

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR ISTILAH	xv
INTISARI	xvii
ABSTRACT.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	4
I.4. Pertanyaan Penelitian	4
I.5. Ruang Lingkup.....	4
I.6. Manfaat Penelitian	5
I.7. Tinjauan Pustaka	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	8
II.1. Rancang Bangun	8
II.2. LiDAR (<i>Light Detection and Ranging</i>).....	9
II.3. Karakteristik LiDAR.....	13
II.3.1. <i>Pointcloud</i>	14
II.3.2. <i>Global Navigation System Satellite (GNSS)</i>	15
II.3.3. <i>Inertial Measuring Unit (IMU) / Inertial Navigation System (INS)</i>	18
II.3.4. <i>Kalman Filter</i>	19
II.3.5. <i>Loosly Couple Integration</i>	21
II.3.6. <i>Tightly Couple Integration</i>	30
II.4. Algoritma SLAM (<i>Simultaneous Localization and Mapping</i>).....	33
II.5. Akurasi dan Presisi Hasil LiDAR SLAM	38
BAB III PELAKSANAAN	41
III.1. Peralatan dan Bahan	41
III.1.1. Alat Penelitian.....	41
III.1.2. Bahan Penelitian	41
III.2. Metode Penelitian.....	42

III.2.1. Diagram Sistem.....	42
III.2.2. Desain Kerangka Frame.....	45
III.2.3. Kalibrasi <i>Lever Arm</i>	47
III.2.4. <i>Tunning</i> dan Konfigurasi	48
III.2.5. Uji Pengambilan Data	49
III.2.6. Pengolahan Data	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	57
IV.1. Perangkat <i>Hardware</i> LiDAR	57
IV.2. <i>Raw Data</i> Yang di Hasilkan	59
IV.3. Pengaruh Kemiringan Sensor <i>Laser scanner</i> dan <i>Lever Arm</i>	63
IV.4. Hasil Parameter Algoritma SLAM.....	66
IV.5. <i>Trajectory</i> Hasil Algoritma SLAM.....	67
IV.6. <i>Pointcloud</i>	70
IV.7. Analisis Kelas Berdasarkan Standart <i>Level of Accuracy (LoA)</i>	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
V.1. KESIMPULAN	77
V.2. SARAN	77
DAFTAR PUSTAKA	79
LAMPIRAN A Percobaan Parameter Algoritma SLAM	84
LAMPIRAN B Uji Akurasi Trajektori	86
LAMPIRAN C <i>Pointcloud</i> 3D Hasil LiDAR SLAM	99
LAMPIRAN D <i>Source Code</i>	102
LAMPIRAN E Hasil Alat LiDAR Terestris Algoritma SLAM	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Kerangka rancang bangun	8
Gambar II.2 Operasi dasar pada perhitungan jarak menggunakan LiDAR	10
Gambar II.3 Karakteristik sinar alami dan LASER	13
Gambar II.4 Jenis pola penyiaman pada LiDAR	13
Gambar II.5 Karakteristik perbedaan sinar pada laser dan radar, serta pengaruhnya terhadap pengenalan objek	14
Gambar II.6 <i>High Level Diagram</i> IMU	19
Gambar II.7 Ilustrasi penggunaan Kalman Filter ketika berbagai sensor memiliki kemungkinan yang sama	20
Gambar II.8 Skema tahapan Kalman Filter	21
Gambar II.9 Diagram <i>Loose Integration</i>	22
Gambar II.10 Diagram <i>Tight Integration</i>	30
Gambar II.11 Skema umum penentuan posisi lokal pada <i>mobile robot</i>	35
Gambar II.12 Sistem pose-graph SLAM	36
Gambar II.13 Contoh ilustrasi presisi dan akurasi	39
Gambar III.1 Langkah penelitian	42
Gambar III.2 Skema diagram sistem	43
Gambar III.3 Skema rencana kerangka <i>frame</i> rangkaian sensor	45
Gambar III.4 Koneksi GNSS ke <i>laser scanner</i>	46
Gambar III.5 Posisi <i>laser scanner</i> , IMU dan antenna GNSS	46
Gambar III.6 Konfigurasi komputasi	47
Gambar III.7 Pengukuran <i>offset</i> IMU dan GNSS terhadap <i>laser scanner</i>	48
Gambar III.8 Status integrasi <i>laser scanner</i> dan GNSS berhasil	49
Gambar III.9 Desain ruangan pengujian alat yang terkonfigurasi dan pengambilan data	49
Gambar III.10 Tampilan <i>software</i> MT Manager	51
Gambar III.11 Tampilan <i>software</i> MT Manager Konfigurasi	51
Gambar III.12 Tampilan pengolahan data GNSS menggunakan RTKLib	52
Gambar III.13 Tampilan Veloview dengan <i>advance</i> fitur dan pemrosesan SLAM	53
Gambar III.14 Pengolahan menggunakan excel (a) dan <i>software cloud compare</i> (b)	54
Gambar III.15 Proses pembersihan / pembetulan <i>pointcloud</i> pada obyek uji	55
Gambar III.16 Perhitungan volume obyek pada <i>pointcloud</i> 3d	56
Gambar IV.1 <i>Hardware</i> LiDAR <i>mapping</i> berbasis algoritma SLAM	57
Gambar IV.2 Proses pengambilan data menggunakan wahana manusia secara <i>handheld</i>	58
Gambar IV.3 Grafik data imu sebelum menggunakan gimbal (a) dan hasil <i>pointcloud</i> (b)	59

Gambar IV.4 Grafik data imu setelah menggunakan gimbal (a) dan hasil <i>pointcloud</i> (b)	59
Gambar IV.5 Tampilan <i>file raw data laser scanner</i> dengan ekstensi <i>.pcap</i>	60
Gambar IV.6 <i>File pcap</i> dengan integrasi <i>timetamp</i> dari GNSS	61
Gambar IV.7 Tampilan format <i>ubx raw data</i> GNSS, dan <i>preview</i> isi <i>raw data</i>	61
Gambar IV.8 Hasil integrasi GNSS <i>base</i> dan <i>rover</i>	62
Gambar IV.9 Trajektori hasil integrasi IMU dengan GNSS	63
Gambar IV.10 Kondisi kemiringan <i>laser scanner</i> 0°	64
Gambar IV.11 Kondisi kemiringan <i>laser scanner</i> 45°	64
Gambar IV.12 Kondisi kemiringan <i>laser scanner</i> 90°	65
Gambar IV.13 Hasil pengukuran <i>offset lever arm</i>	66
Gambar IV.14 Proses algoritma SLAM (a) dan nilai parameter yang digunakan (b).....	68
Gambar IV.15 Perbandingan trajektori algoritma SLAM dalam berbagai skenario lintasan	68
Gambar IV.16 Grafik rata-rata RMSE setelah perbaikan trajektori.....	70
Gambar IV.17 Visualisasi <i>pointcloud</i>	70
Gambar IV.18 Papan uji presisi (a), hasil percobaan pertama (b), hasil percobaan kedua (c)....	71
Gambar IV.19 Intensitas pada papan uji presisi.....	72
Gambar IV.20 Hasil pemodelan <i>pointcloud</i> (a), lokasi uji (b), dan lokasi titik GCP (c)	73
Gambar IV.21 Model obyek dengan bagian dengan <i>pointcloud</i> lengkap (a) bagian yang memiliki area kekurangan <i>pointcloud</i> pada tanda merah (b).....	75

DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Prinsip tipe laser dan penggunaannya	12
Tabel II.2 Karakteristik GNSS	17
Tabel II.3 Tabel standar nilai akurasi (U.S. Institute of Building Documentation, 2016)	38
Tabel III.1 Daftar Perangkat Keras dan Fungsinya.....	41
Tabel III.2 Daftar Perangkat Lunak dan Fungsinya.....	41
Tabel III.3 Daftar Bahan dan Fungsinya.....	41
Tabel III.4 Spesifikasi sensor yang digunakan.....	44
Tabel IV.1 Hasil percobaan optimasi parameter SLAM.....	67
Tabel IV.2 Rekapitulasi nilai RMSE trajektori.....	69
Tabel IV.3 Rekapitulasi uji presisi <i>pointcloud</i>	72
Tabel IV.4 Rekapitulasi nilai akurasi.....	73
Tabel IV.5 Rekapitulasi perhitungan RMSE dimensional	74
Tabel IV.6 Rekapitulasi analisis <i>LoA</i> hasil perhitungan RMSE	76

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Percobaan Parameter Algoritma SLAM.....	84
LAMPIRAN B Uji Akurasi Trajektori	86
LAMPIRAN C <i>Pointcloud</i> 3D Hasil LiDAR SLAM	99
LAMPIRAN D <i>Source Code</i>	102
LAMPIRAN E Hasil Alat LiDAR Terestris Algoritma SLAM.....	115

DAFTAR ISTILAH

ASPRS	: <i>The American Society for Photogrammetry Remote Sensing</i>
CDMA	: <i>Code Division Multiple Access</i>
DEM	: <i>Digital Elevation Model</i>
DGPS	: <i>Differential Global Positioning System</i>
EKF	: <i>Extended Kalman Filter</i>
FDMA	: <i>Frequency Division Multiple Access)</i>
GCP	: <i>Ground Control Points</i>
GHz	: <i>Gigahertz</i>
GLAS	: <i>Geoscience Laser Altimeter System</i>
GLONASS	: <i>GLObal NAVigation Satellite System</i>
GNSS	: <i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
HV-SLAM	: <i>Heading-angle and Velocity Simultaneous Localization and Mapping</i>
I/O	: <i>Input/Output</i>
ICESat	: <i>Ice Cloud and Land Elevation Satellite</i>
IMLE	: <i>Improve Maximum Likelihood Estimation</i>
IMU	: <i>Inertial Measurement Unit</i>
INS	: <i>Inertial Navigation System</i>
KF	: <i>Kalman Filter</i>
KHz	: <i>Kilohertz</i>
km	: <i>Kilometer</i>
LAS	: <i>Laser format dokumen</i>
LC	: <i>Loosly Coupled</i>
LiDAR	: <i>Light Detection and Ranging</i>
LoA	: <i>Level of Accuracy</i>
LOAM	: <i>LiDAR Odometry and Mapping</i>
m	: <i>Meter</i>
MAP	: <i>Maximum A Posteriori</i>
MEMS	: <i>Micro-Electromechanical Systems</i>
MHz	: <i>Megahertz</i>
mi	: <i>Mil</i>
MMS	: <i>Mobile Mapping System</i>
NMEA	: <i>National Marine Electronics Association</i>
ODO	: <i>Odometri</i>
PC	: <i>Personal Computer</i>
PPK	: <i>Post Processing Kinematic</i>
PPS	: <i>Pulse Per Second</i>
RMSE	: <i>Root Mean Squared Error</i>
RTK	: <i>Real-Time Kinematic</i>
Rx	: <i>Receiving port (input)</i>
SLAM	: <i>Simultaneous Localization and Mapping</i>
SOR	: <i>Statistical Outer Removal</i>

TC	: <i>Tightly Coupled</i>
Tx	: <i>Transmitting port (output)</i>
UAV	: <i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
USDA	: <i>United States Departement of Agriculture</i>
USIBD	: <i>United State Institude of Building Documentation</i>
VL-SLAM	: <i>Visual Simultaneous Localization and Mapping</i>
WAAS	: <i>The Wide Area Augmentation System</i>