

PEMANFAATAN PESAWAT UDARA NIR AWAK (PUNA) ALAP-ALAP UNTUK PEMANTAUAN GUNUNG BERAPI

THE ALAP-ALAP UNMANNED AERIAL SYSTEM FOR VOLCANIC MONITORING

Yomi Guno, Dewi H. Budiarti dan Dwi Raharjo

Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan – BPPT
Gd Hankam No. 256 Kawasan PUSPIPTEK - Serpong, Tangerang Selatan – 15314
Telp. 021-75791262 (ext. 3523)
e-mail : yomi.guno@bppt.go.id, dewi.habsari@bppt.go.id, dwi.raharjo@bppt.go.id

Abstrak

Wilayah Indonesia merupakan bagian dari Lingkaran Cincin Api Pasifik. Ditandai dengan banyaknya gunung berapi aktif yang menghiasi wilayah Indonesia dari timur ke barat. Berdasarkan sejarah, rangkaian gunung berapi ini terbukti memiliki peranan penting dalam mempengaruhi iklim dunia. Hal ini masih berlangsung sampai hari ini hingga waktu yang akan datang. Oleh karena itu, pengetahuan yang cukup mendalam mengenai keberadaan rangkaian gunung berapi ini sangatlah penting untuk keberlangsungan hidup masyarakat di sekitar wilayah Indonesia maupun dunia. Pemantauan rangkaian gunung berapi membutuhkan banyak tenaga dan fasilitas yang memakan biaya besar. Penggunaan Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) menawarkan solusi alternatif untuk pemenuhan tugas ini. Efisiensi dalam melaksanakan pemantauan seperti misi video surveillance dan pengumpulan gambar orthopoto di area sekitar gunung berapi dapat dilakukan dengan biaya yang relatif sangat murah dibandingkan dengan menggunakan satelit. Selain itu penggunaan PUNA sangat fleksibel karena mudahnya mengatur jadwal pemantauan PUNA sesuai dengan kebutuhan.

Kata Kunci : PUNA, Gunung berapi, Surveillance, *Orthopoto*

Abstract

The territory of Indonesia is part of the Pacific Ring of Fire. Characterized by the number of active volcanoes that adorn the territory of Indonesia from east to west. Historically, this series of volcanoes proved to have an important role in influencing the world's climate. This is still going on until this day. Therefore, a sufficiently deep knowledge of the existence of this series of volcanoes is very important for the survival of people around the territory of Indonesia and the world. Monitoring a series of volcanoes requires a lot of facilities that cost a lot. The use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV/PUNA) offers an alternative solution for fulfilling this task. Efficiency in carrying out monitoring such as video surveillance missions and orthopoto image collection in the area around the volcano can be done at a relatively very low cost compared to using satellites. In addition UAV/PUNA is very flexible because it is easy to arrange monitoring schedule as needed.

Keyword : PUNA, UAV, ring of fire, Volcanoes, Surveillance, *Orthopoto*

Diterima (received) : 15-10-2017 , Direvisi (revised) : 10-11-2017
Disetujui (accepted) : 01-12-2017

PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia merupakan bagian dari wilayah lingkaran cincin api Pasifik (*pacific ring of fire*)¹⁾, sehingga banyak dipenuhi dengan gunung berapi. Pada setiap gunung berapi yang aktif maupun yang istirahat (*dormant*), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dibawah kementerian ESDM, telah membangun tempat Pengawasan Gunung Api (PGA) untuk mengamati aktivitas masing-masing gunung berapi. Pengawasan gunung berapi ini dimaksudkan agar PVMBG dapat memperoleh data lapangan dalam melakukan analisa karakteristik gunung berapi, memprediksi dampak bencana letusan maupun menyampaikan informasi peringatan dini terjadinya bencana yang akan terjadi. Pada Gambar 1 ditampilkan peta rangkaian gunung berapi di Indonesia²⁾ yaitu:



Gambar 1. Peta Gunung Berapi di Indonesia²⁾

Sedangkan pada Tabel 1 ditampilkan pemanfaatan aktivitas PGA dalam penanganan bencana letusan gunung berapi:

Tabel 1. Pemanfaatan PGA

No	Pengamatan	Pemanfaatan
		Data aktivitas gunung api
1	Pengamatan Visual	Karakteristik gunung api Peringatan dini bencana Prediksi aliran lava dan lahar
2	Pengamatan Data <i>Seismographs</i> dan lingkungan	Prediksi frekuensi waktu letusan dan Penunjukan jalur evakuasi bencana

Sumber Data: Kementerian ESDM Badan Geologi

Pengawasan gunung berapi tidaklah mudah, terutama dalam hal menempatkan pos PGA, akibat dari kondisi geografi wilayah Indonesia yang terbentang antar pulau. Beberapa gunung berapi terkadang terletak di tengah laut, sehingga menyebabkan penempatan pos PGA relatif jauh dari lokasi gunung tersebut. Kesulitan lainnya adalah PGA tidak mampu melihat kondisi kawah secara *real time* karena posisi pos PGA yang lebih rendah dari gunung berapi.

Citra satelit dapat dimanfaatkan dalam hal melihat aktivitas gunung berapi. Salah satu kelebihan citra satelit adalah memungkinkan untuk pemantauan area yang luas. Tetapi mempunyai beberapa kekurangan yaitu: orbit satelit yang hanya sewaktu dan citra yang dihasilkan terkadang kurang baik jika objek yang dipantau diselimuti oleh awan. Alternatif selain penggunaan satelit, sangat dimungkinkan untuk menggunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)³⁾ atau Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) jika jarak radius gunung berapi yang akan diawasi oleh PGA maksimal 90 km *line of sight* (LOS)⁴⁾.

Dalam menjalankan misinya, PUNA dilengkapi dengan alat atau sistem pengendali terbang otomatis (*Auto Pilot* dan *Autonomous*) yang ditransmisikan melalui gelombang radio frekuensi *line of sight* (LOS)⁴⁾, peralatan navigasi yang sangat presisi dengan *Differential Global Positioning System* (DGPS) dan peralatan kamera beresolusi tinggi.

METODOLOGI PENGAWASAN GUNUNG BERAPI

Dalam kegiatan pengawasan gunung berapi, ada beberapa aktivitas yang perlu diamati, antara lain⁵⁾:

- Mengukur perubahan kemiringan gunung berapi.
- Pengambilan gambar *thermal* atau gambar *orthophoto*.
- Pemetaan prediksi aliran lava dan lahar.

Peningkatan kemiringan gunung berapi yang tajam dapat mengindikasikan adanya peningkatan tekanan gas di dalam gunung berapi yang dapat menyebabkan terjadinya pembengkakan. Sedangkan gas yang keluar dari kaldera ataupun bukaan gunung berapi dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas yang terjadi dibawah tanah. Perubahan konsentrasi gas belerang dan karbon dapat mengindikasikan adanya penambahan magma atau bebatuan cair.

Menurut PVMBG dalam aplikasi *Multiplatform Application for Geohazard Mitigation and Assessment in Indonesia (MAGMA)*⁶⁾ terdapat 4 level bahaya aktivitas gunung berapi yaitu:

1. Aktif Normal (Level I)

Status aktif normal artinya pada gunung api yang diamati tidak ada perubahan aktivitas secara visual, seismik, dan kejadian vulkanik. Ini menunjukkan tidak ada letusan hingga kurun waktu tertentu.

2. Waspada (Level II)

Status waspada menunjukkan mulai meningkatnya aktivitas seismik dan mulai muncul kejadian vulkanik. Pada status ini juga mulai terlihat perubahan visual di sekitar kawah. Mulai terjadi gangguan magmatik, tektonik, atau hidrotermal, namun diperkirakan tidak terjadi erupsi dalam jangka waktu tertentu.

3. Siaga (Level III)

Pada status siaga ada peningkatan seismik yang didukung dengan pemantauan vulkanik lainnya, serta terlihat jelas perubahan baik secara visual maupun perubahan aktivitas kawah. Berdasarkan analisis data observasi, kondisi itu akan diikuti dengan letusan utama. Artinya, jika peningkatan kegiatan gunung api terus berlanjut, kemungkinan erupsi besar mungkin terjadi dalam kurun dua pekan.

4. Awas (Level IV)

Status awas adalah kondisi paling memungkinkan terjadinya erupsi. Status awas merujuk letusan utama yang dilanjutkan dengan letusan awal, diikuti semburan abu dan uap. Setelah itu akan diikuti dengan erupsi besar. Dalam kondisi ini, kemungkinan erupsi besar akan berlangsung dalam kurun 24 jam.

Untuk membantu PGA dalam mengawasi aktivitas gunung berapi, PUNA dapat digunakan dengan menerbangkan secara rutin ataupun pada saat-saat yang dibutuhkan. Penggunaan pesawat nir awak dalam hal ini lebih fleksibel dan tidak tergantung dengan operator satelit. Pengawasan dapat dilakukan lebih sering tanpa terkonsentrasi pada satu area tertentu. Selain itu, untuk mendapatkan hasil gambar yang baik, PUNA dapat terbang di bawah awan yang tidak bisa dilakukan oleh foto satelit.

Beberapa keuntungan dan keterbatasan penggunaan PUNA, antara lain:

- (1) Operasi dapat dilakukan dimana saja, dan dapat dilakukan secara berulang setiap saat untuk mendeteksi perubahan, sehingga dapat diperoleh gambar yang *real time*.
- (2) Mampu terbang rendah, sehingga dapat menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi.
- (3) Biaya lebih rendah untuk pengolahan data gambar sehingga biaya operasionalnya lebih ekonomis.
- (4) Tanpa diperlukan pilot di dalam pesawat, sehingga relatif aman.

Akan tetapi PUNA juga memiliki keterbatasan, antara lain:

- (1) Biaya investasi awal relatif mahal (tergantung pada ukuran dan kompleksitas PUNA).
- (2) Persyaratan perizinan terbang, sertifikasi khusus untuk pilot serta penggunaan wilayah udara yang sangat ketat⁷⁾.
- (3) Pengolahan data gambar akan lebih sulit jika stabilitas pesawat rendah dan penggunaan sensor yang kurang berkualitas.

PEMBAHASAN

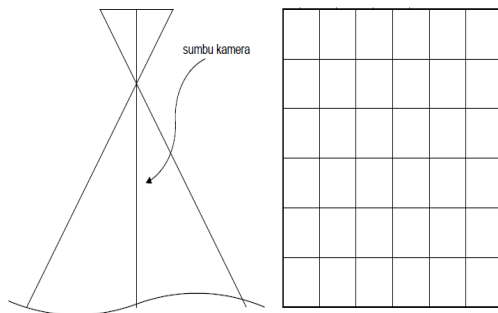
FOTO UDARA BERBASIS *ORTHOPOTO*

PUNA dapat digunakan untuk mengambil data/gambar pada saat status gunung berapi berada pada tahap normal, waspada, siaga maupun awas. Hal ini dapat membantu PGA dalam mengawasi aktivitas gunung berapi. Data dukung yang diambil selain video, dibutuhkan juga data foto udara berupa *orthophoto* untuk melihat perkembangan aktivitas status gunung berapi.

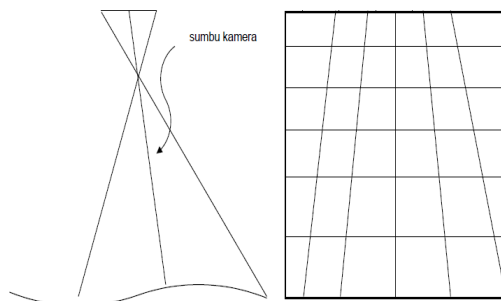
Teknik *orthophoto* merupakan sebuah foto udara yang telah dikoreksi geometris (*orthorectified*) sedemikian rupa sehingga skala foto itu adalah seragam, yang berarti bahwa foto dapat dianggap setara dengan peta⁸⁾.

Foto udara sesuai dengan pengelompokan sumbu kameranya, dibedakan atas 3 macam yaitu: foto udara tegak (*vertical*), foto udara condong (*tilted*) dan foto udara condong sekali (*oblique*)⁸⁾. Foto udara tegak (*vertical*) meliputi foto udara tegak sempurna (sumbu kamera tegak lurus atau $\pm 3^\circ$ dengan permukaan bumi). Sedangkan foto udara dalam keadaan condong (*tilted*) dengan kondisi $> \pm 3^\circ$ tetapi kurang dari $\pm 30^\circ$. Kemudian foto udara

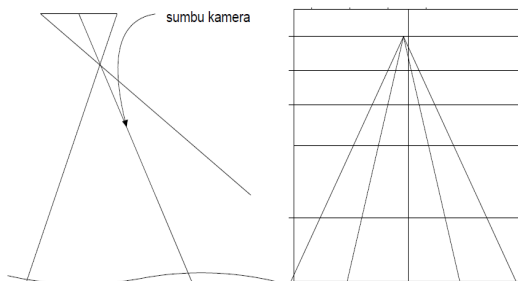
condong sekali (*oblique*) antara 35° sampai 55° dengan permukaan bumi⁸⁾.



Gambar 2.
Posisi sumbu kamera *vertical*⁸⁾



Gambar 3.
Posisi sumbu kamera condong⁸⁾



Gambar 4.
Posisi sumbu kamera sangat condong⁸⁾

Beberapa kelebihan foto udara tegak (*vertical*) dibandingkan dengan foto udara condong yaitu:

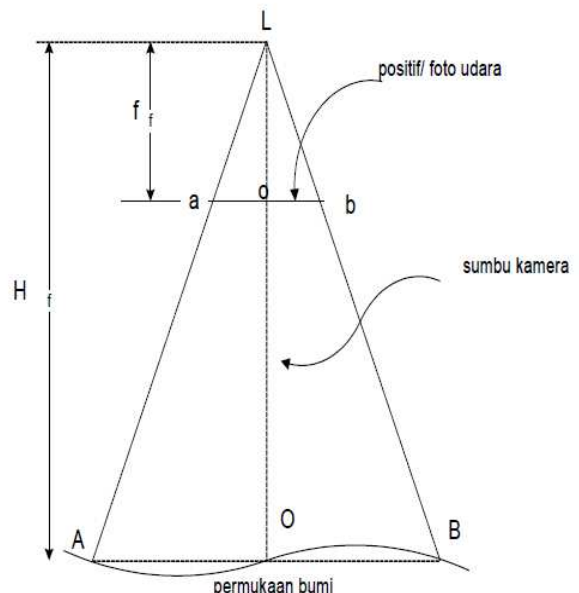
- Skala pada tiap bagian foto lebih seragam.
- Penentuan arah pada foto udara vertikal lebih mudah. Perkiraan arah dapat ditentukan seperti penentuan arah pada peta.
- Dalam batas tertentu, foto udara vertikal dapat dipakai sebagai substitusi peta.
- Foto udara vertikal lebih mudah diinterpretasi, karena disamping skalanya lebih seragam, juga tidak banyak objek yang terlindung oleh objek lainnya.

Foto udara yang diambil dengan sudut condong juga mempunyai kelebihan bila dibandingkan foto udara dengan sumbu tegak (*vertical*), antara lain:

- Luas area yang difoto lebih besar karena sudut pengambilan tidak tegak lurus.
- Untuk daerah yang sering tertutup oleh awan, masih ada kemungkinan menembus celah-celah awan bila dilakukan pemotretan condong.
- Gambaran yang disajikan lebih mirip dengan yang dilihat sehari-hari dari tempat yang relatif tinggi.

Berdasarkan masing-masing kelebihan tersebut maka foto udara vertikal lebih menguntungkan karena ukuran geometrinya lebih teliti dan cara pengukurannya lebih mudah. Foto udara vertikal pada umumnya juga tidak benar-benar vertikal, melainkan sedikit condong. Bila condongnya tidak melebihi dari 3° , maka foto tersebut masih dianggap sebagai foto yang vertikal.

Sifat dasar dari sebuah foto udara adalah bahwa setiap bayangan yang di foto sesuai dengan titik tunggal dari objek yang di foto. Hubungan geometrik muncul antara posisi spasial relatif dari bayangan dua dimensi di atas foto dan posisi yang sebenarnya dalam tiga dimensi dari objek sehingga penentuan skala foto sangat penting dalam hal menentukan keakuratan hasil foto yang sudah diolah.



Gambar 5.
Skala Foto Udara dengan Permukaan Bumi⁹⁾

Skala dinyatakan dengan⁹⁾:

$$S = ab/AB = f/H \quad (1)$$

Keterangan:

- L : Titik pemotretan
- f : Panjang fokus kamera
- H : Tinggi terbang pesawat
- ab : Jarak di bidang foto udara
- AB : Jarak di permukaan bumi

Pada gambar 5, merupakan gambaran dua dimensi foto udara tegak yang dibuat di atas bidang/medan yang datar. Dengan prinsip kesebangunan antar segitiga **Lab** dengan segitiga **LAB**, maka skala dapat ditentukan dengan melakukan perbandingan jarak di atas bidang foto dengan jarak di lapangan yang mengacu kepada perbandingan panjang fokus kamera dengan tinggi terbang pesawat. Apabila tinggi pesawat dijadikan parameter maka semakin tinggi pesawat skala akan semakin kecil dengan kata lain skala berbanding terbalik dengan tinggi terbang⁹⁾.

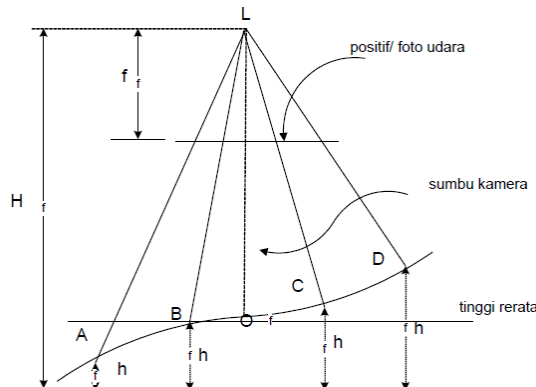
Misi pengawasan gunung berapi akan berada pada daerah yang tidak datar sehingga persamaan (1) dapat diuraikan lagi sebagai berikut⁹⁾:

$$S = f/(H-h) \quad (2)$$

Keterangan:

- S : Skala Foto
- f : Panjang Fokus Lensa
- H : Tinggi terbang pesawat diatas datum
- h : Tinggi Objek

Apabila masing-masing objek/titik A,B,C dan D mempunyai ketinggian di atas datum sebesar ha, hb, hc dan hd maka skala pada titik yang bersangkutan dapat dijelaskan seperti gambar di bawah ini⁹⁾:



Gambar 6.
Foto Udara pada Permukaan yang tidak datar⁹⁾

Dari gambar terlihat bahwa skala pada tiap titik dapat dinyatakan dengan⁹⁾:

$$Sa = f/(H-ha) \quad (3)$$

$$Sb = f/(H-hb) \quad (4)$$

$$Sc = f/(H-hc) \quad (5)$$

$$Sd = f/(H-hd) \quad (6)$$

Dikarenakan pada daerah berbukit skala foto udara akan berbeda untuk tiap-tiap titik maka untuk menghitung skala digunakan skala foto rata-rata. Skala foto rata-rata atau rerata didasarkan pada ketinggian rerata daerah yang terpotret dinyatakan dengan persamaan berikut⁹⁾:

$$Sr = f/(H-hr) \quad (7)$$

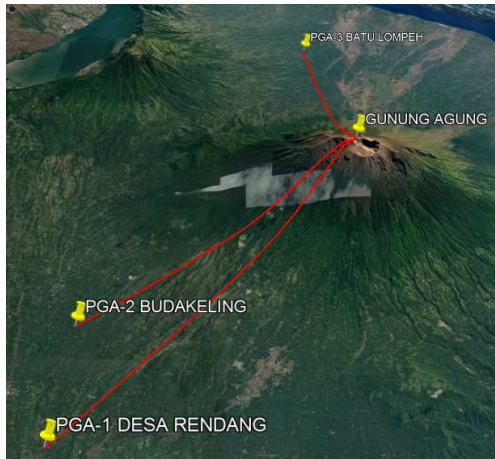
dengan Sr adalah skala foto udara rerata dan hr adalah tinggi rerata.

PESAWAT UDARA NIR AWAK (PUNA) ALAP-ALAP UNTUK PENGAWASAN GUNUNG AGUNG

Gunung Agung merupakan salah satu gunung berapi yang masuk dalam kategori awas¹⁰⁾. Lokasi administrasi Gunung Agung berada di Kabupaten Karangasem, Pulau Bali dengan koordinat: Latitude: -8.338333° dan Longitude: 115.505000°. Ketinggian Gunung Agung adalah 3014 meter di atas muka laut dan pernah meletus pada tahun 1963¹⁰⁾.

Sedangkan PGA Gunung Agung berada di tiga lokasi yaitu¹⁰⁾:

1. Desa Rendang dengan koordinat Latitude: -8.425000° dan Longitude: 115.433333°. Berada di ketinggian 560 meter dari permukaan laut dan berjarak 13 kilometer kearah Gunung Agung.
2. Budakeling dengan koordinat Latitude: -8.391667° dan Longitude: 115.433333°. Berada di ketinggian 741 meter dari permukaan laut dan berjarak 10 kilometer kearah Gunung Agung.
3. Batulompeh dengan koordinat Latitude: -8.250000° dan Longitude: 115.489417°. Berada di ketinggian 211 meter dari permukaan laut dan berjarak 10 kilometer kearah Gunung Agung.



Gambar 7.
Gunung Agung dan Posisi PGA¹¹⁾

PUNA Alap-Alap BPPT 06C merupakan pesawat dengan konfigurasi *double boom-inverted V tail*. Pada saat lepas landas, digunakan landasan minimal 50 meter untuk *take off* dan 100 meter untuk *landing*. Pesawat didesain untuk terbang hingga ketinggian 10,000 kaki dengan berat maksimum 30 kg.

Berikut adalah spesifikasi PUNA BPPT 06C ALAP-ALAP DOUBLE BOOM¹²⁾:

Wingspan	: 3 m
Max Altitude	: 10,000 ft / 3048 m
MTOW	: 30 Kg
Payload	: Gimbal
Camera	
Range	: 90 Km (LOS)
Flight Endurance	: 8 Hours



Gambar 8.
PUNA Alap-Alap 06C¹²⁾

Terkait dengan misi pengawasan Gunung Agung, *Ground Control Station* (GCS) PUNA akan ditempatkan di Stadion

Lempuyang dengan koordinat Latitude: - 8.441864° dan Longitude: 115.591225° yang berjarak 14 kilometer LOS dari Gunung Agung (garis kuning) pada gambar 9.

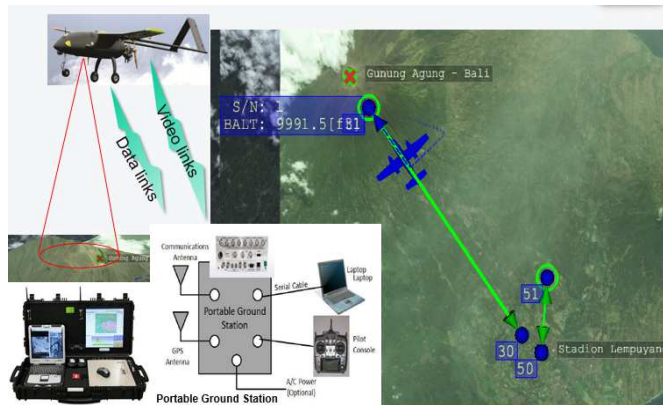
Pemilihan tempat di area Stadion Lempuyang dikarenakan mencari jarak terdekat dari Gunung Agung sehingga dapat dimaksimalkan penggunaan bahan bakar PUNA.



Gambar 9.
Posisi GCS PUNA¹¹⁾

Misi operasi yang mampu dilakukan oleh PUNA Alap-Alap adalah misi *surveillance* dan foto udara (*mapping*). Misi *surveillance* menggunakan *payload gimbal camera PTZ TASE200* yang ditransmisikan secara *real time* ke GCS¹³⁾. Sedangkan misi *mapping* menggunakan *payload kamera Sony α6000* dengan lensa 20 mm yang tidak ditransmisikan fotonya tetapi disimpan di *memory card* kamera¹⁴⁾. Setelah PUNA *landing* data-data foto baru bisa diolah.

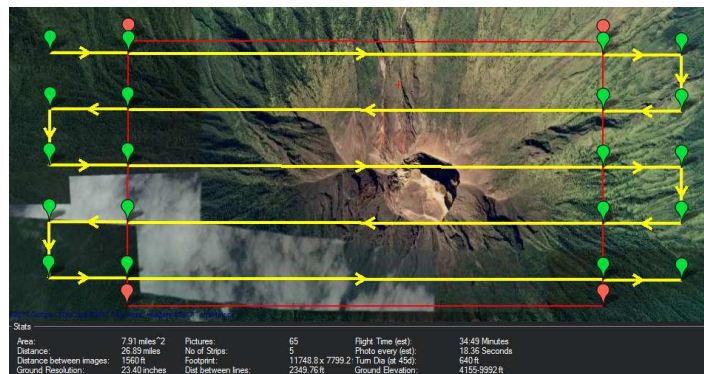
Pada gambar 10, PUNA menggunakan sistem GCS yang *portable* atau *Portable Ground Station* (PGS). Ketika PUNA Alap-Alap *take off* dari Stadion Lempuyang, pesawat akan *loiter* terlebih dahulu di *waypoint* 51 dengan koordinat Latitude: - 8.414420° dan Longitude: 115.594002° sampai mencapai ketinggian 10,000 ft/3048 m dari permukaan laut. Setelah ketinggian tercapai, pesawat akan menuju titik tujuan di *waypoint* 31 dengan koordinat Latitude: - 8.352521° dan Longitude: 115.515464°, kemudian kembali melakukan *loiter* di area tersebut untuk melihat kondisi kawah Gunung Agung secara *real time*. Pengawasan kondisi kawah menggunakan gimbal PTZ yang mampu untuk *locking target*¹³⁾.



Gambar 10.
Misi PUNA *Surveillance*¹³⁾

Data pengawasan menggunakan video *surveillance* akan dikirim secara langsung ke *Ground Control Station* dan ditransmisikan juga ke PGA yang terdekat. Dari hasil video tersebut, petugas dapat mengamati aktivitas Gunung Agung dan membuat peta prediksi aliran lava dan lahar jika terjadi letusan.

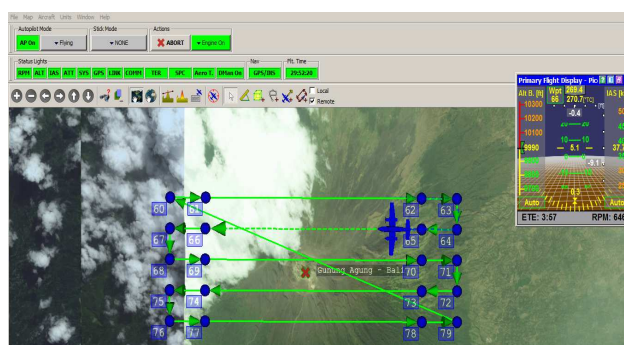
Selain misi *surveillance*, misi *mapping* perlu dilakukan untuk tambahan data dukung dalam pengawasan gunung berapi. Pada gambar 10 ditampilkan *waypoint* pengambilan foto udara Gunung Agung menggunakan PUNA Alap-Alap. Penentuan *waypoint* sangat penting sekali terhadap kualitas foto yang dihasilkan.



Gambar 11.
*Waypoint Mapping Gunung Agung*¹⁵⁾

Software yang digunakan untuk menentukan *waypoint mapping* menggunakan *open source mission planner*¹⁵⁾. Kemudian sebelum PUNA Alap-

Alap diterbangkan, *waypoint* yang sudah ditentukan tadi divalidasi dengan *software in loop* (SIL) simulasi terbang PUNA Alap-Alap seperti pada gambar 11 di bawah ini¹⁶⁾:



Gambar 12.
*Waypoint Mapping Gunung Agung*¹⁶⁾

Gambar yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan hasil pengambilan gambar sebelumnya untuk melihat perkembangan aktivitas gunung berapi. Sehingga kegiatan PUNA Alap-Alap dalam menjalankan misi *surveillance* dan *mapping* dapat membantu dalam melakukan pengawasan gunung berapi.

SIMPULAN

Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) merupakan piranti yang sangat berguna untuk berbagai aplikasi pengawasan terutama pengawasan gunung berapi, walaupun masih banyak kekurangannya. Kemudahan dalam pengoperasiannya serta fleksibilitas waktu dan mudah dalam melakukan misi *mapping* atau *surveillance* dianggap sebagai salah satu kelebihan dari penggunaan PUNA jika dibandingkan menggunakan foto satelit. Selain itu penggunaan PUNA juga minim risiko karena tidak adanya pilot di dalam pesawat. Pesawat akan dikendalikan secara *Auto Pilot* dan *Autonomous* dari *Ground Control Station*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pegawai PTIPK yang telah berkenan memberi arahan dan masukan dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bethany D., Rinard Hinga, *Ring of Fire An Encyclopedia of the Pacific Rim's Earthquakes, Tsunamis, and Volcanoes*, ISBN: 978-1-61069-296-0, 2015.
2. PVMBG, Peta Gunung Berapi di Indonesia, <https://magma.vsi.esdm.go.id>, diakses 11 Desember 2017.
3. Reg Austin, *UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS UAVS DESIGN, DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT*, ISBN 9780470058190, 2010.
4. PUNA BPPT, HARKITNAS 2017, <https://www.bppt.go.id/teknologi-hankam-transportasi-manufakturing/2894-harkitnas-2017-bppt-sukses-uji-drone-alap-alap-berhasil-terbang-non-stop-7-jam>, diakses 12 Desember 2017.
5. Dimas Jarot Bayu, 2016, <http://nasional.kompas.com/read/2016/10/06/14363381/.drone.bantu.bnpb.atasi.bencana.alam.di.indonesia>, diakses 12 Desember 2017.
6. PVMBG, Level Gunung Berapi, <https://magma.vsi.esdm.go.id/press/>, diakses 13 Desember 2017.
7. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No 180 Tahun 2015.
8. Drone Mapper, Photogrammetry, https://dronemapper.com/uas_photogrammetry_processing, diakses 14 Desember 2017.
9. Paul R. Wolf, Ph.D., *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, ISBN: 978-0-07-176111-6, 2014.
10. PVMBG, Gunung Agung, <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/468-g-agung>, diakses 15 Desember 2017.
11. Google Earth, <https://www.google.com/earth/desktop/>, diakses 16 Desember 2017.
12. PUNA PUNA BPPT 06C ALAP-ALAP DOUBLE BOOM, <http://ptipk.bppt.go.id/produk/program-dipa/puna/>, diakses 16 Desember 2017.
13. Gimbal Camera PTZ TASE200, <http://www.cloudcaptech.com/products/detail/tase-200>, diakses 17 Desember 2017.
14. Kamera Sony α6000, <https://www.sony.com/electronics/interchangeable-lens-cameras/ilce-6000-body-kit/specifications>, diakses 17 Desember 2017.
15. Waypoint Mission Planner, <http://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>, diakses 17 Desember 2017.
16. Mark Zantmiller, *Piccolo Software-in-Loop (SiL) Setup Guide*, 2013