

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN .....	v
HALAMAN BEBAS PLAGIASI.....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
INTISARI .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Lingkup Kegiatan .....	3
I.3. Tujuan .....	3
I.4. Manfaat .....	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
II.1. Gua .....	4
II.1.1. Jenis-Jenis Gua .....	4
II.1.2. Pemetaan Gua .....	4
II.3. Pemodelan Tiga Dimensi (3D).....	6
II.3.1. Teknik Akuisisi Data Pemodelan Tiga Dimensi (3D).....	6
II.3.2. Komponen Data Model Tiga Dimensi (3D) .....	7
II.4. <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS).....	12
II.4.1 Prinsip Kerja <i>Terrestrial Laser Scanner</i> .....	14
II.4.2 Registrasi Data <i>Terrestrial Laser Scanner</i> .....	16

II.5 <i>Texturing</i> .....	20
II.6. Uji Kualitas Geometri Model Tiga Dimensi (3D).....	21
BAB III PELAKSANAAN.....	23
III.1. Lokasi Kegiatan .....	23
III.2. Persiapan Alat dan Bahan .....	24
III.2.1. Persiapan Peralatan.....	24
III.2.2. Persiapan Bahan .....	24
III.3. Tahapan Kegiatan.....	25
III.3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Karya Aplikatif.....	25
III.3.2. Kalibrasi Alat.....	26
III.3.3. Survey dan Pengumpulan Data .....	27
III.3.4. Pengolahan Data <i>Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS).....	30
III.3.5. Pembuatan Model Tiga Dimensi (3D) .....	34
III.3.6. Pemberian Tekstur pada Model 3D .....	38
III.3.7. Uji Kualitas Geometri Model Tiga Dimensi (3D).....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	44
IV.1. Hasil Akuisisi Data <i>Low-cost Terrestrial Laser Scanner</i> (TLS) .....	44
IV.2. Hasil <i>Solid Point Clouds</i> .....	45
IV.2.1. Analisis Filterisasi <i>Noise</i> dan <i>Outlier</i> .....	46
IV.2.2. Analisis Registrasi Metode <i>Cloud to Cloud</i> .....	47
IV.2.3. Analisis Pembentukan Permukaan Normal dan Kurvatur.....	48
IV.3. Hasil Model Tiga Dimensi (3D) Lorong Gua.....	50
IV.4. Hasil <i>Texturing</i> Model Tiga Dimensi (3D) Lorong Gua .....	51
IV.5. Hasil Uji Geometri Model Tiga Dimensi (3D) Lorong Gua.....	53
IV.6. Klasifikasi Kelas Menurut BCRA .....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	56
V.1. Kesimpulan.....	56
V.2. Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA .....	58
LAMPIRAN.....	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	<i>Point cloud</i> (Sun, dkk., 2022) .....	8
Gambar II.2.	Rekonstruksi <i>mesh</i> awal (Yang, dkk., 2010) .....	10
Gambar II.3.	<i>Triangulated Regular Network</i> (kiri), <i>Triangulated Irregular Network</i> (kanan) (Garland dan Heckbert, 1995) .....	11
Gambar II.4.	Ilustrasi <i>Vertex</i> , <i>Edge</i> , dan <i>Face</i> pada TIN .....	11
Gambar II.5.	Sistem pemindaian <i>Aerial Laser Scanner</i> (ALS) (Roman dan Ursu, 2016) .....	13
Gambar II.6.	Georeferensi langsung <i>point cloud</i> ALS (Glira, dkk., 2015) .....	13
Gambar II.7.	Diagram alir pengukuran jarak metode <i>pulsed-based</i> (Reshetyuk, 2009) .....	15
Gambar II.8.	Sistem koordinat <i>laser scanner</i> (Reshetyuk, 2009) .....	16
Gambar II.9.	Prinsip penentuan koordinat kartesian dan intensitas berdasarkan koordinat polar (Reshetyuk, 2009) .....	17
Gambar II.10.	Registrasi data metode <i>target-based</i> (Reshetyuk, 2009) .....	18
Gambar II.11.	Registrasi data metode <i>cloud to cloud</i> (Reshetyuk, 2009) .....	19
Gambar II.12.	Contoh dari tekstur alami (Zhou, 2016) .....	20
Gambar III.1.	Peta lokasi kegiatan Gua Potro Bunder, Kab. Wonogiri .....	23
Gambar III.2.	Diagram alir pelaksanaan kegiatan aplikatif .....	25
Gambar III.3.	Kalibrasi pengukuran jarak TLS .....	26
Gambar III.4.	Instrumen <i>Low-cost</i> TLS jenis Potret TLS100 .....	27
Gambar III.5.	Akuisisi data sampel jarak pada objek alami .....	28
Gambar III.6.	Akuisisi data sampel jarak pada objek buatan .....	29
Gambar III.7.	Sketsa digital lorong Gua Potro Bunder .....	29
Gambar III.8.	Data koordinat satuan centimeter (kiri), data koordinat satuan meter (kanan) .....	30
Gambar III.9.	Pengaturan parameter tahap registrasi <i>cloud to cloud</i> .....	31
Gambar III.10.	<i>Noise</i> dan <i>outlier</i> pada <i>point clouds</i> .....	32
Gambar III.11.	Pengaturan parameter filterisasi <i>Statistical Outlier Removal</i> (SOR) .....	32
Gambar III.12.	<i>Point clouds</i> tanpa <i>noise</i> dan <i>outlier</i> .....	33
Gambar III.13.	<i>Point cloud</i> sebelum MLS (atas), <i>point cloud</i> setelah MLS (bawah) .....	34
Gambar III.14.	<i>Point Clouds</i> setelah dilakukan <i>resampling</i> .....	35
Gambar III.15.	Tampilan TIN awal pada <i>mesh</i> .....	35
Gambar III.16.	Tampilan menu <i>Clean/Separate</i> dan <i>Fill Holes</i> .....	36
Gambar III.17.	Tampilan TIN setelah <i>editing mesh</i> .....	36
Gambar III.18.	Tampilan menu <i>Refine Mesh</i> menggunakan data <i>point clouds</i> .....	37
Gambar III.19.	Pengaturan parameter <i>Refine Mesh</i> .....	37
Gambar III.20.	Tampilan TIN setelah <i>Refine Mesh</i> .....	38
Gambar III.21.	Tampilan awal data <i>mesh</i> pada Blender .....	39
Gambar III.22.	Tampilan <i>Shade Editor</i> .....	40

Gambar III.23.	Tampilan jaringan bar Base Color .....	41
Gambar III.24.	Tampilan pengaturan parameter <i>Roughness</i> .....	41
Gambar III.25.	Tampilan jaringan bar Normal.....	42
Gambar III.26.	Tampilan <i>mesh</i> setelah pemberian tekstur .....	42
Gambar III.27.	Membandingkan ukuran lapangan (kiri) dengan ukuran model 3D (kanan) .....	43
Gambar IV.1.	Grafik total persebaran <i>point clouds</i> di setiap penyiaman.....	44
Gambar IV.2.	Sebaran <i>point clouds</i> di titik penyiaman ST-01 .....	45
Gambar IV.3.	Data <i>Point clouds</i> sebelum terfilter <i>outlier</i> .....	46
Gambar IV.4.	Hasil <i>Point clouds</i> setelah terfilter <i>outlier</i> .....	47
Gambar IV.5.	Persebaran kurvatur sebelum MLS (kiri), persebaran kurvatur setelah MLS (kanan) .....	49
Gambar IV.6.	Grafik perbandingan jumlah point clouds sebelum dan sesudah MLS .....	50
Gambar IV.7.	Model 3D <i>Point Clouds</i> hasil <i>surface reconstruction</i> .....	51
Gambar IV.8.	Model 3D <i>mesh</i> hasil pengolahan 3D Reshaper .....	51
Gambar IV.9.	Referensi pola dan warna pembuatan tekstur model 3D. ....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1. <i>Grade</i> pemetaan gua BCRA (Anthony, 2002).....	5
Tabel II.2. Kelas pemetaan gua BCRA (Anthony, 2002).....	6
Tabel IV.1. Regresi jumlah <i>point clouds</i> setelah filterisasi <i>noise</i> dan <i>outlier</i> .....	47
Tabel IV.2. Ketelitian RMS tahap registrasi <i>cloud to cloud</i> .....	48
Tabel IV.3. Uji signifikansi kualitas geometri model 3D.....	53

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran A Spesifikasi Potret TLS100.....	61
Lampiran B Hasil Akuisisi Data TLS ( <i>Scan World</i> ) .....	63
Lampiran C Data Pengukuran Jarak Uji Geometri .....	72
Lampiran D Hasil Model 3 Dimensi Lorong Gua .....	75
Lampiran E Hasil Pengukuran Jarak Model 3 Dimensi dan Jarak Lapangan .....	83
Lampiran F Dokumentasi Kegiatan Lapangan .....	94