

ANALISIS PREDIKSI JARAK DENGAN MENERAPKAN METODE *PHASE ONLY CORRELATION* PADA KAMERA STEREO

Lukman Hakim Suryaselaksa¹Susijanto Tri Rasmana²Hariantio³

Program Studi/Jurusan Sistem Komputer

Fakultas Teknologi dan Informatika

Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya

Jl. Raya Kedung Baruk 98 Surabaya, 60298

Email: 1)selaxass@gmail.com, 2)susyanto@stikom.edu, 3)hari@stikom.edu

Abstract: *Nowadays 3D Technology growing so fast, it can be seen from many 3D products on the market. But unfortunately, 3D products on the market only used for entertainment. Whereas, 3D product can be used for something more functional, like a distance measurement. Normaly 3D measurement using a stereo camera, but the price of stereo camera is fairly expensive. By the way, the stereo camera functions can be replaced by two cameras that have been calibrated. The calibrated camera intended to obtain the characteristics of the stereo camera. Object captured by the two cameras that have been calibrated, to be processed using POC(Phase Only Correlation) method, and from the process can be known distance calculations. From any kind of trials, low error obtained when the object research on 174.5 cm it distance of object. With the result error 0,02% and then the error average all of the trial is 4.32%.*

Keywords: *3D, Distance Measurement, Kalibrated Kamera, Phase Only Correlation, Stereo Camera.*

Belakangan ini, Teknologi tiga dimensi atau biasa disebut dengan 3D mengalami perkembangan yang cukup pesat. Terbukti dengan maraknya produk-produk di pasaran yang menggunakan teknologi 3D, masyarakat pun sudah cukup familiar dengan produk-produk 3D seperti televisi 3D dan kamera 3D. Sayangnya kebanyakan dari masyarakat menganggap teknologi 3D hanya dapat digunakan untuk hiburan semata dan melupakan kegunaan lain dari teknologi 3D. Salah satu kegunaan dari teknologi 3D adalah untuk melakukan pengukuran. Sebenarnya sudah ada beberapa alat yang digunakan untuk pengukuran terhadap obyek 3D, salah satunya adalah dengan menggunakan suatu kamera yang biasa disebut *stereo camera* (kamera stereo).

Kamera stereo mempunyai dua buah lensa atau lebih sehingga dapat mensimulasikan visi teropong manusia, dan karena itu memberikan kemampuan untuk menangkap obyek secara 3D. Sayangnya harga kamera stereo saat ini masih terbilang mahal, karena itu dalam penelitian ini penulis membuat suatu tiruan dari kamera stereo

dengan cara mengkalibrasi dua kamera (webcam) untuk mendapatkan fungsi yang sama dengan kamera stereo pada umumnya.

Beberapa peneliti sudah mengembangkan berbagai macam penelitian serta algoritma yang dapat memberikan kontribusi untuk mendapatkan hasil pengukuran yang mendekati sempurna. Dan diharapkan kedepannya teknologi 3D ini bisa digunakan pada sistem keamanan, pengolahan citra medis dan diagnosa medis.

Phase-Only-Correlation (POC) atau koherensi fase adalah metode yang umum digunakan dalam algoritma pencocokan gambar (*image matching*). Metode ini merupakan fungsi teknik registrasi gambar dengan akurasi tinggi, dan memungkinkan untuk memprediksi tata letak antara gambar dengan ketelitian hingga *sub-pixel*.

Dalam penelitian ini, pertama-tama penulis akan melakukan kalibrasi kamera dan analisis regresi untuk mendapatkan persamaan yang akan digunakan dalam kalkulasi jarak, kemudian mendeteksi titik korespondensi pada obyek menggunakan algoritma *Phase-Only-Correlation*

(POC), kemudian penulis akan melakukan verifikasi akurasi dari *Phase-Only-Correlation*.

LANDASAN TEORI

Analisis Regresi

Dalam analisis data seringkali dilakukan pembuatan kurva yang mewakili data-data dan diterapkan dalam sistem koordinat x - y . Data yang dimaksud bisa didapatkan dari hasil percobaan atau penelitian.

Linierisasi Kurva Tidak Linier

Dalam praktek seringkali ditemui sebaran data (titik) pada sistem koordinat mempunyai kecenderungan berupa kurva lengkung. Agar persamaan regresi linier dapat digunakan untuk mempresentasikan kurva lengkung, maka perlu dilakukan transformasi koordinat agar data tersebut bisa dipresentasikan dalam kurva linier.

Transformasi log

Misalpersamaan kurve yang dicari:

$$y = a x^b \quad (1)$$

Keterangan:

- y : variabel
- a_2 : koefisien konstan
- x : variabel
- b_2 : koefisien konstan

Transformasi dilakukan dengan menggunakan fungsi log, sehingga:

$$\log y = \log a x^b \rightarrow \log y = \log a + b \log x \quad (2)$$

Dilakukan transformasi berikut:

$$\begin{aligned} p &= \log y & B &= b \\ A &= \log a & q &= \log x \end{aligned}$$

Jadi persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk:

$$\bar{p} = A + B\bar{q} \quad (3)$$

Dan untuk mempermudah perhitungan biasanyaakan menggunakan tabel.

Phase Only Correlation

Metode *PhaseOnlyCorrelation* (POC) sebenarnya berdasarkan pada analisis frekuensi dari pengolahan sinyal (*signalprocessing*), dan algoritma yang paling dasar didapat dari transformasi fourier. Setelah sinyal domain diproyeksikan menuju domain frekuensi, akan didapatkan 2 jenis informasi yaitu amplitudo dan fase. Tetapi pada pengolahan citra, informasi fase merupakan elemen yang dibutuhkan, khususnya

untuk ekstrasi fitur (*featureextraction*) dan pencocokan posisi (*positionmatching*). Oleh karena itu, POC menggunakan elemen tersebut untuk menentukan titik-titik berkorespondensi pada citra dari kamera stereo.

Misal terdapat dua buah gambar yang berukuran $N_1 \times N_2$ dengan fungsi $f(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$, dan diasumsikan rentang index $n_1 = -M_1, \dots, M_1$ dan $n_2 = -M_2, \dots, M_2$, bentuk matematis sederhananya $N_1 = 2M_1 + 1$ dan $N_2 = 2M_2 + 1$. Sehingga bentuk transformasi diskrit dari kedua gambar tersebut bisa dinyatakan dengan:

$$F(k_1, k_2) = \sum_{n_1, n_2} f(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} = A_F(k_1, k_2) e^{i\theta_F(k_1, k_2)} \quad (4)$$

$$G(k_1, k_2) = \sum_{n_1, n_2} g(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} = A_G(k_1, k_2) e^{i\theta_G(k_1, k_2)} \quad (5)$$

Dimana $k_1 = -M_1, \dots, M_1, k_2 = -M_2, \dots, M_2, W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$, $W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$, dan operator \sum_{n_1, n_2} dinyatakan dengan $\sum_{n_1}^{M_1} = -M_1, \sum_{n_2}^{M_2} = -M_2$.

$A_F(k_1, k_2)$ dan $A_G(k_1, k_2)$ merupakan komponen amplitudo, sedangkan $e^{i\theta_F(k_1, k_2)}$ dan $e^{i\theta_G(k_1, k_2)}$ merupakan komponen fase.

Spektrum silang $R(k_1, k_2)$ antara $F(k_1, k_2)$ dan $G(k_1, k_2)$ ditunjukkan dengan rumus:

$$R(k_1, k_2) = F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)} = A_F(k_1, k_2) A_G(k_1, k_2) e^{i\theta(k_1, k_2)} \quad (6)$$

Dimana $\overline{G(k_1, k_2)}$ menyatakan konjugate kompleks dari $G(k_1, k_2)$ dan $\theta(k_1, k_2) = \theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)$. Dengan kata lain, spektrum fase silang (auto normalisasi spektrum silang) $\hat{R}(k_1, k_2)$ ditunjukkan sebagai berikut:

$$\hat{R}(k_1, k_2) = \frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}|} = e^{i\theta(k_1, k_2)} \quad (7)$$

Fungsi POC $\hat{r}(n_1, n_2)$ merupakan invers transformasi fourier diskrit dari $\hat{R}(k_1, k_2)$ dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\hat{r}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1, k_2} \hat{R}(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \quad (8)$$

Dengan \sum_{k_1, k_2} menyatakan $\sum_{k_1=-M_1}^{M_1} \sum_{k_2=-M_2}^{M_2}$. Apabila $f(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$ merupakan gambar yang sama, dengan $f(n_1, n_2) = g(n_1, n_2)$ maka fungsi POC menjadi:

$$\begin{aligned} \hat{r}(n_1, n_2) &= \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1, k_2} W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \\ &= \delta(n_1, n_2) \\ &= \begin{cases} 1 & \text{jika } n_1 = n_2 = 0 \\ 0 & \text{yang lain} \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

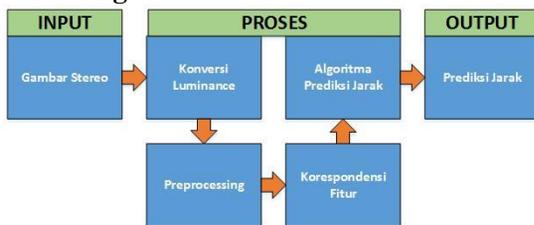
Persamaan diatas menyatakan bahwa fungsi POC antara dua buah gambar yang identik

merupakan fungsi delta Kronecker's $\delta(n_1, n_2)$. Apabila terdapat dua buah gambar yang sama, maka fungsi POC akan menghasilkan perbedaan puncak yang jelas, sebaliknya jika kedua gambar tersebut tidak sama maka puncak akan turun secara signifikan. Sehingga fungsi POC menunjukkan semakin tinggi perbedaan dibandingkan fungsi korelasi pada umumnya.

Sifat terpenting dari fungsi POC digunakan untuk matching gambar yang tidak terpengaruh oleh pergeseran gambar dan perubahan kecerahan, sehingga sangat kuat terhadap noise (Edwin Sultramiarja, 2010).

METODE PENELITIAN

Blok Diagram



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Gambar input berupa gambar stereo berjumlah dua buah citra yang mewakili gambar dari kamera kiri dan gambar dari kamera kanan.

Proses selanjutnya adalah konversi *luminance*, yakni mengubah format gambar dari RGB (*Red, Green, Blue*) menjadi skala gambar *Grayscale* yang mewakili skala warna *luminance* pada gambar.

Pada tahapan *pre-processing* merupakan menyiapkan gambar yang akan diproses di antaranya adalah meminimalisir noise dari gambar yang diteliti dengan menggunakan *Filter Gaussian*.

Kemudian titik-titik pojok pada gambar kiri atau gambar kanan akan diproses lebih lanjut untuk mencari korespondensi fitur dari masing-masing gambar.

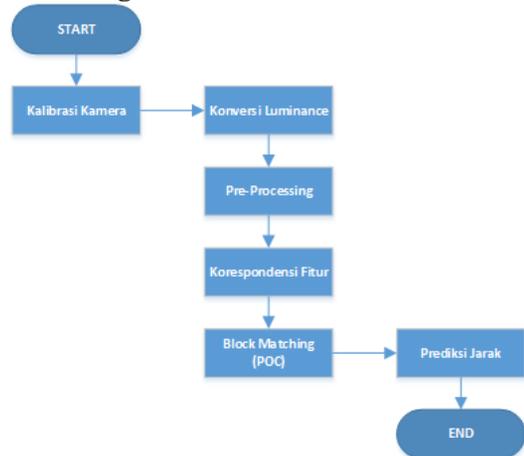
Setelah diperoleh kelompok dari titik-titik korespondensi, selanjutnya dilakukan proses prediksi kedalaman pada obyek yang selanjutnya dilakukan perhitungan berdasarkan rumus yang diperoleh dari kalibrasi kamera untuk memperoleh prediksi jarak kamera pada obyek.

Setelah itu dilakukan proses penghitungan selisih perbedaan posisi obyek (*disparity*) untuk mengetahui kedalamannya. Semakin besar *disparity* maka semakin dekat obyek tersebut, dan sebaliknya semakin kecil *disparity* tersebut, maka semakin jauh obyek tersebut. Selanjutnya dari

nilai *disparity* tersebut dilakukan penghitungan konversi menjadi jarak.

Dengan demikian akan diperoleh perkiraan jarak berdasarkan panjang *disparity* tiap-tiap obyek yang merupakan hasil dari prediksi kedalaman suatu obyek.

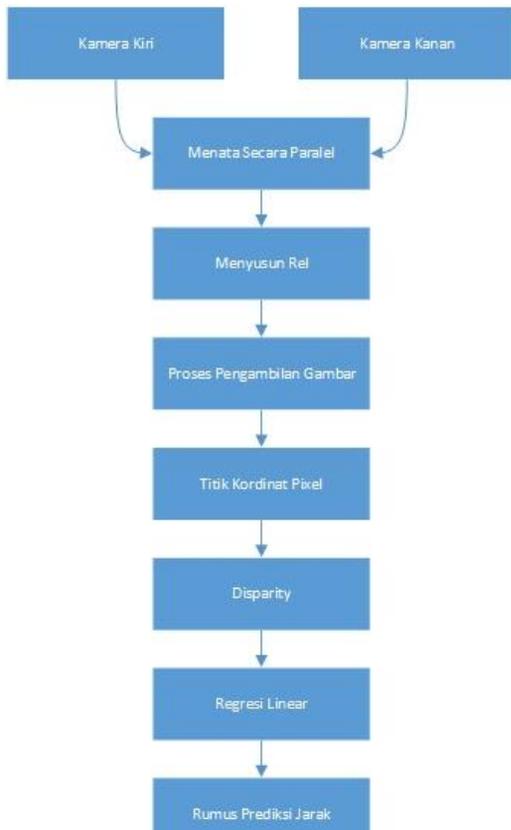
Perancangan Sistem



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan Sistem

Penjelasan secara mendetail dari diagram alir di atas akan dibahas pada sub bab berikut:

Kalibrasi Kamera



Gambar 3. Diagram Alir Kalibrasi Kamera

Sebagai pengganti kamera stereo akan digunakan dua buah kamera (*webcam*) yang dipasang atau ditata secara sejajar membentuk proyeksi paralel.

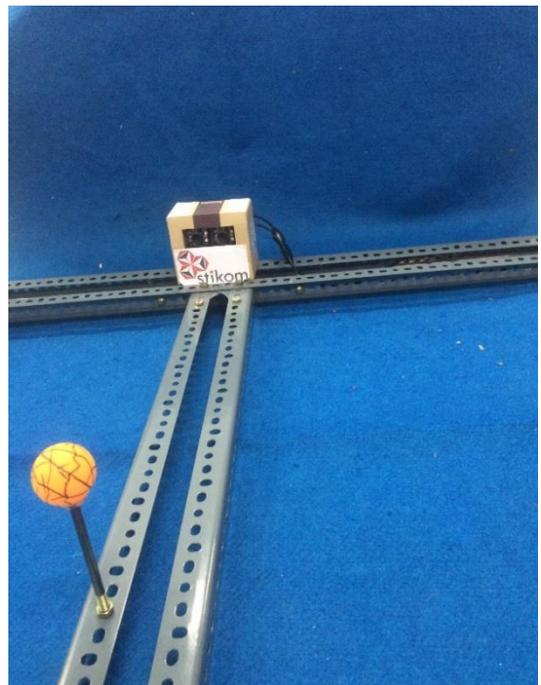
Kemudian sebelum memasuki proses kalibrasi, akan disusun suatu bentuk menyerupai rel agar saat kalibrasi nanti bisa mendapatkan hasil yang lebih presisi.

Setelah itu adalah proses pengambilan obyek gambar pada masing-masing kamera yang dilakukan pada jarak dan posisi tertentu. Kemudian dari gambar tersebut akan diambil titik koordinat *pixel* dari gambar kanan dan gambar kiri, kemudian nilai titik koordinat *pixel* akan dihitung selisihnya (*disparity*). Nilai inilah yang nantinya akan diolah dengan menggunakan *transformasi log*.

Setelah tahap-tahap di atas dilakukan kemudian akan didapatkan rumusan yang nantinya akan digunakan untuk melakukan perhitungan prediksi jarak antara kamera dengan obyek yang diteliti.



Gambar 4. Penataan Kamera Stereo



Gambar 5. Penataan Rel

Konversi Luminance



Gambar 6. Diagram Alir Konversi Luminance

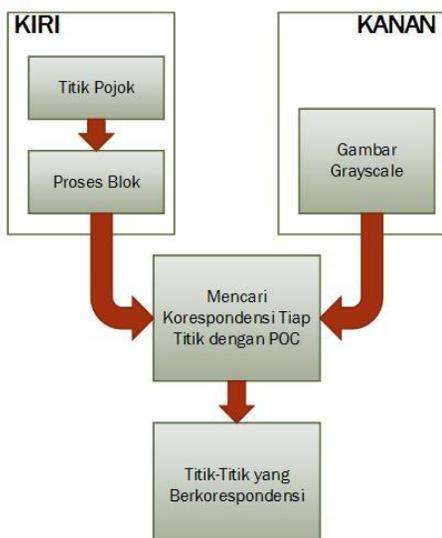
Format gambar yang dihasilkan kamera stereo ini berupa RGB (*Red, Green, Blue*), kemudian akan dikonversi ke format *grayscale* dimana format gambar ini hanya memiliki satu komponen warna yaitu L (*luminance*), karena itu proses ini disebut konversi *luminance*.

Pre-Processing

Gambar yang akan diregistrasi biasanya memiliki perbedaan ukuran, terdapat *noise*, kekaburan gambar, dan tidak linearnya sensor. Oleh karena itu salah satu gambar dapat disampel ulang sesuai dengan ukuran gambar lainnya, atau kedua gambar dapat disampel ulang dengan ukuran yang sama.

Tetapi pada tahap *Pre-processing* ini yang paling utama harus dilakukan adalah mengurangi *noise* pada gambar dengan menggunakan Filter Gaussian.

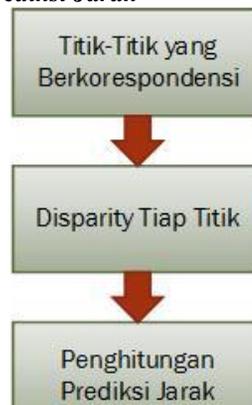
Korespondensi Fitur & Block Matching POC



Gambar 7. Blok Diagram Korespondensi Fitur

Korespondensi Fitur & *Block matching Phase Only Correlation* menggunakan fungsi *fourier* dalam operasinya. Fungsi POC adalah mencari selisih fase dari kedua gambar, dan menghasilkan *impuls* jika kedua gambar yang dihasilkan memiliki kesamaan. Pada proses ini cukup satu buah gambar saja yang dideteksi titik pojoknya, untuk menyesuaikan dengan fungsi POC yang sudah ada. Pada proses POC, akan dilakukan *block matching* dengan besaran blok yang ditentukan. Blok ini diambil dari gambar, dengan titik pojok yang terdeteksi sebagai titik pusat (titik referensi).

Algoritma Prediksi Jarak



Gambar 8. Blok Diagram Estimasi Jarak

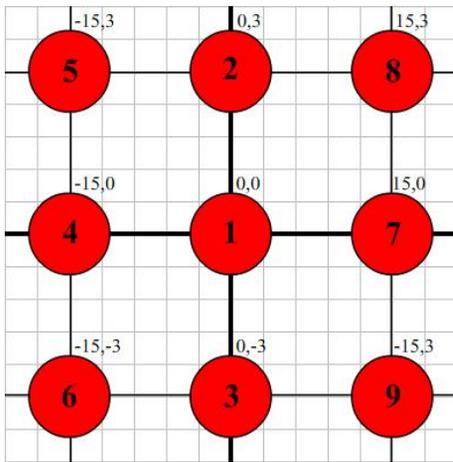
Pada proses ini, dilakukan penghitungan untuk mengetahui jarak obyek dengan kamera (*disparity*) dengan cara mengurangi kordinat pada titik yang ada pada gambar sisi kiri dengan kordinat pada titik yang ada pada gambar sisi kanan. Semakin besar nilai *disparity* maka semakin dekat jarak obyek terhadap kamera, begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai *disparity* maka semakin jauh jarak obyek terhadap kamera. Dari sini dilakukan pengujian untuk membandingkan nilai *disparity* dengan jarak obyek yang sesungguhnya, untuk kemudian didapatkan regresi statistik. Regresi inilah yang akan digunakan untuk menghitung jarak obyek dari kamera.

Namun hasil dari penghitungan tersebut tidak sepenuhnya benar, melainkan hanya perkiraan dan tidak menutup kemungkinan terdapat kesalahan penghitungan yang disebabkan banyak faktor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kalibrasi Kamera

Pada pengujian kalibrasi, kamera stereo akan diuji pada 9 posisi yang berbeda. Sedangkan untuk obyek, posisinya akan digeser sejauh 7.5 cm setiap percobaan. Ilustrasinya seperti pada gambar berikut.

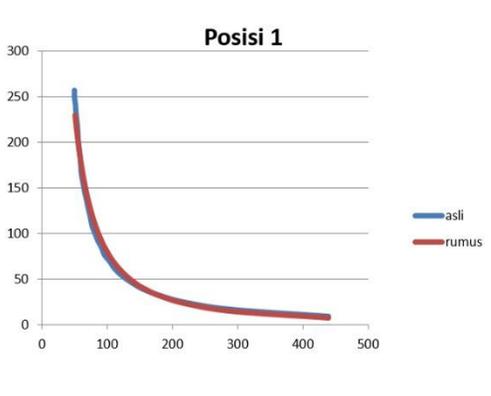


Gambar 9. Posisi Kamera (Dalam cm)

Setelah pengambilan sampel data (foto), data-data tersebut akan dicari nilai titik kordinat *pixel* (x,y). Kemudian dicari nilai *disparity* (selisih jarak) dari masing-masing kordinat, antara gambar kiri dan gambar kanan pada tiap percobaan. Kemudian untuk mempermudah pengamatan nilai-nilai tersebut akan diklasifikasikan dan dibentuk sebuah tabel dan grafik.

Tabel 1. Disparity

No.	Kanan		Kiri		Disparity		Jarak
	x	y	x	y	x	y	
1	122.8	239.8	561.4	252.9	238.5	561.4	9.5
2	203.3	251.9	493.9	263.4	250.4	493.9	17
3	231.3	256.4	452.9	263.3	255.4	452.9	24.5
4	251.4	259.5	433.4	265.3	259.3	433.4	32
↓
34	316.4	266.3	366.5	271.2	238.4	366.5	257



Gambar 10. Kurva Perbandingan Jarak Prediksi Dengan Jarak Asli Pada Salah Satu Posisi Uji

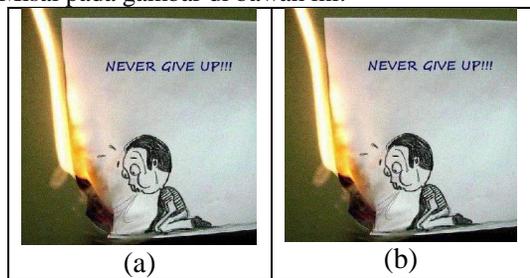
Dari Tabel 1. Akan menghasilkan kurva seperti pada Gambar 10.. Pengujian dilakukan terhadap 9 posisi yang berbeda sehingga akan dihasilkan 8 macam lagi Tabel dan kurva seperti di atas. Kurva diatas berbentuk eksponen menurun (logaritma), karena itu untuk penghitungan akan menggunakan regresi linier dengan transformasi log.

Kemudian keseluruhan data dan kurva dari 9 posisi pengambilan gambar akan digabung dan dilakukan penghitungan menggunakan transformasi log, sehingga akan menghasilkan persamaan seperti berikut:

$$Jarak = 113722.132387976 * disparity^{-1.58200364198158}$$

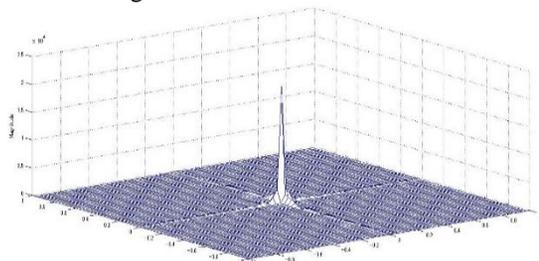
Pengujian Phase Only Correlation

Pengujian *Phase Only Correlation* dilakukan untuk verifikasi akurasi dari fungsi *Phase Only Correlation* yang digunakan dalam proses *imagematching*. Pertama-tama pengujian akan dilakukan pada dua gambar yang identik (sama). Misal pada gambar di bawah ini:



Gambar 11. Pengujian POC Pada Citra Yang Identik

Kedua gambar di atas akan diuji menggunakan dengan fungsi POC, hasil pengujian adalah sebagai berikut.

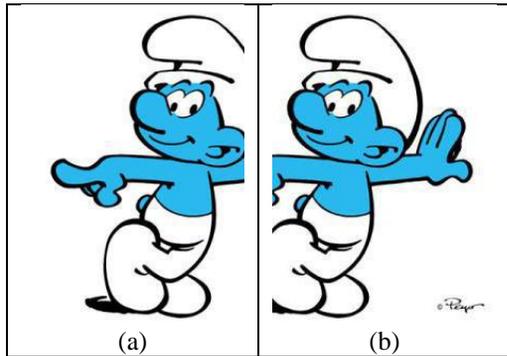


Gambar 12. Hasil Pengujian POC Pada Gambar yang Identik

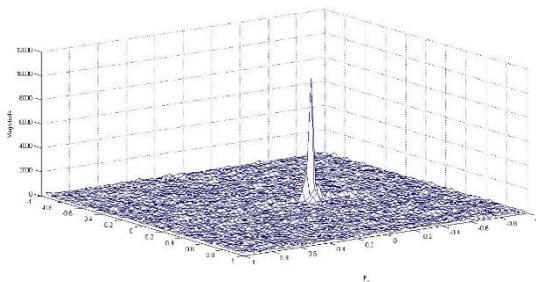
Seperti yang tampak pada Gambar 12, yang merupakan hasil pengujian fungsi *Phase Only Correlation* dari gambar yang identik (sama), dimana puncak tertinggi berada pada titik

$\{0,0\}$. Ini menunjukkan bahwa kedua gambar benar-benar identik atau sama.

Pengujian berikutnya akan dilakukan masih dengan gambar yang juga identik (sama). Hanya saja perbedaannya adalah salah satu dari kedua gambar akandigester. Seperti yang tampak pada gambar di bawah ini.



Gambar 13. Pengujian POC Pada Citra Yang Mengalami Pergeseran



Gambar 14. Hasil Pengujian POC Pada Gambar Yang Digeser

Seperti yang tampak pada Gambar 14 yang merupakan hasil uji fungsi *PhaseOnlyCorrelation* dari gambar yang mengalami pergeseran, maka akan didapatkan hasil yang berbeda dari pengujian sebelumnya dimana terjadi pergeseran posisi titik puncak tertinggi pada gambar, ini menandakan adanya pergeseran titik-titik yang berkorespondensi pada gambar tersebut

Setelah dipastikan bahwa fungsi *PhaseOnlyCorrelation* yang dilakukan telah benar, maka akan dilakukan pengujian *PhaseOnlyCorrelation* pada gambar-gambar ketika melakukan kalibrasi. Hal ini bertujuan untuk menghitung besarnya *error* fungsi *PhaseOnlyCorrelation* yang digunakan.

Pengujian Sistem Secara Menyeluruh

Pengujian evaluasi sistem secara menyeluruh adalah pengujian sistem secara keseluruhan dari awal hingga akhir, dimana pengujian dilakukan dengan menjalankan aplikasi secara keseluruhan.

Dimulai dari proses inialisasi citra hingga didapat hasil penghitungan berupa prediksi jarak antara obyek dengan kamera. Pertama-tama penulis akan membuat tampilan GUI (*GraphicalUserInterface*) menggunakan MATLAB agar mempermudah pemahaman terhadap proses penghitungan prediksi jarak. Berikut tampilannya.



Gambar 15. Tampilan Dari Program Yang Dibangun

Berikut akan diambil 3 sampel gambar yang diperoleh saat melakukan kalibrasi kamera. Kemudian gambar tersebut akan diuji dengan fungsi *Phase Only Correlation* untuk melakukan penghitungan prediksi jarak.



Gambar 16. Pengujian Pada Jarak 47 cm



Gambar 17. Pengujian Pada Jarak 54,5 cm



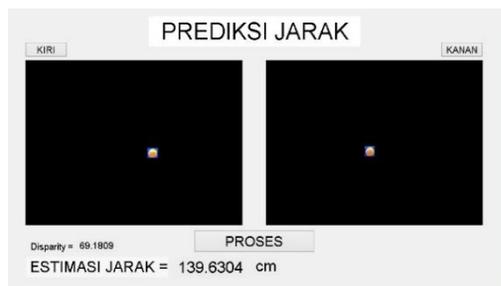
Gambar 18. Pengujian Pada Jarak 84,5 cm

Dari berbagai pengujian di atas, 2 pengujian pertama yaitu Gambar 16 dan Gambar 17 mendapatkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan penghitungan secara manual yang dilakukan saat kalibrasi kamera, sedangkan pengujian selanjutnya yaitu Gambar 18 mendapat hasil yang jauh dari nilai yang diharapkan. Hal ini dikarenakan keterbatasan fokus kamera sehingga fungsi *Phase Only Correlation* tidak bisa memproses gambar dengan maksimal, karena itu untuk penghitungan prediksi jarak pada jarak 69.5 cm dan jarak di atasnya akan mendapatkan hasil yang tidak sesuai bahkan jauh bila dibandingkan dengan penghitungan secara manual.

Karena itu pada pengujian selanjutnya (Gambar 19, Gambar 20 dan Gambar 21), penulis akan mengedit gambar dengan memberikan blok pada obyek berupa bola pingpong dan mengganti *background* gambar dengan warna hitam untuk mempermudah fungsi *Phase Only Correlation* dalam mengenali obyek yang yang diteliti sehingga bisa dilakukan kalkulasi jarak.



Gambar 19. Pengujian Pada Jarak 84,5 cm Setelah Gambar di-Edit



Gambar 20. Pengujian Pada Jarak 137 cm Setelah Gambar di-Edit



Gambar 21. Pengujian Pada Jarak 257 cm Setelah Gambar di-Edit

Dari pengujian di atas didapatkan hasil yang tidak sama persis dengan jarak sebenarnya, tetapi pengujian ini membuktikan bahwa metode *Phase Only Correlation* yang diterapkan pada gambar stereo bisa digunakan dalam memprediksi jarak.

PENUTUP Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Data terpenting dalam tugas akhir ini adalah disparity (selisih jarak). Karena merupakan data utama yang dibutuhkan dalam melakukan penghitungan.
2. Penggunaan *Phase Only Correlation* (POC) untuk pencocokan fitur, memiliki ketelitian hingga sub-pixel. Hanya saja gambar yang diteliti tidak boleh polos dan intensitas cahaya pada ruangan harus diatur sesuai dengan kebutuhan kamera, agar gambar yang dihasilkan memiliki noise yang kecil.
3. Disparity berbanding terbalik terhadap jarak obyek ke kamera. Hal ini terbukti dari bentuk grafik yang dihasilkan pada pengujian, dimana grafik akan menyerupai bentuk persamaan eksponensial menurun.
4. Dari beberapa percobaan kalibrasi, posisi kamera terhadap obyek juga memiliki pengaruh persamaan yang dihasilkan pada masing-masing posisi.
5. Penggunaan fungsi *Phase Only Correlation* mendapatkan hasil yang tidak jauh beda dengan penghitungan secara manual dalam proses kalibrasi.
6. Penggunaan Filter *Gaussian* untuk mengurangi noise pada gambar yang

diolah, tidak terlalu berpengaruh pada fungsi *Phase Only Correlation*.

7. Karena keterbatasan dukungan *hardware* yang memadai dalam hal ini adalah kamera stereo yang digantikan perannya dengan *webcam* yang banyak tersedia di pasaran, tetapi sayangnya hasil yang didapat masih kurang maksimal untuk prediksi jarak tertentu.

Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut mengenai penelitian Tugas Akhir ini, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Guna menunjang pengujian aplikasi ini, dukungan *hardware* mutlak sangat diperlukan. Dalam Tugas Akhir ini, penulis menggunakan kalibrasi untuk meniru karakteristik dari kamera stereo tetapi hasil yang didapat masih belum maksimal dan yang didapatkan masih berupa pendekatan terhadap hasil yang diharapkan.
2. Untuk riset ke depannya agar lebih mendapat hasil yang diharapkan, hendaknya menggunakan kamera dengan fokus yang cukup tinggi sehingga fungsi *Phase Only Correlation* bisa diterapkan secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Hamzah, R. A. 2012. *A Pixel To Pixel Correspondence And Region Of Interest In Stereo Vision Application*. IEEE. Page 193-197.
- Miura, M., Sakai, S., Aoyama, S., Ishii, J., Ito, K and Aoki, T. 2012. *High-Accuracy Image Matching Using Phase-Only Correlation And Its Application*. IEEE. Page 307-312.
- Patriadi, D. D. 2009. *Prediksi Kedalaman Suatu Obyek Pada Gambar Stereo Vision*. Jurnal FTI ITS.
- Rachmawati. 2012. *Rekonstruksi Obyek Tiga Dimensi Dari Citra Dua Dimensi Menggunakan Epipolar Geometry*. Jurnal Teknologi. Volume 5 Nomor 2 Halaman 98-103.
- Sultramiarja, E. 2010. *Rekonstruksi 3D Menggunakan Stereo Vision*. Jurnal FTI ITS.
- Zhang, L., Li, Y. 2013. *Distance Measurement With A General 3D Camera By Using A Modified Phase Only Correlation Method*. IEEE. Page 173-177.

Zulfikar, Budiantara, I. N. 2014. *Manajemen Riset Dengan Pendekatan Komputasi Statistika*. Yogyakarta: Penerbit Deepublish.