

TESIS

**PENGEMBANGAN DAN PEMANFAATAN SURVEI
PEMOTRETAN UDARA DRONE MULTIROTOR
DENGAN KAMERA NONMETRIK MENGGUNAKAN
PROGRAM OPEN-SOURCE**

**Studi Kasus: Persiapan Quarry di Pembangunan
Bendungan Tugu Trenggalek**

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Magister Teknik Sipil



**Disusun oleh:
CORNELLIUS OLIVER AGENG PRASETYA LAKSANA
20914005**

**KONSENTRASI MANAJEMEN KONSTRUKSI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2022

HALAMAN PERSETUJUAN


TESIS

**PENGEMBANGAN DAN PEMANFAATAN SURVEI
PEMOTRETAN UDARA DRONE MULTIROTOR
DENGAN KAMERA NONMETRIK MENGGUNAKAN
PROGRAM OPEN-SOURCE**

**Studi Kasus: Persiapan Quarry di Pembangunan
Bendungan Tugu Trenggalek**



(Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IP-M.)
Dosen Pembimbing I



Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

PENGEMBANGAN DAN PEMANFAATAN SURVEI PEMOTRETAN UDARA DRONE MULTIROTOR DENGAN KAMERA NONMETRIK MENGGUNAKAN PROGRAM OPEN-SOURCE

Studi Kasus: Persiapan Quarry di Pembangunan Bendungan Tugu Trenggalek

disusun oleh

Cornellius Oliver Ageng Prasetya Laksana
20914005

Telah diuji oleh Dewan Penguji
pada tanggal 21 Juli 2022
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Pembimbing



Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IP-M.

Penguji I


Prof. Ir. M. Agung Wibowo, M.M., M.Sc., Ph.D.

Penguji II


Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D.

Yogyakarta, 20 AUG 2022

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil, Program Magister
Ketua Program,




Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program “Software” komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 21 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Cornellius Oliver A. P. L.

(20914005)



*The way to get started is to quit talking and
begin doing*

- Walt Disney -

الجامعة الإسلامية
الاندونيسية

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan makalah dengan judul *Pengembangan dan Pemanfaatan Survei Pemotretan Udara dengan Drone Multirotor Kamera Nonmetrik Menggunakan Program Open-Source*. Makalah ini merupakan salah satu persyaratan Kelulusan Magister Manajemen Konstruksi

Pada kesempatan ini saya sampaikan terima kasih kepada :

1. Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Program Studi Magister Teknik Sipil UII dan dosen pembimbing untuk penulisan tesis ini.
2. Prof. Ir. M. Agung W., Ph.D. dan Albani Musyafa, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Penguji yang telah membantu dalam pengembangan penulisan tesis ini.
3. Bapak Adi Susilo selaku Manajer Proyek Bendungan Tugu yang telah mendukung dan membiayai kuliah penulis untuk memperoleh gelar S2 di UII.
4. Bapak Ganar Adiartha selaku Manajer Kontruksi dan Mentor penulis yang telah membimbing dalam penulisan makalah ini ini.
5. Bapak Imam Asrori selaku Kasie Komersial yang telah membimbinng dan mendukung penulis dengan penyediaan peralatan yang diperlukan.
6. Mas Andy, Mas Bernard, Mas Rizki, Muklis, Nindi yang telah membantu dan mendukung penulis dalam kuliah.
7. Mbak Fenska dan Mas Wisnu yang telah membantu penulis dalam perkuliahan
8. Tim Bendungan Tugu yang telah membimbing dan mendukung penulis dalam bekerja dan melaksanakan penelitian ini
9. Orangtua dan adek saya yang telah mendukung penulis dalam melaksanakan penelitian ini.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak kesalahan dan kekurangan dalam pengerjaan makalah ini. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca demi kesempurnaan makalah ini.

Yogyakarta, 21 Juli 2022

Penyusun



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xvi
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Kesimpulan Penelitan Sebelumnya.....	8
2.3 Perbedaan Penelitian	8
BAB III	10
3.1 Survey Pengukuran	10
3.2 Pemetaan	11
3.3 Fotogrametri.....	12
3.4 Pemetaan dengan Drone.....	16
3.4.1 Umum.....	16
3.4.2 Prosedur Pemetaan dengan Drone	16
3.4.3 Parameter Utama Pemetaan dengan Drone.....	18
3.4.4 Output Pemetaan dengan Drone	21
3.5 Prosedur Pengolahan Data Fotogrametri	22
3.5.1 Aerotriangulasi (Photo Alignment).....	22
3.5.2 Dense Cloud.....	22
3.5.3 Build Mesh.....	23
3.5.4 Export Output.....	23

3.6 Uji Akurasi	24
3.7 Pesawat Tanpa Awak	27
3.8 Kamera	29
3.9 Metode Perhitungan Volume	31
BAB IV	33
4.1 Uraian Umum.....	33
4.2 Metode Penelitian.....	33
4.3 Metode Pengumpulan Data	33
4.4 Diagram Alir Penelitian	34
BAB V.....	36
5.1 Analisis Metode Pelaksanaan Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Open-source	36
5.1.1 Analisis Output yang Dibutuhkan.....	36
5.1.2 Analisis Program Komputer Open-source	39
5.1.3 Analisis Instrumen	40
5.1.4 Analisis Metode Pelaksanaan.....	43
5.2 Analisis Pemanfaatan Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source	45
5.2.1 Pemetaan dengan Drone sesuai Metode yang Telah Dikembangkan	45
5.2.1.1 Persiapan	45
5.2.1.2 Akuisisi Foto Udara	46
5.2.1.3 Pengolahan Foto Udara dalam Fotogrametri	47
5.2.1.4 Pengolahan Hasil Fotogrametri.....	48
5.2.1.5 Kendala Pemetaan dengan Drone	48
5.2.2 Manajemen Blasting Quarry dan Hauling Road.....	49
5.2.3 Ketersediaan Volume Material di Quarry	54
5.3 Analisis Perbandingan antara Program Komputer Open-source dengan Program Komputer Berbayar dan Metode Survei Konvensional	58
5.3.1 Perbandingan Kualitas dengan Program Komputer Berbayar	58
5.3.2 Perbandingan Kualitas dengan Metode Survei Konvensional	65
5.3.3 Penggunaan Ground Control Point untuk Peningkatkan Akurasi Pemetaan dengan Drone	70
5.3.4 Keunggulan Penggunaan Teknologi Pemetaan dengan Drone	72
5.3.5 Analisis Biaya, Mutu, dan Waktu	74
BAB VI	82

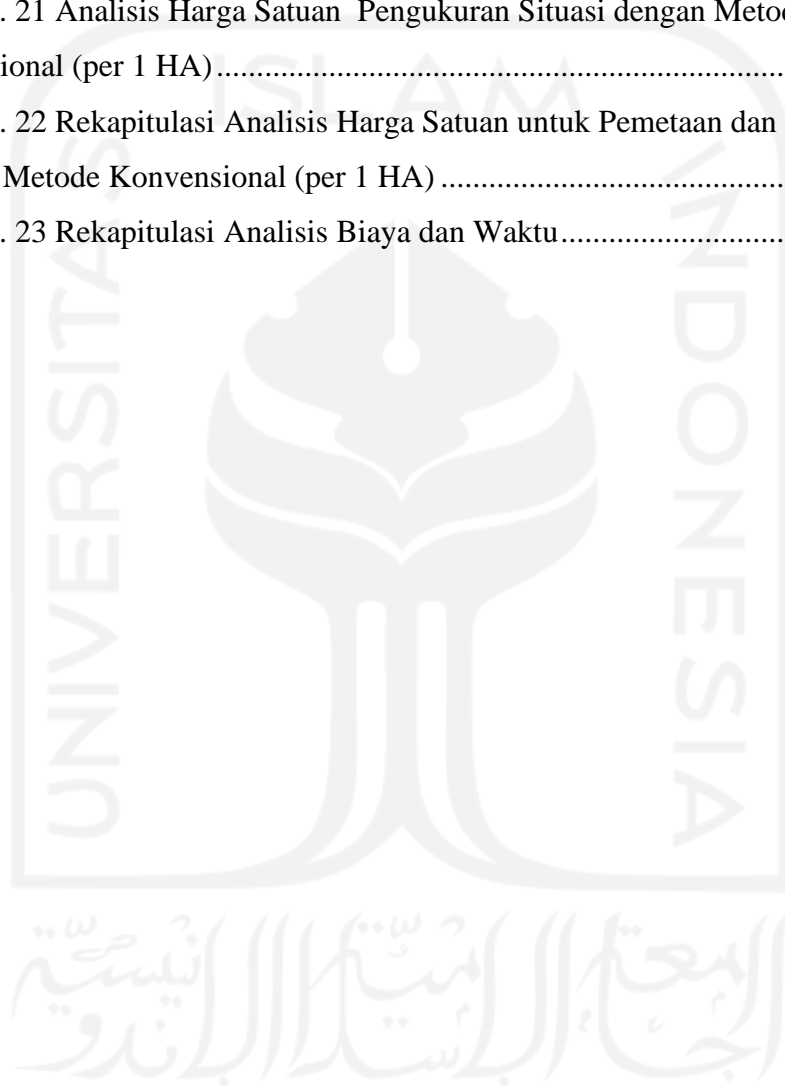
6.1 Simpulan	82
6.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA	84



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 3. 1 Perbandingan Kualitas Citra dengan Nilai GSD.....	19
Tabel 3. 2 Korelasi Skala Peta Dasar dengan Nilai GSD	19
Tabel 3. 3 Formulir Uji Ketelitian Horizontal	26
Tabel 3. 4 Formulir Uji Ketelitian Vertikal	26
Tabel 3. 5 Ketelitian Geometri Peta Rupabumi Indonesia.....	27
Tabel 3. 6 Perbedaan Multirotor dan Fixed Wing.....	28
Tabel 5. 1 Analisis Tipe Dokumen untuk Pekerjaan Pemetaan dengan Drone	37
Tabel 5. 2 Analisis Pemilihan Program Komputer untuk Pekerjaan Pemetaan dengan Drone	39
Tabel 5. 3 Spesifikasi DJI Phantom 4	41
Tabel 5. 4 Resume Request of Work	46
Tabel 5. 5 Kelandaian Rencana Trase Jalan Menuju <i>Quarry</i>	54
Tabel 5. 6 Kebutuhan Material Timbunan dari Quarry Berdasarkan MC 0	55
Tabel 5. 7 Perhitungan Volume Gunung Lojeh untuk <i>Blasting</i>	58
Tabel 5. 8 Uji Akurasi Horizontal.....	66
Tabel 5. 9 Uji Akurasi Vertikal.....	67
Tabel 5. 10 Register Hasil Uji Akurasi dengan Ketelitian Peta RBI	67
Tabel 5. 12 Perhitungan Volume Quarry dari Hasil Pengukuran Konvensional ..	70
Tabel 5. 13 Analisis Biaya, Mutu, Waktu Pemetaan dengan Drone dan Metode Konvensional secara Umum	75
Tabel 5. 14 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source (Waktu Pekerjaan 3 Hari dengan Luasan 15 HA)	75
Tabel 5. 15 Analisis Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source (per 1 HA).....	76
Tabel 5. 16 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Berbayar (Waktu Pekerjaan 3 Hari dengan Luasan 15 HA)	76
Tabel 5. 17 Analisis Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Berbayar (per 1 HA).....	77

Tabel 5. 18 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pengukuran Kerangka Polygon dengan Metode Kovensional (Waktu Pekerjaan 14 Hari dengan Luasan 7 HA)..	77
Tabel 5. 19 Analisis Harga Satuan Pengukuran Kerangka Polygon dengan Metode Kovensional (per 1 HA).....	78
Tabel 5. 20 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pengukuran Situasi dengan Metode Kovensional (Waktu Pekerjaan 76 Hari dengan Luasan 7 HA)	78
Tabel 5. 21 Analisis Harga Satuan Pengukuran Situasi dengan Metode Kovensional (per 1 HA).....	79
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Analisis Harga Satuan untuk Pemetaan dan Pengukuran dengan Metode Konvensional (per 1 HA)	79
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Analisis Biaya dan Waktu.....	79



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Potongan Tipikal Bendungan Tugu	2
Gambar 1. 2 Kondisi Eksisting Quarry (Gunung Lodjeh).....	3
Gambar 3. 1 Peralatan Survey Pengukuran.....	11
Gambar 3. 2 Peta Kontur.....	12
Gambar 3. 3 Rekonstruksi 3D Qavam Iwan Selatan di Makam Hafez.....	13
Gambar 3. 4 Prinsip Kolinear.....	14
Gambar 3. 5 Sistem Koordinat Foto dan Pixel	15
Gambar 3. 6 Sistem Koordinat Kamera dan Objek	15
Gambar 3. 7 Diagram Alur Survei Pemetaan dengan Drone	17
Gambar 3. 8 Hasil dari Prosedur Alinyemen	18
Gambar 3. 9 Ground Sampling Distance	18
Gambar 3. 10 Perbedaan antara nilai GSD kecil dan GSD besar	19
Gambar 3. 11 Overlap and Sidelap on Flight Path	20
Gambar 3. 12 Kondisi Atmosfer dapat Mempengaruhi Hasil Pemetaan	20
Gambar 3. 13 Perbedaan DSM dan DTM.....	21
Gambar 3. 14 Aerotriangulasi	22
Gambar 3. 15 Dense Cloud	23
Gambar 3. 16 Build Mesh	23
Gambar 3. 17 Export Output	24
Gambar 3. 18 Multirotor dan Fixed Wing	27
Gambar 3. 19 Manuver Drone	29
Gambar 3. 20 Ukuran Sensor Kamera	31
Gambar 3. 21 Ilustrasi Metode Average End Area	32
Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 5. 1 Ikon Program Komputer Gratis yang Akan Digunakan.....	40
Gambar 5. 2 Drone DJI Phantom 4.....	42
Gambar 5. 3 Diagram Alir Pengembangan Metode Pemetaan Drone Menggunakan Program Open-source.....	43
Gambar 5. 4 Area of Interest (Quarry).....	46
Gambar 5. 5 Misi Terbang Mencakup Area Buffer Terluar	47
Gambar 5. 6 Skema Perencanaan Peledakan di Gunung Lojeh.....	50

Gambar 5. 7 Kelandaian Ekstrim di Sekitar Kaki Gunung Lojeh.....	51
Gambar 5. 8 Grafik Trase Jalan Menuju Gunung Lojeh.....	51
Gambar 5. 9 Skema Perencanaan Peledakan Alternatif Gunung Lojeh.....	52
Gambar 5. 10 Rencana Trase Jalan Menuju Gunung Lojeh	53
Gambar 5. 11 Potongan Memanjang Trase Jalan Menuju Gunung Lojeh.....	53
Gambar 5. 12 Denah Potongan untuk Perhitungan Volume Gunung Lojeh.....	55
Gambar 5. 13 Potongan Melintang untuk Perhitungan Volume Gunung Lojeh...	56
Gambar 5. 14 Perbandingan Visualisasi 3D Sebelum Pembangunan Jalan Akses	59
Gambar 5. 15 Perbandingan Visualisasi 3D Setelah Pembangunan Jalan Akses .	60
Gambar 5. 16 Kontur Gunung Lojeh Sebelum Pembuatan Jalan Akses.....	60
Gambar 5. 17 Denah Potongan Gunung Lojeh	61
Gambar 5. 18 Potongan A – A Gunung Lojeh (Sebelum Pekerjaan Jalan Akses)	62
Gambar 5. 19 Potongan B – B Gunung Lojeh (Sebelum Pekerjaan Jalan Akses)	62
Gambar 5. 20 Potongan A – A Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Precisionmapper)	63
Gambar 5. 21 Potongan B – B Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Precisionmapper)	63
Gambar 5. 22 Potongan A – A Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Dronemapper)	64
Gambar 5. 23 Potongan B – B Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Dronemapper)	64
Gambar 5. 24 Denah Potongan Gunung Lojeh	65
Gambar 5. 25 Perbandingan antara Metode Konvensional dengan Pemetaan dengan Drone (Potongan A-A)	65
Gambar 5. 26 Perbandingan antara Metode Konvensional dengan Pemetaan dengan Drone (Potongan B-B).....	66
Gambar 5. 27 Potongan Melintang untuk Perhitungan Volume dari Hasil Pengukuran Konvensional	68
Gambar 5. 28 Benchmarking Ground Control Point dengan Real Time Kinematic GPS	72
Gambar 5. 29 Clash Detection Drainase	73
Gambar 5. 30 Perhitungan Volume di Area Terseleksi	73



ABSTRAK

Pembangunan Bendungan Tugu memerlukan material batu yang didapatkan dari Quarry untuk tubuh bendungan. Kebutuhan material batu sangat mendesak karena pekerjaan tubuh bendungan harus segera dilaksanakan saat musim kemarau (untuk keselamatan kerja dan mutu). Persiapan pengangkutan material di Quarry meliputi perhitungan ketersediaan volume material, pembangunan hauling road dan rencana teknis pengambilan, dan manajemen blasting. Kegiatan tersebut tentunya memerlukan survei pengukuran dan pemetaan. Tim proyek memilih metode pemetaan dengan drone yang menggunakan program Open-Source daripada metode konvensional untuk percepatan pekerjaan pengukuran dan pemetaan. Tujuan penelitian ini adalah melakukan pengembangan metode pemetaan dengan drone untuk menyelesaikan berbagai permasalahan di pembangunan Bendungan Tugu khususnya persiapan pengambilan material di Quarry. Tahapan metode survei pemotretan udara yang telah dikembangkan adalah 1) persiapan administrasi, 2) peninjauan teknis dan perencanaan misi terbang, 3) pengambilan foto udara, 4) pemeriksaan kualitas foto udara, 5) pengolahan fotogrametri untuk menghasilkan peta orthomosaic dan digital surface model, dan 6) pengolahan hasil fotogrametri. Pemetaan dengan drone dapat menyelesaikan berbagai pekerjaan di proyek seperti ketersediaan volume material, manajemen blasting, dan pembuatan jalan akses. Berdasarkan analisis biaya, mutu, dan waktu, pemetaan dengan drone menggunakan program komputer *open-source* memiliki biaya yang lebih murah dan cepat daripada menggunakan program komputer berbayar dan metode pengukuran konvensional, tetapi program komputer *open-source* memiliki kelemahan akan keterbatasan fitur dan akurasi data yang rendah dengan nilai uji akurasi $CE90=17,706$ dan $LE90=37,126$ untuk penelitian ini. Secara umum, pemetaan drone memiliki akurasi yang lebih rendah daripada metode pengukuran konvensional, tetapi output pemetaan drone berupa peta orthomosaic dan Digital Elevation Model (BIM) dapat digunakan untuk pengembangan Building Information Modelling dan engineering autonomous.

Kata kunci: Fotogrametri, Program Open-source, Survei Pemotretan Udara, Uji Akurasi

ABSTRACT

The construction of the Tugu Dam requires stone material which obtained from Quarry for main dam. The stone material for main dam is very critical because the work on the main dam should be carried out immediately during the dry season (for work safety and quality). Preparation for material transportation at the Quarry includes calculation of the availability of material volumes, construction of hauling roads and technical plans for transport, and blasting management. These activities require surveying and mapping. The project team chose the drone mapping method using the Open-Source program rather than the conventional method for accelerating the surveying and mapping work. The stages of the aerial photography survey method that have been developed are 1) administrative preparation, 2) technical review and flight mission planning, 3) aerial photography, 4) aerial photo quality inspection, 5) photogrammetry processing to produce orthomosaic maps and digital surface models, and 6) processing of photogrammetry results. Aerial photogrammetry survey can complete a variety of projects, such as available material calculation, blasting management, and hauling road planning. Based on cost, quality, and time analysis, drone mapping using open-source computer programs is cheaper and faster than using paid computer programs and conventional surveying methods, but using Open-source software have the disadvantage of limited features and low data accuracy with a $CE90$ value = 17,706 and $LE90=37,126$ for this study. In general, drone mapping has lower accuracy than conventional surveying methods, but the output of drone mapping which are orthomosaic maps and Digital Elevation Models can be used for the development of Building Information Modeling (BIM) and autonomous engineering.

Keywords: Open-source software, Photogrammetry, Aerial Photogrammetry Survey, Accuracy Test

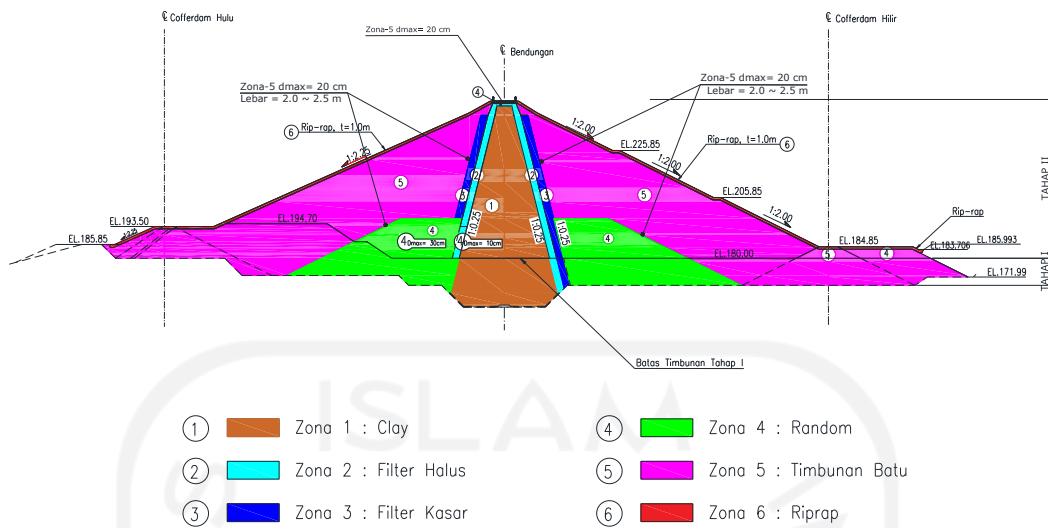
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan potensi sumber daya air di Wilayah Sungai Brantas telah dikembangkan dengan baik dan berfungsi sesuai sasaran yang direncanakan yaitu pengendalian banjir, penyediaan air baku, dan pembangkit listrik. Salah satu kabupaten yang termasuk dalam Wilayah Sungai Brantas adalah Sungai Keser, Kabupaten Trenggalek. Perbedaan debit antara air rata-rata sungai Keser antara musim kemarau dengan musim hujan relatif besar. Sungai Keser mengalami kekeringan di musim kemarau, sedangkan mengalami debit air yang tinggi di musim hujan. Berdasarkan data dari Balai Besar Wilayah Sungai Brantas, Sungai Keser telah menimbulkan kerusakan dan genangan yang melintasi kawasan pemukiman dan kawasan kegiatan ekonomi di kota Trenggalek dalam beberapa dekade terakhir. Solusi dari masalah tersebut adalah Bendungan Tugu yang dibangun di Kecamatan Tugu. Bendungan Tugu diharapkan dapat mengendalikan banjir dan memenuhi kontinuitas kebutuhan air irigasi dan air bersih. Dengan demikian, Bendungan Tugu dapat menjadi faktor pendukung kesejahteraan masyarakat.

Pembangunan Bendungan tugu yang dilakukan oleh PT. Wijaya Karya sedang berjalan. Pada akhir bulan Februari 2019, berbagai pekerjaan telah selesai dilakukan seperti pembuatan conduit pengelak dan pembuatan tumpuan kanan dan kiri. Berdasarkan schedule yang telah dibuat, proyek akan memasuki jalur kritis untuk pekerjaan timbunan tubuh maindam. Hal ini dikarenakan tim proyek hanya memiliki waktu kurang lebih 7 bulan terhitung pada bulan Mei – November 2019 (musim kemarau). Pekerjaan timbunan tidak dapat dilaksanakan pada musim hujan karena mengurangi kualitas kepadatan material. Dengan demikian, tim proyek memiliki waktu hanya 2 bulan untuk mempersiapkan ketersediaan material untuk tubuh maindam (Maret – April 2019).



Gambar 1. 1 Potongan Tipikal Bendungan Tugu

Gambar 1. 1 menunjukkan material-material yang diperlukan untuk membangun tubuh bendungan. Material clay dan random yang akan diambil dari borrow area, sedangkan timbunan batu dan riprap akan diambil dari Quarry. Berdasarkan Gambar 1. 1 dapat diketahui bahwa volume timbunan batu dan riprap memiliki prosentase yang paling tinggi untuk membentuk tubuh bendungan, volume yang dibutuhkan sekitar 1,7 juta m³. Tim proyek telah mencari berbagai alternatif lokasi Quarry. Tim proyek pun telah menentukan dengan cepat lokasi Quarry yakni Gunung Lojeh. Pertimbangan yang diambil adalah lokasi tersebut cukup dekat dengan lokasi pembangunan Bendungan Tugu. Selanjutnya, tim proyek harus segera melakukan persiapan di Quarry mengingat volume yang dibutuhkan cukup besar. Kegiatan persiapan di Quarry meliputi perhitungan ketersediaan volume material, pembangunan hauling road dan rencana teknis pengambilan, dan manajemen blasting. Kegiatan tersebut tentunya memerlukan survei pengukuran dan pemetaan.



Gambar 1. 2 Kondisi Eksisting Quarry (Gunung Lodjeh)

Berdasarkan Gambar 1. 2, Gunung Lodjeh, lokasi Quarry, merupakan lokasi hutan berbukit curam yang belum pernah terjamah manusia. Di sisi lain, warga sekitar menginformasikan terkait adanya binatang liar yang dapat menyerang tim proyek saat survei. Estimasi pengukuran dengan total station dan waterpass untuk lokasi tersebut sekitar 3 bulan. Mengingat waktu pekerjaan timbunan harus dilaksanakan 2 bulan lagi, maka diperlukan metode pengukuran tanah dan pemetaan yang cepat. Hal ini bertujuan untuk mempercepat pengambilan keputusan apakah material timbunan yang akan diambil memiliki volume yang cukup untuk kebutuhan yang ada, perencanaan jalan akses menuju Quarry dan teknis pengambilan material, dan manajemen peledakan yang aman untuk lingkungan sekitar.

Salah satu metode yang dapat dilakukan adalah survey pengukuran dan pemetaan dengan menggunakan drone (termasuk dalam pengembangan Building Information Modelling). Pengukuran dan pemetaan dengan drone dapat dilakukan dengan cepat, mudah, dan murah. Umumnya, pengukuran dan pemetaan dengan drone membutuhkan alat (drone dan komputer) yang canggih dan software yang mahal. Dalam penelitian ini, penyesuaian metode kerja terkait pemetaan dengan drone diperlukan untuk memaksimalkan alat instrumen yang ada di proyek dan menggunakan program Open-Source (untuk menekan biaya pembelian software berbayar. Penelitian ini akan membahas penyesuaian metode kerja tersebut, Hal ini bertujuan tidak hanya proyek-proyek dengan nilai kontrak yang menengah ke atas saja yang mampu melakukan pemetaan dengan drone, tetapi juga proyek dengan nilai kontrak kecil. Dengan demikian, pembangunan di Indonesia dapat lebih maju seiring dengan perkembangan teknologi yang kian maju.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan.

1. Bagaimana pengembangan metode survei pemotretan udara dengan menggunakan program Open-source?
2. Bagaimana penerapan dan pemanfaatan metode survei pemotretan udara yang telah dikembangkan pada penelitian khususnya dalam persiapan di Quarry pada proyek Pembangunan Bendungan Tugu?
3. Bagaimana perbandingan biaya, waktu, dan mutu antara metode survei pemotretan udara yang telah dikembangkan dengan output software berbayar dan metode survei konvensional?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas.

1. Menjelaskan pengembangan metode survei pemotretan udara dengan menggunakan program Open-Source.
2. Memaparkan penerapan dan pemanfaatan metode survei pemotretan udara yang telah dikembangkan pada penelitian ini dalam persiapan di Quarry pada proyek Pembangunan Bendungan Tugu
3. Menganalisis perbandingan biaya, waktu, dan mutu antara metode survei pemotretan udara yang telah dikembangkan dengan output software berbayar dan metode survei konvensional.

1.4 Batasan Penelitian

Hal-hal yang akan dibahas dalam makalah ini memiliki batasan-batasan sebagai berikut.

1. Studi kasus di Proyek Pembangunan Bendungan Tugu, di Kabupaten Trenggalek.
2. Software yang digunakan adalah open-source
3. Permasalahan yang diselesaikan adalah persiapan material timbunan batu di Quarry yang meliputi perhitungan volume ketersediaan

material batu, pembangunan hauling road untuk pengambilan material batu, dan manajemen blasting.

4. Alat instrumen yang digunakan adalah alat yang ada di proyek Pembangunan Bendungan Tugu, di Kabupaten Trenggalek.
5. Berdasarkan kondisi Gunung Lodjeh (Quarry) yang menjadi Area of Interest dimana pemasangan Ground Control Point tidak dapat dilakukan, maka pemetaan dilakukan secara uncontrolled photogrammetry.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan pengetahuan teknis pelaksanaan pemetaan dengan menggunakan drone.
2. Menjadi evaluasi tim proyek untuk mengambil keputusan dalam berbagai masalah pengukuran dan pemetaan yang ada di proyek.
3. Sebagai permulaan untuk mempelajari sistem kerja Building Information Modelling untuk proyek kecil hingga proyek menengah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Samuel dan Banata (2016) melakukan evaluasi dan kajian penanganan P3SON Hambalang dengan menggunakan drone. Dalam judul “Teknologi Drone untuk Pembuatan Peta Kontur: Studi Kasus Kawasan P3SON Hambalang”, memiliki hasil penelitian bahwa akurasi pengukuran cukup baik, murah, dan dapat digunakan dalam waktu yang singkat, meskipun pada kondisi topografi tertentu misalnya sungai yang berair tidak dapat terpetakan dengan baik.

Arif, dkk (2018) melakukan penelitian untuk membuat kontur berupa Digital Elevation Modelling dengan foto udara. Penelitian berjudul “Generation of Digital Elevation Model through Aerial Technique” memiliki simpulan bahwa DEM tidak hanya dapat dibuat melalui pengukuran konvensional (dengan total station, dsb), tetapi dapat juga dilakukan dengan menggunakan drone. Hasilnya cukup baik pada area kecil dengan biaya dan waktu yang terbatas.

Nitih (2020) melakukan penelitian dengan judul “Photogrammetry dalam Perancangan: Pemetaan dan Pemodelan Kawasan Desa Wisata” yang membahas mengenai pemanfaatan teknologi digital untuk pemodelan 3D pada kawasan objek studi Kampung Wisata Rotan Galmantro. Hasil penelitian tersebut adalah hasil pemodelan tersebut dapat digunakan sebagai landasan pengolahan data lingkungan eksisting.

Berikut ini adalah penelitian-penelitian terdahulu mengenai pemetaan dengan menggunakan drone.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Topik	Hasil Penelitian
1.	Sutanto, dkk. (2016)	<i>Teknologi Drone untuk Pembuatan Peta Kontur: Studi Kasus Kawasan P3SON Hambalang</i>	<ol style="list-style-type: none"> Memiliki keuntungan berupa efektifitas waktu, tenaga, dan biaya daripada survei terestial dengan menggunakan LIDAR. Terdapat beberapa foto yang tidak dapat dikoreksi dalam pembuatan DEM yang mempengaruhi keakuratan.
2.	Arif, dkk. (2018)	<i>Generation of Digital Elevation Model through Aerial Technique</i>	<ol style="list-style-type: none"> Akurasi pemetaan dengan drone sangat bergantung pada tinggi pengambilan. Pada penelitian ini akurasi terbaik diambil dari ketinggian 110 m. Akurasi DEM dari pemetaan menggunakan drone sudah baik, meskipun tidak sebaik pengukuran konvensional.
3.	Prayogo, dkk. (2020)	<i>Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) Menggunakan Kerangka Ground Control Point</i>	Ketelitian akurasi hasil pemetaan memenuhi syarat untuk peta skala 1:1000 dan dapat memakan waktu 2 hari untuk kawasan seluas 35 Ha

No.	Peneliti	Topik	Hasil Penelitian
4.	Dewi (2020)	<i>Photogrammetry dalam Perancangan Pemetaan dan Pemodelan Kawasan Desa Wisata</i>	Hasil pemodelan 3D pada kawasan desa wisata Rotan Galmanthro dapat digunakan sebagai landasan pengolahan data lingkungan eksisting.

2.2 Kesimpulan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian di atas, metode pemetaan dengan drone dapat digunakan secara efektif dalam berbagai proyek pembangunan. Hal ini dikarenakan pekerjaan dapat dilakukan lebih cepat. Pengambilan foto udara dengan drone memerlukan waktu 1 hari untuk area seluas $\pm 26,27$ Ha dan pengolahan data memerlukan waktu 3 – 4 hari yang biasanya memerlukan waktu 3 bulan lebih (Sutanto, 2016). Hasil pemetaan dapat langsung digunakan untuk pemodelan kawasan, bangunan, dan berbagai proyek konstruksi lainnya. Output pemetaan dengan drone dapat berupa Digital Elevation Model yang dapat langsung dibuat menjadi kontur (Arif, dkk., 2018). Output lain yang dapat dihasilkan adalah model tiga dimensi yang memiliki detail cukup baik yang dapat langsung digunakan untuk pengembangan kawasan (Dewi, 2020).

2.3 Perbedaan Penelitian

Penelitian-penelitian di atas, dilakukan menggunakan software berbayar dan peralatan yang memadai. Proses pembuatan peta memerlukan software dengan biaya $\pm \$8.700$ dan peralatan hasil pengukuran barimetri untuk membuat Digital Elevation Model (Sutanto, 2018). Penelitian lain melakukan pemetaan di lokasi relatif datar. Pada pemetaan di kawasan Universitas Sam Ratulangi yang relatif datar menggunakan drone didapatkan kesalahan horizontal sebesar 2,54 m dan vertikal 0,78 m (Prayogo, 2020). Hal-hal tersebut yang menjadi fokus pada penelitian ini.

Saat ini pengembangan program berbasis open-source sangat pesat. Penelitian ini menganalisis pada penggunaan software berbasis open-source dan peralatan yang ada di proyek untuk langsung digunakan. Hal ini bertujuan untuk

pemetaan dengan drone dapat dilakukan secara cepat, mudah, dan murah, tetapi tidak mengurangi manfaat yang ada. Kualitas pemetaan dengan drone pada lokasi pegunungan dapat akan dianalisis dalam penelitian ini.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Survey Pengukuran

Survei pengukuran dalam konstruksi sangat penting. Ada manfaat survei pengukuran dalam konstruksi sebagai berikut (Liu Liguoi: 2002):

1. Pengukuran pondasi
2. Pengukuran pergeseran koordinat
3. Pengukuran karakteristik geologi
4. Pengukuran titik sebelum, selama, dan setelah tahap konstruksi
5. Pengukuran alinyemen jalan atau pipa

Survei pengukuran sangat penting untuk manajemen konstruksi. Survei pengukuran memainkan perannya dalam kemajuan dan manajemen mutu. Misalnya, rekayasa lokasi perlu memasang pelat baja. Survey teknik diperlukan untuk perhitungan kemajuan pekerjaan, seperti pengukuran volume galian.

Saat ini, ada banyak perbaikan pada survei pengukuran. Ada dua teknik untuk survei pengukuran sebagai berikut:

1. Survei teknik menggunakan alat mekanik seperti total station, theodolite dan auto level. Teknik ini adalah survei konvensional. Hasil dari teknik ini adalah akurasi yang baik dan stabil (Jalloh Y et al, 2017). Namun, pengolahan data membutuhkan lebih banyak waktu daripada survei pengukuran modern.
2. Survei pengukuran menggunakan drone dan GPS. Teknik ini adalah survei modern. Berdasarkan penelitian (Jalloh Y et al, 2017), survei menggunakan drone (disebut survei pemetaan udara) telah dipelajari dan dipahami. Hasil perbandingan antara survei konvensional dengan survei modern menunjukkan perbedaan koordinat yang tidak terlalu besar. Tetapi hasilnya tidak stabil, tergantung pada perangkat lunak, metode, dan area pengukuran.



Gambar 3. 1 Peralatan Survey Pengukuran

3.2 Pemetaan

Menurut kamus Oxford, peta adalah gambar atau rencana permukaan bumi atau bagiannya, yang menunjukkan negara, kota, sungai, dan lain-lain. Fungsi peta adalah sebagai berikut (Cosa et al, 2017):

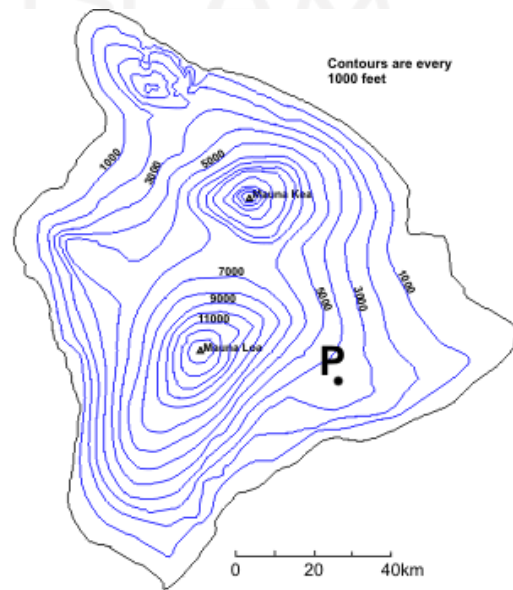
1. Memberikan informasi tentang letak relatif atau absolut di permukaan bumi.
2. Kondisi peta statistik seperti kepadatan penduduk dan penyebaran virus.
3. Menyajikan data tentang potensi sumber daya suatu daerah
4. Sebagai alat dalam hal penelitian seperti operasi militer.

Dalam konstruksi, peta sangat berguna untuk memecahkan berbagai masalah. Misalnya, peta topografi dan kontur sering digunakan oleh para ahli atau profesional untuk mengerjakan berbagai masalah. Peta memiliki berbagai klasifikasi yang dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Peta memiliki berbagai jenis yang dapat dikelompokkan sebagai berikut.

1. Jenis peta berdasarkan isi
 - a. Peta umum, contohnya peta dunia, peta korografi, dan peta topografi
 - b. Peta khusus, contohnya peta persebaran penduduk atau flora dan fauna.
2. Jenis peta berdasarkan bentuk
 - a. Peta datar, peta biasa atau peta dua dimensi
 - b. Peta timbul, peta tiga dimesi

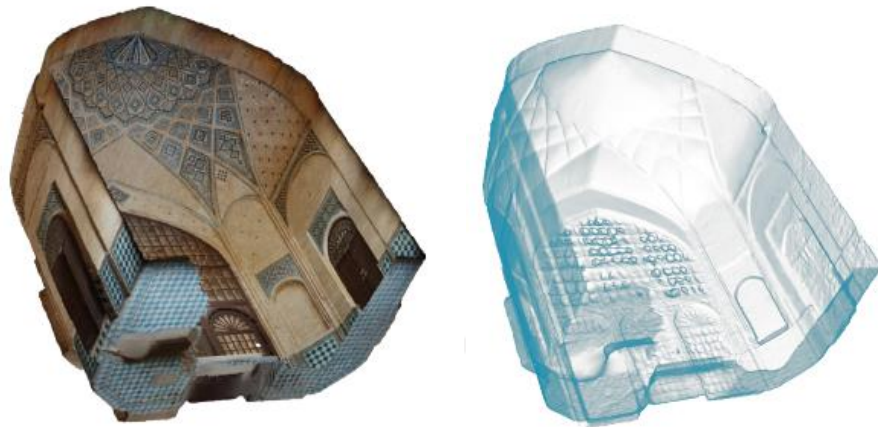
- c. Peta digital, contohnya peta yang ditampilkan di google earth atau waze.
3. Jenis peta berdasarkan skala
- a. Peta kadaster dengan skala 1:100 sampai 1:5000
 - b. Peta skala besar dengan skala 1:5000 sampai 1:250.000
 - c. Peta skala menengah dengan skala 1:250.000 sampai 1:500.000
 - d. Peta skala kecil dnegan skala 1:500.000 atau lebih



Gambar 3. 2 Peta Kontur

3.3 Fotogrametri

Fotogrametri adalah teknik metrik untuk pengukuran tidak langsung melalui gambar (Ali Asadpour, 2021). Photogrammetry berarti proses pengukuran gambar pada sebuah foto (M. Shashi dan Kamal Jain, 2007). Secara harfiah, fotogrametri adalah teknik pemetaan melalui gambar yang diambil menggunakan kamera DSLR, kamera smartphone, drone, helikopter. Teknik ini dilakukan dengan merekonstruksi piksel menjadi koordinat (x, y, dan z). Fotogrametri dapat digunakan untuk arsitektur, dokumentasi kecelakaan, dan konstruksi.



Gambar 3. 3 Rekonstruksi 3D Qavam Iwan Selatan di Makam Hafez

Berikut kegiatan fotogrametri yang dilakukan (M. Shashi dan Kamal Jain, 2007):

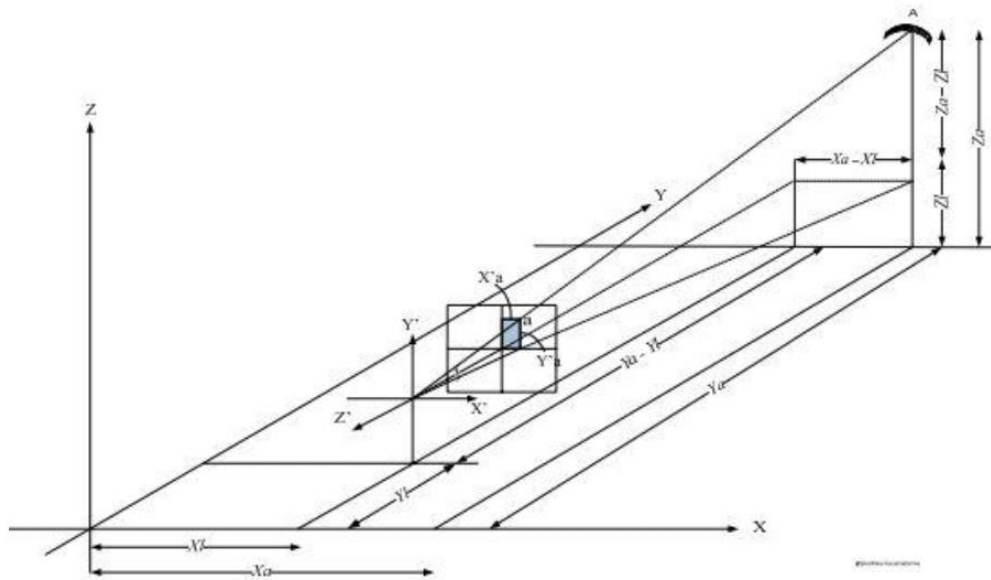
1. Akuisisi foto
2. Pengolahan foto
3. Pembuatan model 3D
4. Tekstur dan visualisasi

Fotogrametri dapat dikategorikan menjadi tiga kategori berdasarkan jarak antara kamera dengan objek sebagai berikut (Kafiar, 2020).

1. Fotogrametri udara merupakan fotogrametri dengan citra udara yang memiliki ketinggian lebih dari 300 m.
2. Fotogrametri jarak dekat (*close range photogrammetry*) merupakan fotogrametri dengan citra udara dengan kurang dari 300 m.
3. Foto terestris merupakan foto yang diambil secara langsung di lokasi yang telah ditetapkan.

Seperti penjelasan sebelumnya, fotogrametri berbeda dengan survei pengukuran konvensional. Fotogrametri memiliki hasil yang sangat bergantung pada kualitas foto udara. Secara harafiah, fotogrametri memiliki prinsip kolinearitas (kesegarisan) yang dapat didefinisikan bahwa titik utama kamera, koordinat titik pada foto, dan posisi tiga dimensi titik pada ruang berada pada satu garis lurus yang ditunjukkan dalam

Gambar 3. 4 (Wolf, 1983 dalam Avicenna, 2018).



Gambar 3. 4 Prinsip Kolinear

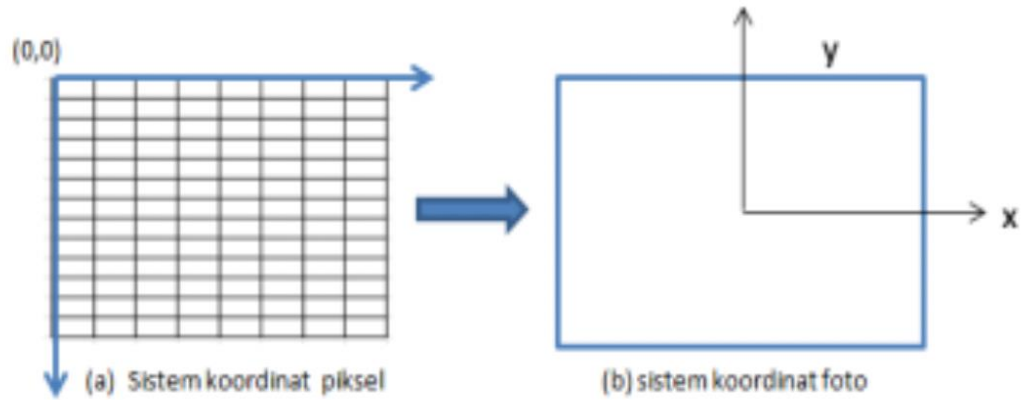
Dalam prinsip tersebut, maka fotogrametri memiliki beberapa sistem koordinat yang berhubungan dengan foto udara yakni sebagai berikut (Avicenna, 2018).

1. Sistem Koordinat Pixel

Sistem koordinat picel adalah sistem koordinat yang akan dijadikan referensi titik terkecil dalam sebuah foto dengan satuan mm. Datum dimulai pada pojok kiri atas dengan nilai x positif ke arah kanan dan nilai y positif ke arah bawah.

2. Sistem Koordinat Foto

Sistem koordinat foto merupakan sistem koordinat yang berbentuk dua dimensi. Datum berada di pixel tengah dengan nilai x positif ke arah kanan dan nilai y positif ke arah atas



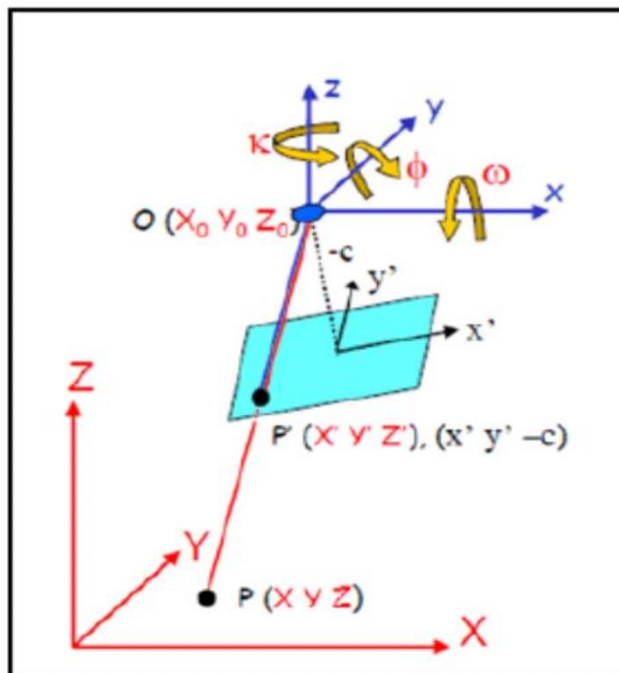
Gambar 3. 5 Sistem Koordinat Foto dan Pixel

3. Sistem Koordinat Kamera

Sistem koordinat kamera memiliki keterkaitan dengan sistem koordinat objek. Sistem koordinat kamera merupakan koordinat tiga dimensi dengan titik pusat pada titik tengah prespektif. Nilai x dan y sejajar dan paralel dengan x dan y sistem koordinat objek

4. Sistem Koordinat Objek

Sistem koordinat objek merupakan sistem koordinat tiga dimensi yang merupakan representasi bentuk dan ukuran objek melalui transformasi dari sistem koordinat foto atau pixel ke sistem koordinat objek.



Gambar 3. 6 Sistem Koordinat Kamera dan Objek

3.4 Pemetaan dengan Drone

3.4.1 Umum

Survei pemetaan udara merupakan bagian dari fotogrametri. Survei pemetaan udara fokus pada rekonstruksi citra udara yang diambil dengan drone, LIDAR, atau helikopter. Sebagai fotogrametri, teknik survei pemetaan udara adalah rekonstruksi piksel citra udara menjadi koordinat (x, y, dan z). Survei pemetaan udara dapat memberikan informasi berupa luas, koordinat, kontur, penampang, dan model 3D (Chairul Aprianto, 2021). Manfaat survei pemetaan udara menggunakan drone adalah sebagai berikut (Biro Riset dan Pengembangan Teknologi WIKA):

1. Penghematan, survei pemetaan udara dapat mencegah pengerjaan ulang karena kesalahan
2. Mengurangi waktu untuk wawasan data
3. Peningkatan keamanan
4. Pengukuran yang lebih akurat karena survei pemetaan udara dapat mengurangi kesalahan manusia

3.4.2 Prosedur Pemetaan dengan Drone

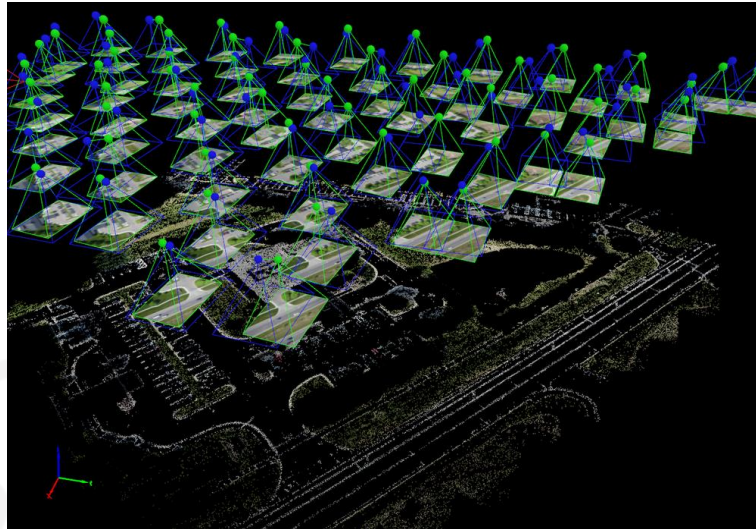
Peralatan dasar untuk survei pemetaan udara terdiri dari drone, komputer, peralatan survei (seperti RTK atau total station), dan perangkat lunak. Secara umum kegiatan survei pemetaan udara yang dilakukan adalah sebagai berikut (Yunanto, dkk, 2021 dan Ahmad Anuar dkk, 2012):



Gambar 3. 7 Diagram Alur Survei Pemetaan dengan Drone

Tugas khas untuk pemrosesan survei pemetaan udara dalam perangkat lunak adalah membangun permukaan 3D dan orthomosaic. Ada tiga langkah utama survei pemetaan udara (Qassim Abdullah, 2019 dan Agisoft Metashape User Manual 2021):

1. Langkah pertama adalah penyetaraan. Langkah alignment dilakukan untuk menentukan posisi dan orientasi yang diperkirakan oleh parameter orientasi internal dan orientasi kamera eksternal. Hasil dari alignment divisualisasikan pada point cloud dan posisi kamera. Titik awan dan posisi kamera diperlukan untuk rekonstruksi permukaan 3D.
2. Langkah kedua adalah generasi permukaan, format permukaan jenis dapat berupa model permukaan mesh atau digital. Model permukaan mesh dan digital mewakili medan dan semua objek di atas tanah seperti pohon, mobil, bangunan, dan struktur. Model elevasi digital dapat dihasilkan oleh model permukaan digital menggunakan perangkat lunak pasca-pemrosesan.
3. Langkah ketiga adalah rendering orthomosaic. Prosedur fotogrametri yang terakhir adalah texturing. Orthomosaic adalah bagian dari texturing. Orthomosaic dihasilkan berdasarkan hasil alignment (point cloud dan posisi kamera).

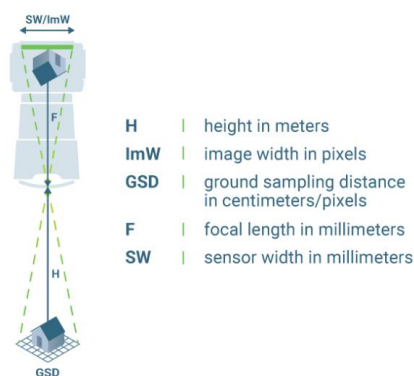


Gambar 3. 8 Hasil dari Prosedur Alinyemen

3.4.3 Parameter Utama Pemetaan dengan Drone

Ada tiga parameter utama fotogrametri, terutama untuk akuisisi data sebagai berikut:

1. Ground sampling distance (GSD) adalah jarak antara dua pusat piksel berurutan yang diukur di lapangan. GSD harus ditentukan sebelum memulai akuisisi gambar dengan penyesuaian ketinggian penerbangan dan resolusi kamera. Semakin rendah nilai GSD, semakin besar resolusi spasial gambar dan semakin tinggi detail yang terlihat.



Gambar 3. 9 Ground Sampling Distance



Gambar 3. 10 Perbedaan antara nilai GSD kecil dan GSD besar

GSD atau resolusi spasial memiliki persamaan sebagai berikut.

$$GSD = \left(\frac{\text{Flight Height} \times \text{Sensor Height}}{\text{Focal Length} \times \text{Image Width}} \right) \dots\dots\dots \text{Persamaan 3. 1}$$

Berikut ini adalah nilai referensi GSD dari beberapa citra (BIM WIKA, 2021) yang ditunjukkan pada Tabel 3. 1.

Tabel 3. 1 Perbandingan Kualitas Citra dengan Nilai GSD

No.	Citra	Nilai GSD
1	Google Earth	±1,5 m/pixel (daerah terpencil) ±60 cm/pixel (daerah perkotaan)
2	Satelit Worldview-4	30 cm/pixel
3	Drone	3 – 10 cm/pixel

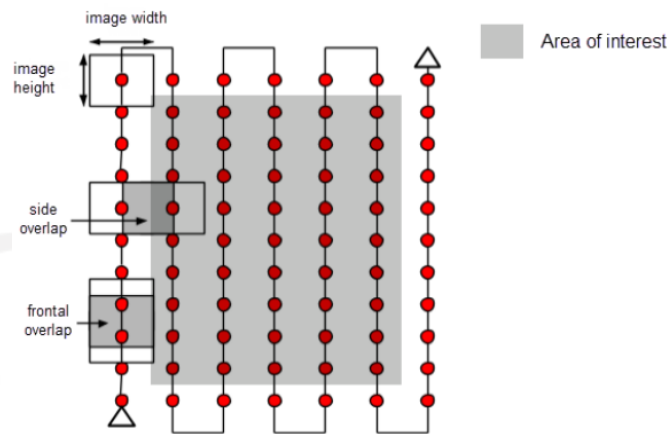
Berdasarkan Peraturan BIG No 1 Tahun 2020 yang mengatur survei pemotretan udara dengan kamera nonmetrik nilai GSD dapat disesuaikan dengan skala peta yang dtunjukkan pada Tabel 3. 2.

Tabel 3. 2 Korelasi Skala Peta Dasar dengan Nilai GSD

Skala Peta Dasar	Nilai GSD (cm)
1:10.000	≤ 15
1:5.000	≤ 10
1:2.500	≤ 5
1:1.000	≤ 3

2. Sidelap dan overlap adalah perbandingan persentase luas overlap antara citra udara dan jalur terbang. Sidelap adalah tumpang tindih ke samping dan overlap adalah tumpang tindih antara jalur yang berdekatan. Tumpang tindih yang disarankan untuk sebagian besar kasus setidaknya 75% overlap

dan 60% sidelap (Pix4D Capture Manual) atau minimal 80% overlap dan 60% sidelap (Peraturan BIG No. 1 Tahun 2020).



Gambar 3. 11 Overlap and Sidelap on Flight Path

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 11, metode akuisisi data adalah penerbangan berulang dengan jalur grid pada sudut hampir vertikal (near-vertical) dan hasil foto saling bertampalan.

3. Kualitas gambar udara itu penting. Ini menentukan hasil fotogrametri baik atau tidak. Ada tiga faktor utama yaitu eksposur, ketajaman, dan kondisi atmosfer (cuaca, awan, dan titik matahari).



Gambar 3. 12 Kondisi Atmosfer dapat Mempengaruhi Hasil Pemetaan

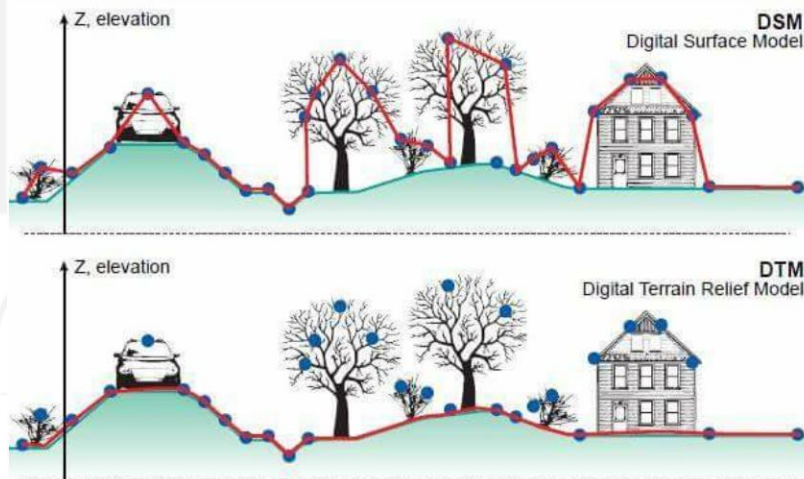
Supaya kualitas foto dapat terjamin, maka pemotretan udara dapat dilakukan saat cahaya mencukupi sehingga foto tidak gelap dan bayangan objek tidak panjang. Sunspot pun tidak diperbolehkan dalam foto. Fitur autofocus dapat dimatikan dan parameter lainnya seperti ISO, aperture, dan shutter dapat diatur sedemikian rupa supaya foto tajam dan tidak gelap (Peraturan BIG No. 1 Tahun 2020). Drone pun dapat dilengkapi dengan penyangga kamera yang memiliki peredam untuk mengurangi pengaruh

getaran motor. Gyro atau gimbal dapat meningkatkan kualitas foto lebih baik karena dapat mengurangi efek getaran yang diakibatkan manuver drone.

3.4.4 Output Pemetaan dengan Drone

Ada banyak hasil survei pemetaan udara. Hasil utama dari hasil survei pemetaan udara sebagai berikut:

1. Peta orthomosaic adalah kumpulan citra udara yang telah diberi georeferensi. Ini adalah hasil dari texturing pada prosedur fotogrametri.
2. Digital Surface Model (DSM) adalah data digital yang memodelkan elevasi sesuai dengan elevasi permukaan. Artinya model mewakili medan dan semua objek di atas tanah seperti pohon, mobil, bangunan, dan struktur.
3. Digital Terrain Model (DTM) biasa disebut Digital Elevation Model (DEM) merupakan representasi digital dari topografi permukaan tanah atau terrain. Dalam survei pemetaan udara, DEM sulit dicapai, karena citra udara menunjukkan permukaan bukan tanah. DEM dapat dihasilkan menggunakan perangkat lunak.

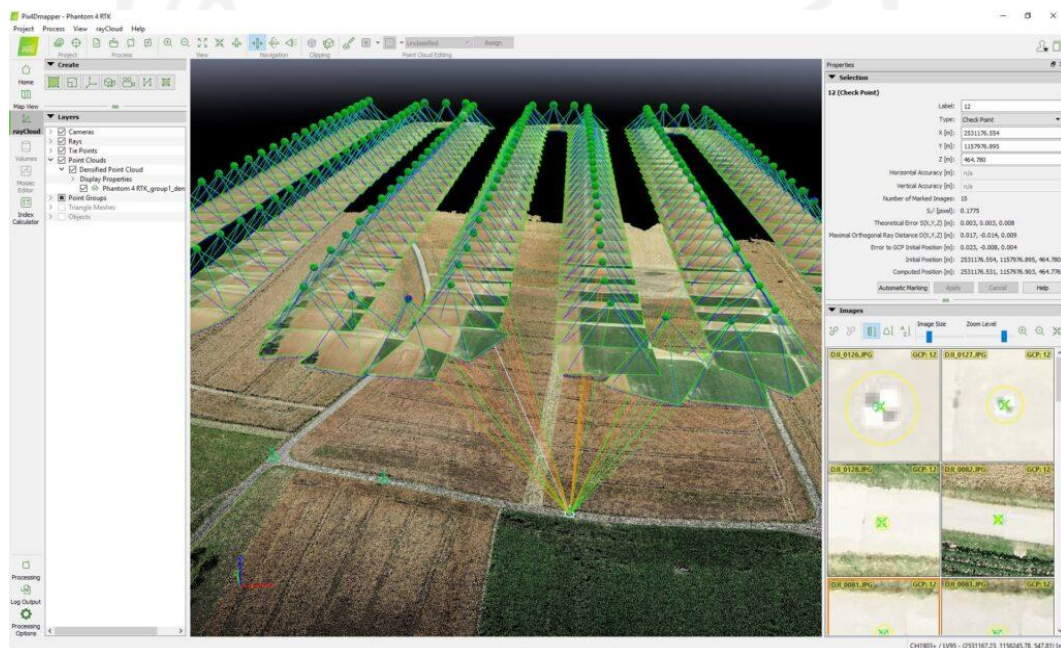


Gambar 3. 13 Perbedaan DSM dan DTM

3.5 Prosedur Pengolahan Data Fotogrametri

3.5.1 Aerotriangulasi (Photo Alignment)

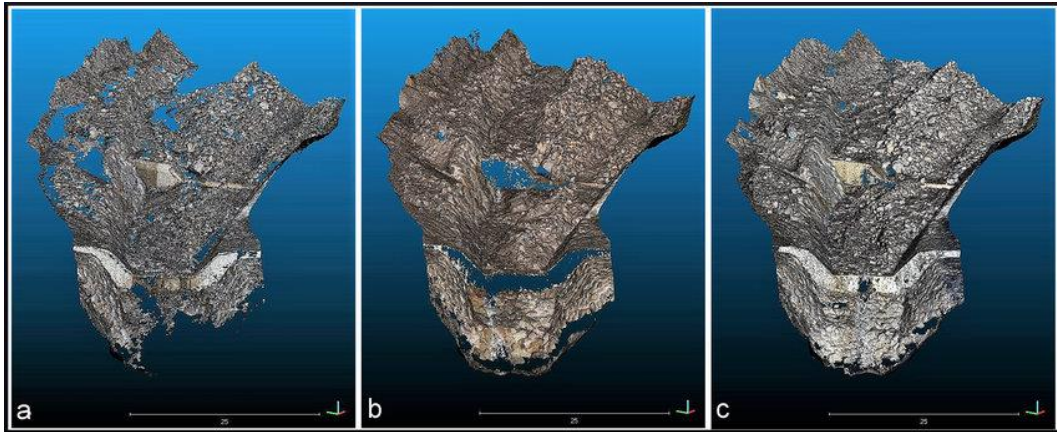
Prosedur ini merupakan prosedur yang melakukan proses positioning foto-foto udara yang telah diambil. Dalam hal ini, aerotriangulasi adalah proses transformasi koordinat foto ke kekoordinat tanah sehingga suatu titik atau pixel dari dua foto atau lebih akan memiliki koordinat yang sama (BIM WIKA, 2021). Prosedur ini dilakukan dengan mengubah tiap foto menjadi point cloud yang akan merepresentasikan objek, warna, dan koordinat. Kualitas hasil prosedur ini tergantung pada konsistensi sidelap dan overlap pada saat pengambilan foto.



Gambar 3. 14 Aerotriangulasi

3.5.2 Dense Cloud

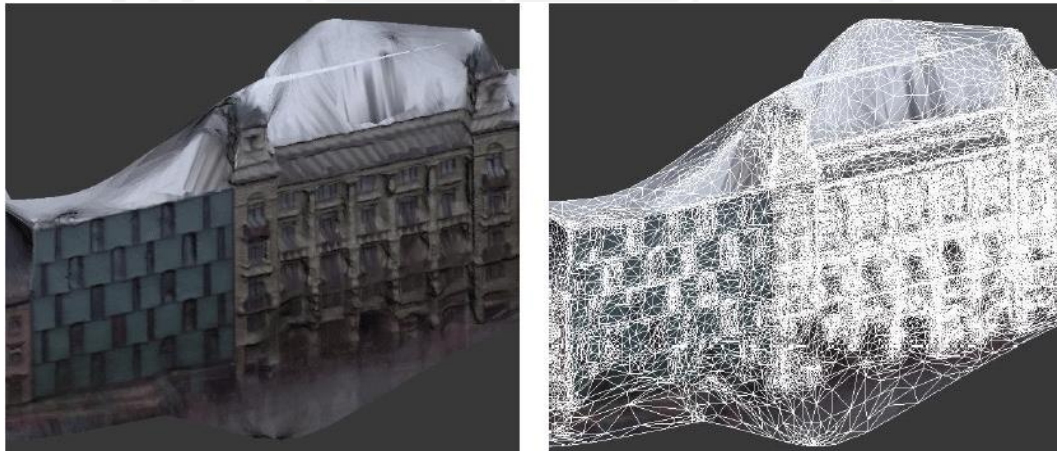
Prosedur dense cloud adalah proses interpolasi dari referensi point cloud yang dihasilkan pada prosedur sebelumnya. Interpolasi ini dilakukan untuk menambahkan data point cloud yang masih kosong. Semakin banyak data yang terisi maka semakin detail hasil pemetaan.



Gambar 3. 15 Dense Cloud

3.5.3 Build Mesh

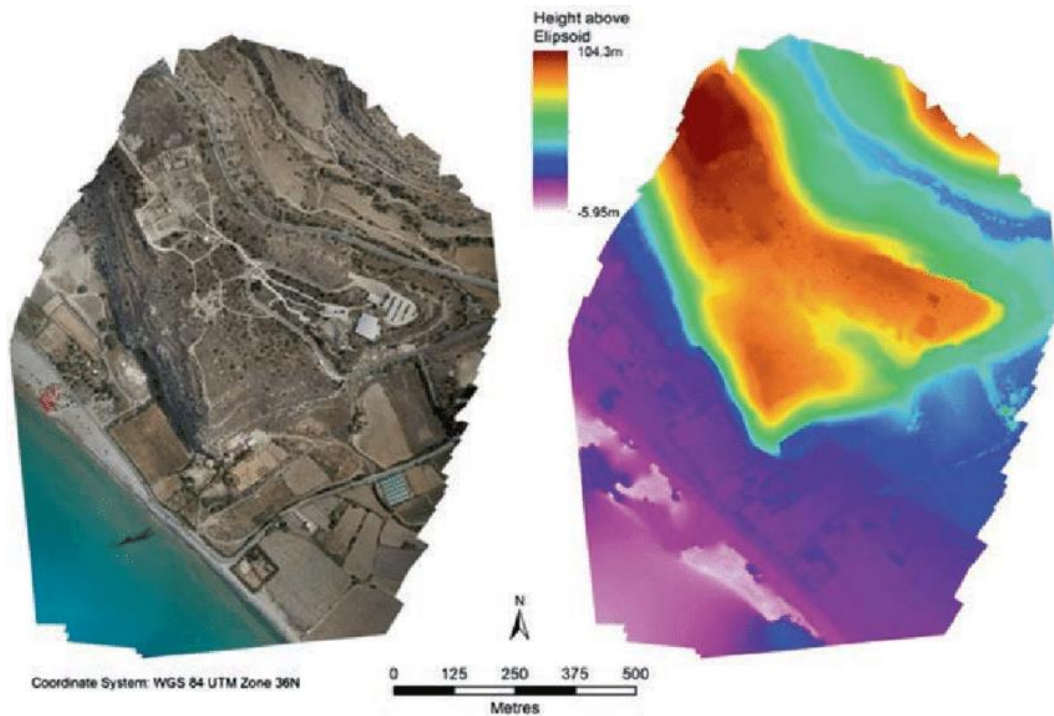
Pada prosedur ini, perhitungan triangulasi dilakukan untuk pembentukan jaringan antar point clouds. Pembentukan jaringan ini dilakukan untuk membuat bidang (surface) yang nantinya memiliki data objek, warna, dan koordinat. Semakin banyak mesh yang dapat dibuat maka semakin detail hasil pemetaan yang ada.



Gambar 3. 16 Build Mesh

3.5.4 Export Output

Pada prosedur ini, software melakukan transformasi dari hasil pengolahan build mesh menjadi data dengan extention yang diperlukan dan disesuaikan dengan kebutuhan. Contoh hasil output yang dihasilkan adalah peta orthomozaic dan Digital Surface Model.



Gambar 3. 17 Export Output

3.6 Uji Akurasi

Uji akurasi merupakan uji yang dilakukan untuk menilai ketelitian geometri pada suatu peta hasil survei pemotretan udara. Uji akurasi untuk pemetaan survei udara diatur dalam Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Ketelitian peta adalah nilai yang menggambarkan tingkat kesesuaian antara posisi dan atribut sebuah objek di peta dengan posisi atribut sebenarnya. Ketelitian peta menyangkut pada akurasi horizontal dan akurasi vertikal.

Akurasi horizontal dinilai dari ukuran Circular Error 90% (CE90). CE90 adalah ukuran ketelitian geometrik horizontal yang didefinisikan sebagai radius lingkaran yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan posisi horizontal objek di peta dengan posisi yang dianggap sebenarnya tidak lebih besar dari radius tersebut. Berikut ini adalah persamaan nilai Circular Error 90% (CE90)

$$CE90 = 1,5175 \times RMSE_r \dots \dots \dots \text{Persamaan 3. 2}$$

Dimana:

CE90 = Circular Error 90%

RMSE_r = Root Mean Square Error pada posisi X dan Y (Horizontal)

Akurasi vertikal dinilai dari ukuran Linear Error 90% (LE90). LE90 adalah ukuran ketelitian geometrik vertikal (ketinggian) yang didefinisikan sebagai nilai jarak yang menunjukkan bahwa 90% kesalahan atau perbedaan nilai ketinggian objek di peta dengan nilai ketinggian sebenarnya tidak lebih besar daripada nilai jarak tersebut. Berikut ini adalah persamaan nilai Linear Error 90% (LE90).

$$LE90 = 1,6499 \times RMSE_z \dots\dots\dots \text{Persamaan 3. 3}$$

Dimana:

LE90 = Linear Error 90%

RMSE_z = Root Mean Square Error pada posisi Z (Vertikal)

Dalam persamaan tersebut dibutuhkan nilai RMSE (Root-Mean-Square Error). RMSE adalah akar kuadrat dari rata-rata kuadrat selisih antara nilai koordinat data dan nilai koordinat dari sumber independent yang akurasiya lebih tinggi. Berikut ini adalah persamaan nilai RMSE.

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum(X_{peta} - X_{Aktual})^2 + (Y_{peta} - Y_{Aktual})^2}{n}} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3. 4}$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum(Z_{peta} - Z_{Aktual})^2}{n}} \dots\dots\dots \text{Persamaan 3. 5}$$

Dimana:

n = jumlah total pengecekan data

X = nilai koordinat pada sumbu X

Y = nilai koordinat pada sumbu Y

Z = nilai koordinat pada sumbu Z

Laporan uji akurasi ini dapat dibuat dalam format tabel seperti berikut (Peraturan BIG No. 15 Tahun 2014)

Tabel 3. 5 Ketelitian Geometri Peta Rupabumi Indonesia

No.	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,30	0,5	0,50

3.7 Pesawat Tanpa Awak

Pesawat tanpa awak, atau yang biasa disebut drone, merupakan sebuah instrumen yang dilengkapi dengan teknologi tertentu sehingga bisa diterbangkan tanpa awak. Drone merupakan salah satu alternatif teknologi baru untuk pemetaan khususnya pemotretan udara (Rini Meiarti, dkk. 2019).

Terdapat dua jenis drone yang kegunaannya disesuaikan dengan jenis misi dan kebutuhan output yang diperlukan. Dua jenis drone itu adalah multirotor dan fixed wing yang ditunjukkan pada Gambar 3. 18.



a) Multirotor



b)Fixed Wing

Gambar 3. 18 Multirotor dan Fixed Wing

Drone multirotor memiliki sistem angkat dengan motor listrik yang berjumlah 4 buah (quadrotor), 6 buah (hexarotor), dan 8 buah (ocotorotor). Propeller atau baling-baling yang berputar akan memberikan daya angkat pada drone untuk terbang secara vertikal (VTOL) dan mempertahankan posisinya secara stasioner di udara. Drone ini sangat baik untuk pengambilan gambar artistik ataupun gambar detail (BIM WIKA, 2021).

Fixed Wing merupakan drone dengan 1 buah sistem angkat baik motor listrik ataupun motor bahan bakar. Fixed Wing memiliki sistem kerja seperti pesawat dengan gaya angkat dihasilkan oleh sayap, sehingga Fixed Wing tidak dapat terbang secara stasioner. Namun, fixed wing memiliki durasi terbang lebih panjang daripada drone multirotor. Drone ini sangat baik untuk kegiatan pemetaan dan patroli (BIM WIKA, 2021).

Tabel 3. 6 Perbedaan Multirotor dan Fixed Wing

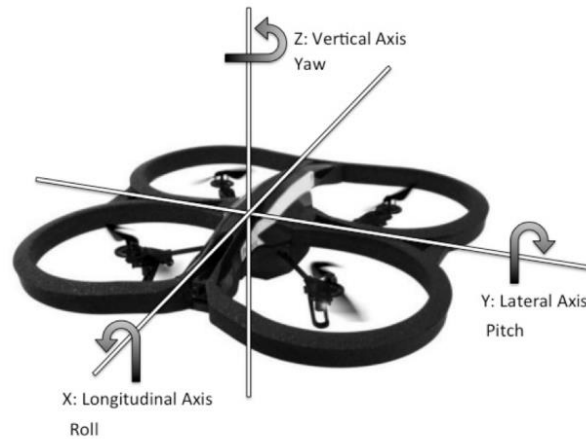
Parameter	Multirotor	Fixed Wing
Terbang	Dapat stasioner	Bergerak
Vertical Take Off & Landing	Ya	Tidak
Durasi Terbang	15-90 menit	1-4 jam
Jarak Tempuh	10-20 km	50-200 km
Jarak Komunikasi	Max 5 km	Max 25 km
Sistem Propulsi	Motor listrik	Motor listrik atau Motor Bahan Bakar
Kegunaan	Dokumentasi, sinematografi, inpeksi, 3D Remodelling	Pemetaan dan pengawasan patroli

Sumber: BIM WIKA, 2021

Drone dapat dikendalikan oleh sinyal dari transmitter dan receiver dengan komponen-komponen sebagai berikut (Hidayat dan Ronny, 2016):

1. Motor DC Brushless (BLDC) adalah motor DC (tegangan searah) yang akan aktif bila mendapat suplai tegangan searah.
2. Electronic Speed Controller (ESC) adalah perangkat pengatur kecepatan motor BLDC. ESC akan mengkonversi pulsa dari receiver ke dalam pengaturan daya untuk disuplai ke motor BLDC.

Drone memiliki enam derajat kebebasan pergerakan di udara meliputi sumbu longitudinal, vertikal, dan lateral (Hidayat dan Ronny, 2016) yang membentuk manuver *rolling (longitudinal)*, *pitching (lateral)*, dan *yawing (vertical)* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. 19.



Gambar 3. 19 Manuver Drone

Berdasarkan Peraturan BIG No. 1 Tahun 2020, drone yang dapat digunakan untuk survei pemotretan udara menggunakan kamera nonmetrik memiliki kemampuan menyusun jalur terbang, dilengkapi autopilot, dan sistem receiver GNSS tipe geodetik.

3.8 Kamera

Kualitas dan karakteristik hasil kamera tergantung pada dua hal yakni sensor kamera dan field of view. Sensor kamera merupakan teknologi yang dibawa kamera tersebut. Ada dua jenis sensor kamera yakni Charge Couple Device (CCD) dan CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Perbedaan CCD dengan CMOS adalah bahan yang digunakan dan transportasi informasi elektromagnetik. CMOS lebih familiar digunakan dalam kamera karena memiliki konsumsi daya yang lebih kecil, frekuensi gambar tinggi, dengan noise yang lebih rendah. Field of view adalah sudut pandang kamera, semakin besar nilainya maka akan semakin luas foto yang dapat ditangkap. Field of view pada kamera dapat dibagi menjadi tiga yakni: 1) normal angle dengan maksimum 75° , 2) wide angle dengan sudut $75^\circ - 100^\circ$, dan 3) super wide angle dengan sudut minimum 100° .

Secara harafiah, fotogrametri dapat dilakukan dengan dua jenis kamera, yakni kamera metrik dan kamera nonmetrik. Hasil fotogrametri akan memiliki kualitas yang berbeda dengan jenis kamera yang berbeda. Kamera metrik merupakan kamera yang memiliki tugas khusus untuk kebutuhan pemetaan dan memiliki resolusi citra yang baik. Kamera nonmetrik merupakan kamera yang umum digunakan oleh amatir ataupun profesional. Kualitas kamera nonmetrik

lebih mengutamakan kualitas visual daripada kualitas geometris (Avicenna, 2018). Penjelasan lebih lanjut untuk dua jenis kamera adalah sebagai berikut (Kafiar, 2020).

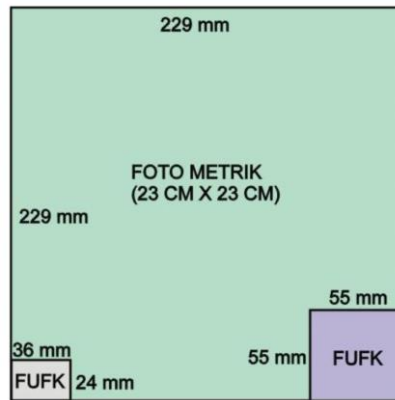
1. Kamera Metrik

Kamera yang dirancang khusus untuk fotogrametri dengan ukuran format 23cm x 23cm yang telah dikalibrasi secara menyeluruh. Nilai-nilai kalibrasi meliputi panjang fokus dan distorsi radial lensa. Format yang besar tersebut tentu membantu dalam pengambilan fotogrametri dengan area of interest yang luas. Kamera metrik memiliki tiga sudut bukaan (angle field of view) yakni (Avicenna, 2018): a) Normal angle dengan panjang fokus 210 mm, b) wide angel dengan panjang fokus 152 mm, dan c) super wide angle dengan panjang fokus 88 mm. Kamera metrik memiliki tanda fidusial yang sangat diperlukan untuk fotogrametri. Kamera metrik biasanya dirancang untuk panjang fokus tetap untuk objek tak terhingga yang akan mengalami kesulitan pada foto jarak dekat.

2. Kamera nonmetrik

Kamera nonmetrik merupakan kamera yang mengutamakan kualitas visual daripada kualitas geometris. Kamera ini tidak memiliki tanda fidusial. Penggunaannya pada fotogrametri kurang teliti karena panjang fokus dan parameter lainnya tidak diketahui secara pasti. Format ukuran kamera nonmetrik jauh lebih kecil daripada kamera metrik sekitar 24mm x 36mm. Tentunya, untuk lahan yang sama, kamera nonmetrik akan membutuhkan lebih banyak foto daripada kamera metrik. Namun, kamera nonmetrik memiliki keuntungan dalam efisiensi biaya pada area yang kecil. Kamera metrik sangat tidak ekonomis untuk area yang kecil. Perkembangan ilmu yang pesat pun telah mampu memodifikasi untuk mengurangi keterbatasan penggunaan kamera format kecil. Drone pada umumnya menggunakan kamera nonmetrik karena jauh lebih ringan daripada kamera metrik, mengingat kamera metrik memiliki berat minimal 1 kg. Penggunaan kamera nonmetrik dapat digunakan untuk

fotogrametri jarak dekat karena memiliki hasil mendekati kamera metrik meskipun terdapat kelemahan pada kecerahan yang tidak sesuai dengan kondisi aktual sehingga diperlukan penyesuaian (Dimas dan Teguh, 2013).



Gambar 3. 20 Ukuran Sensor Kamera

Berdasarkan Peraturan BIG No. 1 Tahun 2020, survei pemotretan udara menggunakan kamera nonmetrik memerlukan sistem kamera udara nonmetrik yang dilengkapi dengan sensor digital, lensa fixed, sistem posisi GNSS, perangkat lunak pengolah trajectory, dan sistem orientasi Inertial Measurement Unit (IMU) bersifat opsional.

3.9 Metode Perhitungan Volume

Perhitungan volume dapat dilakukan dengan berbagai metode. Dua metode yang sering digunakan dan menjadi dasar pengembangan perhitungan volume adalah metode depth area dan metode average end area. Metode depth area adalah metode yang sangat sederhana, dimana pendekatan perhitungan volume dilakukan dengan mengalikan luas permukaan dengan ketinggian baik galian maupun timbunan (Agustinus dkk, 2019). Metode ini umumnya digunakan untuk menghitung volume pada permukaan rata atau bentuk yang tipikal, seperti galian untuk saluran di tanah rata. Persamaan metode depth area adalah sebagai berikut.

$$V = A \times T \dots\dots\dots \text{Persamaan 3. 6}$$

Dimana:

- V = Volume (m³)
- A = Luas permukaan tanah (m²)
- T = Ketinggian (m)

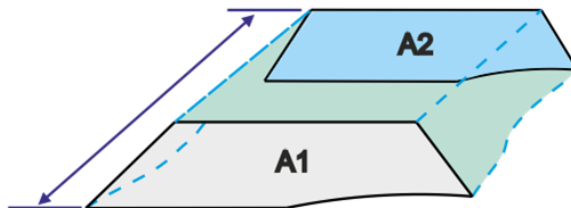
Metode average end area atau yang sering disebut metode cross section memiliki pendekatan secara irisan vertikal yang dipotong secara teratur (interval tertentu). Volume merupakan hasil perkalian dari jarak atau interval terhadap rata-rata luasan hasil potongan (Agustinus dkk, 2019). Metode ini lebih baik daripada metode depth area, karena dapat melakukan perhitungan yang lebih akurat dan teliti untuk permukaan yang tidak rata atau bentuk tidak beraturan, seperti perhitungan volume galian di gunung atau lereng. Persamaan metode average end area adalah sebagai berikut.

$$V = D \times \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \dots\dots\dots \text{Persamaan 3. 7}$$

Dimana:

- V = Volume (m³)
- A = Luas pada irisan (m²)
- T = Jarak / interval (m)

Penelitian terkait akurasi perhitungan volume dengan variabel interval telah dilakukan. Hasil penelitian tersebut adalah metode average end area memiliki hasil akurasi yang lebih tinggi dnegan interval kritis sebesar 30 m dengan error 1,16% pada area pegunungan (Jian-chuan dan Long-jian, 2013). Hal ini berarti perhitungan volume dengan metode average end area memiliki akurasi yang tinggi dan akan semakin baik dengan interval yang lebih kecil.



Gambar 3. 21 Ilustrasi Metode Average End Area

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Uraian Umum

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode survei pemetaan udara. Pengembangan metode survei pemetaan udara dilakukan untuk memperoleh metode yang mudah, cepat, dan hemat biaya. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan program open-source dan peralatan (komputer dan drone) yang tersedia di situs. Metode survei pemetaan udara sebaiknya dilakukan pada kondisi eksisting Tambang (hutan berbukit-gunung). Metode ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan survey khususnya persiapan material batu Proyek Bendungan Tugu Trenggalek.

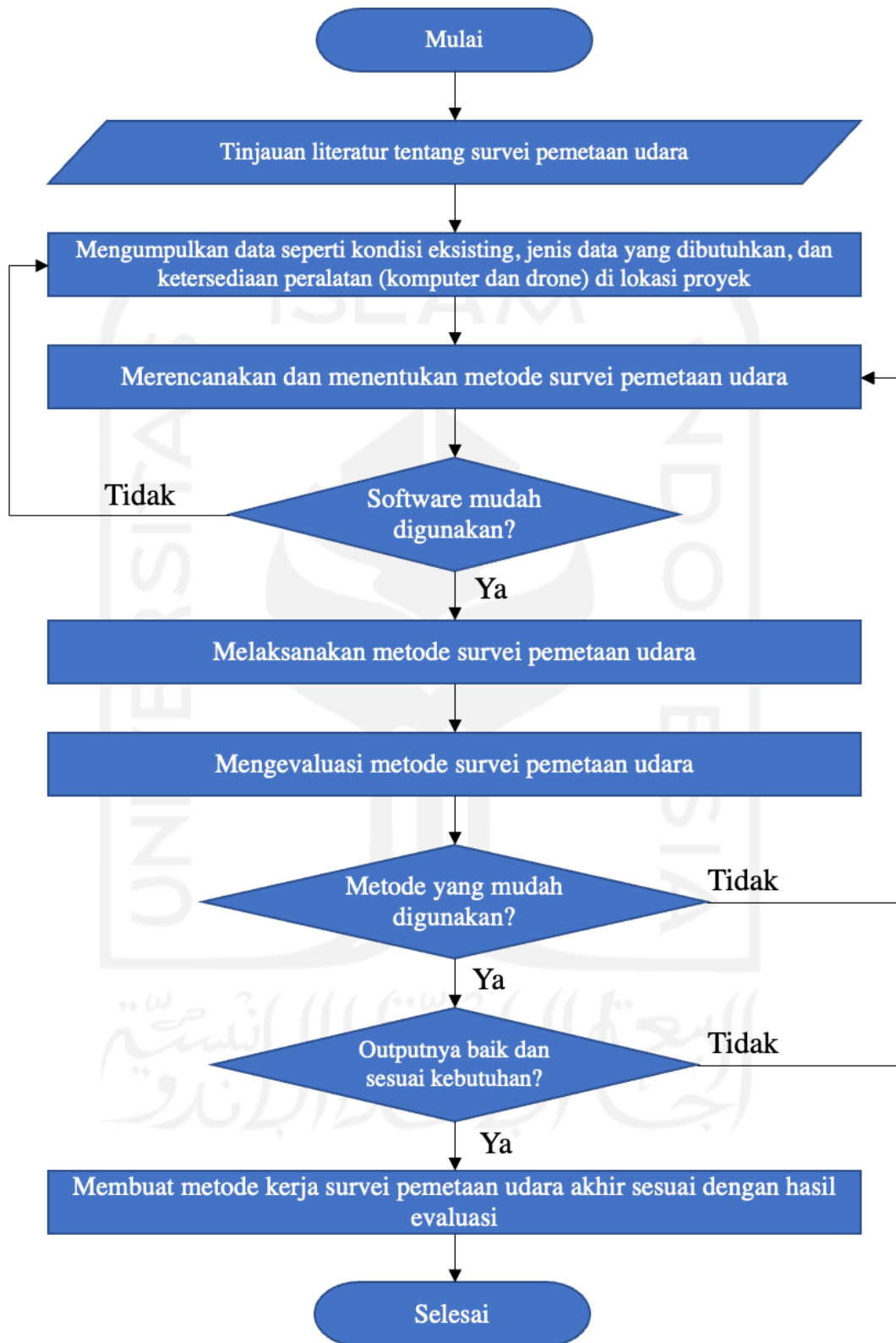
4.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dan komparatif. Metode deskriptif adalah metode yang menggambarkan suatu fenomena secara faktual dan akurat. Metode komparatif adalah metode yang dilakukan dengan membandingkan dua situasi atau objek. Kedua metode ini digunakan untuk mendeskripsikan dan membandingkan teknik pemetaan menggunakan drone.

4.3 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini membutuhkan data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif dalam penelitian ini berupa foto-geotagging dan spesifikasi alat, sedangkan data kualitatif berupa foto, video, dan gambar peta. Data kuantitatif diperoleh melalui studi dokumen milik penyedia alat dan perangkat lunak. Data kualitatif diperoleh melalui membaca literatur.

4.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan pada **Gambar 4. 1** berikut ini pembahasan terkait diagram alir penelitian tersebut.

1. Melakukan tinjauan literatur tentang survei pemetaan dengan drone baik melalui buku, jurnal nasional dan internasional, buku panduan dari pengembang program komputer, dan video tutorial.
2. Mengumpulkan data-data yang diperlukan oleh tim proyek. Data-data yang dikumpulkan berupa kondisi eksisting Quarry, peralatan dan perlengkapan yang tersedia, peraturan dan prosedur yang berlaku, kebutuhan yang harus dipenuhi, dan harapan stakeholder.
3. Membuat rencana metode kerja dan menentukan metode kerja yang akan digunakan untuk pemetaan dengan drone berdasarkan pada tinjauan literatur dan data-data yang telah dikumpulkan.
4. Melakukan review apakah program komputer open-source yang digunakan mudah digunakan atau tidak. Review dapat dilakukan dengan bantuan datasheets dari pengembang program komputer. Jika program komputer sulit digunakan atau fitur terbatas, maka tinjauan literatur perlu dilakukan kembali.
5. Pelaksanaan metode survei dilakukan sesuai dengan metode kerja yang telah ditentukan.
6. Evaluasi terkait metode survei pemetaan dengan drone perlu dilakukan, untuk mengetahui mengembangkan dan memperbaiki kelemahan pada metode survei yang telah dikembangkan. Evaluasi terkait kemudahan metode kerja dan output yang dihasilkan apakah sudah sesuai dengan kebutuhan dan harapan stakeholder.
7. Membuat metode kerja survei pemetaan dengan drone menggunakan program komputer open-source berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis Metode Pelaksanaan Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Open-source

Dalam melakukan pemetaan dengan menggunakan drone secara mudah, cepat, dan baik hasilnya, diperlukan analisis terhadap empat aspek berikut ini:

1. Hasil output yang diinginkan
2. Teknis pelaksanaan
3. Program Komputer
4. Instrumen yang digunakan

Berikut ini analisis setiap aspek yang ada untuk pekerjaan pemetaan dengan menggunakan drone.

5.1.1 Analisis Output yang Dibutuhkan

Berdasarkan data dan pengalaman penulis bekerja di Proyek Bendungan Tugu di Kab. Trenggalek (MYC) (Tahap II), output yang dibutuhkan dalam pemetaan adalah

1. Peta 2D (frekuensi: Tinggi), dibutuhkan untuk pengukuran jarak dan luasan baik untuk data perencanaan pengambilan material timbunan, sosialisasi warga terdampak blasting, pengambilan keputusan dalam metode kerja dan perencanaan.
2. Visualisasi 3D (frekuensi: jarang), dibutuhkan untuk mempermudah visualisasi kondisi di lapangan.
3. Kontur (frekuensi: sedang), dibutuhkan untuk mengambil keputusan dan perhitungan volume dalam perencanaan.

Berdasarkan data-data tersebut, diperlukan analisis tipe dokumen (file type) yang akan digunakan sebagai output. Tujuan penentuan tipe file adalah untuk memastikan bahwa tipe file yang akan digunakan merupakan tipe file yang dikenal khalayak umum dan didukung berbagai software yang ada. Berikut ini adalah analisis tipe file yang ada agar sesuai dengan output yang diinginkan.

Tabel 5. 1 Analisis Tipe Dokumen untuk Pekerjaan Pemetaan dengan Drone

Jenis File	Tipe File	Output	Keterangan
Dokumen	Photoshop (PDF, PDP)	Dokumen dalam bentuk teks	Dapat digunakan dalam pemetaan
	Docx	Dokumen dalam bentuk teks	Dapat digunakan dalam pemetaan
	Xlsx	Dokumen dalam bentuk perhitungan angka	Dapat digunakan dalam perhitungan hasil pemetaan dan perencanaan
File 2D	JPEG	Gambar	Digunakan untuk menampilkan input dan menampilkan foto
	JPEG 2000	Gambar terkompresi	Tidak digunakan dalam pemetaan
	JPEG Stereo	Gambar terkompresi	Tidak digunakan dalam pemetaan
	Photoshop (PDF, PDP)	Dokumen	Dapat digunakan dalam pemetaan
	RAW	Gambar (untuk editing)	Tidak didukung software
	DCM	Gambar (untuk kedokteran)	Tidak digunakan dalam pemetaan
	BMP	Gambar	Tidak didukung software
	PNG	Gambar	Tidak didukung software
	PSB	Gambar (berukuran besar; > 2GB)	Tidak digunakan dalam pemetaan

Jenis File	Tipe File	Output	Keterangan
File 2D	GIF	Gambar (animasi)	Tidak digunakan dalam pemetaan
	DEM	Raster	Digunakan dalam pemetaan untuk menyimpan data kontur
	GRD	Grid (raster)	Digunakan dalam pemetaan untuk menyimpan data kontur dalam bentuk grid
	DWG dan DXF	File format untuk AutoCAD	Digunakan untuk gambar-gambar teknik
	SHP	Tipe file untuk pemetaan	Didukung oleh banyak software
File 3D	STL		Didukung oleh banyak software
	OBJ		Didukung oleh banyak software
	3DS		Didukung oleh software 3ds

Dengan demikian, dapat disimpulkan tipe file yang akan digunakan untuk hasil output adalah sebagai berikut:

1. Dokumen: PDF, docx, dan xlsx
2. File 2D: JPEG, DEM, GRD, DWG, DXF, SHP, dan KML
3. File 3D: STL, OBJ, 3DS

5.1.2 Analisis Program Komputer Open-source

Ada berbagai macam software yang dapat digunakan dalam pemetaan drone. Untuk menentukan software mana yang akan digunakan, terdapat beberapa aspek yang akan dinilai yakni:

1. Harga
2. Kemudahan diakses dan diinstal
3. Sistem pengerjaan
4. Mendukung banyak tipe dokumen

Berikut ini adalah hasil analisis berbagai software yang ada untuk mapping dengan drone.

Tabel 5. 2 Analisis Pemilihan Program Komputer untuk Pekerjaan Pemetaan dengan Drone

Nama Software	Jenis Pekerjaan	Aspek			
		Harga	Kemudahan penggunaan	Sistem pengerjaan	Tipe dokumen yang didukung
Pix4D Capture	Pengambilan gambar	Free	Mudah	Handphone	jpeg
Precision flight	Pengambilan gambar	Berbayar	Mudah	Handphone	jpeg
DroneDeploy	Pengambilan gambar, pemetaan, dan photogrammetry	\$83/bulan (Pro) dan \$250/bulan (Business)	Mudah	Sistem cloud	Jpeg, dem, shp, fbx
Precisionmapper	Pemetaan dan photogrammetry	Berbayar	Sangat mudah	Sistem cloud	Jpeg, kml, dem, obj, csv
Dronemapper	Pemetaan	Gratis	Sangat mudah	Komputer lokal	kml, dem, ply
ARCGIS	Pengolahan pemetaan	\$1500	Mudah	Komputer lokal	Shp, jpg, dem, tiff
QGIS	Pengolahan pemetaan	Gratis	Sangat mudah	Komputer lokal	Shp, jpg, dem, tiff
Meshroom	Photogrammetry	Gratis	Sangat mudah	Komputer lokal	Obj, ply

Program yang dipilih adalah program yang mudah digunakan, gratis, dan dikerjakan menggunakan komputer kantor. Berdasarkan hasil analisis tersebut maka didapatkan software-software yang akan digunakan sebagai berikut:

1. Pengambilan foto (trajectory): Pix4D Capture
2. Pengolahan gambar menjadi peta: Dronemapper
3. Pengolahan peta: QGIS dan Google Earth Pro
4. Photogrammetry: Meshroom
5. Program pendukung lainnya: AutoCAD dan Microsoft Office



Pix4Dcapture Meshroom DroneMapper QGIS Google Earth

Gambar 5. 1 Ikon Program Komputer Gratis yang Akan Digunakan

Pemilihan program komputer ini sesuai dengan Peraturan BIG No. 1 Tahun 2020 bahwa program komputer harus mampu

1. Menggunakan perangkat lunak pengolah trajectory
2. Menyusun jalur terbang
3. Berkomunikasi dengan sistem autopilot pesawat udara tanpa awak
4. Mengirimkan perintah ke pesawat tanpa awak
5. Mengolah foto udara menjadi ortofoto
6. Membentuk mosaik ortofoto dan tiling
7. Membentuk DSM dan DTM

5.1.3 Analisis Instrumen

Berikut ini adalah instrument yang dapat digunakan untuk mendukung pekerjaan mapping dengan drone yang disesuaikan dengan *software* yang digunakan.

1. Drone

Pemetaan udara yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan drone multirotor. Hal ini dikarenakan drone multirotor memiliki keunggulan yakni:

- a) Drone multirotor merupakan drone multifungsi yang dapat digunakan dalam berbagai kebutuhan seperti inspeksi, foto dokumentasi, dan pemetaan
- b) Biaya lebih murah daripada fixed wing.
- c) Human risk free dan pengoperasian murah. Drone multirotor memiliki rancangan untuk menyelesaikan tugas-tugas yang tergolong dalam *Dull*, *Dangerous*, dan *Dirty*. Pengoperasiannya pun lebih mudah daripada fixed wing, dimana fixed wing memerlukan keahlian khusus baik saat

take off maupun landing. Kemampuan terbang stasioner pada drone multirotor pun memberikan “waktu” untuk pilot dalam mengambil keputusan dalam manuver.

Berikut ini drone yang dapat digunakan untuk pemetaan.

- Phantom 4
- Phantom 4 Pro
- Mavic pro
- Mavic pro 2
- Mavic 2 zoom

Dalam penelitian ini, drone DJI Phantom 4 dipilih sebagai instrumen untuk melakukan pengambilan foto udara. Hal ini dikarenakan dengan biaya relatif murah, hasil foto yang didapat baik karena sesuai pengalaman drone Phantom 4 lebih stabil di angin yang kencang. Berikut ini adalah spesifikasi drone DJI Phantom 4.

Tabel 5. 3 Spesifikasi DJI Phantom 4

Pesawat	
Berat (Baterai dan propeler termasuk)	1380 g
Ukuran diagonal	350 mm
Kecepatan maksimum	20 m/s
Ketinggian maksimum di atas muka laut	6000 m
Maksimum resisten kecepatan angin	10 m/s
Durasi terbang maksimum	± 28 menit
Suhu operasi	0° – 40°C
Satellite positioning systems	GPS/GLONASS
Akurasi hover	Vertikal: ±0,5 m Horizontal: ±1,5m
Jangkauan terbang	±3,5 km (bebas interferensi)
Sensor vision	Forward vision system Downward vision system
Gimbal	
Stabilization	3-axis (pitch, roll, yaw)
Jangkauan kontrol	Pitch -90° – 30°
Jangkauan getar angular	±0,02°

Kamera	
Sensor	1/2.3" CMOS
Pixel efektif	12,4 M
Lensa	FOV 94° 20 mm (setara format 35mm)
Ukuran foto	4000 x 3000 px
Sistem file yang disupport	FAT32 (≤32 GB); exFAT (>32 GB)
Format foto	JPEG dan DNG (RAW)
Kartu SD	Micro SD max 64 GB Class 10



Gambar 5. 2 Drone DJI Phantom 4

Berdasarkan spesifikasi di atas, pemilihan drone telah memenuhi persyaratan Peraturan BIG No. 1 Tahun 2020 yakni drone memiliki sistem GNSS tipe geodetik dengan signal tracking minimal GPS, memiliki sensor digital, dan lensa fixed.

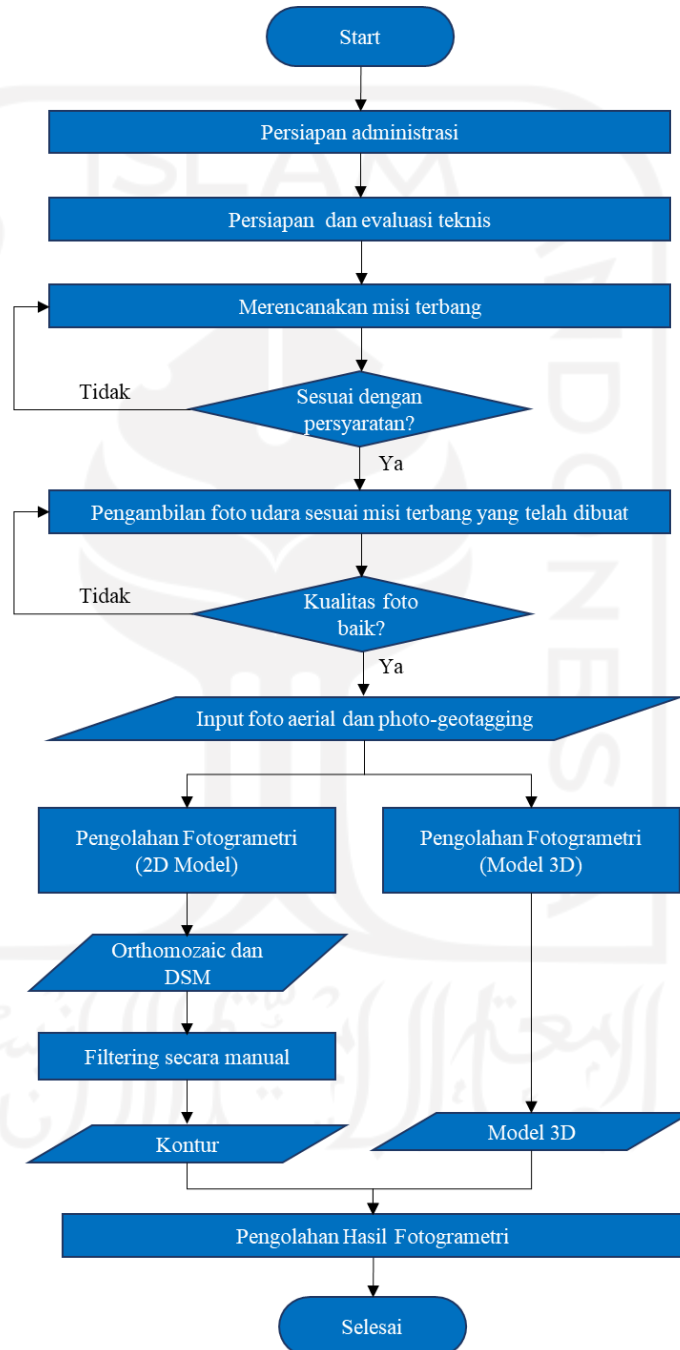
2. Komputer

Spesifikasi minimum computer yang mampu digunakan untuk drone mapping adalah:

- Windows 7/8/10 64 bit
- CPU intel i5
- Nvidia GTX 1650
- RAM 16 GB
- HDD (memori kosong minimal 50 GB)

5.1.4 Analisis Metode Pelaksanaan

Berdasarkan hasil analisis tipe dokumen (output) yang dibutuhkan, program open-source yang dipilih, dan instrumen yang digunakan, maka dapat dikembangkan metode pelaksanaan pemetaan dengan drone yang ditampilkan pada Gambar 5. 3.



Gambar 5. 3 Diagram Alir Pengembangan Metode Pemetaan Drone Menggunakan Program Open-source

Berdasarkan penjelasan pada Gambar 5. 3, dapat dijelaskan untuk rangkaian kegiatan pelaksanaan pemetaan dengan drone menggunakan open-source adalah sebagai berikut:

1. Persiapan
 - a. Perencanaan dan penjadwalan yang disusun dalam *Request of Work*. *Request of Work* berisi metode kerja, jumlah tenaga kerja, alat instrument yang akan digunakan, program komputer open-source yang digunakan, perencanaan misi terbang (mengacu pada area of interest, GSD, dan overlap-sidelap), dan *job safety analysis*.
 - b. Persiapan teknis alat lat yang meliputi pengujian system pesawat tanpa awak yang akan digunakan, kalibrasi alat, serta persiapan teknis lainnya.
2. Akuisisi Foto Udara
 - a. Pengambilan data foto udara yang mengacu pada perencanaan misi terbang yang telah disusun dalam *Request of Work*.
 - b. Pengujian *quality control* terhadap foto udara yang telah diambil untuk menjamin foto udara layak dan sesuai standar kualitas yang berlaku. Jika hasil foto kurang baik (terdapat kabut, blur, exposure terlalu tinggi), maka tim survei perlu mengulang misi penerbangan untuk mendapatkan foto yang berkualitas.
3. Pengolahan Foto Udara dalam Fotogrametri
 - a. Pengolahan foto udara dilakukan pada program open-source yang telah ditentukan, yakni DroneMapper untuk pemetaan 2D dan Meshroom untuk pemetaan 3D.
 - b. Pengolahan foto udara meliputi prosedur alinyemen dan texturing untuk menghasilkan Digital Surface Model, peta orthomozaic, dan model 3D.
 - c. Filtering pun harus dilakukan pada tahap ini, untuk mengubah Digital Surface Model menjadi Digital Terrain Model. Hal ini dapat dilakukan dengan menentukan Area of Interest yang akan dijadikan acuan filtering pada Digital Surface Model.

4. Pengolahan Hasil Fotogrametri
 - a. Pengolahan hasil fotogrametri dapat dilakukan dengan cara mengkonversi Digital Terrain Model yang dibuat menjadi peta kontur, yang selanjutnya dapat digunakan untuk pengukuran panjang, luas, dan volume.
 - b. Peta orthomosaic dan model 3D dapat digunakan untuk melihat kenampakan alam di lokasi yang telah dipetakan.
 - c. Penyajian dan pengemasan data hasil output dilakukan pada tahap ini. Hal-hal yang dilakukan meliputi pemotongan peta sesuai dengan batas area of interest (cropping), konversi format output ke ekstensi lain yang dibutuhkan (exporting), dan penyajian dalam layout pemetaan sesuai dengan ketentuan yang berlaku (map layouting).

5.2 Analisis Pemanfaatan Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source

5.2.1 Pemetaan dengan Drone sesuai Metode yang Telah Dikembangkan

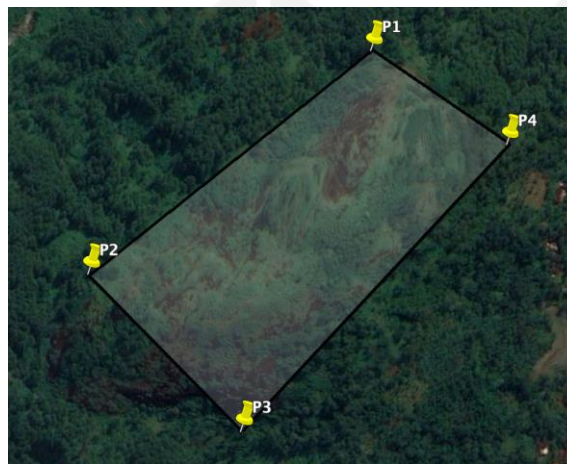
Subbab ini akan membahas teknis pengambilan dan pengolahan data untuk menghasilkan output dari pemetaan dengan drone. Sesuai dengan pembahasan pada subbab 5.1.4 Analisis Metode Pelaksanaan, pemetaan dengan drone dibagi menjadi beberapa tahap yakni sebagai berikut.

5.2.1.1 Persiapan

Pada tahap ini, tim proyek melakukan persiapan administrasi terkait Request for Work. Berikut ini intisari dalam Request for Work mengenai pemetaan dengan drone untuk persiapan di Quarry

Tabel 5. 4 Resume Request of Work

No.	Komponen	Uraian
1	Lokasi	Quarry (Gunung Lojeh)
2	Koordinat Lokasi	P1 (562990.309,9109759.593) P2 (562627.830,9109472.961) P3 (562822.740,9109274.523) P4 (563164.934,9109637.884)
3	Tanggal Pelaksanaan	5 Maret 2019
4	Waktu Pelaksanaan	08.00 – 11.00 dan 14.00 – 16.00
5	Tinggi terbang	100 m
6	Pilot Drone	Cornellius Oliver
7	Helper	Shodiq Ashari
8	Teknik Komunikasi	Radio HT Frekuensi 145,50 with antena RH-75B



Gambar 5. 4 Area of Interest (Quarry)

5.2.1.2 Akuisisi Foto Udara

Pada tahap ini, terdapat dua kegiatan yang akan dilaksanakan yakni pengambilan foto udara dan pengecekan data foto udara dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Misi terbang mencakup area buffer sehingga foto terluar diperoleh dengan baik sebagai kontrol terhadap kawasan di luar Area of Interest dengan program komputer DroneMapper (lihat 5.1.2 Analisis Program Komputer Open-source)
2. Misi terbang memiliki overlap sebesar 80% dan sidalap 60% (lihat subbab 3.4.3 Parameter Utama Pemetaan dengan Drone)

3. Tinggi terbang harus memenuhi syarat nilai GSD (lihat 3.6). Tinggi terbang pada misi ini sesuai Request for Work adalah 100 m dengan nilai GSD 4,38 cm/px.
4. Estimasi durasi penerbangan 15 menit dengan daya tahan baterai drone sebesar 28 menit (sesuai spesifikasi).
5. Waktu pengambilan foto udara antara jam 08.00 – 11.00 dan 14.00 – 16.00 sesuai Request for Work. Hal ini perlu menjadi perhatian khusus mengingat manajemen blasting yang diterapkan adalah peledakan dilakukan pada jam 12.00.
6. Melakukan kalibrasi GPS, Gimbal, dan IMU pada drone.
7. Pengecekan data foto udara harus dilakukan di lokasi secara langsung. Hal ini dilakukan untuk menjamin bahwa foto udara yang diambil layak untuk diolah menjadi pemetaan. Foto dapat dinilai tidak layak jika kualitas fotografi rendah akibat atmosfer (berkabut) atau terdapat foto yang tidak fokus (shakky dan blur).
8. Pengambilan foto kembali dapat dilakukan jika memungkinkan.



Gambar 5. 5 Misi Terbang Mencakup Area Buffer Terluar

5.2.1.3 Pengolahan Foto Udara dalam Fotogrametri

Pada tahap ini dilakukan pengelolaan dan pengolahan data. Pengelolaan data terkait nomenklatur data, pengelolaan folder berdasarkan jenis data, dan pembuatan daftar data yang terkontrol oleh Pusat Pengendali Dokumen. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mempermudah proses pengolahan keseluruhan data. Kemudian pengolahan data sendiri terbagi menjadi beberapa tahap yakni:

1. Pembuatan peta orthomosaic dan Digital Surface Model dengan program komputer open-source Dronemapper.

2. Pembuatan Model 3D dengan Meshroom.
3. Hasil output dapat diimport ke dalam program QGIS dan Google Earth.

5.2.1.4 Pengolahan Hasil Fotogrametri

Pengolahan hasil fotogrametri dilakukan dengan program QGIS. Pengolahan terkait perhitungan volume, pembuatan long-section dan cross-section, dan visualisasi pemetaan. Hal ini tentu diperlukan dalam pengambilan keputusan tim proyek. Untuk penjelasan lebih lanjut dapat dilihat pada subbab 5.2.2 Manajemen Blasting Quarry dan Hauling Road dan 5.2.3 Ketersediaan Volume Material di Quarry.

5.2.1.5 Kendala Pemetaan dengan Drone

Pemetaan dengan drone yang dilakukan di Quarry mengalami beberapa kendala. Kendala yang paling sering terjadi adalah sinyal drone yang sering terputus padahal jarak yang ada tidak melebihi spesifikasi drone. Tim sudah melakukan pemeriksaan terkait drone yang mungkin mengalami malfungsi. Namun, tidak ditemukan adanya kerusakan pada drone karena drone hanya mengalami kehilangan sinyal di lokasi Quarry. Sinyal drone yang sering terputus hanya terjadi di lokasi Quarry dengan ketinggian yang lebih rendah daripada Quarry (saat landing dan take off). Adanya interferensi akibat lapisan magnet dan gelombang elektromagnetik dapat membuat drone mengalami hilang kendali akibat adanya (Jirigalatu, 2021). Mengingat struktur Quarry hampir seluruhnya material Andesit yang bersifat paramagnetik, kemungkinan terjadinya anomali medan magnet yang mengakibatkan interferensi. Penelitian mengenai anomali medan magnet dengan adanya material andesit pernah dilakukan di Desa Awang Bangkal Kalimantan Selatan (Ayu, dkk., 2019). Meskipun demikian, penelitian terkait interferensi drone dengan adanya material Andesit belum pernah dilakukan, tetapi hal ini dapat dijadikan sebagai peringatan terkait pemetaan dengan drone. Hal lain yang menjadi kendala adalah drone seringkali diganggu oleh burung elang, sehingga penerbangan sering dihentikan sementara.

5.2.2 Manajemen Blasting Quarry dan Hauling Road

Perencanaan peledakan menuju Quarry memang merupakan tugas dari konsultan. Namun, saat ini perencanaan tersebut belum ada. Hal ini dikarenakan masalah teknis di lapangan yakni pencarian lokasi material batu yang memiliki mutu sesuai dengan spesifikasi. Pada bulan Februari 2019, ditentukan bahwa material di gunung Lojeh adalah material yang akan diambil karena memenuhi spesifikasi. Untuk melakukan pengambilan diperlukan pembangunan jalan menuju quarry.

Perencanaan jalan yang belum ada tentu menghambat progress proyek. Dengan demikian, dilakukan desain perencanaan jalan oleh Kontraktor agar progress tidak terhambat dan timbunan dapat dilakukan sesuai rencana yakni pertengahan Mei 2019.

Untuk melakukan perencanaan jalan, dibutuhkan data pengukuran tanah. Namun, untuk melakukan pengukuran jalan dengan theodolite akan sangat sulit dan membutuhkan waktu yang lama. Hal ini disebabkan kondisi atau medan terjal dan rawan bahaya serangan binatang. Keputusan yang diambil adalah melakukan pengukuran tanah dengan GPS (alat ukur Garmin) dan drone.

Pemetaan dengan drone dilakukan untuk memahami dan mengetahui data ukur yang ada di kondisi lapangan. Mengingat perencanaan trase jalan perlu data-data elevasi dan koordinat untuk mengetahui kelandaian, sehingga pemetaan dengan drone sangat baik dilakukan karena akan memberikan data-data tersebut. Dengan demikian, perencana dapat mengerti kenampakan alam yang ada di sekitar gunung Lojeh, memperkirakan daerah yang akan dibuat trase jalan, dan memastikan trase jalan mudah dikerjakan dan digunakan dengan baik nantinya.

Pemetaan dilakukan sesuai dengan hasil analisis subbab 5.1 Analisis Metode Pelaksanaan Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Open-source. Hasil pemetaan yang dilakukan dengan menggunakan Dronemapper digunakan untuk melakukan perencanaan trase jalan dan manajemen peledakan di Quarry. Visualisasi 3D sangat berguna dalam memperlihatkan kelandaian dan kondisi di lapangan. Pemetaan berfungsi untuk mengetahui kelandaian dan memperkirakan luasan yang akan dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan material untuk timbunan bendungan.

Sebelum melakukan pekerjaan jalan, terlebih dahulu dilakukan perencanaan metode pelaksanaan blasting dan perencanaan trase jalan. Pelaksanaan blasting dibuat sedemikian rupa agar dapat meminimalisasi kecelakaan kerja terhadap lingkungan sekitar. Oleh karena itu, dibuatlah perencanaan peledakan seperti yang ditampilkan Gambar 5. 6.



Gambar 5. 6 Skema Perencanaan Peledakan di Gunung Lojeh

Perencanaan tersebut dilakukan sedemikian rupa, supaya pemukiman di Desa Suko Kidul aman dari flyrock akibat Blasting. Di sisi lain, kumpulan flyrock akan terkumpul di daerah jalan. Dengan demikian, pekerjaan jalan akan efisien.

Setelah perencanaan trase jalan dibuat, maka pekerjaan selanjutnya adalah melakukan perhitungan apakah kelayakan trase jalan memungkinkan untuk dibuat jalan. Untuk melakukan perhitungan tersebut, dilakukan pembuatan potongan memanjang trase jalan yang ada dengan menggunakan peta dari drone.

Berdasarkan hasil tersebut, perencanaan trase jalan tidak dapat dilakukan karena ada jurang yang terlewati oleh trase jalan seperti yang ditampilkan oleh Gambar 5. 7.



Gambar 5. 7 Kelandaian Ekstrim di Sekitar Kaki Gunung Lojeh



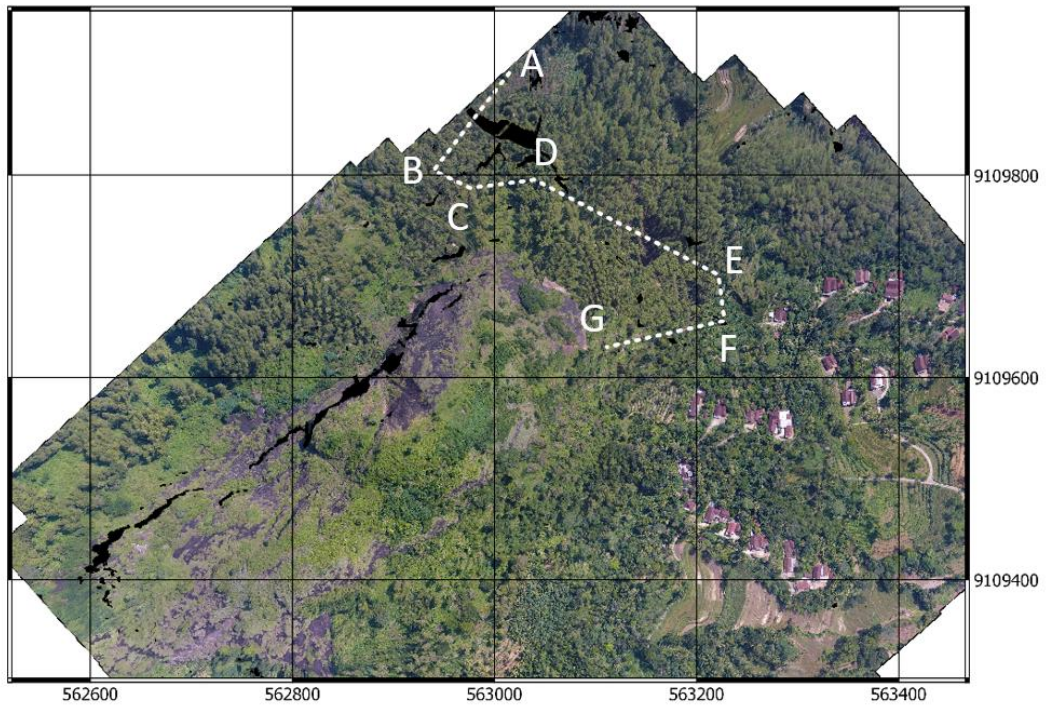
Gambar 5. 8 Grafik Trase Jalan Menuju Gunung Lojeh

Oleh karena itu, dibuatlah perencanaan yang baru sebagai berikut.

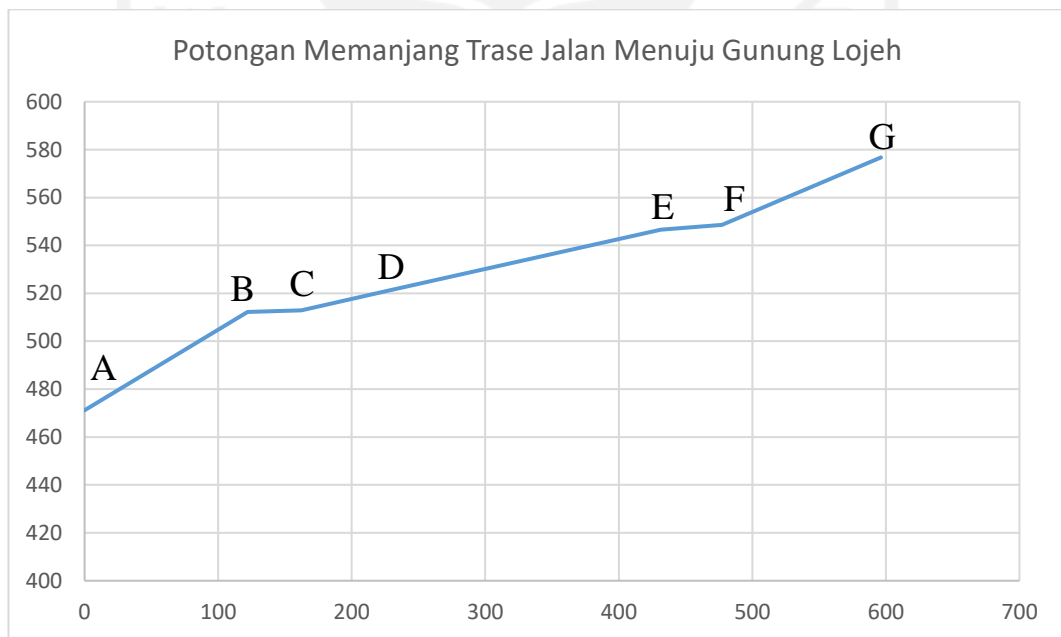


Gambar 5. 9 Skema Perencanaan Peledakan Alternatif Gunung Lojeh

Perencanaan peledakan alternatif pada Gambar 5. 9 merupakan perencanaan yang dibuat dengan mengamati visualisasi 3D. Pengamatan tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui daerah-daerah sekitar Gunung Lojeh yang relatif landai. Perencanaan trase jalan menuju Gunung Lojeh pun dibuat dengan metode trial and error dari pemetaan dengan drone. Selain trase jalan, perencanaan alternatif yang dibuat sedemikian rupa supaya tidak membahayakan penduduk sekitar. Berikut ini adalah informasi mengenai kelandaian trase jalan menuju quarry yang ditunjukkan dalam Gambar 5. 10, Gambar 5. 11, dan Tabel 5. 5.



Gambar 5. 10 Rencana Trase Jalan Menuju Gunung Lojeh



Gambar 5. 11 Potongan Memanjang Trase Jalan Menuju Gunung Lojeh

Tabel 5. 5 Kelandaian Rencana Trase Jalan Menuju Quarry

Titik	Jarak	Elevasi	Kelandaian (%)	Derajat
A	0	471.174988		
B	122.0581	512.245605	33.65	18.59728
C	162.2995	512.924438	1.69	0.96643
D	226.7101	521.070679	12.65	7.208142
E	431.4286	546.527649	12.44	7.088406
F	477.1798	548.564209	4.45	2.548768
G	596.28	576.736572	23.65	13.30832

Berdasarkan Tabel 5. 5, trase jalan relatif lebih landai, meskipun terdapat kelandaian yang sangat tinggi 54,92%. Kelandaian tersebut merupakan kelemahan dari pemetaan dengan drone karena memodelkan ketinggian berdasarkan elevasi permukaan. Sehingga, hasil elevasi menjadi kurang baik. Permasalahan tersebut tidak akan menghambat pekerjaan jalan menuju Quarry. Hal ini dikarenakan, elevasi dari setiap titik akan dikoreksi oleh GPS (Garmin). Selain itu, GPS (Garmin) akan digunakan untuk membantu stake out trase jalan di lapangan dengan metode tracking.

Permasalahan yang muncul adalah jarak area peledakan dengan perumahan Desa Suko Kidul menjadi lebih dekat. Oleh karena itu, nantinya masyarakat di pemukiman Desa Suko Kidul akan dievakuasi oleh tim divisi QSHE.

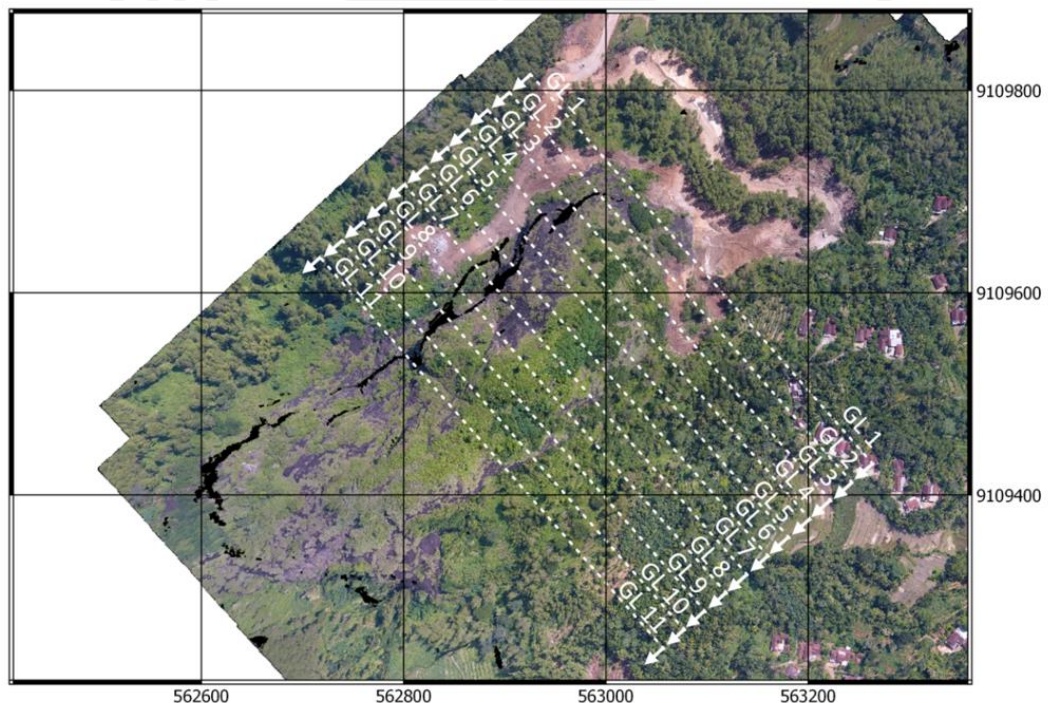
5.2.3 Ketersediaan Volume Material di Quarry

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, Gunung Lojeh merupakan Quarry. Mengingat bahwa pekerjaan timbunan merupakan pekerjaan di jalur kritis (harus segera dilakukan pertengahan Mei dan tidak boleh di cuaca hujan), maka diperlukan informasi mengenai perkiraan volume Gunung Lojeh. Informasi ini diperlukan untuk pengambilan keputusan apakah diperlukan lokasi Quarry yang lain jika kebutuhan volume material tidak tercukupi. Berikut ini adalah kebutuhan volume material dari Quarry yang ditunjukkan di Tabel 5. 6.

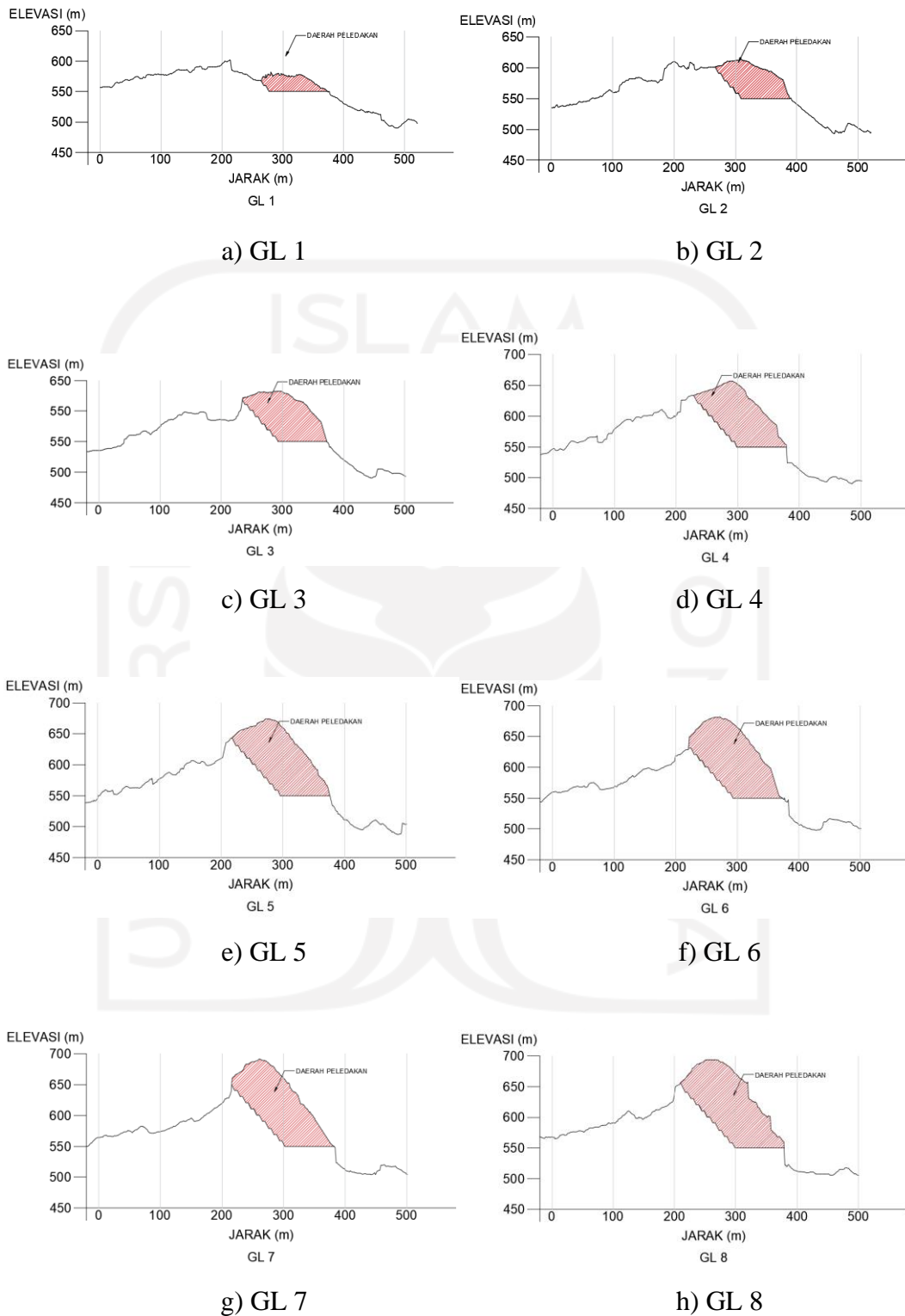
Tabel 5. 6 Kebutuhan Material Timbunan dari Quarry Berdasarkan MC 0

No. Item	Nama Item	Volume (m ³)
Main dam		
2.3.1.f	Timbunan Batu / Zona 5 dari Quarry hasil peledakan	1,379,599.80
2.3.1.g	Rip - rap / Zona 6	421,214,78
Cofferdam		
2.3.1.c	Timbunan Batu / Zona 5 dari Quarry	36,158.40
2.3.1.a	Rip-rap/Zona 6	21,405.95
Total		1,798,226.92

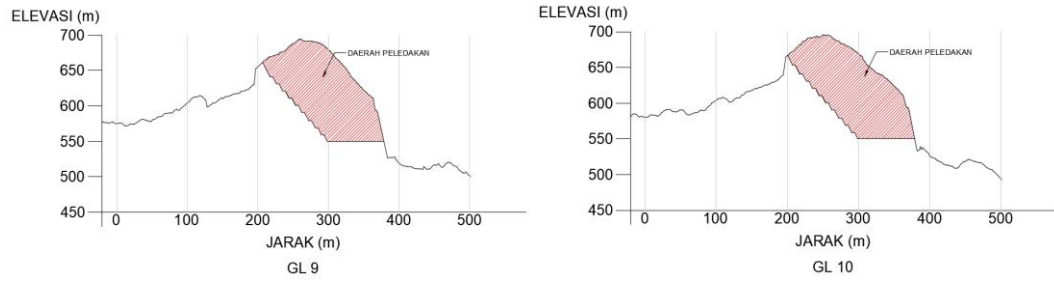
Perhitungan volume material di Gunung Lojeh dilakukan dengan pendekatan metode average end area (lihat 3.9 Metode Perhitungan Volume). Pendekatan tersebut memerlukan irisan dengan interval 27,5 m (maksimum 30 m) seperti pada Gambar 5. 12 dan Gambar 5. 13.



Gambar 5. 12 Denah Potongan untuk Perhitungan Volume Gunung Lojeh

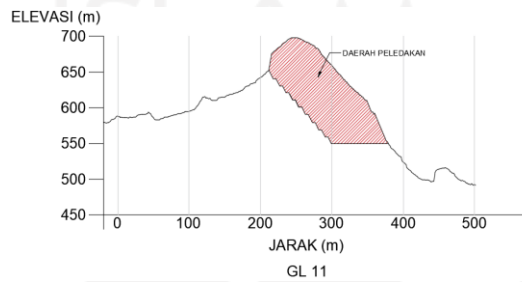


Gambar 5. 13 Potongan Melintang untuk Perhitungan Volume Gunung Lojeh



i) GL 9

j) GL 10



h) GL 11

Gambar 5. 13 Potongan Melintang untuk Perhitungan Volume Gunung Lojeh (Lanjutan)

Berdasarkan irisan yang telah dibuat, ditentukan bahwa blasting dimulai dari elevasi +605 m dari hasil Dronemapper. Elevasi tersebut disesuaikan dengan ketinggian ujung jalan terakhir di Puncak Gunung Lojeh. Penentuan elevasi tersebut didasarkan pada perencanaan peledakan yang akan dilakukan. Berikut ini adalah hasil perhitungan volume Gunung Lojeh untuk peledakan dengan pendekatan metode average end area yang akan ditampilkan pada Tabel 5. 7 Perhitungan Volume Gunung Lojeh untuk *Blasting*.

Tabel 5. 7 Perhitungan Volume Gunung Lojeh untuk *Blasting*

NO.	IRISAN	JARAK (m)	LUAS (m ²)	VOLUME (m ³)
0	GL 1	27,50	2.254,997	98.036,219
1	GL 2	27,50	4.874,910	165.362,762
2	GL 3	27,50	7.151,473	214.690,035
3	GL 4	27,50	8.462,348	260.062,683
4	GL 5	27,50	10.451,302	298.899,002
5	GL 6	27,50	11.286,807	307.093,622
6	GL 7	27,50	11.047,275	321.490,918
7	GL 8	27,50	12.333,883	359.036,486
8	GL 9	27,50	13.777,861	381.278,164
9	GL 10	27,50	13.951,460	362.442,440
10	GL 11	27,50	12.407,990	
TOTAL VOLUME				2.670.356,11

Berdasarkan perhitungan tersebut, maka volume material Gunung Lojeh memiliki sudah mencukupi kebutuhan material untuk timbunan bendungan (1,798,226.92 m³). Dengan demikian, tim proyek tidak melakukan pencarian alternatif lokasi Quarry lainnya untuk memenuhi kebutuhan material timbunan.

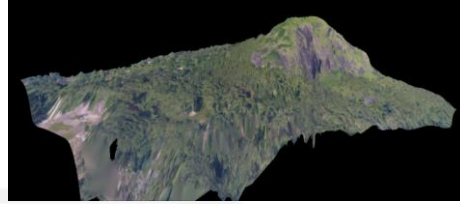
5.3 Analisis Perbandingan antara Program Komputer Open-source dengan Program Komputer Berbayar dan Metode Survei Konvensional

5.3.1 Perbandingan Kualitas dengan Program Komputer Berbayar

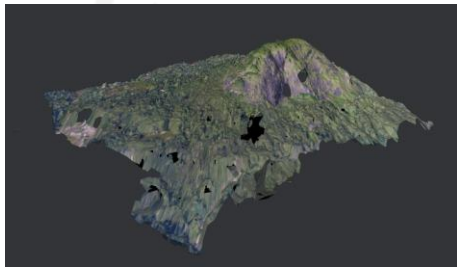
Dalam kasus ini, pengolahan foto drone dilakukan dengan program komputer berbayar langganan dan open-source. Program tersebut dilakukan untuk membuat perbandingan antara program komputer berbayar dengan gratis. Perbandingan dilakukan untuk memperlihatkan apakah ada perbedaan kualitas antara hasil program komputer berbayar dengan gratis yang diperlihatkan Gambar 5. 14 – Gambar 5. 23.



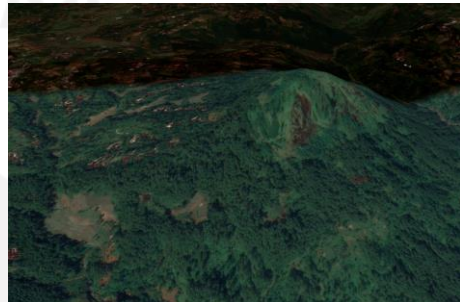
a) Kondisi Asli Gunung Lojeh



b) Visualisasi 3D (Precisionmapper)



c) Visualisasi 3D (Meshroom)



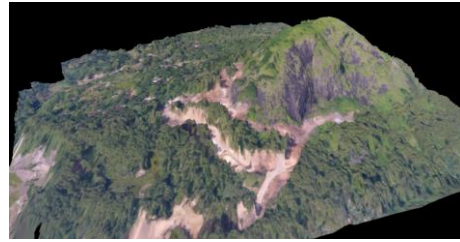
d) Visualisasi 3D (Google Earth (*Terrain On*))

Gambar 5. 14 Perbandingan Visualisasi 3D Sebelum Pembangunan Jalan Akses

Berdasarkan Gambar 5. 14, terlihat bahwa hasil fotogrammetri dengan precisionmapper dan meshroom memiliki hasil yang mirip dengan kondisi Gunung Lojeh. Hasil precisionmapper lebih halus daripada meshroom, tetapi hasil meshroom masih dapat merepresentasikan kondisi yang eksisting. Hasil dari google earth terlihat kurang baik karena kemiringan Gunung Lojeh sangat berbeda dengan kondisi eksisting.



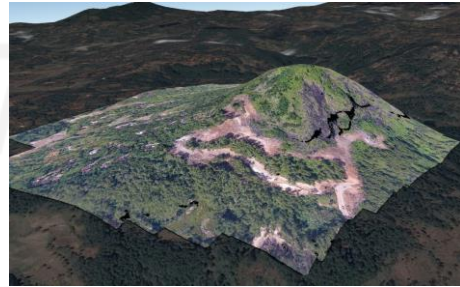
a) Kondisi Asli Gunung Lojeh



b) Visualisasi 3D (Precisionmapper)



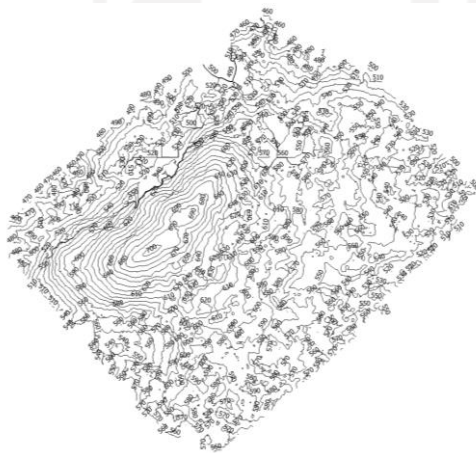
c) Visualisasi 3D (Meshroom)



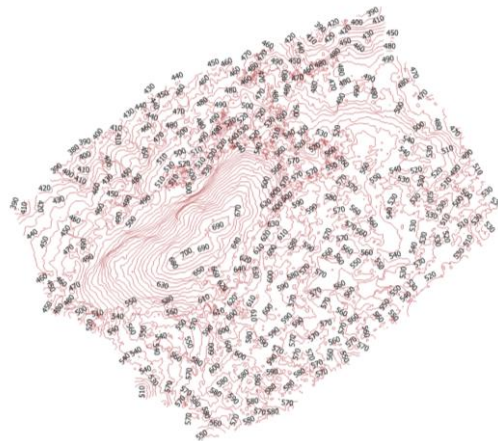
d) Visualisasi 3D (Google Earth (Terrain On))

Gambar 5. 15 Perbandingan Visualisasi 3D Setelah Pembangunan Jalan Akses

Berdasarkan Gambar 5. 15, terlihat bahwa hasil Precisionmapper dan Meshroom mampu memberikan hasil yang baik, mampu memperlihatkan kontur jalan seperti bentuk aslinya. Namun, untuk google earth tidak dapat memperlihatkan kontur dengan baik karena tidak terupdate secara real-time.



a) Output dari Dronemapper

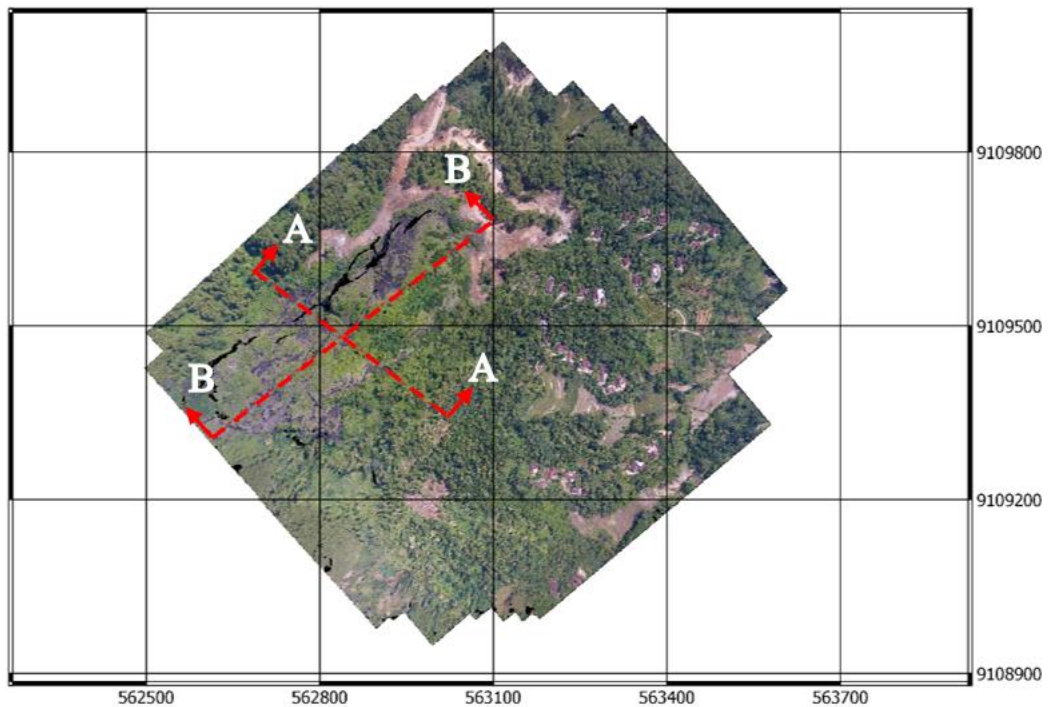


b) Output dari Precisionmapper

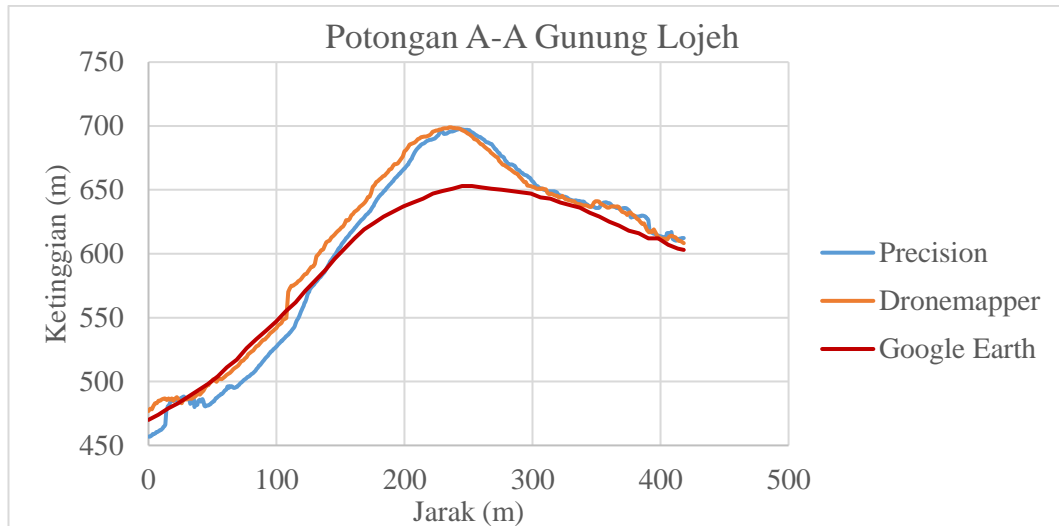
Gambar 5. 16 Kontur Gunung Lojeh Sebelum Pembuatan Jalan Akses

Gambar 5. 16 merupakan hasil ekstrak gambar DEM dari hasil output Dronemapper dan Precisionmapper dengan menggunakan QGIS. Berdasarkan Gambar 5. 16, hasil kontur gunung Lojeh dari Dronemapper dengan Precisionmapper memberikan hasil yang sama. Hanya saja output dari Precisionmapper memberikan hasil yang lebih luas dengan data jumlah foto input yang sama. Output dari *precisionmapper* pun lebih detail dibandingkan dengan hasil output dari *dronemapper*. Meskipun demikian, hasil output *dronemapper* dan *precisionmapper* merupakan hasil data *Digital Surface Model*, yang perlu program komputer tertentu untuk memodelkan *Digital Terrain Model*.

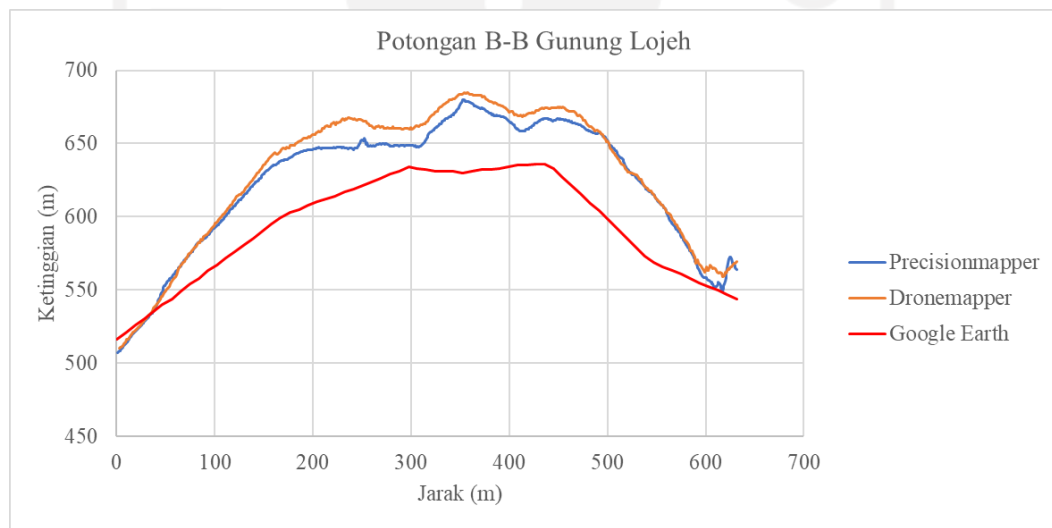
Berikut ini adalah hasil potongan Gunung Lojeh dari masing-masing program komputer yang digunakan.



Gambar 5. 17 Denah Potongan Gunung Lojeh



Gambar 5. 18 Potongan A – A Gunung Lojeh (Sebelum Pekerjaan Jalan Akses)

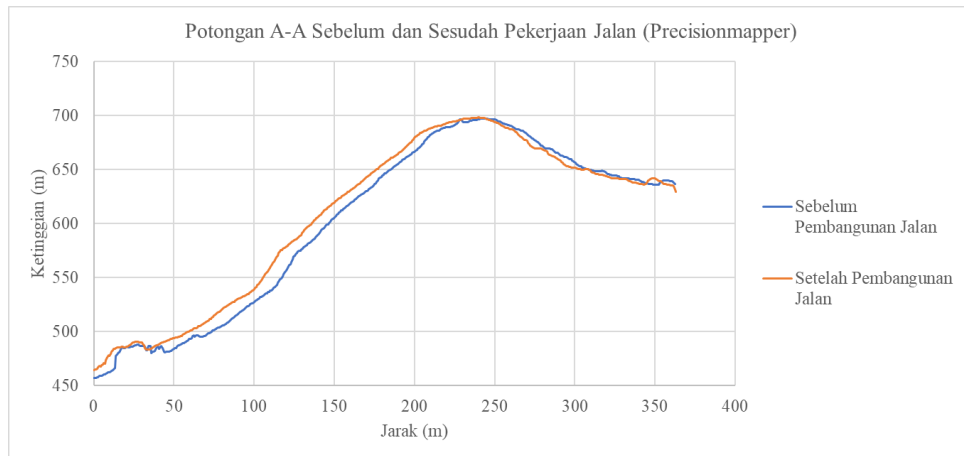


Gambar 5. 19 Potongan B – B Gunung Lojeh (Sebelum Pekerjaan Jalan Akses)

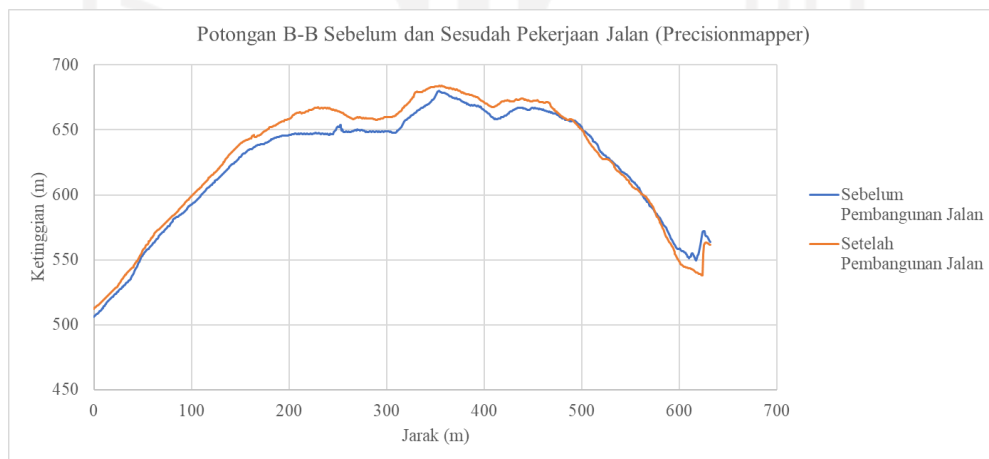
Berdasarkan Gambar 5. 18 dan Gambar 5. 19, hasil output DEM antara Precisionmapper dengan Dronemapper memiliki kesamaan, sedangkan google earth memiliki perbedaan yang sangat jauh. Perbedaan antara hasil google earth dengan Precisionmapper dan Dronemapper adalah google earth memiliki hasil yang lebih landai daripada hasil precisionmapper dan dronemapper. Padahal jika melihat gambari eksisting Gunung Lojeh, Gunung Lojeh memiliki kelandaian yang tinggi. Menurut Khalid dan Ashmawy, hasil pengukuran digital elevation model Google

Earth akan memiliki perbedaan ketinggian hingga 25 meter dari kondisi asli jika digunakan untuk menampilkan ketinggian bukit atau gunung. Dengan demikian, hasil Precisionmapper dan Dronemapper mendekati benar.

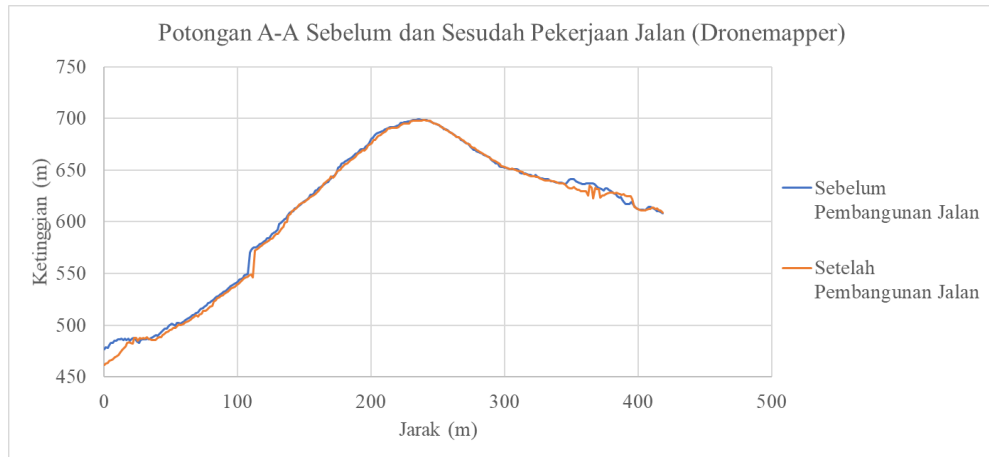
Berikut ini adalah Potongan A-A dan B-B sebelum dan setelah pekerjaan Gunung Lojeh, dengan hasil sebagai berikut.



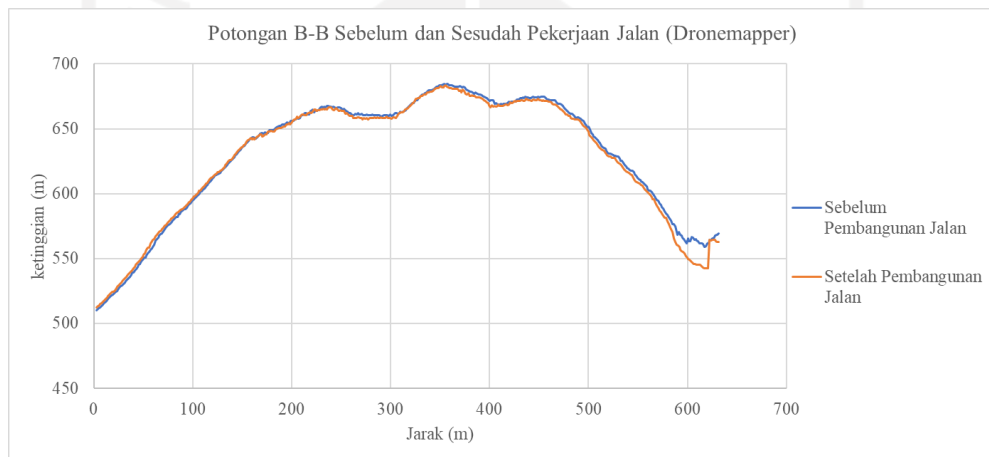
Gambar 5. 20 Potongan A – A Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Precisionmapper)



Gambar 5. 21 Potongan B – B Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Precisionmapper)



Gambar 5. 22 Potongan A – A Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Dronemapper)

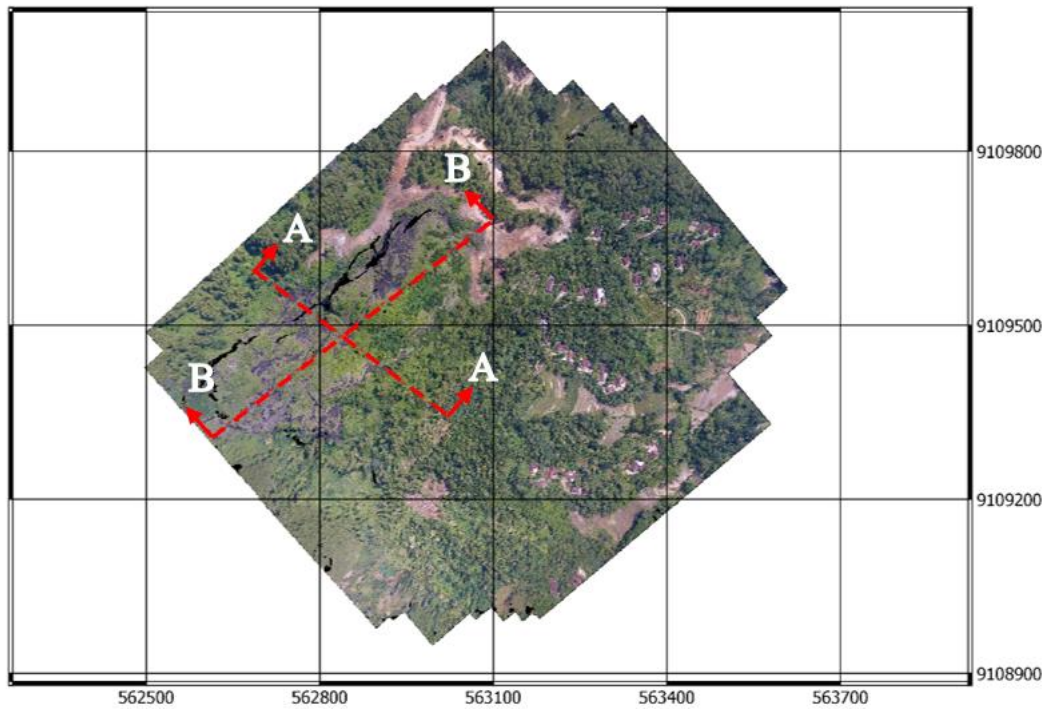


Gambar 5. 23 Potongan B – B Sebelum dan Setelah Pembangunan Jalan Akses (Dronemapper)

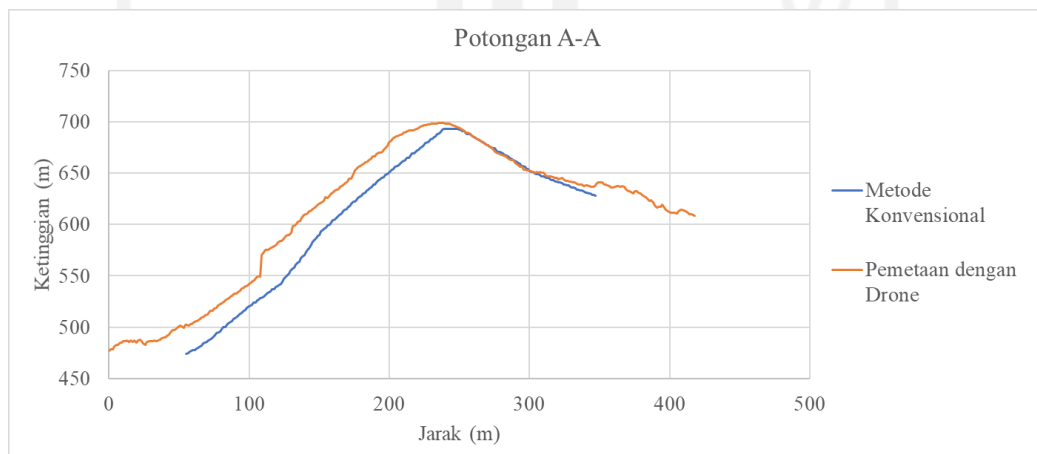
Berdasarkan Gambar 5. 20 – Gambar 5. 23, diketahui bahwa hasil Dronemapper lebih stabil daripada hasil Precisionmapper. Hal ini dikarenakan, hasil sebelum pekerjaan jalan dan setelah pembangunan jalan Dronemapper menampilkan elevasi yang hampir sama, sedangkan Precisionmapper menampilkan bentuk potongan yang sama dengan elevasi yang berbeda. Dengan demikian, aplikasi Dronemapper dapat diandalkan dalam pemetaan.

5.3.2 Perbandingan Kualitas dengan Metode Survei Konvensional

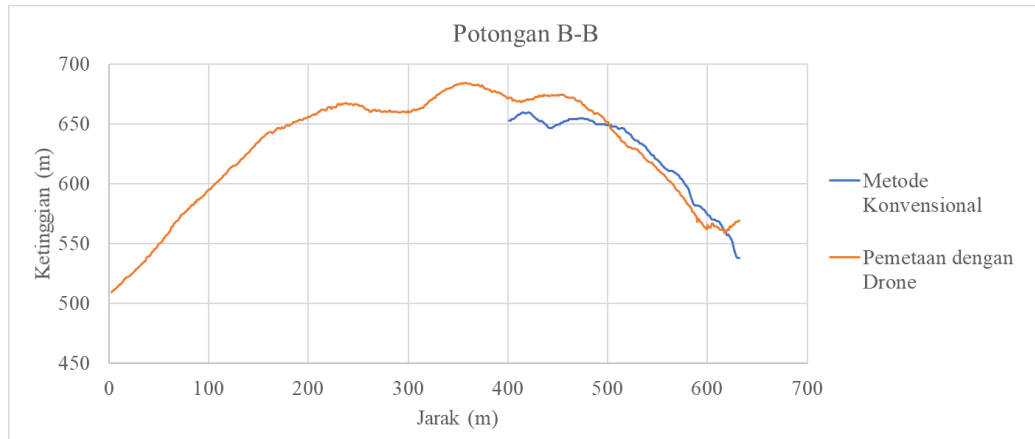
Untuk membandingkan hasil antara program komputer Open-source dengan metode survey konvensional dibuat gambar potongan seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 5. 24 Denah Potongan Gunung Lojeh



Gambar 5. 25 Perbandingan antara Metode Konvensional dengan Pemetaan dengan Drone (Potongan A-A)



Gambar 5.26 Perbandingan antara Metode Konvensional dengan Pemetaan dengan Drone (Potongan B-B)

Uji akurasi dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah dijelaskan pada subbab 3.6 Uji Akurasi. Uji akurasi dilakukan di dua titik yang dijadikan benchmark untuk lokasi tersebut pada saat pengukuran konvensional. Mengacu pada spesifikasi ketelitian alat total station (TOPCON ES-105) dan waterpass (TOPCON AT-B4) sebesar $\pm 2\text{mm}$ yang nantinya koordinat dan elevasinya digunakan untuk sebagai koordinat data cek dalam uji akurasi. Berikut ini adalah perhitungan uji akurasi dan register ketelitian peta RBI yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.8 Uji Akurasi Horizontal

Nomor Titik	Nama Titik	X (Koordinat Peta Dasar)	X (Koordinat Data Cek)	(D X)	(D X) ²	Y (Koordinat Peta Dasar)	Y (Koordinat Data Cek)	(D Y)	(D Y) ²	(D X) ² + (D Y) ²
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	LJ.1	563016.373	563014.973	1.400	1.960	9109617.138	9109605.718	11.420	130.416	132.376
2	LJ.2	563011.031	563009.404	1.627	2.647	9109612.223	9109600.508	11.715	137.241	139.888
									Jumlah	272.265
									Rata-rata	136.132
									RMSEr	11.668
									CE90	17.706

Tabel 5. 9 Uji Akurasi Vertikal

Nomor Titik	Nama Titik	Z (Koordinat Peta Dasar)	Z (Koordinat Data Cek)	(D Z)	(D Z)^2
A	B	C	D	E	F
1	LJ.1	671.542	692.415	-20.873	435.682
2	LJ.2	655.432	679.453	-24.021	577.008
Jumlah					1012.691
Rata-rata					506.345
RMSEz					22.502

LE90

37.126

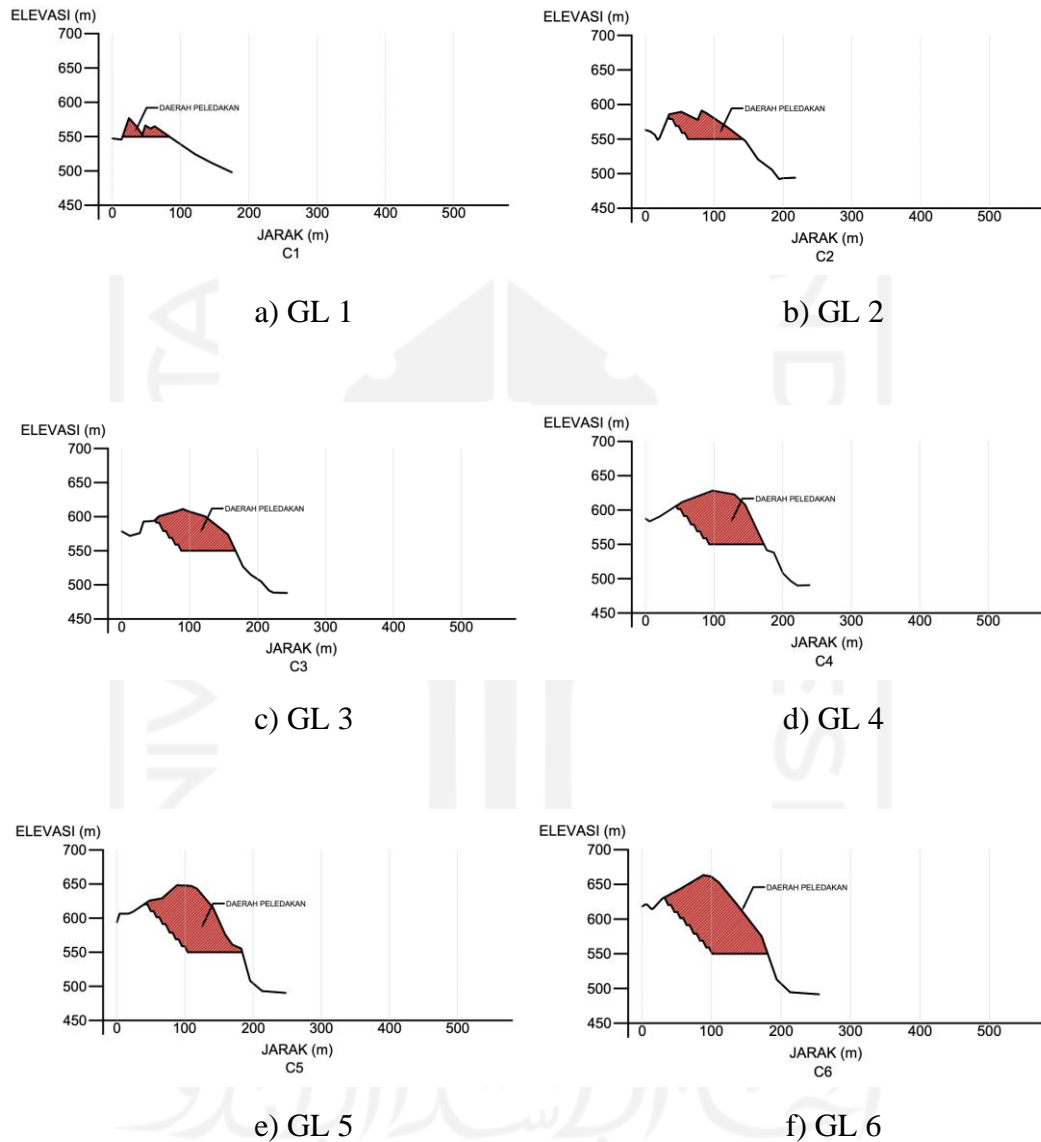
Tabel 5. 10 Register Hasil Uji Akurasi dengan Ketelitian Peta RBI

No.	Skala	Interval kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horizontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1.	1:1.000.000	400	200	200	300	300,00	500	500,00
2.	1:500.000	200	100	100	150	150,00	250	250,00
3.	1:250.000	100	50	50	75	75,00	125	125,00
4.	1:100.000	40	20	20	30	30,00	50	50,00
5.	1:50.000	20	10	10	15	15,00	25	25,00
6.	1:25.000	10	5	5	7,5	7,50	12,5	12,50
7.	1:10.000	4	2	2	3	3,00	5	5,00
8.	1:5.000	2	1	1	1,5	1,50	2,5	2,50
9.	1:2.500	1	0,5	0,5	0,75	0,75	1,25	1,25
10.	1:1.000	0,4	0,2	0,2	0,3	0,30	0,5	0,50

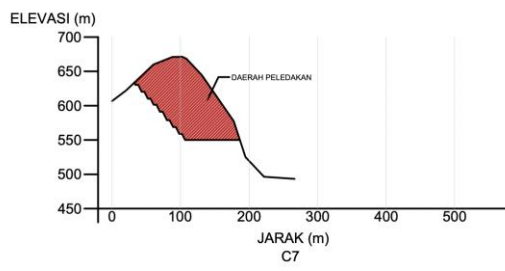
Berdasarkan gambar dan tabel di atas, diketahui bahwa metode pemetaan dengan drone memiliki akurasi data yang rendah. Kesalahan horizontal antara pemetaan dari drone dengan metode konvensional sebesar 11,668m dengan CE90= 17,706m, sedangkan kesalahan vertikal antara pemetaan dari drone dengan metode konvensional sebesar $\pm 22,502$ m dengan LE90 = 37,126m. Berdasarkan register yang ditunjukkan pada Tabel 5. 10, hasil pemetaan yang ada dapat dibuat pada peta skala 1:100.000 untuk kelas 3 dan peta skala 1:250.000 untuk kelas 1 dan 2. Kesalahan yang sangat besar tersebut terjadi karena pemetaan dilakukan secara uncontrolled photogrammetry di lokasi pegunungan. Pada penelitian lain dengan lokasi datar, kesalahan horizontal sebesar 2,54 m dan vertikal 0,78 m (Prayogo, 2020). Namun, pada lokasi berbukit, kesalahan pemetaan menjadi lebih besar.

Ketelitian pemetaan dengan drone akan mempengaruhi akurasi perhitungan volume seperti yang dibahas dalam 5.2.3 Ketersediaan Volume Material di Quarry. Pengaruh tersebut dapat dihitung dengan membandingkan antara perhitungan

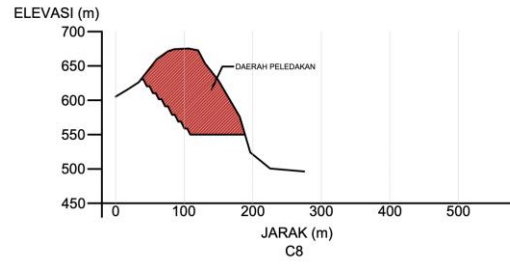
volume dari metode pemetaan dengan drone dengan metode konvensional. Oleh karena itu, perhitungan volume dari hasil pemetaan dengan metode konvensional dianalisis dengan metode yang sama (metode average end area). Berikut ini hasil analisis ditunjukkan dalam Gambar 5. 27 dan Tabel 5. 11.



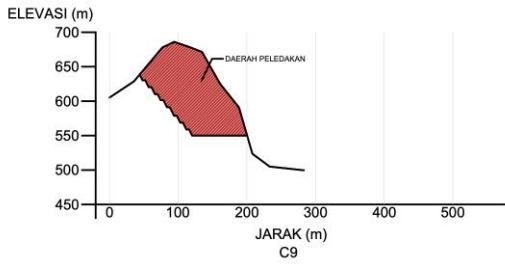
Gambar 5. 27 Potongan Melintang untuk Perhitungan Volume dari Hasil Pengukuran Konvensional



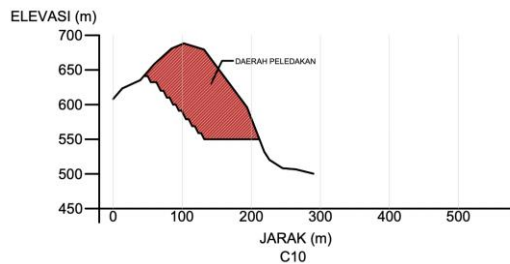
g) GL 7



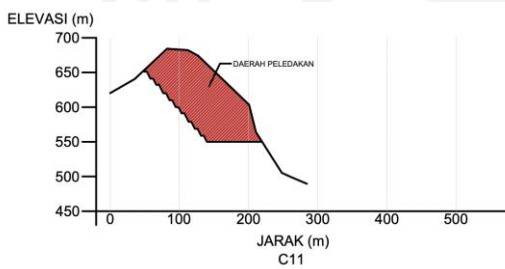
h) GL 8



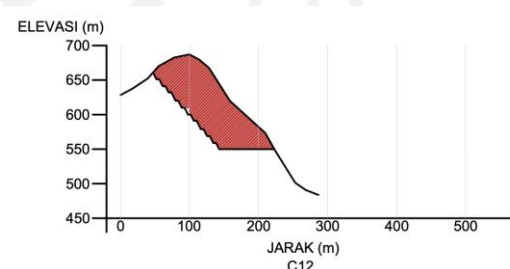
i) GL 9



j) C8



k) GL 9



l) C8

Gambar 5. 27 Potongan Melintang untuk Perhitungan Volume dari Hasil Pengukuran Konvensional (Lanjutan)

Tabel 5. 11 Perhitungan Volume Quarry dari Hasil Pengukuran Konvensional

NO.	IRISAN	JARAK (m)	LUAS (m ²)	VOLUME (m ³)
1	C1	25.0	827.01	41,637.08
2	C2	25.0	2,503.95	87,951.38
3	C3	25.0	4,532.16	137,307.53
4	C4	25.0	6,452.45	172,688.49
5	C5	25.0	7,362.63	206,921.94
6	C6	25.0	9,191.12	246,397.29
7	C7	25.0	10,520.66	271,262.25
8	C8	25.0	11,180.32	290,893.79
9	C9	25.0	12,091.18	305,184.70
10	C10	25.0	12,323.59	306,596.35
11	C11	25.0	12,204.12	283,479.11
12	C12		10,474.21	
TOTAL VOLUME				2,350,319.90

Berdasarkan hasil perhitungan volume di atas, didapatkan volume sebesar 2,350,319.90 m³ untuk 275 m dari hasil pengukuran konvensional. Berdasarkan hasil perhitungan volume di 5.2.3 Ketersediaan Volume Material di Quarry, didapatkan volume sebesar 2,670,356,11 m³ untuk 275 m dari hasil pemetaan dengan drone. Terdapat selisih perhitungan volume sebesar 320,036.21 atau 13,62% antara pemetaan dengan drone dengan pengukuran konvensional. Dengan demikian, akurasi perhitungan volume dari pemetaan dengan drone dalam studi kasus yang telah dilakukan sebesar 86,38%. Hasil pemetaan dengan drone masih cukup baik untuk estimasi volume, tetapi metode yang ada masih kurang baik jika digunakan sebagai dasar acuan penagihan ataupun hal lain yang membutuhkan akurasi yang tinggi.

5.3.3 Penggunaan Ground Control Point untuk Peningkatkan Akurasi Pemetaan dengan Drone

Kesalahan pengukuran dapat diminimalkan dengan menggunakan Ground Control Point (GCP). GCP merupakan suatu tanda yang dipasang sebelum

pengambilan foto udara dan dapat terlihat jelas di foto udara. GCP memiliki nilai x,y, dan z yang nantinya digunakan sebagai referensi pemetaan. GCP akan digunakan sebagai titik kontrol pada proses pemetaan dengan drone. Titik kontrol fotogrametry perlu dilibatkan untuk pemrosesan foto udara untuk menghasilkan ketelitian tingkat survei, dimana semakin rapat Ground Control Point akan meningkatkan ketelitian peta (Fajriah, 2019). Hal ini selaras dengan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan GCP dapat meningkatkan akurasi horizontal pemetaan semula 2,54 m menjadi 0,05 m (Prayogo, 2020).

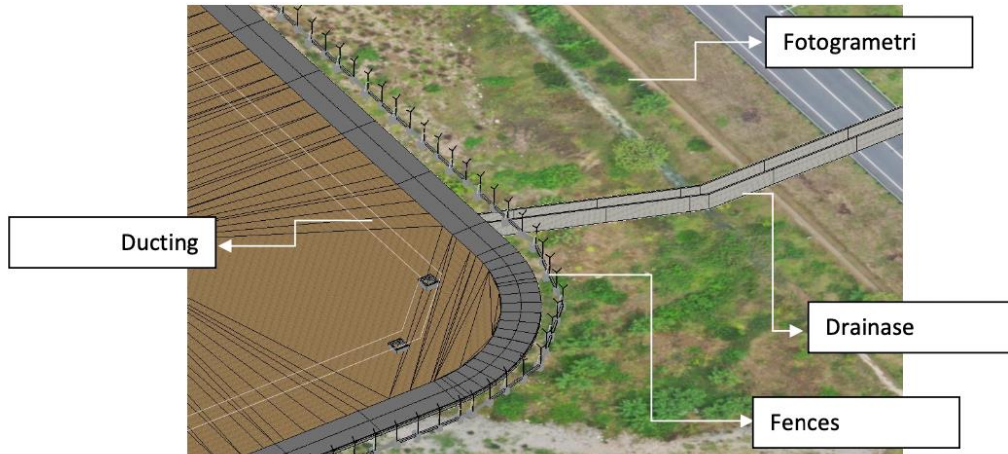
Pada penelitian ini, pemetaan ini tidak menggunakan GCP. Hal ini dikarenakan pembuatan GCP tidak memungkinkan di lokasi Quarry yang berupa bukit curam. Penebangan pohon pun belum diperbolehkan secara administrasi. Di sisi lain, data hasil pemetaan drone merupakan Digital Surface Model, sehingga perlu dilakukan prosedur filtering untuk mendapatkan Digital Terrain Model. Hal ini juga membuat kesalahan vertikal menjadi sangat besar karena elevasi yang dihasilkan adalah surface. Saat ini, filtering dari program komputer Open-source yang tersedia hanya untuk filtering dense cloud, sedangkan filtering Digital Surface Model belum tersedia. Filtering dapat dilakukan manual, dimana di lokasi tersebut tinggi pohon sekitar 20 m. Namun perbedaan vertikal masih tinggi yakni sekitar 22 m. Tim proyek perlu melakukan antisipasi terkait rendahnya akurasi data ini dengan bantuan alat lain, contohnya penggunaan GPS Portable atau Real Time Kinematic GPS untuk lokasi-lokasi yang masih bisa dijangkau.



Gambar 5. 28 Benchmarking Ground Control Point dengan Real Time Kinematic GPS

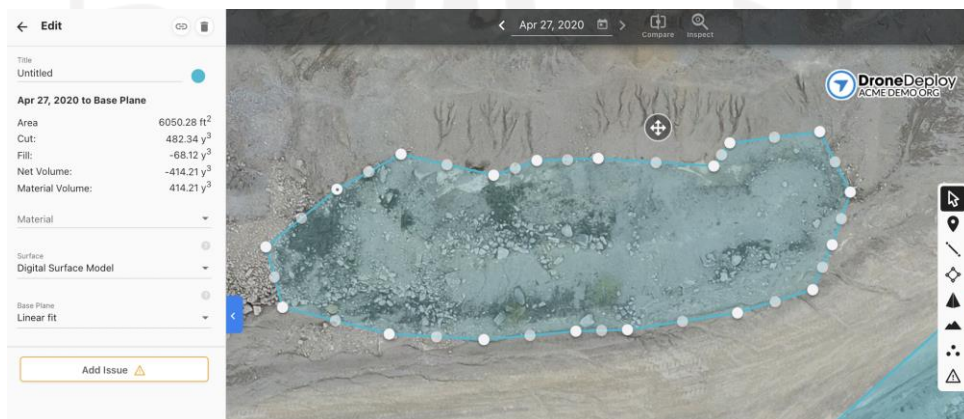
5.3.4 Keunggulan Penggunaan Teknologi Pemetaan dengan Drone

Berdasarkan spesifikasi alat yang telah dijelaskan sebelumnya, pengukuran secara konvensional memiliki ketelitian yang tinggi. Namun, pemetaan dengan drone memiliki peranan penting dalam pengembangan sistem Building Information Modelling. Pemetaan dengan drone akan menghasilkan output penting yakni peta orthomosaic (kenampakan alam) yang tidak dimiliki oleh pengukuran konvensional. Peta orthomosaic yang dipadukan dengan Digital Elevation Model akan membentuk suatu raster yang merupakan kenampakan alam aktual dalam bentuk digital. Bentuk raster ini akan sering digunakan dalam Clash Detection. Clash detection adalah pemeriksaan terkait kemungkinan ketidakcocokan antara desain dengan kondisi aktual. Gambar 5. 29 menunjukkan terjadinya clash detection dimana desain drainase lebih tinggi daripada kondisi aktual.



Gambar 5. 29 Clash Detection Drainase

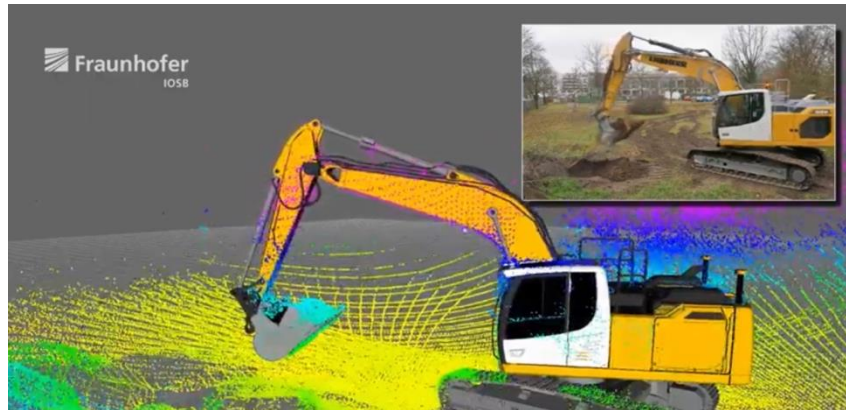
Contoh lain penggunaan pemetaan dengan drone adalah monitoring volume. Pada pekerjaan timbunan selected material Bandara Dhoho Kediri dilakukan monitoring volume menggunakan pemetaan dengan udara. Pemetaan udara dilakukan pada lokasi relatif datar dengan Ground Control Point. Selisih volume yang ada sebesar 15% terhadap volume aktual yang diakibatkan oleh adanya progress tertunda akibat administrasi dan keterbatasan resolusi spasial (Robi, 2021). Kemudahan menyeleksi area yang diinginkan sesuai dengan visual yang ada untuk perhitungan volume dapat dilakukan pada raster yang telah dibuat seperti yang ditunjukkan Gambar 5. 30.



Gambar 5. 30 Perhitungan Volume di Area Terseleksi

Penggunaan raster pun dapat dijadikan sebagai acuan untuk pekerjaan galian atau timbunan. Hal ini merupakan pengembangan engineering autonomous yang saat ini sedang berkembang. Di Indonesia, teknologi sejenis telah

dikembangkan dan diterapkan untuk pekerjaan aspal di Sirkuit Mandalika Nusa Tenggara Barat dan Bandara Dhoho Kediri.



Gambar 5. 31 Engineering Autonomous

5.3.5 Analisis Biaya, Mutu, dan Waktu

Tabel 5. 12 menunjukkan analisis biaya, mutu, dan waktu secara umum berdasarkan hasil pembahasan subbab 5.2 hingga subbab 5.4 tentang Studi Kasus Penggunaan Drone di Proyek Bendungan Tugu.

Tabel 5. 12 Analisis Biaya, Mutu, Waktu Pemetaan dengan Drone dan Metode Konvensional secara Umum

Metode	Pemetaan dengan Drone		Metode Konvensional
	Program Open-Source	Program Aplikasi Berbayar	
Biaya	Drone dan Komputer (Rp50.000.000)	<ul style="list-style-type: none"> • Drone dan Komputer (Rp50.000.000) • 1 set Program Komputer (Rp95.000.000/tahun) 	Total station dan Waterpass (Rp60.000.000)
Mutu	Rendah (karena berdasarkan citra kamera drone)	Rendah (karena berdasarkan citra kamera drone)	Baik (karena sesuai kondisi aktual atau optical)
Waktu (berdasarkan pemetaan Gunung Lojeh, Quarry)	Pemetaan: 3 jam Pengolahan Data: 2 hari Durasi: 3 hari	Pemetaan: 3 jam Pengolahan Data: 2 hari Durasi: 3 hari	Estimasi: 3 bulan (90 hari)

Analisis biaya, mutu, dan waktu perlu dilakukan lebih mendalam yang ditampilkan pada

Tabel 5. 13 hingga Tabel 5. 22.

Tabel 5. 13 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source (Waktu Pekerjaan 3 Hari dengan Luasan 15 HA)

No.	Uraian	Jumlah	Durasi	Produktivitas	Indeks
Tenaga Kerja					
1	Kepala Tim Pengukuran	1	1	15.0000	0.0667
2	Surveyor	1	1	15.0000	0.0667
3	Helper	1	1	15.0000	0.0667
4	Drafter	1	2	7.5000	0.1333
Peralatan					
1	Drone	1	1	15.0000	0.0667
2	Komputer	1	2	7.5000	0.1333
3	Kendaraan	2	3.5	4.2857	0.4667

Tabel 5. 14 Analisis Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source (per 1 HA)

No.	Uraian	Indeks	Harga Dasar	Harga Satuan
Tenaga Kerja				
1	Kepala Tim Pengukuran	0.0667	Rp 300,000	Rp 20,000
2	Surveyor	0.0667	Rp 250,000	Rp 16,667
3	Helper (Rambu dan Peralatan)	0.0667	Rp 65,000	Rp 4,333
4	Drafter	0.1333	Rp 100,000	Rp 13,333
Peralatan				
1	Drone	0.0667	Rp 2,500,000	Rp 166,667
2	Komputer	0.1333	Rp 2,500,000	Rp 333,333
3	Kendaraan	0.4667	Rp 250,002	Rp 116,668
Harga Satuan (per 1 HA)				Rp 671,001

Tabel 5. 15 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Berbayar (Waktu Pekerjaan 3 Hari dengan Luasan 15 HA)

No.	Uraian	Jumlah	Durasi	Produktivitas	Indeks
Tenaga Kerja					
1	Kepala Tim Pengukuran	1	1	15.0000	0.0667
2	Surveyor	1	1	15.0000	0.0667
3	Helper	1	1	15.0000	0.0667
4	Drafter	1	2	7.5000	0.1333
Peralatan					
1	Drone	1	1	15.0000	0.0667
2	Komputer	1	2	7.5000	0.1333
3	Kendaraan	2	3.5	4.2857	0.4667
4	Program Komputer	1	2	7.5000	0.1333

Tabel 5. 16 Analisis Harga Satuan Pemetaan dan Pengukuran dengan Drone Menggunakan Program Komputer Berbayar (per 1 HA)

No.	Uraian	Indeks	Harga Dasar	Harga Satuan
Tenaga Kerja				
1	Kepala Tim Pengukuran	0.0667	Rp 300,000	Rp 20,000
2	Surveyor	0.0667	Rp 250,000	Rp 16,667
3	Helper (Rambu dan Peralatan)	0.0667	Rp 65,000	Rp 4,333
4	Drafter	0.1333	Rp 100,000	Rp 13,333
Peralatan				
1	Drone	0.0667	Rp 2,500,000	Rp 166,667
2	Komputer	0.1333	Rp 2,500,000	Rp 333,333
3	Kendaraan	0.4667	Rp 250,002	Rp 116,668
4	Program Komputer	0.1333	Rp 2,000,000	Rp 266,667
Harga Satuan (per 1 HA)				Rp 937,668

Tabel 5. 17 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pengukuran Kerangka Polygon dengan Metode Kovenisional (Waktu Pekerjaan 14 Hari dengan Luasan 7 HA)

No.	Uraian	Jumlah	Durasi	Produktivitas	Indeks
Tenaga Kerja					
1	Kepala Tim Pengukuran	1	5	1.4000	0.7143
2	Surveyor	1	14	0.5000	2.0000
3	Helper (Rambu dan Peralatan)	2	14	0.5000	4.0000
4	Helper (Stake Out & Rintis)	3	14	0.5000	6.0000
5	Drafter	1	7	1.0000	1.0000
Peralatan					
1	Waterpass	1	9	0.7778	1.2857
2	Total Station	1	5	1.4000	0.7143
3	Rambu	1	14	0.5000	2.0000
4	Meteran	1	0.5	14.0000	0.0714
5	Palu	1	0.5	14.0000	0.0714
6	Kendaraan	3	3.5	2.0000	1.5000
Bahan					
1	Patok Bambu (ikat)	70			10.0000
2	Paku (kg)	7			1.0000

Tabel 5. 18 Analisis Harga Satuan Pengukuran Kerangka Polygon dengan Metode Kovensional (per 1 HA)

No.	Uraian	Indeks	Harga Dasar	Harga Satuan
Tenaga Kerja				
1	Kepala Tim Pengukuran	0.7143	Rp 300,000	Rp 214,286
2	Surveyor	2.0000	Rp 200,000	Rp 400,000
3	Helper (Rambu dan Peralatan)	4.0000	Rp 65,000	Rp 260,000
4	Helper (Stake Out & Rintis)	6.0000	Rp 65,000	Rp 390,000
5	Drafter	1.0000	Rp 100,000	Rp 100,000
Peralatan				
1	Waterpass	1.2857	Rp 250,000	Rp 321,429
2	Total Station	0.7143	Rp 250,000	Rp 178,571
3	Rambu	2.0000	Rp 50,000	Rp 100,000
4	Meteran	0.0714	Rp 70,000	Rp 5,000
5	Palu	0.0714	Rp 100,000	Rp 7,143
6	Kendaraan	1.5000	Rp 50,000	Rp 75,000
Bahan				
1	Patok Bambu (ikat)	10.0000	Rp 1,000	Rp 10,000
2	Paku (kg)	1.0000	Rp 30,000	Rp 30,000
Harga Satuan (per 1 HA)				Rp 2,091,429

Tabel 5. 19 Analisis Indeks untuk Harga Satuan Pengukuran Situasi dengan Metode Kovensional (Waktu Pekerjaan 76 Hari dengan Luasan 7 HA)

No.	Uraian	Jumlah	Durasi	Produktivitas	Indeks
Tenaga Kerja					
1	Kepala Tim Pengukuran	1	15	0.4667	2.1429
2	Surveyor	1	76	0.0921	10.8571
3	Helper (Rambu dan Peralatan)	1	76	0.0921	10.8571
4	Helper (Stake Out & Rintis)	2	76	0.0921	21.7143
5	Drafter	1	7	1.0000	1.0000
Peralatan					
1	Waterpass	1	38	0.1842	5.4286
2	Total Station	1	38	0.1842	5.4286
3	Rambu	1	76	0.0921	10.8571
4	Meteran	1	1	7.0000	0.1429
5	Palu	1	1	7.0000	0.1429
6	Kendaraan	3	19	0.3684	8.1429
Bahan					
1	Patok Bambu (ikat)	350			50.0000
2	Paku (kg)	7			1.0000

Tabel 5. 20 Analisis Harga Satuan Pengukuran Situasi dengan Metode Konvensional (per 1 HA)

No.	Uraian	Indeks	Harga Dasar	Harga Satuan
Tenaga Kerja				
1	Kepala Tim Pengukuran	2.1429	Rp 300,000	Rp 642,857
2	Surveyor	10.8571	Rp 200,000	Rp 2,171,429
3	Helper (Rambu dan Peralatan)	10.8571	Rp 65,000	Rp 705,714
4	Helper (Stake Out & Rintis)	21.7143	Rp 65,000	Rp 1,411,429
5	Drafter	1.0000	Rp 100,000	Rp 100,000
Peralatan				
1	Waterpass	5.4286	Rp 250,000	Rp 1,357,143
2	Total Station	5.4286	Rp 250,000	Rp 1,357,143
3	Rambu	10.8571	Rp 50,000	Rp 542,857
4	Meteran	0.1429	Rp 70,000	Rp 10,000
5	Palu	0.1429	Rp 100,000	Rp 14,286
6	Kendaraan	8.1429	Rp 50,000	Rp 407,143
Bahan				
1	Patok Bambu (ikat)	50.0000	Rp 1,000	Rp 50,000
2	Paku (kg)	1.0000	Rp 30,000	Rp 30,000
Harga Satuan (per 1 HA)				Rp 8,800,000

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Analisis Harga Satuan untuk Pemetaan dan Pengukuran dengan Metode Konvensional (per 1 HA)

No.	Uraian	Indeks
1	Pengukuran Kerangka Polygon	Rp 2,091,429
2	Pengukuran Situasi	Rp 8,800,000
Harga Satuan (per 1 HA)		Rp 10,891,429

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Analisis Biaya dan Waktu

No.	Uraian	Durasi (hari)	Harga (per 1 HA)
1	Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source	3	Rp 671,001
2	Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Komputer Berbayar	3	Rp 937,668
3	Pengukuran dengan Metode Konvensional	90	Rp 10,891,429

Berdasarkan Tabel 5. 22, diketahui biaya pemetaan dengan drone menggunakan program *open-source* memiliki biaya paling murah yakni Rp671,001 per 1 HA. Hal ini dikarenakan waktu kerja yang lebih cepat yakni 3 hari, sehingga biaya tidak langsung dapat ditekan secara maksimal daripada pemetaan dengan

metode konvensional. Biaya sewa program komputer untuk processing pun dapat ditekan secara maksimal. Meskipun demikian, penggunaan program open-source memiliki keterbatasan-keterbatasan fitur, contohnya filtering untuk mengubah DSM menjadi DTM. Terdapat program open-source untuk filtering yakni CloudCompare, tetapi program ini melakukan filtering berdasarkan dense cloud, yang dimana program DroneMapper tidak memberikan output dense cloud. Filtering pun harus dilakukan secara manual. Jika suatu proyek memiliki pendanaan yang tinggi dan penagihan biaya konstruksi diizinkan menggunakan fotogrametri, maka penggunaan program berbayar merupakan opsi yang paling baik. Namun, pada proyek pembangunan Bendungan Tugu tidak diizinkan menggunakan fotogrametri sebagai dasar penagihan biaya konstruksi. Hal ini membuat frekuensi penggunaan pemetaan dengan drone relatif rendah, pembelian program senilai 90 juta per tahun menjadi tidak efisien. Pendanaan sebesar itu lebih baik dialokasikan pada pengembangan teknologi seperti robotic total station atau digital autolevel yang dimana diakui sebagai dasar penagihan biaya konstruksi ke Owner. Dengan demikian, penggunaan program komputer *open-source* merupakan hal tepat untuk mempercepat pekerjaan di lapangan tetapi tidak mengurangi efisiensi pengelolaan proyek.

Berdasarkan hasil analisis perbandingan yang telah dilakukan, diketahui bahwa pemetaan dengan drone merupakan pemetaan yang paling cepat daripada dengan alat lainnya. Namun akurasi pemetaan dengan drone adalah yang paling rendah, khususnya dalam menampilkan elevasi. Hal ini dikarenakan, drone menampilkan elevasi berdasarkan citra kamera yang diolah menjadi ketinggian. Pengolahan tersebut sangat bergantung pada algoritma program yang dibuat. Di sisi lain, penelitian ini tidak menggunakan Ground Control Points untuk melakukan transformasi koordinat pemetaan ke koordinat aktual, sehingga akurasi semakin rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut, tim proyek menggunakan GPS Handheld untuk melakukan tracking di lokasi tersebut. Tracking dilakukan untuk memastikan kondisi perencanaan trase jalan yang telah dibuat dapat dibangun sesuai harapan di lokasi eksisting Quarry. Dengan demikian, dampak dari error pemetaan dengan drone dapat diminimalkan untuk mengurangi risiko rework di lapangan.

Pada prinsipnya, akurasi horizontal dan akurasi vertikal dapat ditingkatkan dengan cara memasang Ground Control Points, tetapi program *open-source* memiliki keterbatasan adanya fitur untuk mengikat hasil fotogrametri dengan Ground Control Points. Untuk mengatasi keterbatasan ini, tim teknik dapat melakukan prosedur georeferencing pada program QGIS. Prosedur georeferencing adalah proses menetapkan koordinat aktual ke dalam peta digital. Prosedur ini seolah-olah memindahkan, merotasi, atau membengkokkan peta digital agar sesuai dengan koordinat aktual. Ground Control Points yang terlihat dalam peta digital dapat dijadikan sebagai acuan untuk melakukan proses georeferencing. Prosedur ini serupa seperti pada prosedur alinyemen pada program-program fotogrametri berbayar. Namun, dalam studi kasus di Gunung Lojeh (Lokasi Quarry), pemasangan Ground Control Points tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan medan dan lokasi yang tidak memungkinkan. Dengan demikian, prosedur filtering manual saja yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan akurasi data vertikal.

Meskipun pemetaan dengan drone memiliki akurasi yang rendah, pemetaan dengan drone dapat menjadi alternatif yang baik untuk kebutuhan-kebutuhan ringan di proyek. Penggunaan program komputer *open-source* untuk pemetaan dengan drone bukanlah hal buruk. Dengan hasil yang menyerupai program komputer berbayar, penggunaan pemetaan dengan drone dapat membantu pekerjaan seperti contoh-contoh kasus di subbab 5.2 Analisis Pemanfaatan Pemetaan dengan Drone Menggunakan Program Komputer Open-source.

BAB VI SIMPULAN

6.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, berikut ini adalah simpulan yang dapat diambil dari pemetaan dengan menggunakan drone sebagai berikut.

1. Tahapan metode survei pemotretan udara yang telah dikembangkan adalah 1) persiapan administrasi, 2) peninjauan teknis dan perencanaan misi terbang, 3) pengambilan foto udara, 4) pemeriksaan kualitas foto udara, 5) pengolahan fotogrametri untuk menghasilkan peta orthomosaic dan digital surface model, dan 6) pengolahan hasil fotogrametri.
2. Pemetaan dengan drone dapat menyelesaikan berbagai pekerjaan di proyek seperti ketersediaan volume material, manajemen blasting, dan pembuatan jalan akses.
3. Berdasarkan analisis biaya, mutu, waktu, dan risiko, pemetaan dengan drone menggunakan program komputer *open-source* memiliki biaya paling murah program komputer berbayar dan metode pengukuran konvensional, tetapi program komputer *open-source* memiliki kelemahan akan keterbatasan fitur dan akurasi data yang rendah. Secara umum, pemetaan drone memiliki akurasi yang lebih rendah daripada metode pengukuran konvensional, tetapi output pemetaan drone dapat digunakan untuk pengembangan Building Information Modelling dan engineering autonomous.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis adalah sebagai berikut.

1. Perlu adanya pengembangan inovasi pengembangan pemetaan drone dengan program komputer *open-source*, khususnya untuk filterisasi data Digital Surface Model menjadi Digital Terrain Model.
2. Pengembangan pemetaan dengan drone dengan basis *cloud system* untuk meminimalkan dampak negatif keterbatasan fitur pada program *open-source* dan pembajakan software. Dengan demikian, user hanya perlu

melakukan akuisisi data udara untuk diupload di layanan tersebut dan mendownload hasil pemetaan yang ada dengan biaya yang lebih murah.

3. Penelitian terkait interferensi radio drone akibat magnetic field interference.
4. Pengembangan penelitian terkait korelasi antara pemetaan dengan drone dengan Building Information Modelling dan Engineering Autonomous



DAFTAR PUSTAKA

- A, Khalid L. dan El-Ashmawy. 2016. *Investigation of The Accuracy of Google Earth Elevation Data*. Artificial Satellites, Vol. 51, No.3 -2016.
- Ahmad, Anuar. 2006. *Digital Photogrammetry: An Experience of Processing Aerial Photograph of UTM Acquired Using Digital Camera*
- Arif, F., dkk. 2018. *Generation of Digital Elevation Model through Aerial Technique*. Malaysia: IOP Conference Series.
- Avicenna, Mohammad. 2018. *Calibration Analysis of Non-metric Camera on Multicopter RTF Type Unmanned Aerial Vehicle (Drone)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- BIMWIKA. 2021. Laporan Survei Fotogrammetri Bandara Dhoho Kediri. Jakarta: Wijaya Karya
- Cheng, Jian-chuan dan Long-jian Jiang. 2013. *Accuracy Comparison of Roadway Earthwork Computation between 3D and 2D Methods*. Jurnal 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013)
- Dewi, Nitih I. K. 2020. *Photogrammetry dalam Perancangan: Pemetaan dan Pemodelan Kawasan Desa Wisata*. Bandung: Institut Teknologi Nasional
- Jirigalatu, dkk. 2020. *Experiments on Magnetic Interference for a Portable Airborne Magnetometry System Using a Hybrid Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Denmark: Technical University of Denmark
- Kafiar, M. T. 2020. *Visualisasi 3D Modelling dari Hasil Kombinasi Kamera DSLR dan UAV dengan Metode Close Rang Photogrammetry (Studi Kasus : Objek Plengsengan, Bendungan Sengkaling, Desa Tegal Gondo, Kecamatan Karang Ploso, Kabupaten Malang)*. Malang: Insitut Teknologi Nasional Malang
- Meiarti, Rini, dkk. 2019. *Uji Akurasi Hasil Teknologi Pesawat Udara Tanpa Awak (Unmanned Aerial Vehicle) dalam Aplikasi Pemetaan Kebencanaan Kepesisiran*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Nurhadiyah, Ayu., Sri Cahyo Wahyono, Simon S. S., 2020. *Interprestasi Bawah Permukaan Daerah Penambangan Batuan Andesit Awang Bangkal Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan Menggunakan Metode Magnetik*. Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat
- Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar

Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar

Pratama, Dimas R. dan teguh Hariyanto. 2013. *Evaluasi Penggunaan Kamera Non Metrik pada Fotogrametri Jarak Dekat*. Surabaya: Institut Teknologi Sebelas Nopember

Prayogo, dkk. 2020. *Pemanfaatan Teknologi Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Quadcopter dalam Pemetaan Digital (Fotogrametri) Menggunakan Kerangka Ground Control Point*. Manado: Universitas Sam Ratulangi, Manado

Qolbu, Farizan, Muhammad Robi, dan Muhammad Afif. 2021. *Analisis Perhitungan Volume Cut and Fill dengan Metode Garis Kontur dari Data Foto Udara dan Metode Cross Section dari Data Pengukuran Waterpass pada Runway End Safety Area (RESA) dan End Runway Strip (ERS) Bandara Internasional Dhoho, Kediri*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada

Rachmanto, Dendi Haris dan Muhammad Ihsan. 2020. *Pemanfaatan Metode Fotogrametri untuk Pemetaan 1 : 1000 (Studi Kasus : Universitas Pendidikan Indonesia)*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia

Ramadhani, Febriyan A. dan Cornelius Oliver. 2022. *Laporan BIM WIKA Awards Team Dhoho*. Kediri: Wijaya Karya

Schenk, T. 2005. *Introduction to Photogrammetry*. Columbus: The Ohio State University.

Sutanto, Samuel J. dan Banata W. R. 2016. *Teknologi Drone untuk Pembuatan Peta Kontur: Studi Kasus Kawasan P3SON Hambalang*. Yogyakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.

Yunanto, I., Apriadi, R., dan Ngantemi. 2021. *Fotogrametri untuk Pengukuran Progres Lapangan di Bendungan Cipanas Paket 1*. Jakarta: PT. Wijaya Karya.

Sumber website:

www.alicevision.github.io diakses pada bulan Juni 2021

www.dronemapper.com diakses pada bulan Juni 2021

www.liupurnomo.com diakses pada bulan Juni 2021

www.pix4d.com diakses pada bulan Juni 2021

www.precisionmapper.com diakses pada bulan Juni 2021

www.qgis.org diakses pada bulan Juni 2021