

Pemanfaatan Citra LiDAR untuk Penyiapan Pembangunan Kawasan Sentra Industri Garam Nasional (K-SIGN) di Rote Ndao, Nusa Tenggara Timur

Miftahul Huda^{1,2}, Bambang Kun Cahyono¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

²Direktorat Jenderal Pengelolaan Kelautan, KKP

Abstrak

Indonesia belum mampu untuk memenuhi kebutuhan garam domestik. Kebutuhan garam untuk keperluan garam konsumsi telah dapat dipenuhi, namun untuk garam industri masih belum dapat dipenuhi dari produksi garam nasional. Program Kawasan Sentra Industri Garam Nasional (K-SIGN) hadir untuk memenuhi gap kebutuhan tersebut melalui upaya ekstensifikasi lahan garam. Selama beberapa dekade luas lahan garam stagnan bahkan cenderung untuk turun dikarenakan alih fungsi lahan. Penelitian ini bertujuan untuk (1) memanfaatkan teknologi penginderaan jauh untuk memetakan lahan tambak garam (2) melihat aspek kesesuaian lahan tambak garam untuk dimanfaatkan sebagai program ekstensifikasi lahan tambak garam. Teknologi yang digunakan adalah pemetaan penutupan lahan dengan menggunakan foto udara dan pemetaan topografi permukaan dengan menggunakan citra LiDAR. Wahana Pemotretan Udara menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan Skala 1:1000. Hasil kajian menunjukkan bahwa salah satu aspek kesesuaian lahan yang menjadi prasyarat kesesuaian lahan adalah kemiringan lereng, diperlukan kemiringan antara 0-2% untuk dapat dimanfaatkan sebagai lahan tambak garam. Pemetaan dibagi menjadi 7 Blok. Data Digital Surface Model (DSM) diperoleh dengan memanfaatkan seluruh point cloud hasil akuisisi LiDAR, tanpa melalui proses penyaringan lebih lanjut, sehingga mampu merepresentasikan kondisi permukaan aktual termasuk vegetasi, bangunan, dan objek lain di atas tanah. Resolusi DSM yang dihasilkan adalah 0,25 meter, yang memberikan detail cukup tinggi untuk kebutuhan analisis topografi maupun pemetaan pada skala 1:1000. Data Digital Terrain Model (DTM) memanfaatkan point cloud hasil klasifikasi ground sehingga model yang dihasilkan merepresentasikan kondisi permukaan tanah aktual, bebas dari vegetasi, bangunan, maupun objek non-permanen lainnya. Resolusi yang digunakan adalah 0,5 meter. Data DTM inilah yang digunakan sebagai basis utama dalam analisis topografi, pembuatan kontur, serta perencanaan teknis yang memerlukan representasi akurat dari kondisi permukaan tanah yang akan dimanfaatkan dalam pembuatan tambak garam.

Kata Kunci—Kawasan Sentra Industri Garam Nasional (K-SIGN), Kesesuaian lahan tambak garam, Penginderaan Jauh, LIDAR

I. PENDAHULUAN

Indonesia, merupakan negara kepulauan dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia dengan panjang kurang lebih 95.181 km, memiliki potensi besar untuk menjadi produsen garam utama. Namun, realita di menunjukkan bahwa terdapat kesenjangan yang lebar antara potensi geografis dengan pemenuhan kebutuhan domestik. Hingga saat ini, Indonesia masih sangat bergantung pada impor untuk memenuhi kebutuhan garam, khususnya garam industri.

Produksi garam di Indonesia sangat dipengaruhi oleh cuaca yang tidak menentu. Misalnya, fenomena La Niña yang memperpanjang hujan bisa menyebabkan gagal panen pada sentra penghasil garam, seperti sepanjang pantura Jawa dan Madura. Ketidakpastian cuaca ini menunjukkan pentingnya suatu rencana untuk mandiri dalam garam yang tidak hanya bertujuan untuk menambah lahan, tetapi juga mengembangkan teknologi untuk memproduksi "garam tertutup" yang tidak tergantung pada musim (Sudarsono et al., 2014).

Kebutuhan garam di Indonesia terus bertambah seiring dengan tumbuhnya berbagai industri seperti pembuatan barang, kimia, dan obat-obatan. Garam sekarang tidak hanya digunakan di dapur, tapi juga sangat penting untuk industri antara lain kebutuhan soda kaustik dan klorin. Produksi garam terhambat karena kualitas yang kurang baik dan jumlah yang tidak stabil, jadi mengimpor garam menjadi cara cepat untuk memenuhi kebutuhan meski secara ekonomi sangat membuat ketergantungan. (Efendy et al., 2012).

Ketergantungan pada garam impor menciptakan risiko terhadap perubahan harga internasional dan nilai tukar uang. Di samping itu, melimpahnya garam impor di pasar kerap kali menurunkan harga garam lokal. Hal ini memperburuk kemiskinan di kawasan pesisir. Swasembada garam dianggap sebagai alat untuk meningkatkan nilai tambah dari komoditas lokal dan menjamin perlindungan ekonomi bagi jutaan produsen garam (Rusiyanto et al., 2013).

Kualitas garam menjadi isu yang cukup sentral, untuk meningkatkan garam produksi nasional menjadi standar garam industri ($\text{NaCl} > 97\%$) diperlukan intervensi teknologi seperti integrasi kristalisator bertingkat atau penggunaan membran filter (Putra et al., 2015). Dengan kualitas garam yang masih dibawah garam impor, maka garam lokal seringkali kalah bersaing dengan garam yang diperoleh dari impor. Oleh karena itu diperlukan upaya perbaikan kualitas garam sekaligus peningkatan kuantitas garam.

Saat ini, tempat produksi garam terpusat di Jawa, khususnya di Pantura Jawa dan Pulau Madura. Konversi lahan menjadikan lahan tambak semakin berkurang. Salah satu tindakan yang dapat diambil adalah melakukan ekspansi ke wilayah di luar Pulau Jawa yang memiliki potensi untuk pembuatan tambak garam seperti wilayah NTT, Sulawesi Selatan, dan NTB. Area tersebut menjadi krusial karena memiliki indeks evaporasi yang lebih tinggi dan lahan yang masih terbentang luas (Haryanto et al., 2017). Ekstensifikasi yang terukur di daerah dengan musim kemarau panjang (seperti NTT yang mengalami kemarau selama 8-9 bulan) diperkirakan dapat meningkatkan produksi nasional secara signifikan dan berkelanjutan, hal ini sulit dicapai hanya dengan mengandalkan intensifikasi di wilayah dengan anomali cuaca yang tinggi seperti Jawa (Sudarsono et al., 2014).

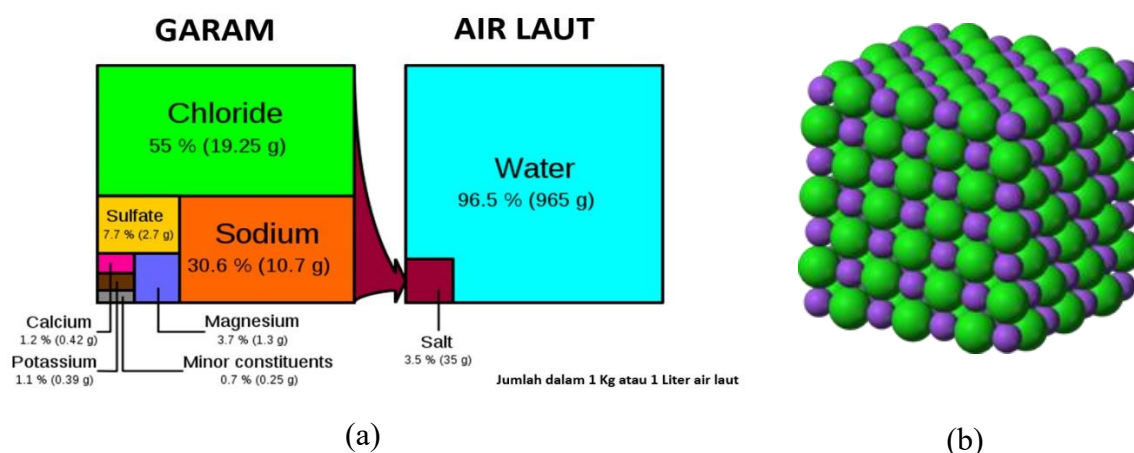
Pemenuhan kebutuhan garam melalui ekstensifikasi lahan merupakan langkah penting untuk memenuhi kebutuhan garam nasional yang selama ini diperoleh dari impor. Dalam konteks pembukaan area dan analisis potensi daerah untuk dijadikan tambak garam, diperlukan teknologi penginderaan jauh, sehingga data yang diperoleh adalah data presisi berskala besar. Pemetaan yang menggunakan penginderaan jauh dan GIS (Sistem Informasi Geografis) penting untuk menjamin bahwa perluasan lahan tidak mengenai area yang dilindungi (Amri et al., 2016).

Salah satu faktor penting dalam upaya ekstensifikasi lahan tambak garam adalah data topografi wilayah skala besar. Untuk memperoleh data tersebut, maka teknologi pencitraan dengan menggunakan wahana Unmanned Aerial Vehicle (UAV) baik fixed wing maupun rotator untuk memetakan wilayah dengan skala detail seperti 1:1.000. Mengingat kebutuhan akan data dengan skala besar tersebut, pada kajian ini dilakukan pemetaan wilayah yang akan dilakukan ekstensifikasi lahan tambak garam dengan menggunakan citra LiDAR untuk memperoleh karakteristik topografi daerah penelitian. Mengingat pentingnya data pendukung dalam program K-SIGN tersebut, maka kajian dalam penelitian ini bertujuan untuk (1) memanfaatkan teknologi penginderaan jauh untuk memetakan lahan tambak garam (2) melihat aspek kesesuaian lahan tambak garam untuk dimanfaatkan sebagai program ekstensifikasi lahan tambak garam.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Garam

Garam yang kita kenal merupakan mineral yang mempunyai komposisi utama Sodium Chlorine atau NaCl. Garam dalam gambaran yang lebih luas merupakan mineral Kristal yang disebut sebagai Rock Salt atau Halite. Sumber utama garam adalah dari air laut. Secara komposisi, kandungan garam dalam air laut adalah sebesar 35 gram dalam 1 liter air laut atau sekitar 3,5% dari kandungan air laut merupakan garam (Widjaya S, et al. (2021). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1 (a). Ikatan antara Na dan Cl yang terbentuk akan berbentuk struktur kristal berbentuk kubus (b)



Gambar 1. Komposisi Garam dalam Air Laut dan (a) struktur kristal dengan natrium berwarna ungu dan klorida berwarna hijau (b)

Garam merupakan mineral penting dalam kehidupan manusia. Garam adalah salah satu bumbu makanan tertua dan paling banyak ditemukan di mana-mana, dan penggaraman adalah metode pengawetan makanan yang penting. Garam yang kita kenal merupakan garam NaCl, dimana komposisi NaCl dalam air laut sekitar 3% dari komposisi air laut atau dalam 1 liter hanya akan terbentuk garam sebanyak 30 gram. Komposisi kimiawi air laut dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. KOMPOSISI AIR LAUT PADA SALINITAS 35 PPT

No	Ion	Gram per kg air laut
1	Cl ⁻	19,354
2	Na ⁺	10,770
3	K ⁺	0,399
4	Mg ²⁺	1,290
5	Ca ²⁺	0,4121
6	SO ₄ ²⁻	2,712
7	Br ⁻	0,0673
8	F ⁻	0,0013
9	B	0,0045
10	Sr ²⁺	0,0079
11	IO ₃ ⁻ , I ⁻	6,0x10 ⁻⁵

Sumber: Riley and Skirrow, 1975 dalam Buku Panduan Usaha Terpadu Garam dan Artemia (2012)

Secara historis, garam telah menjadi barang berharga yang bahkan digunakan sebagai alat tukar. Karakteristik higroskopis dan osmotiknya memungkinkan preservasi makanan dengan mengikis kelembapan dari mikroorganisme, sehingga menghambat perkembangan bakteri sebelum munculnya pendinginan modern. Pengasinan memungkinkan penyimpanan daging, ikan, dan sayuran dalam jangka waktu panjang, mendukung perjalanan jauh serta perdagangan (Elias, 2019; Henney et al., 2010).

Dalam sektor industri, NaCl adalah bahan dasar yang krusial untuk pembuatan klorin, soda kaustik, plastik, kaca, deterjen, dan senyawa kimia lainnya. Dalam terapi medis, larutan garam fisiologis (0,9% NaCl) dimanfaatkan sebagai cairan infus, antiseptik luka, dan untuk irigasi (Chemical Safety Facts, n.d.). Walaupun sangat berguna, asupan garam yang berlebihan menjadi isu kesehatan dunia. Penggunaan NaCl yang tepat sangat diperlukan untuk menyeimbangkan keuntungan dan bahaya. Garam tidak hanya sekadar bumbu, tetapi juga elemen dasar yang mengaitkan biologi, sejarah, dan teknologi dalam kehidupan manusia.

B. Program K-SIGN

Program Kawasan Sentra Industri Garam Nasional (K-SIGN) di Rote Ndao adalah fondasi strategis untuk mempercepat ketahanan swasembada garam nasional dengan memanfaatkan keunggulan komparatif dari daerah paling selatan Indonesia. Kabupaten Rote Ndao dipilih karena memiliki ciri iklim semi-arid dengan periode musim kemarau yang jauh lebih lama dibandingkan wilayah Jawa, yaitu mencapai delapan hingga sembilan bulan per tahun, serta kualitas air laut dengan salinitas tinggi yang sedikit polutan. Integrasi lahan dalam skema K-SIGN di area ini bertujuan untuk mengalihkan metode kristalisasi konvensional yang dulunya menggunakan tanah terbuka menjadi sistem meja garam berlapis geomembran untuk memastikan kadar Natrium Klorida (NaCl) mencapai standar industri di atas 97% (KKP 2021)

Secara operasional, K-SIGN Rote Ndao menerapkan konsep korporatisasi petambak dengan mengintegrasikan kepemilikan lahan masyarakat ke dalam satu manajemen koperasi atau badan usaha yang terkoordinasi. Perubahan ini didukung oleh pembangunan infrastruktur penting seperti fasilitas penyimpanan modern dan unit pencucian garam yang bisa melakukan proses pemurnian langsung di tempat produksi. Keberadaan fasilitas pengolahan di Rote sangat penting untuk meningkatkan nilai tambah produk lokal, sehingga garam yang dijual ke luar daerah bukan lagi bahan mentah berkualitas rendah, tetapi produk premium yang siap diterima oleh sektor industri pangan dan kimia (Nugroho 2022).

Walaupun memiliki kapasitas produksi yang besar, keberlangsungan K-SIGN di Rote Ndao sangat tergantung pada penyelarasan sistem logistik nasional guna mengatasi tantangan geografis dan biaya transportasi yang tinggi. Pemerintah berusaha mengoptimalkan jalur Tol

Laut guna menurunkan biaya distribusi dari Rote ke pusat-pusat industri di wilayah barat Indonesia agar dapat bersaing dengan harga garam yang diimpor. Melalui kolaborasi antara teknologi produksi mutakhir dan efisiensi dalam rantai pasok, K-SIGN Rote Ndao diharapkan tidak hanya berfungsi sebagai penyangga cadangan garam nasional, tetapi juga sebagai penggerak ekonomi baru yang meningkatkan kesejahteraan masyarakat di wilayah pesisir NKRI (Pemerintah Kabupaten Rote Ndao 2022).

C. Kesesuaian Lahan untuk Tambak Garam

Penentuan lokasi untuk usaha tambak garam memerlukan analisis mendalam terhadap berbagai parameter biofisik guna menjamin optimalisasi kristalisasi natrium klorida (NaCl). Kesesuaian lahan ini sangat dipengaruhi oleh faktor klimatologi, terutama durasi penyinaran matahari dan curah hujan, karena proses produksi garam pada umumnya mengandalkan penguapan air laut secara alami (evaporasi). Menurut Handayani dan Setyono (2014), wilayah dengan periode musim kemarau yang panjang dan intensitas radiasi surya yang tinggi merupakan prasyarat utama untuk mencapai produktivitas maksimal. Selain itu, kecepatan angin juga berperan krusial dalam mempercepat proses penguapan di permukaan meja kristalisasi.

Faktor efisiensi operasional tambak juga ditentukan oleh kondisi geomorfologi dan tipe tanah. Lahan yang sempurna seharusnya memiliki kontur yang hampir datar dengan kemiringan lereng di bawah 2% agar pengelolaan tata air dapat dilakukan secara gravitasi. Dari perspektif pedologi, tanah dengan tekstur liat (clay) atau liat berpasir sangat diutamakan karena memiliki koefisien permeabilitas yang rendah. Karakteristik tanah yang tahan air ini berperan untuk menghindari perembesan (leaching) air tua ke dalam tanah, sehingga tingkat salinitas tetap terjaga selama proses pemekatan (Rasyid, 2016).

Aksesibilitas serta mutu air baku (air laut) mendukung kriteria kesesuaian lahan dari aspek teknis dan lingkungan. Tempatkan tambak sejauh mungkin dari muara sungai agar terhindar dari sungai agar terhindar dari perubahan salinitas yang disebabkan oleh masuknya air tawar, terutama pada musim hujan. Salinitas air laut yang optimal untuk produksi berada di kisaran 25–35 ppt. Adanya infrastruktur penunjang seperti jalan transportasi dan saluran irigasi utama juga sangat mempengaruhi nilai ekonomi lahan itu (Nurdin et al., 2015).

TABEL I. KESESUAIAN LAHAN UNTUK TAMBak GARAM

Parameter	Sangat Sesuai (S1)	Sesuai (S2)	Tidak Sesuai (N)
Curah Hujan	< 1.000 mm/tahun	1.000 – 1.500 mm/tahun	> 2.500 mm/tahun
Bulan Kering	> 5 Bulan	4 – 5 Bulan	< 3 Bulan
Tekstur Tanah	Liat (Heavy Clay)	Liat Berpasir	Pasir / Gambut
Kemiringan Lereng	0 – 2%	2 – 5%	> 8%
Salinitas Air Laut	30 – 35 ppt	20 – 29 ppt	< 15 ppt
Jarak dari Pantai	0 – 500 m	500 – 1.000 m	> 2.000 m

Sumber: Arisandi, A. dan Marsoedi, M., (2013), Suparno, S., Herumurti, W. dan Zamani, N.P., 2018 dan Pengolahan (2026)

D. Penginderaan Jauh LiDAR untuk Pemetaan Topografi Skala Besar

Penginderaan jauh dengan teknologi Light Detection and Ranging (LiDAR) telah mengubah cara pemetaan topografi berskala besar, terutama pada skala 1:1000. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data elevasi permukaan bumi dengan resolusi tinggi, kepadatan titik yang sangat padat, dan akurasi yang memenuhi standar pemetaan detail. Narasi ini

menjelaskan cara kerja, penggunaan, kelebihan, tahap pengolahan, hambatan, dan potensi LiDAR dalam pemetaan topografi berskala besar secara deskriptif.

LiDAR beroperasi dengan mengirimkan pulsa laser dari platform udara (pesawat berawak, helikopter, atau UAV/drone) yang kemudian memantul kembali dari permukaan tanah. Waktu perjalanan sinyal diukur untuk menentukan jarak, sedangkan sistem posisi GNSS/IMU memberikan koordinat tiga dimensi (x, y, z) untuk setiap titik. Outputnya adalah titik awan yang berisi jutaan hingga miliaran titik dengan atribut intensitas refleksi. Untuk pemetaan topografi dengan skala 1:1000, umumnya diperlukan kepadatan titik yang berkisar antara puluhan hingga ratusan titik per meter persegi guna menggambarkan detail relief, kontur, dan fitur permukaan secara akurat.

Berdasarkan Triglav Čekada, Crosilla, dan Kosmatin Fras (2010), kepadatan titik LiDAR teoritis minimum untuk pemetaan dalam skala besar (1:1000 hingga 1:10.000) dihitung menggunakan prinsip Nyquist serta akurasi peta grafis. Untuk skala 1:1000 dengan ketelitian geometris sekitar 0,2 m, dibutuhkan kepadatan minimal teoritis sekitar 100 titik/m². Namun, dalam praktiknya, kepadatan 10–50 titik/m² sering kali sudah cukup tergantung pada kondisi vegetasi dan medan. Kepadatan ini menjamin interpolasi Model Medan Digital (DTM) yang halus dan tepat.

Di kawasan berbukit dan hutan tropis seperti Indonesia dan Vietnam, pemakaian UAV LiDAR semakin meningkat. Penelitian oleh Trong et al. (2024) mengenai proyek PLTB Win 3 di Quang Tri, Vietnam, berhasil menciptakan peta topografi dengan skala 1:1000 dan interval kontur 1,0 m menggunakan UAV LiDAR DJI Matrice 300 RTK. Mereka mendapatkan kepadatan titik hingga 229 poin/m² dan resolusi gambar 4,22 cm/pixel. Akurasi elevasi yang diperoleh sangat baik, dengan kesalahan hanya 0,026–0,033 m, melampaui standar proyek dan menunjukkan kemampuan penetrasi kanopi vegetasi yang lebih unggul dibandingkan fotogrametri konvensional.

Metode survei topografi konvensional dengan total station atau GNSS RTK membutuhkan waktu yang lama, pengeluaran besar, dan berisiko pada area yang sulit dijangkau. LiDAR udara atau UAV dapat menjangkau area yang luas dalam waktu singkat dengan tingkat kepadatan data yang luar biasa. LiDAR unggul dalam menembus vegetasi melalui multiple returns (first return dari kanopi, last return dari permukaan tanah), sehingga memungkinkan pembuatan DTM bare-earth yang presisi di hutan yang lebat. Hal ini sangat krusial untuk pemetaan di area tropis.

Selain itu, data LiDAR menghasilkan produk turunan seperti Digital Surface Model (DSM), kontur ketat (interval 0,5–1 m), kemiringan, aspek, dan analisis volume tanah dengan efisien. Akurasi horizontal biasanya berkisar antara <15–30 cm dan vertikal <10–15 cm pada medan terbuka, sesuai dengan spesifikasi standar untuk pemetaan detail skala 1:1000.

Proses dimulai dengan perencanaan misi penerbangan, yang mencakup penentuan ketinggian terbang (50–300 m untuk UAV), tumpang tindih jalur, dan frekuensi pengulangan pulsa (PRF) untuk mengoptimalkan densitas titik. Sistem GNSS/IMU tingkat survei mengurangi kebutuhan akan ground control points (GCP). Usai akuisisi, point cloud diolah melalui kalibrasi, penyesuaian strip, penghapusan noise, dan klasifikasi (tanah, vegetasi, bangunan) menggunakan perangkat lunak seperti LAStools atau TerraSolid. Klasifikasi titik tanah sangat krusial untuk menghasilkan DTM yang tepat.

Interpolasi selanjutnya dilaksanakan (seperti TIN atau kriging) untuk menghasilkan grid DEM dengan resolusi 0,5–1 m. Data digabungkan dengan ortofoto berkualitas tinggi untuk menciptakan peta vektor yang utuh. Validasi dilakukan dengan checkpoint yang terpisah menggunakan GNSS RTK. Dalam penelitian Trong et al. (2024), kesalahan elevasi yang minimal menunjukkan kehandalan metode ini untuk area pegunungan yang berhutan.

LiDAR telah digunakan secara luas untuk pemetaan topografi berskala besar, mencakup perencanaan infrastruktur, pengurangan risiko bencana, dan pengelolaan hutan. Di daerah

tropis, LiDAR mengatasi kelemahan fotogrametri yang sering tidak mampu menembus kanopi. Keuntungan lainnya meliputi pengawasan perubahan lahan secara multi-temporal dan analisis hidrologi yang tepat. Proyek-proyek di Vietnam dan Indonesia menunjukkan bahwa UAV LiDAR dapat mencapai standar akurasi untuk skala 1:1000 di medan yang menantang.

Walaupun kuat, LiDAR menghadapi tantangan. Biaya akuisisi dan pemrosesan tetap cukup mahal untuk daerah yang sangat luas, meskipun UAV telah menurunkan batasan tersebut. Di dalam vegetasi yang sangat lebat, penetrasi mungkin tidak maksimal, sehingga memerlukan penyaringan canggih atau kombinasi dengan survei lapangan. Faktor lain seperti ketidakselarasan sistem, kemiringan ekstrem, dan volume data yang besar juga menjadi masalah. Di Indonesia, tantangan masih ada dalam regulasi penerbangan UAV dan akses terhadap peralatan, meskipun teknologi lokal terus maju.

Masa depan LiDAR meliputi penggabungan dengan kecerdasan buatan untuk otomatisasi klasifikasi point cloud, sensor multi-spektral, serta platform yang lebih terjangkau. Penggabungan UAV LiDAR dan fotogrametri miring menghasilkan model 3D yang informatif. Dengan perkembangan ini, pengeluaran akan terus menurun dan aksesibilitas bertambah, memungkinkan pemetaan nasional dalam skala besar di negara-negara tropis.

Secara keseluruhan, teknologi penginderaan jauh LiDAR memulai era baru dalam pemetaan topografi skala 1:1000. Teknologi ini tidak hanya lebih cepat, tepat, dan efisien dibandingkan metode konvensional, tetapi juga menawarkan data multidimensi untuk analisis rekayasa, lingkungan, dan perencanaan wilayah yang beragam. Penelitian empiris seperti yang dilakukan oleh Triglav Čekada et al. (2010) dan Trong et al. (2024) memperkuat bukti kredibilitasnya untuk mendukung pembangunan berkelanjutan yang didasarkan pada data spasial dengan presisi tinggi.

III. METODOLOGI

Pembukaan lahan tambak garam dalam program Kawasan Sentra Industri Garam Nasional (K-SIGN) memerlukan survei dan pemetaan lahan dengan skala 1:1.000. Beberapa aspek yang perlu diteliti antara lain aspek iklim seperti curah hujan dan bulan kering dan aspek lahan seperti jenis tanah, kemiringan lahan, tekstur tanah dan Sumber air laut.

Pemanfaatan teknologi *Light Detection and Ranging* (LiDAR) dalam pemetaan topografi di kawasan pesisir, seperti rencana pengembangan industri garam di Rote Ndao, merupakan pilihan paling efektif karena kemampuannya menembus vegetasi dan menghasilkan model elevasi dengan akurasi vertikal tinggi.

Lokasi K-SIGN Rote Ndao sebagai program ekstensifikasi lahan tambak garam dibagi menjadi menjadi 7 (tujuh) Blok. Hal ini untuk memudahkan dalam pengeorganisasian dan pentahapan pengambilan data, mengingat lahan yang ada tidak berbentuk kotak, namun dengan bentuk yang tidak beraturan sesuai dengan kondisi wilayah.

A. Persiapan

Tahap persiapan merupakan langkah awal yang sangat penting dalam akuisisi foto udara dan LiDAR. Pada tahap ini, dilakukan penyusunan rencana teknis dan rencana pengolahan data. Beberapa hal yang perlu disiapkan adalah penyiapan alat survei.

1. Penyiapan peralatan yang digunakan pada kegiatan ini meliputi:

- Pengukuran BM, GCP, dan ICP
- Menggunakan 5 unit GPS Geodetik Trimble R8S, lengkap dengan statif dan tribrach sebagai perlengkapan pendukung.
- Akuisisi Foto Udara
- Menggunakan wahana Quantum Systems Trinity F90+ yang dilengkapi dengan payload Sony RX1RII, beserta 5 unit baterai cadangan untuk mendukung durasi

penerbangan. Selain itu, digunakan base station Emlid Reach RS3 untuk mendukung sistem navigasi diferensial.

2. Peta rencana distribusi titik kontrol, peta rencana jalur terbang

Pada sub tahap ini, tim menyiapkan rencana lokasi BM (Bench Mark), GCP (Ground Control Point), dan ICP (Independent Check Point). Titik-titik ini direncanakan sedemikian rupa untuk memastikan akurasi spasial hasil akuisisi. Selain itu, disusun pula rencana jalur terbang UAV yang terbagi ke dalam beberapa blok akuisisi, menyesuaikan dengan luas dan kondisi area kerja. Rencana distribusi titik kontrol, jalur terbang, dan blok pengolahan data disusun dalam format digital (shapefile/.shp) sehingga dapat digunakan sebagai referensi teknis saat akuisisi berlangsung. Dokumen ini kemudian dijadikan pedoman dalam proses lapangan untuk menjamin kesesuaian antara rencana dan realisasi.

B. Pengukuran Base Station, Independent Check Point (ICP) dan Ground Control Point (GCP)

Pengukuran titik kontrol merupakan bagian krusial dalam menjamin akurasi hasil akuisisi foto udara dan LiDAR. Kegiatan ini meliputi pengukuran Base Station (BM), Ground Control Point (GCP), dan Independent Check Point (ICP) menggunakan metode GNSS. Proses pengukuran dilakukan dengan standar teknis yang berlaku, di mana setiap titik diobservasi sesuai prosedur, termasuk pencatatan kondisi lapangan, tinggi antenna, serta pengambilan dokumentasi foto. Pencatatan dilakukan secara rutin setiap hari untuk menjamin keterlacakan data serta konsistensi kualitas hasil pengukuran. Dengan selesainya pengukuran hingga Blok 7, fondasi data kontrol spasial proyek telah terbentuk dengan baik sebagai acuan pengolahan data berikutnya

C. Akuisisi data Foto Udara dan LiDAR

Proses akuisisi dilakukan dengan memanfaatkan kombinasi beberapa platform UAV serta sensor berbeda, menyesuaikan dengan kondisi lapangan dan tujuan pemetaan.

Untuk foto udara, digunakan wahana Trinity F90+ dengan payload Sony RX1RII. Akuisisi dilakukan pada ketinggian terbang 390 meter dengan pengaturan overlap 80% dan sidelap 70%, sehingga menghasilkan kualitas liputan yang sesuai dengan target Ground Sampling Distance (GSD) ± 5 cm/pixel. Data foto udara ini selanjutnya digunakan dalam proses ortofoto dan pemodelan 3D. Sedangkan untuk akuisisi LiDAR, terdapat dua konfigurasi utama:

1. Trinity Pro dengan payload Qube240 – digunakan untuk area terbuka. Penerbangan dilakukan dengan ketinggian 100 meter, pengaturan sidelap 50%, serta mode follow terrain. Hal ini untuk memastikan kualitas data sesuai kemampuan fixed-wing yang memiliki kecepatan terbang tetap.
2. DJI Matrice 400 dengan payload Zenmuse L2 – digunakan khusus untuk area dengan vegetasi lebat. Pemetaan dilakukan dengan separasi jalur 50 meter, sehingga dapat menghasilkan penetrasi LiDAR yang optimal di area berkanopi rapat.



Gambar 2. Wahana akuisisi foto udara dan LiDAR

D. Pengolahan Data Survei

Tahap pengolahan data survei mencakup dua jenis pengolahan utama, yaitu pengolahan data foto udara (mapping) dan pengolahan data LiDAR. Kedua pengolahan ini dilakukan secara terintegrasi untuk menghasilkan produk akhir berupa Orthophoto dan Digital Terrain Model (DTM), yang kemudian dimanfaatkan untuk proses digitasi dalam penentuan unsur-unsur penggunaan lahan (land use) seperti jaringan sungai, jalan, bangunan, dan objek-objek penting lainnya.

E. Pengolahan Data Geospasial (DG) dan Informasi Geospasial (IG)

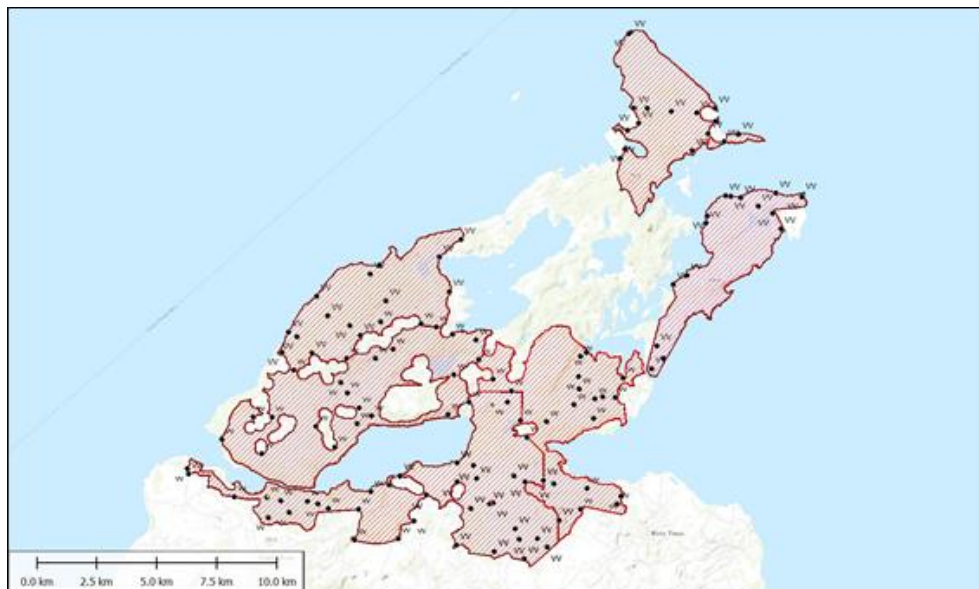
Tahap Pengolahan Data Geospasial (DG) dan Informasi Geospasial (IG) dilakukan setelah proses pengolahan foto udara dan LiDAR terselesaikan. Data hasil kedua proses tersebut menjadi input utama yang diintegrasikan untuk menghasilkan produk geospasial yang memiliki nilai informatif lebih lanjut.

Beberapa elemen penting dalam tahap ini yang harus diperhatikan meliputi:

1. Dokumen Pengolahan DG dan IG, berupa formulir pengolahan yang berisi catatan teknis proses.
2. Digital Surface Model (DSM) hasil dari pengolahan point cloud LiDAR dan foto udara.
3. Digital Terrain Model (DTM) yang dihasilkan dari klasifikasi objek tanah pada point cloud LiDAR.
4. Uji Akurasi, dilakukan untuk memastikan ketelitian spasial hasil olahan sesuai standar

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tahap persiapan, penyiapan lokasi BM (Bench Mark), GCP (Ground Control Point), dan ICP (Independent Check Point) menjadi point krusial, dengan adanya titik BM, GCP dan ICP maka pelaksanaan pemetaan dapat dijalankan sesuai dengan baik dengan tingkat ketelitian yang diharapkan. Titik-titik telah direncanakan sedemikian rupa untuk memastikan akurasi spasial hasil akuisisi data citra foto udara dan citra LiDAR. Pada lokasi kajian telah terpasang dan terukur 7 titik BM, 37 titik GCP, dan 84 titik ICP, sehingga pemasangan titik kontrol telah dapat digunakan untuk kegiatan selanjutnya. Hasil pengukuran titik-titik kontrol ini menjadi acuan untuk tahapan pengolahan data lebih lanjut. Hasil titik kontrol yang terdiri dari BM, GCP dan ICP sebagaimana terlihat pada Gambar 3.



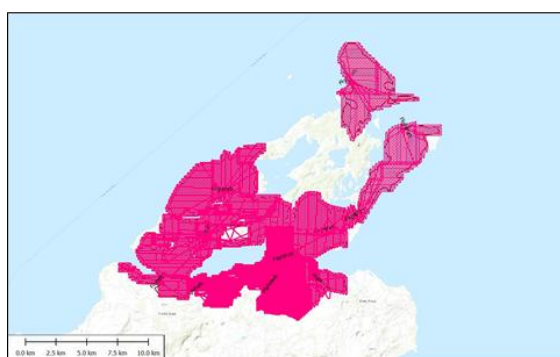
Gambar 3. Distribusi dan sebaran titik BM, GCP dan ICP pada pemetaan K-SIGN Rote Ndao

Namun demikian, pada tahap pelaksanaan akuisisi masih juga dilakukan penyesuaian mengingat kondisi dan penyesuaian dengan situasi lokasi. Pada pelaksanaan akuisisi di Blok 7, dilakukan penyesuaian area kerja berupa penambahan Area of Interest (AOI) di bagian selatan dengan luas kurang lebih 200 hektar. Penambahan ini dilakukan sebagai solusi atas kondisi lapangan di wilayah pesisir barat, yang mengalami ombak tinggi sehingga tidak memungkinkan untuk pemasangan titik kontrol tanah (GCP dan ICP) secara aman dan efektif.

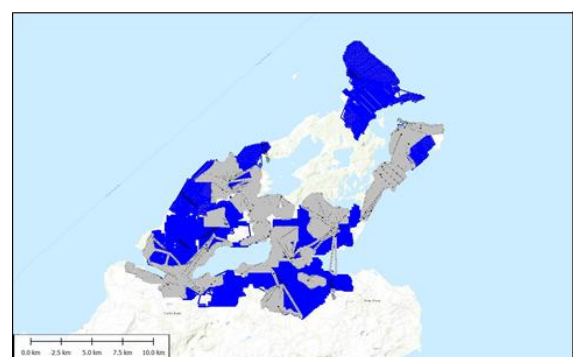
Dengan adanya perluasan area di bagian selatan, tim berhasil memasang titik kontrol tambahan yang berfungsi sebagai pengikat data, yaitu sebanyak 1 titik GCP dan 2 titik ICP pada sisi selatan Blok 7. Selain itu, dilakukan pula pemindahan satu titik ICP ke bagian timur Blok 7. Penyesuaian ini juga diiringi dengan penambahan area akuisisi di sisi timur, sehingga distribusi titik kontrol dapat lebih merata dan menjamin kualitas data pada keseluruhan blok. Langkah penyesuaian ini terbukti efektif untuk menjaga integritas jaringan titik kontrol pada Blok 7, sekaligus memastikan bahwa akuisisi data tetap memenuhi standar akurasi yang dipersyaratkan meskipun terdapat keterbatasan kondisi lapangan di area pesisir barat.

Setelah penentuan titik-titik kontrol, maka dapat dirancang jalur penerbangan baik untuk pemotretan foto udara maupun untuk citra LiDAR. Penentuan jalur ini berdasarkan tingkat kedetailan data yang diinginkan, dalam hal ini adalah peta skala 1:1.000. Jalur penerbangan dibuat dengan mempertimbangkan ketinggian terbang, tingkat overlapping foto udara, target akurasi data, berdasarkan hal tersebut dapat dilihat peta jalur terbang baik untuk lintasan foto udara Gambar 3.a maupun jalur penerbangan untuk akuisisi data LiDAR seperti terlihat pada Gambar 3.b.

Prosedur penentuan jalur meliputi: (1) penentuan GSD target, (2) simulasi coverage dan overlap menggunakan perangkat lunak mission planner, (3) penyesuaian adaptif berdasarkan data reconnaissance, dan (4) validasi pasca-pemrosesan. Pendekatan ini telah terbukti efektif dalam menghasilkan model 3D dan ortofoto dasar laut berkualitas tinggi dengan efisiensi operasional yang optimal.



(a)



(b)

Gambar 4. Peta rencana jalur terbang pemetaan foto udara (a) dan peta rencana jalur terbang LiDAR (b)

Proses pengukuran dilakukan dengan standar teknis yang berlaku, di mana setiap titik diobservasi sesuai prosedur, termasuk pencatatan kondisi lapangan, tinggi antenna, serta pengambilan dokumentasi foto. Pencatatan dilakukan secara rutin setiap hari untuk menjamin keterlacakan data serta konsistensi kualitas hasil pengukuran. Dengan selesainya

pengukuran hingga Blok 7, fondasi data kontrol spasial proyek telah terbentuk dengan baik sebagai acuan pengolahan data berikutnya.

A. Akuisisi data Foto Udara dan LiDAR

Akuisisi data foto udara dan LiDAR dilaksanakan secara bertahap yang meliputi Blok 1 hingga cakupan Blok 7. Proses akuisisi dilakukan dengan memanfaatkan kombinasi beberapa platform UAV serta sensor berbeda, menyesuaikan dengan kondisi lapangan dan tujuan pemetaan. Untuk foto udara, digunakan wahana Trinity F90+ dengan payload Sony RX1RII. Akuisisi dilakukan pada ketinggian terbang 390 meter dengan pengaturan overlap 80% dan sidelap 70%, sehingga menghasilkan kualitas liputan yang sesuai dengan target Ground Sampling Distance (GSD) ± 5 cm/pixel. Data foto udara ini selanjutnya digunakan dalam proses ortofoto dan pemodelan 3D.

Akuisisi data LiDAR dilakukan dengan 2 (dua) wahana disesuaikan dengan kondisi lapangan, wahana yang digunakan adalah Fixed Wing Trinity Pro dan Wahana Rotor yaitu jenis DJI Matrice 400. Trinity Pro dengan payload Qube240 – digunakan untuk area terbuka. Penerbangan dilakukan dengan ketinggian 100 meter, pengaturan sidelap 50%, serta mode follow terrain. Hal ini untuk memastikan kualitas data sesuai kemampuan fixed-wing yang memiliki kecepatan terbang tetap. Sedangkan DJI Matrice 400 dengan payload Zenmuse L2 – digunakan khusus untuk area dengan vegetasi lebat. Pemetaan dilakukan dengan separasi jalur 50 meter, sehingga dapat menghasilkan penetrasi LiDAR yang optimal di area berkanopi rapat.

Hasil akuisisi dengan menggunakan 2 (dua) wahana tersebut menghasilkan 2 (dua) output utama yaitu (1) Foto udara dalam jumlah besar yang siap diproses menjadi orthophoto, (2) Data LiDAR dalam format LAS, yang akan digunakan untuk pemodelan permukaan tanah (DTM) maupun vegetasi, dan *Pemotretan Udara Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan Skala 1:1000*

Pemotretan foto udara ini dimaksudkan untuk memetakan tutupan lahan pada skala detail yaitu 1:1.000 dimana hasil pemetaan akan digunakan untuk memperoleh gamabran umum kondisi tutupan lahan kawasan yang akan dikembangkan menjadi kawasan tambak garam. Proses akuisisi data dilakukan secara bertahap dengan mengacu pada standar operasional yang telah ditentukan. Proses pengumpulan data foto udara dengan menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dilakukan secara teliti dan terencana untuk menghasilkan data geospasial yang berkualitas tinggi. Area of Interest (AoI) sepenuhnya mematuhi batas peta resmi yang ditentukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan. Tim survei memastikan bahwa semua jalur penerbangan tetap dalam batas itu, sehingga informasi yang diperoleh dapat segera dimanfaatkan untuk perencanaan, pemantauan, dan pengelolaan wilayah pesisir serta perairan.

Sebelum pelaksanaan, direncanakan misi yang terperinci. Ketinggian penerbangan UAV diatur sesuai dengan spesifikasi sensor kamera agar resolusi spasial (Ground Sampling Distance/GSD) mencapai ≤ 8 cm/pixel. Pengaturan ini memberikan tingkat detail yang sangat tinggi, sehingga setiap objek di permukaan tanah dapat terlihat dengan jelas. Agar memenuhi ketelitian horizontal CE90 $\leq 0,375$ meter sesuai standar skala 1:1000, stasiun dasar GNSS beroperasi secara terus-menerus selama misi dengan interval pengamatan 1 detik atau lebih baik (0,5 detik). UAV dilengkapi dengan GNSS terintegrasi yang berkinerja tinggi untuk merekam posisi kamera secara akurat di setiap pemotretan.

Penerbangan dilaksanakan dengan pengaturan tumpang tindih antar foto yang ketat, yaitu setidaknya 80% tumpang tindih ke depan dan 70% tumpang tindih samping. Pengaturan ini memastikan terbentuknya mosaik yang kokoh dan tepat selama proses pengolahan fotogrametri. Pemotretan hanya dilakukan dalam keadaan cuaca yang ideal, yakni pencahayaan yang memadai dengan sinar matahari yang tidak terlalu rendah agar dapat menghindari bayangan yang panjang. Tim juga memastikan tidak ada efek sunspot dalam foto tersebut. Tutupan awan

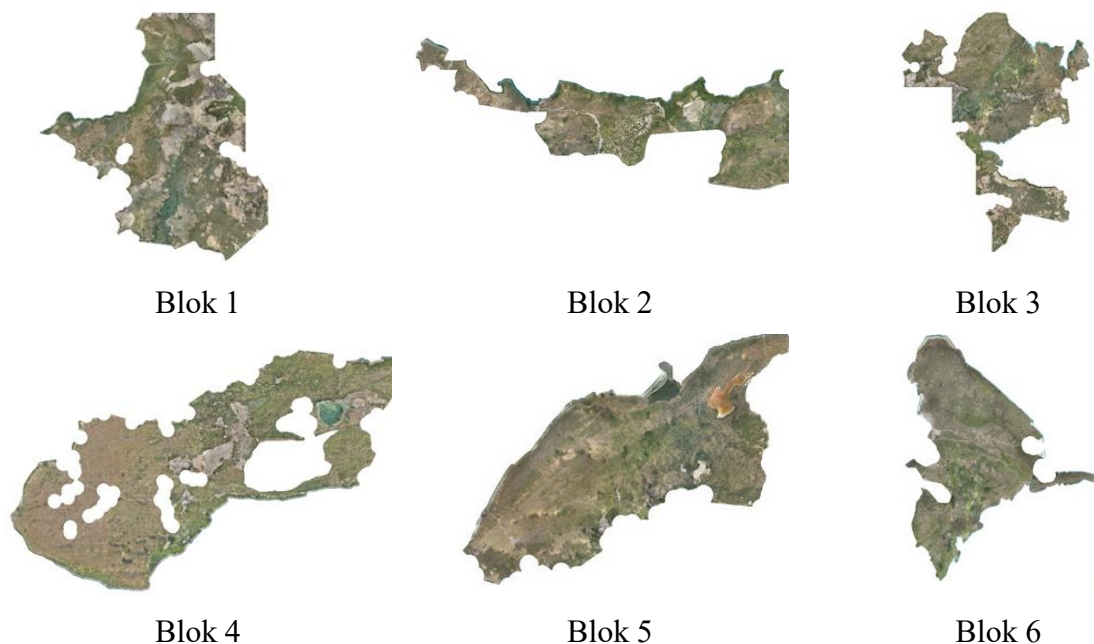
dibatasi hingga 10% per foto, dan awan tidak boleh menutupi objek penting seperti bangunan, infrastruktur, atau jalur transportasi.

Selama misi, pilot UAV dan operator stasiun kontrol darat mengawasi secara langsung parameter penerbangan, kualitas gambar, dan situasi lingkungan. Setiap foto yang diperoleh diperiksa langsung di lokasi untuk memastikan kualitas radiometrik yang cukup: tingkat brightness dan kontras yang baik, objek yang jelas, serta tidak terdapat noise atau distorsi yang berarti.

Jika terdapat ketidaksesuaian pada salah satu syarat—baik itu resolusi, tumpang tindih, penutupan awan, pencahayaan, maupun akurasi—maka pemotretan ulang (re-flight) segera dilaksanakan di area yang bermasalah. Pendekatan tanpa toleransi terhadap kualitas ini menjamin semua data sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

Setelah akuisisi selesai, gambar-gambar single raw diproses menjadi orthophoto berkualitas tinggi. Hasil akhir memperlihatkan mosaik yang tanpa cela, warna yang alami, serta ketajaman objek yang merata di seluruh bagian. Data ini siap dipakai untuk analisis tambahan, pembuatan peta dasar, atau pemantauan perubahan lingkungan secara rutin.

Dengan menjalankan semua ketentuan teknis tersebut secara konsisten, pengambilan data foto udara ini menghasilkan produk yang tepat, dapat diandalkan, dan siap digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis bukti di bidang kelautan dan perikanan. Proses standar ini tidak hanya memastikan kualitas ilmiah, namun juga efisiensi waktu dan biaya dalam pelaksanaan proyek. Hasil pengolahan foto udara pada Blok 1 hingga Blok 7 dapat dilihat pada Gambar 5. Pada pengolahan mapping, data hasil akuisisi foto udara diproses hingga menghasilkan orthophoto dengan format GeoTIFF (.tif) dan ECW. Orthophoto telah selesai dihasilkan untuk Blok 1 - Blok 7 per tanggal 18 September 2025. Pengolahan orthophoto ini dilakukan langsung di lapangan untuk mempercepat proses validasi kualitas dan konsistensi hasil akuisisi.





Blok 7

Gambar 5. Foto Udara hasil pengolahan foto ortho pada Blok 1 sampai 7

B. Akuisisi LiDAR Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) dengan Skala 1:1000

Kegiatan akuisisi data LiDAR menggunakan UAV telah dilaksanakan dari blok 1 - blok 7. Hasil pemeriksaan awal menunjukkan bahwa data LiDAR yang diperoleh memiliki kualitas baik, mampu menembus vegetasi, dan tidak terdapat gap pada jalur liputan.

Untuk akuisisi LiDAR dilakukan pemberian kode penerbangan untuk setiap misi akuisisi, misalnya D4Q1 yang berarti penerbangan dilakukan pada Day 4 (22 Agustus 2025) dengan misi Qube untuk trinity Pro dengan payload qube240 LiDAR, serta kode L untuk misi LiDAR Matrice 400 dengan payload Zenmuse L2, serta urutan ke-1 pada hari tersebut. Berikut daftar penerbangan yang telah dilakukan untuk blok 1 – blok 7.

Dalam pelaksanaannya, beberapa elemen kegiatan yang terdokumentasi meliputi beberapa hal antara lain: (1) Dokumen LiDAR UAV, berupa formulir akuisisi yang berisi rincian parameter penerbangan, (2) Dokumen pengamatan Base Station, yaitu formulir pengukuran GNSS yang digunakan sebagai kontrol geospasial, (3) Dokumentasi lapangan selama proses akuisisi. D. Data mentah LiDAR hasil akuisisi UAV, (4) Data pengamatan GNSS base station yang direkam secara kontinu dan (5) Data hasil pra-pengolahan LiDAR, termasuk pengecekan densitas titik, sebaran data, dan evaluasi awal kualitas.

Pengumpulan data LiDAR bawah air dengan menggunakan Autonomous Underwater Vehicle (AUV) dilakukan secara terstruktur dan terstandarisasi untuk menghasilkan point cloud dengan resolusi tinggi di area pesisir dan laut. Aktivitas ini sepenuhnya mematuhi batas Area of Interest (AoI) yang ditentukan oleh Kementerian Kelautan dan Perikanan, sehingga informasi yang diperoleh valid dan sesuai dengan wilayah otoritas.

Perencanaan misi dikerjakan dengan teliti. Rute AUV pada wilayah dasar yang cukup datar disusun sejajar Timur-Barat atau Utara-Selatan untuk efisiensi cakupan, sedangkan di daerah dasar yang berbukit atau bergelombang diterapkan jalur diagonal untuk mengurangi bayangan data dan meningkatkan penetrasi. Ketinggian operasi (ketinggian di atas dasar laut) diatur secara dinamis berdasarkan parameter sensor LiDAR agar dapat memastikan kepadatan titik minimum ≥ 25 poin per meter persegi (ppm). Penyesuaian ini dilakukan secara langsung oleh sistem kontrol AUV agar kepadatan titik tetap ideal sepanjang misi.

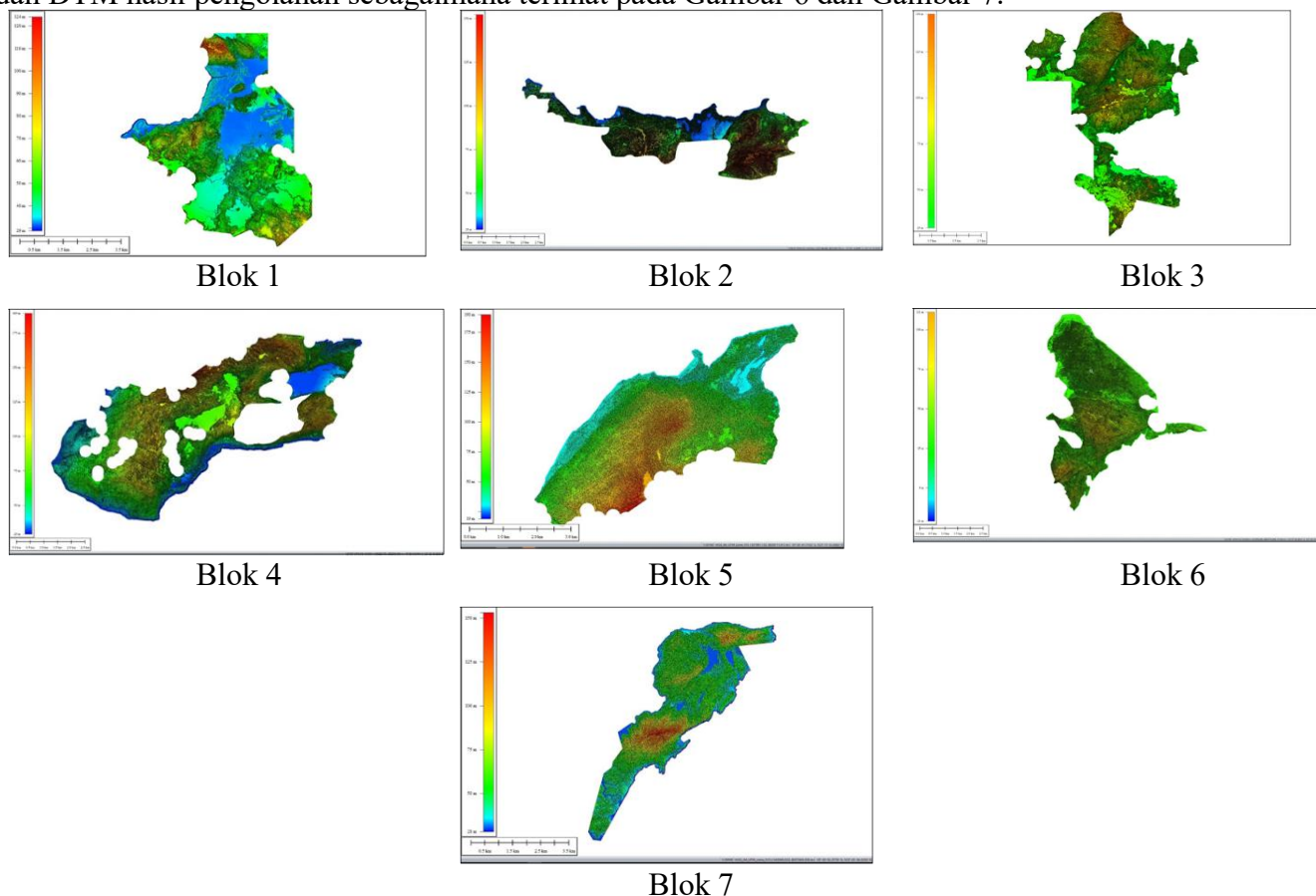
Seluruh AoI dijamin tercover sepenuhnya tanpa adanya celah data. Sensor LiDAR bawah air berfungsi dengan pengaturan kecepatan pulsa, sudut pemindaian, dan kecepatan pergerakan wahana yang tepat untuk menghasilkan distribusi titik yang seragam, serta kemampuan untuk membedakan antara dasar laut, struktur bawah air, dan objek buatan.

Stasiun dasar GNSS beroperasi terus-menerus di permukaan selama proses akuisisi dengan interval pengamatan 1 detik atau lebih baik (0,5 detik) untuk mendukung pemetaan akurat melalui sistem USBL atau penentuan posisi akustik. Wahana AUV dilengkapi dengan sistem GNSS/INS terpadu yang secara akurat merekam data posisi, orientasi, dan waktu sensor LiDAR untuk kebutuhan post-processing.

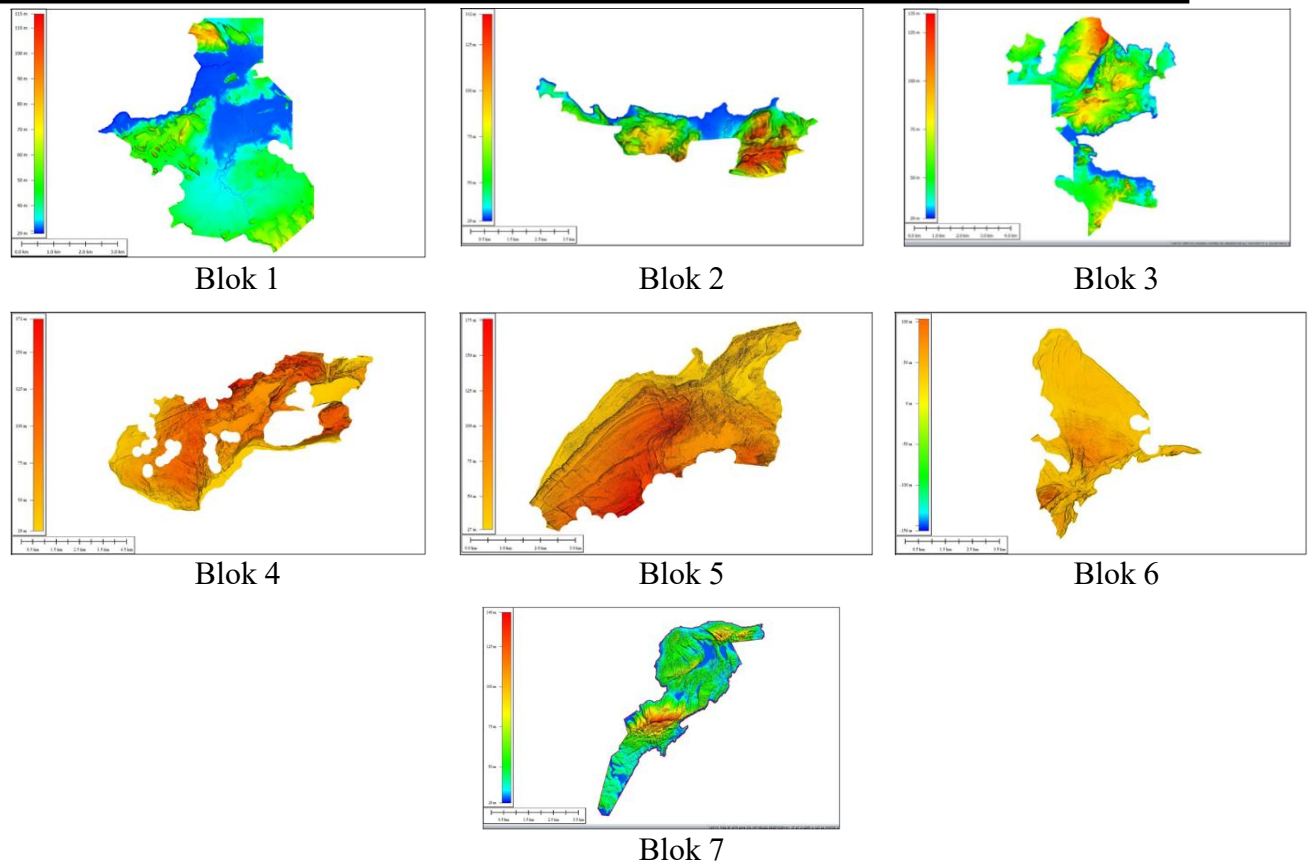
Selama operasi, tim pemantau mengawasi parameter lingkungan, kecepatan arus, visibilitas bawah air, dan kualitas data secara langsung. Setelah akuisisi selesai, data mentah LiDAR menjalani proses kontrol kualitas yang ketat mencakup pemeriksaan kepadatan titik, kelengkapan cakupan, dan akurasi lokasi.

Jika terdapat ketidaksesuaian dengan syarat teknis—seperti kepadatan titik di bawah yang ditentukan, adanya celah data, atau akurasi melebihi toleransi—maka pengambilan ulang harus dilakukan pada area itu sampai semua syarat dipenuhi. Output akhir adalah point cloud berkualitas tinggi yang dapat digunakan untuk menghasilkan Digital Terrain Model (DTM) yang rinci. Metode ini menghasilkan data LiDAR bawah air yang tepat, komprehensif, dan terpercaya untuk mendukung pemetaan untuk keperluan ekstensifikasi lahan tambak garam.

Pengolahan LiDAR, data point cloud hasil akuisisi diproses hingga menghasilkan data DSM (*Digital Surface Model*) dan DTM (*Digital Terrain Model*). Selanjutnya, dari kombinasi orthophoto dan DTM, dilakukan kegiatan dijitasi guna memperoleh informasi spasial terkait penggunaan lahan. DTM dan hasil dijitasi telah diperoleh untuk Blok 1 - Blok 7. Gambar DSM dan DTM hasil pengolahan sebagaimana terlihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Citra Digital Surface Model Blok 1 sampai Blok 7



Gambar 6. Citra Digital Surface Model Blok 1 sampai Blok 7

Hasil kajian berupa peta ortofoto dan citra DEM yang diperoleh melalui kombinasi foto udara (ortofoto) dan LiDAR (point cloud, DSM, DTM) memiliki potensi aplikasi yang luas dalam aplikasi pembangunan. Data ini merupakan data dasar yang sangat berguna dalam penentuan Detail Engineering Detail tambak garam yang akan dikembangkan pada Lokasi K-SIGN di Kabupaten Rote Ndao Provinsi Nusa Tenggara Timur.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemanfaatan Teknologi LiDAR untuk Pemetaan Presisi: Teknologi Light Detection and Ranging (LiDAR) sangat efektif digunakan untuk pemetaan topografi skala besar (1:1000) karena kemampuannya menembus vegetasi lebat dan menghasilkan model elevasi (Digital Terrain Model/DTM) dengan akurasi vertikal yang tinggi.
2. Data hasil pemetaan menggunakan foto udara dan LiDAR dengan skala detail akan menjadi masukan yang terinci dalam pemetaan kesesuaian lahan untuk tambak garam dalam aspek kemiringan lereng, di mana lahan yang ideal harus memiliki kemiringan antara 0–2% untuk memungkinkan pengelolaan tata air secara gravitasi.

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung terselenggaranya kajian ini, diharapkan akana menjadi kontribusi positif dalam mensukseskan program swasembada garam nasional, antara lain:

1. Dr. Ir. Bambang Kun Cahyono, ST, M.Sc, IPU
2. Direktur Jenderal Pengelolaan Kelautan
3. PT. Nindya Karya

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Amri, S.N., Gaol, J.L. & Panjaitan, J.P. (2016). Analisis Kesesuaian Lahan Tambak Garam dengan Memanfaatkan Pengindraan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Jenepono. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 7(1), pp. 81-92.
- [2.] Arisandi, A. dan Marsoedi, M., 2013. Analisis Kelayakan Lahan Tambak Garam. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 6(1), pp.68-77.
- [3.] Chemical Safety Facts (n.d.) Sodium chloride. Available at: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/chemicals/sodium-chloride/> (Accessed: 11 May 2026).
- [4.] Efendy, M., Makhfud, M., & Hafiluddin, H. (2012). Strategi Pengembangan Usaha Garam Rakyat di Kabupaten Sumenep. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 5(2), pp. 132-140.
- [5.] Elias, M. (2019) 'The role of salt on food and human health', in *Salt in the Earth*. IntechOpen. Available at: <https://www.intechopen.com/chapters/67709> (Accessed: 11 May 2026).
- [6.] Haryanto, A.D. et al. (2017). Potensi Pengembangan Tambak Garam Nasional Melalui Ekstensifikasi Lahan di Wilayah Pesisir Timur Indonesia. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 7(2), pp. 121-134.
- [7.] Henney, J.E. et al. (2010) 'Preservation and physical property roles of sodium in foods', NCBI. Available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK50952/> (Accessed: 11 May 2026).
- [8.] Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) (2021) *Profil Kawasan Sentra Industri Garam Nasional NTT*, Jakarta: Direktorat Jenderal Pengelolaan Ruang Laut.
- [9.] Nugroho, A. (2022) 'Analisis Potensi Ekonomi Garam di Wilayah Terluar: Studi Kasus Rote Ndao', *Jurnal Ekonomi Maritim Indonesia*, 4(2), hlm. 45-60.
- [10.] Pemerintah Kabupaten Rote Ndao (2022) *Rencana Induk Pengembangan Ekonomi Pesisir dan Pergaraman*, Ba'a: Dinas Perikanan Rote Ndao.
- [11.] Putra, G.W.P., Setyono, P., & Supriyadi, S. (2015). Analisis Strategi Pencapaian Swasembada Garam Nasional. *Jurnal Ekosains*, 7(2), pp. 112-125.
- [12.] Rusiyanto, R., Toekidjo, T., & Sugiyarto, S. (2013). Penguatan Kelembagaan Petani Garam dalam Mendukung Swasembada Garam Nasional. *Jurnal Kebijakan Sosial Ekonomi Kelautan dan Perikanan*, 3(1), pp. 45-56.
- [13.] Sudarsono, S., Marasabessy, M.D., & Arisandi, A. (2014). Kajian Karakteristik Fisika Kimia Garam Rakyat di Sentra Produksi Garam Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Kelautan dan Perikanan*, 9(1), pp. 23-31.

- [14.] Suparno, S., Herumurti, W. dan Zamani, N.P., 2018. Strategi Pengembangan Kawasan Industri Garam Rakyat Berbasis Kesesuaian Lahan dan Teknologi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(2), pp.405-415.
- [15.] Triglav Čekada, M., Crosilla, F. and Kosmatin Fras, M. (2010) ‘Theoretical lidar point density for topographic mapping in the largest scales’, *Geodetski vestnik*, 54(3), pp. 403–416.
- [16.] Trong, T.D., Nguyen, D.H. and Tran, T.H. (2024) ‘Study of the application of UAV and LiDAR to topographic survey of mountainous forest areas – Case study of Win 3 Wind Power Plant Project, Huong Hoa District, Quang Tri Province, Vietnam’, *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 118, pp. 92–100.
- [17.] Widjaya Sjarief, et al. (2021) *Telaah Akademik Potret Garam Nasional*, AMaFRad Press Jakarta