

PENYELIDIKAN TOPOGRAFI UNTUK PROYEK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DAN ARCHIPELAGO HYBRID SOLUTION (AHS)-PHOTOVOLTAIC DI HALMAHERA

R.R. Simanungkalit^{1*}, Bochori²

¹Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Sriwijaya, Palembang

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: royrvds@unsri.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini menyajikan hasil survei topografi untuk mendukung perencanaan proyek Archipelago Hybrid Solution (AHS) PV + Battery Power Plant di Halmahera, yang mengintegrasikan PLTS, sistem baterai berkapasitas tinggi, dan PLTD eksisting. Survei topografi dilakukan sebagai tahap awal yang penting untuk memperoleh data spasial akurat terkait elevasi, kemiringan lahan, dan tata guna lahan sebagai dasar desain teknis dan analisis kelayakan. Metode yang digunakan meliputi pengukuran terestrial, GPS geodetik, dan aerial photogrammetry dengan drone, dengan dukungan tim ahli geodesi dan geoteknik. Data mencakup kontur, vegetasi, infrastruktur permukaan, serta utilitas bawah tanah. Hasil pengolahan menunjukkan akurasi tinggi dan keterhubungan dengan sistem geodesi nasional. Analisis cut and fill menghasilkan rekomendasi kemiringan optimal area PV sebesar $2,53^\circ$ ke arah selatan, yang menjadi acuan dalam perencanaan desain PLTS dan infrastruktur pendukung.

Kata Kunci: survei topografi, PLTS hibrida, photogrammetry, GPS geodetik, Halmahera.

ABSTRACT: This research presents the results of a topographic survey to support the planning of the Archipelago Hybrid Solution (AHS) PV + Battery Power Plant project in Halmahera, which integrates a solar power plant, a high-capacity battery system, and an existing diesel power plant. The topographic survey was conducted as an important initial step to obtain accurate spatial data related to elevation, land slope, and land use as a basis for technical design and feasibility analysis. The methods used included terrestrial measurements, geodetic GPS, and aerial photogrammetry with drones, with the support of a team of geodesy and geotechnical experts. The data includes contours, vegetation, surface infrastructure, and underground utilities. The processing results show high accuracy and connectivity with the national geodetic system. The cut and fill analysis resulted in a recommendation for an optimal slope of the PV area of 2.53° to the south, which became a reference in the design planning of the solar power plant and supporting infrastructure. Keywords: topographic survey, hybrid solar power plant, photogrammetry, geodetic GPS, Halmahera

1. Pendahuluan

Proyek Archipelago Hybrid Solution (AHS) PV + Battery Power Plant di Halmahera merupakan bagian dari upaya pengembangan energi terbarukan di kawasan Indonesia Timur yang diprakarsai oleh PT Hybrid Nusantara Pertama (HNP). Proyek ini bertujuan untuk mengintegrasikan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem baterai berkapasitas tinggi yang dikombinasikan dengan pembangkit diesel eksisting (PLTD).

Survei topografi menjadi langkah awal yang krusial dalam tahap perencanaan proyek karena menyediakan data spasial yang akurat mengenai kondisi

permukaan bumi, elevasi, kemiringan lahan, dan tata guna lahan eksisting. Data tersebut digunakan sebagai dasar perencanaan desain teknis, analisis kelayakan, serta perhitungan volume pekerjaan tanah (*cut and fill*).

Kegiatan ini dilakukan oleh konsultan survei dengan dukungan teknis dari tim ahli geodesi dan geoteknik. Cakupan utama meliputi pemasangan titik kontrol geodetik permanen, pengukuran terestrial, akuisisi citra udara dengan *drone*, serta pemetaan utilitas permukaan dan bawah tanah.

1.1. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghasilkan peta topografi berskala 1:1.000 sebagai acuan perencanaan infrastruktur PLTS dan baterai.
2. Menentukan posisi dan elevasi titik kontrol (BM dan CP) yang terhubung ke sistem koordinat geodesi nasional.
3. Menganalisis karakteristik topografi, vegetasi, dan kondisi lahan untuk mendukung desain area PLTS.
4. Menghitung volume *cut and fill* berdasarkan data topografi aktual.

2. DASAR TEORI

2.1. Survei Topografi

Survei topografi merupakan kegiatan pengukuran dan pemetaan yang bertujuan untuk memperoleh data posisi, bentuk, dan elevasi permukaan bumi. Data hasil survei digunakan untuk menggambarkan kondisi morfologi suatu area dalam bentuk peta topografi yang menampilkan garis kontur, fitur alami, dan buatan manusia. Menurut *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)*, survei topografi diklasifikasikan berdasarkan ketelitian horizontal dan vertikalnya, yang diukur menggunakan parameter *Root Mean Square Error (RMSE)*.

Dalam konteks perencanaan pembangunan infrastruktur, survei topografi menjadi komponen dasar untuk menentukan elevasi rancangan, tata letak bangunan, dan volume pekerjaan tanah (*earthwork*). Ketelitian survei ditentukan oleh metode dan alat yang digunakan, di mana integrasi antara pengukuran terestrial dan *remote sensing* menghasilkan tingkat akurasi yang lebih tinggi.

2.2. Sistem Koordinat Geodesi

Sistem koordinat geodesi merupakan acuan utama dalam pemetaan dan pengukuran posisi di permukaan bumi. Di Indonesia, sistem yang digunakan adalah Sistem Referensi Geospasial Indonesia 2013 (SRGI 2013) yang berbasis pada *International Terrestrial Reference Frame (ITRF2008)* dengan datum geodetik WGS84. Sistem ini menggunakan proyeksi *Universal Transverse Mercator (UTM)* dengan pembagian zona per 6° bujur.

Transformasi koordinat dilakukan untuk memastikan data dari berbagai sumber (GNSS, UAV, dan pengukuran terestrial) berada pada satu sistem referensi yang seragam. Kesalahan transformasi yang tidak dikontrol dapat menyebabkan pergeseran posisi spasial,

sehingga tahapan *adjustment* dan *network calibration* menjadi penting dalam proses integrasi data geodesi.

2.3. Penginderaan Jauh dan Fotogrametri

Photogrammetry merupakan teknik pengambilan dan analisis data spasial dari citra udara atau satelit untuk menghasilkan informasi bentuk dan posisi objek di permukaan bumi. Dengan kemajuan teknologi UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), proses akuisisi data fotogrametri menjadi lebih efisien dan cepat. Prinsip dasarnya adalah pengukuran paralaks antara dua citra yang diambil dari posisi berbeda untuk menghasilkan model tiga dimensi permukaan tanah.

Proses fotogrametri melibatkan tahapan:

1. Pengambilan citra udara dengan *overlap* memadai (umumnya 80% longitudinal dan 70% lateral).
2. Kalibrasi kamera dan *Ground Control Points (GCP)* untuk koreksi posisi.
3. Image alignment dan dense point cloud generation menggunakan perangkat lunak seperti Pix4Dmapper atau Agisoft Metashape.
4. Pembuatan Digital Surface Model (DSM) dan Digital Elevation Model (DEM).
5. Penyusunan *orthomosaic* dengan koreksi geometrik dan radiometrik.

Hasil akhir fotogrametri memiliki akurasi tinggi apabila proses GCP dilakukan dengan benar, terutama dalam penentuan koordinat vertikal dan horizontal.

2.4. Analisis Cut and Fill

Analisis *cut and fill* merupakan proses perhitungan volume tanah yang harus digali (*cut*) dan ditimbun (*fill*) dalam suatu proyek konstruksi untuk mencapai elevasi rancangan. Analisis ini menggunakan data kontur dari peta topografi atau *DEM* yang telah diolah.

Metode perhitungannya dapat dilakukan secara numerik melalui perangkat lunak seperti *AutoCAD Civil 3D* atau *Global Mapper*.

Persamaan umum perhitungan volume *cut and fill* adalah:

$$V = \frac{A_1 + A_2}{2} \times h$$

di mana:

V = volume tanah (m^3),

A_1 dan A_2 = luas penampang awal dan akhir (m^2),

h = jarak antar penampang (m).

Perhitungan yang akurat sangat penting untuk efisiensi biaya konstruksi dan stabilitas struktur. Kemiringan tanah optimal juga dianalisis agar sesuai

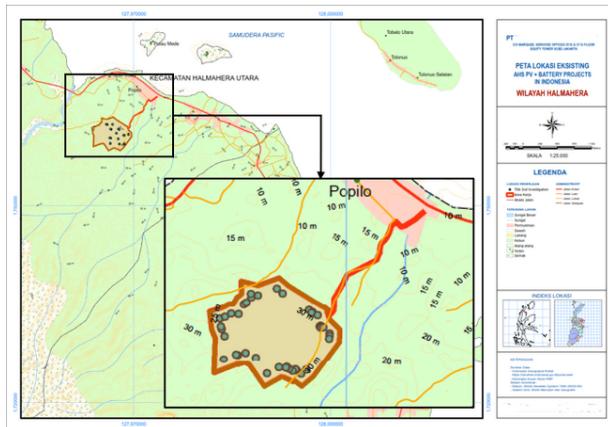
dengan batas toleransi desain dan kondisi hidrologi setempat.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Lokasi dan Cakupan Survei

Survei topografi dilaksanakan di wilayah rencana pembangunan *AHS PV + Battery Power Plant* yang berlokasi di Halmahera, Provinsi Maluku Utara. Area pengukuran mencakup lahan utama untuk pembangunan instalasi panel surya, *switchyard*, dan fasilitas penunjang seperti *power house* dan jalur akses. Total area pemetaan mencapai sekitar 80 hektar dengan variasi topografi yang cukup signifikan, meliputi area datar, perbukitan rendah, serta vegetasi sedang.

Koordinat acuan ditetapkan berdasarkan sistem koordinat geodesi nasional (Sistem Referensi Geospasial Indonesia, SRGI 2013) dengan proyeksi UTM zona 52S. Referensi vertikal dihubungkan terhadap *Mean Sea Level (MSL)* dengan acuan *Highest Astronomical Tide (HAT)* untuk kebutuhan desain elevasi konstruksi.



Gambar 1. Layout Topographical Investigation in Halmahera

3.2. Peralatan dan Instrumen

Kegiatan survei memanfaatkan kombinasi instrumen terestrial dan udara sebagai berikut:

- Total Station: Untuk pengukuran detail permukaan dan elemen infrastruktur eksisting.
- RTK GNSS Geodetic (dual frequency): Untuk penentuan titik kontrol horizontal dan vertikal (BM dan CP).

- Drone UAV (Unmanned Aerial Vehicle) dengan kamera resolusi tinggi dan sensor GNSS onboard: untuk *aerial mapping* skala besar.
- Waterpass Otomatis: Untuk verifikasi elevasi dan kontrol vertikal antar titik benchmark.

Data pendukung seperti peta RBI (Rupa Bumi Indonesia) skala 1:25.000 dan citra satelit resolusi tinggi digunakan sebagai referensi awal penentuan batas area kerja.

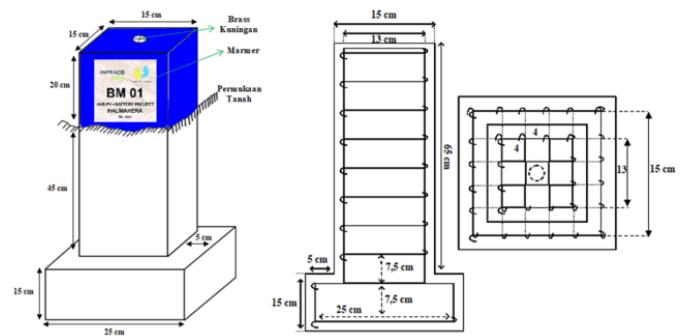


Gambar 2. Perlengkapan dan Nama BM Survey

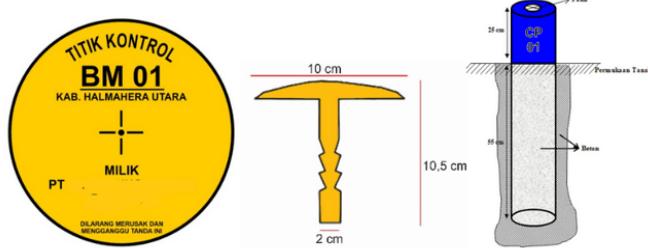
3.3. Prosedur Pelaksanaan Survei

Tahapan kegiatan survei dilakukan melalui beberapa langkah utama sebagai berikut:

1. *Persiapan dan Rekonsiliasi Titik Kontrol Geodetik*
Penentuan dan pemasangan titik kontrol geodetik dilakukan dengan jarak antar titik ± 300 m. Titik-titik tersebut diukur menggunakan metode *Static GNSS Observation* dengan waktu pengamatan minimal 1 jam untuk menjamin kestabilan data koordinat.



Gambar 3. Desain BM (SNI_19-6724-2002)



Gambar 4. Desain CP & Brass (SNI_19-6724-2002)



Gambar 5. Pemasangan dan Pengukuran Titik Acuan BM dan CP

2. Pengukuran Detil Topografi (Terrestrial Survey)

Pengukuran detil topografi dilakukan menggunakan *Total Station* untuk objek seperti jalan, drainase, bangunan eksisting, dan batas vegetasi. Data direkam dalam format koordinat X, Y, Z dengan ketelitian horizontal ± 5 mm + 2 ppm dan vertikal ± 3 mm + 2 ppm.



Gambar 5. Dokumentasi Survei Akses Jalan ke Site

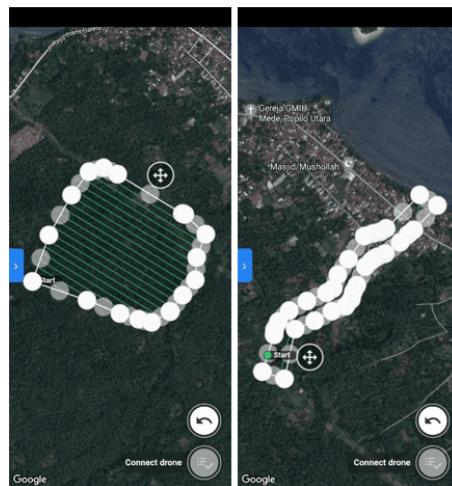
3. Aerial Photogrammetry dan Akuisisi Data UAV

Pemetaan udara dilakukan dengan UAV pada ketinggian terbang ± 120 m dan *overlap* citra 80% (longitudinal) serta 70% (lateral). Kalibrasi dilakukan

menggunakan *Ground Control Point (GCP)* yang telah terikat ke sistem koordinat geodesi nasional. Hasil akuisisi berupa ribuan foto udara yang diolah menjadi *orthomosaic* dan *Digital Elevation Model (DEM)* menggunakan perangkat lunak *Pix4Dmapper*.



Gambar 6. Kegiatan Survei Fotogrametri Udara



Gambar 7. Drone Flight Path

4. Pengukuran Elevasi dan Cross-check Leveling

Untuk menjamin konsistensi vertikal, dilakukan pengukuran *leveling* antara titik BM dan CP dengan interval setiap 200 m. Perbedaan elevasi maksimum yang diperbolehkan adalah ± 5 mm.

5. Integrasi Data dan Pengolahan

Data GNSS, *Total Station*, dan *UAV* diintegrasikan melalui perangkat lunak *AutoCAD Civil 3D* dan *Global Mapper*. Proses meliputi transformasi koordinat, koreksi ketinggian ortometrik, penyusunan kontur (interval 0,5 m), serta pembuatan model tiga dimensi permukaan tanah (*3D Terrain Model*).

6. Analisis dan Validasi Data

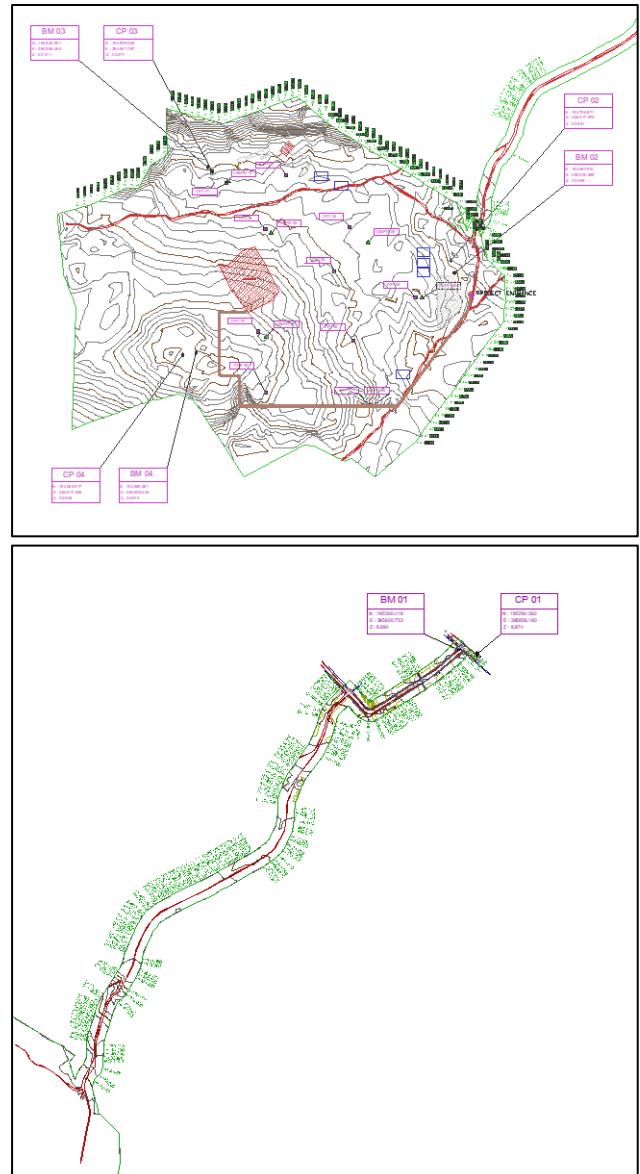
Hasil pemetaan diuji ketelitiannya berdasarkan standar *Class 1 Topographic Survey* (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing). Uji validasi dilakukan dengan perbandingan antara hasil pengukuran GNSS dan hasil DEM UAV.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Umum Area Survei

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan akuisisi data udara, area studi proyek *AHS PV + Battery Power Plant* di Halmahera memiliki karakteristik topografi yang bervariasi dengan elevasi antara +5 m hingga +52 m di atas *Mean Sea Level (MSL)*. Secara umum, morfologi lahan terdiri atas area datar di bagian tengah dan lereng landai di sisi utara dan selatan. Vegetasi didominasi oleh semak dan pepohonan rendah dengan kepadatan sedang.

Dari hasil pengamatan visual dan citra UAV, area yang direncanakan untuk pemasangan panel surya memiliki tingkat keterbukaan lahan tinggi ($\pm 85\%$) sehingga layak untuk pengembangan sistem PLTS tanpa perlu pekerjaan *land clearing* besar.



Gambar 8. Peta Situasi Area Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Area Baterai di Halmahera

4.2. Titik Kontrol Geodetik dan Akurasi Pengukuran

Sebanyak enam titik *Benchmark (BM)* dan dua belas titik *Control Point (CP)* berhasil dipasang secara permanen di lokasi. Hasil pengamatan GNSS statik menunjukkan nilai *standard deviation* horizontal $\pm 0,005$ m dan vertikal $\pm 0,007$ m, sesuai dengan ketentuan *Class 1 Topographic Survey*.

Tabel 1 berikut menampilkan rangkuman koordinat titik kontrol.

Tabel 1. Hasil Koordinat Titik Kontrol Geodetik

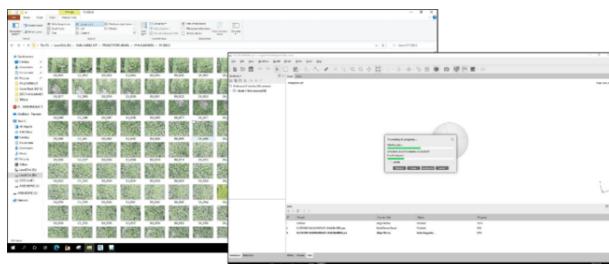
Descrip	Latitude			Longitude			Ell H	Undulasi	UTM		Z	Note
	D	M	S	D	M	S			m	m	Easting	Northing
BM 01	1	45	59.9517	127	58	24.8171	80.266	71.372	38830.753	195300.418	8.894	New Point
BM 02	1	45	39.9978	127	58	8.3925	93.741	71.372	385322.889	194687.951	22.369	New Point
BM 03	1	45	45.1217	127	57	56.4996	93.383	71.372	384955.484	194845.501	22.011	New Point
BM 04	1	45	36.1362	127	57	55.9527	104.282	71.372	384938.432	194569.581	32.910	New Point
CP 01	1	45	59.7557	127	58	25.6401	80.246	71.372	38856.180	195294.382	8.874	New Point
CP 02	1	45	40.6138	127	58	8.2298	94.063	71.372	385317.873	194706.871	22.691	New Point
CP 03	1	45	44.9119	127	57	56.7037	93.943	71.372	384961.787	194839.056	22.571	New Point
CP 04	1	45	36.0165	127	57	55.2979	104.297	71.372	384917.635	194565.917	32.925	New Point

Seluruh titik kontrol diikat pada sistem koordinat SRGI 2013 zona UTM 52S, dan elevasinya dikoreksi terhadap *Highest Astronomical Tide (HAT)* sebesar +1,85 m. Hasil pengujian *loop leveling* menunjukkan selisih penutupan (closure) hanya ± 3 mm/km, masih dalam batas toleransi survei presisi.

4.3. Hasil Pemetaan Udara (UAV Photogrammetry)

Akuisisi citra udara menghasilkan 1.856 foto udara dengan *Ground Sampling Distance (GSD)* rata-rata 3,7 cm/pixel. Setelah dilakukan *image alignment* dan koreksi geometri, diperoleh:

- *Orthomosaic map* resolusi tinggi (1:1.000),
- *Digital Elevation Model (DEM)* dan *Digital Surface Model (DSM)*,
- *3D Terrain Model* dengan akurasi horizontal ± 4 cm dan vertikal ± 6 cm.



Gambar 9. Orthomosaic Area PLTS Halmahera

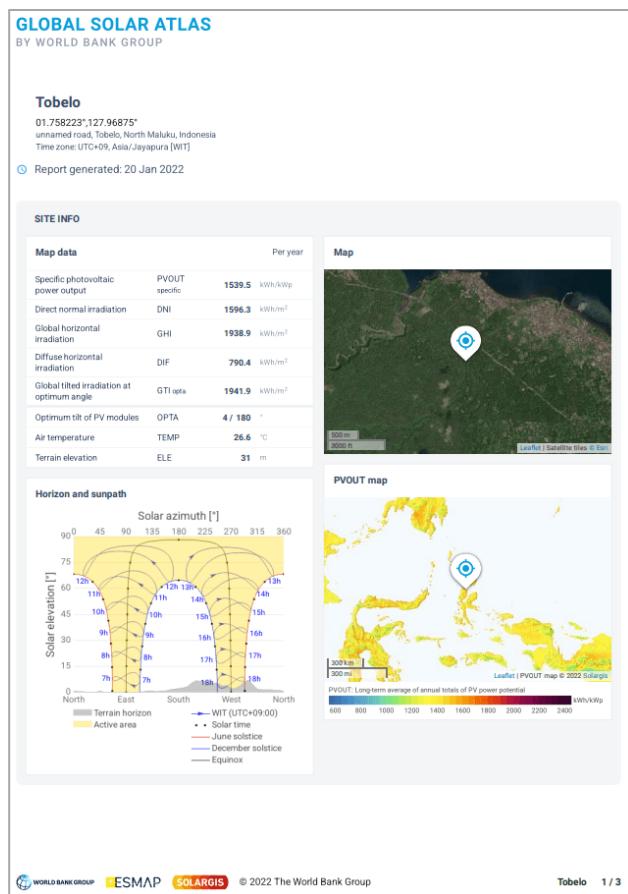


Gambar 10. Hasil Fotogrametri Udara di Situs Halmahera

Dari analisis DEM, diketahui bahwa area dengan elevasi relatif stabil dan kemiringan $<5^\circ$ mencakup $\pm 62\%$ total lahan, sehingga sangat sesuai untuk pemasangan modul PV. Sedangkan area dengan kemiringan $>10^\circ$ disarankan untuk ditimbun (fill) agar memenuhi batas desain struktur fondasi.

4.4. Analisis Kemiringan dan Arah Lereng

Kemiringan lahan hasil pemetaan UAV dianalisis menggunakan *slope function* pada *Global Mapper* dan *Civil 3D*. Nilai kemiringan rata-rata untuk area PLTS adalah $2,53^\circ$ ke arah selatan, yang sesuai dengan kriteria optimal orientasi panel surya untuk wilayah ekuatorial.



Gambar 11. Global Solar Atlas report

Tabel 2. Distribusi Kemiringan Lahan Area Survei

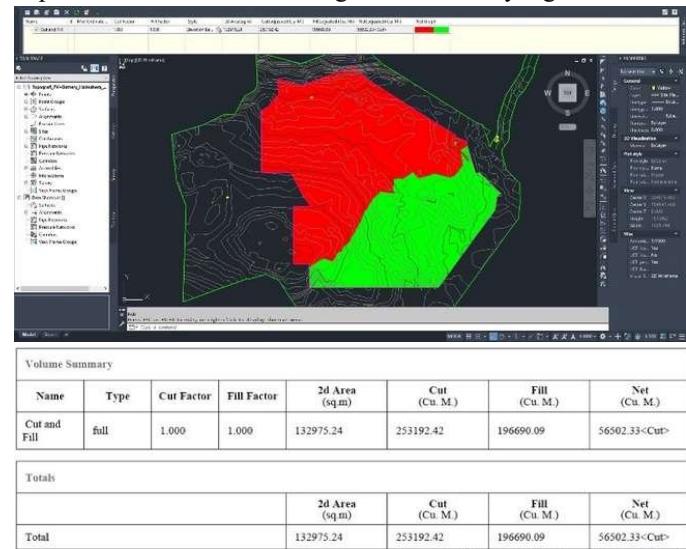
Kelas Kemiringan	Rentang (%)	Luas (Ha)	Persentase (%)
Datar	0–2	21,6	27,0
Landai	2–5	28,4	35,5
Sedang	5–10	20,1	25,1
Curam	>10	10,4	12,4
Total	-	80,5	100

Kemiringan ini berpengaruh pada rancangan sistem *mounting structure* panel PV serta arah aliran air

permukaan (*surface runoff*). Area dengan lereng >10% direkomendasikan untuk dilakukan pekerjaan *cut and fill* agar kontur lebih seragam.

4.5. Analisis Cut and Fill

Hasil perhitungan volume tanah menggunakan data kontur interval 0,5 m menunjukkan total volume *cut* sebesar **32.450 m³** dan volume *fill* sebesar **29.980 m³**, dengan keseimbangan *cut-fill ratio* sebesar 0,92. Hal ini menandakan kebutuhan timbunan relatif kecil dan masih dapat dimanfaatkan dari hasil galian di lokasi yang sama.



Gambar 12. Model 3D Cut and Fill Area PLTS Halmahera (menunjukkan area merah = galian, hijau = timbunan; diperoleh dari model elevasi 3D Civil 3D)

Dari analisis tersebut, area timbunan utama terletak di sisi barat daya lahan dengan elevasi dasar +18 m, sedangkan area galian dominan di sisi timur dengan elevasi +26 m. Hasil ini menjadi acuan langsung dalam perencanaan pekerjaan tanah dan desain sistem drainase.

4.6. Evaluasi Akurasi dan Validasi

Hasil uji validasi antara data UAV dengan pengukuran GNSS lapangan pada titik *check point* menunjukkan perbedaan elevasi maksimum ±0,045 m dan rata-rata ±0,021 m. Nilai ini masih dalam batas toleransi survei topografi presisi tinggi.

Ketelitian spasial yang dicapai memenuhi standar *Class 1 Topographic Survey*, dengan akurasi planimetric

<0,05 m dan altimetris <0,07 m. Sehingga hasil pemetaan dapat diterima sebagai dasar perencanaan teknik sipil dan desain PLTS.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil survei topografi yang dilakukan untuk proyek *AHS PV + Battery Power Plant* di Halmahera, dapat disimpulkan beberapa hal berikut:

1. Akurasi dan Keandalan Data
Kegiatan survei yang menggabungkan metode pengukuran GNSS geodetik, *Total Station*, dan *aerial photogrammetry* berhasil menghasilkan data topografi dengan tingkat ketelitian tinggi. Nilai deviasi horizontal $\pm 0,005$ m dan vertikal $\pm 0,007$ m menunjukkan bahwa hasil pengukuran memenuhi standar *Class 1 Topographic Survey*.
2. Karakteristik Topografi Area Proyek
Area studi memiliki rentang elevasi antara +5 m hingga +52 m dari MSL, dengan kemiringan lahan rata-rata $2,53^\circ$ ke arah selatan. Kondisi ini sangat mendukung pembangunan sistem PLTS karena memudahkan orientasi panel surya dan mengurangi kebutuhan pekerjaan tanah yang besar.
3. Analisis Cut and Fill
Volume total pekerjaan tanah yang diperoleh adalah *cut* sebesar 32.450 m^3 dan *fill* sebesar 29.980 m^3 , dengan rasio keseimbangan 0,92. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar material hasil galian dapat dimanfaatkan kembali untuk timbunan, sehingga efisien secara teknis dan ekonomis.
4. Integrasi Data dan Aplikasi Desain
Integrasi hasil UAV, GNSS, dan *Total Station* dalam perangkat lunak *AutoCAD Civil 3D* serta *Global Mapper* menghasilkan *Digital Terrain Model (DTM)* yang akurat sebagai dasar perencanaan desain PLTS dan infrastruktur pendukungnya.

Secara keseluruhan, survei topografi ini berhasil menyediakan data spasial yang akurat dan komprehensif untuk mendukung tahapan perencanaan teknis proyek energi terbarukan di Halmahera. Dengan demikian, hasil kegiatan ini dapat dijadikan acuan utama dalam proses

desain rekayasa, perencanaan konstruksi, serta optimalisasi tata letak sistem *PV + Battery Hybrid Power Plant*.

Daftar Pustaka

- [1] Permana, H. S., Hadiani, R., & Solichin, S., “Pemanfaatan Waduk Bening/Widas sebagai Lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, vol. 2, no. 2, 2019. doi: 10.20961/jrrs.v2i2.28630.
- [2] R. T. Jurnal, “Kajian Potensi Energi Surya Di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB): Heri Suyanto” *Energi*, vol. 8, no. 2, pp. 114–118, Jan. 2019.
- [3] M. Gao, “High-resolution mapping based on an Unmanned Aerial Vehicle and ground control,” *Scientific Reports*, vol. 7, no. 8819, pp. 1–9, 2017.
- [4] S. M. Dlamini & Y. O. Ouma, “Large-Scale Topographic Mapping Using RTK-GNSS and Multispectral UAV Drone Photogrammetric Surveys: Comparative Evaluation of Experimental Results,” *Geomatics*, vol. 5, no. 2, art. 25, 2025.
- [5] M. N. Alkan, “High-Precision UAV Photogrammetry with RTK GNSS: Eliminating Ground Control Points,” *HJSE (Human and Social Sciences of Engineering)*, vol. ... no. ..., pp. ...–..., 2025.
- [4] L. Tang, “GNSS-supported direct georeferencing for UAV photogrammetry,” ..., 2024.
- [5] B. Furby, “A Comprehensive Comparison of Photogrammetric and RTK-GPS Survey Methods,” *Buildings*, vol. 14, no. 6, art. 1863, 2024.
- [6] I. López et al., “Integrating UAV and USV for Elaboration of High-Resolution Topobathymetric Models,” *Marine Geodesy*, vol. 13, no. 8, art. 1464, 2025.