



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS PENGUKURAN KECEPATAN ARUS
PERMUKAAN AIR SUNGAI MENGGUNAKAN *UNMANNED
AERIAL VEHICLE* (UAV) DENGAN METODE “*LARGE SCALE
PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY*”**

(Studi Kasus: Sungai Mungkung Kabupaten Sragen)

TUGAS AKHIR

SETO HARYADI

21110119130035

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI**

SEMARANG

2023



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS PENGUKURAN KECEPATAN ARUS
PERMUKAAN AIR SUNGAI MENGGUNAKAN *UNMANNED
AERIAL VEHICLE* DENGAN METODE “*LARGE SCALE
PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY*”**

(Studi Kasus: Sungai Mungkung Kabupaten Sragen)

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana (Strata – 1)

SETO HARYADI

21110119130035

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEODESI**

SEMARANG

2023

HALAMAN PERNYATAAN

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang
dikutip maupun dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar

Nama : SETO HARYADI

NIM : 21110119130035

Tanda Tangan : 

Tanggal : 14 Desember 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

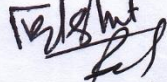


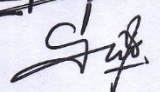
NAMA : SETO HARYADI
NIM : 21110119130035
PROGRAM STUDI : TEKNIK GEODESI
Judul Skripsi :

**ANALISIS PENGUKURAN KECEPATAN ARUS PERMUKAAN AIR
SUNGAI MENGGUNAKAN *UNMANNED AERIAL VEHICLE* DENGAN
METODE “*LARGE SCALE PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY*”**

(Studi Kasus: Sungai Mungkung Kabupaten Sragen)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana/ S1 pada Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing 1	: Nurhadi Bashit, S.T., M.Eng.	()
Pembimbing 2	: Bandi Sasmito, S.T., M.T.	()
Penguji 1	: Dr. L.M. Sabri., S.T., M.T.	()
Penguji 2	: Shofiyatul Qoyimah S.T., M.S.	()

Semarang, 14 Desember 2023

Program Studi Teknik Geodesi

Ketua



Dr. L.M. Sabri, S.T., M.T.

NIP. 197703092008121001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Lukas 16:10

Barangsiapa setia dalam perkara-perkara kecil, ia juga setia dalam perkara-perkara besar. Dan barangsiapa tidak benar dalam perkara-perkara kecil, ia tidak benar juga dalam perkara-perkara besar.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan kekuatan serta pikiran yang telah diberikan Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, meskipun proses belajar yang sesungguhnya tidak akan pernah berhenti. Tugas Akhir ini sesungguhnya bukan sebuah hasil kerja individu dan akan sulit terlaksana tanpa bantuan dari banyak pihak yang tidak mungkin Penulis sebutkan satu persatu, namun dengan segala kerendahan hati, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. L.M. Sabri, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
2. Bapak Nurhadi Bashit, S.T., M.Eng., yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Bandi Sasmito, S.T., M.T., yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Eko Soewarno dan Ibu Nurhayati yang telah memberikan dukungan doa serta dorongan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Kakak penulis yaitu Saudari Natalia Suwarno yang telah memberikan dukungan doa serta dorongan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen Teknik Geodesi yang tidak pernah lelah memberikan bimbingan, ilmu, saran dan bantuan dalam proses perkuliahan dan tugas akhir ini.
7. Havi sebagai *partner* tugas akhir yang tidak pernah lelah berbagi ilmu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Argo dan Yudha yang telah membantu proses pengukuran serta akuisisi data penelitian ini.
9. Teman-teman Geodesi 2019 Karan Jagadish yang telah memberikan tempat sekaligus teman perkuliahan yang nyaman.
10. Teman-teman Pandai Teknologi Alat Survey yang telah memberikan tempat sekaligus teman sehari-hari selama berkuliah di Teknik Geodesi.

Akhirnya, Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi dunia sains dan teknologi di Indonesia, khususnya disiplin keilmuan yang Penulis dalami.

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : SETO HARYADI
NIM : 21110119130035
Jurusan/Program Studi : TEKNIK GEODESI
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRISI

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non Exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISIS PENGUKURAN KECEPATAN ARUS PERMUKAAN AIR SUNGAI MENGGUNAKAN *UNMANNED AERIAL VEHICLE* DENGAN METODE "*LARGE SCALE PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY*"

(Studi Kasus: Sungai Mungkung Kabupaten Sragen)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 14 Desember 2023

Yang menyatakan



SETO HARYADI

ABSTRAK

Sungai merupakan aliran air pada suatu permukaan yang menjadi sumber kehidupan bagi daerah yang dialiri. Sungai Mungkung menjadi sumber kehidupan bagi masyarakat yang berada di sekitar sungai, khususnya dibidang pertanian. Pertanian di sepanjang Sungai Mungkung sering memanfaatkan air sungai untuk mengairi sawahnya dengan cara memompa dengan pompa air. Pelindung tebing Sungai Mungkung sering mengalami kerusakan berupa retakan dan pergeseran akibat erosi dan longsor ketika musim penghujan. Berdasarkan permasalahan tersebut, perlu dilakukan kajian mengenai kecepatan arus air aliran Sungai Mungkung menggunakan metode yang cepat dan dapat menjangkau area yang cukup luas. Penelitian ini mengkaji tentang kecepatan arus air Sungai Mungkung di daerah Jembatan Mungkung, Kabupaten Sragen. Kecepatan arus air sungai akan diukur menggunakan teknik videogrametri menggunakan metode *Large Scale Particle Image Velocimetry* (LSPIV) dan menggunakan aplikasi RIVeR.

Metode LSPIV menghitung kecepatan arus air sungai yang dimodelkan dengan melacak corak pada permukaan air termasuk partikel yang mengapung secara alami atau lumpur yang sedang terbawa arus sungai. Data yang digunakan adalah video yang direkam menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV). Data tersebut selanjutnya digunakan dalam menghitung kecepatan arus air sungai, selanjutnya divalidasi menggunakan data yang dianggap benar. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi pengukuran kecepatan arus air sungai yang cepat dan dapat menjangkau area pedalaman khususnya di Kabupaten Sragen.

Hasil yang diperoleh dari pengukuran kecepatan arus sungai menggunakan UAV metode LSPIV diperoleh rentang hasil antara 0,090 sampai 0,454 m/s dengan tinggi terbang 20 meter, 0,116 sampai 0,516 m/s pada tinggi terbang UAV 30 meter serta 0,144 sampai 0,285 m/s dengan tinggi terbang UAV 50 meter. Data yang dianggap benar yang diperoleh dari pengukuran kecepatan arus sungai menggunakan daun kering diperoleh rata-rata kecepatan sebesar 0,393 m/s. Setelah dilakukan uji T Independen diperoleh hasil perbedaan signifikan untuk hasil tinggi terbang 20, 30 dan 50 meter karena $|t\text{-hitung}| \geq t\text{-tabel}$.

Kata Kunci: Kecepatan Arus Air Sungai, *Large Scale Particle Image Velocimetry*, RIVeR, *Unmanned Aerial Vehicle*

ABSTRACT

River is a stream of water on a surface that is a source of life for the area it flows through. Mungkung River become source of life to the people alongside the river, particularly on agricultural sector. Agricultural sector alongside Mungkung River utilizing the river water by pumping the water with water pump. Mungkung River cliff shield often damage in form of crack and shift because erosion and landslide when rainy season. According to the problem, it is necessary to study about the method which fast and coverage large area. This research will study about the river flow velocity of Mungkung River at Mungkung Bridge area, Sragen Regency. The river flow velocity will be measured using videogrametry technic utilizing Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV) method which furthermore processed using RIVeR application.

LSPIV method calculating river surface water flow velocity which made with particle tracking on water surface including natural floating particle or mud carried away by the river stream. Data which be used is recorded videos using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The data furthermore used in calculating the river flow velocity, after that validated using measurement and calculating the river flow velocity using the data which considered correct. This research expected could give solution for fast and wide coverage river waterflow velocity measurement particularly in Sragen Regency.

Result obtained from the river waterflow velocity measurement using UAV with LSPIV method obtained in range 0,090 until 0,454 m/s with 20 meters high, 0,116 until 0,516 m/s with 30 meters high and 0,144 until 0,285 m/s with 50 meters high. Data for validation obtained from river waterflow velocity measurement with dried leaves obtained average 0,393 m/s. T Independent Test obtained significant difference for 20 meters, 30 meter and 50 meters result because the $t\text{-count} \geq t\text{-table}$.

Keywords: *River Water Flow Velocity, Large Scale Particle Image Velocimetry, RIVeR, Unmanned Aerial Vehicle*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
I.4 Batasan Penelitian	5
I.5 Ruang Lingkup Penelitian	5
I.5.1 Lokasi Penelitian	5
I.5.2 Alat dan Data.....	6
I.6 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian	8
I.7 Sistematika Penulisan Laporan.....	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	12
II.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu	12
II.2 Sungai Mungkung	19
II.3 Kecepatan Arus Air Sungai	20
II.4 Fotogrametri	21
II.5 Videogrametri.....	23

II.5.1	Kondisi Kesegaran.....	24
II.5.2	Reseksi Ruang	25
II.5.3	Interseksi Ruang.....	26
II.6	Foto Udara.....	26
II.7	<i>Ground Sample Distance</i>	27
II.8	<i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i>	28
II.9	DJI Phantom 4.....	29
II.10	Kalibrasi Kamera.....	30
II.11	<i>Large Scale Particle Image Velocimetry</i>	32
II.11.1	<i>Images Pre-Processing</i>	33
II.11.2	<i>Image Processing</i>	36
II.11.3	<i>Result Rectification</i>	38
II.11.4	<i>Image Post-Processing</i>	40
II.12	Titik Kontrol dan Pengukuran GPS.....	40
II.12.1	<i>Ground Control Point (GCP)</i>	41
II.12.2	<i>Independent Check Point (ICP)</i>	41
II.12.3	Pengukuran GPS.....	42
II.12.4	Pengukuran <i>Total Station</i>	47
II.13	Pengambilan Sampel.....	51
II.14	Uji Akurasi.....	53
II.14.1	<i>Root Mean Square Error (RMSE) GNSS</i>	53
II.14.2	<i>Root Mean Square Error Independent Check Points</i>	53
II.15	Uji Statistika	55
II.15.1	Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov.....	55
II.15.2	Uji Beda Rata-Rata T Independen.....	56
II.16	<i>Rectification Images Velocimetry Result (RIVeR)</i>	58
II.17	FUDAA-LSPIV	59

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	61
III.1 Tahapan Persiapan	61
III.2 Pengumpulan Data.....	63
III.3 Pengolahan Data GNSS	69
III.4 Pengolahan Data <i>Total Station</i>	73
III.5 Pengolahan Data Video	74
III.5.1 <i>Image Pre-Processing</i>	74
III.5.2 <i>Image Processing</i>	77
III.5.3 <i>Result Rectification</i>	77
III.5.4 <i>Image Post-Processing</i>	79
III.6 Perhitungan Hasil Ortorektifikasi	79
III.7 Perhitungan Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov.....	84
III.8 Perhitungan Uji Beda Rata-Rata T Independen.....	87
BAB IV HASIL DAN ANALISIS	91
IV.1 Hasil Uji Alat Total Station	91
IV.1.1 Uji Kolimasi	91
IV.1.2 Uji Indeks Vertikal	91
IV.1.3 Uji Jarak.....	92
IV.2 Hasil Kalibrasi Kamera.....	92
IV.3 Hasil Pengolahan GNSS	93
IV.4 Hasil Pengolahan <i>Total Station</i>	94
IV.5 Hasil <i>Image Enhancment</i>	95
IV.6 Hasil Ortorektifikasi	96
IV.6.1 Tinggi Terbang 20 Meter.....	96
IV.6.2 Tinggi Terbang 30 Meter.....	97
IV.6.3 Tinggi Terbang 50 Meter.....	98
IV.7 Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Sungai untuk Validasi Data	99

IV.8	Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Sungai oleh Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo	101
IV.9	Hasil Rekonstruksi Frame setelah Memasukkan Nilai Kalibrasi Kamera	104
IV.10	Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Sungai menggunakan LSPIV....	104
IV.10.1	Tinggi Terbang 20 Meter.....	105
IV.10.2	Tinggi Terbang 30 Meter.....	122
IV.10.3	Tinggi Terbang 50 Meter.....	140
IV.10.4	Diagram <i>Cross Section</i> Hasil Kecepatan Arus.....	158
IV.10.5	Diagram Kecepatan Arus Permukaan Sungai pada <i>Cross Section</i> yang Sama dan Tinggi Terbang yang Berbeda	164
IV.11	Arah Aliran Sungai	168
IV.12	Hasil Uji Statistika	169
IV.12.1	Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov.....	169
IV.12.2	Uji Beda Rata-Rata T Independen.....	173
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	176
V.1	Kesimpulan.....	176
V.2	Saran.....	177
DAFTAR PUSTAKA		178
LAMPIRAN.....		184

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Peta Area Penelitian dan Sebaran Titik Kontrol.....	6
Gambar I-2 Diagram Alir Penelitian	8
Gambar II-1 Rambu Ukur Kedalaman Air pada Stasiun Pengukuran Kedalaman Air Sungai Mungkung.....	19
Gambar II-2 Fotogrametri	21
Gambar II-3 Elemen Utama dari Sistem Monoploting: Kamera, foto dan <i>Digital Elevation Model (DEM)</i>	22
Gambar II-4 Kondisi Kesegaran.....	24
Gambar II-5 Reseksi ruang	25
Gambar II-6 Interseksi ruang	26
Gambar II-7 Jenis-jenis foto udara.....	26
Gambar II-8 Ilustrasi perbedaan nilai GSD.....	28
Gambar II-9 DJI Phantom 4.....	29
Gambar II-10 Distorsi radial	30
Gambar II-11 Distorsi tangensial.....	31
Gambar II-12 Metode LSPIV.....	32
Gambar II-13 Contoh pengaturan <i>image extraction</i>	33
Gambar II-14 Contoh parameter kalibrasi kamera.....	34
Gambar II-15 Contoh stabilisasi gambar pada <i>software RIVeR</i> . Gambar kiri menunjukkan <i>raw image</i> dan gambar kanan merupakan gambar yang telah dilakukan stabilisasi	35
Gambar II-16 Perbedaan dan hasil <i>image enhancement</i> dalam PIVlab.....	35
Gambar II-17 Perhitungan matriks korelasi menggunakan metode DCC	36
Gambar II-18 Proses PIV dalam menentukan IA. (a) membagi gambar dalam kotak IA, (b) menentukan IA titik P pada gambar pertama, (c) menghitung koefisien <i>cross-correlation</i> antara IA_P di gambar pertama dengan kotak IA yang sama yang mungkin berada pada IA_Q atau IA_R	37
Gambar II-19 Proses koreksi data pada <i>post-processing</i> LSPIV	40
Gambar II-20 Segmen GPS.....	42
Gambar II-21 Pengelompokan Metode Penentuan Posisi dengan GPS.....	45
Gambar II-22 <i>Total Station</i> Sokkia IM-52.....	49
Gambar II-23 Spesifikasi <i>Total Station</i> Sokkia IM-50 Series	50

Gambar II-24 Tampilan aplikasi DJI GO pada saat pengukuran.....	52
Gambar II-25 Kurva Normal.....	56
Gambar II-26 Tampilan awal aplikasi RIVeR	58
Gambar II-27 Diagram alir pemrosesan pada aplikasi RIVeR	59
Gambar II-28 Tampilan Awal Aplikasi FUDAA-LSPIV	60
Gambar III-1 Fokus Area Penelitian.....	62
Gambar III-2 Panjang Area Pengukuran Kecepatan Arus Sungai untuk Validasi Data	63
Gambar III-3 Foto yang digunakan untuk memperoleh Parameter <i>Internal</i> Kalibrasi Kamera	65
Gambar III-4 UAV dalam Kondisi Baling-Baling dan Baterai Terpasang.....	66
Gambar III-5 Proses Pengaturan ISO, <i>Shutter</i> , Resolusi Video dan <i>Frame per Second</i> Sesuai dengan Spesifikasi Pengukuran yang Digunakan	67
Gambar III-6 UAV Siap Diterbangkan.....	68
Gambar III-7 Titik Terbang UAV.....	68
Gambar III-8 Proses Perekaman Video	68
Gambar III-9 <i>Create a New Job</i>	69
Gambar III-10 Pengaturan <i>Datum</i> dan <i>Projection</i>	70
Gambar III-11 Pengaturan Zona Waktu Pengukuran	70
Gambar III-12 <i>File</i> GNSS yang akan diolah	70
Gambar III-13 Titik Hasil Pengukuran.....	71
Gambar III-14 <i>Properties</i>	71
Gambar III-15 Pengaturan GNSS	71
Gambar III-16 Input koordinat <i>Base</i>	72
Gambar III-17 <i>Baseline</i>	72
Gambar III-18 Grafik GPS Occupation	72
Gambar III-19 <i>Open File</i>	73
Gambar III-20 Data koordinat <i>Total Station</i>	73
Gambar III-21 <i>Convert File</i>	74
Gambar III-22 Hasil Perhitungan Koordinat GCP dan ICP.....	74
Gambar III-23 Contoh Foto yang diambil dari Video	75
Gambar III-24 Memasukkan Parameter Kalibrasi Kamera	75
Gambar III-25 Contoh Foto yang telah dilakukan <i>Unshake Images</i>	76

Gambar III-26 <i>Image Enhancment</i>	76
Gambar III-27 <i>Image Processing</i>	77
Gambar III-28 Grafik vektor sebelum dilakukan pemilahan.....	78
Gambar III-29 Grafik vektor setelah dilakukan pemilahan	78
Gambar III-30 Median	78
Gambar III-31 GCP dan memasukan data elevasi ROI.....	79
Gambar III-32 Pemasukan ROI dan <i>time step</i>	79
Gambar III-33 Tampilan Awal Aplikasi FUDAA-LSPIV.....	80
Gambar III-34 <i>Create</i>	80
Gambar III-35 <i>Source Images Management</i>	80
Gambar III-36 <i>Images Management</i>	81
Gambar III-37 Memilih Foto yang akan Digunakan	81
Gambar III-38 Melengkapi <i>Time Step</i>	81
Gambar III-39 <i>Menu Orthorectification</i>	81
Gambar III-40 Tampilan <i>Orthorectiofication mode</i>	82
Gambar III-41 Tampilan <i>Menu Orthorectification</i>	82
Gambar III-42 Mendigit GCP.....	82
Gambar III-43 <i>Menu Orthorectification</i>	82
Gambar III-44 <i>Verification of the reference points</i>	83
Gambar III-45 <i>Menu Orthorectification</i>	83
Gambar III-46 Mengisi <i>transformation parameters</i> sesuai dengan ROI yang digunakan.....	83
Gambar III-47 Mengisi ICP Model pada Excel.....	84
Gambar III-48 Hasil Perhitungan RMSE.....	84
Gambar III-49 Urutan Data Kecepatan Arus Sungai.....	85
Gambar III-50 Tampilan Awal Aplikasi Rstudio	85
Gambar III-51 Proses <i>Import Data Excel</i> ke RStudio	86
Gambar III-52 Proses Pemilihan Data Excel yang akan Digunakan.....	86
Gambar III-53 <i>Copy Script Code Preview</i>	86
Gambar III-54 <i>Run Script</i>	87
Gambar III-55 Urutan Data Kecepatan Arus Sungai.....	88
Gambar III-56 Tampilan Awal Aplikasi Rstudio	88
Gambar III-57 Proses <i>Import Data Excel</i> ke RStudio	89

Gambar III-58 Proses Pemilihan Data Excel yang akan Digunakan	89
Gambar III-59 <i>Copy Script Code Preview</i>	89
Gambar III-60 <i>Run Script</i>	90
Gambar IV-1 Foto yang digunakan untuk memperoleh Parameter <i>Internal</i> Kalibrasi Kamera	92
Gambar IV-2 Hasil <i>Image Enhancment</i> : (a) Sebelum dilakukan <i>image</i> <i>enhancment</i> ; (b) Setelah dilakukan <i>image enhancment</i> metode CLAHE; (c) Setelah dilakukan <i>subtract mean intensity</i>	95
Gambar IV-3 Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Sungai Mungkung oleh Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.....	102
Gambar IV-4 Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Sungai Mungkung oleh Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.....	103
Gambar IV-5 Gambar (a) Sebelum Memasukkan Nilai Kalibrasi Kamera; Gambar (b) Sesudah Memasukkan Nilai Kalibrasi Kamera	104
Gambar IV-6 Spesifikasi <i>Frame Extraction</i>	104
Gambar IV-7 <i>Cross Section</i> untuk Memperoleh Kecepatan Arus	105
Gambar IV-8 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 120 sampai 150 pada Tinggi Terbang 20 Meter.....	105
Gambar IV-9 <i>Cross Section 1</i>	106
Gambar IV-10 <i>Cross Section 2</i>	107
Gambar IV-11 <i>Cross Section 3</i>	108
Gambar IV-12 <i>Cross Section 4</i>	109
Gambar IV-13 <i>Cross Section 5</i>	110
Gambar IV-14 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 150 sampai 180 pada Tinggi Terbang 20 Meter.....	111
Gambar IV-15 <i>Cross Section 1</i>	111
Gambar IV-16 <i>Cross Section 2</i>	112
Gambar IV-17 <i>Cross Section 3</i>	113
Gambar IV-18 <i>Cross Section 4</i>	115
Gambar IV-19 <i>Cross Section 5</i>	116
Gambar IV-20 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 180 sampai 210 pada Tinggi Terbang 20 Meter.....	117
Gambar IV-21 <i>Cross Section 1</i>	118

Gambar IV-22 <i>Cross Section 2</i>	119
Gambar IV-23 <i>Cross Section 3</i>	120
Gambar IV-24 <i>Cross Section 4</i>	121
Gambar IV-25 <i>Cross Section 5</i>	122
Gambar IV-26 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 0 sampai 30 pada Tinggi Terbang 30 Meter.....	123
Gambar IV-27 <i>Cross Section 1</i>	124
Gambar IV-28 <i>Cross Section 2</i>	125
Gambar IV-29 <i>Cross Section 3</i>	126
Gambar IV-30 <i>Cross Section 4</i>	127
Gambar IV-31 <i>Cross Section 5</i>	128
Gambar IV-32 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 240 sampai 270 pada Tinggi Terbang 30 Meter.....	129
Gambar IV-33 <i>Cross Section 1</i>	130
Gambar IV-34 <i>Cross Section 2</i>	131
Gambar IV-35 <i>Cross Section 3</i>	132
Gambar IV-36 <i>Cross Section 4</i>	133
Gambar IV-37 <i>Cross Section 5</i>	134
Gambar IV-38 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 300 sampai 330 pada Tinggi Terbang 30 Meter.....	135
Gambar IV-39 <i>Cross Section 1</i>	136
Gambar IV-40 <i>Cross Section 2</i>	137
Gambar IV-41 <i>Cross Section 3</i>	138
Gambar IV-42 <i>Cross Section 4</i>	139
Gambar IV-43 <i>Cross Section 5</i>	140
Gambar IV-44 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 240 sampai 270 pada Tinggi Terbang 50 Meter.....	141
Gambar IV-45 <i>Cross Section 1</i>	142
Gambar IV-46 <i>Cross Section 2</i>	143
Gambar IV-47 <i>Cross Section 3</i>	144
Gambar IV-48 <i>Cross Section 4</i>	145
Gambar IV-49 <i>Cross Section 5</i>	146

Gambar IV-50 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 270 sampai 300 pada Tinggi Terbang 50 Meter.....	147
Gambar IV-51 <i>Cross Section 1</i>	147
Gambar IV-52 <i>Cross Section 2</i>	148
Gambar IV-53 <i>Cross Section 3</i>	149
Gambar IV-54 <i>Cross Section 4</i>	151
Gambar IV-55 <i>Cross Section 5</i>	152
Gambar IV-56 Arah Vektor Kecepatan Arus Sungai Data Detik 300 sampai 330 pada Tinggi Terbang 50 Meter.....	153
Gambar IV-57 <i>Cross Section 1</i>	154
Gambar IV-58 <i>Cross Section 2</i>	155
Gambar IV-59 <i>Cross Section 3</i>	155
Gambar IV-60 <i>Cross Section 4</i>	157
Gambar IV-61 <i>Cross Section 5</i>	158
Gambar IV-62 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 1</i> pada Tinggi Terbang 20 meter	158
Gambar IV-63 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 2</i> pada Tinggi Terbang 20 meter	159
Gambar IV-64 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 3</i> pada Tinggi Terbang 20 meter	159
Gambar IV-65 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 4</i> pada Tinggi Terbang 20 meter	160
Gambar IV-66 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 5</i> pada Tinggi Terbang 20 meter	160
Gambar IV-67 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 1</i> pada Tinggi Terbang 30 meter	161
Gambar IV-68 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 2</i> pada Tinggi Terbang 30 meter	161
Gambar IV-69 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 3</i> pada Tinggi Terbang 30 meter	161
Gambar IV-70 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 4</i> pada Tinggi Terbang 30 meter	162

Gambar IV-71 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 5</i> pada Tinggi Terbang 30 meter	162
Gambar IV-72 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 1</i> pada Tinggi Terbang 50 meter	163
Gambar IV-73 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 2</i> pada Tinggi Terbang 50 meter	163
Gambar IV-74 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 3</i> pada Tinggi Terbang 50 meter	163
Gambar IV-75 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 4</i> pada Tinggi Terbang 50 meter	164
Gambar IV-76 Diagram Kecepatan Arus Sungai <i>Cross Section 5</i> pada Tinggi Terbang 50 meter	164
Gambar IV-77 Diagram Kecepatan Arus Permukaan Air Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	165
Gambar IV-78 Diagram Kecepatan Arus Permukaan Air Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	165
Gambar IV-79 Diagram Kecepatan Arus Permukaan Air Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	166
Gambar IV-80 Diagram Kecepatan Arus Permukaan Air Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	167
Gambar IV-81 Diagram Kecepatan Arus Permukaan Air Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	168
Gambar IV-82 Arah Aliran Sungai Mungkung.....	169
Gambar IV-83 Hasil Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 20 Meter	170
Gambar IV-84 Persebaran Data Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 20 Meter.....	170
Gambar IV-85 Hasil Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 30 Meter	171
Gambar IV-86 Persebaran Data Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 30 Meter.....	171
Gambar IV-87 Hasil Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 50 Meter	172

Gambar IV-88 Persebaran Data Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 50 Meter.....	172
Gambar IV-89 Hasil Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan Daun Kering	173
Gambar IV-90 Persebaran Data Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov Data Kecepatan Arus Sungai dengan Daun Kering.....	173
Gambar IV-91 Hasil Uji T Independen Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 20 Meter dengan Data yang Dianggap Benar	174
Gambar IV-92 Hasil Uji T Independen Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 30 Meter dengan Data yang Dianggap Benar	174
Gambar IV-93 Hasil Uji T Independen Data Kecepatan Arus Sungai dengan UAV pada Tinggi Terbang 50 Meter dengan Data yang Dianggap Benar	175

DAFTAR TABEL

Tabel II-1 Tinjauan Penelitian Terdahulu	12
Tabel II-2 Tinjauan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)	13
Tabel II-3 Konfigurasi Pengambilan Video pada Pengukuran Kecepatan Arus Sungai.....	15
Tabel II-4 Konfigurasi Pengambilan Video pada Pengukuran Kecepatan Arus Sungai.....	16
Tabel II-5 Konfigurasi Pengambilan Video pada Pengukuran Kecepatan Arus Sungai.....	16
Tabel II-6 Konfigurasi Pengambilan Video pada Pengukuran Kecepatan Arus Sungai.....	16
Tabel II-7 Spesifikasi DJI Phantom 4	29
Tabel II-8 Spesifikasi Pengamatan Jaring Titik Kontrol Geodetik.....	46
Tabel II-9 Spesifikasi Pengolahan Jaring Titik Kontrol Geodetik.....	47
Tabel II-10 Konfigurasi Penelitian	52
Tabel II-11 Ketentuan Standar Ketelitian Geometri Peta RBI	54
Tabel III-1 Pengaturan Kamera UAV.....	66
Tabel III-2 Pengaturan Kamera UAV (Lanjutan).....	67
Tabel IV-1 Hasil Uji Kolimasi <i>Total Station</i>	91
Tabel IV-2 Hasil Uji Indeks Vertikal <i>Total Station</i>	91
Tabel IV-3 Hasil Uji Jarak <i>Total Station</i>	92
Tabel IV-4 Hasil Kalibrasi Kamera	93
Tabel IV-5 Hasil Observasi GNSS.....	93
Tabel IV-6 Hasil Koordinat Kartesian Toposentrik UTM 49S.....	93
Tabel IV-7 Koordinat Hasil Akuisisi Data <i>Total Station</i>	94
Tabel IV-8 Standar Deviasi Pengukuran Koordinat GCP dan ICP menggunakan <i>Total Station</i>	94
Tabel IV-9 Hasil Selisih GCP antara Hasil Pengukuran dan Model pada Tinggi Terbang 20 Meter.....	96
Tabel IV-10 Hasil Selisih ICP antara Hasil Pengukuran dan Model pada Tinggi Terbang 20 Meter.....	96
Tabel IV-11 Hasil Selisih GCP antara Hasil Pengukuran dan Model pada Tinggi Terbang 30 Meter.....	97

Tabel IV-12 Hasil Selisih ICP antara Hasil Pengukuran dan Model pada Tinggi Terbang 30 Meter.....	97
Tabel IV-13 Hasil Selisih GCP antara Hasil Pengukuran dan Model pada Tinggi Terbang 50 Meter.....	98
Tabel IV-14 Hasil Selisih ICP antara Hasil Pengukuran dan Model pada Tinggi Terbang 50 Meter.....	98
Tabel IV-15 Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Sungai untuk Validasi Data....	100
Tabel IV-16 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	106
Tabel IV-17 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	107
Tabel IV-18 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	108
Tabel IV-19 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	109
Tabel IV-20 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	110
Tabel IV-21 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	112
Tabel IV-22 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	113
Tabel IV-23 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	114
Tabel IV-24 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	115
Tabel IV-25 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	116
Tabel IV-26 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	118
Tabel IV-27 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	119
Tabel IV-28 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	120
Tabel IV-29 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	121
Tabel IV-30 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	122
Tabel IV-31 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	124
Tabel IV-32 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	125
Tabel IV-33 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	126
Tabel IV-34 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	127
Tabel IV-35 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	128
Tabel IV-36 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	130
Tabel IV-37 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	131
Tabel IV-38 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	132
Tabel IV-39 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	133
Tabel IV-40 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	134
Tabel IV-41 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	136
Tabel IV-42 Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	137

Tabel IV-43	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	138
Tabel IV-44	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	139
Tabel IV-45	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	140
Tabel IV-46	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	142
Tabel IV-47	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	143
Tabel IV-48	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	144
Tabel IV-49	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	145
Tabel IV-50	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	146
Tabel IV-51	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	148
Tabel IV-52	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	149
Tabel IV-53	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	150
Tabel IV-54	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	151
Tabel IV-55	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	152
Tabel IV-56	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 1</i>	154
Tabel IV-57	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 2</i>	155
Tabel IV-58	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 3</i>	156
Tabel IV-59	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 4</i>	157
Tabel IV-60	Hasil Rata-Rata Kecepatan Arus Sungai pada <i>Cross Section 5</i>	158