



**KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL  
REPUBLIK INDONESIA**

KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINERAL DAN BATUBARA  
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL

NOMOR: 17.K/HK.02/DJB.S/2023

TENTANG

PETUNJUK TEKNIS PEMETAAN DAN EVALUASI KEMAJUAN TAMBANG  
MINERAL DAN BATUBARA DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI  
*UNMANNED AERIAL VEHICLE (UAV)*

DIREKTUR JENDERAL MINERAL DAN BATUBARA  
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL,

Menimbang : a. bahwa dalam rangka penerapan kaidah teknik pertambangan yang baik, badan usaha pemegang izin di bidang usaha pertambangan mineral dan batubara dalam melakukan kegiatan usaha pertambangan wajib melakukan pengelolaan teknis pertambangan secara lebih efektif dan efisien;

b. bahwa dalam rangka melaksanakan pengelolaan teknis pertambangan secara lebih efektif dan efisien salah satu upaya yang dilakukan dengan kegiatan pemetaan menggunakan teknologi UAV;

c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Keputusan Direktur Jenderal Mineral dan Batubara Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Petunjuk Teknis Pemetaan dan Evaluasi Kemajuan Tambang Mineral dan Batubara dengan Menggunakan Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*;

- Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 4, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 49) sebagaimana telah diubah dengan Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2020 tentang Perubahan atas Undang-Undang Nomor 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 147, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6525);
2. Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2010 tentang Pembinaan dan Pengawasan Penyelenggaraan Pengelolaan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2010 Nomor 85, Tambahan Lembaran Berita Negara Republik Indonesia Nomor 5142);
3. Peraturan Pemerintah Nomor 96 Tahun 2021 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 208, Tambahan Lembaran Berita Negara Republik Indonesia Nomor 6721);
4. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 26 Tahun 2018 tentang Pelaksanaan Kaidah Pertambangan yang Baik dan Pengawasan Pertambangan Mineral dan Batubara (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 596);
5. Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar;
6. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 7 Tahun 2020 tentang Tata Cara Pemberian Wilayah, Perizinan, Dan Pelaporan Pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 220) sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 16 Tahun 2021

- tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 7 Tahun 2020 tentang Tata Cara Pemberian Wilayah, Perizinan, Dan Pelaporan Pada Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 734);
7. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 37 Tahun 2020 tentang Pengoperasian Pesawat Udara Tanpa Awak di Ruang Udara Yang Dilayani Indonesia (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2020 Nomor 579);
  8. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 15 Tahun 2021 tentang Organisasi dan Tata Kerja Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 733);
  9. Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 18 Tahun 2021 tentang Tata Cara Penyelenggaraan Informasi Geospasial (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 984);
  10. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 63 Tahun 2021 tentang Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 107 tentang Sistem Pesawat Udara Kecil Tanpa Awak (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2021 Nomor 820);
  11. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik;

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINERAL DAN BATUBARA KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL TENTANG PETUNJUK TEKNIS PEMETAAN DAN EVALUASI KEMAJUAN TAMBANG MINERAL DAN BATUBARA DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV).

- KESATU : Menetapkan Petunjuk Teknis Pemetaan dan Evaluasi Kemajuan Tambang Mineral dan Batubara dengan Menggunakan Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) sebagaimana tercantum dalam lampiran yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Keputusan Direktur Jenderal ini.
- KEDUA : Keputusan Direktur Jenderal ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di  
pada tanggal 2 Oktober 2023

Plt. DIREKTUR JENDERAL MINERAL DAN BATUBARA  
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL,



Ditandatangani secara elektronik

BAMBANG SUSWANTONO

Tembusan:

1. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral
2. Gubernur seluruh Indonesia
3. Sekretaris Jenderal Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
4. Inspektur Jenderal Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

LAMPIRAN

KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL MINERAL DAN BATUBARA  
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL

NOMOR : 17.K/HK.02/DJB.S/2023

TANGGAL : 2 Oktober 2023

TENTANG

PETUNJUK TEKNIS PEMETAAN DAN EVALUASI KEMAJUAN  
TAMBANG MINERAL DAN BATUBARA DENGAN MENGGUNAKAN  
TEKNOLOGI *UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV)

PETUNJUK TEKNIS PEMETAAN DAN EVALUASI KEMAJUAN TAMBANG  
MINERAL DAN BATUBARA DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI  
*UNMANNED AERIAL VEHICLE* (UAV)

**A. Pendahuluan**

1. Umum

- a. Bahwa sesuai dengan ketentuan Pasal 3 ayat 3 huruf (a) Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2018, pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) dan Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK) wajib melaksanakan kaidah teknik pertambangan yang baik, salah satunya adalah aspek teknis pertambangan.
- b. bahwa sesuai dengan Lampiran II Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018, dalam melaksanakan kegiatan penambangan pemegang IUP dan IUPK wajib melakukan pemetaan.
- c. bahwa dalam rangka melakukan pemetaan secara lebih efektif dan efisien salah satu upaya yang dilakukan adalah dengan penggunaan teknologi UAV.
- d. bahwa sehubungan dengan hal tersebut di atas, diperlukan Petunjuk Teknis tentang Pemetaan dan Evaluasi Kemajuan Tambang Mineral dan Batubara dengan Menggunakan Teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV).

2. Maksud dan Tujuan

- a. Maksud dari penyusunan petunjuk teknis ini adalah sebagai acuan pemetaan dan evaluasi kemajuan tambang mineral dan batubara dengan menggunakan teknologi UAV bagi badan usaha pemegang IUP dan IUPK dalam melakukan kegiatan penambangan dan evaluasi dalam rangka pembinaan dan pengawasan oleh Pemerintah.
- b. Tujuan dari penyusunan petunjuk teknis ini agar dalam pelaksanaan kegiatan pemetaan kemajuan tambang menggunakan teknologi UAV oleh badan usaha pemegang IUP dan IUPK dalam melakukan penambangan didapatkan hasil pemetaan sesuai dengan kaidah pemetaan yang baik.

3. Ruang Lingkup

- a. Petunjuk teknis ini berlaku bagi badan usaha pemegang IUP dan IUPK yang melakukan pemetaan kemajuan tambang mineral dan batubara dengan menggunakan teknologi *unmanned aerial vehicle* (UAV).
- b. Hasil dari kegiatan pemetaan kemajuan tambang mineral dan batubara dengan menggunakan teknologi *unmanned aerial vehicle* (UAV) akan dijadikan sebagai bahan evaluasi aspek teknis terhadap kemajuan tambang yang dilakukan badan usaha pemegang IUP dan IUPK.
- c. Kemajuan tambang mineral dan batubara yang tercakup dalam petunjuk teknis ini meliputi kemajuan lahan yang dibuka, lahan penggalian, lahan penimbunan, fasilitas pengelolaan air tambang, dan fasilitas penunjang kegiatan tambang.

4. Sistematika

- a. Pendahuluan
- b. Pengertian
- c. Pemetaan menggunakan UAV
- d. Tata cara pemetaan menggunakan UAV
- e. Evaluasi hasil pemetaan menggunakan UAV
- f. Penutup

## **B. PENGERTIAN**

1. *Unmanned Aerial Vehicle* yang selanjutnya disingkat UAV adalah sebuah mesin terbang yang berfungsi dengan kendali jarak jauh oleh penerbang (pilot) atau mampu mengendalikan dirinya sendiri dengan menggunakan hukum aerodinamika.
2. Pilot UAV adalah orang yang mengoperasikan UAV dan memiliki kompetensi untuk mengoperasikan UAV yang bertanggung jawab sebagai individu ataupun mewakili instansi dalam menjalankan tugas/usaha/kegiatannya memanfaatkan teknologi UAV.
3. Pengamat visual adalah orang yang bertugas memonitor wahana UAV dari gangguan eksternal (arah dan kecepatan angin, cuaca, obyek rintangan, elang).
4. Juru Ukur Tambang adalah Tenaga Teknis Pertambangan yang Berkompeten di bidang survei dan pemetaan serta pengelolaan peta-peta di bidang eksplorasi dan penambangan.
5. *Global Navigation Satellite System* yang selanjutnya disingkat GNSS adalah sistem penentuan posisi global berbasis pengamatan multi satelit navigasi
6. *GNSS Receiver* adalah perangkat elektronik yang menerima dan memproses sinyal secara digital dari konstelasi satelit navigasi untuk memberikan posisi, kecepatan dan waktu (dari penerima)
7. *Base Station* adalah titik di permukaan tanah yang diketahui koordinatnya dan digunakan sebagai referensi pengukuran *Airborne GNSS*.
8. *Ground Control Point* yang selanjutnya disingkat GCP adalah titik di permukaan tanah yang diketahui koordinatnya dan digunakan sebagai acuan dalam pengolahan data foto udara
9. *Independent Check Point* yang selanjutnya disingkat ICP adalah titik di permukaan tanah yang diketahui koordinatnya dan digunakan untuk menguji produk yang dihasilkan
10. *Ground Sampling Distance* yang selanjutnya disingkat GSD adalah nilai ukuran piksel kamera udara yang sudah terproyeksi di permukaan tanah.
11. *Forward overlap* adalah liputan pada dua lembar foto udara yang berurutan untuk daerah yang sama pada arah jalur terbang (dinyatakan dalam %).
12. *Side overlap* adalah liputan pada dua lembar foto udara untuk

- daerah yang sama antara dua jalur terbang (dinyatakan dalam %).
13. Jaring Kontrol Horizontal Nasional yang selanjutnya disingkat JKHN adalah sebaran titik kontrol geodesi horizontal yang terhubung satu sama lain dalam satu kerangka referensi nasional.
  14. Ortofoto adalah gambar fotografi dari medan yang proyeksi pusatnya telah diubah menjadi proyeksi orthogonal.
  15. Mosaik Ortofoto adalah gabungan dua ortofoto atau lebih untuk membentuk gambar utuh suatu medan.
  16. *Digital Elevation Model* yang selanjutnya disingkat DEM adalah model digital yang bentuk permukaan bumi terdiri dari *Digital Surface Model* dan *Digital Terrain Model*.
  17. *Digital Surface Model* yang selanjutnya disingkat DSM adalah model digital yang merepresentasikan bentuk permukaan bumi berikut objek yang berada di atasnya.
  18. *Digital Terrain Model* yang selanjutnya disingkat DTM adalah model digital yang merepresentasikan bentuk permukaan bumi tanpa objek yang berada di atasnya.
  19. *Area of Interest* yang selanjutnya disingkat AoI adalah cakupan daerah yang akan dilakukan pengambilan data foto udara.
  20. Triangulasi Udara adalah proses untuk menentukan posisi dan orientasi setiap foto udara pada sebuah seri foto udara dengan melakukan orientasi absolut terhadap GCP.
  21. *Direct Georeferencing* adalah proses untuk menentukan posisi dan orientasi setiap foto udara pada sebuah seri foto udara dengan pengukuran posisi relatif terhadap posisi *Base Station* melalui pengamatan GNSS secara *relatif differential* baik secara *realtime* (RTK) maupun *post-processing* (PPK).

### **C. PEMETAAN MENGGUNAKAN UAV**

C.1. Pemetaan menggunakan UAV merupakan pemetaan pada kegiatan usaha pertambangan yang bersifat sebagai pemetaan yang dilakukan menggunakan metode *ground survey*. Selain itu, dapat digunakan sebagai data tambahan atau pelengkap dalam memantau kondisi lahan permukaan pada kegiatan pertambangan.

Pemetaan menggunakan UAV perlu dilakukan oleh badan usaha pemegang IUP dan IUPK tahap kegiatan operasi produksi dengan kriteria sebagai berikut:

- 1) Luas area dibuka  $\geq 50$  Ha akumulasi dalam 1 tahun;
- 2) Lokasi kegiatan penggalian dan/atau penimbunan berjarak  $\leq 150$  m dari garis pantai, tepi danau, sungai dengan lebar  $\geq 100$  m;
- 3) Lokasi kegiatan penggalian dan/atau penimbunan berjarak  $\leq 100$  m dari pemukiman masyarakat;
- 4) Lokasi kegiatan penambangan dan/atau penimbunan berjarak  $\leq 3$  kali rencana kedalaman tambang akhir atau ketinggian timbunan akhir dari fasilitas umum meliputi jalan umum, jalur kereta api, bangunan umum, saluran irigasi, jaringan listrik, lapangan terbang, dan fasilitas umum lainnya;
- 5) Lokasi kegiatan tambang memiliki topografi dengan beda tinggi  $\geq 50$  m; atau
- 6) Memiliki fasilitas pengelolaan air tambang dengan luas permukaan  $\geq 10$  Ha secara akumulasi.

#### C.2. Perencanaan pemetaan menggunakan UAV

Dalam perencanaan pemetaan menggunakan UAV perlu dipersiapkan:

##### a. personel,

- 1) Pilot UAV yang memiliki sertifikat kompetensi di bidang pengoperasian UAV atau sertifikat *remote pilot* dari Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara (DKPPU) Kementerian Perhubungan, serta ditetapkan atau disetujui oleh Kepala Teknik Tambang;
- 2) Pengamat Visual yang memiliki kompetensi sama dengan Pilot UAV;
- 3) Juru Ukur Tambang yang memiliki sertifikat di bidang survei dan pemetaan tambang; atau
- 4) Asisten Juru Ukur Tambang yang memiliki pengalaman membantu pekerjaan Juru Ukur Tambang.

##### b. Peralatan

Peralatan yang diperlukan dalam pemetaan menggunakan UAV sesuai dengan kegiatan yang dilakukan memiliki kualifikasi sebagaimana tabel berikut:

Kegiatan	Jenis Peralatan/Bahan	Kualifikasi Peralatan
Pembuatan jalur terbang	Perangkat lunak jalur terbang	memiliki kemampuan mendesain jalur terbang sesuai sensor yang digunakan
	Perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (opsional)	
Pengukuran Titik Kontrol	Receiver dan antena GNSS	minimal 2 unit
		<i>Dual frequency</i> (L1, L2C)
		Tipe <i>receiver</i> geodetik
	Perangkat lunak pengolah data GNSS	memiliki kemampuan mengolah data <i>baseline GNSS</i> hingga menghasilkan koordinat dengan level akurasi yang disyaratkan
Pengambilan Foto Udara	Kamera Non-Metrik	modul <i>GNSS Receiver</i> untuk mengukur posisi kamera ( <i>trajectory</i> )
		Sensor multispektral ( <i>Red, Green, Blue</i> )
		Dudukan kamera ( <i>mounting</i> ), gimbal/stabiliser (opsional)
		Peralatan navigasi bagi pilot
		<i>Inertial Measurement Unit</i> (opsional)
		UAV
		<i>Remote Control</i>
		<i>Autonomous Flight</i>
		terpasang RTK atau GNSS PPK (opsional)

		Sensor obstruksi/ <i>detect and avoid</i> beserta <i>tracking system</i> (opsional)
Pengolahan data foto udara	Komputer/ <i>workstation</i>	Mampu mengolah data grafis
		CPU: 4 - 8 core Intel atau AMD Processor 2.0+ GHz, atau setara
		RAM: 32GB atau lebih sesuai dengan teknologi yang tersedia
		GPU : NVIDIA atau AMD GPU dengan 700+ CUDA cores/shader processor unit, atau setara
	<i>Software</i> pengolah foto udara UAV	Mengolah <i>trajectory</i>
		Memproses <i>Dense image matching technology</i>
		Memproses <i>bundle block adjustment</i>
		Mengolah ortofoto
		Membuat mosaik
		Membentuk <i>Digital Elevation Model (DEM)</i> secara otomatis

### C.3. Standar keluaran pemetaan menggunakan UAV

Pelaksanaan akuisisi data foto udara menggunakan UAV dilaksanakan dengan standar keluaran pada setiap tahapannya sebagai berikut:

Tahapan	Persyaratan	Keluaran	Format Data
Persiapan		1. Peta Rencana distribusi titik kontrol	1. digital format (.pdf dan .shp)
		2. Peta	2. digital format

		rencana jalur terbang 3. Perizinan dari instansi terkait (jika diperlukan)	(.pdf dan .shp) 3. digital format (.pdf)
Pengukuran Titik Kontrol	Jumlah Titik GCP untuk metode triangulasi udara: 1. Pada tiap sisi perimeter 2. Pada tengah Area of Interest. 3. Pada sebagian wilayah pertampalan. 4. Tersebar merata menyesuaikan bentuk AoI, sebagaimana ditetapkan dalam ketentuan D.6	1. Deskripsi titik JKHN dan titik <i>Benchmark</i> 2. Data pengamatan pengukuran koordinat metode satelit 3. Daftar koordinat titik kontrol	1. Digital format (.pdf) 2. Digital format Rinex dan format raw data 3. Digital format (.xls dan .shp)
	Apabila menggunakan metode <i>Direct Georeferencing</i> , jumlah titik GCP minimal 3 pada posisi: 1. elevasi tertinggi dalam AoI; 2. elevasi terendah dalam AoI; 3. bagian tengah AoI, sebagaimana ditetapkan dalam ketentuan D.6		
	Jumlah titik ICP menyesuaikan dengan SNI 8202:2019 dan perubahannya,		

	<p>sebagaimana ditentukan dalam ketentuan D.6</p> <p>Ketelitian horisontal <math>\leq 5</math> cm</p> <p>Ketelitian vertikal <math>\leq 10</math> cm</p> <p>Ketelitian geometri (PDOP) <math>\leq 10</math></p>		
Akuisisi Data Foto Udara	<p>1. GSD menyesuaikan dengan tujuan pemetaan.</p> <p>2. GSD untuk kegiatan tambang dan timbunan <math>\leq 5</math> cm</p> <p><i>Forward overlap</i> 60-80%</p> <p><i>Side overlap</i> 60%</p>	Data mentah foto udara digital	Digital format sesuai kamera
Pengolahan Data Foto Udara	<p>Pengolahan <i>trajectory</i>:</p> <p>1. PDOP <math>&lt; 3,5</math></p> <p>2. Ketelitian posisi horisontal <math>\leq 2</math> cm</p> <p>3. Ketelitian posisi vertikal <math>\leq 2,5</math> cm</p> <p>Pengolahan model:</p> <p>1. Rata-rata residual <i>tie point</i> <math>&lt; 1</math> mikron</p> <p>2. Residual maksimal setiap <i>tie point</i> yang dibentuk secara otomatis <math>&lt; 2,5</math> mikron</p> <p>3. Residual</p>	1. Dense Point Clouds	1. Digital format (LAS)

	<p>maksimal setiap <i>tie point</i> yang dibentuk secara manual &lt; 20 mikron</p>		
	<p>Objek harus <i>seamless</i> pada perpotongan <i>seamline</i> antar ortofoto</p>	<p>2. Mosaik ortofoto gabungan</p>	<p>2. Digital format (GeoTIFF)</p>
	<p>1. Ketelitian horizontal paling sedikit 0,3 m (Ketelitian Peta Kelas I) dengan ketelitian skala 1:1.000, dihitung pada koordinat titik ICP di mosaik ortofoto untuk AoI tambang dan timbunan. 2. Untuk AoI seluruh wilayah IUP dapat dilakukan dengan ketelitian yang lebih rendah sesuai dengan tujuan.</p>	<p>3. DTM area tambang dan timbunan</p>	<p>3. Digital format (GeoTIFF)</p>
	<p>Mosaik ortofoto dan DEM mengacu pada: 1. sistem koordinat nasional (SRGI 2013 dan perubahannya ) untuk pelaporan kepada Direktorat Jenderal Mineral &amp; Batubara 2. sistem koordinat</p>	<p>4. DSM fasilitas penunjang</p>	<p>4. Digital format (GeoTIFF)</p>
		<p>5. <i>Processing Report</i></p>	<p>5. Digital format (.pdf)</p>

	lokal untuk penggunaan internal Pemegang IUP		
--	--	--	--

#### D. Tata Cara Pemetaan Menggunakan UAV

##### D.1. Persiapan awal pemetaan menggunakan UAV

1. Pengurusan perizinan pengambilan data foto udara ke Instansi terkait sesuai ketentuan peraturan perundang-undangan.
2. Pembuatan peta rencana distribusi titik kontrol.
3. Pembuatan peta rencana jalur terbang dengan ketentuan jalur terbang sedapat mungkin mengikuti arah Timur-Barat atau Utara-Selatan atau apabila kondisi tersebut tidak memungkinkan maka disesuaikan dengan arah angin;
4. Pembuatan peta rencana jalur terbang dengan *offset* 5-10% dari *boundary* AoI (area tambang, timbunan dan/atau fasilitas penunjang kegiatan pertambangan).
5. Merencanakan posisi *base station* dengan ketentuan:
  - a. pada area terbuka untuk meminimalisir gangguan terhadap sistem komunikasi antara *Ground Control Station* (GCS) dengan UAV (*line of sight* dari pilot dan pengamat visual);
  - b. titik kontrol dapat dimanfaatkan sebagai *Base station*; dan
  - c. jarak *base station* dengan pesawat udara sesuai dengan jarak optimal yang dipersyaratkan peralatan.
6. Merencanakan lokasi *take off* dan *landing* UAV dengan ketentuan:
  - a. tanah yang struktur dan kondisinya stabil;
  - b. ruang pandang ke langit sesuai dengan yang dipersyaratkan peralatan UAV dan GNSS;
  - c. jauh dari objek-objek reflektif yang mudah memantulkan sinyal GNSS (mencegah *multipath*) dan jauh dari objek-objek yang dapat menimbulkan interferensi elektrik terhadap penerimaan sinyal GNSS;
  - d. dilakukan rekonaisan.
7. Prosedur serta *form checklist* untuk *preflight* dan *postflight* disediakan termasuk kesiapsiagaan darurat (*emergency* dan *contingency plan*)

## D.2. Pengukuran Titik Kontrol

1. Pelaksanaan pengukuran titik kontrol dilakukan oleh Juru Ukur Tambang dan Asisten Juru Ukur Tambang.
2. Titik kontrol tanah terdiri atas *ground control point* (GCP) dan *independent check point* (ICP).
3. GCP untuk metode triangulasi udara terletak pada tiap sisi perimeter, tengah AoI, sebagian wilayah pertampalan, dan tersebar merata menyesuaikan bentuk AoI.
4. GCP untuk metode *direct georeferencing* minimal 3 titik: pada posisi elevasi tertinggi, posisi elevasi terendah dan bagian tengah AoI.
5. ICP disebar secara merata pada area pekerjaan, sesuai dengan SNI 8202:2019 dan perubahannya.
6. Apabila blok pekerjaan dibagi menjadi beberapa AoI, harus terdapat titik kontrol tanah pada area pertampalan AoI.
7. Pengukuran titik kontrol tanah menggunakan *receiver* GNSS tipe geodetik.
8. Pengukuran titik kontrol tanah harus terikat pada JKHN baik berupa Pilar Titik Kontrol Geodesi maupun Stasiun GNSS Kontinyu (CORS) yang dikelola oleh BIG atau *benchmark* (BM) yang sudah terikat ke JKHN dengan metode Jaring.
9. Pengukuran titik kontrol tanah ke BM dapat dilakukan dengan pengukuran GNSS atau pengukuran *Total Station*.
10. Syarat minimal pengukuran GNSS:
  - Metode radial
  - Elevation mask  $15^\circ$
  - Sampling rate 15"
  - Lama pengamatan (1 km panjang *baseline* = 10 menit)
11. Syarat minimal pengukuran *Total Station*:
  - Metode poligon tertutup
  - Kesalahan penutup sudut  $10''/\sqrt{n}$  (dimana  $n$  = jumlah titik)
  - Kesalahan penutup linier  $\geq 1: 6.000$
12. Bentuk dan ukuran titik kontrol di lapangan didesain sedemikian sehingga dapat diidentifikasi dan diamati secara akurat di foto udara.
13. Titik kontrol dibuat dari bahan yang tahan cuaca, tidak mudah

robek, dan pudar.

14. Warna titik kontrol harus kontras dengan warna sekitarnya. Apabila terdapat titik kontrol yang tidak tampak pada foto udara maka harus dilakukan pengukuran ulang di lokasi terdekat dengan titik tersebut.
15. Data hasil pengukuran titik kontrol tanah diolah dengan perangkat lunak pengolah data GNSS harus memenuhi syarat sebagai berikut:
  - a. Solusi ambiguitas fase “Fixed”
  - b. Ketelitian geometri (PDOP)  $\leq 10$
  - c. Ketelitian horisontal  $\leq 5$  cm
  - d. Ketelitian vertikal  $\leq 10$  cm
16. Data tinggi elipsoid dikoreksi untuk mendapatkan tinggi geoid (tinggi ortometrik) dengan rumus:

$$H = h - N$$

Keterangan

H: tinggi geoid (tinggi ortometrik)

h: tinggi elipsoid (tinggi geodetik)

N: undulasi

Nilai undulasi didapatkan dari model geoid yang didapat dari layanan Badan Informasi Geospasial.

#### D.3. Akuisisi data foto udara menggunakan UAV

1. Setiap pengoperasian UAV diperlukan paling sedikit 2 (dua) orang personel yang terdiri dari pilot UAV dan pengamat visual.
2. Pilot UAV dan Pengamat Visual hanya diperbolehkan mengoperasikan dan/atau mengamati 1 (satu) UAV dalam satu waktu secara bersamaan.
3. Kalibrasi *boresight* dan *lever arm* dilaksanakan apabila sistem kamera udara di pasang ulang pada UAV dengan prosedur kalibrasi yang diatur pabrikan kamera foto udara.
4. Mematikan fitur *autofocus* pada kamera dan fokus lensa diatur sehingga jarak fokus tetap untuk setiap misi pemotretan. Fitur-fitur lainnya seperti ISO, *aperture*, dan *shutter* diatur sedemikian rupa sebelum terbang sehingga menghasilkan foto yang tajam dan cukup pencahayaan.

5. Kamera udara dipasang pada penyangga yang dilengkapi dengan peredam getaran (*gimbal*) untuk mengurangi pengaruh getaran motor.
6. Pemotretan udara dilengkapi dengan GNSS yang terintegrasi dengan sistem kamera udara untuk merekam data posisi kamera udara (*trajectory*).
7. Pemotretan udara dapat dilengkapi dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang terintegrasi dengan sistem kamera udara untuk merekam data orientasi kamera udara.
8. Pengukuran *base station* GNSS harus dilakukan secara simultan selama pemotretan udara berlangsung untuk metode *direct georeferencing*.
9. Penomoran foto udara hasil *reflight* diberi tambahan kode untuk membedakan dengan foto udara sebelumnya.
10. Jika survei pemotretan udara dalam satu jalur terputus, pada jalur tersebut perlu ditambahkan pertampalan minimal 2 foto dengan foto udara sebelumnya.
11. Waktu penerbangan diupayakan tidak dilakukan pada:
  - a. kondisi *overexposure/underexposure*;
  - b. adanya kemungkinan sunspot; dan/atau
  - c. malam hari.
12. *Cruising speed* sesuai dengan ketentuan keselamatan penerbangan sipil dan sesuai dengan kemampuan optimal peralatan.
13. Baterai UAV harus sesuai dengan durasi misi penerbangan ditambahkan dengan baterai cadangan.
14. Dalam hal penerbangan dilaksanakan dengan kaidah *Beyond Visual Line-of Sight* (BVLOS), UAV harus dilengkapi dengan sensor obstruksi/*detect and avoid* dan *tracking system*.

D.4. Pengolahan data hasil foto udara menggunakan UAV

1. GCP digunakan dalam blok perataan;
2. ICP digunakan untuk menguji ketelitian foto udara;
3. Titik kontrol/titik ikat diberi standar deviasi sesuai dengan ketelitian pengukuran koordinat;

4. Tahapan pengolahan data bergantung dengan spesifikasi perangkat lunak baik proses otomatis penuh atau semi otomatis untuk pengolahan aerial triangulasi, ekstraksi DEM, hingga proses ortofoto dengan memperhatikan nilai masukan untuk orientasi dalam secara iteratif;
5. Uji ketelitian foto udara (D7):
  - a. Titik yang digunakan dalam uji akurasi adalah titik ICP;
  - b. Koordinat posisi titik ICP dibandingkan antara posisi sebenarnya dengan posisi pada hasil ortofoto sebagaimana mengacu pada ketentuan peraturan perundang-undangan;
  - c. Akurasi horizontal paling sedikit 0,3 m (Ketelitian Peta Kelas I) dengan ketelitian skala 1:1.000, dihitung pada koordinat titik ICP di mosaik ortofoto untuk AoI tambang dan timbunan.

#### D.5. Penyajian data hasil foto udara menggunakan UAV

Penyajian hasil pelaksanaan pemetaan kemajuan tambang mineral dan batubara dengan menggunakan teknologi UAV disajikan dalam bentuk:

1. Mosaik ortofoto gabungan (format .GeoTIFF);
2. DTM area tambang dan timbunan (format .GeoTIFF);
3. DSM area fasilitas penunjang (format .GeoTIFF);
4. Peta ortofoto yang menggambarkan kondisi lahan, lokasi titik kontrol, dan AoI dengan skala peta yang memadai. (format .pdf);  
dan
5. Laporan hasil pengolahan data foto udara (format .pdf).

Hasil uji akurasi di masukan kedalam metadata atau keterangan peta dalam legenda. Contoh: “Peta Kerja yang digunakan adalah dari hasil foto udara UAV yang memiliki akurasi horizontal 0.3 m”

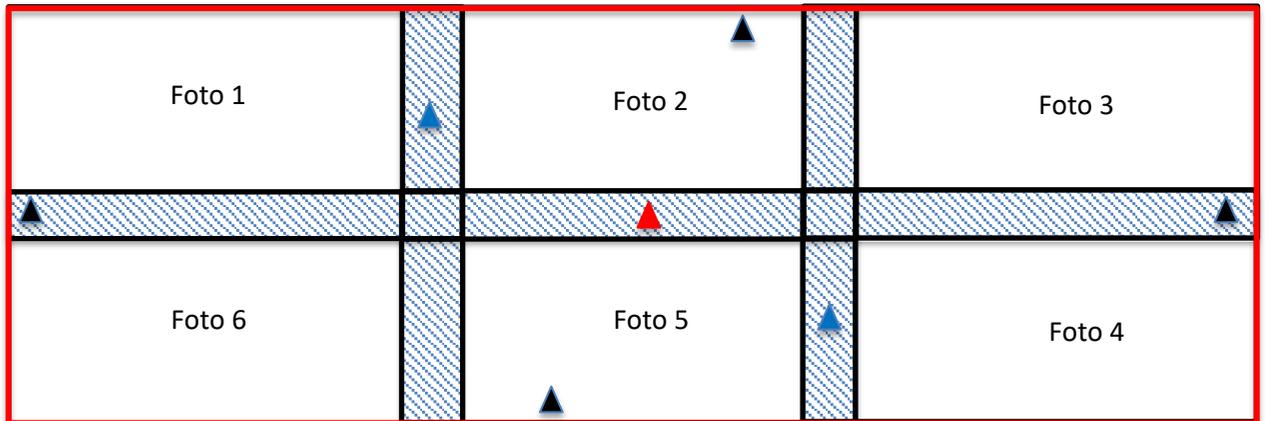
Penyajian data hasil foto udara menggunakan UAV digunakan sebagai pembandingan pemetaan yang dilakukan menggunakan metode *ground survey*, sebagai data tambahan atau pelengkap dalam memantau kondisi lahan permukaan pada kegiatan pertambangan, dan sebagai bahan evaluasi kemajuan kegiatan tambang.

D.6. Pemasangan dan pengukuran titik kontrol tanah.

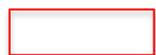
1. Penempatan GCP Metode Triangulasi Udara

- a. Pada tiap sisi perimeter (▲)
- b. Pada tengah Area of Interest (▲)
- c. Pada sebagian wilayah pertampalan (▲)
- d. Tersebar merata menyesuaikan bentuk AoI

Gambar 1



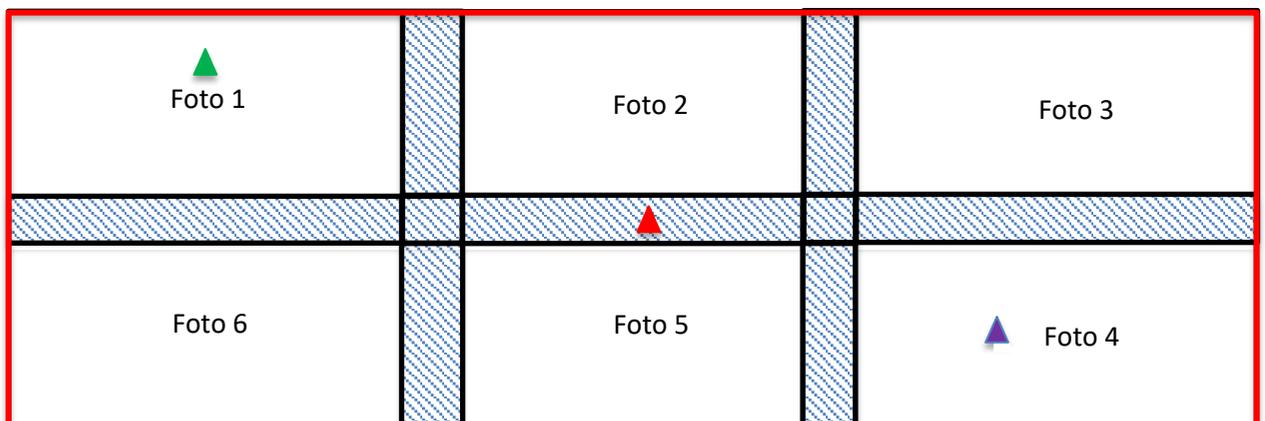
Keterangan:

-  : AoI
-  : foto udara
-  : pertampalan foto (*overlap*)

2. Penempatan GCP Metode *Direct Georeferencing*

- a. elevasi tertinggi dalam AoI (▲)
- b. elevasi terendah dalam AoI (▲)
- c. bagian tengah AoI (▲)

Gambar 2



Keterangan:

-  : AoI
-  : foto udara

 : pertampalan foto (*overlap*)

### 3. Penempatan ICP

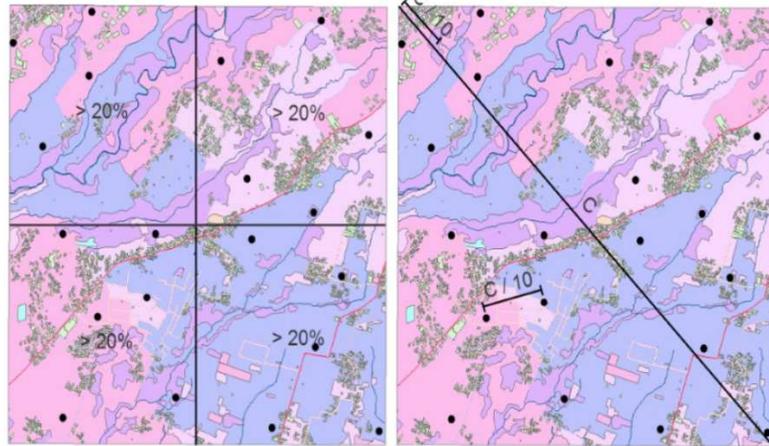
Mengacu pada SNI 8202:2019 tentang Ketelitian Peta Dasar dan perubahannya

<b>Luasan (Ha)</b>	<b>Jumlah titik ICP</b>
≤25.000	12
25.100 – 50.000	20
50.100 – 75.000	25
75.100 – 100.000	30
100.100 – 125.000	35
125.100 – 150.000	40
150.100 – 175.000	45
175.100 – 200.000	50
200.100 – 225.000	55
225.100 – 250.000	60

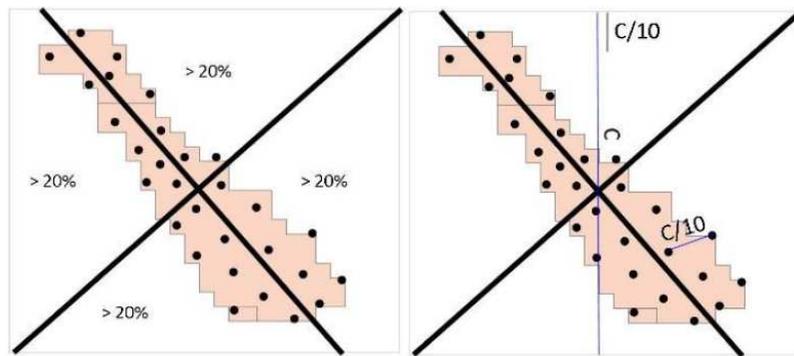
Syarat:

- Pada setiap kuadran jumlah minimum titik uji adalah 20% dari total titik uji;
- Jarak antar titik uji minimum 10% dari jarak diagonal area yang diuji (Gambar 3);
- Untuk area tidak beraturan, pembagian kuadran dilakukan dengan membagi wilayah kelompok data menjadi empat bagian, dimana setiap bagian dipisahkan oleh sumbu silang. Pembagian kuadrat dibuat sedemikian rupa sehingga jumlah dan sebaran titik uji merepresentasikan wilayah yang akan diuji (Gambar 4).

Gambar 3



Gambar 4



Keterangan:

● : ICP

#### D.7 Standar Ketelitian Peta Foto Udara

Tabel 1 Ketentuan Ketelitian Geometri Peta Berdasarkan Kelas

Ketelitian	Kelas 1	Kelas 2	Kelas 3
Horisontal	0,3 x bilangan skala	0,6 x bilangan skala	0,9 x bilangan skala
Vertikal	0,5 x interval kontur	1,5 x ketelitian kelas 1	2 x ketelitian kelas 1

Tabel 2 Ketelitian Geometri Peta

No	Skala	Interval Kontur (m)	Ketelitian Peta RBI					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)	Horisontal (CE90 dalam m)	Vertikal (LE90 dalam m)
1	1:1.000.000	400	300	200	600	300	900,0	400
2	1:500.000	200	150	100	300	150	450,0	200
3	1:250.000	100	75	50	150	75	225,0	100
4	1:100.000	40	30	20	60	30	90,0	40
5	1:50.000	20	15	10	30	15	45,0	20
6	1:25.000	10	7,5	5	15	7,5	22,5	10
7	1:10.000	4	3	2	6	3	9,0	4
8	1:5.000	2	1,5	1	3	1,5	4,5	2
9	1:2.500	1	0,75	0,5	1,5	0,75	2,3	1
10	1:1.000	0,4	0,3	0,2	0,6	0,3	0,9	0,4

Formula perhitungan akurasi koordinat

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xdata_i - Xcek_i)^2 + (Ydata_i - Ycek_i)^2}{n}}$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Zdata_i - Zcek_i)^2}{n}}$$

Keterangan:

- RMSE r : RMSE komponen horizontal
- RMSE z : RMSE komponen vertical
- n : jumlah pengamatan
- X : koordinat *Easting* (UTM)
- Y : koordinat *Northing* (UTM)
- Z : koordinat *tinggi* (ortometrik)
- CE 90 : 1,5175 x RMSE r
- LE 90 : 1,6499 x RMSE z

### E. Evaluasi Hasil Pemetaan Menggunakan UAV

Hasil kegiatan pengambilan data foto udara dan pemetaan menggunakan UAV dapat digunakan untuk mengevaluasi:

1. Akurasi lokasi kegiatan tambang (tambang, timbunan, dan fasilitas penunjang tambang);
2. Perubahan kedalaman tambang;

3. Perubahan ketinggian timbunan;
4. Realisasi kemajuan tambang (luas dan volume bukaan tambang dan timbunan);
5. Geometri lereng tambang dan timbunan;
6. Geometri jalan tambang (*grade*, lebar jalan, *crossfall*, dan tanggul);
7. Dimensi fasilitas penunjang tambang;
8. Kondisi hidrologi (luas daerah tangkapan air hujan, ketersediaan sungai, danau, kolam, rawa, atau laut yang berpotensi mempengaruhi kegiatan tambang) di sekitar tambang; dan
9. Kondisi fasilitas umum dan pemukiman di dekat kegiatan pertambangan.

## **F. Penutup**

Demikian petunjuk teknis ini disusun agar dijadikan acuan dalam melaksanakan pemetaan dan evaluasi kemajuan tambang mineral dan batubara dengan menggunakan teknologi *unmanned aerial vehicle* (UAV) dalam rangka pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik.

Plt. DIREKTUR JENDERAL MINERAL DAN BATUBARA  
KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL,



Ditandatangani secara elektronik

BAMBANG SUSWANTONO