara melakukan konvolusi citra dengan *masking* filter Gaussian tersebut. Dalam penelitian ini digunakan *masking* filter Gaussian kernel 5 x 5

$$K = \frac{1}{159} \begin{bmatrix} 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 5 & 12 & 15 & 12 & 5 \\ 4 & 9 & 12 & 9 & 4 \\ 2 & 4 & 5 & 4 & 2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Dan konvolusi antara citra masukan dan filter Gaussian adalah sebagai berikut

$$f_0(x, y) = K * f_i(x, y) \quad (11)$$

4.2 Penentuan Magnitudo Gradien (*gradient magnitude search*)

Langkah selanjutnya dalam deteksi tepi Canny adalah menentukan perubahan intensitas nilai piksel yang tajam, karena tepi pada citra digambarkan sebagai diskontinuitas tajam atau perubahan tajam diantara beberapa nilai piksel. Perubahan nilai tajam ini dilakukan dengan menentukan gradien pada citra melalui konvolusi citra dengan operator Sobel.

$$K_{Gx} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{12}$$

$$K_{Gy} = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \tag{13}$$

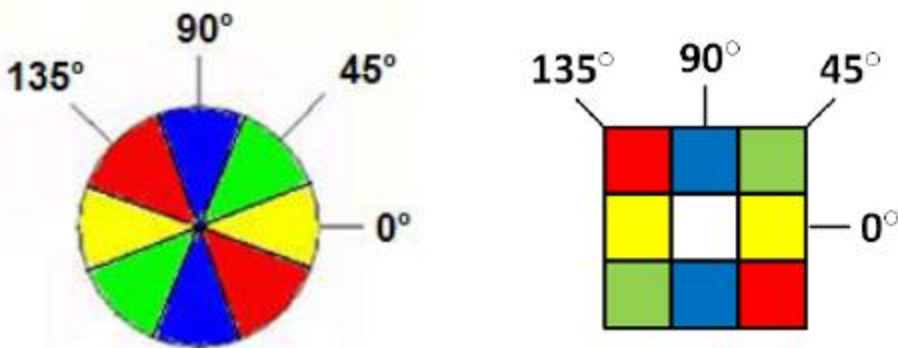
$$G_x = K_{Gx} * f_i(x, y) \tag{14}$$

$$G_y = K_{Gy} * f_i(x, y) \tag{15}$$

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \tag{16}$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{|G_y|}{|G_x|}\right) \tag{17}$$

Arah gradien kemudian dibulatkan berdasarkan sudut-sudut yang memungkinkan berdasarkan sudut-sudut pada piksel dalam kernel 3 x 3.



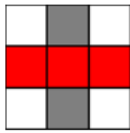
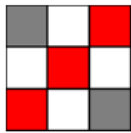
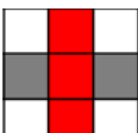
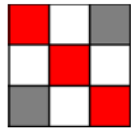
Gambar 1 Sudut-sudut bulat pada gradien yang dimungkinkan setelah pencarian magnitudo gradien dilakukan

$$\theta' = \begin{cases} 0^\circ ; \begin{cases} 0^\circ \leq \theta < 22.5^\circ \\ 157.5^\circ \leq \theta < 202.5^\circ, \text{ atau} \\ 337.5^\circ \leq \theta < 360^\circ \end{cases} \\ 45^\circ ; \begin{cases} 22.5^\circ \leq \theta \leq 67.5^\circ \text{ atau} \\ 202.5^\circ \leq \theta \leq 247.5^\circ \end{cases} \\ 90^\circ ; \begin{cases} 67.5^\circ \leq \theta \leq 112.5^\circ, \text{ atau} \\ 247.5^\circ \leq \theta \leq 292.5^\circ \end{cases} \\ 135^\circ ; \begin{cases} 112.5^\circ \leq \theta \leq 157.5^\circ, \text{ atau} \\ 292.5^\circ \leq \theta \leq 337.5^\circ \end{cases} \end{cases} \quad (18)$$

4.3 Supresi non-maksimum (Non-maximum suppression)

Setelah menggunakan operator Sobel, intensitas tepi-tepi yang ditemukan bisa saja bervariasi, tergantung intensitas yang terbentang pada tepi. Supresi non-maksimum diaplikasikan untuk mempertajam tepi. Proses ini memastikan bahwa hanya piksel-piksel dengan magnitudo gradient tertinggi yang disimpan dan secara otomatis membuang piksel-piksel dengan magnitudo gradient yang lebih kecil. Supresi dilakukan dengan memeriksa tiga piksel dalam kernel 3 x 3 dalam citra. Tabel dibawah ini menunjukkan syarat-syarat yang harus dipenuhi dalam supresi non-maksimum.

Tabel 1 Syarat-syarat memeriksa piksel pada supresi non-maksimum

Sudut $\theta' =$	0°	45°	90°	135°
Piksel-piksel yang diperiksa	(x+1,y); (x,y); (x-1,y)	(x+1,y+1); (x,y); (x-1,y-1)	(x,y-1); (x,y); (x,y+1)	(x-1, y+1); (x,y); (x+1,y-1)
Deskripsi dalam kernel 3 x 3 (gradien -> merah, tepi -> abu-abu)				

Jika piksel (x, y) memiliki magnitudo tertinggi diantara tiga piksel yang diperiksa, maka piksel tersebut dianggap sebagai tepi, dan yang sebaliknya akan disupresi.

4.4 Thresholding histerisis (Hysteresis thresholding)

Thresholding histerisis dilakukan untuk menghilangkan tepi-tepi palsu (*false edge*) dan menghubungkan tepi yang terputus setelah disupresi non-maksimum. Dengan

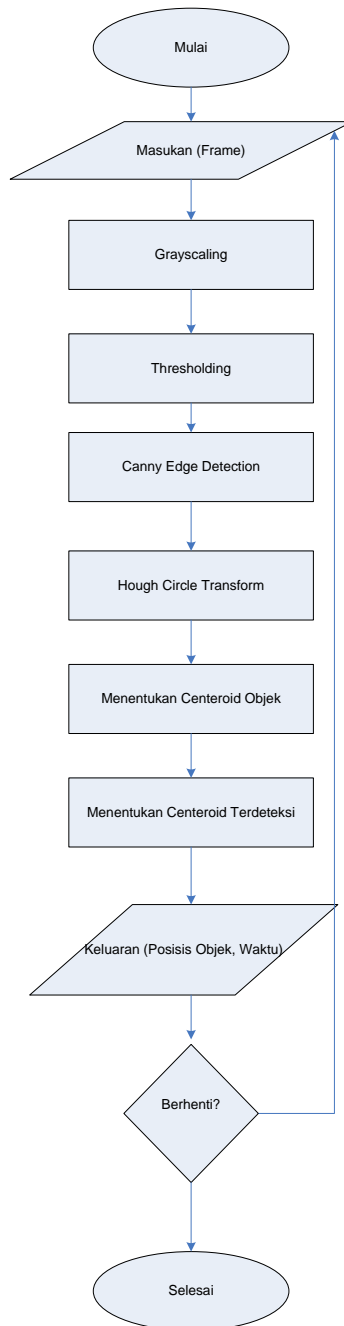
menggunakan nilai ambang batas atas dan bawah, tepi-tepi tersebut diseleksi, dengan demikian hanya tepi-tepi yang sejati saja yang akan ditunjukkan citra.

$$(x, y) = \begin{cases} 0, & \begin{cases} (x,y) < Th_l \text{ atau} \\ Th_l \leq (x,y) < Th_u \text{ dan tidak terhubung dengan piksel bernilai } (x,y) > Th_u \end{cases} \\ 1, & \begin{cases} (x,y) > Th_u \text{ atau} \\ Th_l \leq (x,y) < Th_u \text{ dan tidak terhubung dengan piksel bernilai } (x, y) > Th_u \end{cases} \end{cases} \quad (19)$$

4.5 Transformasi Hough Circle

Metode transformasi Hough merupakan metode yang berfungsi untuk mengenali dan mengisolasi objek dalam suatu citra berdasarkan kontur objek tersebut. Misalkan terdapat sekumpulan titik yang masing-masing memiliki koordinat posisi yang acak satu sama lainnya. Pendekatan yang digunakan dapat berupa pendekatan garis atau lingkaran bergantung pada persamaan parametric yang digunakan. Pada kasus ini, karena objek yang akan diteliti berupa bandul bola, maka digunakan persamaan parametrik lingkaran

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r^2 \quad (20)$$



Gambar 2 Flowchart object tracking

5 Hasil Pengamatan dan Diskusi

Setelah melalui tahapan *object tracking*, perhitungan konstanta pegas dilakukan secara manual. Program akan menerima masukan berupa frame-frame dari kamera web dengan

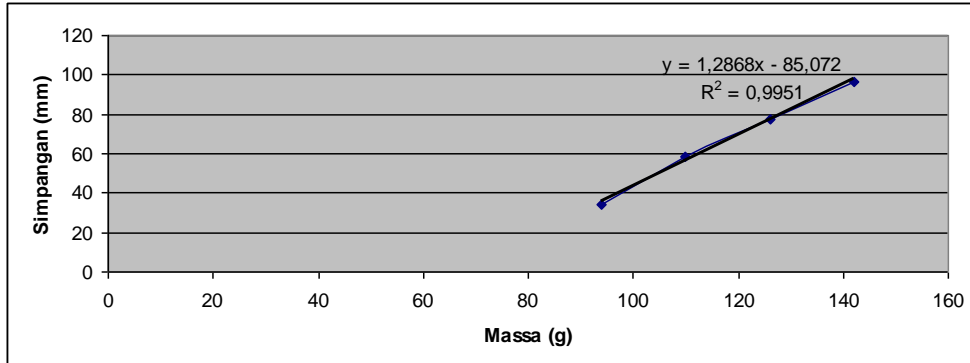
interval masukan frame 20 ms. Frame akan diolah berdasarkan tahapan *object tracking* sesuai dengan algoritma *object tracking*. Data yang dihasilkan dari proses pencitraan ini berupa data posisi objek yang akan dikompilasi dalam bentuk file excel agar dapat dihitung nilai konstanta pegasnya.

Perhitungan nilai konstanta pegas dilakukan dengan 2 metoda, metoda statik dan metoda dinamik. Metoda statik dilakukan dengan cara mengamati perubahan panjang pegas terhadap beban sedangkan metoda dinamik dilakukan dengan cara mengamati frekuensi getaran pegas. Keduanya dilakukan dengan pengolahan citra dan sebagai pembandingnya dilakukan juga dengan melakukan percobaan langsung pengamatan mata (metoda mekanik).

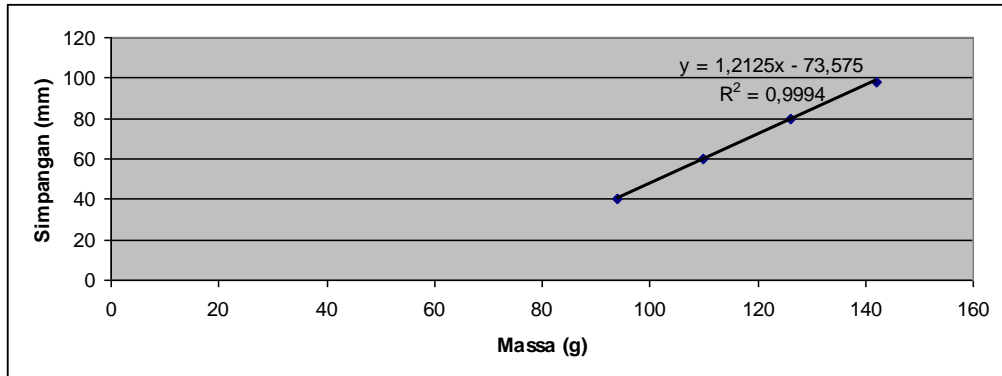
5.1 Metoda statik

Tabel 2 Data simpangan pegas pada massa beban yang bervariasi

Massa Beban (g)	Simpangan Pegas (mm) hasil cara pengolahan citra	Simpangan Pegas (mm) hasil cara mekanik
78	17.65	20
94	34.12	40
110	58.82	60
126	77.65	80
142	96.47	98



Gambar 3 Kurva simpangan (mm) vs massa total beban (g) menggunakan cara pengolahan citra



Gambar 4 Kurva simpangan (mm) vs massa total beban (g) menggunakan cara mekanik

Dari gradien kurva, nilai konstanta pegas dihitung berdasarkan hukum Hooke, 7777.95 g/s² atau 7.78 kg/s². Sedangkan dengan metode mekanik, didapatkan nilai konstanta pegas sebesar 7983.67 g/s² atau 7.98 Kg/s².

Dari hasil pengamatan citra dan mekanik didapat perbedaan sebesar $\pm 2.51\%$. Pada metode statistik ini kemungkinan *human error* sangat kecil karena pengamatan jarak simpangan pegas dilakukan secara statis, sedangkan pengamatan citra memiliki kendala dalam hal pencahayaan. Skema warna RGB yang diterapkan amat bergantung dari kondisi pencahayaan lingkungan, kamera yang digunakan sensitif terhadap adanya perubahan cahaya lingkungan.

5.2 Metoda Dinamik

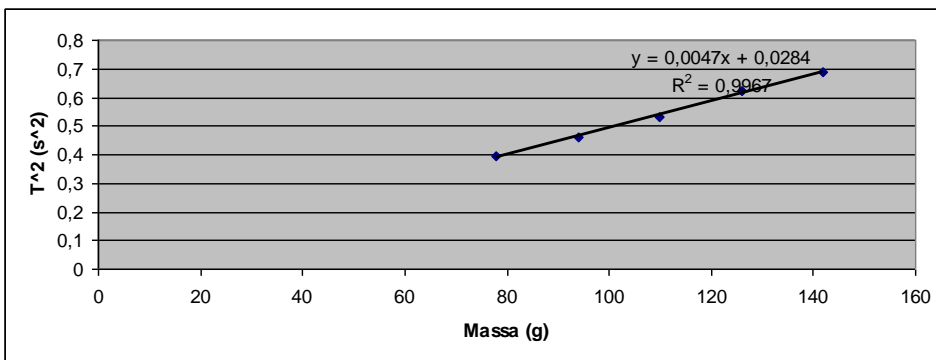
Pada metoda dinamik ini, paramater fisis yang dicari adalah waktu berlangsungnya getaran dan periode. Pegas disimpangkan dalam amplitudo tertentu lalu diamati waktu getarnya. Periode dapat ditentukan melalui persamaan

$$T = \frac{t}{n} \quad (21)$$

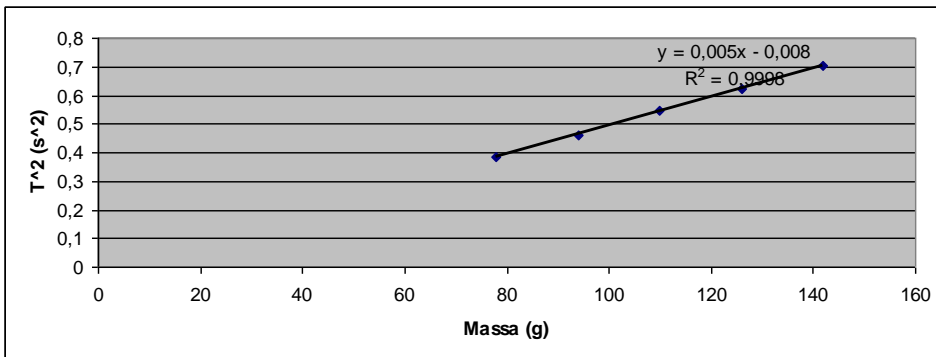
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (22)$$

Tabel 3 Data waktu getaran dan periode untuk massa beban yang bervariasi

Massa (g)	Waktu 10 kali getaran		Periode	
	hasil metode pengolahan citra	hasil metode mekanik	hasil metode pengolahan citra	hasil metode mekanik
78	6.27	6.17	0.63	0.62
94	6.78	6.79	0.68	0.68
110	7.33	7.4	0.73	0.74
126	7.87	7.92	0.79	0.79
142	8.34	8.37	0.83	0.84



Gambar 5 Kurva T² (s²) vs massa total beban (g) menggunakan cara pengolahan citra



Gambar 6 Kurva T² (s²) vs massa total beban (g) menggunakan cara mekanik

Nilai gradien eivalen dengan suku $4\pi^2/k$ sehingga didapatkan konstanta pegas sebesar 8224.67 g/s^2 atau 8.22 kg/ s^2 , 4.05% lebih besar dari pengamatan mekanik. Berbeda dengan metoda statik, dalam metoda dinamik ini peluang kesalahan manusia (*human error*) lebih besar karena penggunaan *stopwatch* dan pengamatan mata pada benda yang bergetar secara periodik kadang kala tidak sinkron.

6 Simpulan dan Saran

6.1 Simpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. *Object tracking* dapat digunakan untuk menentukan posisi pada perhitungan konstanta pegas dengan memanfaatkan pengolahan citra pada citra bergerak.
2. Selisih konstanta pegas yang didapatkan melalui pengolahan citra dengan cara mekanik melalui metoda statik sebesar ± 2.51 % sedangkan melalui metoda dinamik sebesar 4.05 %

6.2 Saran

1. Sistem object tracking ini baru dicoba dalam ruang dengan lingkungan hitam sempurna. Untuk penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan untuk lingkungan yang berbeda
2. Gerak pegas hanya salah satu contoh kasus penggunaan object tracking, tidak menutup kemungkinan apabila diterapkan pada system lainnya .

7 Daftar Pustaka

- [1] D. Halliday dan R. Resnick. 1981. Fundamental of Physics, 2nd edition Extended Version, 218.
- [2] <http://www.madehow.com/Volume -6 /Springs.html> (diakses tanggal 23 Juni 2012)
- [3] T. Sutoyo, dkk. 2009. Teori Pengolahan Citra Digital. Penebit Andi.
- [4] T. D. Setiani. 2011. Stereo Vision untuk Mendapatkan Kedalaman pada Citra 2D. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung: tidak diterbitkan.
- [5] G. Bradsky, dan A. Kaehler. 2008. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly.
- [6] I. R. Pambudi. 2011. Sistem Kontrol Robot Berbasis Citra Stereo. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung: tidak diterbitkan.