

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL .....</b>	<b>i</b>
<b>JUDUL BAHASA INDONESIA.....</b>	<b>i</b>
<b>JUDUL BAHASA INGGRIS .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTISARI .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1. Latar Belakang.....	2
I.2. Rumusan Masalah .....	3
I.3. Pertanyaan Penelitian .....	3
I.4. Tujuan Penelitian.....	4
I.5. Manfaat Penelitian.....	4
I.6. Ruang Lingkup Penelitian .....	4
I.7. Tinjauan Pustaka .....	5
<b>BAB II .....</b>	<b>11</b>
<b>LANDASAN TEORI .....</b>	<b>11</b>
II.1. Aspek Deformasi.....	11
II.1.1. Konsep Deformasi.....	11
II.1.2. Metode Survei Deformasi .....	11
II.1.3. Metode Analisis Geometrik .....	12
II.2. Geometri Konstruksi <i>Underpass</i> .....	13

II.3. <i>Global Navigation Satellite Systems (GNSS)</i> .....	16
II.4. <i>Total Station (TS)</i> .....	17
II.5. <i>Terrestrial Laser Scanner (TLS)</i> .....	18
II.5.1. Pengukuran Jarak Laser .....	19
II.5.2. Prinsip Kerja TLS .....	21
II.5.3. Data Hasil Pemindaian.....	23
II.5.4. Sumber-sumber Kesalahan.....	25
II.6. Pemrosesan Data .....	26
II.6.1. Registrasi dan Filtrasi <i>Point Cloud</i> .....	26
II.6.2. Georeferensi Data.....	28
II.6.3. Profil Melintang .....	29
II.6.4. Visualisasi Permukaan Terowongan .....	31
II.6.5. Uji Statistik.....	42
II.7. Aspek Ketelitian Pengukuran dan Kesesuaian Desain Terowongan .....	45
II.7.1. Aspek Ketelitian Data .....	45
II.7.2. Standar Desain Terowongan Jalan .....	46
<b>BAB III.....</b>	<b>48</b>
<b>PELAKSANAAN PENELITIAN .....</b>	<b>48</b>
III.1. Lokasi Penelitian.....	48
III.2. Bahan dan Alat Penelitian.....	49
III.2.1. Bahan Penelitian .....	49
III.2.2. Alat Penelitian.....	50
III.3. Pelaksanaan Penelitian.....	51
III.3.1. Diagram Alir Penelitian .....	51
III.3.2. Studi Literatur dan Perizinan .....	53
III.3.3. Skenario Pengumpulan Data.....	54
III.3.4. Survei Jaring GNSS .....	55
III.3.5. Pengukuran <i>Traverse</i> .....	57
III.3.6. Pengukuran Titik Georeferensi dan <i>Independent Check Point (ICP)</i> ....	59
III.3.7. Pemindaian dengan TLS Leica RTC360 .....	60
III.3.8. Registrasi .....	62
III.3.9. Filtrasi .....	65

III.3.10. Uji Statistik dengan TS .....	67
III.3.11. Georeferensi Tidak Langsung.....	69
III.3.12. Profil Melintang Permukaan Aktual dengan Permukaan <i>Plane</i> .....	71
III.3.13. Profil Melintang Permukaan Aktual dengan Permukaan Desain .....	75
<b>BAB IV .....</b>	<b>80</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>80</b>
IV.1. Hasil Pemindaian dengan TLS Leica RTC360.....	80
IV.1.1. Hasil Uji Statistik.....	82
IV.1.2. Hasil Proses Georeferensi .....	84
IV.1.3. Ketelitian Hasil Pemrosesan Data .....	86
IV.2. Analisis Permukaan Terowongan <i>Underpass</i> Kentungan .....	87
IV.2.1. Analisis Permukaan Terowongan Aktual dengan <i>Plane</i> .....	87
IV.2.2. Analisis Permukaan Terowongan Aktual dengan Desain .....	90
IV.2.3. Evaluasi Dimensi Permukaan Terowongan Aktual dengan Desain .....	94
<b>BAB V .....</b>	<b>99</b>
<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>100</b>
V.1. Kesimpulan .....	100
V.2. Saran .....	100
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>101</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>106</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1.	(a) Kerangka dasar absolut dan (b) Kerangka dasar relatif.....	12
Gambar II.2.	Tampang melintang bentuk terowongan persegi panjang dengan dua kolom .....	13
Gambar II.3.	Tampang melintang bentuk terowongan melingkar.....	14
Gambar II.4.	Tampang melintang bentuk terowongan tapal kuda.....	14
Gambar II.5.	Tampang melintang bentuk terowongan melengkung (oval).....	15
Gambar II.6.	Tampang melintang partisi terowongan jalan menurut PIARC .....	15
Gambar II.7.	<i>Spektrum elektromagnetik</i> dan panjang gelombang laser .....	19
Gambar II.8.	Komponen dasar instrumen LiDAR.....	20
Gambar II.9.	Sistem koordinat TLS.....	21
Gambar II.10.	Prinsip pemindaian sinar laser.....	22
Gambar II.11.	Sampel <i>point cloud</i> terowongan .....	23
Gambar II.12.	Distribusi titik yang dipindai .....	24
Gambar II.13.	Jumlah titik per m <sup>2</sup> sebagai fungsi dari jarak horizontal x .....	24
Gambar II.14.	Komponen perangkat keras VIS.....	27
Gambar II.15.	(a) Fitur ekstraksi dan (b) Pelacakan dalam gambar VIS .....	27
Gambar II.16.	Sampel profil melintang untuk mengevaluasi desain terowongan ..	30
Gambar II.17.	Dislokasi segmen.....	30
Gambar II.18.	Segmentasi pemindaian terowongan .....	34
Gambar II.19.	Kriteria untuk menentukan apakah suatu sel merupakan batas atau bukan; (a) bukan batas dan (b) batas .....	35
Gambar II.20.	<i>Point cloud</i> yang disederhanakan untuk ekstraksi titik batas lebih lanjut .....	36
Gambar II.21.	Ekstraksi titik batas dari sub-gird 9 × 9.....	36
Gambar II.22.	<i>Point cloud</i> untuk profil terowongan.....	37
Gambar II.23.	Profil terowongan dalam sistem koordinat xyz (a) sumbu x dan y sejajar permukaan tanah dan (b) setelah dilakukan rotasi .....	39
Gambar II.24.	Ekstraksi profil terowongan .....	40
Gambar II.25.	Profil terowongan (a) dan profil melintang (b) ( $\Delta y = 0,001$ m) .....	40

Gambar II.26.	Pengujian satu sisi: <i>upper bound</i> $\xi_{1-\alpha}$ .....	43
Gambar II.27.	Pengujian satu sisi: <i>lower bound</i> $\xi_{\alpha}$ .....	44
Gambar II.28.	Pengujian dua sisi: <i>lower bound</i> $\xi_{\alpha/2}$ dan <i>upper bound</i> $\xi_{1-\alpha/2}$ .....	44
Gambar III.1.	Peta lokasi <i>Underpass</i> Kentungan .....	48
Gambar III.2.	Diagram alir penelitian .....	52
Gambar III.3.	Foto <i>Underpass</i> Kentungan dari arah timur sisi lajur selatan .....	54
Gambar III.4.	Foto pilar CORS JOGS dan antena .....	55
Gambar III.5.	Foto BM PU tampak atas dan samping .....	56
Gambar III.6.	Foto BM 28A tampak atas dan samping .....	56
Gambar III.7.	Distribusi titik kontrol GNSS .....	57
Gambar III.8.	Jalur <i>traverse</i> .....	58
Gambar III.9.	Pengukuran ke target dengan senter .....	59
Gambar III.10.	Foto sampel stiker titik target .....	60
Gambar III.11.	Pemindaian TLS Leica RTC36 di terowongan <i>Underpass</i> Kentungan .....	61
Gambar III.12.	Distribusi pos pemindaian dan stiker titik target .....	62
Gambar III.13.	Profil melintang <i>point cloud</i> hasil registrasi VIS di lapangan .....	63
Gambar III.14.	Sampel titik registrasi (a) metode target to target dan (b) metode <i>cloud to cloud</i> .....	64
Gambar III.15.	Profil melintang <i>point cloud</i> hasil registrasi target to target dan <i>cloud to cloud</i> .....	64
Gambar III.16.	Tampak atas <i>point cloud</i> (a) sebelum dan (b) sesudah direduksi ....	65
Gambar III.17.	<i>Point cloud</i> (a) sebelum dan (b) sesudah difiltrasi <i>smooth surface</i> .....	66
Gambar III.18.	<i>Point cloud</i> (a) dibatasi area terowongan memanjang tampak atas dan (b) tampak melintang yang sudah bebas <i>noise</i> .....	67
Gambar III.19.	Pengukuran sampel jarak .....	68
Gambar III.20.	Proses <i>region grow-plane</i> pada himpunan <i>point cloud</i> segmen atas (langit-langit) permukaan terowongan .....	72
Gambar III.21.	Permukaan aktual (a) dan permukaan <i>plane</i> terowongan (b) .....	73
Gambar III.22.	Garis <i>as</i> yang dibuat dengan melibatkan semua himpunan <i>point cloud</i> .....	73
Gambar III.23.	Profil melintang permukaan aktual dan <i>plane</i> terowongan .....	74

Gambar III.24. Analisis <i>over break</i> dan <i>under break</i> permukaan aktual terhadap permukaan <i>plane</i> pada profil melintang .....	75
Gambar III.25. Garis <i>as</i> yang dibuat berdasarkan himpunan <i>point cloud</i> segmen atas .....	76
Gambar III.26. Titik <i>overlay</i> desain dan permukaan aktual.....	76
Gambar III.27. Profil melintang desain permukaan terowongan <i>Underpass</i> Kentungan .....	77
Gambar III.28. <i>Overlay</i> permukaan desain dengan permukaan aktual .....	78
Gambar III.29. Profil melintang permukaan aktual dan desain terowongan .....	78
Gambar III.30. Analisis <i>over break</i> dan <i>under break</i> permukaan aktual terhadap permukaan desain pada profil melintang .....	79
Gambar IV.1. Pengukuran jarak dengan TS pada permukaan dinding terowongan bagian atas.....	83
Gambar IV.2. Grafik perbedaan koordinat titik ICP .....	85
Gambar IV.3. Profil melintang permukaan aktual dan plane pada STA 0.00.....	89
Gambar IV.4. Grafik deviasi jarak permukaan aktual dengan permukaan <i>plane</i> ..	90
Gambar IV.5. Desain geometri profil melintang terowongan <i>Underpass</i> Kentungan .....	90
Gambar IV.6. Profil melintang permukaan aktual dan desain pada STA 0.00 .....	92
Gambar IV.7. Pengukuran tebal ornamen dinding terowongan <i>Underpass</i> Kentungan.....	93
Gambar IV.8. Grafik deviasi jarak permukaan aktual dengan permukaan desain .	93
Gambar IV.9. Grafik perbedaan lebar terowongan desain dengan aktual.....	95
Gambar IV.10. Grafik perbedaan tinggi terowongan desain dengan aktual .....	95
Gambar IV.11. Grafik perbedaan lebar jalan desain dengan aktual.....	96
Gambar IV.12. Grafik kemiringan jalan melintang desain dengan aktual .....	97
Gambar IV.13. Perbedaan luas profil melintang terowongan antara desain dan aktual .....	97
Gambar IV.14. Pengukuran lebar trotoar aktual pada Sta. 100.....	99

## DAFTAR TABEL

Tabel II.1.	Sampel alat pemindai yang tersedia beserta evolusi teknologi TLS sejak tahun 1998.....	18
Tabel II.2.	Rekomendasi spesifikasi komputer untuk menjalankan perangkat lunak Leica Cyclone 3DR.....	41
Tabel II.3.	Uji statistik $H_0$ terhadap $H_a$ .....	42
Tabel II.4.	Ketentuan ketelitian geometri berdasarkan kelas.....	46
Tabel II.5.	Standar geometri desain terowongan jalan AASHTO .....	47
Tabel III.1.	Koordinat hasil pengolahan data pengamatan GNSS radial JOGS-PU .....	56
Tabel III.2.	Statistik sampel uji statistik.....	69
Tabel III.3.	Daftar koordinat titik ikat georeferensi .....	70
Tabel III.4.	Daftar koordinat ICP .....	71
Tabel IV.1.	Jumlah <i>point cloud</i> hasil pemindaian.....	80
Tabel IV.2.	Ketelitian kerangka kontrol pemetaan .....	84
Tabel IV.3.	Deviasi jarak STA pada profil melintang permukaan aktual dan <i>plane</i> .....	88
Tabel IV.4.	Deviasi jarak STA pada profil melintang permukaan aktual dan desain .....	91
Tabel IV.5.	Evaluasi komponen geometri permukaan terowongan <i>Underpass</i> Kentungan .....	98
Tabel IV.6.	Lebar dan tinggi trotoar aktual di terowongan Underpass Kentungan .....	98

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	(Spesifikasi Alat Ukur).....	106
Lampiran B	(Perhitungan Jaring GNSS dan Traverse) .....	110
Lampiran C	(Profil Melintang Permukaan Terowongan Aktual dengan Plane) .....	116
Lampiran D	(Profil Melintang Permukaan Terowongan Aktual dengan Desain) .....	123
Lampiran E	(Tabel Distribusi t ).....	130