

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN .....	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR SIMBOL .....	xii
INTISARI .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
BAB III LANDASAN TEORI.....	10
3.1 Visual Odometry .....	10
3.1.1 <i>Monocular Visual Odometry</i> .....	10
3.1.2 <i>Feature-based Visual Odometry</i> .....	11
3.2 Feature Extraction and Matching .....	11
3.2.1 <i>Speed Up Robust Feature (SURF)</i> .....	11
3.2.2 <i>Fast Retina Keypoint(FREAK) Descriptor</i> .....	13
3.2.3 <i>Feature Matching</i> .....	13
3.3 Optical Flow .....	14
3.4 Epipolar geometri .....	15
3.5 Essential matrix .....	17
3.6 Perspective n Problem .....	17
3.7 Triangulasi.....	18
3.8 Random Sample Consensus .....	18
3.9 Peforma Sistem .....	19
BAB IV ANALISIS DAN PERANCANGAN .....	20
4.1 Alat dan Bahan .....	20
4.2 Tahapan Penelitian .....	21
4.3 Analisis Sistem.....	23
4.4 Rancangan Sistem .....	24
4.5 Rancangan Perangkat Keras .....	33
4.6 Rancangan Pengujian .....	33
BAB V IMPLEMENTASI SISTEM .....	35
5.1 Implementasi <i>Hardware</i> .....	35
5.2 Implementasi <i>Software</i> .....	35
5.2.1 <i>Akuisisi Citra</i> .....	37
5.2.2 <i>Program Pre-processing</i> .....	39

5.2.3	<i>Program Deteksi dan Pencocokan Fitur</i>	41
5.2.4	<i>Program Tahap Inisialisasi</i>	43
5.2.5	<i>Program Recovery pose</i>	45
5.3	Pengujian di dalam ruangan	46
5.4	Pengujian di luar ruangan	46
5.5	Pengujian kecepatan sistem	47
BAB VI	HASIL DAN PEMBAHASAN	48
6.1	Hasil Pengujian translasi di dalam ruangan	48
6.1.1	<i>Hasil Pengujian translasi pada Sumbu x</i>	48
6.1.2	<i>Hasil Pengujian translasi pada Sumbu y</i>	52
6.1.3	<i>Hasil Pengujian Translasi pada Sumbu z</i>	56
6.1.4	<i>Akurasi sistem</i>	60
6.2	Hasil Pengujian Translasi di Luar Ruangan	61
6.2.1	<i>Hasil Pengujian Monokular data</i>	62
6.2.2	<i>Hasil Pengujian Stereo data</i>	67
6.3	Hasil Pengujian Kecepatan Sistem	72
6.4	Perbandingan SURF dan SURF-FREAK	73
BAB VII	PENUTUP	75
DAFTAR PUSTAKA		76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Korelasi penelitian .....	8
Tabel 4. 1 Alat yang digunakan .....	21
Tabel 4. 2 Spesifikasi laptop Asus A455L.....	21
Tabel 4. 3 Rencana pengujian .....	34
Tabel 6. 1 Perbandingan pengukuran translasi sumbu x.....	48
Tabel 6. 2 <i>Ground truth</i> translasi sumbu X.....	50
Tabel 6. 3 Perbandingan error fitur SURF dan SURF FREAK .....	50
Tabel 6. 4 Mean absolut error pengukuran translasi sumbu x .....	50
Tabel 6. 5 Perbandingan jumlah Inliers .....	52
Tabel 6. 6 Hasil pengukuran pengujian translasi sumbu y .....	52
Tabel 6. 7 <i>Ground truth</i> translasi sumbu y .....	54
Tabel 6. 8 Error pengukuran pada translasi sumbu y .....	54
Tabel 6. 9 Mean absolut error translasi sumbu y .....	54
Tabel 6. 10 Perbandingan jumlah Inliers .....	56
Tabel 6. 11 Hasil pengukuran pengujian translasi sumbu z.....	56
Tabel 6. 12 <i>Ground truth</i> translasi sumbu z.....	58
Tabel 6. 13 Error pengukuran pengujian translasi sumbu z.....	58
Tabel 6. 14 Mean absolut error translasi sumbu z .....	58
Tabel 6. 15 Perbandingan jumlah Inliers .....	60
Tabel 6. 16 <i>Mean absolut error</i> dari 3 pengujian fitur SURF .....	60
Tabel 6. 17 <i>Mean absolut error</i> dari 3 pengujian fitur SURF FREAK .....	60
Tabel 6. 18 Peforma SURF pada tiap variasi hessian .....	61
Tabel 6. 19 Peforma SURF FREAK pada tiap variasi hessian .....	61
Tabel 6. 20 Hasil peforma menggunakan fitur SURF .....	63
Tabel 6. 21 Hasil peforma menggunakan fitur SURF .....	63
Tabel 6. 22 Hasil koordinat pengukuran pada monokular data KITTI.....	65
Tabel 6. 23 Error koordinat pengukuran pada monokular data kitti.....	65
Tabel 6. 24 Mean absolut error translasi sumbu y .....	66
Tabel 6. 25 Perbandingan jumlah Inliers .....	67
Tabel 6. 26 Peforma SURF pada tiap variasi variabel .....	68
Tabel 6. 27 Peforma SURF FREAK pada tiap variasi parameter Hessian .....	68
Tabel 6. 28 Hasil pengujian koordinat pengukuran stereo data.....	69
Tabel 6. 29 Error hasil pengukuran stereo data .....	69
Tabel 6. 30 Perbandingan nilai Mean Absolut error.....	70
Tabel 6. 31 Perbandingan jumlah Inliers .....	71
Tabel 6. 32 Perbandingan waktu komputasi .....	73

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Fitur-fitur Haar-Like (Sukrawan, 2008).....	12
Gambar 3. 2 Filter Gaussian (Bay et al., 2006).....	12
Gambar 3. 3 Pola sampling FREAK (Alahi et al., 2012) .....	13
Gambar 3. 4 Epipolar geometri (Hartley dan Zisserman, 2003).....	16
Gambar 4. 1 Runtutan citra Data primer.....	20
Gambar 4. 2 <i>Ground truth</i> data sekunder .....	21
Gambar 4. 3 Tahapan penelitian .....	22
Gambar 4. 4 Diagram alir rancangan sistem.....	25
Gambar 4. 5 Ilustrasi proses akuisisi citra .....	25
Gambar 4. 6 Proses Inisialisasi .....	26
Gambar 4. 7 Diagram blok pre-processing .....	27
Gambar 4. 8 <i>Preprocessing</i> .....	28
Gambar 4. 9 Diagram blok deteksi dan pencocokan fitur .....	28
Gambar 4. 10 Deteksi titik-titik fitur .....	29
Gambar 4. 11 Pencocokan fitur.....	30
Gambar 4. 12 Diagram blok motion recovery .....	31
Gambar 4. 13 Ilustrasi cara kerja optical flow .....	32
Gambar 4. 14 Ilustrasi cara kerja <i>RANSAC</i> .....	32
Gambar 4. 15 Ilustrasi rancangan perangkat keras .....	33
Gambar 5. 1 Implementasi <i>hardware</i> .....	35
Gambar 5. 2 Potongan program utama .....	36
Gambar 5. 3 Potongan program pengambilan data primer .....	37
Gambar 5. 4 Potongan program ekstraksi video menjadi runtutan citra .....	38
Gambar 5. 5 Hasil ekstraksi video .....	38
Gambar 5. 6 Potongan program akses citra .....	39
Gambar 5. 7 Potongan program kalibrasi kamera.....	39
Gambar 5. 8 Potongan program akses nilai kalibrasi .....	40
Gambar 5. 9 potongan program penghilangan distorsi .....	40
Gambar 5. 10 Hasil <i>Preprocessing</i> .....	40
Gambar 5. 11 Deteksi dan pencocokan fitur.....	41
Gambar 5. 12 Potongan program deteksi SURF FREAK.....	42
Gambar 5. 13 Potongan program deteksi SURF.....	42
Gambar 5. 14 Potongan program Inisialisasi .....	43
Gambar 5. 15 Potongan program triangulasi eigen .....	44
Gambar 5. 16 Potongan program triangulasi dan filter poin 3d .....	45
Gambar 5. 17 Potongan program PnP dan optical flow.....	46
Gambar 5. 18 Potongan program untuk memperoleh akurasi .....	47
Gambar 5. 19 Potongan program pengujian kecepatan sistem .....	47
Gambar 6. 1 Grafik pengukuran pengujian translasi sumbu x.....	49
Gambar 6. 2 Grafik error pada pengujian translasi sumbu x .....	51
Gambar 6. 3 Grafik pengukuran pengujian translasi sumbu y.....	53
Gambar 6. 4 Grafik error pada pengujian translasi sumbu y .....	55
Gambar 6. 5 Grafik pengukuran pengujian translasi sumbu z .....	57
Gambar 6. 6 Grafik error pada pengujian translasi sumbu z .....	59

Gambar 6. 7 Grafik perbandingan peforma terhadap penelitian sebelumnya.....	61
Gambar 6. 8 Kondisi Pencahayaan pada citra.....	62
Gambar 6. 9 Hasil peforma menggunakan fitur SURF.....	64
Gambar 6. 10 Hasil peforma menggunakan fitur SURF.....	64
Gambar 6. 11 Grafik error koordinat pengukuran .....	66
Gambar 6. 12 Visualisasi hasil perpindahan.....	66
Gambar 6. 13 Grafik error pada stereo data.....	70
Gambar 6. 14 Visualisasi output terhadap groundtruth .....	71
Gambar 6. 15 Mobil pintar KITTI .....	72

## DAFTAR SIMBOL

Notasi	Keterangan
$F$	FREAK Descriptor
$P_a$	Pasangan receptive field
$\vec{P}_a$	vektor descriptor
$\mathbf{I}$	matriks citra
$\mathbf{A}$	matriks turunan parsial citra $\mathbf{I}$
$\mathbf{V}$	matriks flow pada titik fitur
$\mathbf{P}$	matriks proyeksi kamera
$\mathbf{F}$	matriks fundamental
$\mathbf{E}$	matriks esensial
$\mathbf{R}$	Matriks rotasi
$\mathbf{t}$	Matriks translasi
$\mathbf{W}$	matriks orthonormal
$\mathbf{C}$	Pusat kamera
$\mathbf{J}$	cost function Perspective n Point
$\tilde{\mathbf{x}}_i$	titik fitur 3d
$\tilde{\mathbf{x}}_{i_{cam}}$	titik fitur koordinat kamera
$\mathbf{K}$	Matriks kamera