SEPUTAR GEOSPASIAL

Konsep Dasar, Peta Topografi, Peta Tematik, Teknologi, dan Dunia Kerja

www.petatopo.com

Contents

1 Seputar Geospasial **3**
1.1 Positioning (Penentuan Posisi) . . . 3
1.2 Geodesi . . . 3
1.3 Geografi . . . 3
1.4 Geomatika . . . 4

2 Peta Topografi **5**
2.1 Tiga Komponen Utama Peta Topografi . . . 5
2.2 Metodologi Umum . . . 6
2.3 Survey Terestris . . . 6
2.3.1 Pengukuran Titik Kontrol . . . 7
2.3.2 Pengukuran Beda Tinggi . . . 8
2.3.3 Pengukuran Peta Situasi . . . 9
2.3.4 Survei Toponimi dan Kelengkapan Lapangan . . . 10
2.4 Survey Udara . . . 11
2.4.1 Pembuatan Peta Kontur . . . 11
2.4.2 Pembuatan Peta Penutup Lahan . . . 12
2.4.3 Survei Toponimi dan Kelengkapan Lapangan . . . 13
2.5 Photogrammetry (Fotogrametri) . . . 14
2.6 LiDAR (*Light Detection and Ranging*) . . . 15
2.7 IfSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) . . . 15
2.8 Survey Batimetri . . . 16
2.8.1 Pembuatan Peta Kontur . . . 17
2.8.2 Pembuatan Peta Penutup Lahan . . . 18
2.9 Satelit . . . 19
2.9.1 Pembuatan Peta Kontur . . . 19
2.9.2 Pembuatan Peta Penutup Lahan . . . 20
2.9.3 Survei Toponimi dan Kelengkapan Lapangan . . . 21

3 Foto Udara dan LiDAR **23**
3.1 Wahana . . . 23
3.1.1 Wahana Berawak (*Manned*) . . . 23
3.1.2 Wahana Nirawak (*Unmanned*) . . . 24
3.2 Alat . . . 24
3.2.1 Sensor LiDAR . . . 24
3.2.2 Kamera Udara . . . 25
3.2.3 IMU/GNSS dan GPS . . . 25
3.3 Software . . . 26
3.3.1 Software Pengolahan LiDAR . . . 26
3.3.2 Software Pengolahan Foto Udara . . . 26
3.4 Produk . . . 27
3.5 Pembuatan Peta Topografi . . . 27

4 Peta Tematik **29**
4.1 Tutupan Lahan (*Land Cover*) . . . 29
4.2 RDTR (Rencana Detail Tata Ruang) . . . 29
4.3 Hidrologi . . . 30
4.4 Geologi . . . 30

5 Teknologi **31**
5.1 Sensor LiDAR . . . 31
5.2 Kamera Udara . . . 31
5.3 GNSS Dual Frekuensi . . . 31
5.4 Wahana Udara . . . 32
5.5 Software Pengolahan Data . . . 32
5.6 Alur Kerja Terintegrasi . . . 32

6 Dunia Kerja **33**
6.1 Engineering & Infrastruktur . . . 33
6.2 Pertambangan . . . 33
6.3 Perkebunan . . . 34
6.4 Kehutanan . . . 35
6.5 Akademisi & Penelitian . . . 35
6.6 Pemerintahan & Pertanahan . . . 35
6.7 Kelautan . . . 36
6.8 Perencanaan Wilayah & Smart City . . . 36
6.9 Teknologi Geospasial & GIS . . . 37
6.10 Utilitas . . . 38

1 Seputar Geospasial

Apa itu Data Geospasial?

Data geospasial adalah data yang menggambarkan lokasi, letak, dan/atau posisi suatu objek di permukaan bumi, baik di atas maupun di bawah permukaan tanah, yang disajikan dalam suatu sistem koordinat tertentu. Data ini menjadi dasar dari seluruh kegiatan pemetaan, mulai dari peta topografi, peta tematik, hingga aplikasi navigasi digital yang digunakan sehari-hari.

Ilmu geospasial merupakan bidang lintas disiplin yang menggabungkan beberapa cabang ilmu berikut:

1.1 Positioning (Penentuan Posisi)

Positioning adalah proses penentuan lokasi suatu titik di permukaan bumi dalam suatu sistem koordinat (lintang, bujur, dan ketinggian). Penentuan posisi menjadi fondasi dari seluruh kegiatan survei dan pemetaan, karena setiap data spasial harus terikat pada koordinat yang benar agar dapat digunakan bersama data lain secara akurat.

- Penentuan posisi dapat dilakukan secara **terestris** (menggunakan alat ukur di lapangan seperti Total Station) maupun **ekstraterestris** (menggunakan satelit navigasi seperti GNSS/GPS).
- Hasil positioning menjadi acuan/referensi bagi metode akuisisi data lain, seperti survey terestris, survey udara, maupun survey batimetri, melalui titik kontrol seperti GCP (*Ground Control Point*) dan ICP (*Independent Check Point*).

1.2 Geodesi

Definisi

Geodesi adalah cabang ilmu yang mempelajari bentuk dan ukuran bumi, medan gravitasinya, serta penentuan posisi titik-titik di permukaan bumi secara presisi. Geodesi bersifat matematis dan menjadi **fondasi** dari seluruh kegiatan pemetaan dan pengukuran, karena menyediakan sistem referensi (datum, proyeksi, dan sistem koordinat) yang menjadi acuan semua peta.

Cabang keilmuan geodesi modern mencakup: survei dan pemetaan terestris, survei dan pemetaan hidrografis, geomatika/SIG, fotogrametri dan penginderaan jauh, hingga administrasi pertanahan.

1.3 Geografi

Definisi

Geografi adalah ilmu yang mempelajari lokasi serta variasi keruangan (spasial) atas fenomena fisik dan fenomena manusia di permukaan bumi, misalnya persebaran penduduk, pola penggunaan lahan, iklim, dan interaksi antara manusia dengan lingkungannya.

Jika geodesi berfokus pada *ketepatan pengukuran* posisi dan bentuk bumi, geografi lebih berfokus pada *pemahaman fenomena* dan hubungan keruangan yang terjadi di atasnya. Kedua bidang ini saling melengkapi dalam interpretasi data spasial.

1.4 Geomatika

Definisi

Geomatika adalah bidang ilmu yang mengintegrasikan geodesi dengan teknologi informasi untuk mengukur, menganalisis, mengelola, dan menyajikan data spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG/GIS). Data yang diolah berasal dari berbagai sumber — satelit, sensor udara, maupun pengukuran lapangan — lalu diproses menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak komputer.

Hubungan Antar Bidang

Secara sederhana: **Positioning** menyediakan titik acuan lokasi → **Geodesi** memastikan pengukuran bumi dan posisi tersebut presisi secara matematis → **Geografi** menafsirkan makna dan pola keruangan dari data tersebut → **Geomatika** mengolah, menyimpan, dan menyajikan seluruh data itu menjadi peta dan informasi yang dapat digunakan (seperti Peta Topografi dan Peta Tematik pada bab berikutnya).

2 Peta Topografi

Definisi

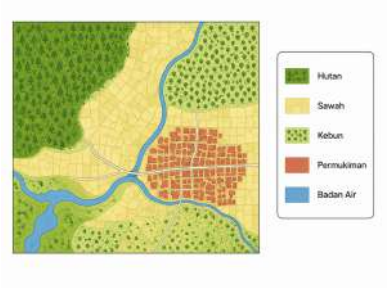
Peta topografi adalah peta yang menggambarkan bentuk permukaan bumi secara detail dan tiga dimensi (3D), namun disajikan dalam bentuk dua dimensi (2D) pada bidang datar. Peta ini menunjukkan kondisi relief permukaan bumi seperti perbukitan, lembah, sungai, dan dataran, sehingga penggunanya dapat memahami karakteristik suatu wilayah dengan lebih baik.

2.1 Tiga Komponen Utama Peta Topografi

1. **Kontur** — garis yang menunjukkan ketinggian dan bentuk relief permukaan bumi.
2. **Penutup Lahan** — menggambarkan kondisi penggunaan/tutupan lahan, seperti hutan, sawah, kebun, permukiman, dan badan air.
3. **Toponimi** — informasi nama-nama unsur geografis, seperti nama gunung, sungai, jalan, desa, dan tempat penting lainnya.



1. Kontur

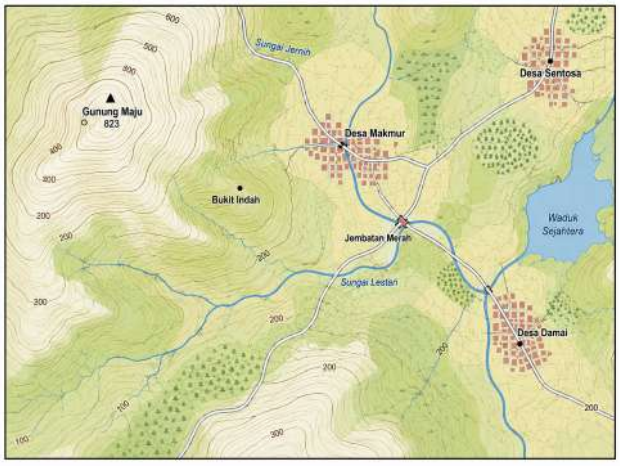


2. Penutup Lahan



3. Toponimi

Figure 1: Tiga komponen utama pembentuk Peta Topografi.



Peta Topografi

Cara Membaca

$$\text{Kontur} + \text{Penutup Lahan} + \text{Toponimi} = \text{Peta Topografi}$$

Semakin lengkap ketiga lapisan ini, semakin informatif peta yang dihasilkan.

2.2 Metodologi Umum

Pembuatan peta topografi dilakukan melalui beberapa metode akuisisi data untuk menghasilkan tiga komponen utama, yaitu kontur, penutup lahan, dan toponimi. Metode akuisisi data yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan pemetaan, tingkat ketelitian, dan karakteristik wilayah. Peta topografi dibangun dari dua kelompok data utama:

- **Peta Kontur**, dihasilkan dari model elevasi (DTM) yang diperoleh melalui: LiDAR, CSRT *Multiview Stereo*, IfSAR, atau Survey Terestris.
- **Peta Foto**, dihasilkan dari mosaik foto udara yang diperoleh melalui: kamera udara (*Photogrammetry*) atau Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT).

Secara garis besar, metodologi akuisisi data topografi dikelompokkan menjadi empat domain utama, yang dibahas berurutan pada subbab berikut: **Survey Terestris**, **Survey Udara**, **Survey Batimetri**, dan **Satelit**.

2.3 Survey Terestris

Definisi

Survey terestris adalah metode pengukuran yang dilakukan langsung di permukaan bumi (daratan) menggunakan alat ukur seperti Total Station, *waterpass*, dan GNSS geodetic. Petugas mengukur titik-titik koordinat dan elevasi secara langsung di lapangan.

- **Kelebihan:** akurasi sangat tinggi (skala milimeter–sentimeter), cocok untuk area kecil atau titik kontrol (GCP/ICP) yang menjadi acuan metode lain.
- **Keterbatasan:** membutuhkan waktu lama dan tenaga besar untuk area yang luas, sehingga kurang efisien untuk pemetaan skala regional.



Figure 2: Total Station digunakan surveyor untuk pengukuran sudut dan jarak secara langsung di lapangan.

Survei terestris terbagi menjadi empat kegiatan utama, yang masing-masing dijabarkan pada sub-bab berikut.

2.3.1 Pengukuran Titik Kontrol

Pengukuran titik kontrol dilakukan menggunakan alat GNSS geodetic. Dalam bahasa umum, alat ini sering disebut GPS, meskipun istilah teknis yang lebih tepat adalah GNSS karena alat dapat menerima sinyal dari beberapa sistem satelit.

Deskripsi. Pengukuran dapat diikatkan pada:

- **Stasiun Ina-CORS** — *Indonesia Continuously Operating Reference Station*, stasiun referensi GNSS yang beroperasi terus-menerus, digunakan sebagai acuan untuk memperoleh koordinat yang lebih teliti.
- **Titik Jaring Kontrol Horizontal Nasional (JKHN)** — jaringan titik kontrol geodesi yang digunakan sebagai kerangka acuan posisi horizontal di Indonesia.
- **Metode Precise Point Positioning (PPP)** — metode penentuan posisi menggunakan satu *receiver* GNSS dengan memanfaatkan produk koreksi presisi (koreksi orbit satelit, koreksi jam satelit, serta model koreksi kesalahan lainnya), sehingga tidak bergantung pada *base station* lokal dan dapat digunakan di lokasi yang jauh dari jaringan referensi.

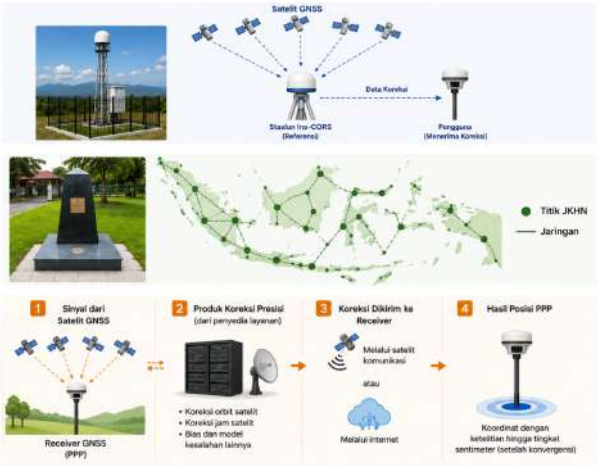


Figure 3: Tiga opsi pengikatan pengukuran titik kontrol: Stasiun Ina-CORS, JKHN, dan metode Precise Point Positioning (PPP).

Langkah Pelaksanaan:

1. Menentukan lokasi titik kontrol yang aman, stabil, terbuka, dan mudah ditemukan kembali.
2. Memeriksa ketersediaan stasiun Ina-CORS, titik JKHN, titik kontrol geodesi, atau layanan koreksi PPP.
3. Memasang alat GNSS geodetic tepat di atas titik yang akan diukur.
4. Mengatur sistem koordinat, datum, model geoid, dan tinggi antena.
5. Melakukan perekaman data koordinat selama waktu yang telah ditentukan.
6. Mengolah data sesuai metode pengukuran, yaitu GNSS statik, RTK/NRTK, atau PPP.
7. Memeriksa ketelitian dan kesesuaian koordinat yang dihasilkan.
8. Membuat dokumentasi berupa foto, sketsa lokasi, deskripsi titik, dan daftar koordinat.



Figure 4: Alur pelaksanaan pengukuran titik kontrol, dari penentuan lokasi hingga dokumentasi hasil.

Hasil yang Diperoleh: koordinat horizontal titik kontrol; posisi timur dan utara atau koordinat X dan Y; deskripsi lokasi titik; foto serta sketsa titik kontrol; dan jaringan titik acuan untuk pengukuran berikutnya.

2.3.2 Pengukuran Beda Tinggi

Pengukuran beda tinggi merupakan kegiatan untuk menentukan perbedaan elevasi antara dua titik atau lebih terhadap suatu bidang acuan vertikal, seperti *Mean Sea Level* (MSL) atau datum tinggi yang digunakan. Data elevasi yang diperoleh menjadi dasar dalam penyusunan garis kontur, pembuatan model permukaan tanah, analisis kemiringan lereng, perencanaan saluran, pembangunan jalan, pekerjaan konstruksi, serta berbagai kegiatan perencanaan wilayah.



Figure 5: Peralatan dan perlengkapan pengukuran beda tinggi: Waterpass (Automatic Level), Total Station, dan GNSS Geodetic.

Langkah Pelaksanaan:

1. Menentukan titik awal yang telah diketahui nilai elevasinya.
2. Memasang waterpass atau total station pada posisi yang stabil.
3. Menempatkan rambu ukur pada titik awal dan titik berikutnya.

4. Melakukan pembacaan rambu belakang dan rambu muka.
5. Menghitung selisih tinggi antara kedua titik.
6. Melanjutkan pengukuran menuju titik-titik berikutnya.
7. Melakukan pengukuran kembali menuju titik awal atau titik kontrol lain untuk memeriksa kesalahan penutup.
8. Menghitung dan menyesuaikan elevasi setiap titik.

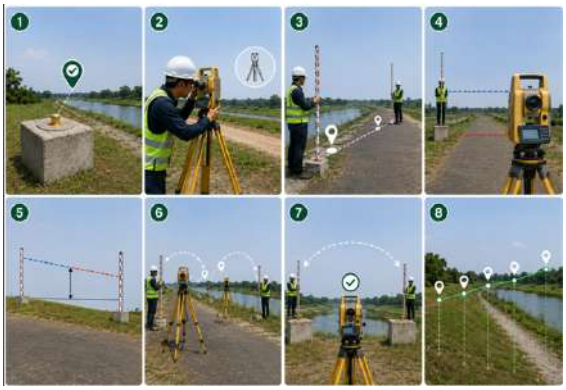


Figure 6: Alur pelaksanaan pengukuran beda tinggi, dari penentuan titik awal hingga penyesuaian elevasi setiap titik.

Hasil yang Diperoleh: nilai beda tinggi antar titik; elevasi setiap titik kontrol; *benchmark* atau titik acuan ketinggian; dan data vertikal untuk pembuatan kontur dan model permukaan tanah.

2.3.3 Pengukuran Peta Situasi

Pengukuran peta situasi merupakan kegiatan mengukur posisi dan ketinggian berbagai objek yang terdapat di permukaan tanah. Pengukuran ini dilakukan untuk menggambarkan kondisi nyata suatu wilayah secara terperinci. Peta situasi tidak hanya menunjukkan bentuk permukaan tanah, tetapi juga menampilkan lokasi jalan, bangunan, sungai, saluran, pagar, batas lahan, dan objek penting lainnya.



Figure 7: Peralatan survei pemetaan peta situasi menggunakan Total Station dan GNSS Geodetik.

Objek yang biasanya diukur meliputi: jalan dan tepi jalan; bangunan; sungai, parit, dan saluran; jembatan; serta pagar dan batas lahan, dan lain-lain.

Langkah Pelaksanaan:

1. Menempatkan alat pada titik kontrol yang telah diketahui koordinat dan elevasinya.
2. Melakukan orientasi alat terhadap titik kontrol lainnya.
3. Mengukur titik-titik detail permukaan tanah.
4. Mengukur posisi jalan, bangunan, sungai, saluran, dan objek lainnya.
5. Memberikan kode pada setiap titik sesuai jenis objeknya.
6. Membuat sketsa lapangan untuk membantu proses penggambaran.
7. Memeriksa kembali kelengkapan objek yang telah diukur.
8. Memindahkan data dari alat ke perangkat lunak pengolahan.

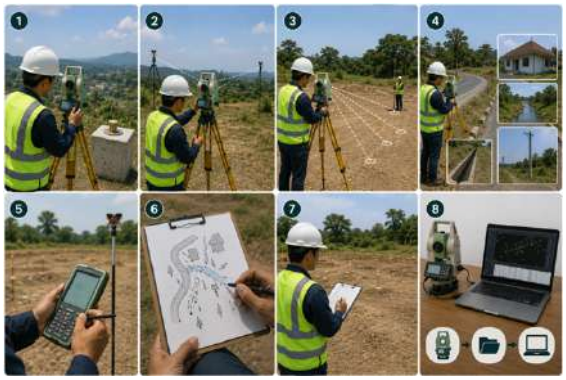


Figure 8: Alur pelaksanaan pengukuran peta situasi, dari penempatan alat pada titik kontrol hingga pemindahan data ke perangkat lunak pengolahan.

Hasil yang Diperoleh: koordinat titik detail; elevasi permukaan tanah; posisi objek-objek di lapangan; garis batas dan bentuk objek; data dasar untuk pembuatan garis kontur; dan peta situasi wilayah survei.

2.3.4 Survei Toponimi dan Kelengkapan Lapangan

Survei Toponimi merupakan kegiatan pengumpulan, verifikasi, dan pencatatan nama-nama unsur geografis yang terdapat pada wilayah pemetaan. Kegiatan ini bertujuan untuk memastikan setiap objek hasil pengukuran tidak hanya memiliki posisi yang akurat pada peta, tetapi juga dilengkapi dengan nama dan informasi yang sesuai dengan kondisi di lapangan. Unsur geografis yang didata meliputi nama jalan, sungai, desa, dusun, gunung, fasilitas umum, kawasan, serta bangunan atau objek penting lainnya.

Langkah Pelaksanaan:

1. Menyiapkan daftar objek yang perlu diperiksa.
2. Mendatangi objek secara langsung.
3. Mencatat nama objek sesuai informasi di lapangan.
4. Mengambil foto dan titik koordinat objek.
5. Mengonfirmasi nama kepada masyarakat atau perangkat wilayah.
6. Memeriksa kesesuaian penulisan nama.



Figure 9: Alur pelaksanaan survei toponimi dan kelengkapan lapangan, dari penyiapan daftar objek hingga pemeriksaan akhir kelengkapan toponimi.

7. Memasukkan nama dan informasi objek ke dalam peta.
8. Melakukan pemeriksaan akhir terhadap kelengkapan toponimi.

Hasil yang Diperoleh: daftar nama unsur geografis; koordinat setiap objek; informasi jenis dan fungsi objek; foto lapangan; keterangan sumber informasi; dan nama-nama objek yang akan ditampilkan pada peta.

2.4 Survey Udara

Definisi

Survey udara adalah metode akuisisi data topografi menggunakan pesawat atau drone yang dilengkapi sensor LiDAR dan/atau kamera udara untuk memindai atau memotret permukaan bumi dari udara secara sistematis. Metode ini efisien untuk mencakup area yang sangat luas dalam waktu relatif singkat.

Survey udara memadukan dua sensor utama:

- **LiDAR** — untuk menghasilkan data elevasi presisi tinggi (dibahas rinci pada Subbab 2.6).
- **Kamera Udara** — untuk menghasilkan foto/ortofoto (bagian dari *Photogrammetry*, dibahas pada Subbab 2.5).

Kedua sensor ini didukung oleh titik kontrol GNSS geodetic (GCP/ICP) di lapangan agar posisi dan elevasi hasil pemetaan akurat (lihat Bab 5 — Teknologi). Dalam kegiatan pemetaan topografi, survei udara meliputi proses pengambilan foto udara, pembentukan model permukaan, pembuatan garis kontur, pemetaan penutup lahan, serta survei toponimi dan verifikasi unsur lapangan, yang dijabarkan pada tiga subbab berikut.

2.4.1 Pembuatan Peta Kontur

Pembuatan peta kontur dalam survei udara dilakukan untuk menggambarkan bentuk dan karakteristik permukaan tanah melalui garis yang menghubungkan titik-titik dengan nilai elevasi yang sama. Data elevasi diperoleh dari hasil pengolahan data foto udara menggunakan metode fotogrametri maupun akuisisi sensor LiDAR yang selanjutnya menghasilkan model elevasi digital sebagai dasar pembuatan peta kontur.

Model elevasi yang digunakan dalam pembuatan peta kontur antara lain:

- **DSM (Digital Surface Model)** — model elevasi yang merepresentasikan permukaan bumi beserta objek di atasnya, seperti vegetasi, bangunan, dan infrastruktur.
- **DTM (Digital Terrain Model)** — model elevasi yang menggambarkan permukaan tanah (*bare earth*) setelah objek di atas permukaan dihilangkan, sehingga umum digunakan untuk



Figure 10: Pesawat bermesin tunggal (mis. Cessna 208B Grand Caravan) yang dimodifikasi untuk membawa sensor LiDAR dan kamera udara dalam misi survey udara.

analisis topografi dan pembuatan kontur.

- **DEM (Digital Elevation Model)** — istilah umum untuk representasi digital nilai elevasi suatu wilayah yang dapat berupa DSM maupun DTM sesuai dengan tujuan penggunaannya.

Peralatan: wahana akuisisi data (pesawat udara survei/*airborne mapping aircraft* atau drone/UAV); kamera udara/fotogrametri; sensor LiDAR (*Light Detection and Ranging*); GNSS Geodetik; IMU (*Inertial Measurement Unit*); Ground Control Point (GCP) dan Check Point; serta perangkat lunak fotogrametri/GIS untuk pengolahan foto udara, pembentukan model elevasi, dan pembuatan garis kontur.

Langkah Pelaksanaan:

1. Menentukan area survei dan kebutuhan skala pemetaan.
2. Menyusun rencana jalur terbang.
3. Melakukan pengambilan data udara menggunakan pesawat, drone, atau sensor LiDAR.
4. Mengumpulkan data posisi dan orientasi penerbangan.
5. Mengolah data menjadi DSM, DTM, atau DEM.
6. Menyusun garis kontur dari model elevasi yang dihasilkan.
7. Memeriksa ketelitian hasil dan kesesuaian bentuk permukaan tanah.

Hasil yang Diperoleh: garis kontur; data elevasi permukaan tanah; model DSM, DTM, atau DEM; dan informasi bentuk relief dan kemiringan wilayah.

2.4.2 Pembuatan Peta Penutup Lahan

Pembuatan peta *land cover* atau penutup lahan bertujuan untuk menggambarkan kondisi permukaan wilayah berdasarkan jenis tutupan lahannya. Contohnya meliputi kawasan permukiman, sawah, hutan, badan air, jalan, lahan terbuka, dan area lainnya. Data dasarnya berasal dari foto udara yang diambil menggunakan kamera udara. Foto tersebut kemudian diolah menjadi ortofoto atau citra yang telah terkoreksi posisinya, sehingga dapat digunakan sebagai dasar interpretasi dan pemetaan.

Langkah Pelaksanaan:



1. Pesawat/Drone
2. Kamera Udara
3. GNSS & IMU
4. Software

Figure 11: Peralatan pembuatan peta penutup lahan dari survei udara: pesawat/drone, kamera udara, GNSS & IMU, dan perangkat lunak pengolahan citra.

1. Menentukan area yang akan dipetakan.
2. Menyusun jalur terbang dan *overlap* foto.
3. Melakukan pengambilan foto udara.
4. Mengumpulkan data posisi dan orientasi kamera.
5. Mengolah foto menjadi ortofoto.
6. Menginterpretasikan jenis penutup lahan dari foto udara.
7. Menyusun peta *land cover* berdasarkan hasil interpretasi.



Figure 12: Alur pembuatan peta penutup lahan: perencanaan jalur terbang, pemotretan udara, pengolahan menjadi ortofoto, hingga penyusunan peta land cover.

Hasil yang Diperoleh: foto udara; ortofoto; peta *land cover* atau peta penutup lahan; dan informasi sebaran objek di permukaan wilayah.

2.4.3 Survei Toponimi dan Kelengkapan Lapangan

Survei toponimi dan kelengkapan lapangan dilakukan untuk melengkapi hasil survei udara dengan informasi nama-nama unsur geografis dan kondisi lapangan yang tidak selalu dapat dikenali secara jelas dari citra udara. Kegiatan ini penting agar peta tidak hanya menunjukkan bentuk dan posisi objek, tetapi juga memuat nama serta keterangan yang benar. Toponimi dapat mencakup nama jalan, sungai, desa, kawasan, fasilitas umum, maupun objek penting lainnya.

Langkah Pelaksanaan:



Figure 13: Alur verifikasi lapangan hasil interpretasi foto udara, dari penentuan objek yang perlu dicek hingga pelengkapan informasi nama pada peta.

1. Menentukan objek yang perlu diverifikasi dari hasil foto udara.
2. Melakukan pengecekan lapangan pada lokasi tertentu.
3. Mencatat nama unsur geografis dan fungsi objek.
4. Mendokumentasikan objek dengan foto dan catatan lapangan.
5. Memverifikasi hasil interpretasi citra udara.
6. Melengkapi informasi nama dan atribut objek pada peta.

Hasil yang Diperoleh: daftar nama unsur geografis; informasi fungsi dan jenis objek; foto dokumentasi lapangan; hasil verifikasi objek pada peta; dan kelengkapan informasi untuk penyajian peta akhir.

2.5 Photogrammetry (Fotogrametri)

Definisi

Fotogrametri adalah ilmu dan teknik untuk memperoleh informasi terpercaya mengenai objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan interpretasi foto (citra). Dalam konteks pemetaan, fotogrametri digunakan untuk mengukur jarak, luas, dan volume secara akurat dari hasil foto udara yang saling bertampalan (*overlap*).

Prinsip kerja: Kamera udara memotret permukaan bumi secara sistematis dengan tampalan antar-foto (*overlap*) baik ke depan maupun ke samping. Foto-foto tersebut kemudian diolah melalui proses *aero-triangulation* dan orientasi, sehingga posisi setiap foto dapat direkonstruksi secara 3D. Hasil akhirnya berupa:

- **Ortofoto** — citra foto udara yang telah dikoreksi secara geometrik (orthorektifikasi) sehingga memiliki skala, posisi, dan ukuran yang akurat.
- **Peta Foto Mosaik** — gabungan beberapa ortofoto dalam cakupan area yang luas secara kontinu.
- **Model 3D** — rekonstruksi permukaan bumi dan objek di atasnya (*dense point cloud*), yang juga dapat menghasilkan DSM/DTM.

Kamera udara yang digunakan memiliki sertifikat kalibrasi dari pabrikan, sehingga seluruh kesalahan geometrik kamera telah diketahui dan dapat dikoreksi untuk menghasilkan data pemetaan yang akurat (bukan sekadar foto pemandangan).

2.6 LiDAR (*Light Detection and Ranging*)

Cara Kerja LiDAR

Sensor LiDAR menembakkan jutaan pulsa laser ke permukaan bumi setiap detik dan mengukur waktu pantulnya untuk menentukan posisi dan ketinggian objek.

1. Sensor menembakkan pulsa laser ke permukaan bumi jutaan kali per detik.
2. Pulsa laser mengenai objek (atap, pohon, tanah) lalu dipantulkan kembali.
3. Sensor menerima pantulan laser dan menghitung waktu tempuh pulsa.
4. Dari waktu tempuh tersebut, dihitung jarak dan posisi 3D titik pantul (X, Y, Z).

Prinsip pengukuran jarak:

$$\text{Jarak} = \frac{\text{Kecepatan Cahaya} \times \text{Waktu Tempuh}}{2}$$

dengan kecepatan cahaya $\approx$ 299.792.458 m/detik. Waktu tempuh diukur dalam skala nanodetik untuk mendapatkan posisi yang sangat akurat.

Hasil akhir LiDAR berupa *point cloud* 3D — kumpulan titik koordinat yang merepresentasikan tanah, vegetasi, dan bangunan. Setiap titik memiliki informasi: koordinat X (Easting), Y (Northing), Z (Elevation), intensitas pantulan, dan nomor pantulan (*return number*: pertama, tengah, terakhir).

Kelebihan

Sebagian pulsa laser dapat menembus sela-sela vegetasi, sehingga bentuk permukaan tanah asli (*bare earth*) tetap dapat diperoleh meski area tertutup pepohonan.

Keterbatasan

Saat cuaca mendung, berawan tebal, atau hujan, survey udara umumnya tidak dapat dilakukan karena laser tidak dapat merekam permukaan bumi secara optimal. **Survey udara sebaiknya ditunda hingga cuaca cerah.**

2.7 IfSAR (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*)

Definisi

IfSAR (disebut juga InSAR) adalah teknik radar yang digunakan dalam geodesi dan penginderaan jauh untuk menghasilkan model elevasi digital dengan memanfaatkan perbedaan fase gelombang radar dari dua atau lebih citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) yang koheren, diambil dari dua antena/posisi berbeda (disebut *baseline*).

Prinsip kerja: Berbeda dengan LiDAR yang menggunakan sinar laser, IfSAR menggunakan gelombang radar (mirip prinsip sonar, namun menggunakan gelombang elektromagnetik). Informasi ketinggian diperoleh dari selisih fase antara dua citra radar yang merekam area yang sama. Produk utama IfSAR:

- **DSM** (*Digital Surface Model*) — model permukaan termasuk vegetasi dan bangunan.
- **DTM** (*Digital Terrain Model*) — model permukaan tanah setelah objek di atasnya dihilangkan secara digital.
- **ORI** (*Orthorectified Radar Image*) — citra radar beresolusi tinggi yang telah terkoreksi geometrik.



Figure 14: Visualisasi hasil pemindaian LiDAR yang mengungkap bentuk permukaan tanah (bare earth) meski tertutup vegetasi lebat.

Keunggulan IfSAR

Karena menggunakan gelombang radar (bukan cahaya optik), IfSAR mampu menembus awan dan kabut, sehingga akuisisi data **tidak terlalu terganggu oleh cuaca** dibandingkan LiDAR atau foto udara optik. IfSAR banyak digunakan untuk pemetaan cepat area yang luas dengan biaya relatif lebih terjangkau dibanding survey terestris penuh, meskipun resolusi dan akurasi vertikalnya umumnya lebih rendah dibanding LiDAR.

2.8 Survey Batimetri

Definisi

Survey batimetri adalah proses pengukuran, pengolahan, dan visualisasi data dasar perairan (laut, sungai, danau) mulai dari kedalaman, pasang surut, hingga arus. Tujuannya untuk menghasilkan peta navigasi serta informasi dasar perairan bagi berbagai keperluan, seperti pembangunan pelabuhan dan keselamatan pelayaran.

Peralatan utama yang digunakan dalam survey batimetri:

- **Singlebeam Echosounder (SBES)** — mengukur kedalaman dengan memancarkan satu berkas gelombang suara ke dasar perairan dan menganalisis pantulannya; hanya mengukur satu titik pada satu waktu.

- **Multibeam Echosounder (MBES)** — memancarkan gelombang suara berbentuk kipas dari bawah lambung kapal sehingga dapat mengukur banyak titik kedalaman sekaligus secara lebih cepat dan detail; hasil pemeruman ini menghasilkan model topografi dasar perairan (*seabed surface*).
- **Tide Gauge** — untuk mengukur pasang surut air laut sebagai referensi kedalaman.
- **Current Meter** — untuk mengukur kecepatan dan arah arus.



Figure 15: Kapal survei batimetri yang dilengkapi Multibeam Echosounder (MBES) untuk pemetaan dasar perairan.

2.8.1 Pembuatan Peta Kontur

Survei batimetri merupakan kegiatan pengukuran kedalaman dasar perairan menggunakan *echosounder*. Data kedalaman yang diperoleh kemudian diolah menjadi berbagai produk, seperti peta kontur batimetri dan *Digital Elevation Model* (DEM), yang digunakan untuk analisis kondisi dasar perairan. Peta Kontur Batimetri merupakan peta yang menggambarkan bentuk dan karakteristik relief dasar perairan melalui garis-garis kontur yang menghubungkan titik-titik dengan nilai kedalaman yang sama. Peta ini digunakan untuk memberikan informasi mengenai variasi kedalaman serta kondisi topografi bawah permukaan air, seperti laut, sungai, maupun danau.

Manfaat Peta Kontur Batimetri: mengetahui bentuk dan kondisi topografi dasar perairan; mengidentifikasi karakteristik bawah air, seperti lereng, cekungan, dan punggungan; serta mendukung kegiatan navigasi, survei batimetri, dan perencanaan pembangunan di wilayah perairan.

Langkah Pelaksanaan:

1. Echosounder dipasang pada wahana survei (kapal/perahu) dan diarahkan ke dasar perairan.
2. Sensor memancarkan gelombang akustik secara vertikal menuju dasar perairan.
3. Gelombang yang mengenai dasar perairan akan dipantulkan kembali dan diterima oleh sensor (*receiver*).
4. Waktu tempuh gelombang dari pemancaran hingga penerimaan kembali dihitung untuk menentukan kedalaman perairan.
5. Data hasil pengukuran kemudian direkam dan diolah menjadi informasi kedalaman atau peta batimetri.

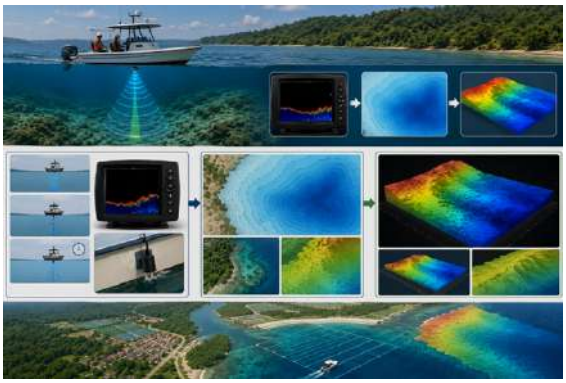


Figure 16: Echosounder adalah alat yang digunakan untuk mengukur kedalaman perairan dengan memanfaatkan gelombang suara (akustik).

Catatan

Perhitungan kedalaman dilakukan berdasarkan waktu tempuh gelombang akustik dan kecepatan rambat suara di dalam air yang dapat dipengaruhi oleh kondisi perairan, seperti suhu, salinitas, dan tekanan.

Hasil yang Diperoleh: data kedalaman perairan hasil pengukuran menggunakan echosounder; data titik pengukuran batimetri yang memiliki informasi koordinat dan nilai kedalaman; profil penampang dasar perairan; model atau peta batimetri yang menggambarkan kondisi relief dasar perairan; dan informasi kontur kedalaman (*isobath*) sebagai dasar analisis topografi bawah permukaan air.

2.8.2 Pembuatan Peta Penutup Lahan

Peta Penutup Lahan adalah peta yang menunjukkan jenis tutupan permukaan bumi, seperti badan air, vegetasi, kawasan terbangun, tambak, mangrove, pantai, dan lahan terbuka. Dalam survei batimetri, peta ini digunakan sebagai data pendukung untuk memahami karakteristik wilayah pesisir yang mempengaruhi kondisi perairan.



Figure 17: Contoh penutup lahan wilayah pesisir: kawasan permukiman, vegetasi, lahan pertanian, dan garis pantai yang berbatasan dengan perairan.

Peran Penutup Lahan dalam Survei Batimetri: mengidentifikasi jenis tutupan lahan di sekitar wilayah survei; membantu analisis pengaruh penggunaan lahan terhadap sedimentasi dan kualitas perairan; mendukung interpretasi perubahan garis pantai, muara sungai, dan kawasan pesisir; menjadi data pendukung dalam analisis batimetri dan pengelolaan wilayah pesisir; serta digunakan bersama data batimetri untuk perencanaan reklamasi, konservasi, dan pembangunan pesisir.

2.9 Satelit

Definisi

Citra Satelit Resolusi Tinggi (CSRT) adalah data yang diperoleh dari satelit yang mengorbit bumi dan merekam permukaan bumi secara sistematis. Citra diambil secara bertampalan (*overlap*) untuk cakupan yang luas, dan setiap citra memiliki informasi posisi orbit dan waktu perekaman.

Data satelit dapat dimanfaatkan untuk pemetaan topografi melalui dua pendekatan:

- **CSRT Multiview Stereo** — beberapa citra satelit optik yang saling tumpang tindih diolah menjadi model permukaan stereo (mirip prinsip fotogrametri, namun dari platform satelit), digunakan untuk membuat DTM dan peta kontur, serta ortofoto.
- **Satelit Radar (SAR)** — menggunakan prinsip IfSAR untuk menghasilkan model elevasi dari orbit satelit, cocok untuk pemetaan area yang luas dan sering tertutup awan.

Kelebihan & Keterbatasan Citra Satelit

Kelebihan: mampu mencakup area yang sangat luas dengan waktu perekaman relatif singkat, serta cocok untuk pemantauan berkala (*multi-temporal*).

Keterbatasan: resolusi spasial umumnya lebih rendah dibanding foto udara atau LiDAR pesawat, dan citra optik tetap terganggu oleh tutupan awan.



Figure 18: Contoh citra satelit optik resolusi tinggi yang merekam permukaan bumi secara sistematis dari orbit.

Survei berbasis satelit mampu menjangkau wilayah yang luas dengan waktu yang relatif singkat sehingga banyak dimanfaatkan dalam pemetaan dasar dan penyusunan informasi geospasial, mencakup tiga kegiatan utama berikut.

2.9.1 Pembuatan Peta Kontur

Data kontur merupakan informasi elevasi permukaan bumi yang diperoleh dari hasil pengolahan citra satelit menggunakan teknik *Multiview Stereo* (MVS) atau pasangan citra stereo. Teknik ini memanfaatkan dua atau lebih citra dari sudut pengambilan yang berbeda untuk membentuk model permukaan tiga dimensi.



Figure 19: Citra satelit resolusi tinggi diambil dari orbit untuk memetakan permukaan bumi tanpa pengukuran langsung di seluruh wilayah.

Metode. Metode *Multiview Stereo* (MVS) merupakan teknik ekstraksi informasi ketinggian dari beberapa citra satelit yang memiliki perbedaan sudut pandang (*stereo viewing geometry*). Metode ini bekerja dengan mencocokkan kenampakan objek yang sama pada beberapa citra satelit untuk memperoleh informasi posisi tiga dimensi (X, Y, dan Z) pada permukaan bumi. Tahapan pengolahan dimulai dari pengumpulan citra satelit stereo atau multiview yang kemudian dilakukan proses koreksi geometrik, orientasi citra, dan pencocokan antar citra (*image matching*). Hasil proses tersebut berupa kumpulan titik elevasi tiga dimensi (*3D point cloud*) yang menggambarkan kondisi permukaan wilayah, yang selanjutnya diolah menjadi DSM/DEM sebagai dasar pembuatan garis kontur.

Langkah Pelaksanaan:

1. **Pengumpulan citra satelit stereo/multiview** — citra satelit dengan sudut pandang berbeda dikumpulkan untuk memperoleh informasi tiga dimensi (*stereo geometry*).
2. **Pra-pengolahan citra** — data citra dilakukan proses koreksi geometrik dan penyesuaian kualitas citra untuk memastikan posisi objek sesuai dengan kondisi sebenarnya.
3. **Proses image matching** — citra dari sudut pandang berbeda diproses untuk mencari dan mencocokkan objek yang sama pada setiap citra sehingga diperoleh informasi perbedaan posisi (*parallax*).
4. **Pembentukan model tiga dimensi** — hasil pencocokan citra digunakan untuk menghasilkan titik elevasi tiga dimensi (3D point cloud) yang menggambarkan bentuk permukaan wilayah.
5. **Pembuatan model elevasi dan kontur** — data titik elevasi diolah menjadi model elevasi digital (DSM/DEM), kemudian digunakan untuk menghasilkan garis kontur yang menunjukkan variasi ketinggian permukaan.

Hasil yang Diperoleh: data titik elevasi tiga dimensi (3D point cloud) hasil ekstraksi citra satelit; model elevasi digital berupa DSM/DEM; peta kontur yang menggambarkan variasi ketinggian dan bentuk relief permukaan wilayah; informasi topografi seperti elevasi, kemiringan lereng, dan pola bentuk lahan; dan data pendukung untuk analisis topografi dan kegiatan pemetaan wilayah.

2.9.2 Pembuatan Peta Penutup Lahan

Peta penutup lahan merupakan produk pemetaan yang menggambarkan kondisi fisik permukaan bumi berdasarkan jenis tutupan yang terdapat pada suatu wilayah. Pembuatan peta penutup lahan menggunakan citra satelit resolusi tinggi dilakukan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan objek permukaan secara detail, seperti vegetasi, badan air, area terbangun, lahan terbuka, dan jenis tutupan lahan lainnya.

Metode. Pembuatan peta penutup lahan dilakukan melalui proses interpretasi dan klasifikasi citra satelit resolusi tinggi. Proses dilakukan dengan mengidentifikasi dan menggambarkan batas

objek penutup lahan berdasarkan karakteristik visual citra, seperti warna, bentuk, tekstur, pola, dan lokasi. Hasil digitasi kemudian dilakukan validasi untuk menghasilkan klasifikasi penutup lahan yang sesuai dengan kondisi wilayah.

Langkah Pelaksanaan:

1. Pengumpulan citra satelit resolusi tinggi sesuai wilayah dan waktu pemetaan.
2. Melakukan pra-pengolahan citra, seperti koreksi geometrik, peningkatan kualitas citra, dan pemotongan sesuai area kajian (*cropping/clip*).
3. Melakukan interpretasi dan identifikasi objek penutup lahan berdasarkan karakteristik citra.
4. Melakukan proses klasifikasi penutup lahan menggunakan metode yang sesuai.
5. Melakukan validasi hasil klasifikasi menggunakan data referensi atau survei lapangan.
6. Melakukan penyajian hasil klasifikasi dalam bentuk peta penutup lahan.

Hasil yang Diperoleh: peta klasifikasi penutup lahan wilayah kajian; data spasial jenis-jenis penutup lahan dalam format digital (raster/vector); informasi luas dan distribusi masing-masing kelas penutup lahan; dan database penutup lahan yang dapat digunakan untuk analisis perubahan penggunaan lahan dan perencanaan wilayah.

2.9.3 Survei Toponimi dan Kelengkapan Lapangan

Survei toponimi dan kelengkapan lapangan dilakukan untuk melengkapi informasi yang belum dapat dikenali secara pasti dari citra satelit. Citra satelit dapat menunjukkan keberadaan jalan, sungai, bangunan, atau kawasan, tetapi tidak selalu dapat menunjukkan nama dan fungsi objek tersebut. Kegiatan ini memastikan bahwa objek pada peta memiliki nama, jenis, fungsi, serta keterangan yang sesuai dengan kondisi sebenarnya.



Figure 20: Alur pelaksanaan survei toponimi dan kelengkapan lapangan untuk melengkapi hasil interpretasi citra satelit.

Langkah Pelaksanaan:

1. Menyiapkan daftar objek yang perlu diperiksa.
2. Mendatangi objek secara langsung.
3. Mencatat nama objek sesuai informasi di lapangan.
4. Mengambil foto dan titik koordinat objek.
5. Mengonfirmasi nama kepada masyarakat atau perangkat wilayah.
6. Memeriksa kesesuaian penulisan nama.
7. Memasukkan nama dan informasi objek ke dalam peta.

8. Melakukan pemeriksaan akhir terhadap kelengkapan toponimi.

Hasil yang Diperoleh: daftar nama unsur geografis; koordinat setiap objek; informasi jenis dan fungsi objek; foto lapangan; keterangan sumber informasi; dan nama-nama objek yang akan ditampilkan pada peta.

3 Foto Udara dan LiDAR

Gambaran Umum

Layanan Foto Udara dan LiDAR adalah layanan pemetaan udara terpadu yang mencakup seluruh rangkaian proses — mulai dari akuisisi data di lapangan menggunakan wahana udara, pengolahan data dengan perangkat lunak khusus, hingga penyajian produk akhir siap pakai (DSM, DTM, kontur, dan peta foto). Layanan ini merupakan penerapan gabungan dari metode Survey Udara, Photogrammetry, dan LiDAR yang telah dibahas pada Bab 2, dikemas menjadi satu alur kerja komersial yang lengkap: **Wahana** → **Alat** → **Software** → **Produk** → **Peta Topografi**.

3.1 Wahana

Pemilihan wahana (platform pembawa sensor) disesuaikan dengan luas area, tingkat kesulitan medan, dan kebutuhan akurasi proyek. Terdapat dua kategori wahana yang digunakan: **wahana berawak (*Manned*)** dan **wahana nirawak (*Unmanned*)**.

3.1.1 Wahana Berawak (*Manned*)

Wahana Berawak — Contoh: Cessna 172P

Pesawat bermesin tunggal yang banyak digunakan untuk survei udara skala luas, dengan karakteristik:

- Stabilitas tinggi, sehingga menghasilkan data dan citra yang lebih akurat.
- *Endurance* dan jangkauan tinggi — waktu terbang sekitar 4–5 jam dengan cakupan area hingga sekitar 1.000 km^2 per misi.
- Mendukung berbagai jenis sensor sekaligus, seperti LiDAR dan kamera udara.
- Biaya operasional relatif lebih rendah dibandingkan pesawat survei berukuran lebih besar.
- Fleksibel, mampu beroperasi dari landasan pendek — cocok untuk area hutan, tambang, pulau, atau pantai terpencil.



3.1.2 Wahana Nirawak (*Unmanned*)

Wahana Nirawak — Contoh: DJI Matrice 300 RTK

Drone (UAV) profesional yang digunakan untuk survei area yang lebih kecil atau sulit dijangkau wahana berawak, dengan karakteristik:

- Presisi tinggi berkat teknologi RTK (*Real-Time Kinematic*).
- Fleksibilitas sensor dan payload sesuai kebutuhan proyek.
- Mendukung fotogrametri, LiDAR, hingga inspeksi infrastruktur.
- Mampu menjangkau area yang sulit diakses oleh pesawat berawak.
- Waktu terbang relatif panjang untuk kelas drone, dengan cakupan sekitar 20–40 hektar per penerbangan.



Perbandingan Wahana

Manned (Cessna 172P): unggul untuk cakupan area sangat luas (ratusan–ribuan km^2), efisien dari sisi biaya per satuan luas untuk proyek regional.

Unmanned (DJI Matrice 300 RTK): unggul untuk area sempit/spesifik, respons cepat, dan biaya mobilisasi rendah, namun cakupan per penerbangan jauh lebih kecil.

Kombinasi keduanya memungkinkan penyedia layanan memilih wahana paling efisien sesuai skala dan karakteristik proyek.

3.2 Alat

Setiap wahana dilengkapi rangkaian alat/sensor yang bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan data posisi dan elevasi yang akurat.

3.2.1 Sensor LiDAR

Sensor LiDAR yang dipasang pada wahana udara dipilih berdasarkan kebutuhan efisiensi area atau tingkat akurasi/detail yang diinginkan.

- **Optech Galaxy T1000** — *High-Efficiency Airborne LiDAR System* dengan desain ringkas dan fleksibel, dapat dipasang pada berbagai jenis pesawat berawak, termasuk Cessna 172P.
- **Optech Orion H300** — *High-Accuracy Airborne LiDAR System* yang dirancang untuk menghasilkan data dengan akurasi lebih tinggi.

Kombinasi Wahana dan Sensor LiDAR

Kombinasi antara Cessna 172P dengan sensor Optech Galaxy T1000 atau Orion H300 memungkinkan pemetaan dari skala area yang luas hingga tingkat detail yang sangat tinggi (*super detail*), dengan biaya yang relatif lebih terjangkau dibandingkan konfigurasi wahana dan sensor kelas besar lainnya.

3.2.2 Kamera Udara

Kamera udara metrik digunakan berdampingan dengan sensor LiDAR untuk menghasilkan citra foto udara resolusi tinggi yang mendukung interpretasi visual dan analisis vegetasi.

- **Phase One iXU-RS1000** — kamera metrik aerial profesional beresolusi 100 MP, digunakan untuk menghasilkan citra udara dengan detail dan akurasi tinggi.
- **Hasselblad A6D 100C RGB/NIR** — kamera dengan sensor 100 MP yang mendukung mode RGB dan *Near Infrared* (NIR), digunakan untuk pemetaan dasar, pemetaan infrastruktur, analisis vegetasi, serta pengelolaan sumber daya alam. Kanal NIR memungkinkan perhitungan indeks vegetasi seperti NDVI secara langsung dari hasil pemotretan.

3.2.3 IMU/GNSS dan GPS

Sistem Navigasi dan Penentuan Posisi

Setiap wahana dilengkapi unit **IMU** (*Inertial Measurement Unit*) yang terintegrasi dengan **GNSS** (*Global Navigation Satellite System*) untuk merekam posisi (X, Y, Z) dan orientasi (*roll, pitch, yaw*) wahana secara kontinu selama penerbangan. Data IMU/GNSS inilah yang menjadi acuan *georeferencing* langsung bagi data LiDAR maupun foto udara.

- **IMU/GNSS udara** — terpasang menyatu dengan sensor LiDAR/kamera pada wahana, merekam trayektori terbang dengan presisi tinggi.
- **GPS/GNSS geodetic dual frequency (darat)** — digunakan tim lapangan untuk mengukur titik **GCP** (*Ground Control Point*) dan **ICP** (*Independent Check Point*) sebagai titik kontrol dan validasi akurasi hasil pemetaan (lihat Subbab 5.3 pada Bab Teknologi).
- **Base Station GNSS** — merekam data koreksi secara kontinu di darat selama misi terbang berlangsung, digunakan pada tahap *post-processing* untuk menghasilkan koordinat akurasi sentimeter.
- **Metode Penentuan Posisi GNSS**
  - **Absolute Positioning** — Menentukan posisi menggunakan satu receiver GNSS tanpa memerlukan Base Station, sehingga lebih sederhana namun umumnya memiliki akurasi yang lebih rendah dibandingkan metode relatif.
    - **Standalone (SPP)** → Menggunakan satu receiver tanpa koreksi tambahan dengan akurasi tingkat meter.
    - **PPP (Precise Point Positioning)** → Menggunakan data orbit dan clock satelit presisi sehingga mampu mencapai akurasi sentimeter tanpa Base Station.
    - **RTX (Real-Time eXtended)** → Layanan koreksi real-time berbasis PPP dari Trimble yang tidak memerlukan Base Station.
  - **Relative Positioning** — Menentukan posisi dengan membandingkan data dari dua atau lebih receiver (Base dan Rover) sehingga menghasilkan akurasi yang lebih tinggi.
    - **DGNSS** → Menggunakan koreksi diferensial dari Base Station untuk meningkatkan akurasi dibandingkan Standalone (SPP).
    - **Static** → Receiver ditempatkan diam dalam waktu tertentu untuk memperoleh akurasi tinggi melalui post-processing.
    - **Rapid Static** → Pengembangan metode Static dengan waktu observasi yang lebih singkat.
    - **Stop-and-Go** → Receiver bergerak antar titik pengamatan dan berhenti sesaat pada setiap titik untuk melakukan observasi.
    - **RTK (Real-Time Kinematic)** → Menggunakan koreksi dari Base Station atau CORS secara real-time sehingga menghasilkan akurasi sentimeter.

* **Network RTK (NRTK)** → Pengembangan RTK yang memanfaatkan jaringan CORS sehingga jangkauan koreksi lebih luas.
* **PPK (Post-Processed Kinematic)** → Data Base dan Rover diproses setelah survei selesai untuk memperoleh akurasi sentimeter.



Figure 21: Penggunaan receiver GNSS geodetic di lapangan untuk menentukan titik GCP/ICP sebagai acuan IMU/GNSS udara.

3.3 Software

Data mentah hasil akuisisi (LiDAR dan foto udara) diolah melalui dua jalur perangkat lunak yang berbeda sebelum digabungkan menjadi produk akhir.

3.3.1 Software Pengolahan LiDAR

- **Terrasolid Suite** — pengolahan khusus data LiDAR dan *point cloud*: klasifikasi titik (tanah, vegetasi, bangunan), filter *ground*, hingga menghasilkan DSM, DTM, dan kontur.
- Alternatif: RiPROCESS, Leica HxMap.

Tahapan pengolahan data LiDAR meliputi:

1. Data *Raw* LiDAR — data mentah hasil pemindaian sensor sebelum diproses lebih lanjut.
2. Pengolahan dan pengklasifikasian *point cloud* — memisahkan titik tanah, vegetasi, dan bangunan.
3. Pembentukan **DSM** dan **DTM** dari titik-titik hasil klasifikasi.
4. Ekstraksi **LiDAR Intensity Images** — citra dari nilai intensitas pantulan sinar laser, berguna untuk membedakan jenis permukaan (aspal, air, vegetasi, dsb).

3.3.2 Software Pengolahan Foto Udara

- **Trimble Inpho** — pengolahan foto udara (*aero-triangulation*, orientasi, orthorektifikasi, mosaik) hingga menghasilkan ortofoto/peta foto mosaik yang presisi.
- Alternatif: Agisoft Metashape, Pix4D Mapper.

Tahapan pengolahan foto udara meliputi:

1. **Triangulasi Udara** — penentuan posisi dan orientasi setiap foto secara matematis berdasarkan titik kontrol (GCP/ICP) dan titik ikat antar-foto.

2. **Stereomodel** — model tiga dimensi yang terbentuk dari sepasang foto bertampalan, digunakan untuk pengukuran dan interpretasi objek secara 3D.
3. **Mosaik Orthophoto** — gabungan ortofoto individual menjadi satu citra menerus (*seamless*) yang siap digunakan sebagai peta foto.

Integrasi Data

Seluruh produk hasil pengolahan LiDAR dan foto udara pada akhirnya disimpan pada **Server Data Center** (*ArcGIS Enterprise & AFE*) agar dapat diintegrasikan, dianalisis, dan dipublikasikan sebagai satu kesatuan — lihat Subbab 5.5 dan 5.6 pada Bab Teknologi.

3.4 Produk

Produk	Deskripsi	Skala Umum
DSM	*Digital Surface Model* — model elevasi permukaan termasuk objek di atas tanah (bangunan, vegetasi).	1:1.000 & 1:5.000
DTM	*Digital Terrain Model* — model elevasi permukaan tanah murni (*bare earth*) setelah objek di atasnya disaring.	1:1.000 & 1:5.000
Kontur	Garis yang menghubungkan titik-titik dengan elevasi sama, diturunkan dari DTM.	1:1.000 (interval 5 m) & 1:5.000
Peta Foto (Mozaik Orthophoto)	Gabungan ortofoto menjadi satu peta foto menerus (*seamless*) hasil pengolahan foto udara.	1:1.000 & 1:5.000, GSD 10 cm

Catatan Produk

DSM dan DTM merupakan produk turunan langsung dari pengolahan *point cloud* LiDAR, sedangkan Peta Foto merupakan produk turunan dari pengolahan foto udara (fotogrametri). Kedua kelompok produk ini — data elevasi (DSM/DTM/kontur) dan data foto (mozaik orthophoto) — kemudian digabungkan pada tahap akhir untuk membentuk Peta Topografi.

3.5 Pembuatan Peta Topografi

Alur Kerja Terintegrasi

Seluruh proses Foto Udara dan LiDAR — dari Wahana, Alat, Software, hingga Produk — bermuara pada satu alur kerja terpadu untuk menghasilkan Peta Topografi:

1. **Perencanaan Misi** — penentuan wahana (Manned/Unmanned), sensor, dan jalur terbang sesuai luas dan kebutuhan akurasi area.
2. **Survey GNSS Lapangan** — **Base Station GNSS** merekam data koreksi secara kontinu, sementara tim lapangan mengukur titik **GCP/ICP** menggunakan GPS/GNSS geodetic dual frequency.
3. **Akuisisi Data Udara** — wahana (Cessna 172P atau DJI Matrice 300 RTK) membawa **sensor LiDAR**, **kamera udara**, dan **IMU/GNSS** secara bersamaan untuk merekam data di lapangan.
4. **Pengolahan Data LiDAR** — data *raw* diolah dengan **Terrasolid** menjadi *point cloud* terklasifikasi, DSM, DTM, dan Peta Kontur.
5. **Pengolahan Foto Udara** — foto udara diolah dengan **Trimble Inpho** melalui triangulasi udara dan stereomodel, menghasilkan Ortofoto dan Peta Foto Mosaik.
6. **Integrasi Produk** — data kontur (dari LiDAR) dan peta foto (dari fotogrametri) digabungkan bersama data penutup lahan dan toponimi untuk membentuk **Peta Topografi** yang lengkap (lihat kembali Subbab 2.1).
7. **Publikasi** — seluruh produk disimpan dan dipublikasikan melalui **Server Data Center** (ArcGIS Enterprise & AFE) agar dapat diakses dan dimanfaatkan lintas sektor (lihat Bab 6 — Dunia Kerja).

Analisis Lanjutan Berbasis Produk Foto Udara dan LiDAR

Data DSM, DTM, dan mosaik ortofoto yang dihasilkan dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk berbagai analisis spasial, antara lain:

- **Cut and Fill** — perhitungan volume galian dan timbunan berdasarkan data elevasi, untuk perencanaan konstruksi, tambang, dan infrastruktur.
- **Path Profile / Line of Sight** — profil ketinggian di sepanjang suatu jalur untuk analisis *terrain* dan garis pandang antar-titik.
- **Analisis Daerah Irigasi & Arah Aliran** — penentuan arah aliran air permukaan dan kondisi jaringan irigasi berdasarkan DTM.
- **Tree Counting** — penghitungan jumlah pohon otomatis dari *point cloud* LiDAR, untuk inventarisasi hutan dan perkebunan.
- **Jalur Efektif** — penentuan jalur optimal (jalan, pipa, akses) berdasarkan model elevasi.

4 Peta Tematik

Definisi

Peta tematik adalah peta yang menyajikan informasi mengenai tema atau topik tertentu di atas peta dasar (termasuk peta topografi), misalnya tutupan lahan, tata ruang, kondisi hidrologi, atau geologi suatu wilayah. Berbeda dengan peta topografi yang bersifat umum, peta tematik berfokus pada satu jenis informasi spesifik sesuai kebutuhan penggunanya.

4.1 Tutupan Lahan (*Land Cover*)

Definisi

Peta tutupan lahan menggambarkan kondisi fisik permukaan bumi berdasarkan jenis penutupnya, seperti hutan, sawah, kebun, permukiman, badan air, dan lahan terbuka. Peta ini dihasilkan dari interpretasi ortofoto atau citra satelit resolusi tinggi.

- Digunakan untuk memantau perubahan penggunaan lahan dari waktu ke waktu (misalnya deforestasi atau perluasan permukiman).
- Menjadi salah satu dari tiga komponen utama pembentuk Peta Topografi (bersama kontur dan toponimi).
- Mendukung analisis lingkungan, seperti estimasi biomassa dan monitoring kesehatan vegetasi (indeks NDVI).

4.2 RDTR (Rencana Detail Tata Ruang)

Definisi

RDTR adalah rencana rinci tata ruang wilayah kabupaten/kota yang dilengkapi dengan peraturan zonasi, disusun sebagai penjabaran dari Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) yang bersifat lebih makro. RDTR menggunakan peta dasar berskala besar (umumnya 1:5.000).

Fungsi utama RDTR:

- Kendali mutu pemanfaatan ruang wilayah kabupaten/kota berdasarkan RTRW.
- Acuan teknis dalam penerbitan izin pemanfaatan ruang, seperti PBG (Persetujuan Bangunan Gedung).
- Menentukan peruntukan lahan secara rinci (permukiman, kawasan industri, ruang terbuka hijau, kawasan perdagangan, dan lain-lain).
- Mencegah konflik pemanfaatan ruang dan mendukung kepastian hukum bagi investasi.

Data Pendukung Penyusunan RDTR

Penyusunan RDTR membutuhkan berbagai peta tematik pendukung, antara lain: topografi, kemiringan lereng, tutupan lahan eksisting, hidrologi, geologi, jenis tanah, curah hujan, kepadatan penduduk, kawasan rawan bencana, serta jaringan prasarana (transportasi, listrik, air minum). Peta dasar (termasuk peta topografi hasil survey udara) menjadi rujukan utama agar seluruh peta tematik memiliki referensi spasial yang konsisten dan akurat.

4.3 Hidrologi

Definisi

Peta hidrologi menggambarkan kondisi sistem air suatu wilayah, meliputi jaringan sungai, Daerah Aliran Sungai (DAS), arah aliran permukaan, danau, waduk, dan cekungan air tanah.

Peta hidrologi umumnya diturunkan dari data DTM (*Digital Terrain Model*) hasil survey udara melalui analisis:

- **Flow Direction & Flow Accumulation** — menentukan arah dan akumulasi aliran air permukaan.
- **Delineasi DAS/*Watershed*** — menentukan batas daerah tangkapan air.
- **Jaringan Drainase** — garis sungai dan kanal hasil ekstraksi otomatis dari model elevasi.

Peta ini penting untuk perencanaan irigasi, pengendalian banjir, perencanaan bendungan, dan konservasi tanah dan air.

4.4 Geologi

Definisi

Peta geologi menggambarkan kondisi geologis suatu wilayah, meliputi jenis dan sebaran batuan, struktur geologi (patahan, lipatan), serta potensi sumber daya alam dan kerawanan bencana geologi (longsor, gempa).

- Peta geologi menjadi salah satu data tematik penting dalam penyusunan tata ruang (RDTR/RTRW), khususnya untuk menentukan area rawan bencana dan kesesuaian lahan.
- Dalam kegiatan pertambangan, peta geologi digunakan bersama data topografi untuk perencanaan eksplorasi dan penambangan.
- Data topografi resolusi tinggi (DTM/DEM) turut membantu analisis morfologi permukaan yang berkaitan dengan struktur geologi, seperti kemiringan lereng dan pola aliran yang mengindikasikan struktur batuan di bawahnya.

5 Teknologi

Jika Bab 3 (Foto Udara dan LiDAR) menjelaskan **alur kerja** layanan pemetaan udara secara menyeluruh — mulai dari Wahana, Alat, Software, Produk, hingga Pembuatan Peta Topografi — bab ini melengkapinya dengan **katalog vendor dan spesifikasi teknis** dari masing-masing komponen teknologi yang digunakan di sepanjang alur tersebut.

5.1 Sensor LiDAR

Bila Subbab 3.2.1 berfokus pada kombinasi sensor yang dipilih untuk wahana Cessna 172P, berikut adalah katalog vendor sensor LiDAR yang lebih luas di pasaran:

- **Teledyne Optech** (https://www.teledyneoptech.com) — Galaxy T1000, Galaxy T2000, Orion H300/M300. Dikenal tangguh (*military-grade*) dan ringkas, sehingga dapat dipasang pada pesawat kecil maupun helikopter; awalnya dirancang untuk kebutuhan militer.
- **Leica Geosystems** (https://leica-geosystems.com) — TerrainMapper-2, TerrainMapper-3.
- **RIEGL** (https://www.riegl.com) — VQ-1560 III-S, VQ-1460, miniVUX-3UAV.

5.2 Kamera Udara

Kamera udara adalah kamera khusus yang dipasang pada pesawat, helikopter, atau drone untuk mengambil foto permukaan bumi secara sistematis guna keperluan pemetaan dan pengukuran geospasial (bukan sekadar foto pemandangan). Kamera ini memiliki sertifikat kalibrasi dari pabrikan, sehingga seluruh parameter dan kesalahan geometriknya diketahui dan dapat dikoreksi untuk menghasilkan data pemetaan yang akurat. Model spesifik yang digunakan berdampingan dengan LiDAR (Phase One iXU-RS1000 dan Hasselblad A6D 100C RGB/NIR) telah dijelaskan pada Subbab 3.2.2; berikut katalog vendor kamera udara secara lebih umum.

- **Phase One (100 MP)** — dipilih karena ukurannya kompak, mudah diintegrasikan dengan LiDAR Optech, dan memiliki resolusi tertinggi yang tersedia saat ini.
- Alternatif lain: Leica CityMapper, Vexcel UltraCam Eagle, Phase One PAS 280.

5.3 GNSS Dual Frekuensi

Definisi

GNSS (*Global Navigation Satellite System*) adalah payung besar dari berbagai sistem navigasi satelit: GPS (Amerika), GLONASS (Rusia), Galileo (Eropa), dan BeiDou (China). Alat GNSS geodetic dapat menangkap sinyal dari keempat konstelasi sekaligus (*multi-konstelasi*), sehingga proses *fix* lebih cepat dan lebih andal, termasuk di bawah kanopi hutan. Peran GNSS geodetic dalam mengukur titik GCP dan ICP telah dijelaskan pada Subbab 3.2.3; subbab ini berfokus pada alasan teknis mengapa alat *dual frequency* diperlukan.

Mengapa Dual Frequency penting? Satelit GNSS mengirim sinyal pada dua gelombang berbeda:

- L1 / E1 / B1 (1575 MHz) — digunakan pada HP, mobil, dan drone murah.
- L2 / E5b / B2 (1227 MHz) — hanya ada pada alat geodetic.

Musuh utama sinyal GNSS adalah **ionosfer**, lapisan atmosfer yang membuat sinyal "berbelok" sehingga menimbulkan error 2–5 meter. Dengan dua frekuensi, error akibat ionosfer dapat diukur dan dikoreksi secara langsung (bukan sekadar estimasi), sehingga akurasi meningkat dari sekitar 2 meter menjadi **1–2 cm**.

Alur survey GNSS: Perencanaan sebaran titik → Survey GNSS (ukur GCP & ICP) → Pemrosesan data (*Post-Processing*/PPK) → Hasil akurat (koordinat sentimeter).

5.4 Wahana Udara

Wahana udara adalah pesawat atau helikopter yang dimodifikasi khusus untuk mengintegrasikan sensor LiDAR, kamera udara, dan sistem navigasi, dilengkapi *sensor port* tersertifikasi pada bagian bawah pesawat. Perbandingan detail antara wahana berawak dan nirawak — termasuk kapasitas area dan waktu terbang — telah dibahas pada Subbab 3.1.

- **Cessna 172** dan **Cessna 208 Caravan** — pesawat berawak yang umum digunakan.
- Alternatif lain: Piper PA-31 Navajo, UAV/Drone (VTOL atau Multirotor) untuk area yang lebih kecil atau sulit dijangkau pesawat berawak.

5.5 Software Pengolahan Data

Ringkasan perangkat lunak utama yang digunakan pada tahap pengolahan data (alur pengolahan lengkapnya dijelaskan pada Subbab 3.3):

Software	Fungsi
Terrasolid Suite	Pengolahan khusus data LiDAR dan *point cloud* (klasifikasi, filter *ground*, DTM/DEM/DSM, kontur) hingga menghasilkan peta topografi 3D yang akurat. Alternatif: RiPROCESS, Leica HxMap.
Trimble Inpho	Pengolahan foto udara (*aero-triangulation*, orientasi, orthorektifikasi, mosaik) hingga menghasilkan ortofoto/peta foto mosaik yang presisi. Alternatif: Agisoft Metashape, Pix4D Mapper.
ArcGIS Enterprise & AFE	Server data center untuk penyimpanan, manajemen, integrasi, analisis, dan publikasi seluruh data spasial (peta topografi maupun peta tematik).

5.6 Alur Kerja Terintegrasi

Lihat Juga

Alur kerja lengkap — mulai dari perencanaan misi, survey GNSS lapangan, akuisisi data udara, pengolahan LiDAR dan foto udara, hingga integrasi dan publikasi produk — telah dijabarkan secara rinci pada Subbab 3.5 (Pembuatan Peta Topografi). Secara ringkas, seluruh teknologi pada bab ini bekerja dalam satu rangkaian:

$$\text{GNSS (GCP/ICP)} \rightarrow \text{Wahana} + \text{Sensor (LiDAR \& Kamera)} \rightarrow \text{Software (Terrasolid \& Trimble Inpho)} \rightarrow \text{Server Data Center}$$

Produk utama yang dihasilkan dari alur ini juga identik dengan yang telah dijabarkan pada Subbab 3.4 (Produk), yaitu *Point Cloud*, DEM, DSM, DTM, Peta Kontur, dan Peta Foto (Ortofoto).

6 Dunia Kerja

Data topografi dan tematik hasil survey udara dimanfaatkan secara luas oleh berbagai sektor industri untuk mendukung perencanaan, desain, analisis, dan pengambilan keputusan.

6.1 Engineering & Infrastruktur

- Perencanaan jalan dan jembatan berdasarkan data topografi akurat.
- Analisis *cut & fill* — perhitungan volume galian dan timbunan secara presisi.
- Pemilihan jalur terbaik berdasarkan topografi, kemiringan, dan jarak.
- Perencanaan jaringan irigasi dan arah aliran air.
- Perencanaan pembangunan bendungan (analisis genangan, volume tampungan).
- Pemetaan jaringan utilitas (listrik, air bersih, telekomunikasi, gas).
- Pembuatan peta tata ruang (RDTR) dan peta 3 dimensi.



Figure 22: Pembangunan jalan sebagai salah satu penerapan data topografi di sektor Engineering & Infrastruktur.

6.2 Pertambangan

- Perencanaan jalan tambang yang aman dan efisien.
- Analisis *cut & fill* untuk perhitungan volume galian/timbunan.
- Perhitungan volume *stockpile* (material, ore).
- Monitoring kemajuan tambang dari waktu ke waktu.
- Perencanaan *pit* dan *disposal area*.
- Analisis drainase tambang dan pemantauan reklamasi.
- Manajemen keselamatan (identifikasi area lereng berisiko tinggi).
- Pemodelan dan visualisasi 3D tambang.



Figure 23: Pandangan udara tambang terbuka (*open-pit mine*) — data topografi mendukung perencanaan *pit*, pemantauan kemajuan tambang, dan analisis volume.

6.3 Perkebunan

- Pemetaan batas dan blok kebun secara akurat.
- Perencanaan jalan dan drainase kebun.
- Perencanaan jaringan irigasi.
- Identifikasi area tanam dan rencana *replanting*.
- Analisis topografi untuk konservasi tanah dan air.
- Monitoring kesehatan tanaman (indeks vegetasi/NDVI).
- Estimasi biomassa dan stok karbon (mendukung pelaporan ESG/REDD+).
- Inventarisasi aset dan pemodelan kebun 3D.



Figure 24: Blok tanam kelapa sawit — data topografi mendukung pemetaan batas kebun, perencanaan jalan/drainase, hingga monitoring kesehatan tanaman.

6.4 Kehutanan

- Pemetaan batas kawasan hutan dan blok tebang/tanam.
- Monitoring tutupan hutan dan deteksi deforestasi dari waktu ke waktu.
- Perencanaan jalan sarad dan akses angkutan kayu.
- Inventarisasi tegakan (jumlah dan sebaran pohon) berbasis LiDAR.
- Analisis topografi untuk konservasi tanah dan daerah tangkapan air.
- Deteksi area rawan kebakaran dan pemantauan pasca-kebakaran.
- Estimasi biomassa dan stok karbon hutan (mendukung pelaporan REDD+).
- Pemodelan kanopi 3D (*canopy height model*) untuk perencanaan pemanenan lestari.



Figure 25: Kawasan hutan dari udara — data topografi dan tematik mendukung monitoring tutupan hutan, inventarisasi tegakan, dan analisis stok karbon.

6.5 Akademisi & Penelitian

- Pengembangan metode survei, pemetaan, dan analisis geospasial.
- Penelitian di bidang GNSS, fotogrametri, LiDAR, penginderaan jauh, dan SIG.
- Pengembangan algoritma pengolahan data spasial dan citra satelit.
- Pengujian dan validasi metode serta instrumen survei.
- *Monitoring* deformasi permukaan bumi dan perubahan lingkungan.
- Pengembangan model elevasi, model 3D, dan *digital twin*.
- Pengembangan sistem informasi geospasial (*Web GIS*) dan aplikasi berbasis lokasi.
- Publikasi ilmiah, pengajaran, dan pembimbingan penelitian mahasiswa.

6.6 Pemerintahan & Pertanahan

- Pemetaan dasar nasional dan pemutakhiran data geospasial.
- Pengukuran, pemetaan, dan sertifikasi bidang tanah.
- Penetapan batas administrasi dan batas wilayah.
- Penyusunan peta tematik untuk mendukung kebijakan pemerintah.



Figure 26: Proses Penelitian— data topografi dimanfaatkan untuk pembelajaran mahasiswa, analisis dan riset spasial, serta pengembangan metode penelitian.



Figure 27: Penetapan batas wilayah — data topografi mendukung proses monitoring perubahan lahan dan pengelolaan segala bentuk basis data geospasial

- Monitoring perubahan penggunaan lahan dan kawasan perkotaan.
- Inventarisasi aset pemerintah berbasis geospasial.
- Pengelolaan basis data geospasial nasional.

6.7 Kelautan

- Survei hidrografi dan pemetaan dasar laut (batimetri).
- Pemetaan garis pantai dan perubahan wilayah pesisir.
- Perencanaan jalur pelayaran dan alur pelabuhan.
- Monitoring sedimentasi, abrasi, dan erosi pantai.
- Survei lokasi pembangunan pelabuhan dan bangunan lepas pantai.
- Pemetaan habitat pesisir, terumbu karang, dan padang lamun.
- Monitoring kenaikan muka air laut dan dinamika pesisir.
- Penyusunan peta laut untuk mendukung navigasi.

6.8 Perencanaan Wilayah & Smart City

- Penyusunan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan RDTR.



Figure 28: Pembuangan limbah cair — data topografi dan peta tematik menjadi bahan dasar survei hidrografi untuk monitoring perubahan kualitas perairan, sedimentasi, dan dampaknya terhadap ekosistem pesisir.



Figure 29: Smart city & Digital Twin — data geospasial dimanfaatkan untuk memantau, mensimulasikan, dan mengoptimalkan pengelolaan kota secara cerdas dan berkelanjutan.

- Analisis kesesuaian lahan untuk pembangunan.
- Analisis aksesibilitas dan jaringan transportasi.
- Identifikasi kawasan rawan bencana untuk perencanaan wilayah.
- Penyusunan basis data spasial untuk mendukung pembangunan.
- Pemodelan perkembangan kawasan perkotaan (*urban growth*).
- Visualisasi kota dalam model 3D dan *digital twin*.

6.9 Teknologi Geospasial & GIS

- Pengembangan dan pengelolaan Sistem Informasi Geografis (SIG).
- Analisis spasial untuk mendukung pengambilan keputusan.
- Pengolahan citra satelit, UAV, dan data LiDAR.
- Pembuatan peta digital dan visualisasi data geospasial.
- Pengembangan *Web GIS* dan aplikasi berbasis lokasi.
- Integrasi berbagai sumber data geospasial ke dalam satu sistem.
- Otomatisasi pengolahan data menggunakan Python atau GIS tools.



Figure 30: Visualisasi Data LiDAR — data tersebut mendukung pengolahan dan analisis spasial, serta pembuatan peta digital yang mendukung pengembangan SIG dan pengambilan keputusan berbasis lokasi.

- Pengembangan basis data geospasial dan layanan peta digital.

6.10 Utilitas

- Pemetaan jaringan listrik, transmisi, dan distribusi.
- Pemetaan jaringan pipa minyak dan gas.
- Pemetaan jaringan air bersih dan sanitasi.
- Pemetaan jaringan telekomunikasi (fiber optik, kabel).
- Analisis koridor utilitas dan manajemen aset infrastruktur.
- Pemodelan utilitas 3D (termasuk jaringan bawah permukaan).



Figure 31: Menara dan jaringan transmisi listrik — salah satu objek pemetaan utilitas yang memanfaatkan data topografi.

Manfaat Umum

Penerapan data topografi dan tematik pada seluruh sektor di atas memberikan manfaat berupa: perencanaan yang lebih akurat dan berbasis data, pengurangan risiko

kerusakan/gangguan layanan, penghematan biaya dan waktu, peningkatan efisiensi operasional, serta dukungan terhadap keselamatan kerja dan pembangunan berkelanjutan.