



TESIS-TE142599

**SUB-PIXEL LEVEL IMAGE REGISTRATION UNTUK
STITCHING CITRA PANORAMA PADA OBYEK
PARALLAX MENGGUNAKAN PHASE BASED
IMAGE MATCHING**

MOHAMMAD BADRULLAMI
2213205018

DOSEN PEMBIMBING
Mochamad Hariadi, ST., M. Sc, Ph. D
Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUTTEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



TESIS - TE142599

**SUB-PIXEL LEVEL IMAGE REGISTRATION FOR
PANORAMIC IMAGE STITCHING ON PARALLAX
OBJECT USING PHASE BASED IMAGE
MATCHING**

**MOHAMMAD BADRULLAMI
2213205018**

SUPERVISOR

**Mochamad Hariadi, ST., M. Sc, Ph. D
Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.**

MASTER PROGRAM

**MULTIMEDIA INTELLIGENT NETWORK
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh :
Mohammad Badrullami
NRP. 2213205018**

**Tanggal Ujian : 20 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016**

Disetujui oleh:



**1. Mochamad Hariadi, ST., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP. 196912091997031002**



**2. Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc. (Pembimbing II)
NIP. 196906131997021003**



**3. Dr. Ir. Yoyon Kusnendar Suprpto, M.Sc. (Penguji)
NIP. 195409251978031001**



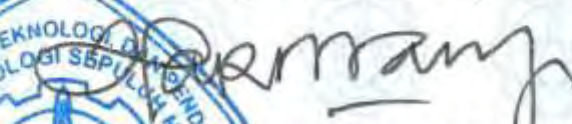
**4. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT. (Penguji)
NIP. 197003131995121001**



**5. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT. (Penguji)
NIP. 196907301995121001**

Direktur Program Pasca Sarjana,




**Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196012021987011001**

SUB-PIXEL LEVEL IMAGE REGISTRATION UNTUK STITCHING CITRA PANORAMA PADA OBYEK PARALLAX MENGGUNAKAN PHASE BASED IMAGE MATCHING

Nama : Mohammad Badrullami
NRP : 2213205018
Pembimbing : Mochamad Hariadi, ST., M.Sc., Ph.D
Co-Pembimbing : Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Citra panorama dibentuk dengan menggabungkan beberapa citra 2 dimensi melalui proses *stitching*. Dari bentuk panorama 360 banyak dimanfaatkan untuk *virtual reality*, *company profile*, *marketing toolkit*, dan lain sebagainya. Untuk membentuk sebuah citra panorama tidak lepas dari basis image *stitching*, yakni teknik registrasi citra yang akurat. Banyak permasalahan yang diangkat dari penelitian sebelumnya tentang image *sitching*. Salah satunya adalah kesalahan *parallax*. Kesalahan *parallax* ini terjadi akibat posisi lensa yang jauh dari pusat rotasi pada waktu pengambilan obyek. Sehingga ini bisa menyebabkan frame citra tidak sejajar dan kemungkinan bisa mengakibatkan patahan atau tidak tersambung ketika proses *stitching* dilakukan. Oleh karena itu diusulkan sebuah teknik registrasi citra berakurasi tinggi menggunakan *Phase Based Image Matching*. Dalam penelitian ini dilakukan uji coba citra masukan yang diambil dari dalam ruangan, luar ruangan, digeser secara vertikal, dan digeser secara diagonal. Dari hasil pengujian yang dilakukan bahwa metode yang diusulkan dapat mengatasi permasalahan obyek *parallax* dengan minimum area tumpang tindih lebih dari 50%.

Kata kunci : *Stitching, Registrasi Citra, Panorama, Parallax.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

SUB-PIXEL LEVEL IMAGE REGISTRATION FOR PANORAMIC IMAGE STITCHING ON PARALLAX OBJECT USING PHASE BASED IMAGE MATCHING

Name : Mohammad Badrullami
NRP : 2213205702
Supervisor : Mochamad Hariadi, ST., M.Sc., Ph.D
: Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.

ABSTRACT

Panorama image formed by combining multiple 2-dimensional image through a process of stitching. Of the 360 panoramas form widely used for virtual reality, company profile, marketing toolkit, etc. To build panoramic image is highly depends on the registration techniques. Many problems arise from some previous research about image stitching. One of them is Parallax Error. Parallax error caused by lens position is far from the center of rotation when images are captured. It will cause the frame images are misaligned and could possibly image not connected when stitching is done. This paper proposed a high accuracy image registration technique using Phase-Based Image Matching. In this research trials input image taken from indoors, outdoors, shifted vertically, and diagonally. The results of tests that the proposed method can overcome the problems of parallax objects with the minimum value of overlap area more than 50%.

Keywords: *Stitching, Image Registration, Panoramic, Parallax.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
Abstrak	v
Abstract	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	7
BAB 2 DASAR TEORI	9
2.1 Registrasi Citra.....	9
2.1.1 Transformasi Citra	10
2.1.2 Metodologi Registrasi	11
2.2 Phase Only Correlation	17
2.2.1 Phase Only Correlation Function	17
2.2.2 Subpixel Image Registration	20
2.3 Image Stitching	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	31
3.1 Citra 2 Dimensi dengan Parallax.....	32
3.2 Phase Based Image Matching	33
3.2.1 Transformasi Abu – abu.....	33
3.2.2 Transformasi Fourier.....	33
3.2.3 Cross Spectrum	34
3.2.4 Normalisasi Cross Spectrum	35

3.2.5 Mencari Koordinat Pergeseran	35
3.3 Stitching Citra.....	36
3.3.1 Menghitung Panjang dan Lebar Ukuran Citra.....	36
3.3.2 Membuat Variable Tampungannya.....	36
3.3.3 Memasukkan Nilai Citra 1 dan Citra 2.....	36
3.3.4 Hasil Stitching	37
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Pengujian Berdasarkan Tempat Citra Diambil.....	39
4.1.1 Obyek Citra di dalam Ruangan	39
4.1.2 Obyek Citra di luar Ruangan	47
4.2 Pengujian Berdasarkan Pergeseran Kamera	55
4.2.1 Obyek citra digeser secara vertikal.....	56
4.2.2 Obyek citra digeser secara diagonal	58
4.3 Pengujian Berdasarkan Area Tumpang Tindih	60
4.3.1 Nilai persentase area tumpang tindih 80%	61
4.3.2 Nilai persentase area tumpang tindih 70%	63
4.3.3 Nilai persentase area tumpang tindih 60%	66
4.3.4 Nilai persentase area tumpang tindih 50%	68
BAB 5 KESIMPULAN	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Penelitian selanjutnya	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN	73
A Citra masukan berdasarkan tempat obyek diambil.....	73
B Citra masukan berdasarkan pergeseran kamera.....	75
C Citra masukan berdasarkan persentase area tumpang tindih	77
Biodata penulis	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Virtual Tour</i> Penanjakan Gunung Bromo	1
Gambar 1.2 Tripod Standard yang Bisa Menyebabkan Parallax	2
Gambar 1.3 Tripod Panorama.....	3
Gambar 1.4 <i>Smartphone docking</i> bisa menyebabkan parallax	4
Gambar 1.5 Hasil kesalahan <i>stitching</i> akibat Parallax.....	4
Gambar 2.1 Matching fitur citra dengan menggunakan FLANN	9
Gambar 2.2 Metodologi registrasi citra	11
Gambar 2.3 <i>Feature Detection</i>	12
Gambar 2.4 <i>Feature Matching</i>	13
Gambar 2.5 <i>Transform Model Estimation</i>	13
Gambar 2.6 <i>Image Resampling Estimation</i>	14
Gambar 2.7 Contoh <i>windows Area Based Method</i>	16
Gambar 2.8 <i>Feature Based Method</i> menggunakan invariant descriptor	16
Gambar 2.9 Grafik 3D dan 2D dari fungsi POC.....	22
Gambar 2.10 Grafik 3D dan 2D dari fungsi POC	22
Gambar 2.11 <i>Image Stitching Pipeline</i>	24
Gambar 2.12 Fitur SIFT yang telah diextrak dari semua citra.....	27
Gambar 2.13 Pembentukan Panorama	28
Gambar 2.14 <i>Camera and Object Motion</i>	29
Gambar 3.1 Skema Metodologi Penelitian	31
Gambar 3.2 <i>Smartphone docking</i> untuk mengambil citra input	32
Gambar 3.3 Citra masukan dengan area tumpang tindih 50%.....	34
Gambar 3.4 Hasil dari normalisasi cross spectrum.....	35
Gambar 3.5 Hasil stitching	37
Gambar 4.1 Citra masukan yang diambil di dalam ruangan.....	41
Gambar 4.2 Citra masukan pengujian 1.....	41
Gambar 4.3 Hasil registrasi pengujian 1	42
Gambar 4.4 Hasil stitching pengujian 1.....	43
Gambar 4.5 Citra masukan pengujian 2.....	43
Gambar 4.6 Hasil registrasi pengujian 2.....	44
Gambar 4.7 Hasil stitching pengujian 2.....	44
Gambar 4.8 Citra masukan pengujian 3.....	46

Gambar 4.9 Hasil registrasi pengujian 3	46
Gambar 4.10 Hasil stitching pengujian 3	47
Gambar 4.11 Citra masukan yang diambil di luar ruangan.....	48
Gambar 4.12 Citra masukan pengujian 4	49
Gambar 4.13 Hasil registrasi pengujian 4	50
Gambar 4.14 Hasil stiching pengujian 4	50
Gambar 4.15 Citra masukan pengujian 5	51
Gambar 4.16 Hasil registrasi pengujian 5	52
Gambar 4.17 Hasil stitching pengujian 5	52
Gambar 4.18 Citra masukan pengujian 6	53
Gambar 4.19 Hasil regstrasi pengujian 6	54
Gambar 4.20 Hasil stitching pengujian 6	54
Gambar 4.21 Citra masukan berdasarkan pergeseran kamera.....	55
Gambar 4.22 Citra masukan pengujian 7	56
Gambar 4.23 Hasil registrasi pengujian 7	57
Gambar 4.24 Hasil stitching pengujian 7	57
Gambar 4.25 Citra masukan pengujian 8	58
Gambar 4.26 Hasil registrasi pengujian 8	59
Gambar 4.27 Hasil stitching pengujian 8	59
Gambar 4.28 Citra masukan berdasarkan persentase area tumpang tindih	61
Gambar 4.29 Citra masukan pengujian 9	62
Gambar 4.30 Hasil registrasi pengujian 9	62
Gambar 4.31 Hasil stitching pengujian 9	63
Gambar 4.32 Citra masukan pengujian 10	64
Gambar 4.33 Hasil registrasi pengujian 10	65
Gambar 4.34 Hasil stitching pengujian 10	65
Gambar 4.35 Citra masukan pengujian 11	66
Gambar 4.36 Hasil registrasi pengujian 11	67
Gambar 4.37 Hasil stitching pengujian 11	67
Gambar 4.38 Citra masukan pengujian 12	68
Gambar 4.39 Hasil registrasi pengujian 12	69
Gambar 4.40 Hasil stitching pengujian 12	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Momen yang ada pada citra 2D akan terlihat seolah – olah menjadi nyata apabila direpresentasikan ke dalam panorama 360 derajat. Yakni dengan melakukan penggabungan beberapa citra 2D yang diambil dari berbagai arah. Sehingga pengguna dapat melihat citra 2D tersebut dari berbagai sudut pandang. Dari bentuk panorama 360 banyak dimanfaatkan untuk *virtual-tour*, *marketing toolkit*, *company profile*, situs dan lain sebagainya. Dengan media ini pengguna bisa merasakan seperti berada di dalam objek 2D tersebut, salah satu contohnya adalah *virtual-tour*. Melalui *Virtual Tour* panorama 360 memungkinkan untuk melakukan perjalanan secara *virtual* ke tempat – tempat tertentu dan merasakan keindahan atau membayangkan berjalan di dalam objek tanpa harus berada di tempat tersebut.



Gambar 1.1 Virtual Tour Penanjakan Gunung Bromo

Gambar di atas adalah contoh *Virtual Tour* Penanjakan Gunung Bromo yang dipublikasikan oleh PT. Eyro Digital Teknologi. Di dalam *virtual tour* kita

dapat melakukan eksplorasi gunung bromo dengan mengikuti navigasi yang ada di dalam sistem. Keindahan dan suasana dari gunung bromo bisa kita rasakan melalui media ini tanpa harus datang ke tempat sebenarnya. Ini sangat membantu sekali bagi para wisatawan ataupun pelancong yang penasaran dengan keindahan gunung bromo. Atau bisa juga dimanfaatkan sebagai pemandu arah atau navigasi obyek wisata seperti pada *Google Street View*. Selain itu juga bisa dimanfaatkan untuk *virtual reality*, misalnya ingin melihat video klip dalam bentuk panorama 360, sehingga seolah – olah kita ada di dalam sebuah konser musik. Tetapi ini membutuhkan tambahan alat bantu seperti kacamata *virtual reality*.

Bentuk informasi atau *toolkit* ini akan lebih nyaman dan terasa *pervasive* apabila kualitas dari citra panorama itu sendiri bisa disajikan secara maksimal. Maksimal tidaknya hasil dari citra panorama sangatlah bergantung pada proses di belakangnya yakni *image stitching* dan *image registration*. Terkadang dalam proses pembentukan panorama ada beberapa kendala yang menyebabkan hasil dari citra panorama tersebut kurang maksimal. Kendala ini muncul saat melakukan proses penggabungan citra atau lebih dikenal dengan *image stitching*. Banyak sekali masalah ketika proses *stitching* dilakukan, salah satunya adalah *Parallax*. *Parallax* muncul akibat pergeseran posisi lensa kamera ketika proses pengambilan gambar. Hal ini diakibatkan karena titik diam rotasi bukan berada pada kamera. Biasanya *Parallax* muncul akibat dari tripod yang dipakai adalah bukan tripod panorama seperti pada gambar 1.2 di bawah ini.



Gambar 1.2 Tripod Standard yang Bisa Menyebabkan Parallax

Beberapa *panorama maker* melakukan penelitian bahwa hal ini bisa dihindari dengan menggunakan tripod yang khusus digunakan untuk mengambil citra panorama, namun harganya lumayan mahal. Tripod ini di desain dengan meletakkan lensa kamera tepat di pusat rotasi. Sehingga ketika ada proses rotasi, posisi lensa tidak akan berubah. Ini akan mempengaruhi saat proses *alignment* dilakukan.



Gambar 1.3 Tripod Panorama

Selain tripod standard, *parallax* bisa juga diakibatkan dari *smartphone docking*. *Smartphone docking* sangat populer ketika booming-nya aktifitas *selfie*. Alat ini bisa membantu untuk melakukan *selfie* panorama. Salah satu dari provider *smartphone docking* adalah Galileo dengan produknya bernama Motrr. 1 tahun yang lalu penulis juga melakukan riset tentang *smartphone docking* dengan menggandeng perusahaan digital PT. Eyro Digital Teknologi, dan berhasil membuat *blue print* dan *mockup device* dengan nama EyroDock. Untuk saat ini hasil uji dari perangkat lunak yang akan di *deploy* ke EyroDock masih standard, dan karena rata – rata kamera smartphone letaknya tidak di tengah maka sulit juga untuk mendesain agar docking bisa meletakkan lensa kamera agar tepat berada di dalam titik diam rotasi. Sehingga hal ini juga bisa menyebabkan *parallax*.



Gambar 1.4 *Smartphone docking* bisa menyebabkan *parallax*

Hasil dari *parallax* tersebut dapat membuat citra panorama menjadi tidak layak untuk disajikan. Seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 1.5 Hasil kesalahan *stitching* akibat *parallax*

Terlihat seperti pada gambar 1.5 citra panorama yang dihasilkan masih banyak timbul patahan dan penggabungan yang kurang sempurna. Hasil *spherical image* tersebut kurang maksimal dan tidak bagus apabila dicoba dipaksakan untuk di *deploy* di *panorama viewer*.

Matthew Brown dan David G. Lowe telah mempublikasikan penelitian mereka tentang *autostitching*. Dalam penelitiannya dihasilkan sebuah algoritma yang mampu melakukan penggabungan citra 2D yang memiliki *overlapping* tertentu menjadi sebuah *spherical image* secara otomatis dengan posisi citra secara acak. Mereka mengemukakan di dalam *Future Work* papernya yang berjudul “Automatic Panoramic Image *Stitching* using Invariant Features”, yakni dalam pembuatan panorama seringkali terjadi *parallax errors* yang mana hal ini disebabkan oleh pergerakan kecil dari *center optic*, sehingga dari pernyataan tersebut dapat disimpulkan bahwa permasalahan *parallax* masih belum terselesaikan [1].

Dalam paper yang berjudul “*High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation*”, Takita Kenji dan timnya mengusulkan sebuah metode yang dapat melakukan improvisasi pada proses registrasi. Mereka menggunakan teknik registrasi citra berbasis fasa. Teknik ini dapat melakukan estimasi pegeseran diantara dua citra dengan akurasi tingkat *subpixel* berdasarkan nilai puncak hasil korelasi kedua citra tersebut[2]. Teknik registrasi citra konvensional berbasis fasa ini menggunakan metode estimasi lokasi korelasi puncak sebagai acuan bergesernya citra sehingga titik ini digunakan untuk melakukan korespondensi antara kedua citra yang akan diregistrasikan. Dalam paper tersebut dijelaskan pula mengenai sebuah teknik untuk melakukan improvisasi performa registrasi dengan melakukan analisa *fitting model* dari korelasi puncak. Metode ini dapat di *ekstend* menjadi sebuah teknik *Phase Only Correlation Spectrum Weighting*, dimana ada modifikasi *cross-phase spectrum* dengan beberapa fungsi *weighting* dengan tujuan untuk mengurangi efek *noise* dan mengontrol puncak korelasi agar mendapatkan hasil yang lebih bagus. Kontribusi lain yang dapat diberikan dalam paper ini adalah memberikan analisa sistematis penelitian dari performa registrasi dengan mengevaluasi nilai *error*

dalam perubahan secara translasi, rotasi, dan skala. Hasil dari eksperimen yang telah di demonstrasikan menunjukkan bahwa metode ini dapat mengestimasi pergeseran dengan akurasi 1/100-pixel untuk translasi, 1/10 derajat untuk rotasi, dan 1/10000-*scale* untuk faktor skala.

Dengan mengkaji beberapa referensi, penulis mengusulkan sebuah metode *Phase Based Image Matching* atau *Phase Only Correlation* pada proses registrasi citra dengan akurasi sampai tingkat *subpixel* sebagai dasar acuan untuk melakukan proses *stitching* citra. Acuan tersebut berupa titik pergeseran antara dua citra yang diambil secara *parallax*. Banyak peneliti yang menggunakan teknik ini dan mendapatkan hasil yang maksimal untuk proses registrasi, namun belum dilakukan ujicoba sampai pada tahap *image stitching*. Sehingga melalui penelitian ini penulis ingin membuktikan bahwa metode tersebut dapat diimplementasikan pada proses *image stitching*, selain itu kesalahan yang diakibatkan oleh obyek *parallax* pada uraian diatas yang menyebabkan kesalahan pada proses registrasi dan *stitching* harapannya dapat diminimalisir.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian sebelumnya masih terdapat beberapa permasalahan dalam proses *stitching*, salah satunya adalah kesalahan *parallax*. Kesalahan *parallax* ini terjadi karena posisi lensa yang jauh dari pusat rotasi pada waktu pengambilan obyek. Obyek *parallax* tersebut dapat mengakibatkan hasil *image stitching* yang kurang maksimal, yakni terdapat beberapa patahan pada citra panorama.

1.3. Batasan Masalah

1. Obyek menggunakan citra 2 dimensi dengan posisi lensa tidak berada pada titik diam rotasi dengan prosentase daerah yang bertumpang tindih paling tidak 50-60%.
2. Semua citra input memiliki ukuran panjang dan lebar sama.
3. Resolusi citra input maksimal 640x400 pixel.
4. *Stitching* dilakukan secara manual.
5. Citra yang di inputkan harus memiliki intensitas cahaya yang sama.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan obyek *parallax* pada proses *stitching* dengan mengimplementasikan metode *Phase Based Image Matching* atau *Phase Only Correlation*.

1.5. Manfaat Penelitian

Peneliti berharap penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Melakukan implementasi metode *Phase Based Image Matching* atau *Phase Only Correlation* untuk proses *stitching*.
2. Memberikan solusi untuk permasalahan *parallax* pada proses *stitching*.
3. Dapat memberikan kontribusi pada pengembang *software* panorama.

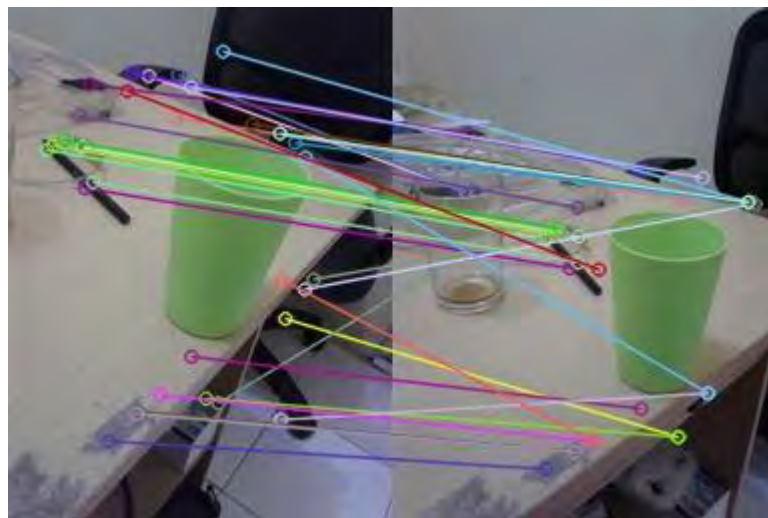
BAB II DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

Setiap penelitian selalu membutuhkan dasar teori yang digunakan sebagai landasan untuk melakukan eksperimen. Bab ini menguraikan teori – teori penunjang yang digunakan penulis dalam menyelesaikan penelitian ini. Dasar – dasar teori tersebut diambil dari berbagai sumber, antara lain : jurnal, buku, internet, dan sumber referensi lainnya.

2.1. Registrasi Citra

Dalam image processing, registrasi citra merupakan sebuah proses yang sangat membantu dalam penyelesaian masalah di berbagai bidang. Secara fungsional registrasi citra digunakan untuk mengukur kecocokan diantara dua citra atau lebih yang diambil dari sudut pandang, sensor, dan waktu yang berbeda [3]. Banyak sekali pengaplikasian registrasi citra, antara lain : *Remote Sensing (landscape monitoring and planning)*, *Computer Vision (motion tracking and electronic surveillance)*, *Medical Imaging (health and therapy monitoring)* dan masih banyak lagi.

Untuk me-registrasikan dua buah citra, kita harus tahu seberapa besar pergeseran atau perubahan koordinat diantara dua citra tersebut agar bisa dilakukan *mapping* titik koordinat dari satu citra ke citra yang lain.



Gambar 2.1 Matching fitur citra dengan menggunakan FLANN

Sehingga korespondensi titik antara kedua citra bisa terbentuk. Selain itu citra yang diambil harus memiliki *area overlap* atau area yang perpotongan sebagai dasar untuk melakukan *mapping* titik dari citra. Pada gambar 2.1 menunjukkan hasil dari *matching feature* citra yang memiliki *area overlap* tertentu. Tidak semua teknik registrasi citra dapat diimplementasikan dengan optimal, karena kemungkinan antara citra 1 dengan citra lainnya memiliki karakteristik yang berbeda – beda. Bisa jadi teknik registrasi tersebut membutuhkan waktu komputasi dan *resource* yang cukup lumayan besar untuk kasus tertentu, tapi bisa juga berlaku sebaliknya apabila di implementasikan di kasus lain. Sehingga perlakuannya bisa jadi akan berbeda antara jenis citra 1 dan citra lainnya. Misalnya metode registrasi citra berdasarkan fasa atau Phase Only Correlation itu efektif digunakan untuk teknik korespondensi obyek citra 2D stereo. Yang mana teknik ini dapat mereduksi waktu komputasi dibandingkan dengan korespondensi citra 2D yang dilakukan secara konvensional. Karena untuk proses korespondensinya bisa direduksi menjadi 1D seperti pada paper yang berjudul “*A Sub-Pixel Stereo Correspondence Technique Base on 1D Phase Only Correlation*” yang ditulis oleh Takuma Shibahara dan Takafumi Aoki [4]. Dengan eksperimen yang telah dilakukan, teknik yang telah diusulkan ini mampu mencapai akurasi kurang lebih 0.48mm.

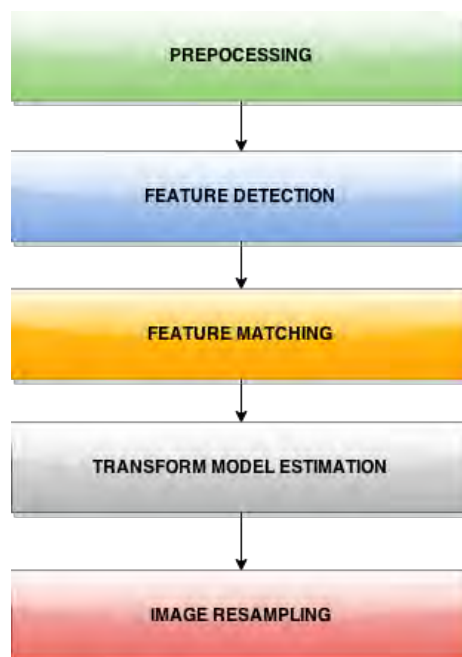
2.1.1. Transformasi Citra

Kalau berbicara registrasi citra pasti tidak akan ketinggalan dengan pembahasan transformasi citra. Karena citra yang akan di-registrasi sebagian besar memiliki perubahan posisi. Entah itu translasi atau rotasi. Pada saat melakukan pengambilan citra dengan sudut pandang kamera yang berbeda atau terdapat pergeseran akan menyebabkan distorsi pada fitur citra, seperti bentuk lingkaran yang mungkin setelah adanya transformasi akan menjadi kelihatan *ellipse*. Akan tetapi fitur – fitur ini akan tetap utuh bahkan setelah ada proses transformasi. Sehingga secara umum diistilahkan dengan invariants feature. Dari hasil transformasi citra bergeser atau berotasi sebarang untuk bisa dilakukan registrasi harus memiliki daerah overlay atau daerah perpotongan diantara kedua citra tersebut. Sehingga bisa dilakukan korespondensi titik. Ada beberapa jenis transformasi umum terjadi, antara lain : transformasi *affine*, *projective*, *perspective*, dan *polynomial* [4].

2.1.2. Metodologi Registrasi

Ada beberapa variasi atau macam cara untuk melakukan registrasi citra. Sehingga algoritma untuk melakukan registrasi citra dapat digolongkan ke dalam berbagai macam jenis. Antara lain berdasarkan estimasi, intensitas, atau metode yang digunakan. Seperti yang dilakukan oleh Barbara Zitova dan Jan Flusser, mereka mengklasifikasikan teknik registrasi citra menjadi dua yakni *Area Based Method* dan *Feature Based Method*. *Area Based Method* sangat cocok digunakan di dalam citra yang detail *prominent* nya memiliki informasi yang khas yang di berasal dari *gray level*, bentuk, dan struktur citra. Sedangkan untuk *Feature Based Method* dapat diaplikasikan ketika *local structural information* yang dibawa oleh citra memiliki intensitas yang lebih [5]. Metode ini memanfaatkan fitur citra yang diperoleh dari ekstraksi fitur. Informasi yang mewakili fitur tersebut antara lain titik tajam seperti daerah tepi, sudut, kontur, permukaan, titik persimpangan.

Banyak sekali variasi citra yang dapat di registrasi dan banyak pula variasi dari tipe degradasi citra, maka sangat tidak mungkin untuk menyebutkan satu – persatu metode untuk pengaplikasian di setiap registrasi citra. Akan tetapi disini akan dibahas inti dari tahapan registrasi citra, antara lain :



Gambar 2.2 Metodologi registrasi citra

a) *Preprocessing*

Dalam tahapan preprosesing berisi proses – proses antara lain : Smoothing, debluring, edge detection, segmentation, dan lain sebagainya.

b) *Feature Detection*

Di dalam Feature Detection dilakukan ekstrasi titik, garis, area, template, dan lain sebagainya.

c) *Feature Matching*

Feature Matching adalah tahapan untuk menemukan pasangan fitur yang cocok terkecuali *outliers*.

d) *Transform Model Estimation*

Dalam tahapan ini dilakukan proses pengembalian deformasi citra.

e) *Image Resampling and Transformation*

Dalam tahapan ini dilakukan proses perhitungan nilai citra pada koordinat non-integer dengan teknik interpolasi.



(a)



(b)

Gambar 2.3 *Feature Detection*

Gambar di atas merupakan contoh dari registrasi 2 citra, citra a dan citra b. Yang mana citra (a) sebagai citra referensi dan citra (b) sebagai citra *sensed*. Citra diatas diambil dari paper “Image Registration Methods : a Survey” [5]. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya untuk ekstraksi fitur, Obyek yang menonjol atau unik/khas dari sebuah citra akan otomatis terdeteksi sebagai fitur dari citra tersebut. Dan untuk langkah selanjutnya fitur ini akan di representasikan sebagai *Control Point* (CP). Dapat dilihat Sehingga dapat

dilihat pada gambar 2.2 ada beberapa titik yang terlihat di dalam citra (a) dan citra (b). Titik – titik tersebut merupakan *Control Point* (CP) dari citra.

Setelah fitur terbentuk pada masing – masing citra, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *feature matching*. Yakni melakukan korespondensi antara fitur yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya. Telihat pada gambar di bawah ini yakni berupa angka dimana ada relasi antara citra (a) dan citra (b). Misalnya angka 1 di citra referensi kurang lebih akan sama posisinya dengan angka 1 di citra *sensed*.



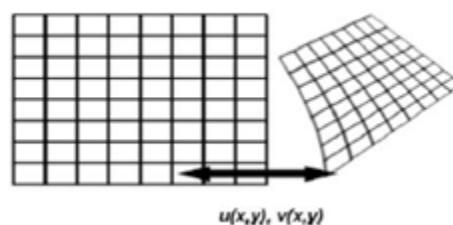
(a)



(b)

Gambar 2.4 *Feature Matching*

Dalam tahapan ini dibutuhkan fungsi *mapping* digunakan untuk melakukan estimasi kesejajaran antara citra *sensed* dan citra referensi. Fungsi mapping tersebut diperoleh dari rata – rata korespondensi fitur.



Gambar 2.5 *Transform Model Estimation*



Gambar 2.6 *Image Resampling Estimation*

Setelah citra sensed ditransformasikan dengan menggunakan fungsi mapping. Maka dilakukan komputasi dengan teknik interpolasi sehingga menjadi seperti pada gambar 2.5.

2.1.2.1. *Feature Detection*

Kalau ditinjau dari sisi manual, fitur citra hanya dapat dideteksi oleh seorang pakar di dalam *image processing*. Namun karena diperlukannya otomatisasi di dalam tahapan registrasi citra, maka untuk menjawab *statement* tersebut diperlukan dua pendekatan untuk mendeteksi fitur yang ada di dalam citra tersebut. Dua pendekatan itu antara lain :

a) Area Based Method

Area Based Method lebih menekankan tahapan *feature matching* dari pada *feature detection*. Sehingga apabila di dalam citra tidak ada fitur citra yang dideteksi, tahap *feature detection* registrasi citra untuk pendekatan ini akan dihilangkan.

b) Feature Based Method

Pendekatan kedua adalah berdasarkan ekstraksi dari ketajaman struktur dan fitur dari citra. Tanda wilayah seperti (hutan, danau), garis seperti (jalan, sungai), dan titik akan dikenali sebagai fitur. Tanda – tanda atau fitur tersebut harus khas atau unik. Selain itu fitur – fitur tersebut harus tersebar di dalam semua citra dan secara efektif dideteksi diantara citra *sensed* maupun citra referensi, fitur ini harus memiliki posisi yang tetap selama proses eksperimen. Kumpulan fitur yang ada di dalam citra *sensed* dan citra referensi dapat dibuktikan dengan melihat *area overlap* diantara kedua citra tersebut. Wilayah fitur dapat dideteksi dengan menggunakan proses segmentasi.

Akurasi dari segmentasi secara signifikan dapat berpengaruh terhadap hasil registrasi. Untuk meningkatkan kualitas registrasi Gosthasby dan timnya melalui paper yang berjudul “*A Region-Based Approach to Digital Image Registration with Subpixel Accuracy*” mengusulkan sebuah proses untuk memperhalus proses segmentasi. Segmentasi dari citra akan diselesaikan secara iteratif bersamaan dengan proses registrasi. Dalam setiap iterasi, estimasi kasar dari obyek korespondensi dapat digunakan untuk mencocokkan parameter segmentasi. Gosthasby mengklaim bahwa mereka dapat mencapai akurasi registrasi sampai dengan *subpixel accuracy* [6].

2.1.2.2. Feature Matching

Fitur yang telah dideteksi pada citra referensi dan citra sensed dapat dicocokkan dengan menggunakan nilai intensitas pada tetangga terdekat (*nearest neighbour*), fitur distribusi spasial, atau fitur deskripsi simbolik. Beberapa metode menggunakan parameter fungsi mapping untuk mencari korespondensi fitur. Sama seperti pada pembahasan sebelumnya di Fitur Detection, untuk metode pendekatannya *Fitur Matching* menggunakan dua pendekatan, yakni : Area Based Method dan Fitur Based Method.

a) Area Based Method

Area Based Method bisa juga disebut sebagai metode *correlation – like* atau *template matching*. Sebenarnya metode ini adalah perpaduan antara 2 tahapan registrasi citra, yakni *feature detection* dan *fitur matching*. Untuk mencari korespondensi antara citra referensi dan citra sensed, metode ini menggunakan *template matching* atau juga bisa disebut dengan *window*. Dengan menggunakan *window*, metode ini tidak perlu berusaha mendeteksi obyek yang menonjol. Sehingga bisa di tarik kesimpulan dengan metode ini proses komputasinya akan menjadi lebih cepat. Namun disini ada beberapa kelemahan dalam penggunaan metode ini:

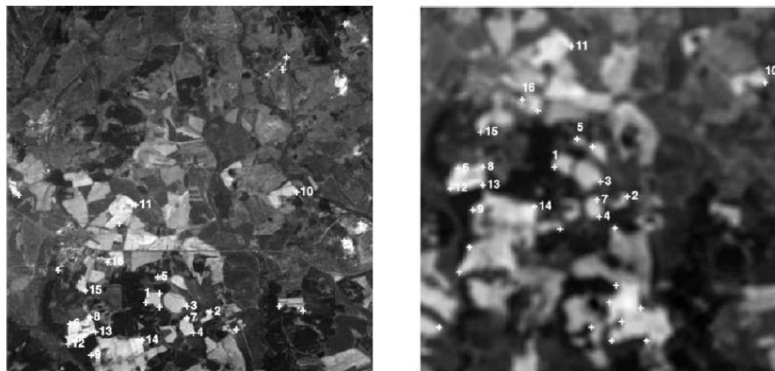
- Jika terjadi transformasi yang sangat kompleks, *rectangular window* yang biasa digunakan, tidak bisa mengatasi pencocokan bagian yang sama antara citra referensi dan citra sensed.
- Area based method sangat bergantung pada isi yang ada di dalam *window*, jika area atau isi di dalam *window* tersebut berupa area yang rata, tanpa adanya tonjolan detail atau kontour yang unik,

maka tidak akan bisa dilakukan proses matching atau pencocokan antara citra referensi dan citra sensed.



Gambar 2.7 Contoh *windows Area Based Method* (gambar diambil dari paper “Image Registration Methods : a Survey”)

b) *Fitur Based Method*



Gambar 2.8 *Feature Based Method* menggunakan invariant descriptor (gambar diambil dari paper “Image Registration Methods : a Survey”)

Seperti yang pernah dibahas di metodologi registrasi bahwa kumpulan fitur yang telah dideteksi yang ada di dalam citra referensi dan citra sensed dapat direpresentasikan dengan CP (*Control Point*). Untuk menemukan pasangan fitur antara kedua citra atau yang biasa disebut dengan korespondensi bisa menggunakan *metode spatial relation* atau *various descriptor of feature*.

- *Metode Spatial Relations*

Metode ini biasanya digunakan jika fitur yang terdeteksi ambigu atau memiliki tetangga yang sebagian besar terdistorsi. Informasi

jarak diantara CP (*Control Point*) dan spatial distribusinya sangat dibutuhkan untuk proses ini.

Gosthasby dalam papernya yang berjudul “Point pattern matching using convex hull edges”. Mendeskripsikan tentang algoritma registrasi berbasis *Graph Matching*. Dia mengevaluasi jumlah fitur yang ada di dalam cira sensed. Setelah adanya transformasi, fitur tersebut dalam kisaran tertentu jatuh disamping fitur gambar referensi. Kemudian parameter transformasi dengan nilai tertinggi akan ditetapkan sebagai estimasi yang valid.

- *Metode Invariant Descriptors*

Ada alternatif lain selain menggunakan metode *Spatial Relations*, yakni dengan menggunakan metode *Invariant Descriptors*. Untuk melakukan korespondensi fitur dapat dilakukan dengan menggunakan deskripsi dari citra. Deskripsi tersebut harus memenuhi beberapa kondisi. Hal yang terpenting untuk deskripsi disini adalah harus *invariance* dalam arti deskripsi tersebut tidak berubah walaupun mengalami beberapa transformasi. Selain itu harus unik, stabil, dan berdiri sendiri.

2.1.2.3. Transformation Identification

Setelah korespondensi fitur dibangun dan fungsi mapping telah dibentuk. Maka langkah selanjutnya adalah melakukan transformasi citra sensed ke dalam citra referensi berdasarkan korespondensi CP (*Control Points*) yang ada di dalam kedua citra tersebut.

2.2. Phase Only Correlation

Dalam sub bab sebelumnya telah dibahas tentang proses registrasi citra. Yang mana proses ini merupakan basis atau fundamental di berbagai bidang antara lain computer vision, remote sensing, medical image, dan lain sebagainya. Misalnya di bidang medical image untuk mendeteksi sebuah kuman dengan menggunakan registrasi citra. Kalau ini tidak akurat hasilnya maka akan berakibat fatal. Sehingga dibutuhkan teknik registrasi citra yang berakurasi tinggi. Registrasi citra berakurasi tinggi juga dibutuhkan dalam aplikasi *stereo-vision* 3D dan Superresolusi (melakukan konstruksi citra dari resolusi rendah menjadi resolusi tinggi).

Beberapa tahun yang lalu, beberapa teknik registrasi citra telah dikembangkan. Secara tipikal, beberapa metodenya menggunakan korelasi fitur. Fitur dari citra dihasilkan dari ekstraksi dengan menggunakan metode yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya. Kemudian seiring dengan perkembangan teknologi, ditemukanlah metode teknik registrasi citra dengan akurasi tinggi menggunakan korelasi berbasis fasa, atau bisa disebut dengan *Phase Correlation*. Registrasi citra dengan menggunakan POC (*Phase Only Correlation*) memungkinkan untuk melakukan estimasi pergeseran citra dengan akurasi *subpixel* dari lokasi korelasi puncak. Dalam metode ini proses *image matching* dapat diperluas untuk citra sensed yang berubah secara translasi, rotasi, dan skala [2]. Dalam paper yang berjudul “*High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation*” dijelaskan tentang teknik registrasi citra berakurasi tinggi dengan menggunakan metode *Phase Only Correlation*. Teknik registrasi citra konvensional berbasis fasa ini menggunakan metode estimasi lokasi korelasi puncak sebagai acuan bergesernya citra sehingga titik ini digunakan untuk melakukan korespondensi antara kedua citra yang akan diregistrasikan. Dalam paper tersebut dijelaskan pula mengenai sebuah teknik untuk melakukan improvisasi performa registrasi dengan melakukan fitting model analitik dari korelasi puncak untuk data array 2 dimensi. Metode ini dapat di *ekstend* menjadi sebuah teknik *Phase Only Correlation Spectrum Weighting*, dimana ada modifikasi *cross-phase spectrum* dengan beberapa fungsi *weighting* dengan tujuan untuk mengurangi efek *noise* dan mengontrol puncak korelasi agar mendapatkan metode *fitting* yang lebih bagus. Kontribusi lain yang dapat diberikan dalam paper diatas adalah memberikan analisa sistematis penelitian dari performa registrasi dengan mengevaluasi nilai error dalam perubahan secara translasi, rotasi, dan skala. Hasil dari eksperimen yang telah di demonstrasikan menunjukkan bahwa metode ini dapat mengestimasi pergeseran dengan akurasi 1/100-pixel untuk translasi, 1/10 derajat untuk rotasi, dan 1/10000-scale untuk faktor skala.

Dalam teknik registrasi *Phase Only Correlation*, angle dari rotasi citra dan faktor skala dari citra reduksi atau *magnification* dideteksi dengan mengkonversinya menjadi translasi. Sehingga untuk teknik ini dititik beratkan pada estimasi perubahan secara translasi. Untuk pembahasan detail dari teknin registrasi *Phase Only Correlation* akan di uraikan : *Phase Only Correlation Function*, *Subpixel Image Regitration*, Eksperimen estimasi perubahan citra , Registrasi dengan perubahan citra secara translasi, rotasi, dan skala.

2.2.1. Phase Only Correlation Function

Seperti yang kita ketahui Phase Only Correlation adalah perhitungan korelasi citra dengan berbasis fasa dari citra, sehingga nanti hasil akhirnya adalah berupa fasa yang mana nilai puncaknya merupakan titik pergeseran dari citra. Berikut ini akan dijelaskan bagaimana detail perhitungan untuk mengimplementasikan registrasi citra dengan menggunakan *Phase Only Correlation*. Misal kita memiliki dua buah citra 2 Dimensi ($N_1 \times N_2$), $f(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$ dan diasumsikan bahwa range indeks *range* nilai dari $n_1 = -M_1, \dots, M_1$ dan $n_2 = -M_2, \dots, M_2$. Sehingga dapat disederhanakan menjadi $N_1 = 2M_1 + 1$ dan $N_2 = 2M_2 + 1$. Untuk melakukan perhitungan korelasi berbasis fasa, maka citra 2 dimensi tersebut harus di ubah ke dalam bentuk fasa juga. Yakni mengubah domain citra dari spatial ke domain frekuensi. Untuk itu maka diperlukan proses DFTs (Discrete Fourier Transforms). Jika kita misalkan $F(k_1, k_2)$ dan $G(k_1, k_2)$ adalah DFT dari dua buah citra 2 Dimensi $f(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$ maka persamaan DFT-nya akan menjadi seperti ini :

$$\begin{aligned} F(k_1, k_2) &= \sum_{n_1 n_2} f(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_F(k_1, k_2) e^{j\theta F(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} G(k_1, k_2) &= \sum_{n_1 n_2} g(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_G(k_1, k_2) e^{j\theta G(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (2)$$

Dimana $k_1 = -M_1, \dots, M_1$ · $k_2 = -M_2, \dots, M_2$ dan $W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$ · $W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$. Dan operator $\sum_{n_1 n_2}$ mendenotasikan $\sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2}$ Selain itu $A_F(k_1, k_2)$ dan $A_G(k_1, k_2)$ adalah amplitudo. Sedangkan $e^{j\theta F(k_1, k_2)}$ dan $e^{j\theta G(k_1, k_2)}$ adalah fasa.

Kemudian setelah dilakukan DFT maka langkah berikutnya adalah menghitung *cross spectrum* dari kedua citra tersebut $F(k_1, k_2)$ dan $G(k_1, k_2)$ ke dalam fungsi $R(k_1, k_2)$. Untuk persamaan cross spectrum itu sendiri dapat dijabarkan seperti di bawah ini :

$$\begin{aligned} R(k_1, k_2) &= F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)} \\ &= A_F(k_1, k_2) A_G(k_1, k_2) e^{j\theta(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (3)$$

Dimana $\overline{G(k_1, k_2)}$ adalah *complex conjugate* dari $G(k_1, k_2)$ dan $\theta(k_1, k_2) = \theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)$. Disamping itu setelah dilakukan proses *cross spectrum*, kemudian untuk tahap selanjutnya di lakukan perhitungan *cross-phase spectrum* (*normalized cross spectrum*). Untuk penjabaran dari persamaan normalized cross spectrum $\hat{R}(k_1, k_2)$ adalah :

$$\begin{aligned}\hat{R}(k_1, k_2) &= \left(\frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) G(k_1, k_2)|} \right) \\ &= e^{j\theta(k_1, k_2)}\end{aligned}\quad (4)$$

Untuk mendapatkan formula dari POC (*Phase Only Correlation*) $\hat{r}(k_1, k_2)$ maka dilakukan *Inverse Discrete Fourier Transform 2D* (2DIDFT) dari persamaan $\hat{R}(k_1, k_2)$. Kemudian persamaannya akan menjadi seperti di bawah ini :

$$\hat{r}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1 k_2} \hat{R}(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \quad (5)$$

Persamaan no.5 adalah persamaan menghitung nilai POC (*Phase Only Correlation*) pada level pixel. dimana $\sum_{k_1 k_2}$ mendenotasikan $\sum_{k_1=-M_1}^{M_1} \sum_{k_2=-M_2}^{M_2}$

2.2.2. Subpixel Image Registration

Perlu membahas tentang *Subpixel Image Registration*, karena teknik estimasi dengan akurasi pergeseran yang tinggi menggunakan *Phase Only Correlation* melibatkan registrasi citra pada *level subpixel* atau biasa disebut dengan istilah *Subpixel Image Registration*. Jika kita memisalkan bahwa $f_c(x_1, x_2)$ adalah citra 2D dengan x_1 dan x_2 adalah bilangan real *integer*. Dan jika kita misalkan juga δ_1 dan δ_2 adalah perpindahan *subpixel* dari $f_c(x_1, x_2)$ ke arah x_1 dan x_2 . Sehingga untuk menghitung perpindahan citra dapat di representasikan dengan :

$$f_c(x_1 - \delta_1, x_2 - \delta_2)$$

Kita asumsikan $f(x_1, x_2)$ dan $g(x_1, x_2)$ adalah *spatial sampling* dari $f_c(x_1 - \delta_1, x_2 - \delta_2)$, maka :

$$f(n_1, n_2) = f_c(x_1, x_2) \text{ dimana } x_1 = n_1 T_1, x_2 = n_2 T_2'$$

$$f(n_1, n_2) = f_c(x_1 - \delta_1, x_2 - \delta_2) \text{ dimana } x_1 = n_1 T_1, x_2 = n_2 T_2'$$

Dimana nilai T_1 dan T_2 adalah interval dari *spatial sampling* dan range index untuk $n_1 = -M_1, \dots, M_1$ dan $n_2 = -M_2, \dots, M_2$. Jika $F(k_1, k_2)$ dan $G(k_1, k_2)$ adalah 2D DFT dari $f(k_1, k_2)$ dan $g(k_1, k_2)$. Mengingat adanya perbedaan *properties* antara Fourier Transform yang di-define dalam bentuk continuous dan yang di-define dalam bentuk diskrit maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

$$G(k_1, k_2) \cong F(k_1, k_2) \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N_1}k_1\delta_1} e^{-j\frac{2\pi}{N_2}k_2\delta_2}$$

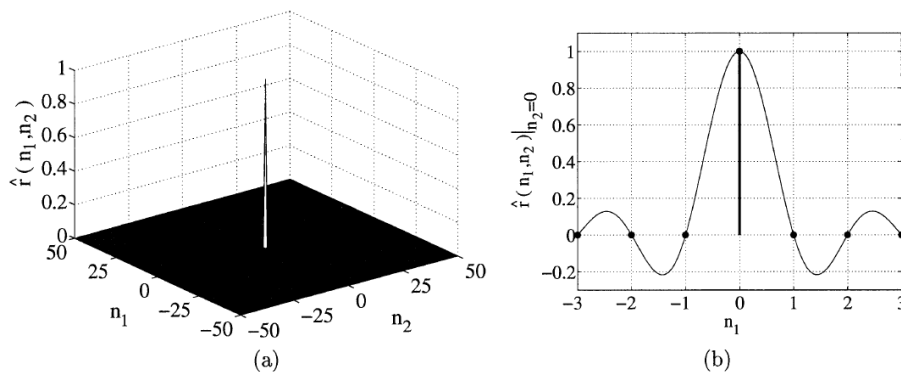
Sehingga persamaan dari $\hat{R}(k_1, k_2)$ menjadi :

$$\hat{R}(k_1, k_2) \cong e^{j\frac{2\pi}{N_1}k_1\delta_1} e^{j\frac{2\pi}{N_2}k_2\delta_2}$$

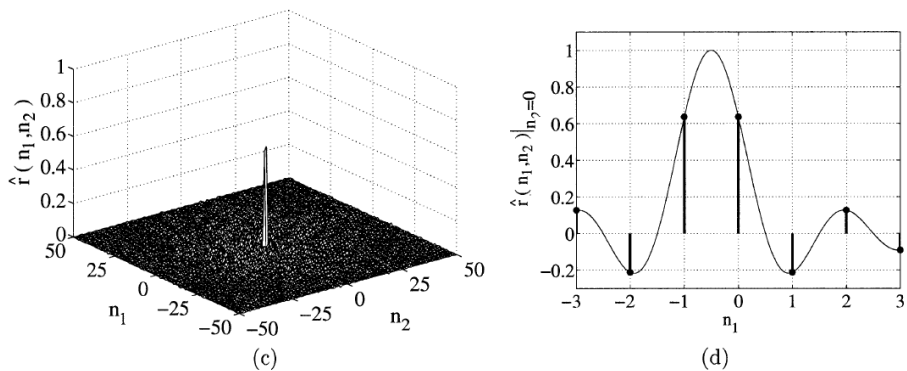
Persamaan POC

$$\begin{aligned} \hat{r}(n_1, n_2) &= \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1 k_2} \hat{R}(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \\ &\cong \frac{\alpha}{N_1 N_2} \frac{\sin\{\pi(n_1 + \delta_1)\}}{\sin\{\frac{\pi}{N_1}(n_1 + \delta_1)\}} \frac{\sin\{\pi(n_2 + \delta_2)\}}{\sin\{\frac{\pi}{N_2}(n_2 + \delta_2)\}} \end{aligned} \quad (6)$$

Persamaan di atas adalah persamaan fungsi POC yang digunakan untuk mencari bentuk puncak dari citra referensi dan citra sensed. Posisi puncak dari fungsi POC di atas menandakan bahwa di koordinat posisi tersebut merupakan lokasi yang berkorelasi di antara dua citra. Atau bisa dikatakan bahwa posisi tersebut merupakan koordinat perpindahan citra sensed terhadap citra referensi. Kita dapat membuktikan bahwa nilai puncak akan menurun ketika ada *noise* kecil yang ditambahkan pada citra [2].



Gambar 2.9 Grafik 3D dan 2D dari fungsi POC $\hat{r}(k_1, k_2)$ dimana nilai puncak berada pada koordinat (0,0) (gambar diambil dari paper “*High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation*”)



Gambar 2.10 Grafik 3D dan 2D dari fungsi POC $\hat{f}(k_1, k_2)$ dimana nilai puncak berada pada koordinat $(0.5,0)$ (gambar diambil dari paper “*High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation*”)

Persamaan no.6 adalah fungsi POC (*Phase Only Correlation*) untuk citra yang memiliki perpindahan (δ_1, δ_2) relatif kecil. Jika nilai perpindahan yang dimiliki oleh citra tersebut relatif besar harus menggunakan teknik *coarse to fine*, yakni ketika SIFT pada *level pixel* citra telah terdeteksi dan kemudian selanjutnya melakukan estimasi perpindahan *subpixel* dari kedua *sub-images* (berasal dari citra asli). Sehingga mutual translasi dari kedua *sub-images* tersebut dapat digunakan untuk asumsi sebagai nilai puncak yang *valid*.

Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memperoleh hasil dari registrasi citra berakurasi tinggi. Hal – hal tersebut antara lain :

2.2.2.1.Optimasi Jumlah Titik menggunakan *Function Fitting*

Untuk melakukan optimasi jumlah titik yakni dengan menggunakan teknik *least-square* sebagai estimasi perpindahan (δ_1, δ_2) citra dan puncak korelasi. Melakukan optimasi *data points* disekitar nilai puncak tertinggi sangatlah penting untuk menambah akurasi . Karena fungsi POC memberikan hasil nilai puncak yang cukup lumayan tajam. Maka pembatasan pada *data points* $(3 \times 3 \sim 9 \times 9)$ cukup untuk memperoleh akurasi yang tinggi dari *function fitting*.

2.2.2.2. *Windowing* untuk Eliminasi Effect dalam DFT

Secara periodik DFT dapat membengkok membungkus pada bagian tepi. Dan karena diskontinuitas ini tidak seharusnya terjadi pada kondisi real dan hanya terjadi pada komputasi 2D DFT di setiap tepi citra. Maka efek diskontinuitas pada daerah tepi citra ini harus dikurangi. Permasalahan ini dapat di atasi dengan menggunakan 2D *Hanning Window*. Yang di definisikan dengan persamaan :

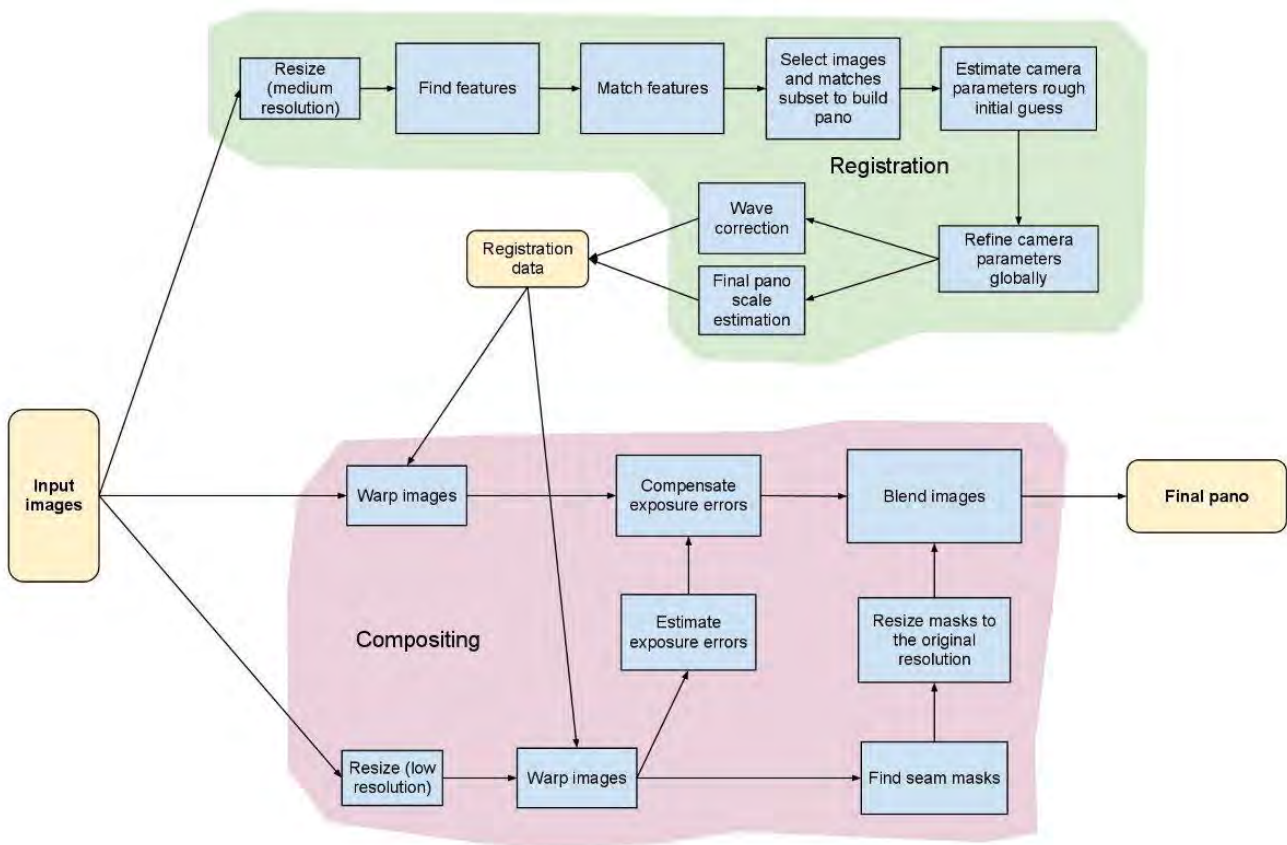
$$w(n_1, n_2) = \frac{1 + \cos\left(\frac{\pi n_1}{M_1}\right)}{2} \frac{1 + \cos\left(\frac{\pi n_2}{M_2}\right)}{2} \quad (7)$$

2.2.2.3. Modifikasi cross-phase dengan *Weighting Function*

Untuk melakukan improvisasi akurasi estimasi dapat digunakan *metode low-pass-type weighting* pada $\hat{R}(k_1, k_2)$. Metode ini diimplementasikan untuk melakukan eliminasi frekuensi tinggi yang memiliki tingkat nilai keandalan yang rendah.

2.3. *Image Stitching*

Istilah *image stitching* mungkin sudah tidak asing lagi. Dan istilah ini pasti tidak jauh dengan citra panorama. Karena basis dari citra panorama adalah *image stitching*. Untuk mengambil sebuah citra panorama di zaman sekarang bukanlah hal yang sulit. Karena hampir setiap orang memiliki *Gadget* atau *Smartphone*. Berbagai *tools* sudah banyak yang di-*publish* di Apps Store maupun Google Play. Seperti photaf, 360 Panorama Camera, Sphere yang telah built up dengan Motrr, dan masih banyak lagi. Itu semua adalah rata – rata pengembangan aplikasi yang resource logiknya dari para peneliti. Kalau di dalam secara *bussiness process* atau *pipeline process* untuk membuat sebuah citra panorama harus melalui serangkaian proses yang panjang. Seperti yang ada pada pipeline opencv pada gambar 2.9. Disitu terdapat beberapa proses yang cukup banyak. Ada 2 proses inti, kalau disimpulkan untuk membuat sebuah citra panorama. Yakni proses registrasi dan proses *stitching*. Kedua proses ini harus memberikan output yang maksimal jika ingin mendapatkan hasil panorama yang maksimal juga. Beberapa penelitian telah dilakukan dan berbagai metode juga diusulkan demi untuk melakukan perbaikan dan perbaikan. Mendapatkan hasil yang baik dengan waktu komputasi yang sedikit dan tidak banyak membutuhkan *resource* adalah proses yang sangat ingin di capai oleh berbagai peneliti.



Gambar 2.11 *Image Stitching Pipeline* (gambar diambil dari <http://docs.opencv.org>)

Stitching citra panorama memiliki banyak literatur. Permasalahan dasar dari proses *stitching* citra panorama adalah pada proses estimasi yang masih membutuhkan inisialisasi bahwa citra *input* harus di *provide* oleh *user*. Antara citra *sensed* dan citra referensi harus di beri tanda untuk bisa memperoleh kesejajaran citra, atau diurutkan terlebih dahulu sebelum proses *stitching* dilakukan. Dalam literatur penelitian, untuk melakukan otomatisasi proses *stitching* terbagi menjadi dua kategori, yakni *direct based* dan *feature based*.

- *Direct Based*

Metode ini memiliki kelebihan, yakni menggunakan semua data citra yang tersedia, karena metode ini dapat memberikan nilai registrasi yang akurat. Tetapi dibutuhkan sedikit inisialisasi.

- *Feature Based*

Metode ini tidak membutuhkan inisialisasi, tetapi menggunakan *feature matching*. Jika dalam implementasi ternyata kekurangan komponen invarian di dalam citra, maka *matching* citra dilakukan dengan menggunakan urutan.

Matthew Brown dan David G. Lowe dalam papernya yang berjudul “*Automatic Panoramic Image Stitching Using Invariant Features*” berhasil memecahkan permasalahan otomatisasi *stitching* citra panorama [1]. Pendekatan sebelumnya yakni citra manual di inputkan oleh manusia. Dan kelemahan lainnya adalah citra harus berurutan yang bertujuan untuk memudahkan dalam proses pencocokan citra atau *matching image*. Dalam paper tersebut diusulkan sebuah formula untuk melakukan pencocokan multi citra atau lebih dikenal dengan istilah *multi-image matching problem*. Dan menggunakan metode fitur lokal invarian untuk menemukan kecocokan diantara semua citra. Karena metode ini tidak sensitif terhadap urutan, orientasi, skala pencahayaan dari citra yang telah diinputkan, maka akan tidak sensitif juga terhadap *noise* citra yang bukan merupakan bagian dari panorama. Sehingga metode ini dapat *mem-built* sebuah panorama dari data set image yang acak. Ada beberapa keuntungan dalam penerapan metode ini. Pertama *invariant features* memungkinkan untuk melakukan *matching* citra panorama berurutan meskipun kondisi citra input mengalami rotasi, zoom, atau perubahan cahaya. Selanjutnya dengan menerapkan *multi-image matching problem*, Secara otomatis menemukan relasi diantara citra dan dapat mengenali panorama dalam kondisi *dataset* yang tidak berurutan. Kemudian yang terakhir adalah membentuk hasil dengan kualitas tinggi multi-band blending untuk memperhalus *output* panorama.

Mungkin untuk proses *stitching* citra panorama ada beberapa langkah yang sudah pernah dijelaskan sebelumnya pada pembahasan registrasi citra. Karena tahapan registrasi citra masuk kedalam pembahasan *image stitching*. Penjelasan tahapan di sub bab ini akan diperdetail pada tahapan setelah dilakukannya registrasi citra. Tahapan – tahapan itu antara lain : Image Alignment Algorithm, Automatic Straightening, dan Multi-Band Blending.

Pada bagian ini akan menerapkan *Bundle Adjustment* untuk mengatasi penggabungan parameter dari kamera. Ini adalah tahapan yang penting sebagai rangkaian dari pasangan homografi yang akan menyebabkan akumulasi kesalahan dan mengabaikan beberapa kendala diantara citra. Citra ditambahkan ke dalam bundle adjuster satu persatu.

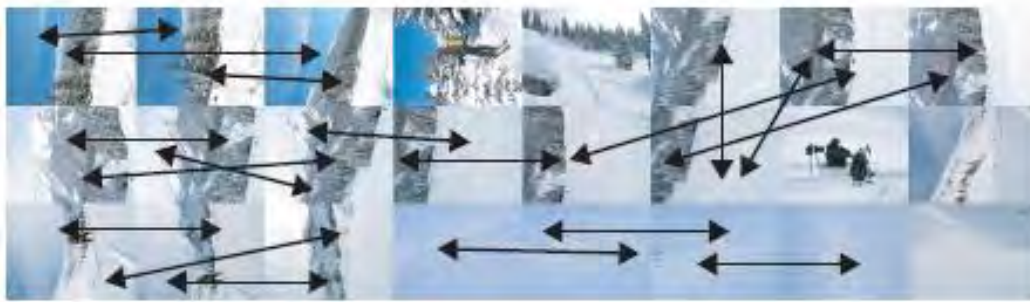
Dengan hasil *matching* terbaik (nilai maksimum dari *consistent matches*) akan ditambahkan pada setiap tahapan. Citra baru akan diinisialisasi dengan rotasi dan *focal length* yang sama sebagai citra yang bisa dikatakan *matching* terbaik. Kemudian parameter diupdate menggunakan Lavenberg-Marquardt.

Obyektif dari fungsi ini adalah kita menggunakan *robustified sum squared projection error*. Sehingga fitur di proyeksikan kedalam semua citra yang cocok dan hasil dari kuadrat jarak citra diminimalisasi dengan *respect* kepada parameter kamera.

Registrasi citra dengan langkah – langkah yang telah di jelaskan sebelumnya memberikan rotasi relatif antara kamera, tapi masih ada rotasi 3D tidak diketahui. yang dipilih koordinat bingkai. Jika kita hanya mengasumsikan bahwa $R = I$ untuk salah satu gambar, kita biasanya menemukan efek bergelombang di panorama output. Hal ini karena kamera sebenarnya adalah tidak mungkin tingkat sempurna. Kami dapat memperbaiki keluaran bergelombang ini dan secara otomatis meluruskan panorama dengan membuat penggunaan heuristik tentang cara orang biasanya menembak gambar panorama.



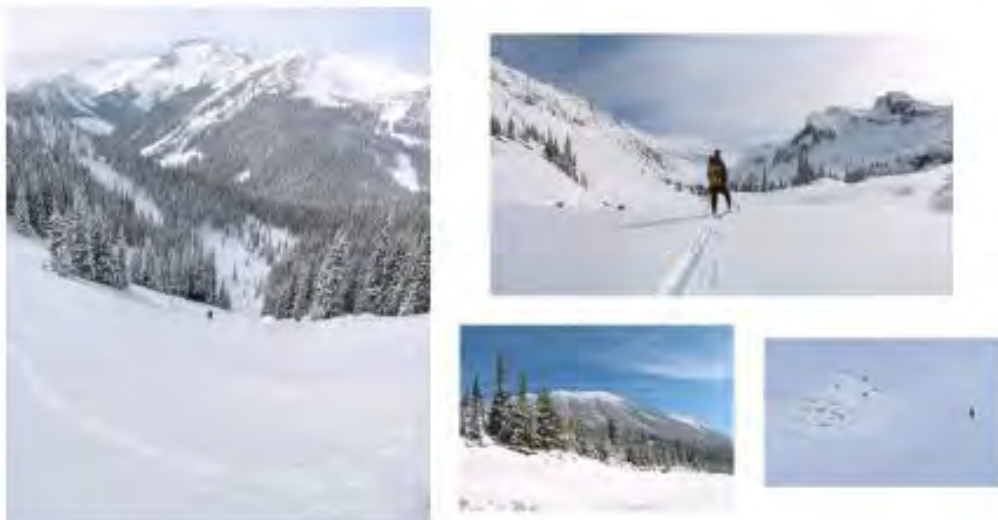
Gambar 2.12 Fitur SIFT yang telah diextrak dari semua citra. Kemudian dilakukan *matching fitur*. Dan yang terakhir dilakukan *image alignment*. (Gambar diambil dari paper “*Auto Panoramic Image Stitching using Invariant Features*”)



(a) Image matches



(b) Connected components of image matches



Gambar 2.13. Pembentukan Panorama . (Gambar diambil dari paper “*Auto Panoramic Image Stitching using Invariant Features*”)

Namun penelitian yang dilakukan oleh Matthew Brown dan David G. Lowe masih timbul beberapa permasalahan. Yakni pergerakan Kamera (*Camera Motion*) dan pergerakan obyek. Dari pergeseran/pergerakan kamera ini akan terbentuk parallax obyek yang menyebabkan panorama jadi tidak bagus. Kemudian ditambah lagi dengan terbatasnya kamera dalam mengambil obyek. Sehingga kalau di frame 1 obyek diam kemudian di frame 2 obyek bergerak ini akan menyebabkan panorama juga tidak bagus. Seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.14. *Camera and Object Motion* . (Gambar diambil dari paper “*Auto Panoramic Image Stitching using Invariant Features*”)

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

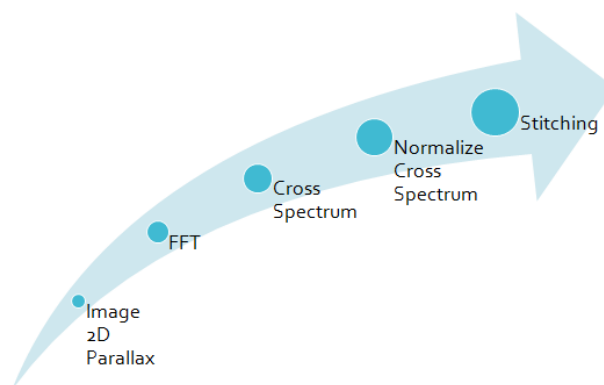
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini ditujukan untuk mengatasi kesalahan *stitching* yang diakibatkan oleh obyek *parallax*. Sehingga akan fokus pada kasus – kasus yang berhubungan dengan obyek *parallax*. Beberapa teknik registrasi citra telah dijelaskan pada bab sebelumnya dan telah dikaji kekurangan dan. Untuk menjawab permasalahan *parallax* penulis mengusulkan perbaikan pada tahap registrasi citra. Karena dasar dari proses *stitching* citra adalah registrasi. Jika hasil registrasi citra bisa dimaksimalkan maka tidak menutup kemungkinan *output* dari *stitching* akan bisa maksimal juga.

Untuk mengatasi permasalahan obyek *parallax* diatas, penulis menggunakan metode *Phase Based Image Matching* atau biasa dikenal dengan *Phase Only Correlation*. Banyak para peneliti yang mengatakan bahwa metode registrasi ini dapat menghasilkan akurasi registrasi citra yang cukup lumayan tinggi. Karena metode registrasi ini bekerja pada tingkat *subpixel*. Selain itu juga dengan menerapkan metode ini performa registrasi citra akan meningkat.

Adapun pada gambar 3.1 dijelaskan diagram alur langkah – langkah pelaksanaan penelitian ini. Diawali dengan input citra 2D sampai dengan proses *stitching*. Tahapan – tahapan metodologi penelitian ini dapat dilihat pada skema pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema Metodologi Penelitian

3.1. Citra 2 Dimensi dengan *Parallax*

Citra input yang diambil adalah Citra 2 Dimensi dengan resolusi maksimal 600x400 *pixel*. Citra tersebut diambil dengan menggunakan *smartphone* yang dilengkapi dengan *docking* dengan tujuan agar terbentuk obyek *parallax*. Karena secara tidak langsung *smartphone docking* ini posisi lensa kamera jauh dari pusat rotasi. Citra input diambil dengan perpotongan atau area *overlap* paling tidak 50-60 persen. Area *overlap* tersebut dijadikan acuan untuk menentukan pergeseran diantara kedua citra masukan.



Gambar 3.2 *Smartphone docking* untuk mengambil citra masukan.



Citra 1



Citra 2

Gambar 3.3 Citra 1 dan Citra 2 adalah citra masukan dengan daerah tumpang tindih 50%

3.2. *Phase Based Image Matching*

Setelah citra diambil secara *parallax*, maka langkah selanjutnya adalah proses registrasi. Dalam tahap ini penulis menggunakan metode *Phase Based Image Matching* atau *Phase Only Correlation*. Langkah – langkahnya antara lain : mengubah citra ke nilai *grayscale*, transformasi fourier, *cross spectrum*, normalisasi *cross spectrum*, *inverse cross spectrum*, menemukan koordinat pergeseran berdasarkan nilai puncak gelombang.

3.3.1. Transformasi Abu – abu

Input dari metode ini adalah dua buah Citra 2 Dimensi dengan resolusi maksimal 640 x 427 pixel. Dua buah citra 2 Dimensi ($N_1 \times N_2$), dimisalkan $f(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$ yang mana panjang dan lebar dari kedua citra tersebut harus sama. Kemudian ditransformasikan ke.

3.3.2. Transformasi *Fourier*

Dalam penelitian ini untuk melakukan proses DFT akan digunakan *library FFTW* yang diunduh dari halaman <http://www.fftw.org/>. Karena *library FFTW* ini lebih cepat komputasinya dibandingkan dengan DFT yang ada di *library OpenCV*. Untuk melakukan perhitungan korelasi berbasis fasa, maka citra 2 dimensi tersebut harus di ubah ke dalam bentuk fasa juga. Yakni mengubah domain citra

dari spasial ke domain frekuensi. Untuk itu maka diperlukan proses DFTs (Discrete Fourier Transforms). Jika kita misalkan $F(k_1, k_2)$ dan $G(k_1, k_2)$ adalah DFT dari dua buah citra 2 Dimensi $f(n_1, n_2)$ dan $g(n_1, n_2)$.

Maka persamaan DFT-nya akan menjadi seperti formulasi yang telah dibahas di bab sebelumnya :

$$\begin{aligned} F(k_1, k_2) &= \sum_{n_1 n_2} f(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_F(k_1, k_2) e^{j\theta_F(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} G(k_1, k_2) &= \sum_{n_1 n_2} g(n_1, n_2) W_{N_1}^{k_1 n_1} W_{N_2}^{k_2 n_2} \\ &= A_G(k_1, k_2) e^{j\theta_G(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (9)$$

Dimana $k_1 = -M_1, \dots, M_1$ · $k_2 = -M_2, \dots, M_2$ dan $W_{N_1} = e^{-j\frac{2\pi}{N_1}}$ · $W_{N_2} = e^{-j\frac{2\pi}{N_2}}$.

Dan operator $\sum_{n_1 n_2}$ mendenotasikan $\sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2}$ Selain itu $A_F(k_1, k_2)$ dan $A_G(k_1, k_2)$ adalah amplitudo. Sedangkan $e^{j\theta_F(k_1, k_2)}$ dan $e^{j\theta_G(k_1, k_2)}$ adalah fasa.

3.3.3. Cross Spectrum

Hasil dari proses FFT akan dilakukan proses *cross spectrum*. Dengan melakukan perulangan sebesar panjang data dari fft yang telah terbentuk. Untuk membangkitkan nilai *cross spectrum* dapat digunakan formula :

$$\begin{aligned} \hat{R}(k_1, k_2) &= \left(\frac{F(k_1, k_2) \overline{G(k_1, k_2)}}{|F(k_1, k_2) G(k_1, k_2)|} \right) \\ &= e^{j\theta(k_1, k_2)} \end{aligned} \quad (10)$$

Dimana $\overline{G(k_1, k_2)}$ adalah *complex conjugate* dari $G(k_1, k_2)$ dan $\theta(k_1, k_2) = \theta_F(k_1, k_2) - \theta_G(k_1, k_2)$. Disamping itu setelah dilakukan proses *cross spectrum*, kemudian untuk tahap selanjutnya di lakukan perhitungan *cross-phase spectrum* (*normalized cross spectrum*).

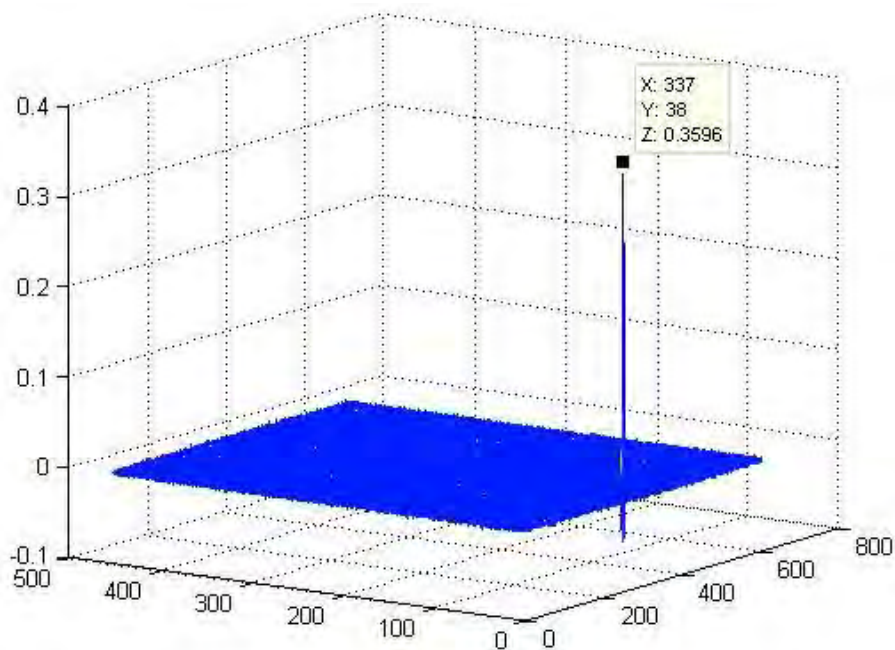
3.3.4. Normalisasi *Cross Spectrum*

Setelah nilai dari *cross spectrum* terbentuk, maka langkah selanjutnya dilakukan *inverse* dari nilai *cross spectrum* tersebut atau bisa juga diistilahkan dengan normalisasi *cross spectrum*. Dalam fungsi ini akan terbentuk nilai puncak korelasi kedua citra berdasarkan koordinat perpindahan dari citra tersebut. Untuk melakukan *inverse cross spectrum* dapat menggunakan formula :

$$\hat{r}(n_1, n_2) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k_1 k_2} \hat{R}(k_1, k_2) W_{N_1}^{-k_1 n_1} W_{N_2}^{-k_2 n_2} \quad (11)$$

dari persamaan diatas didapatkan hasil gelombang/fasa yang mana nilai puncak dari gelombang tersebut adalah koordinat dari pegeseran kedua citra.

3.3.5. Mencari Koordinat Pergeseran



Gambar 3.3 Hasil dari normalisasi *cross spectrum*

Lokasi koordinat pergeseran citra diambil dari nilai puncak hasil proses

normalisasi *cross spectrum*. Seperti pada gambar di atas, koordinat pergeseran citra input tersebut ada pada (337,38) dengan nilai puncak 0.3596.

3.3. *Stitching* Citra

Pada tahapan ini dilakukan penggabungan antara dua citra masukan, istilah tersebut dinamakan *stitching*. Proses *stitching* dapat dilakukan setelah koordinat pergeseran kedua citra tersebut diketahui dari hasil tahapan sebelumnya, yakni registrasi citra berbasis fasa (*Phase Only Correlation*). Karena untuk melakukan pensejajaran kedua citra harus ada acuan dari sumbu-x maupun sumbu-y. Tahapan ini hanya dilakukan sebatas proses pensejajaran (*allignment*), tidak termasuk proses *blending*.

Misal ada dua citra, citra 1 dan citra 2 yang akan dilakukan proses *stitching* maka untuk tahapan algoritmanya sebagai berikut :

3.3.1. Menghitung Panjang dan Lebar Citra

Tahap awal adalah menghitung ukuran panjang dan lebar dari kedua citra masukan. Ukuran ini yang akan digunakan sebagai acuan untuk membuat variabel penampung hasil *stitching*.

3.3.2. Membuat Variabel Tampungan

Besar variabel yang digunakan untuk menampung citra hasil *stitching* sangat bergantung pada nilai koordinat pergeseran citra. Jika dimisalkan panjang citra adalah *height*, lebar citra adalah *width* dan nilai koordinat puncaknya adalah (x,y) maka variabel penampung tersebut ukuran panjangnya adalah $x+width$ dan ukuran lebarnya $y+height$.

3.3.3. Memasukkan Nilai Citra 1 dan Citra 2

Kemudian nilai citra 1 dan citra 2 dimasukkan ke dalam variabel tampungan. Citra 1 dimasukkan di sisi bagian kiri, dan kemudian citra 2 dimasukkan di sisi bagian kanan. Untuk citra 1 dimulai dari koordinat (0,0) sampai dengan $(width,height)$ sedangkan untuk citra 2 dimulai dari koordinat pergeseran (x,y) sampai dengan $(x+width, y+height)$.

3.3.4. Hasil *Stitching*

Citra 1 dan citra 2 setelah dimasukkan ke dalam *variable* penampung dan dilakukan penggabungan (*stitching*) berdasarkan titik pegeseran (x,y) . Maka akan didapatkan hasil seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.3 Hasil *stitching*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas tentang hasil penelitian yang dilakukan. Hasil penelitian diperoleh dari pengujian dua citra masukan yang diambil secara *parallax*. Uji coba citra masukan tersebut dikelompokkan menjadi tiga, antara lain : berdasarkan tempat, rotasi kamera, dan persentase area tumpang tindih (*overlap*). Berdasarkan tempat dibagi menjadi dua, diambil di dalam ruangan (*indoor*) dan luar ruangan (*outdoor*). Kemudian berdasarkan rotasi kamera diambil secara vertikal dan diagonal. Selanjutnya berdasarkan persentase area tumpang tindih diuji coba dengan nilai prosentase 70%, 60% dan 50%. Hasil percobaan dilaporkan dalam bentuk visual dari proses registrasi dan *stitching* citra dengan menggunakan metode *Phase Only Correlation*.

4.1. Pengujian Berdasarkan Tempat Citra Diambil

Pada pengujian ini, citra masukan dikelompokkan menjadi dua macam, yakni citra yang diambil dari dalam ruangan (*indoor*) dan luar ruangan (*outdoor*) dengan tujuan untuk membandingkan hasil penerapan metode pada dua kelompok obyek tersebut. Biasanya obyek di dalam ruangan agak rentan terhadap intensitas cahaya. Sehingga ketika kamera digeser sedikit, intensitas cahaya antara citra 1 dan citra 2 sangat berbeda jauh. Dibutuhkan kamera standard yang nilai *iso*-nya bisa dirubah secara manual untuk mendapat hasil yang maksimal.

4.1.1. Obyek Citra di dalam Ruangan

Citra yang akan diuji berjumlah 6 diambil dalam waktu, pencahayaan, dan tempat yang berbeda, dengan tujuan untuk melihat tingkat kestabilan dari proses *stitching*. Berikut merupakan beberapa citra masukan yang akan diuji.



(a)



(b)



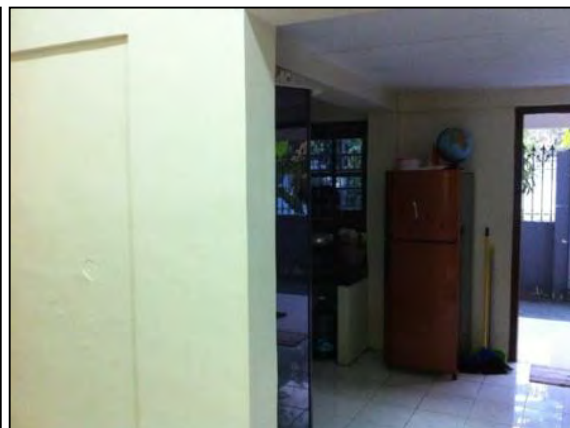
(c)



(d)



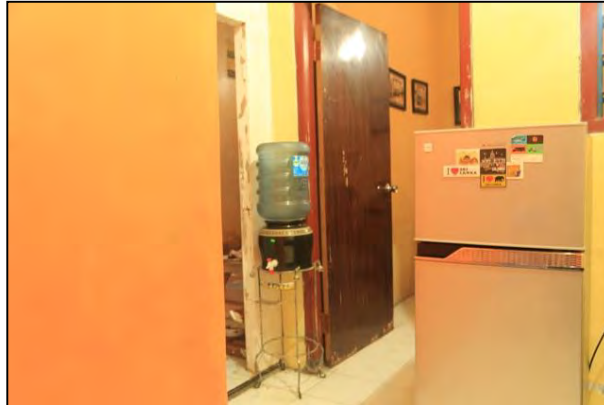
(e)



(f)

Gambar 4.1 Citra masukan yang diambil di dalam ruanga

Dalam pengujian ini akan dilakukan registrasi antara citra a dan citra b. Citra masukan tersebut diambil di dalam ruangan dengan area tumpang tindih sekitar 60 persen. Pengujian ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* pada citra yang diambil di dalam ruangan.



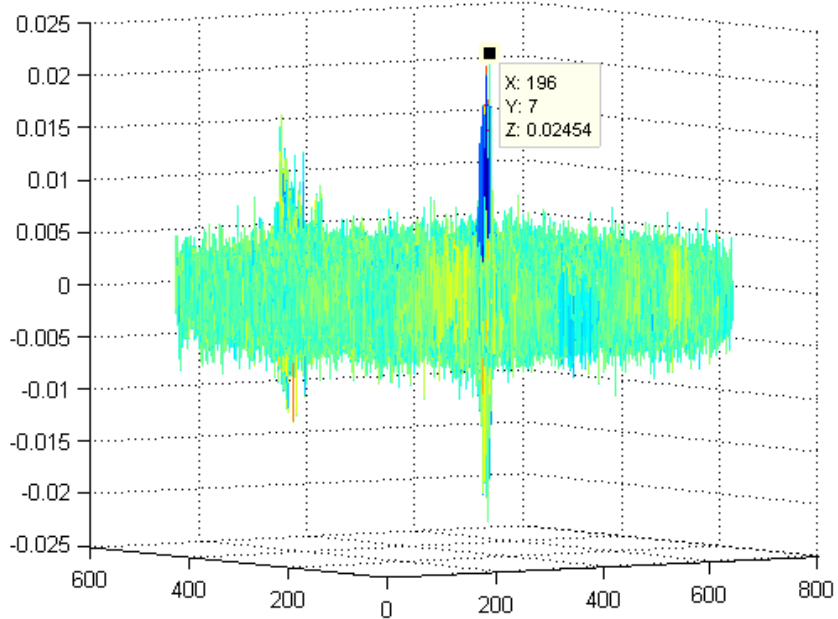
(a)



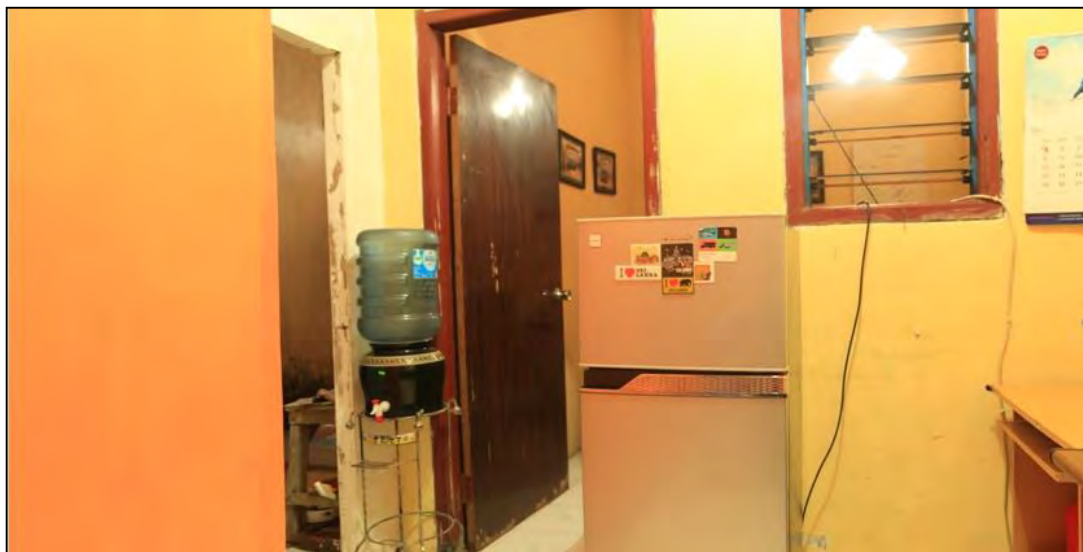
(b)

Gambar 4.2 Citra masukan pengujian 1

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan pada gambar 4.3 nilai koordinat pergeseran $(x,y) \rightarrow (196,7)$ dan nilai puncak $(z) \rightarrow 0,02454$.



Gambar 4.3 Hasil registrasi pengujian 1



Gambar 4.4 Hasil *stitching* pengujian 1

Gambar 4.4 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*. Namun hasil penggabungan tersebut seperti ada garis yang tidak menyatu, itu diakibatkan karena intensitas cahaya citra a dan b tidak sama. Sehingga perlu adanya proses *blending*.

Dalam pengujian ini akan dilakukan registrasi antara citra c dan citra d. Citra masukan tersebut diambil di dalam ruangan dengan area tumpang tindih sekitar 60 persen. Pengujian ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* pada citra yang diambil di dalam ruangan.

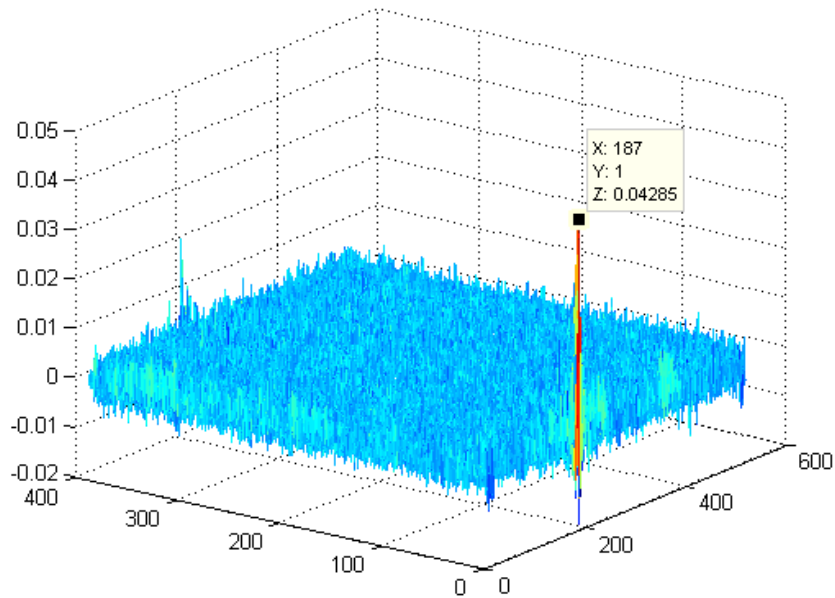


(c)



(d)

Gambar 4.5 Citra masukan pengujian 2



Gambar 4.6 Hasil registrasi pengujian 2

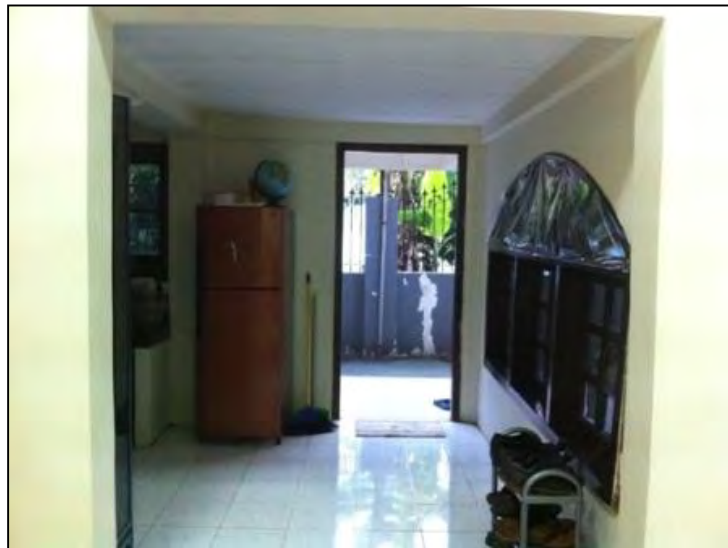
Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran (x,y) \rightarrow (187,1) dan nilai puncak (z) \rightarrow 0,04285.



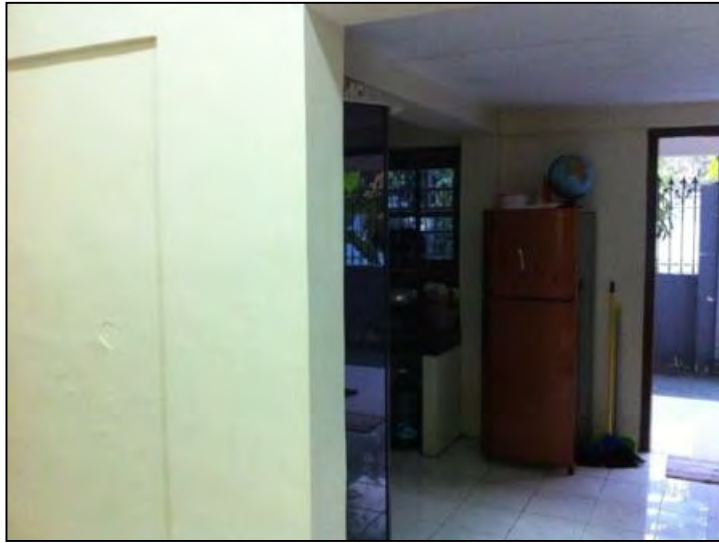
Gambar 4.7 Hasil *stitching* pengujian 2

Gambar 4.7 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*. Namun hasil penggabungan tersebut seperti ada garis yang tidak menyatu, itu diakibatkan karena intensitas cahaya citra c dan d tidak sama. Sehingga perlu adanya proses *blending*.

Dalam pengujian ini akan dilakukan registrasi antara citra e dan citra f. Citra masukan tersebut diambil di dalam ruangan dengan area tumpang tindih sekitar 60 persen. Pengujian ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* pada citra yang diambil di dalam ruangan.

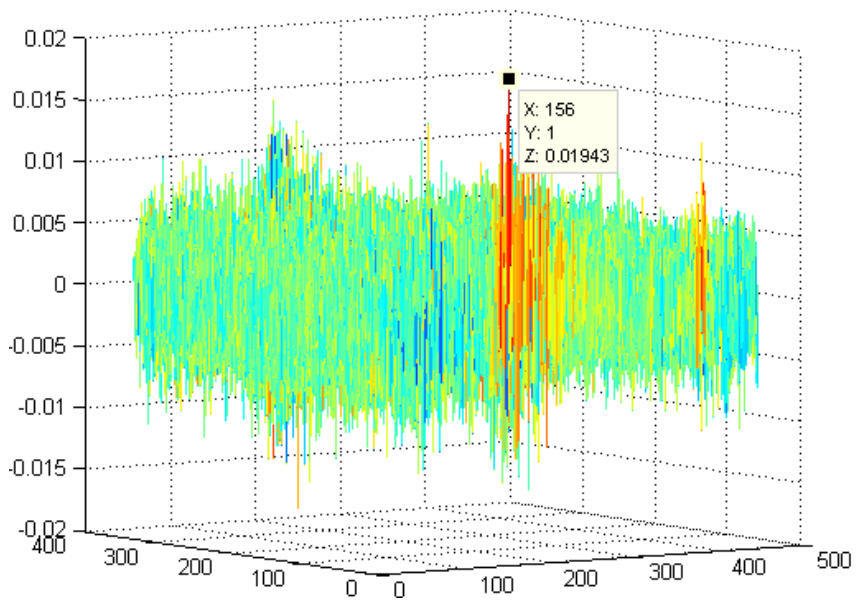


(e)



(f)

Gambar 4.8 Citra masukan pengujian 3



Gambar 4.9 Hasil registrasi pengujian 3

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran $(x,y) \rightarrow (156,1)$ dan nilai puncak $(z) \rightarrow 0,001943$.



Gambar 4.10 Hasil *stitching* pengujian 3

Gambar 4.10 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*. Namun hasil penggabungan tersebut seperti ada garis yang tidak menyatu, itu diakibatkan karena intensitas cahaya citra e dan f tidak sama. Sehingga perlu adanya proses *blending*.

4.1.2. Obyek Citra di luar Ruangan

Citra yang akan diuji berjumlah 6 diambil dalam waktu, pencahayaan, dan tempat yang berbeda, dengan tujuan untuk melihat tingkat kestabilan dari proses *stitching* pada obyek yang diambil di luar ruangan. Berikut merupakan beberapa citra masukan yang akan diuji.



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

Gambar 4.11 Citra masukan yang diambil di luar ruangan

Dalam pengujian ini akan dilakukan registrasi antara citra g dan citra h. Citra masukan tersebut diambil di luar ruangan dengan area tumpang tindih sekitar 60 persen. Pengujian ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* pada citra yang diambil di luar ruangan.

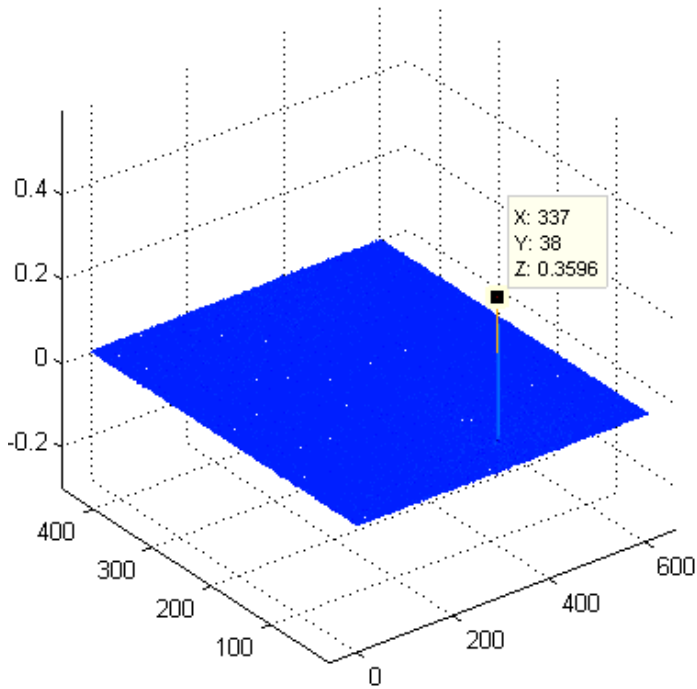


(g)



(h)

Gambar 4.12 Citra masukan pengujian 4



Gambar 4.13 Hasil registrasi pengujian 4

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran $(x,y) \rightarrow (337,38)$ dan nilai puncak $(z) \rightarrow 0,3596$.



Gambar 4.14 Hasil *stitching* pengujian 4

Gambar 4.14 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*. Agak lebih baik dari *stitching* pada obyek yang diambil di dalam ruangan.

Dalam pengujian ini akan dilakukan registrasi antara citra i dan citra j. Citra masukan tersebut diambil di luar ruangan dengan area tumpang tindih sekitar 60 persen. Pengujian ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* pada citra yang diambil di luar ruangan.

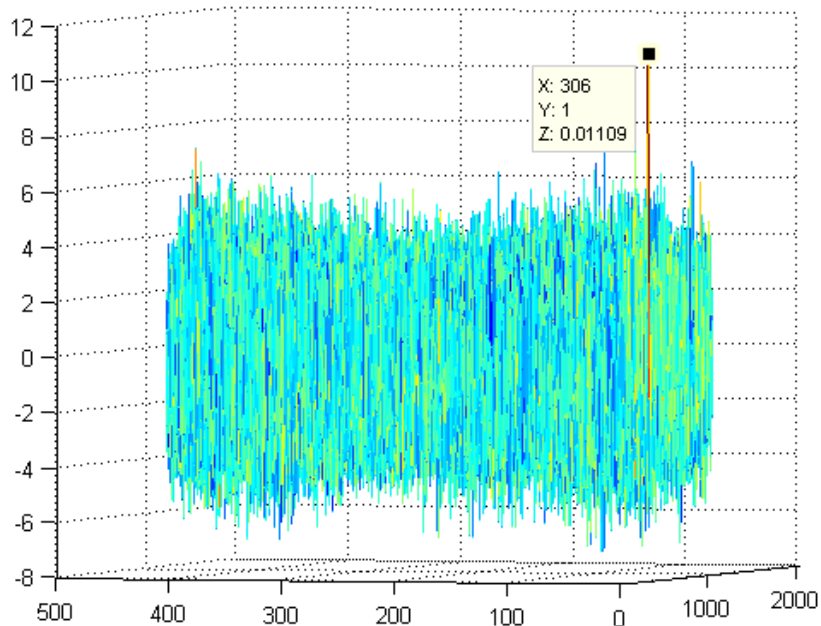


(i)



(j)

Gambar 4.15 Citra masukan pengujian 5



Gambar 4.16 Hasil registrasi pengujian 5

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran (x,y) \rightarrow (306,1) dan nilai puncak (z) \rightarrow 0,01109.



Gambar 4.17 Hasil *stitching* pengujian 5

Gambar 4.17 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*. Agak lebih baik dari *stitching* pada obyek yang diambil di dalam ruangan.

Dalam pengujian ini akan dilakukan registrasi antara citra k dan citra l. Citra masukan tersebut diambil di luar ruangan dengan area tumpang tindih sekitar 60 persen. Pengujian ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* pada citra yang diambil di luar ruangan.

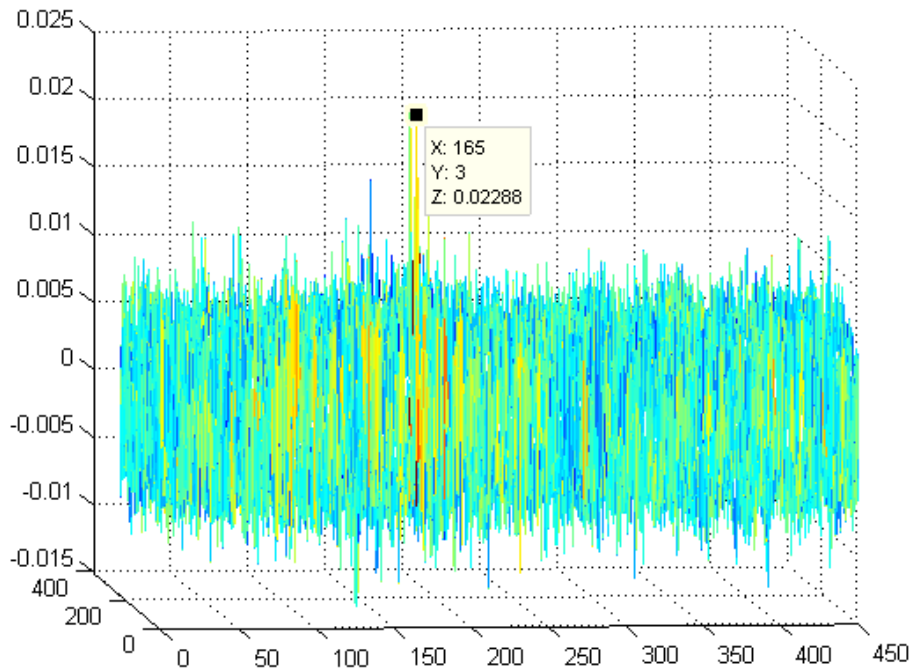


(k)



(l)

Gambar 4.18 Citra masukan pengujian 6



Gambar 4.19 Hasil registrasi pengujian 6

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran $(x,y) \rightarrow (165,3)$ dan nilai puncak $(z) \rightarrow 0,02288$.



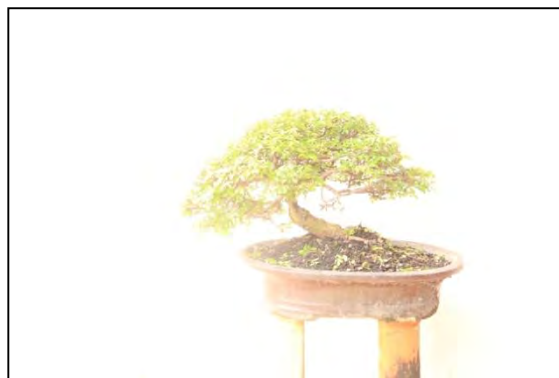
Gambar 4.20 Hasil *stitching* pengujian 6

Gambar 4.20 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau

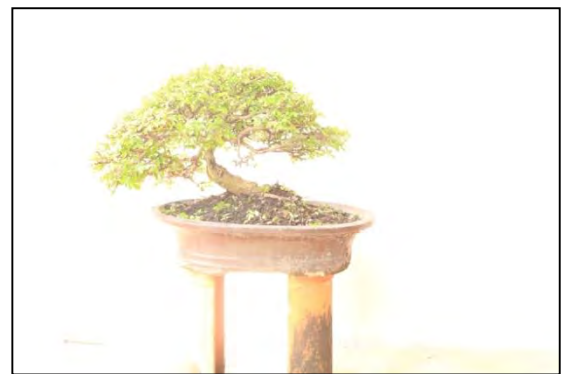
error pada *stitching*. Agak lebih baik dari *stitching* pada obyek yang diambil di dalam ruangan.

4.2. Pengujian Berdasarkan Pergeseran Kamera

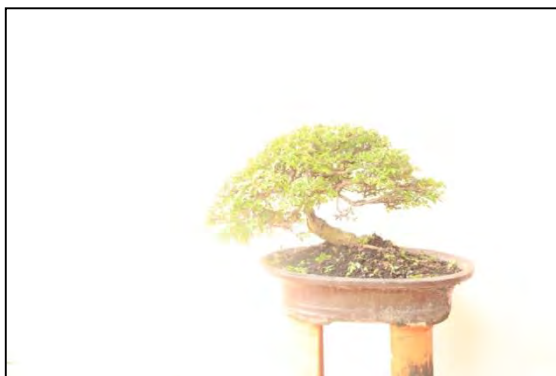
Pada pengujian ini, citra masukan dikelompokkan menjadi dua macam, yakni citra yang diambil secara vertikal dan diagonal. Pengujian ini ditujukan untuk membuktikan bahwa metode yang digunakan dapat diimplementasikan pada obyek yang digeser secara vertikal dan diagonal. Berikut merupakan citra masukan yang akan diuji.



(m)



(n)



(o)

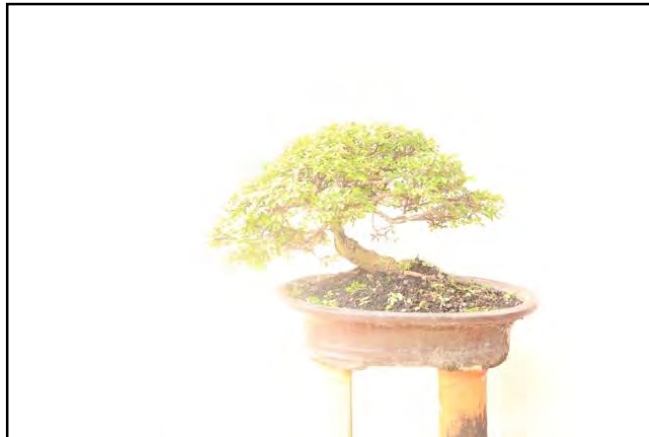


(p)

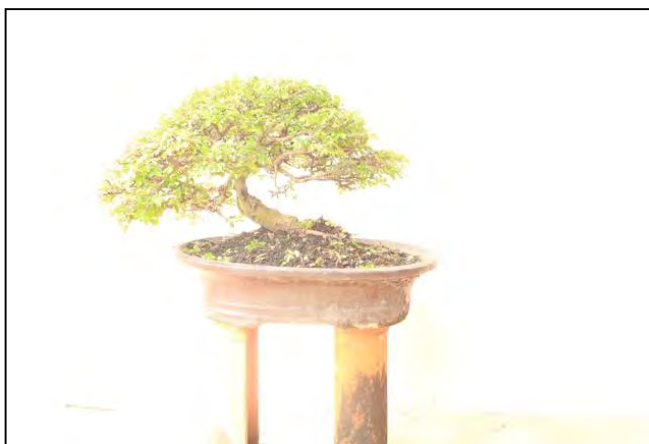
Gambar 4.21 Citra masukan m dan n diambil secara vertikal o dan p secara diagonal

4.2.1. Obyek citra digeser secara vertikal

Dalam percobaan ini dilakukan registrasi citra antara citra m dan citra n yang mana kedua citra tersebut memiliki intensitas yang sama. Percobaan ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* dengan pengambilan citra secara vertikal.

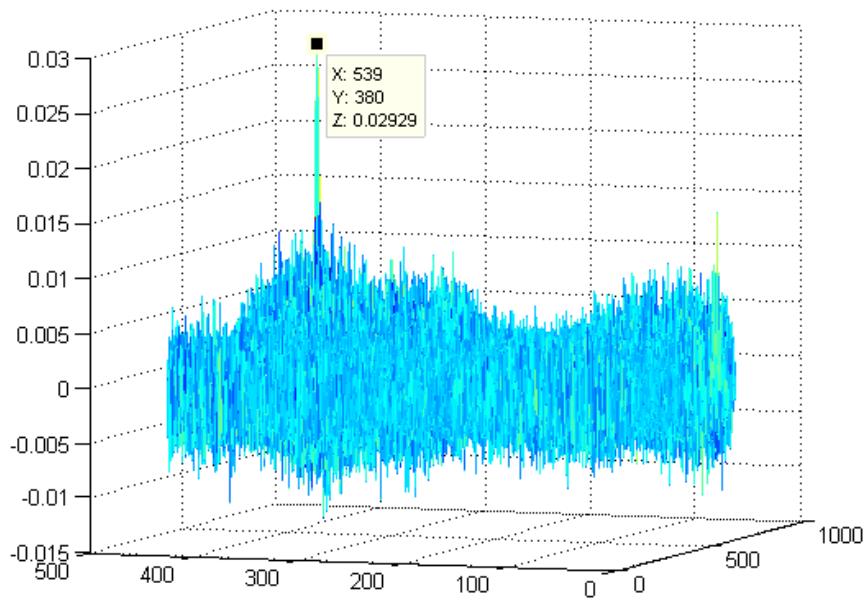


(m)



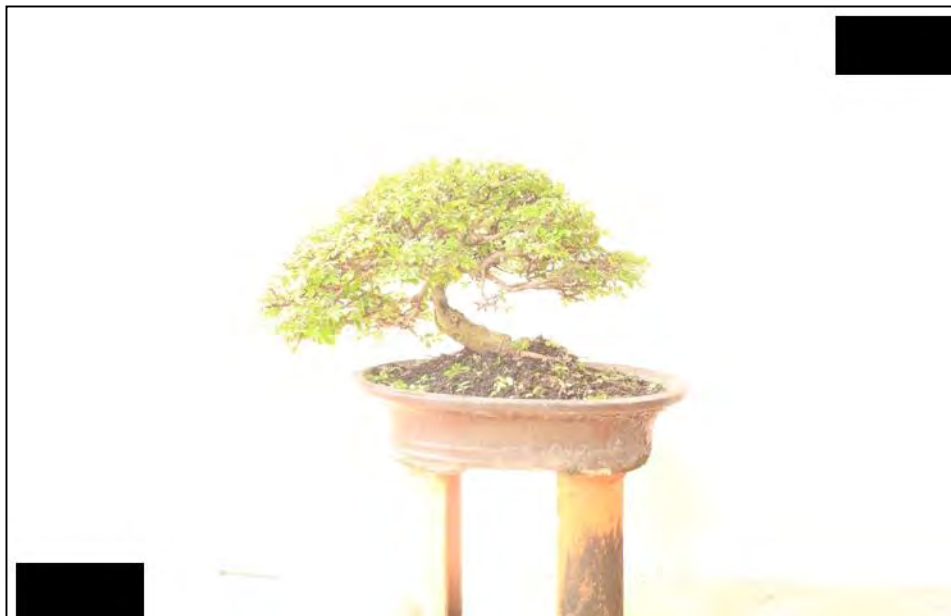
(n)

Gambar 4.22 Citra masukan pengujian 7



Gambar 4.23 Hasil registrasi pengujian 7

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran (x,y) \rightarrow (539,380) dan nilai puncak (z) \rightarrow 0,02929.

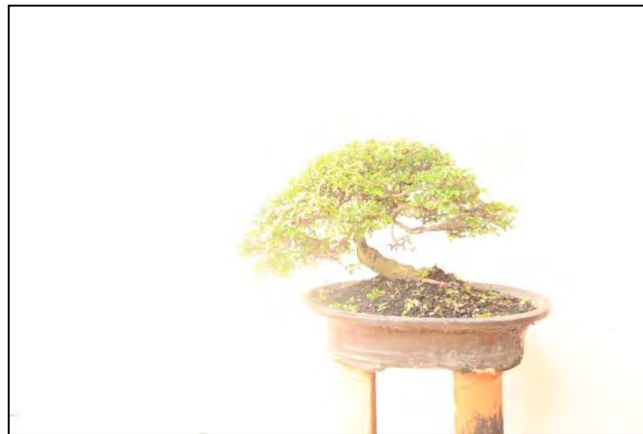


Gambar 4.24 Hasil *stitching* pengujian 7

Gambar 4.24 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, walaupun citra diambil secara vertikal, hasil *image stitch* tersebut maksimal dan tidak ada patahan di dalamnya.

4.2.2. Obyek citra digeser secara diagonal

Dalam percobaan ini dilakukan registrasi citra antara citra o dan citra p yang mana kedua citra tersebut memiliki intensitas yang sama. Percobaan ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* dengan pengambilan citra secara diagonal.

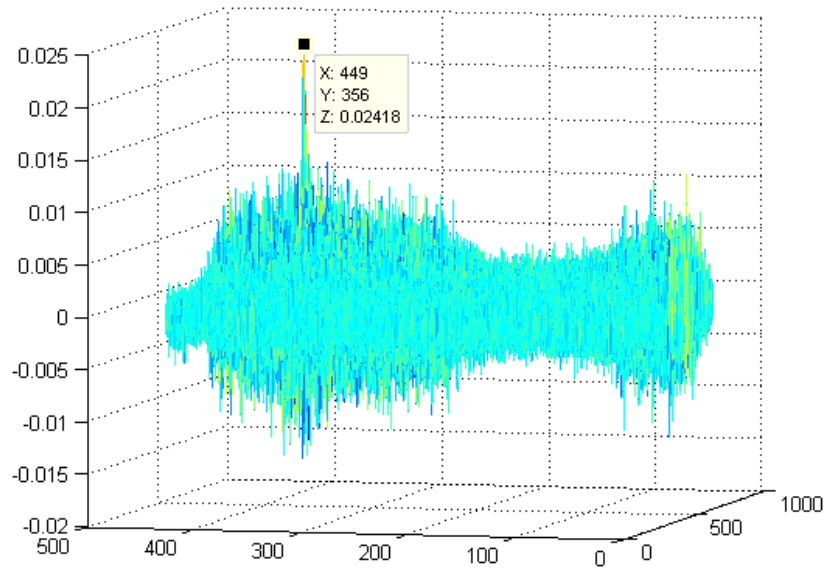


(o)



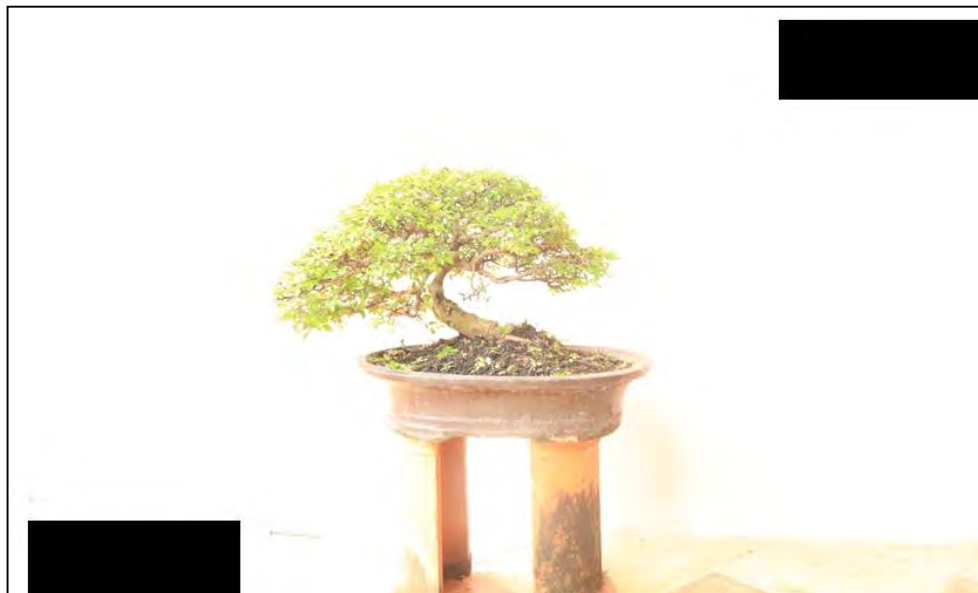
(p)

Gambar 4.25 Citra masukan pengujian 8



Gambar 4.26 Hasil registrasi pengujian 8

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran (x,y) \rightarrow (449,356) dan nilai puncak (z) \rightarrow 0,02418.



Gambar 4.27 Hasil *stitching* pengujian 8

Gambar 4.27 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, walaupun citra diambil secara vertikal, hasil *image stitch* tersebut maksimal dan tidak ada patahan di dalamnya.

4.3. Pengujian Berdasarkan Persentase Area Tumpang Tindih

Pada pengujian ini, citra masukan dikelompokkan menjadi empat macam, yakni citra yang diambil dengan nilai persentase 80%, 70%, 60% dan 50%. Pengujian ini ditujukan untuk membuktikan nilai minimum prosentase area tumpang tindih yang bisa dilakukan roses stitch. Berikut merupakan citra masukan yang akan diuji.



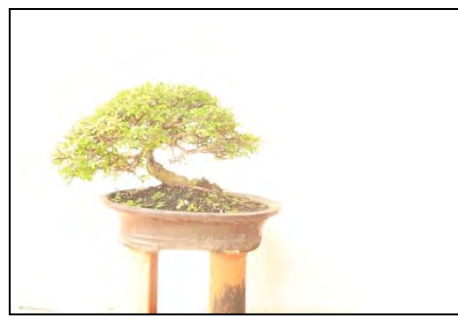
(q)



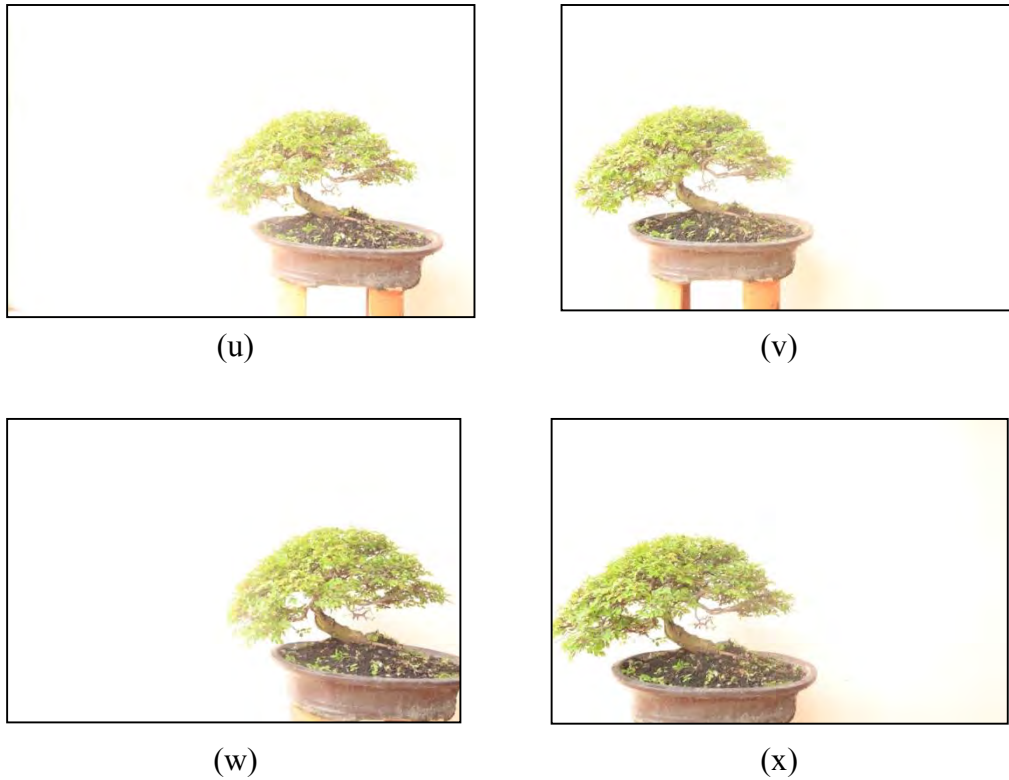
(r)



(s)



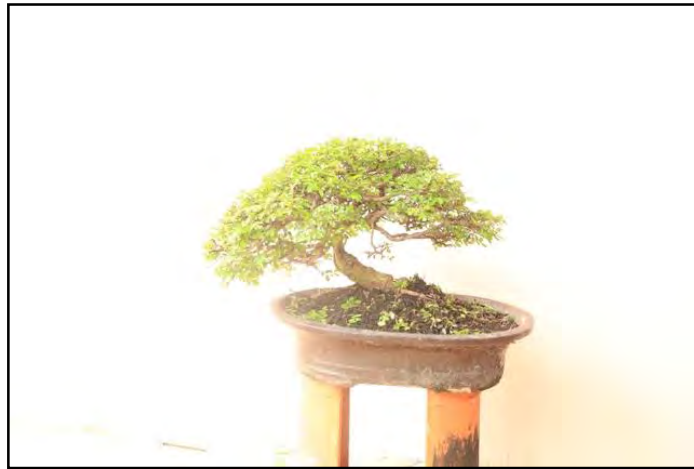
(t)



Gambar 4.28 Citra masukan q dan r 80%, s dan t 70%, u dan v 60%, w dan x 50%

4.3.1. Nilai persentase area tumpang tindih 80%

Dalam percobaan ini dilakukan registrasi citra antara citra q dan citra r yang mana kedua citra tersebut memiliki intensitas yang sama. Percobaan ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* dengan mengubah *variable overlapping area*. Pada bagian ini citra yang diinputkan memiliki daerah overlap sekitar 80%.

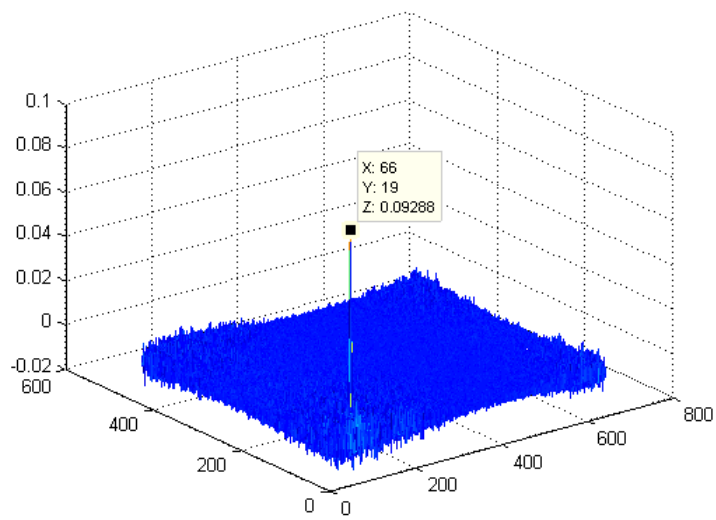


(q)



(r)

Gambar 4.29 Citra masukan pengujian 9



Gambar 4.30 Hasil registrasi pengujian 9

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran $(x,y) \rightarrow (66,19)$ dan nilai puncak $(z) \rightarrow 0,09288$.

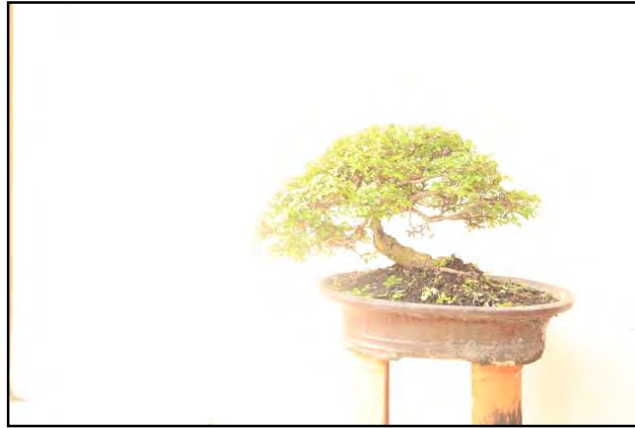


Gambar 4.31 Hasil *stitching* pengujian 9

Gambar 4.31 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*.

4.3.2. Nilai persentase area tumpang tindih 70%

Dalam percobaan ini dilakukan registrasi citra antara citra s dan citra t yang mana kedua citra tersebut memiliki intensitas yang sama. Percobaan ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* dengan mengubah *variable overlapping area*. Pada bagian ini citra yang diinputkan memiliki daerah overlap sekitar 70%.

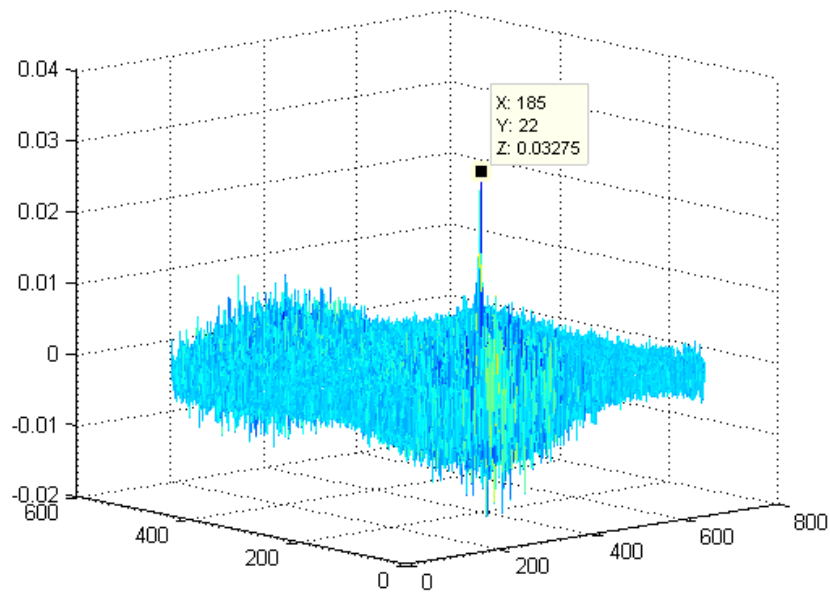


(s)



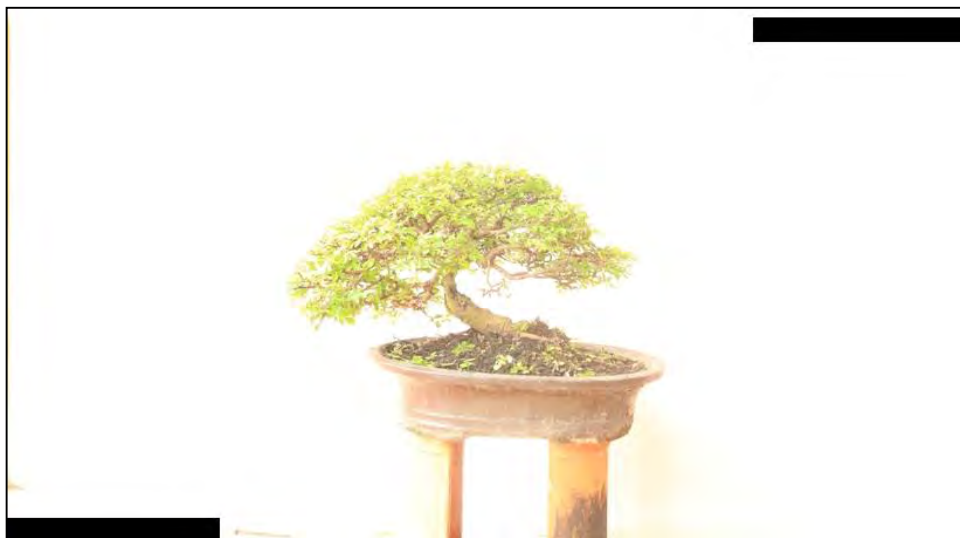
(t)

Gambar 4.32 Citra masukan pengujian 10



Gambar 4.33 Hasil registrasi pengujian 10

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran (x,y) \rightarrow (185,22) dan nilai puncak (z) \rightarrow 0,03275.

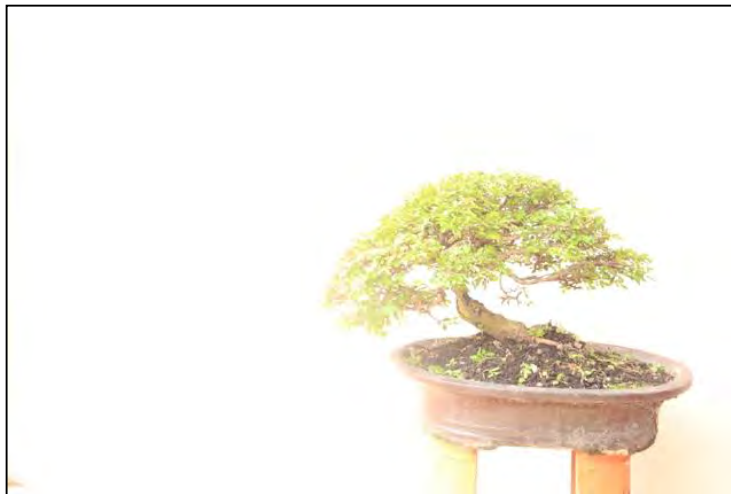


Gambar 4.34 Hasil *stitching* pengujian 10

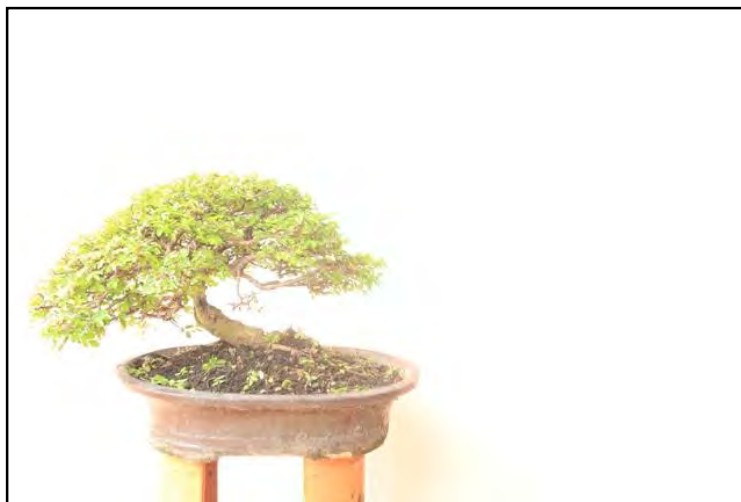
Gambar 4.34 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*.

4.3.3. Nilai persentase area tumpang tindih 60%

Dalam percobaan ini dilakukan registrasi citra antara citra u dan citra v yang mana kedua citra tersebut memiliki intensitas yang sama. Percobaan ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* dengan mengubah *variable overlapping area*. Pada bagian ini citra yang diinputkan memiliki daerah overlap sekitar 60%.

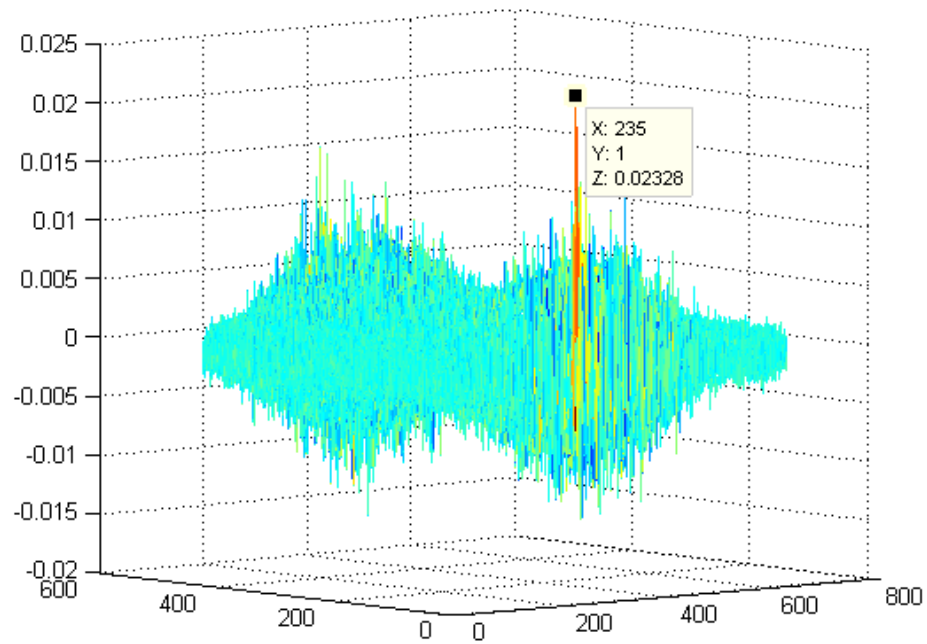


(u)



(v)

Gambar 4.35 Citra masukan pengujian 11



Gambar 4.36 Hasil registrasi pengujian 11

Setelah dilakukan uji coba maka hasil *output* dari registrasi *Phase Only Correlation* maka didapatkan nilai koordinat pergeseran $(x,y) \rightarrow (235,1)$ dan nilai puncak $(z) \rightarrow 0,02328$.

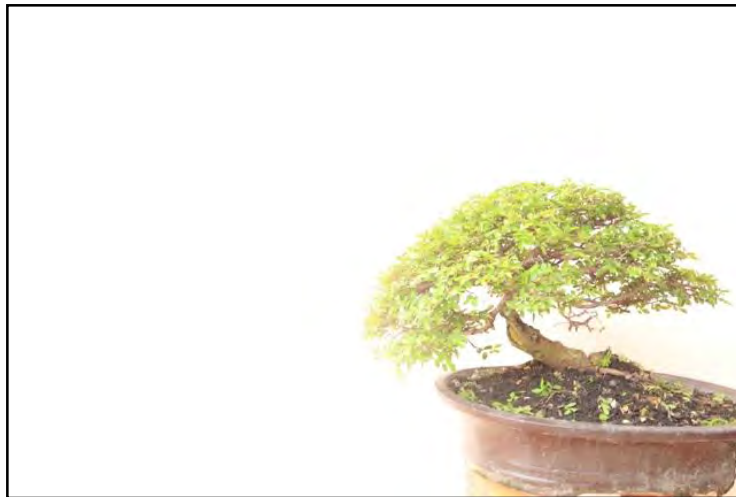


Gambar 4.37 Hasil *stitching* pengujian 11

Gambar 4.37 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut tidak kita temukan patahan atau *error* pada *stitching*.

4.3.4. Nilai persentase area tumpang tindih 50%

Dalam percobaan ini dilakukan registrasi citra antara citra w dan citra x yang mana kedua citra tersebut memiliki intensitas yang sama. Percobaan ini ditujukan untuk melihat kualitas hasil *stitch* dengan mengubah *variable overlapping area*. Pada bagian ini citra yang diinputkan memiliki daerah overlap sekitar 50%.

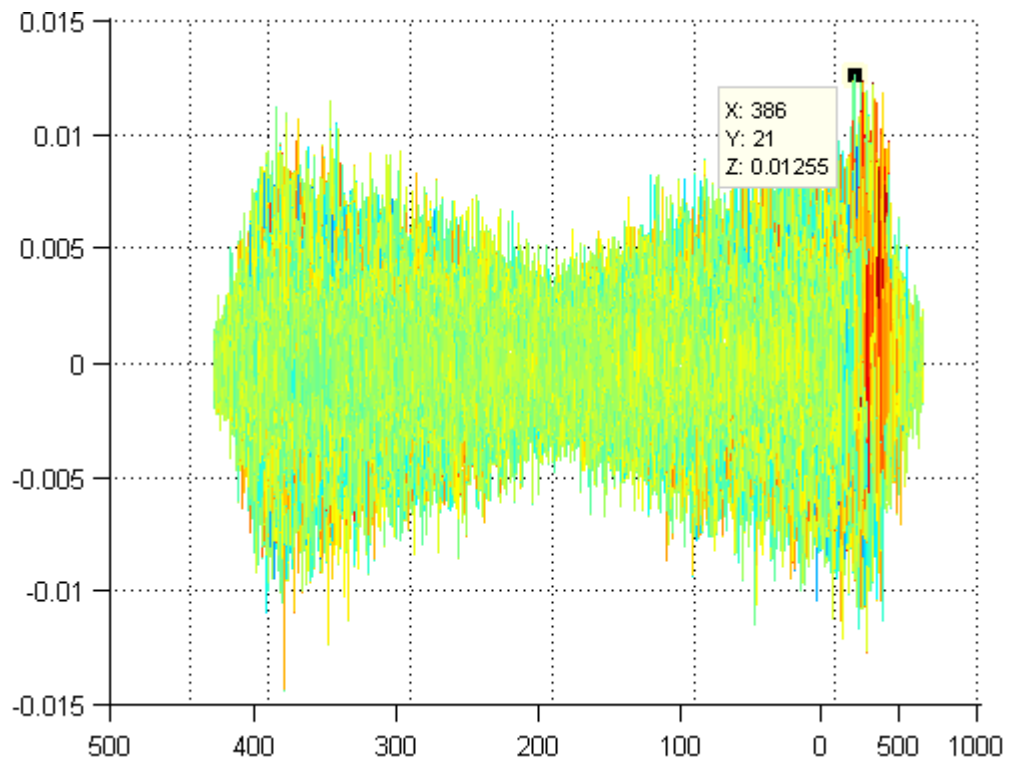


(w)

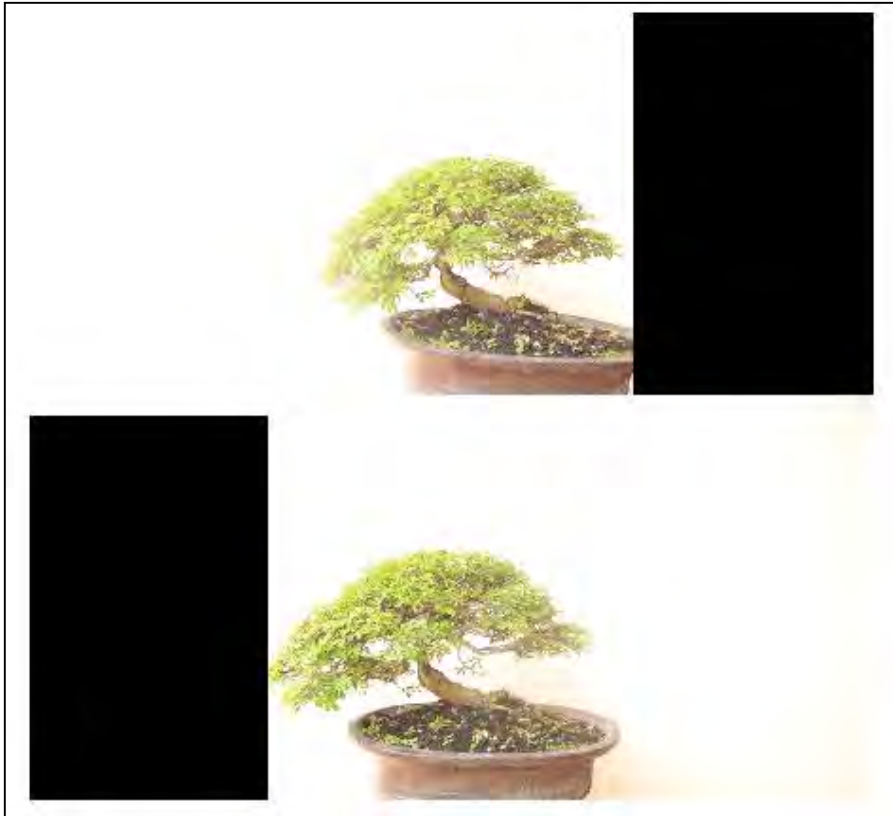


(x)

Gambar 4.38 Citra masukan pengujian 12



Gambar 4.39 Hasil registrasi pengujian 12



Gambar 4.40 Hasil *stitching* pengujian 12

Gambar 4.40 adalah hasil penggabungan antara kedua citra yang telah diregistrasikan, hasil *image stitching* tersebut *error*. Citra tersebut tidak bisa digabungkan karena ada kesalahan penentuan koordinat pergeseran pada proses registrasi.

BAB V

KESIMPULAN

Pada bab terakhir penelitian ini, kesimpulan hasil penelitian yang dilakukan melalui percobaan – percobaan yang dibahas pada bab sebelumnya dimuat pada bagian ini. Hal lain yang tercantum pada bab ini adalah saran untuk penelitian selanjutnya sehingga penelitian yang dilakukan dapat dikembangkan untuk hal yang lebih bermanfaat.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan bahwa metode *Phase Based Image Matching* atau *Phase Only Correlation* dapat mengatasi permasalahan obyek *parallax* pada proses *image stitching* dengan nilai minimum area tumpang tindih lebih dari 50%. Metode tersebut dapat diimplementasikan pada citra yang diambil di dalam ruangan (*indoor*), di luar ruangan (*outdoor*), diambil secara vertikal, dan diagonal. Namun untuk yang di dalam ruangan dibutuhkan proses *blending*, karena sering kali terjadi perbedaan intensitas antara citra satu dengan yang lain. *Overlapping area* (area tumpah tindih) merupakan syarat utama untuk proses registrasi dan *stitching*.

5.2. Penelitian selanjutnya

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dan diperbaiki pada penelitian selanjutnya. Untuk memaksimalkan kualitas *image stitching* pada citra yang diambil di dalam ruangan, dibutuhkan proses *blending*. Kemudian untuk mengatasi nilai minimum area overlap yang berpengaruh pada tingkat akurasi proses registrasi citra, perlu adanya filter fasa untuk menentukan nilai puncak korelasi yang tepat.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Brown and D. Lowe. "Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features". *International Journal of Computer Vision*, 74(1), pages 59-73, 2007
- [2] Takita Kenji, AOKI Takafumi. "High-Accuracy Subpixel Image Registration Based on Phase-Only Correlation". 2003
- [3] Brown Gottesfeld L., "Survey of Image Registration Techniques", *ACM Computing Surveys*, 24, 4, 1992, 325-376.
- [4] Shibahara Takuma and Aoki Takafumi. "A SUB-PIXEL STEREO CORRESPONDENCE TECHNIQUE BASED ON 1D PHASE-ONLY CORRELATION". 2007
- [5] Barbara Zitova, Jan Flusser, "Image registration methods:A survey", *Image and Vision Computing* 21(2003)977-1000.
- [6] A. Goshtasby, G.C. Stockman, C.V. Page, A region-based approach to digital image registration with subpixel accuracy, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 24 (1986) 390–399.
- [7] A. Goshtasby, G.C. Stockman, Point pattern matching using convex hull edges, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* 15 (1985) 631–637.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

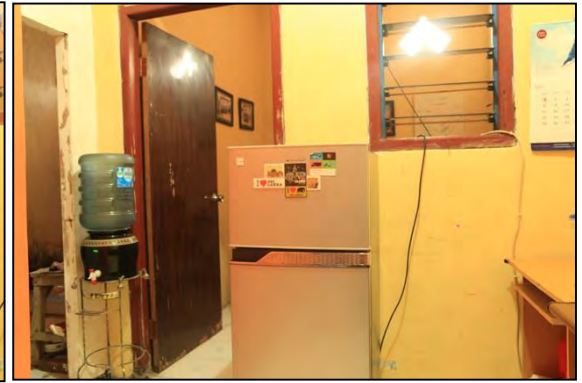
LAMPIRAN A

Citra Masukan Berdasarkan Tempat Obyek Diambil

1. Obyek di dalam Ruangan.



(a)



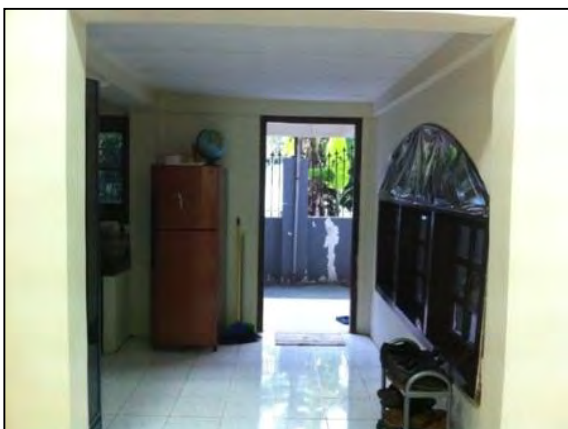
(b)



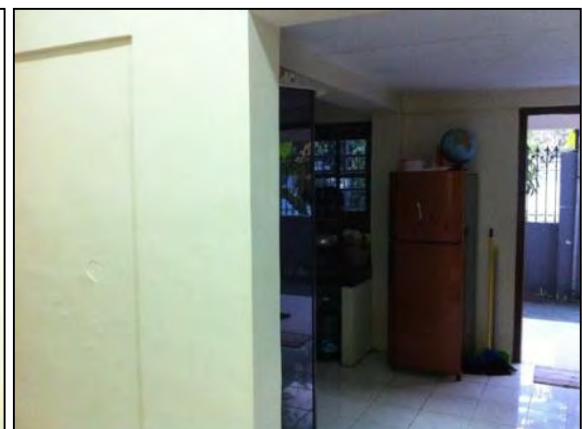
(c)



(d)



(e)



(f)

2. Obyek di luar Ruangan.



(g)



(h)



(i)



(j)



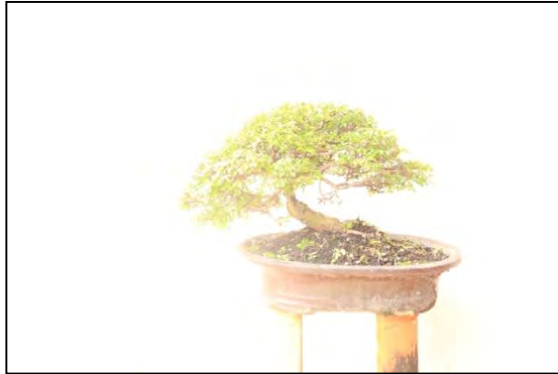
(k)



(l)

LAMPIRAN B

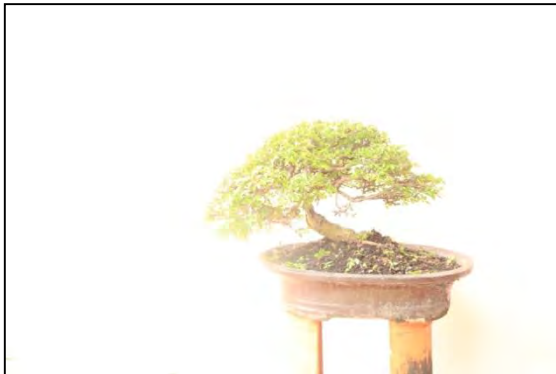
Citra Masukan Berdasarkan Pergeseran Kamera



(vertikal-1)



(vertikal-2)



(diagonal-1)



(diagonal-2)

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN C

Citra Masukan Berdasarkan Persentase Area Tumpang Tindih



(80%)



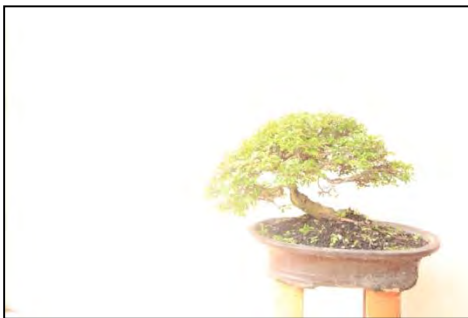
(80%)



(70%)



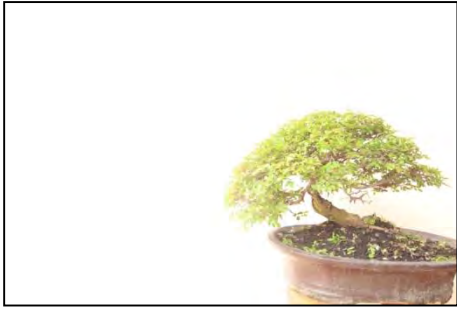
(70%)



(60%)



(60%)



(50%)



(50%)

Biodata Penulis



Mohammad Badrullami, lahir di Kediri 2 Mei 1988. Anak bungsu dari dua bersaudara ini memulai pendidikan formal di MI Riyadul Badi'ah Kediri pada tahun 1994, enam tahun berikutnya melanjutkan pendidikan di SMP PIRI 1 di Yogyakarta selama tiga tahun (2000 – 2003) dan dilanjutkan di SMA Negeri 1 Kediri (2003 – 2006). Pendidikan Strata – 1 ditempuh di Teknik Informatika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya pada tahun 2006 – 2010 dan Strata – 2 ditempuh di bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia, Teknik Eektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pria yang biasa dipanggil Ami' ini memulai karir sebagai web programmer di salah satu perusahaan manufaktur di Surabaya, PT. Anghauz Indonesia. Setelah beberapa bulan berlalu kemudian pindah ke ibukota Jakarta bergabung ke dalam salah satu anak perusahaan astra, PT. Astra Graphia Information Technology dibagian Microsoft Solution Delivery. Setelah dua tahun menggeluti dunia RFID (Radio Frequency Idenfitication), programmer muda ini memutuskan untuk bergabung di salah satu startup IoT (Internet of Things), Cubeacon. Dengan harapan bisa menjadikan perubahan untuk bangsa ini menjadi lebih baik. Selain sibuk di dunia startup pria yang tiap hari hanya berkomunikasi dengan baris program, juga meluangkan waktunya untuk berbagi ilmu di salah satu Universitas Swasta di Surabaya.

