

TUGAS AKHIR - CM234835

ANALISIS POTENSI PANEL SURYA *DENGAN DIGITAL SURFACE MODEL (DSM)* HASIL UAV *FIXED WING* (STUDI KASUS: DESA BANTUREJO, KABUPATEN MALANG)

FARHAN KARIIM MAULANA

NRP 5016201094

Dosen Pembimbing

Husnul Hidayat, S.T., M.T.

NIP 199008072015041001

Program Studi Teknik Geomatika

Departemen Teknik Geomatika

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - CM234835

ANALISIS POTENSI PANEL SURYA DENGAN *DIGITAL SURFACE MODEL (DSM)* HASIL UAV *FIXED WING* (STUDI KASUS: DESA BANTUREJO, KABUPATEN MALANG)

FARHAN KARIIM MAULANA

NRP 5016201094

Dosen Pembimbing

Husnul Hidayat, S.T., M.T.

NIP 199008072015041001

Program Studi Teknik Geomatika

Departemen Teknik Geomatika

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - CM234835

**ANALYSIS SOLAR PANEL POTENTIAL WITH DIGITAL
SURFACE MODEL (DSM) FROM UAV FIXED WING (CASE
STUDY: BANTUREJO VILLAGE, MALANG DISTRICT)**

FARHAN KARIIM MAULANA

NRP 5016201094

Advisor

Husnul Hidayat, S.T., M.T.

NIP 199008072015041001

Study Program Geomatics Engineering

Department of Geomatics Engineering

Faculty of Civil, Planning, dan Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS POTENSI PANEL SURYA DENGAN *DIGITAL SURFACE MODEL (DSM)* HASIL UAV *FIXED WING* (STUDI KASUS: DESA BANTUREJO, KABUPATEN MALANG)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Departemen Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : FARHAN KARIIM MAULANA

NRP. 5016201094

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Husnul Hidayat, S.T., M.T.
3. Dr. ing. Ir Teguh Hariyanto, M. Sc.
4. Agung Budi Cahyono, ST., M. Sc., DEA.
5. Hepi H. Handayani, ST, M. Sc, Ph.D.

Pembimbing

Penguji

Penguji

Penguji



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

APPROVAL SHEET

ANALYSIS SOLAR PANEL POTENTIAL WITH DIGITAL SURFACE MODEL (DSM) FROM UAV FIXED WING (CASE STUDY: BANTUREJO VILLAGE, MALANG DISTRICT)

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree Geomatics Engineering at
Undergraduate Study Program of Geomatics Engineering
Department of Geomatics Engineering
Faculty of Civil, Planning and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : FARHAN KARIIM MAULANA

NRP. 5016201094

Approved by Final Examiner Team:

1. Husnul Hidayat, S.T., M.T.

Advisor

3. Dr. ing. Ir Teguh Hariyanto, M. Sc.

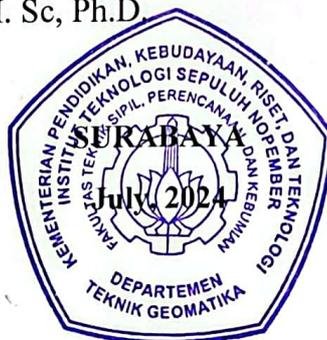
Examiner

4. Agung Budi Cahyono, ST., M. Sc., DEA.

Examiner

5. Hesti H. Handayani, ST, M. Sc, Ph.D.

Examiner



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Farhan Kariim Maulana / 5016201094
Program studi : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing / NIP : Husnul Hidayat, S.T., M.T. / 199008072015041001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS POTENSI PANEL SURYA DENGAN *DIGITAL SURFACE MODEL* (DSM) HASIL UAV *FIXED WING* (STUDI KASUS: DESA BANTUREJO, KABUPATEN MALANG)" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juli 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing I



Husnul Hidayat, S.T., M.T.
NIP. 199008072015041001

Mahasiswa



Farhan Kariim Maulana
NRP. 5016201094

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

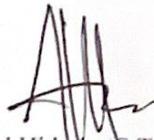
Name of Student / NRP : Farhan Kariim Maulana / 5016201094
Departement : Geomatics Engineering
Advisor / NIP : Husnul Hidayat, S.T., M.T. / 199008072015041001

hereby declare that the Final Project with the title of "ANALYSIS SOLAR PANEL POTENTIAL WITH DIGITAL SURFACE MODEL (DSM) FROM UAV FIXED WING (CASE STUDY: BANTUREJO VILLAGE, MALANG DISTRICT)" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the previsions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

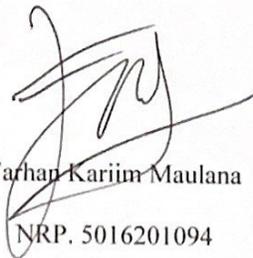
Surabaya, 27 July 2024

Aknowleged
Advisor



Husnul Hidayat, S.T., M.T.
NIP. 199008072015041001

Student



Farhan Kariim Maulana
NRP. 5016201094

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRAK

ANALISIS POTENSI PANEL SURYA DENGAN DIGITAL SURFACE MODEL (DSM) HASIL UAV FIXED WING (STUDI KASUS: DESA BANTUREJO, KABUPATEN MALANG)

Nama Mahasiswa / NRP : Farhan Kariim Maulana / 5016201094
Departemen : Teknik Geomatika FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing : Husnul Hidayat, S.T., M.T.

Abstrak

Energi surya merupakan sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediaannya dan dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya. Dengan melihat letak geografis Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa dan memiliki iklim tropis dapat dikatakan bahwa negara ini memiliki tingkat intensitas matahari yang cukup stabil dan kaya akan potensi energi surya. Namun, untuk memaksimalkan penggunaan panel surya dibutuhkan pemilihan lokasi yang tepat salah satunya dengan menggunakan teknologi fotogrametri yaitu *Unmanned Aerial Vehicle Fixed Wing*. Hasil yang didapatkan akuisisi dengan wahana UAV *Fixed Wing* di Desa Banturejo dilakukan pengolahan sehingga menghasilkan *Orthophoto* dan *Digital Surface Model (DSM)*. *Orthophoto* hasil pengolahan memiliki resolusi 8,12 cm/pix sedangkan DSM memiliki resolusi 1,84 cm/pix. Digitasi dilakukan untuk mendapatkan luasan atap dimana pada Desa Banturejo terdapat 6467 tapak atap dan 1954 atap bangunan dengan luasan 4,43 – 887,95 m². Pada penelitian ini perhitungan dilakukan menggunakan *software* pengolahan data spasial dengan *tools Area Solar Radiation*. Terdapat beberapa parameter yang digunakan pada perhitungan menggunakan *tools Area Solar Radiation* antara lain data *Digital Surface Model (DSM)* dan Data Curah Hujan yang didapatkan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Perhitungan menghasilkan pola distribusi matahari dimana bangunan yang memiliki permukaan datar dan mengarah ke timur laut mendapatkan lebih banyak radiasi matahari. Hasil distribusi matahari dilakukan validasi dengan pola sebaran temperatur atap *drone thermal* pada 4 atap. Pola sebaran radiasi matahari dengan temperatur atap memiliki pola yang sesuai. Hasil radiasi matahari dilakukan perhitungan efisiensi panel surya dengan memperhitungkan radiasi matahari hasil pengolahan, luasan atap yang didapat dari hasil digitasi, efisiensi, dan performa rasio panel surya. Dalam tahun 2023, Desa Banturejo diestimasikan dapat memproduksi 1.228,66-225.943,74 kWh listrik.

Kata kunci: Atap, DSM, *Orthophoto*, Panel Surya, UAV

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ABSTRACT

ANALYSIS SOLAR PANEL POTENTIAL WITH DIGITAL SURFACE MODEL (DSM) FROM UAV FIXED WING (CASE STUDY: BANTUREJO VILLAGE, MALANG DISTRICT)

Student Name / NRP : Farhan Kariim Maulana / 5016201094
Department : Teknik Geomatika FTSPK - ITS
Advisor : Husnul Hidayat, S.T., M.T.

Abstract

Solar energy is an energy source that will never run out of availability and can be utilized as an alternative energy that can be converted into electrical energy using solar panels. By looking at the geographical location of Indonesia, which is located on the equator and has a tropical climate, it can be said that this country has a fairly stable level of solar intensity and is rich in solar energy potential. However, to maximize the use of solar panels, it is necessary to select the right location, one of which is by using photogrammetric technology, namely the Unmanned Aerial Vehicle Fixed Wing. The results obtained by the acquisition with the UAV Fixed Wing vehicle in Banturejo Village were processed to produce Orthophoto and Digital Surface Model (DSM). The processed orthophoto has a resolution of 8.12 cm/pix while the DSM has a resolution of 1.84 cm/pix. Digitization was carried out to obtain the roof area where in Banturejo Village there are 6467 roof treads and 1954 building roofs with an area of 4.43 - 887.95 m². In this research, the calculation was carried out using spatial data processing software with the Area Solar Radiation tool. There are several parameters used in calculations using the Area Solar Radiation tool, including Digital Surface Model (DSM) data and Rainfall Data obtained from the Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). The calculation produces a solar distribution pattern where buildings that have a flat surface and point to the northeast get more solar radiation. The results of solar distribution are validated with the thermal drone roof temperature distribution pattern on 4 roofs. The distribution pattern of solar radiation with roof temperature has a suitable pattern. The results of solar radiation are calculated by calculating the efficiency of solar panels by calculating the solar radiation processing results, the roof area obtained from the results of digitization, efficiency, and performance ratio of solar panels. In 2023, Banturejo Village is estimated to produce 1,228.66-225,943.74 kWh of electricity.

Keywords: *Roof, DSM, Orthophoto, Solar Panel, UAV*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul " Analisis Potensi Panel Surya Dengan *Digital Surface Model* (DSM) Hasil UAV *Fixed Wing* (Studi Kasus: Desa Banturejo, Kabupaten Malang) ". Dalam proses penulisan Tugas Akhir ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini, diantaranya adalah :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Iskandar Yulni dan Ibu Siti Khadijah, serta kakak dan adik penulis Reza Habiib Aulia dan Faizan Haziq Akram yang telah memberikan doa, dukungan, dan semangat dalam setiap langkah perjalanan penulis. Terima kasih atas pengertian, kesabaran, dan cinta kasih yang telah diberikan kepada penulis.
2. Bapak Husnul Hidayat, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta pengawasan yang cermat dan penuh dedikasi selama penulisan Tugas Akhir ini.
3. Terra Drone Indonesia atas bantuan selama proses akuisisi data UAV *Fixed Wing* dan *Drone Thermal* di Desa Banturejo sehingga proses akuisisi berjalan dengan lancar.
4. Seluruh tenaga pengajar dan staff di Departemen Teknik Geomatika ITS yang telah memberikan ilmu pengetahuan, wawasan, serta dukungan yang diperlukan selama masa studi penulis. Pengalaman dan pengetahuan yang diperoleh di Departemen Teknik Geomatika ITS telah memberikan landasan yang kokoh dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Faizal Gynmanstiar, Ilham Yuki T.B., Joseph Frederick Marbun, Safanata Azza Laksono, Muhammad Rafly Rahardian, Aurelius Yubileo Wicaksana, Awandhana Anggi Arizki, Aqil Ramadhan Hadiono, Oliver Karesna Betaubun, dan Nadya Febiani Chandra selaku teman dekat penulis yang selalu memberikan dukungan selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
6. Teman-teman mahasiswa Teknik Geomatika 2020 yang selalu memberikan dukungan dan bantuan selama masa perkuliahan.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang bersifat membangun sangat penulis harapkan guna perbaikan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang positif dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat terhadap pengembangan penelitian selanjutnya. Terima kasih.

Surabaya, 27 Juli 2024

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
STATEMENT OF ORIGINALITY	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	5
2.2 Energi Surya	6
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	7
2.4 <i>Unmanned Aerial Vehicle (UAV)</i>	7
2.5 Foto Udara	8
2.6 <i>Digital Surface Model (DSM)</i>	9
2.7 <i>Slope</i>	9
2.8 <i>Area Solar Radiation</i>	10
2.9 Efisiensi Panel Surya	14
BAB 3 METODOLOGI	15
3.1 Metode yang digunakan	15
3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan	15
3.3 Urutan Pelaksanaan Penelitian	17
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Hasil dan Analisis	23

4.1.1	<i>Orthophoto</i> dan <i>Digital Surface Model (DSM)</i>	23
4.1.2	Digitasi Atap Bangunan dan Tapak Atap Bangunan	26
4.1.3	Hasil Distribusi Radiasi Matahari Pada Setiap Atap.....	27
4.1.4	Validasi dengan Data Drone Thermal	31
4.1.5	Estimasi Produksi Listrik	32
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran	35
	DAFTAR PUSTAKA	37
	LAMPIRAN.....	39
	BIODATA PENULIS	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Instalasi Panel Surya	7
Gambar 2.2 UAV Fixed Wing	8
Gambar 2.3 Perbedaan DSM dan DTM.....	9
Gambar 2.4 Perhitungan Slope	9
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Desa Banturejo, Kabupaten Malang	15
Gambar 3. 2 Alir Tahapan Penelitian	17
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data	19
Gambar 3. 4 Lanjutan Diagram Alir Pengolahan Data.....	20
Gambar 4.1 Peta <i>Orthophoto</i> UAV <i>Fixed Wing</i> Kecamatan Ngantang	25
Gambar 4.2 Peta Digital Surface Model (DSM) Desa Banturejo	25
Gambar 4.3 Peta Hasil Digitasi Pada Setiap Atap Bangunan Desa Banturejo	26
Gambar 4.4 Peta Hasil Digitasi Pada Tapak Atap Bangunan Desa Banturejo	27
Gambar 4. 5 Peta Distribusi Radiasi Matahari Bulan Juli Desa Banturejo	29
Gambar 4. 6 Distribusi Radiasi Matahari Pada Bulan Juli	30
Gambar 4. 7 Validasi Perbandingan Hasil Pengolahan Dengan Data Drone Thermal.....	31
Gambar 4.8 Grafik Estimasi Produksi Listrik Setiap Bulan Desa Banturejo	33
Gambar 4. 9 Peta Estimasi Produksi Listrik Tahun 2023 Desa Banturejo	34

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	5
Tabel 3.1 Data Curah Hujan BMKG	16
Tabel 3.2 Spesifikasi UAV Fixed Wing	16
Tabel 4.1 Koordinat Titik GCP.....	23
Tabel 4. 2 <i>Error Ground Control Point (GCP)</i>	24
Tabel 4. 3 Parameter Tools Area Solar Radiation	27
Tabel 4. 4 Lanjutan Parameter Tools Area Solar Radiation	28
Tabel 4.5 Kategori Curah Hujan BMKG.....	32
Tabel 4.6 Kategori Curah Hujan Desa Banturejo	32

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. UAV Fixed Wing Skywalker PPK with Sony Alpha 6000.....	39
Lampiran 2. Hasil Foto Udara UAV Fixed Wing.....	40
Lampiran 3 Hasil foto udara Drone Thermal.....	42
Lampiran 4. File Exif Hasil Foto Udara UAV Fixed Wing.....	43
Lampiran 5. File Exif foto udara Drone Thermal.....	46
Lampiran 6 Contoh perhitungan Estimasi Produksi Listrik.....	47
Lampiran 7 Sebagian perhitungan Estimasi Produksi Listrik.....	48
Lampiran 8 Peta Estimasi Produksi Listrik Tiap Bulan.....	52

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia industri yang semakin berkembang menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat dari tahun ke tahun sedangkan saat ini energi yang digunakan sebanyak 80% masih menggunakan energi konvensional yang tidak dapat diperbaharui dan tidak ramah lingkungan (Hasan, Mahlia, & Nur, 2012). Sumber energi ini masih didominasi oleh energi fosil, dimana sejak tahun 2002 energi tersebut diprediksi hanya dapat bertahan setidaknya selama 40 tahun untuk minyak bumi, 60 tahun untuk gas alam dan 200 tahun untuk batu bara (Afif & Martin, 2022). Dengan melihat semakin berkurangnya energi fosil tersebut penggantian bahan bakar fosil dengan energi baru dan terbarukan menjadi satu hal yang penting. Energi surya merupakan sumber energi yang tidak akan pernah habis ketersediaannya dan energi ini juga dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif yang dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya (Purwoto, *et. al.*, 2018). Dengan melihat letak geografis Indonesia yang berada pada 6° LU – 11° LS dan 95° BT – 141° BT yang terletak pada garis khatulistiwa dan memiliki iklim tropis. Dapat dikatakan bahwa negara ini memiliki tingkat intensitas matahari yang cukup stabil, wilayah Indonesia mendapatkan intensitas radiasi matahari yang cukup dengan rata-rata radiasi setiap harinya sekitar 4 kWh/m² (Hasan, Mahlia, & Nur, 2012).

Panel surya atau photovoltaic adalah teknologi digunakan dalam mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Penggunaan panel surya memiliki potensi yang besar untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan mempertimbangkan banyaknya manfaat energi surya, penggunaan panel surya penting untuk diterapkan lebih lanjut dalam menunjang energi terbaru. Namun, untuk memaksimalkan identifikasi potensi panel surya dibutuhkan informasi tentang permukaan bumi untuk melakukan pemilihan lokasi yang tepat. Melihat perkembangan teknologi fotogrametri dapat dimanfaatkan dalam melakukan analisis penentuan lokasi panel surya. Fotogrametri adalah ilmu, seni, dan teknologi untuk memperoleh ukuran terpercaya dan peta yang didapatkan dari foto (Hadi, 2007). Salah satu teknik pengumpulan informasi mengenai permukaan tanah dengan menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Fixed Wing*. Wahana ini dapat melakukan akuisisi pada daerah yang cukup luas, sehingga dapat digunakan dalam melakukan akuisisi di Desa Banturejo.

UAV Fixed Wing menghasilkan foto udara yang kemudian dilakukan pengolahan sehingga mendapatkan *Orthophoto* dan *Digital Surface Model (DSM)*. Penggunaan *Digital Surface Model (DSM)* dapat digunakan untuk melihat representasi suatu permukaan fisik dari sekumpulan titik-titik koordinat tiga dimensi (Kerong, *et. al.*, 2022). Dengan data *slope* (kemiringan) dan *aspect* (arah kemiringan) yang dihasilkan dari data *Digital Surface Model (DSM)* dapat membantu dalam menganalisis pengaruh kemiringan atap bangunan terhadap radiasi matahari (Suprojo, *et. al.*, 2018). *Orthophoto* yang dihasilkan digunakan sebagai *basemap* untuk dilakukan digitasi pada atap bangunan sehingga didapatkan data vektor atap bangunan, tapak atap bangunan dan luasan atap. Namun, cuaca juga merupakan salah satu faktor yang penting dalam identifikasi panel surya. Sehingga, pada penilitan ini menggunakan hujan yang didapat dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Setelah itu dilakukan perhitungan dengan menggunakan *software* pengolahan data spasial dengan *tools Area solar radiation* yang dapat menghitung radiasi matahari dengan cakupan yang luas dengan visualisasi yang dapat dipilih per area atau per atap. Pada *tools* tersebut terdapat beberapa parameter yang dapat dipilih untuk menghasilkan hasil yang diinginkan antara lain interval waktu, parameter topografi dan parameter radiasi matahari (Pavlovic & Georgiadis, 2019).

Setelah didapatkan pola sebaran radiasi matahari dilakukan validasi dengan menggunakan data foto udara *drone thermal* yang telah dilakukan akuisisi sebelumnya pada bulan Juli 2023. Validasi dilakukan dengan membandingkan pola sebaran radiasi matahari dengan pola sebaran temperatur pada permukaan atap dari data *drone thermal*. Untuk menghasilkan estimasi produksi listrik diperlukan perhitungan efisiensi panel surya pada hasil radiasi matahari. Perhitungan dilakukan pada setiap tapak atap yang kemudian dijumlahkan untuk menghasilkan estimasi produksi listrik pada setiap atap bangunan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana ketelitian citra DSM hasil dari pengolahan UAV Fixed Wing untuk dilakukan analisis?
2. Bagaimana cara menghitung estimasi panel surya di Desa Banturejo?
3. Bagaimana membuat peta estimasi produksi listrik panel surya di Desa Banturejo jika ditinjau dengan menggunakan metode UAV?

1.3 Batasan Masalah

Agar tercapai tujuan yang diharapkan Batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi area yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah Desa Banturejo Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang.
2. Data yang digunakan adalah hasil foto udara UAV Fixed Wing yang diakuisisi pada bulan Juli 2023.
3. Pengolahan menggunakan *Software* Agisoft Metashape dan *software* pengolahan data spasial.
4. Analisis yang dilakukan adalah potensi panel surya pada setiap atap dalam kurun waktu satu tahun.
5. Penelitian ini menghasilkan peta potensi *Solar Panel* di daerah Desa Banturejo, Kabupaten Malang.
6. Penelitian ini mempertimbangkan curah hujan pada tiap bulan dengan kurun waktu satu tahun.
7. Validasi dilakukan dengan membandingkan pola sebaran radiasi matahari dengan temperatur permukaan atap menggunakan data *Drone Thermal* yang diakuisisi pada bulan Juli 2023

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui ketelitian DSM hasil pengolahan UAV Fixed Wing untuk dilakukan analisis.
2. Untuk menghitung estimasi produksi listrik panel surya di Desa Banturejo
3. Untuk membuat peta estimasi produksi listrik di Desa Banturejo jika ditinjau dengan menggunakan metode UAV.

1.5 Manfaat

Penelitian Tugas Akhir ini diharapkan memberikan informasi mengenai potensi panel surya di Desa Banturejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang hasil pengolahan data UAV *Fixed Wing*. Peneliti dapat menerapkan aplikasi pengolahan fotogrametri, Sistem Informasi Geografis (SIG), dan perhitungan efisiensi panel surya untuk mengetahui potensi panel surya di Desa Banturejo.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan penelitian-penelitian terdahulu terkait potensi panel surya yang pernah dilakukan:

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Kriteria	Penelitian I	Penelitian II	Penelitian III	Penelitian IV
Judul	Digital Earth Surface Model for The Estimation of <i>Solar Panel</i> Electric Power Towards Renewable Energy	Use Of UAV Photogrammetry To Estimate The Solar Energy Potential of Residential Buildings in Severe Cold Region	Estimating Residential Solar Potential Using Aerial Data	Method for Estimating Solar Energy Potential Based on Photogrammetry from Unmanned Aerial Vehicle
Penulis	Baskara Suprojo, Westi Utami, Luthfi A. Saraswati, Diffa A. Nabila dan M. Nazir Salim (2022)	Yunsong Han, Yongjie Pan, Tianyu Zhao, Chunxing Wang dan Cheng Sun (2019)	Ross Goroshin, Alex Wilson, Andrew Lamb, Betty Peng, Brandon Ewonus, Cornelius Ratsch, Jordan Raisher, Marisa Leung, Max Burq, Thomas Colthurst, William Rucklidge, Carl Elkin (2017)	Jose Eduardo Fuentes, Francisco David Moya dan Oscar Danilo Montoya (2020)
Metode	Fotogrametri, DSM dan pengolahan data luasan radiasi matahari, SIG dan sudut kemiringan atap	UAV Fotogrametri dan pengolahan foto udara menggunakan algoritma SFM dan MVS	DSM dan Deep Learning	Fotogrametri dan Sistem Informasi Geografis

Tujuan	mengoptimalkan SIG dalam pemanfaatan radiasi matahari pada kemiringan atap bangunan yang berpengaruh terhadap estimasi jumlah dan rata-rata daya listrik.	Memperkirakan potensi energi matahari dari permukaan bangunan	Memperkirakan potensi energi matahari dan penghematan biaya listrik	Memperkirakan potensi energi surya dari data UAV
--------	---	---	---	--

Bedasarkan keempat penelitian terdahulu yang telah dijabarkan pada Tabel 2.1, penelitian analisis potensi panel surya sudah beberapa kali dilakukan. Baskara pada tahun 2020 melakukan penelitian dengan menggunakan data *Digital Surface Model* (DSM) dan pengolahan menggunakan Sistem Informasi Geografis. Sedangkan Han pada tahun 2019 melakukan penelitian potensi panel surya dengan menggunakan data SFM dan MVS hasil akuisisi foto udara. Selain itu, Goroshin pada tahun 2017 melakukan penelitian potensi panel surya dengan menggunakan data *Digital Surface Model* dengan pengolahan menggunakan *Deep Learning*.

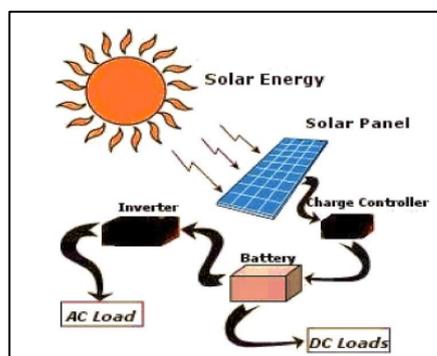
Pada penelitian ini menggunakan data UAV *Fixed Wing* dan *Digital Surface Model* (DSM) dengan validasi data dengan menggunakan data UAV *Thermal* untuk menguji kesesuaian potensi panel surya yang berada di Desa Banturejo. Dimana hal tersebut belum pernah dilakukan sebelumnya. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi rujukan untuk warga Desa Banturejo dalam pemasangan panel surya dengan melihat hasil potensi penelitian yang ada pada penelitian ini.

2.2 Energi Surya

Energi surya adalah energi yang berasal dari sinar matahari dan salah satu energi terbarukan yang menjanjikan dan memiliki potensi terbesar dari pada sumber daya yang lain dalam memecahkan masalah energi dunia serta ramah lingkungan. Indonesia memiliki potensi energi surya yang cukup besar, dikarenakan terletak pada garis khatulistiwa dan memiliki iklim tropis. Dimana dengan Indonesia yang berada di garis khatulistiwa membuat kepulauan yang berada di Indonesia disinari oleh cahaya matahari selama 10 sampai 12 jam perharinya. Dengan demikian pemanfaatan sumber energi matahari sangat mendukung di kepulauan tropis. Namun, dalam 10 sampai 12 jam tidak selalu dalam keadaan cerah bergantung pada cuaca tiap daerah (Dewi & Antonov, 2013). Energi surya merupakan energi yang tidak bersifat polutif, tidak akan habis, dan didapatkan secara gratis. Energi ini telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dikarenakan jika energi ini dieksploitasi dengan tepat mampu memenuhi kebutuhan konsumsi energi di dunia dengan jangka waktu yang lama (Widayana, 2012). Salah satu sistem yang paling ramah lingkungan adalah pemanfaatan energi menjadi listrik (Santhiarsa & Kusuma, 2005).

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya atau yang sering disebut juga Fotovoltaik surya merupakan alat pembangkit listrik yang mengubah energi matahari menjadi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Surya memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan listrik. Konsep pembangkit listrik tenaga surya konsep yang sederhana dimana mengubah sinar matahari menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan adalah listrik DC (arus searah) yang dapat diubah menjadi listrik AC (arus bolak balik) jika dibutuhkan. Energi surya telah banyak digunakan dalam memenuhi kebutuhan listrik. Energi surya ini dapat menghasilkan energi listrik dengan jumlah yang terbatas dan tidak memerlukan bahan bakar, Sehingga sistem sel surya sering dikatakan ramah lingkungan dibandingkan dengan generator listrik yang bagiannya masih membutuhkan bahan bakar untuk menghasilkan listrik.

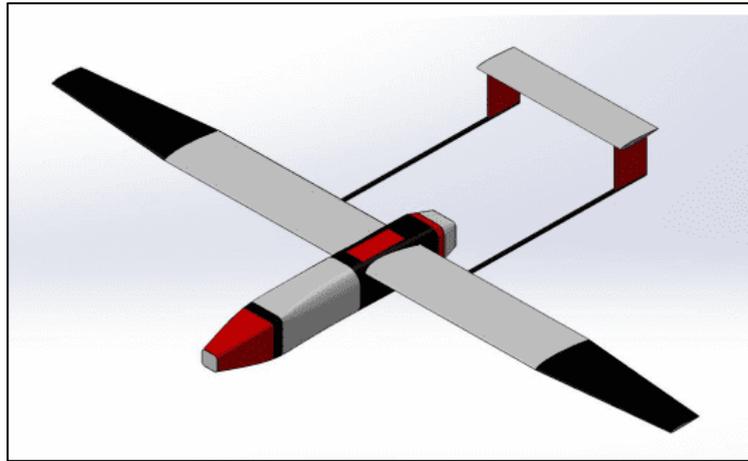


Gambar 2.1 Sistem Instalasi Panel Surya
(Hardianto, 2019)

Sistem sel surya yang digunakan terdiri dari panel surya, *charge controller*, *Inverter* dan baterai dengan perawatan berkala. *Solar Panel* adalah modul yang terdiri dari beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel tergantung pada ukuran kapasitas yang dibutuhkan. *Charge controller* pada sistem sel surya merupakan sistem yang mengatur proses pengisian daya baterai. Proses pengisian akan berjalan jika saat ada sinar matahari. Jika terjadi penurunan tegangan pada malam hari, maka *controller* akan memutuskan aliran listrik. Pada saat pengisian baterai sudah penuh tegangan baterai akan naik dan *controller* akan menghentikan proses pengisian baterai (Hardianto, 2019).

2.4 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

UAV (pesawat tanpa awak) merupakan jenis pesawat terbang yang digunakan dengan kendali jarak jauh lewat gelombang radio (Saroinsong., 2018). UAV adalah pesawat tanpa awak yang dilengkapi dengan sensor dan kamera untuk melakukan pengambilan gambar (Wulan R. T., et al., 2017). Perkembangan teknologi membuat UAV juga mulai banyak diterapkan untuk kebutuhan sipil, terutama di bidang bisnis, industri dan logistic. Teknologi UAV dapat digunakan secara mudah dan efisien dari segi waktu dan data yang dihasilkan memiliki resolusi spasial yang tinggi. Dengan demikian dapat meminimalisir kesalahan identifikasi objek atau pengukuran suatu objek di lapangan. Pesawat tanpa awak seiring perkembangan zaman terdapat beberapa jenis, salah satunya adalah UAV Fixed Wing.



Gambar 2.2 UAV Fixed Wing
(Rombe, Marausna, & Jayadi, 2021)

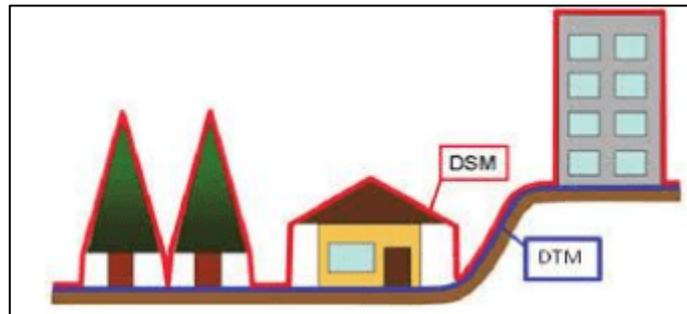
UAV *Fixed wing* merupakan jenis pesawat tanpa awak yang dirancang dengan sayap tetap mirip dengan pesawat terbang. Dengan sayap yang menyerupai pesawat terbang, UAV ini dapat mencakup daerah yang cukup luas. Namun, UAV *Fixed Wing* memerlukan landasan yang luas dan datar untuk melakukan *take off* maupun *landing* (Wulan T. R., et al., 2017).

2.5 Foto Udara

Foto udara merupakan teknik pengambilan foto permukaan bumi metode penginderaan jauh yang paling tua dan sering digunakan. Foto udara adalah peta foto yang didapatkan dari survei udara dengan melakukan pemotretan melalui udara pada daerah tertentu. Foto tegak merupakan foto pada saat pengambilan objeknya sumbu kamera udara sejajar dengan gravitasi (Tjahjadi & Rifaan, 2020). Foto udara memberikan inventarisasi visual dari Sebagian permukaan bumi dengan cepat dan dapat digunakan dalam pembuatan peta rinci (Sirin, *et. al.*, 2015). Foto udara dibagi menjadi dua jenis, yaitu foto udara metrik dan foto udara non metrik. Foto udara metrik merupakan foto udara yang diperoleh dari kamera udara. Foto udara metrik memiliki ketelitian yang tinggi dikarenakan memang dirancang untuk pemetaan. Dilihat dari jenis tegaknya, foto udara dibedakan menjadi dua, yaitu foto tegak dan foto miring. Foto udara tegak adalah foto yang sumbu kamera berada dalam posisi tegak lurus dengan permukaan bumi. Sedangkan foto miring merupakan foto yang kameranya berada pada posisi miring. Foto yang digunakan untuk keperluan pemetaan merupakan foto udara tegak.

2.6 Digital Surface Model (DSM)

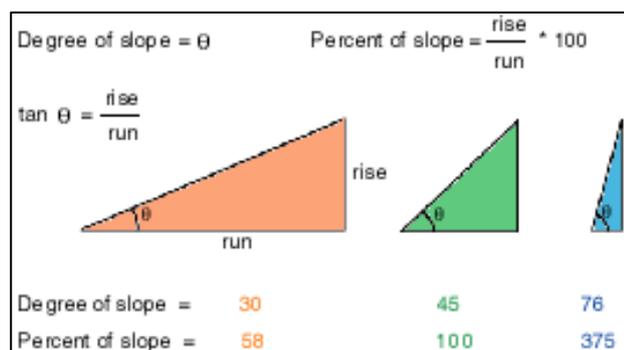
Digital Surface Model (DSM) merupakan representasi muka fisik bumi dari sekumpulan titik-titik koordinat tiga dimensi yang terdapat informasi ketinggian semua objek yang berada pada atas permukaan bumi (Sari & Cahyono, 2016). Data hasil pengolahan *Digital Surface Model* (DSM) meliputi vegetasi, jalan, bangunan, dan fitur terrain alami. *Digital Surface Model* (DSM) dapat dibuat menjadi model tiga dimensi dari berbagai sudut pandang menambahkan tutupan lahan.



Gambar 2.3 Perbedaan DSM dan DTM
(Kevin, *et. al.*, 2019)

2.7 Slope

Peta Kelerengan atau kemiringan lereng merupakan peta yang menunjukkan kondisi tingkat kemiringan pada suatu lahan. *Slope* (kelerengan) merupakan perbandingan antara beda tinggi dan jarak horizontal (Mahmudi, *et. al.*, 2019). Nilai Kelerengan bisa didapatkan dari perhitungan data DEM/DITM selain melalui pengukuran. Kelerengan dinyatakan dalam derajat dari posisi horizontal (0-90) atau persen slope (*percent rise*).



Gambar 2.4 Perhitungan Slope
(Esri, *Understanding Slope*, 2023)

2.8 Area Solar Radiation

Area Solar Radiation merupakan konfigurasi yang terdapat pada *software* pengolahan data spasial yang biasa digunakan untuk menghitung radiasi sinar matahari untuk cakupan yang luas. Peta radiasi matahari membentuk sebuah gambaran pada bangunan yang memiliki potensi untuk pemasangan panel surya atau tidak. Visualisasi dari hasil *Area Solar Radiation* berupa atap bangunan atau tanah dan evaluasinya dapat dilakukan per bangunan atau per area yang dipilih. *Area Solar Radiation* memungkinkan untuk memetakan dan menganalisis efek matahari suatu geografis pada periode waktu tertentu (Nusantara & Dewanto, 2020). Jumlah radiasi total yang dihitung pada area tertentu ditunjukkan sebagai radiasi global. Perhitungan radiasi langsung, radiasi menyebar, dan radiasi global dilakukan berulang untuk setiap lokasi pada permukaan topografi, sehingga menghasilkan peta radiasi untuk seluruh area (Pavlovic & Georgiadis, 2019). Radiasi global ($Global_{tot}$) dihitung berdasarkan jumlah radiasi langsung (Dir_{tot}) dan Radiasi menyebar (Dif_{tot}).

$$(Global_{tot}) = (Dir_{tot}) + (Dif_{tot}) \quad (2.1)$$

Radiasi langsung (Dir_{tot}) pada suatu lokasi merupakan jumlah dari radiasi langsung ($Dir_{\theta,a}$) dari semua bagian matahari.

$$Dir_{tot} = \Sigma Dir_{\theta,a} \quad (2.2)$$

Radiasi langsung dari bagian matahari ($Dir_{\theta,a}$) dengan pusat pada sudut zenith (θ) dan sudut azimuth (α) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Dir_{\theta,a} = S_{Const} * \beta^{m(\theta)} * SunDur_{\theta,\alpha} * SunGap_{\theta,\alpha} * \cos(AngIn_{\theta,\alpha}) \quad (2.3)$$

Dimana:

S_{Const} : pancaran matahari di luar atmosfer pada jarak rata-rata bumi matahari yang dikenal sebagai konstanta matahari. Konstanta matahari yang digunakan pada analisis ini adalah 1367 W/m^2 . Hal ini sesuai dengan konstanta matahari dari World Radiation Center (WRC);

β : Daya pancar atmosfer (rata-rata pada semua panjang gelombang) untuk jalur terpendek (ke arah zenith);

$m(\theta)$: Panjang jalur optik relatif, diukur sebagai proporsi relatif terhadap zenith panjang jalur;

$SunDur_{\theta,\alpha}$: Durasi waktu yang diwakili oleh sektor langit. Untuk sebagian besar sektor, ini sama dengan interval hari (misalnya, satu bulan) dikalikan dengan interval jam (misalnya, setengah jam (0,5)). Untuk sektor parsial, durasi dihitung dengan menggunakan geometri bola;

$SunGap_{\theta,\alpha}$: Fraksi jarak untuk sektor peta matahari;

$AngIn_{\theta,\alpha}$: Sudut antara sudut pusat sektor langit dan sumbu yang normal ke permukaan (dapat dilihat pada persamaan 5).

Panjang optik relatif, $m(\theta)$, ditentukan oleh sudut zenith matahari dan ketinggian di atas permukaan laut. Untuk sudut zenith yang kurang dari 80° , dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$m(\theta) = \text{EXP}(-0.000118 * \text{Elev} - 1.638 * 10^{-9} * \text{Elev}^2) / \cos(\theta) \quad (2.4)$$

Dimana:

θ : Sudut zenith matahari

Elev: Ketinggian diatas permukaan laut (m)

Pengaruh orientasi permukaan diperhitungkan dengan mengalikan dengan kosinus sudut datang. Sudut datang ($AngIn_{\theta,\alpha}$) antara permukaan intersepsi dan sektor langit tertentu dengan pusat massa pada sudut puncak dan sudut azimuth dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$AngIn_{\theta,\alpha} = \text{acos}(\text{Cos}(\theta) * \text{Cos}(G_Z) + \text{Sin}(\theta) * \text{Sin}(G_Z) * \text{Cos}(\alpha - G_a)) \quad (2.5)$$

Dimana:

- **G_Z** : Sudut zenith permukaan. Diperhatikan untuk sudut zenith yang lebih besar dari 80° pembiasan merupakan hal yang penting;
- **G_a** : Sudut azimuth permukaan

Diffuse radiation (Dif_{tot}) merupakan total radiasi difus, jumlah seluruh radiasi yang tersebar oleh partikel di atmosfer. Pada setiap sektor langit, radiasi yang menyebar di dihitung, diintegrasikan dengan interval waktu, dan dikoreksi dengan fraksi celah dan sudut datang.

$$Dif_{\theta,\alpha} = R_{glb} * P_{dif} * Dur * SkyGap_{\theta,\alpha} * Weight_{\theta,\alpha} * \text{cos}(AngIn_{\theta,\alpha}) \quad (2.6)$$

Dimana:

R_{glb} : Radiasi normal secara global. Dapat dilihat pada Persamaan 2.7;

P_{dif} : Proporsi radiasi matahari yang menyebar (difus) dibanding total radiasi yang diterima bumi. Umumnya, pada saat langit memiliki kondisi cerah bernilai 0,2 untuk dan 0,7 untuk kondisi langit yang sangat berawan;

Dur : Interval waktu yang digunakan pada analisis;

$SkyGap_{\theta,\alpha}$: *Gap Fraction* (perbandingan langit yang terlihat) untuk sektor langit. *Gap Fraction* merupakan nilai yang menunjukkan persentase bagian langit yang tidak terhalang awan atau penghalang lainnya di dalam sebuah sektor tertentu. Sektor Langit merupakan bayangan langit dibagi menjadi beberapa bagian, seperti irisan pada jeruk. Setiap irisan tersebut mewakili sebuah sektor langit;

$Weight_{\theta,\alpha}$: Perbandingan radiasi difus yang berasal dari sektor langit tertentu relatif terhadap semua sektor. Dapat dilihat pada Persamaan 2.9;

$AngIn_{\theta,\alpha}$: Sudut datang antara titik pusat sektor langit dan sumbu yang normal ke permukaan. Sudut datang merupakan sudut antara sinar matahari dan permukaan yang menerima radiasi.

Radiasi normal global (R_{glb}) dapat dihitung dengan menjumlahkan radiasi langsung langsung dari setiap sektor (termasuk sektor yang terhalang) tanpa koreksi untuk sudut kejadian, kemudian mengoreksi proporsiradiasi langsung, dengan $1-P_{dif}$.

$$R_{glb} = (S_{const} \sum (\beta^{m(\theta)})) / (1 - P_{dif}) \quad (2.7)$$

Pada model difusi langit seragam, nilai $Weight_{\theta,\alpha}$ dilakukan perhitungan sebagai berikut

$$Weight_{\theta,\alpha} = \frac{Cos_{\theta_2} - Cos_{\theta_1}}{Div_{azi}} \quad (2.8)$$

Dimana:

θ_1 dan θ_2 : Sudut zenith yang membatasi sektor langit;
 Div_{azi} : Jumlah pembagian azimuth pada peta langit.

Pada model *standard overcast sky* (langit berawan), $Weight_{\theta,\alpha}$ dihitung dengan persamaan berikut.

$$Weight_{\theta,\alpha} = \frac{2Cos_{\theta_2} - 2Cos_{\theta_1} - cos2\theta_1 - cos2\theta_2}{4 * Div_{azi}} \quad (2.9)$$

Total radiasi matahari yang menyebar pada suatu daerah (Diftot) dihitung sebagai jumlah radiasi matahari yang menyebar (Dif) dari semua sektor peta langit.

$$Dif_{tot} = \sum Dif_{\theta,a} \quad (2.10)$$

2.9 Parameter Area Solar Radiation

Dalam melakukan perhitungan untuk mendapatkan radiasi matahari dengan menggunakan *software* pengolahan data spasial dengan menggunakan *tools area solar radiation* dibutuhkan beberapa parameter untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Berikut ini merupakan parameter pada *tools Area Solar Radiation*.

<i>Input feature</i>	: Data raster yang memiliki informasi tentang elevasi (DEM)
<i>Latitude</i>	: Garis lintang pada area lokasi penelitian. Dengan satuan derajat dengan nilai positif untuk bagian bumi utara dan negatif untuk bagian bumi selatan. Pada raster yang telah memiliki referensi spasial garis lintang akan dihitung secara otomatis.
<i>Sky size</i>	: Resolusi untuk viewshed, sky map, dan raster sun map yang digunakan dalam perhitungan radiasi. Berikut merupakan rekomendasi dengan interval hari tertentu (Esri, 2019). <ul style="list-style-type: none"> • Interval 1 hari, menggunakan resolusi 1000 atau lebih tinggi; • Interval 0,25 hari, menggunakan resolusi 2000 atau lebih tinggi; • Interval 0,1 jam, menggunakan resolusi 4000 atau lebih tinggi.
<i>Time configuration</i>	: Terdapat 4 pilihan pada konfigurasi <i>area solar radiation</i> yaitu <i>Special Days</i> , <i>Within day</i> , <i>Multiple day</i> dan <i>Whole year</i> (Esri, 2019)
<i>Day interval</i>	: Interval waktu sepanjang tahun yang digunakan untuk menghitung bagian langit di peta matahari dengan satu hari.
<i>Hour Interval</i>	: Interval waktu sepanjang hari yang digunakan untuk menghitung bagian langit di peta matahari dengan satuan jam.
Parameter Topografi	
<i>Z factor</i>	: Parameter ini menyesuaikan nilai z apabila berbeda dengan nilai x,y. Jika nilai x,y dan nilai z dalam satuan yang sama maka nilai z adalah 1.

Sedangkan jika nilai x,y dan nilai z dalam ukuran yang berbeda nilai z harus disamakan terlebih dahulu.

Slope dan Aspect : Menentukan bagaimana informasi tentang kelerenga dan arah kelerengan pada analisis. Terdapat dua pilihan antara lain form the input surface raster dan from a flat surface. form the input surface raster merupakan parameter yang memperhitungkan kelerengan dan arah kelerengan dari data raster yang telah di input sebelumnya. Sedangkan from a flat surface tida memperhitungkan kelerengan dan arah kelerengan sehingga nilai konstanta yang digunakan 0.

Calculate direction : Pada pameter ini nilai yang digunakan berkelipatan 8 (8, 16, 24, 32, dan seterusnya). Untuk nilai 8 atau 16 cukup memadai untuk area dengan topografi yang landai, dan nilai 32 cukup memadai untuk topografi yang rumit.

Parameter Radiasi
Matahari

Zenith & Azimuth divisions : Menunjukkan berapa banyak bagian di peta radiasi matahari difus (sky map) dari mana radiasi bisa datang.

Diffuse proportion : Fraksi pancaran radiasi normal global yang menyebar. Dengan nilai berkisar antara 0 hingga 1. Nilai ini harus ditetapkan menurut kondisi cuaca. Nilai yang umum adalah 0,2 untuk kondisi langit yang sangat jernih dan 0,3 untuk kondisi langit yang umumnya cerah.

Diffuse model type : Tedapat dua pilihan pada paremeter ini antara lain *Uniform_SKY* dan *Standard_Overcast_SKY*. *Uniform_SKY* merupakan model yang mempertimbangkan radiasi difus dianggap seragam dari semua arah sedangkan *Standard_Overcast_SKY* merupakan model dengan radiasi difus yang bervariasi terhadap sudut *zenith*.

2.10 Efisiensi Panel Surya

Kemampuan panel surya dalam menghasilkan listrik tentunya berkaitan dengan teknologi fotovoltaik yang mampu menangkap gelombang elektromagnetik. Efisiensi adalah perbandingan energi yang keluar dari sel surya dengan energi yang masuk dari matahari. Efisiensi ini sendiri bergantung pada spektrum dan juga intensitas dari cahaya matahari dan temperatur sel surya itu sendiri. Sel surya sangat bergantung pada parameter lingkungan misalnya intensitas cahaya, besarnya sudut datang sinar matahari, dan temperatur sel (Setyaningrum & Darminto, 2017). Radiasi matahari merupakan parameter penting untuk memperkirakan produksi listrik pada panel surya. Produksi listrik yang dihasilkan dari panel surya sering sekali diperkirakan karena banyak faktor antara lain jenis panel surya, suhu, debu yang terdapat panel surya, inverter yang tidak bekerja secara maksimal dan lainnya. Sehingga untuk mendapatkan estimasi produksi listrik panel surya digunakan persamaan berikut.

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (2.1)$$

Dimana

E: Daya dalam satuan Kwh;

A: Luas setiap atap (m^2);

r: Efisien panel surya (%);

H: Nilai radiasi matahari pada setiap tapak atap;

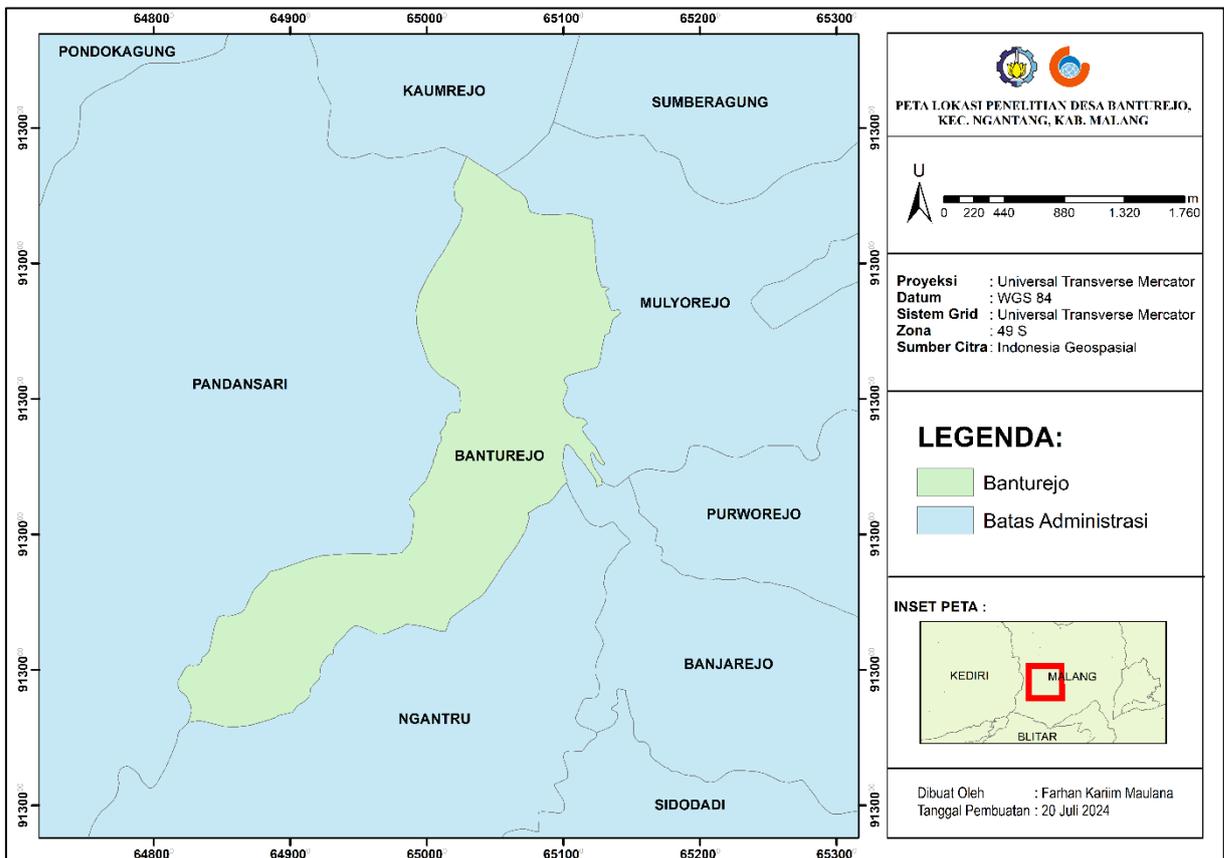
PR: Rasio performa dan koefisien daya (%).

Faktor pada Persamaan 2.1 didapatkan dari *National Renewable Energi Laboratory* (NREL). Dimana nilai dari efisiensi panel (r) adalah 15% dan untuk nilai rasio performa (PR) adalah 86% (Pavlovic & Georgiadis, 2019).

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Metode yang digunakan

Dalam menentukan lokasi potensi panel surya dibutuhkan informasi tentang permukaan tanah, salah satu teknik pengumpulan informasi permukaan tanah dengan menggunakan UAV *Fixed Wing*. Foto udara hasil akusisi UAV *Fixed Wing* dilakukan pengolahan sehingga menghasilkan *Orthophoto* dan *Digital Surface Model (DSM)*. Kemudian hasil tersebut dilakukan digitasi dan perhitungan menggunakan *software* pengolahan data spasial. Penelitian ini dilakukan di Desa Banturejo yang terletak di Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. Desa Banturejo terletak pada $112^{\circ}20'30''$ - $113^{\circ}23'0''$ BT dan $7^{\circ}54'0''$ - $8^{\circ}51'30''$ LS dengan batas wilayah sebelah utara Desa Kaumrejo, sebelah Timur Desa Ngantru, sebelah Selatan Desa Ngantru, dan sebelah Barat Desa Pandansari, Desa Banturejo memiliki total luas sekitar 289 Ha.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian Desa Banturejo, Kabupaten Malang

3.2 Bahan dan peralatan yang digunakan

Adapun data dan peralatan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

3.2.1 Data

Berikut ini adalah data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir antara lain:

1. Data GCP Desa Banturejo diakusisi pada bulan Juli 2023.

2. Data foto udara Desa Banturejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, diakuisisi pada tahun 2023 menggunakan UAV Fixed Wing.
3. Data batas administrasi berformat shapefile (.shp) Desa Banturejo yang bersumber dari Indonesia Geospasial Portal.
4. Data curah hujan bulan Juli Kabupaten Malang oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2023.

Tabel 3.1 Data Curah Hujan BMKG

Bulan	Curah Hujan (mm)	Hari Hujan
Januari	279	20
Februari	210	25
Maret	277	22
April	115	19
Mei	106	8
Juni	83	11
Juli	3	8
Agustus	1	3
September	0	0
Oktober	3	3
November	295	11
Desember	314	20

5. Data foto udara *Drone Thermal* Desa Banturejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang, diakuisisi pada bulan Juli tahun 2023.

3.2.2 Peralatan

Berikut ini adalah peralatan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir antara lain:

A. Perangkat Keras (*hardware*)

- Laptop Laptop HP Victus HU6H1KK dan mouse untuk melakukan proses pengolahan data dan penulisan laporan
- UAV Fixed Wing Skywalker PPK with Sony Alpha 6000 (3 Battery set), wahana yang digunakan pada saat melakukan akuisisi data oleh Terra Drone

Tabel 3.2 Spesifikasi UAV Fixed Wing

Spesifikasi UAV <i>Fixed Wing</i>			
1. <i>Total Flight</i>	3 Flight	5. <i>Sensor Width</i>	23.5 mm
2. <i>Tinggi Terbang</i>	400 m	6. <i>Sensor Height</i>	15.6 mm
3. <i>Image Width</i>	6000 px	7. <i>Focal Lenght</i>	17 mm
4. <i>Image Height</i>	4000 px	8. GSD	9.22 cm/px

B. Perangkat Lunak (*software*)

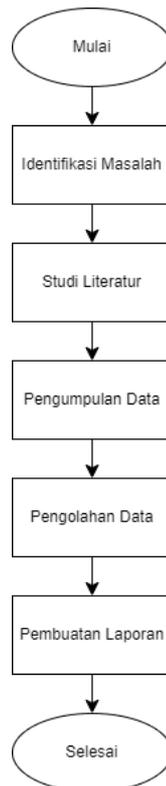
- Agisoft Metashape Professional, untuk melakukan pengolahan foto udara UAV *Fixed Wing*.
- *Software* pengolahan data spasial, untuk melakukan proses digitasi, perhitungan radiasi matahari, dan *layouting*.
- Microsoft Excel, untuk melakukan perhitungan estimasi produksi listrik di Desa Banturejo.
- Microsoft Word digunakan untuk penulisan laporan Tugas Akhir.

3.3 Urutan Pelaksanaan Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian akan dijelaskan tentang diagram alir pelaksanaan penelitian dan diagram alir pengolahan data. Penjelasan mengenai kedua diagram alir tersebut dijabarkan sebagai berikut.

3.2.3 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Adapun diagram alir mengenai tahapan yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 2 Alir Tahapan Penelitian

Penjelasan mengenai diagram tahapan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

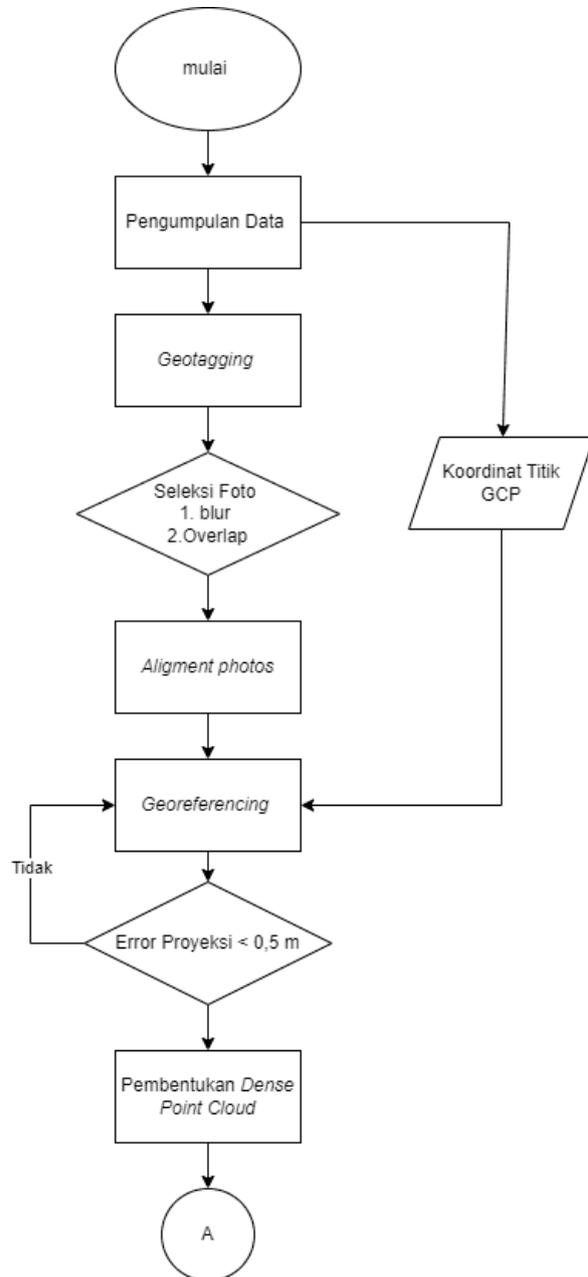
1. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi mengenai permasalahan yang akan dijadikan topik penelitian Tugas Akhir. Identifikasi yang dilakukan pada penelitian ini menghasilkan bagaimana analisis potensi panel surya di Desa Banturejo.

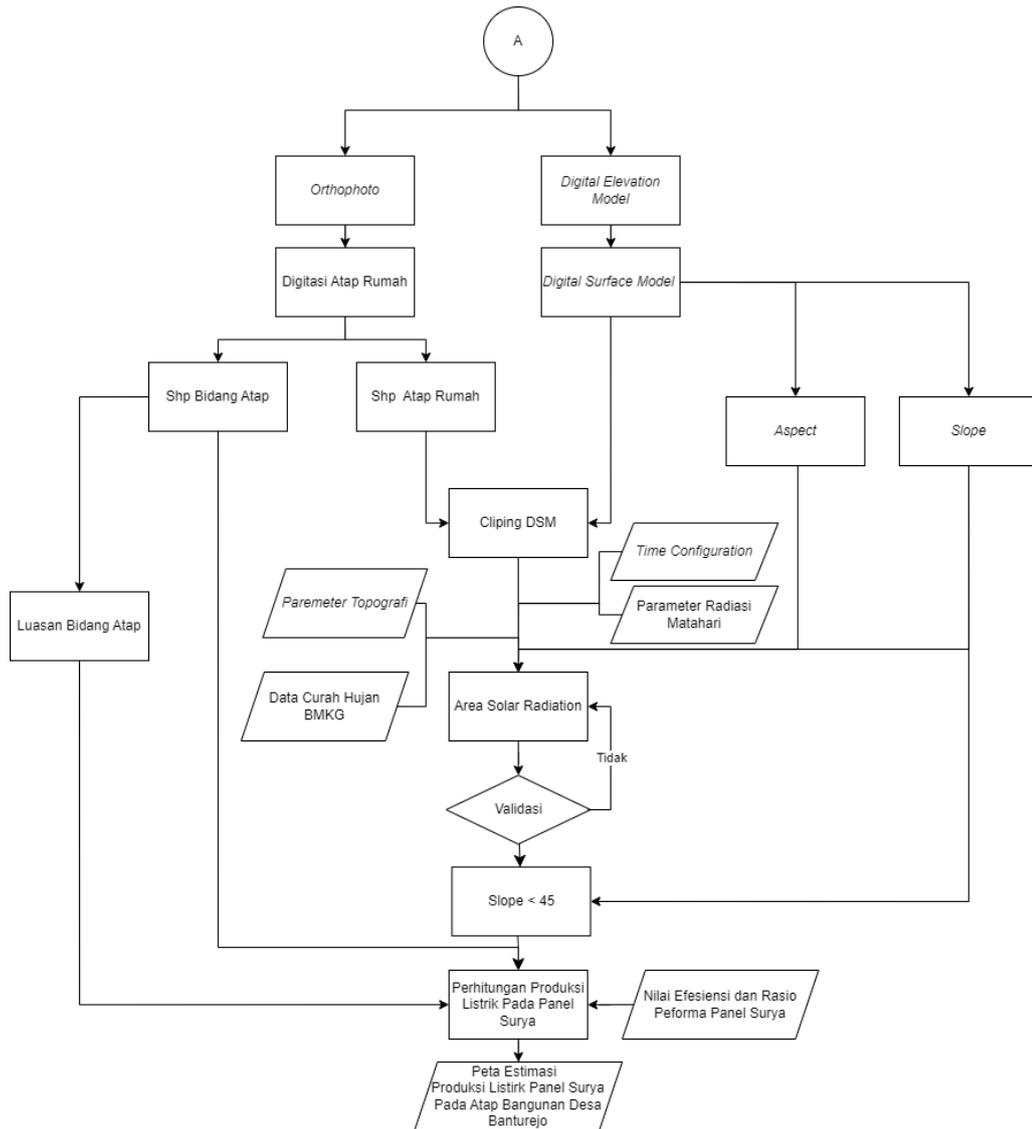
2. Studi Literatur
Tahap studi literatur membantu untuk memperoleh referensi yang mendukung penelitian ini seperti penelitian sebelumnya, pengolahan data, dan analisis data hasil pengolahan. Tahap dapat dilakukan pada jurnal, buku tugas akhir, dan sumber lainnya.
3. Pengumpulan Data
Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk menunjang penelitian Tugas Akhir. Data yang dikumpulkan merupakan data yang telah dikusisi sebelumnya seperti foto udara, GCP, dan data curah hujan.
4. Pengolahan Data
Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengolahan foto udara UAV Fixed Wing, Digitasi dan pengolahan potensi panel surya. Selanjutnya dijelaskan pada tahapan pengolahan data.
5. Pembuatan Laporan
Pembuatan laporan merupakan tahap terakhir pada penelitian Tugas Akhir yang bertujuan untuk melaporkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Tahapan ini dilakukan dengan rinci mulai dari latar belakang, landasan teori yang digunakan, metodologi, hasil, analisis, dan kesimpulan yang didapatkan pada penelitian Tugas Akhir.

3.2.4 Tahapan Pengolahan Data

Tahapan yang dilakukan pada pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengolahan Data



Gambar 3. 4 Lanjutan Diagram Alir Pengolahan Data

Adapun penjelasan diagram alir pengolahan data Tugas Akhir penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini untuk dilakukan pengolahan antara lain adalah hasil foto udara UAV *Fixed Wing* yang telah diakusisi pada bulan juli 2023, data GCP Desa Banturejo, data batas administrasi berformat shapefile (.shp) Desa Banturejo yang bersumber dari Indonesia Geospasial Portal, Data curah hujan bulan Kabupaten Malang oleh Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) tahun 2023, dan data *Drone Thermal* yang telah diakusisi pada bulan juli 2023.

2. Geotagging

Pada pengolahan data foto udara UAV *Fixed Wing* Desa Banturejo dilakukan proses *Geotagging*, proses ini merupakan proses pemberian koordinat pada foto udara. Foto udara yang telah dilakukan *Geotagging* dapat mempermudah dalam melakukan *alignment photo*. Data koordinat didapat dari pengukuran GPS pada bulan Juli 2023 yang telah dikumpulkan.

3. Pengolahan Data Foto Udara UAV *Fixed Wing*
Proses pengolahan foto udara dilakukan dengan menggunakan *software* Agisoft Metashape Pro. Tahap yang dilakukan adalah memasukan foto yang telah dilakukan proses *Geotagging* lalu dilakukan seleksi pada foto udara yang blur dan tidak *overlap*. Setelah itu dilakukan proses *alignment photo* untuk menyatukan foto udara yang telah dikumpulkan. Kemudian foto udara dilakukan proses *Georeferencing* dengan menggunakan GCP yang telah dikumpulkan sebelumnya. Dengan menggunakan GCP dilakukan koreksi geometric dengan menyesuaikan data GCP yang diambil saat pengukuran terhadap titik GCP pada foto. Setelah itu dilakukan proses untuk menghasilkan *Orthophoto* dan *Digital Surface Model (DSM)* dengan cara *Build dense cloud, Build Mesh, Build DEM, Build DSM* dan *Build Orthomosaic*.
4. Digitasi
Digitasi merupakan pembentukan data spasial raster menjadi data vektor dengan menggunakan *software*. Digitasi dilakukan dengan *Orthophoto* hasil pengolahan foto udara UAV *Fixed Wing* sebagai *basemap*. Proses ini dilakukan pada tiap atap dan juga pada tiap tapak atap.
5. *Area Solar Radiation*
Setelah didapatkan *shp* atap bangunan dilakukan pemotongan *Digital Surface Model (DSM)* dengan menggunakan *software* pengolahan data spasial. Kemudian dilakukan proses perhitungan menggunakan *software* pengolahan data spasial, *tools* yang digunakan pada *software* pengolahan data spasial adalah *Area Solar Radiation*. Pada *tools* ini terdapat parameter yang dapat diisi antara lain *time configuration*, parameter topografi, dan parameter radiasi matahari
4. Uji Validasi
Proses ini dilakukan dengan menggunakan data foto udara *Drone Thermal* untuk mengetahui apakah pola sebaran radiasi matahari hasil pengolahan data spasial dengan data temperatur permukaan atap bangunan hasil foto udara *Drone Thermal* telah memiliki pola yang sesuai.
6. Seleksi Data
Hasil dari pengolahan yang telah divalidasi akan diseleksi kembali menggunakan data slope dari hasil pengolahan DSM dengan kemiringan kurang dari 45° , hal ini dikarenakan tekanan angin di sudut kemiringan lebih dari 45 derajat akan memberi tekanan pada panel surya sehingga berdampak pada radiasi matahari yang didapat (Suprojo, *et. al.*, 2018).
7. Perhitungan Estimasi Produksi Listrik
Setelah didapatkan nilai rata-rata radiasi matahari peratapak atap bangunan dengan *software* pengolahan data spasial. Kemudian dilakukan perhitungan jumlah estimasi produksi potensi listrik pada panel surya pada setiap atap bangunan.
8. *Layouting*
Hasil perhitungan kemudian dilakukan pembuatan peta dengan menggunakan *software* pengolahan data spasial. proses ini merupakan tahap terakhir dari proses pengolahan data.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil dan Analisis

Setelah dilakukan pengolahan data pada penelitian ini didapatkan beberapa hasil dan analisa. Berikut merupakan penjelasan hasil dan analisa yang telah diperoleh dari pengolahan yang telah dilakukan.

4.1.1 *Orthophoto dan Digital Surface Model (DSM)*

Pada penelitian ini menggunakan data foto udara UAV *Fixed Wing* yang diakuisisi pada bulan Juli 2023. Dimana keseluruhan foto udara yang diakuisisi dengan menggunakan UAV *Fixed Wing* berjumlah 1.314 foto udara. Titik GCP yang digunakan pada penelitian ini berjumlah 20 titik yang telah . Pada Tabel 4.1 merupakan koordinat GCP yang telah digunakan untuk pengolahan *Orthophoto* dan *Digital Surface Model (DSM)*.

Tabel 4.1 Koordinat Titik GCP

Titik	X (m)	Y (m)	Z (m)
GCP1	649873,878	9128935,909	633,499
GCP2	649767,603	9129039,421	630,506
GCP3	650591,984	9128564,950	638,657
GCP4	650444,946	9129031,787	623,056
GCP5	650169,243	9128028,764	661,829
GCP6	650144,379	9127958,022	665,462
GCP7	650013,823	9127675,152	679,176
GCP8	650329,075	9128539,802	641,012
GCP9	650491,219	9128615,129	638,007
GCP10	649836,380	9128742,314	638,605
GCP11	649872,221	9128802,955	637,716
GCP12	649864,091	9128578,387	646,569
GCP13	649772,886	9128353,572	655,561
GCP14	649733,274	9128254,653	658,848
GCP15	649685,353	9128041,981	668,050
GCP16	650315,860	9128411,074	645,726
GCP17	650045,831	9129044,478	618,339
GCP18	649013,260	9126895,597	766,093
GCP19	649140,843	9127313,442	741,266
GCP20	649130,053	9127122,380	751,736

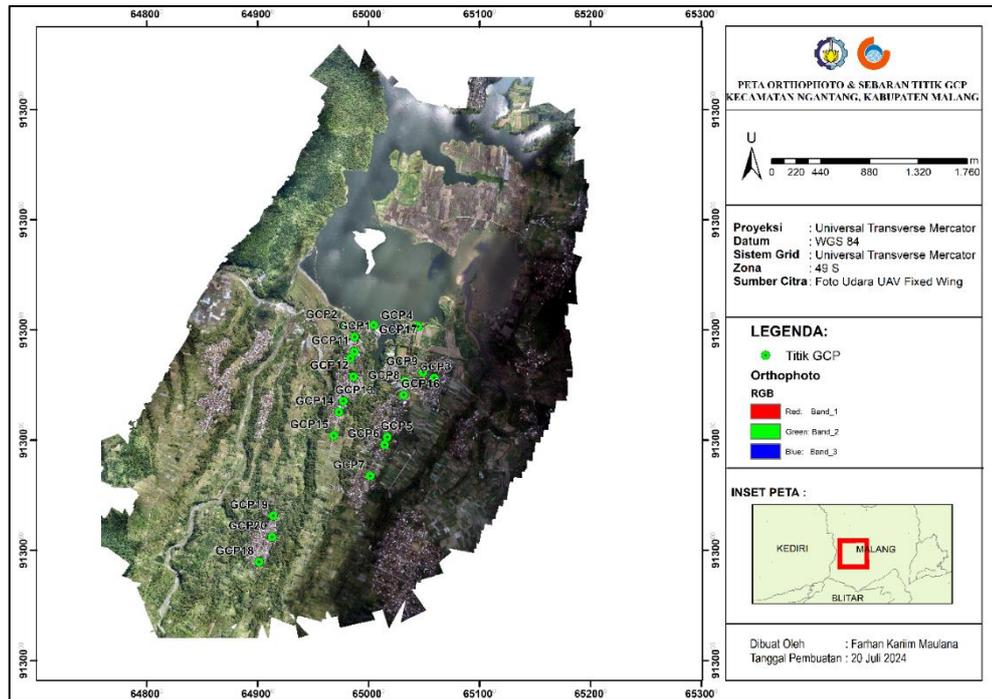
Setelah didapatkan nilai koordinat X, Y, dan Z pada masing-masing titik GCP, selanjutnya dilakukan proses *Georeferencing*. Pada Tabel 4.2 menunjukkan nilai *error* dari hasil *Georeferencing* dengan total nilai sebesar 0,0233 m.

Dimana, *error* terbesar terdapat pada titik GCP 6 dengan *error* sebesar 0,051 m dan nilai *error* terkecil terdapat pada titik GCP 17 dengan nilai *error* sebesar 0,002 m

Tabel 4. 2 *Error Ground Control Point (GCP)*

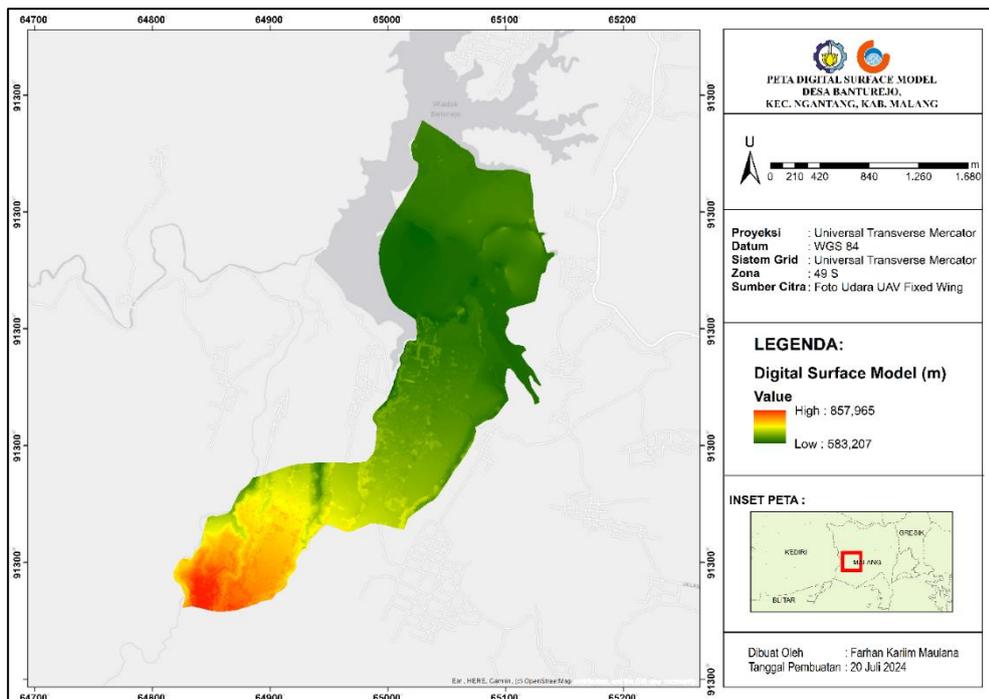
Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Total (m)
GCP 1	0,00928	0,00035	0,00227	0,00956
GCP 2	0,00612	0,00383	0,00927	0,01175
GCP 3	0,00688	-0,00025	0,00839	0,01085
GCP 6	-0,01562	0,04207	0,02587	0,05180
GCP 7	-0,00217	-0,01356	0,00143	0,01381
GCP 8	0,02064	-0,01252	-0,01903	0,03074
GCP 9	0,00297	0,00237	0,00271	0,00467
GCP 10	0,00524	0,00547	0,00020	0,00758
GCP 11	-0,01606	0,00210	-0,00454	0,01683
GCP 12	0,00543	-0,00488	-0,00386	0,00826
GCP 13	-0,01671	-0,00376	-0,00465	0,01775
GCP 14	-0,00188	0,01224	0,00799	0,01474
GCP 15	-0,01415	0,00937	0,01679	0,02387
GCP 16	-0,01434	-0,02087	-0,02602	0,03630
GCP 17	0,00215	-0,00098	-0,00079	0,00249
GCP 18	-0,01283	0,01473	0,00771	0,02100
GCP 19	0,02811	-0,03272	-0,01860	0,04697
GCP 20	0,00696	-0,00299	-0,00515	0,00916
Total				0,0233

Hasil dari pengolahan foto udara pada *Orthophoto* mendapatkan resolusi 8,12 cm/pix dan *Digital Surface Model (DSM)* mendapatkan resolusi 1,84 cm/pix. Pada Gambar 4.1 merupakan hasil pengolahan foto udara menjadi *Othophoto*.



Gambar 4.1 Peta Orthophoto UAV Fixed Wing Kecamatan Ngantang

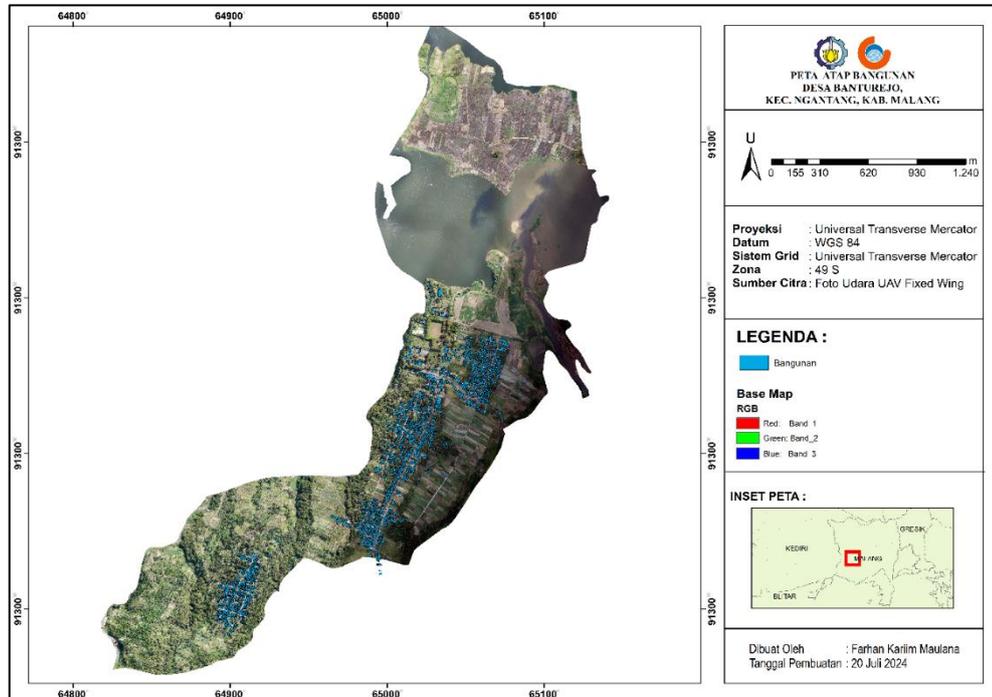
Dapat dilihat pada Gambar 4.2 Dari hasil *Digital Surface Model (DSM)* Desa Banturejo memiliki ketinggian 583,207-857,965 m dimana ketinggian terendah ditunjukkan dengan warna hijau yang merupakan daerah waduk dan ketinggian tertinggi ditujukan pada warna merah yang merupakan daerah dengan dataran tinggi di Desa Banturejo.



Gambar 4.2 Peta Digital Surface Model (DSM) Desa Banturejo

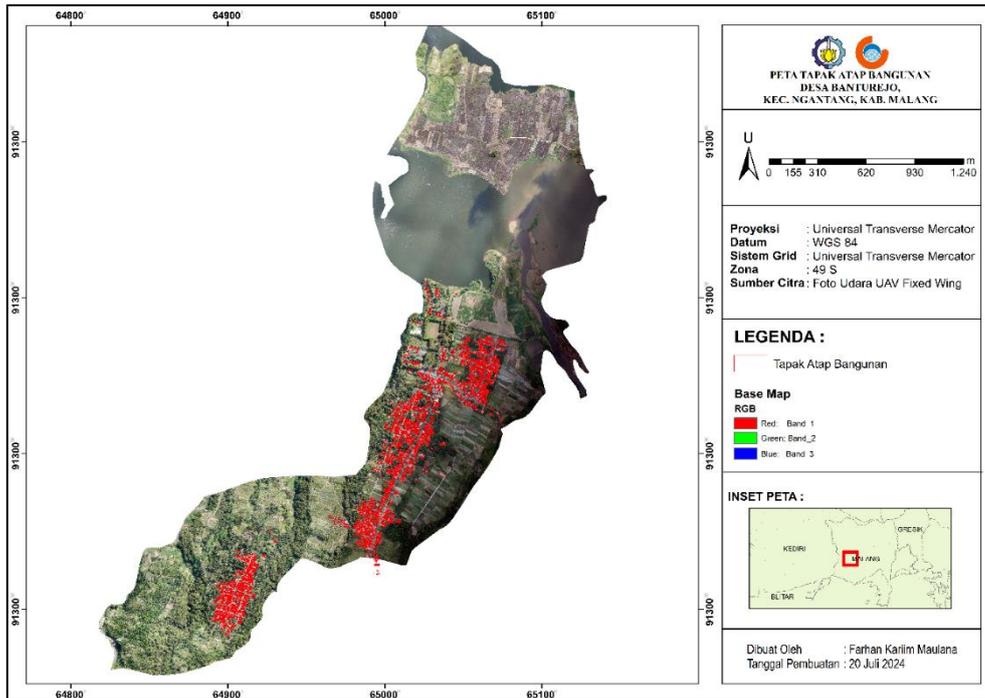
4.1.2 Digitasi Atap Bangunan dan Tapak Atap Bangunan

Digitasi dilakukan untuk mengubah fitur geografis dengan format raster menjadi format vektor. Pengolahan tersebut dilakukan pada *software* pengolahan data spasial dengan jenis fitur *polygon*.



Gambar 4.3 Peta Hasil Digitasi Pada Setiap Atap Bangunan Desa Banturejo

Orthophoto yang dihasilkan dapat membantu dalam proses digitasi untuk dijadikan sebagai *basemap*. Dapat dilihat pada Gambar 4.3 proses ini dilakukan tidak hanya pada bagian atap bangunan rumah saja, melainkan pada seluruh bangunan yang terdapat di Desa Banturejo seperti masjid, penginapan, pabrik, dan lain sebagainya. Hasil tersebut dijadikan acuan untuk dilakukan digitasi kembali pada tapak atap bangunan dengan bantuan *Orthophoto* dalam menentukan orientasi tapak atap.



Gambar 4.4 Peta Hasil Digitasi Pada Tapak Atap Bangunan Desa Banturejo

Oleh karena itu, digitasi menghasilkan 1954 atap bangunan dengan rentang luas 4,43 – 887,95 m² dan menghasilkan 6467 tapak atap. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 merupakan hasil dari digitasi tapak atap bangunan.

4.1.3 Hasil Distribusi Radiasi Matahari Pada Setiap Atap

Radiasi matahari Desa Banturejo diperoleh dengan pengolahan menggunakan *tools area solar radiation* yang terdapat pada *software* pengolahan data spasial. Dimana *tools Area Solar Radiation* merupakan konfigurasi dari *software* pengolahan data spasial untuk menghitung radiasi sinar matahari pada cakupan yang luas. Parameter yang digunakan pada *tools Area Solar Radiation* dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Parameter Tools Area Solar Radiation

Bulan	<i>Input Raster</i>	<i>Latitude</i>	<i>Sky size</i>	<i>Time configuration</i>	<i>Day Interval</i>	<i>Hour Interval</i>
Januari	Data Digital Surface Model (DSM)	(Berdasarkan Input Raster)	1000	Multiple Days	1 Hari	3 Jam
Februari						
Maret						
April						
Mei						
Juni						
Juli						
Agustus						
September						
Oktober						
November						
Desember						

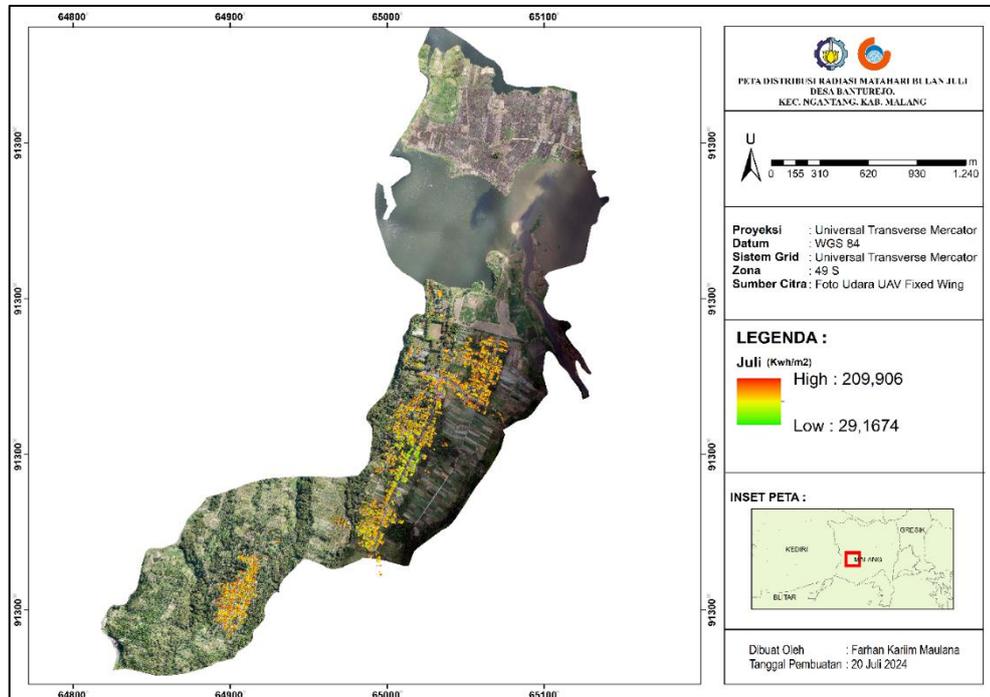
Bedasarkan tabel tersebut terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk melakukan perhitungan menggunakan *tools area solar radiation*. Pada penelitian ini untuk data *input raster* memasukan data *digital surface model* (DSM), hal ini dikarenakan dengan data tersebut dapat memberikan informasi tentang ketinggian dan kemiringan suatu atap. Kemudian terdapat parameter *latitude*, parameter ini akan terisi secara otomatis berdasarkan *input raster* yang kita masukan. Parameter tersebut digunakan dalam perhitungan deklansi matahari dan posisi matahari. Setelah itu terdapat parameter *sky size* dengan nilai 1000 pixel/sisi. Untuk interval 1 hari disarankan untuk mengisi *sky size* 1000 pixel/sisi (Esri, 2019). Semakin besar nilai *sky size* maka akurasi perhitungan semakin tinggi, tetapi membuat waktu pengolahan menjadi lebih lama. Kemudian pada penelitian ini untuk *time configuration* memilih parameter *multiple days* dengan memilih tahun 2023 dengan interval 1 bulan. Untuk parameter *day interval* dan *hour interval* memilih interval 1 hari dan 3 jam. *Hour interval* memilih interval 3 jam sekali dikarenakan pada penelitian ini pergerakan matahari dianggap diskrit.

Tabel 4. 4 Lanjutan Parameter Tools Area Solar Radiation

<i>Z factor (optional)</i>	<i>Slope and Aspect</i>	<i>Calculate direction</i>	<i>Diffuse Model Type</i>	<i>Transmittivity</i>	<i>Diffuse proportion</i>
1	<i>Form the input surface raster</i>	32	<i>Standart Overcast Sky</i>	0,6	0,3
				0,9	0,1
				0,7	0,2
				0,6	0,3
				0,3	0,7
				0,4	0,6
				0,3	0,7
				0,1	0,9
				0	0,9
				0,1	0,9
				0,4	0,5
				0,6	0,3

Pada penelitian ini *Z factor* diisikan nilai 1 dikarenakan satuan nilai x,y telah dikonversi menjadi satuan meter yang dimana satuan tersebut telah sama dengan nilai z atau ketinggian. Kemudian terdapat parameter *slope and aspect*, parameter terdapat dua pilihan yaitu *form the input surface raster* dan *form the flat surface*. Pada penelitian kali ini parameter yang dipilih adalah *form the input surface raster* dikarenakan pada penelitian ini memperhitungkan kelerengan dan arah kelerengan dari suatu atap bangunan. Pada permukaan topografi yang rumit disarankan memasukan nilai *calculate direction* 32. Dikarenakan pada daerah Desa Banturejo merupakan daerah perbukitan. Pada penelitian ini untuk *diffuse model type* memilih model *standart overcast sky*. Pada perhitungan model ini akan memperhitungkan jumlah radiasi matahari yang tersebar (radiasi difus) akan berubah-ubah tergantung pada sudut zenith posisi matahari. Pada parameter *Transmittivity*, semakin besar angka maka semakin kecil radiasi matahari yang terima pada permukaan bumi. Nilai *Transmittivity* didapatkan dari data curah

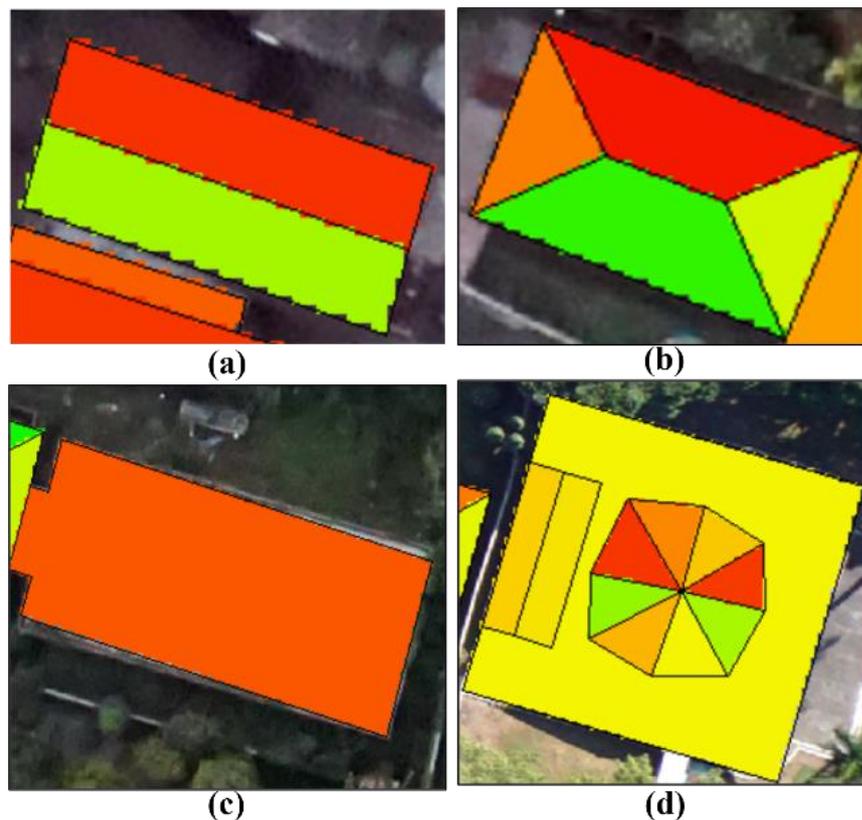
hujan yang diperoleh dari data BMKG yaitu presentasi hari hujan. *Diffuse proportion* s adalah bagian dari jumlah pancaran radiasi normal global yang menyebar. Parameter *diffuse proportion* merupakan kebalikan dari parameter *transmittivity*. Hasil pengolahan dari *tools Area Solar Radiation* pada tiap bulan memiliki satuan Wh/m^2 yang kemudian dilakukan konversi menjadi Kwh/m^2 untuk mempermudah pada perhitungan selanjutnya .



Gambar 4. 5 Peta Distribusi Radiasi Matahari Bulan Juli Desa Banturejo

Dapat dilihat pada Gambar 4.5 merupakan peta radiasi matahari Desa Banturejo pada bulan Juli. Dengan radiasi tertinggi ditunjukkan dengan warna merah yang memiliki nilai 209,906 Kwh/m^2 dan radiasi terendah ditunjukkan dengan warna hijau yang memiliki nilai 29,167 Kwh/m^2 . Namun, bentuk atap yang berbeda juga dapat berpengaruh pada radiasi matahari yang diterima. Pada Desa Banturejo terdapat berbagai macam bentuk atap, berikut merupakan radiasi matahari di beberapa bentuk atap pada Desa Banturejo.

Pada Gambar 4.6 merupakan distribusi radiasi matahari pada atap bangunan yang memiliki orientasi berbeda-beda. Dimana pada Gambar (a) atap dengan bentuk pelana, mendapatkan distribusi maksimal terdapat pada atap yang memiliki orientasi ke arah timur laut sedangkan pada atap yang mengarah ke barat daya cenderung rendah. Atap yang memiliki bentuk limas seperti pada Gambar (b) memiliki distribusi tertinggi pada atap yang mengarah ke timur laut dan ke arah barat laut cenderung sedang. Tetapi pada atap yang memiliki orientasi tenggara dan barat daya cenderung rendah. Pada atap yang memiliki permukaan datar seperti pada Gambar (c) terdistribusi secara merata ke seluruh permukaan atap. Pada Gambar (d) merupakan atap yang bentuk berpotongan, pelana, dan permukaan datar. Dimana pada atap tersebut radiasi terdistribusi paling tinggi pada atap yang memiliki orientasi timur laut.

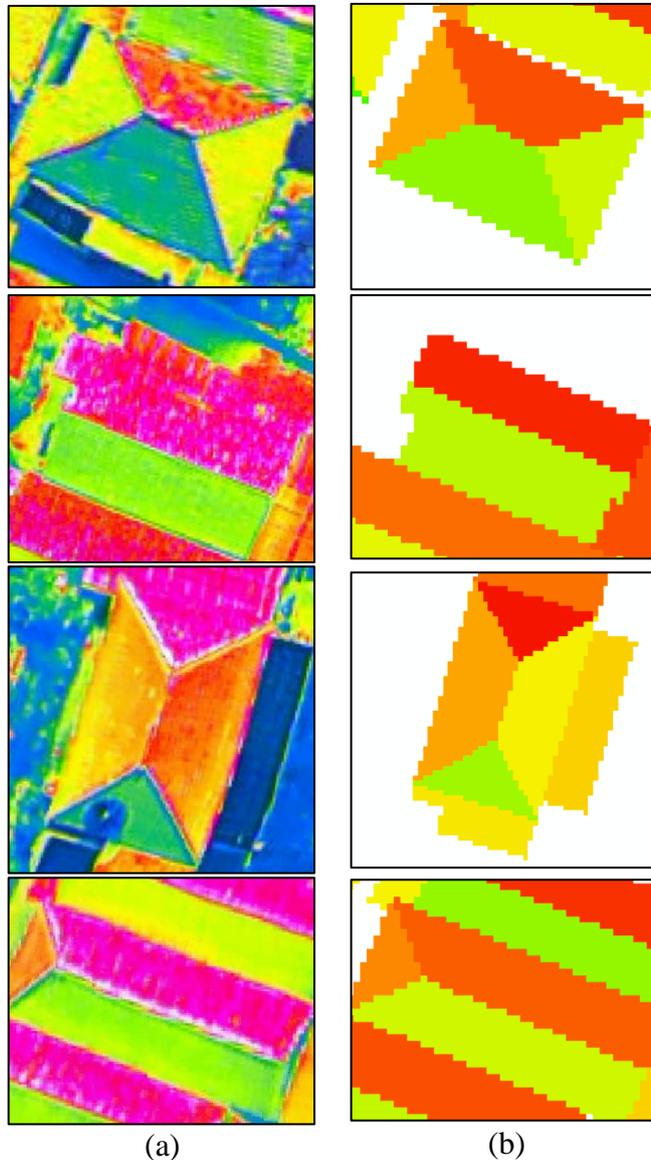


Gambar 4. 6 Distribusi Radiasi Matahari Pada Bulan Juli
 Berdasarkan (a) Atap Pelana, (b) Atap Limas, (c) Atap Datar, (d) Atap Berpotongan, Pelana, dan Permukaan Datar.

Sedangkan pada atap dengan orientasi barat daya, tenggara dan datar cenderung sedang, pada atap dengan orientasi selatan cenderung rendah. Pada atap (d) terdapat atap yang memiliki atap datar dengan distribusi yang merata. Namun dikarenakan atap tersebut memiliki 3 bentuk yang berbeda radiasi matahari terdistribusi dari berbagai arah. Distribusi radiasi matahari tersebut dipengaruhi oleh gerak semu tahunan matahari pada bulan Juli yang memiliki kemiringan $23,5^{\circ}$ lintang utara (Wijaya, 2010) . Hal ini menyebabkan pada bulan Juli distribusi tertinggi pada orientasi timur laut

4.1.4 Validasi dengan Data Drone Thermal

Uji Validasi dilakukan dengan membandingkan pola sebaran radiasi matahari hasil pengolah menggunakan *software* pengolahan data spasial dengan data temperatur atap bangunan hasil foto udara *Drone Thermal*. Uji validasi ini dilakukan dengan menggunakan data *Drone Thermal* dikarenakan temperatur permukaan berbanding lurus (Yusoff, *et. al.*, 2019).



Gambar 4. 7 Validasi Perbandingan Hasil Pengolahan Dengan Data Drone Thermal
(a) Data *drone thermal* (b) Hasil Pengolahan

Validasi yang dilakukan dengan membandingkan visual kedua data tersebut dengan empat sampel yang diambil disamakan dengan waktu akusisi *Drone Thermal*,. Hal tersebut dikarenakan keterbatasan cakupan area dari data validasi *Drone Thermal*. Pada Gambar 4.7 merupakan visualisasi validasi perbandingan hasil pengolahan dengan data *Drone Thermal* pada 4 atap. Validasi menggunakan *data drone thermal* menunjukkan pola yang sesuai, dimana atap yang mendapatkan distribusi tertinggi pada bulan Juli merupakan tapak atap yang mengarah ke timur laut.

4.1.5 Analisis Estimasi Produksi Listrik

Dalam mendapatkan nilai estimasi produksi listrik pada panel surya dilakukan perhitungan efisiensi panel surya. Salah satu faktor yang menyebabkan berkurangnya produksi listrik pada panel surya adalah curah hujan. Pada kondisi cuaca yang mendung, efisiensi panel surya mengalami penurunan yang signifikan (Putri, et al., 2024).

Tabel 4.5 Kategori Curah Hujan BMKG

Rentang Curah Hujan	Label	Kategori Curah Hujan
0,5 - 20 mm/hari	1	Ringan
21 - 50 mm/hari	2	Sedang
51 - 100 mm/hari	3	Lebat
>100 mm/hari	4	Sangat Lebat

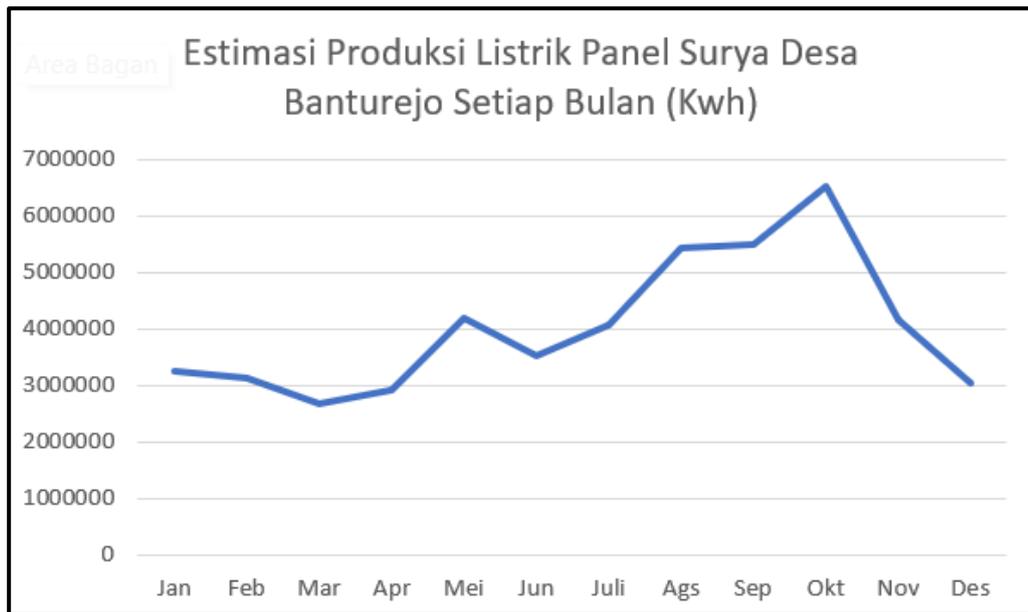
Dapat dilihat pada Tabel 3.1 merupakan curah hujan di Desa Banturejo. Data curah hujan tersebut dilakukan pengkategorian berdasarkan Tabel 4.5 yang merupakan kategori curah hujan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Pada 4.6 merupakan kategori curah hujan di Desa Banturejo, Kabupaten Malang.

Tabel 4.6 Kategori Curah Hujan Desa Banturejo

Bulan	Kategori Curah Hujan
Januari	Sangat Lebat
Februari	Sangat Lebat
Maret	Sangat Lebat
April	Sangat Lebat
Mei	Lebat
Juni	Lebat
Juli	Ringan
Agustus	Ringan
September	Ringan
Oktober	Ringan
November	Sangat Lebat
Desember	Sangat Lebat

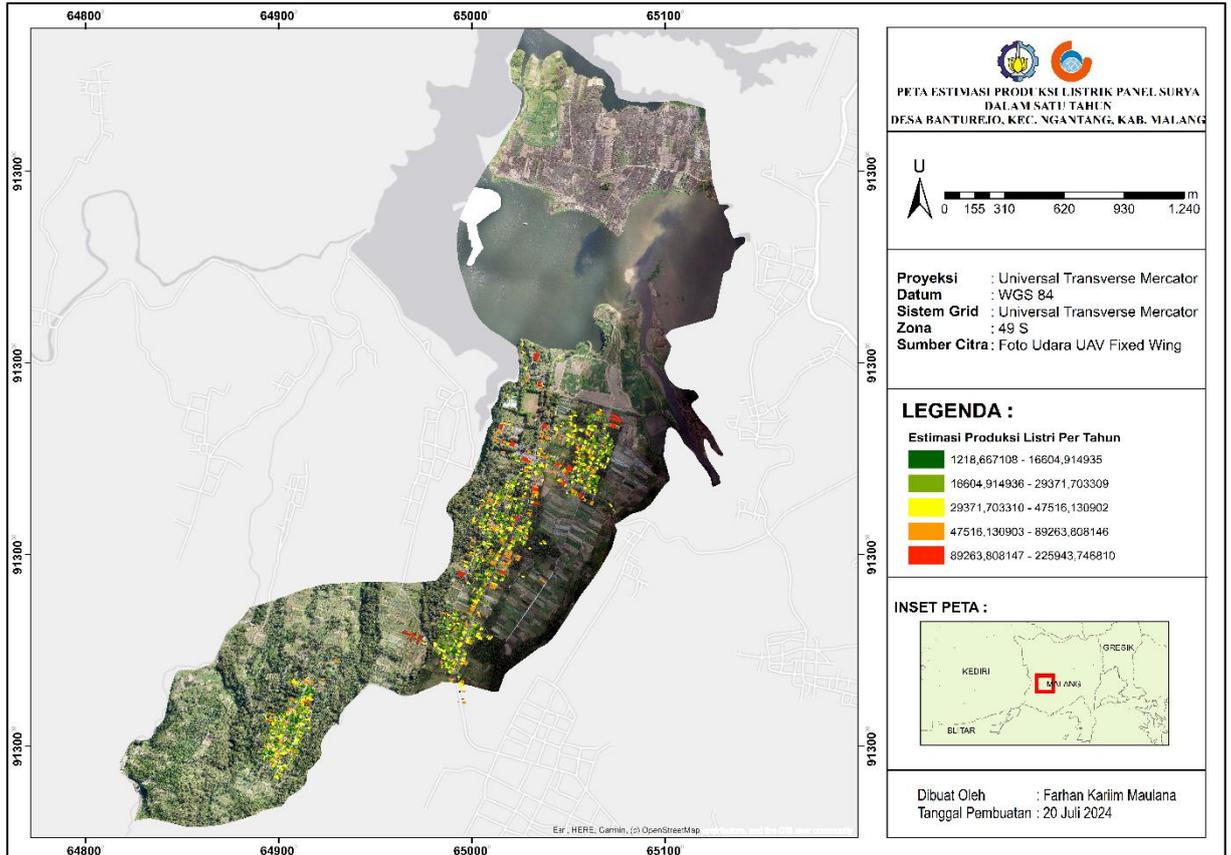
Pada bulan Januari sampai dengan bulan April Desa Banturejo mengalami hujan yang sangat lebat. Setelah itu pada bulan Mei hingga bulan Juni mengalami penerunan curah hujan menjadi lebat. Pada bulan Juli hingga sampai dengan bulan Oktober curah hujan di Desa Banturejo cenderung ringan. Sedangkan pada bulan November dan Desember curah hujan kembali sangat lebat. Curah hujan tersebut dapat mempengaruhi produksi listrik pada panel surya dikarenakan paparan radiasi matahari yang kurang memiliki pengaruh terhadap produktifitas panel surya, sehingga menyebabkan berkurangnya produksi listrik yang dihasilkan oleh panel surya. Nilai radiasi matahari yang telah didapatkan dari hasil pengolahan dilakukan perhitungan efisiensi panel surya dengan Persamaan 2.1 sehingga mendapatkan nilai

estimasi produksi listrik pada panel surya. Pada Gambar 4.7 merupakan grafik estimasi produksi listrik dari total keseluruhan atap bangunan setiap bulan pada tahun 2023 di Desa Banturejo.



Gambar 4.8 Grafik Estimasi Produksi Listrik Setiap Bulan Desa Banturejo

Estimasi produksi listrik di Desa Banturejo pada bulan Oktober mendapatkan nilai tertinggi yaitu dengan total dari seluruh atap diestimasi memproduksi listrik 6.530.811,149 Kwh. Namun, pada bulan Maret mendapatkan nilai terendah dengan nilai rata-rata estimasi 2.678.205,023 Kwh. Hal tersebut dikarenakan faktor curah hujan di Desa Banturejo pada bulan Oktober cenderung ringan dan pada bulan Maret. Nilai estimasi produksi listrik di Desa Banturejo yang telah didapatkan, diasumsikan panel surya dipasangkan pada seluruh bagian atap dengan luasan atap yang berbeda beda, sehingga menghasilkan nilai yang cenderung tinggi.



Gambar 4. 9 Peta Estimasi Produksi Listrik Tahun 2023 Desa Banturejo

Hasil perhitungan produksi listrik kemudian dijumlah untuk mendapatkan nilai produksi listrik Desa Banturejo dalam satu tahun. Pada Gambar 4.8 merupakan visualisasi peta estimasi produksi listrik di Desa Banturejo. Dimana Desa Banturejo pada tahun 2023 diestimasikan dapat memproduksi 1.228,66 – 225.943,74 Kwh dengan rentang luasan atap 4,43 – 887,95 m².

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengolahan foto udara UAV *Fixed Wing* yang telah dilakukan, terdapat pergeseran nilai *error* sebesar 0,02 m. *Orthophoto* yang dihasilkan memiliki resolusi 8,12 cm/pix, sedangkan DSM memiliki resolusi 1,84 cm/pix. Dari DSM, dapat dilihat bahwa Desa Banturejo memiliki ketinggian yang berbeda-beda, mulai dari 857,965 m merupakan daerah waduk hingga 583,207 m merupakan daerah dataran tinggi.
2. Distribusi radiasi pada bulan Juli maksimal terdapat pada atap yang memiliki orientasi timur laut. Sedangkan distribusi terendah terdapat pada atap dengan orientasi barat daya. Pada atap yang memiliki permukaan datar radiasi matahari terdistribusi secara merata. Distribusi dilakukan validasi dengan data *drone thermal* pada 4 atap. Hasil validasi pada keempat atap tersebut memiliki hasil sesuai dengan distribusi tertinggi terdapat pada atap dengan orientasi timur laut dan yang terendah terdapat pada pada orientasi selatan atap. Setelah didapatkan nilai radiasi matahari yang telah divalidasi pola sebarannya dilakukan perhitungan estimasi produksi listrik. Pada perhitungan terdapat beberapa faktor antara lain luas atap (m^2), nilai radiasi matahari (Kwh), efisiensi panel surya (%), dan performa rasio panel surya (%).
3. Estimasi produksi listrik di Desa Banturejo menunjukkan nilai estimasi tertinggi terdapat pada bulan Oktober yaitu 6.530.811,149 Kwh sedangkan yang terendah pada bulan Maret yaitu 2.678.205,023 Kwh dari total seluruh bangunan . Hal ini disebabkan oleh perbedaan curah hujan di Desa Banturejo. Pada bulan Oktober, hanya curah hujan cenderung ringan dan pada bulan Maret curah hujan sangat lebat. Peta estimasi produksi listrik panel surya menunjukkan bahwa pada Desa Banturejo pada tahun 2023 diestimasikan panel surya dapat menghasilkan listrik sekitar 1.228,66 - 225.943,74 Kwh dengan rentang luas atap 4,43 – 887,95 m^2 .

5.2 Saran

Saran yang didapatkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pada saat akuisisi data foto udara UAV *Fixed Wing* sebaiknya dilakukan pada waktu yang sama agar hasil *orthophoto* yang dihasilkan memiliki warna yang sama.
2. Pada hasil digitasi sebaiknya dilakukan *ground truth* agar hasil digitasi semakin presisi sehingga mendapatkan luas tapak atap yang lebih teliti untuk dilakukan perhitungan.
3. Pada hasil estimasi produksi listrik dilakukan pertimbangan dengan spesifikasi panel surya tertentu agar hasil lebih akurat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afif, F., & Martin, A. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Energi Surya di Indonesia. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 43-52.
- Dewi, A. Y., & Antonov. (2013). Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Suplai Cadangan Pada Laboratorium Elektro Dasar Di Institut Teknologi Padang. *Jurnall Teknik Elektro Volume 2 No. 3*, 20-21.
- Esri. (2019). *Area Solar Radiation (Spatial Analyst)*. Diambil kembali dari ArcGis Pro: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/area-solar-radiation.htm>
- Esri. (2023). *Understanding Slope*. Diambil kembali dari ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/understanding-slope.htm>
- Hadi, B. S. (2007). *Dasar-Dasar Fotogrametri*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Geografi Fakultas Ilmu Sosial Dan Ekonomi Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hardianto. (2019). Utilization of Solar Power Plant in Indonesia: A Review . *International Journal Of Environment, Engineering & Education*, 1-8.
- Hasan, M. H., Mahlia, T., & Nur, H. (2012). A review on energy scenario and sustainable energy in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Review*.
- Kerong, R. G., Thahjadi, M. E., & Agustina, F. D. (2022). Kajian Perbandingan Akurasi DTM Pengolahan Data Foto Udara Menggunakan Metode Otomatis Dan Semi-Otomatis Filterin. *Jambura Geoscience Review*, 69-85.
- Kevin, F. J., Prasetyo, Y., & Sukmono, A. (2019). Analisis Akurasi DTM Hasil Ekstraksi Data Pemetaan AIRBORNE LiDAR Skala Besar Menggunakan Algoritma Cloth Simulation Filtering, Parameter-Free Ground Filtering dan Simple Morphological Filtering Terhadap Slope Based Filtering. *Jurnal Geodesi Undip*, 196-197.
- Mahmudi, Subiyanto, S., & Yuwono, B. D. (2015). Analisis Ketelitian DEM ASTER GDEM, SRTM, dan LIDAR Untuk Identifikasi Area Pertanian Tebu Berdasarkan Parameter Kelerengan. *Jurnal Geodesi Undip*.
- Nusantara, G. C., & Dewanto, B. G. (2020). Analisis Potensi Tenaga Surya Pada Pemodelan Bangunan Tiga Dimensi Berdasarkan Data Open Street Map (Studi Kasus: Universitas Gajah Mada Yogyakarta). *Elipsoida*, 38-45.
- Pavlovic, B., & Georgiadis, M. P. (2019). The Application of ArcGIS For Assessing The Potential Of Solar Energy In Urban Area : The Case Of Vranje. *12th International Conference on Energy and Climate Change*.
- Putri, R. A., Yanwar, S. T., Everlin, S. M., & Herupratama, S. A. (2024). Studi Efisiensi Panel Surya Dalam Menghasilkan Listrik Di Berbagai Kondisi Cuaca. *Journal of Physics Educations*, 23-24.

- Rombe, A., Marausna, G., & Jayadi, F. (2021). Analisa Karakteristik Aerodinamika Pada Pesawat UAV Fixed Wing Tenaga Surya Dengan AIRFOIL Tipe MH32. *Teknika STTKD : Jurnal Teknik, Elektronik, Engine Vol 7, No. 2*, 197-198.
- Santhiarsa, I. N., & Kusuma, I. B. (2005). Kajian Energi Surya Untuk Pembangkit Tenaga Listrik. *Kajian Energi Surya*, 29-30.
- Sari, D. R., & Cahyono, A. B. (2016). *Analisa Geometrik True Orthophoto Data Lidar*. Surabaya.
- Setyaningrum, Y., & Darminto. (2017). *Pengukuran Efisiensi Panel Surya Tipe Monokristalin dan Karakterisasi Struktur Material Penyusunnya*. Surabaya.
- Sirin, D. N., Salyasari, N. D., Maryanto, A., & Widipaminto, A. (2015). Standardisasi Prosedur Pengambilan Foto Udara dengan Pesawat LSA. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*.
- Suprojo, B., Utami, W., Saraswati, L. A., Nabila, D. A., & Salim, M. N. (2022). Digital Earth Surface Model for The Estimation. *Geoplanning*, 103-120.
- Szabbo, L. (2017). The History of Using Solar Energy. *Modern Powes System*.
- Tjahjadi, M. E., & Rifaan, M. (2020). Foto Udara Menggunakan Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Untuk Pemodelan 3D Jalan Raya.
- Widayana, G. (2012). Pemanfaatan Energi Surya. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 37-40.
- Wijaya, A. C. (2010). *Gerak Semu Bumi dan Bulan*. Jayapura: Digital Learning Lesson Study Jayapura.
- Wulan, R. T., Ambarwulan, W., Putra, A. S., Ibrahim, F., Putra, M. D., Maryanto, D., . . . Maulana, E. (2017). Pemetaan Cepat Kawasan Terdampak Bencana Longsor dan Banjir di Kabupaten Bangli, Provinsi Bali. *Majalah Geografi Indonesia*, 44-50.
- Wulan, T. R., Ambarwulan, W., Putra, A. S., Ibrahim, F., Putra, M. D., Maryanto, D., . . . Maulana, E. (2017). Pemetaan Cepat Kawasan Terdampak Bencana Longsor dan Banjir di Kabupaten Bangli, Provinsi Bali. *Majalah Geografi Indonesia Vol. 31, No. 2*, 44-45.
- Yusoff, M. I., Ibrahim, S., Irwanto, M., & Nair, G. (2012). Relationship Between The Solar Radiation and Surface Temperature in Perlis. *Advanced Materials Research Vols. 512-515*, 145-146.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi UAV *Fixed Wing Skywalker PPK with Sony Alpha 6000*



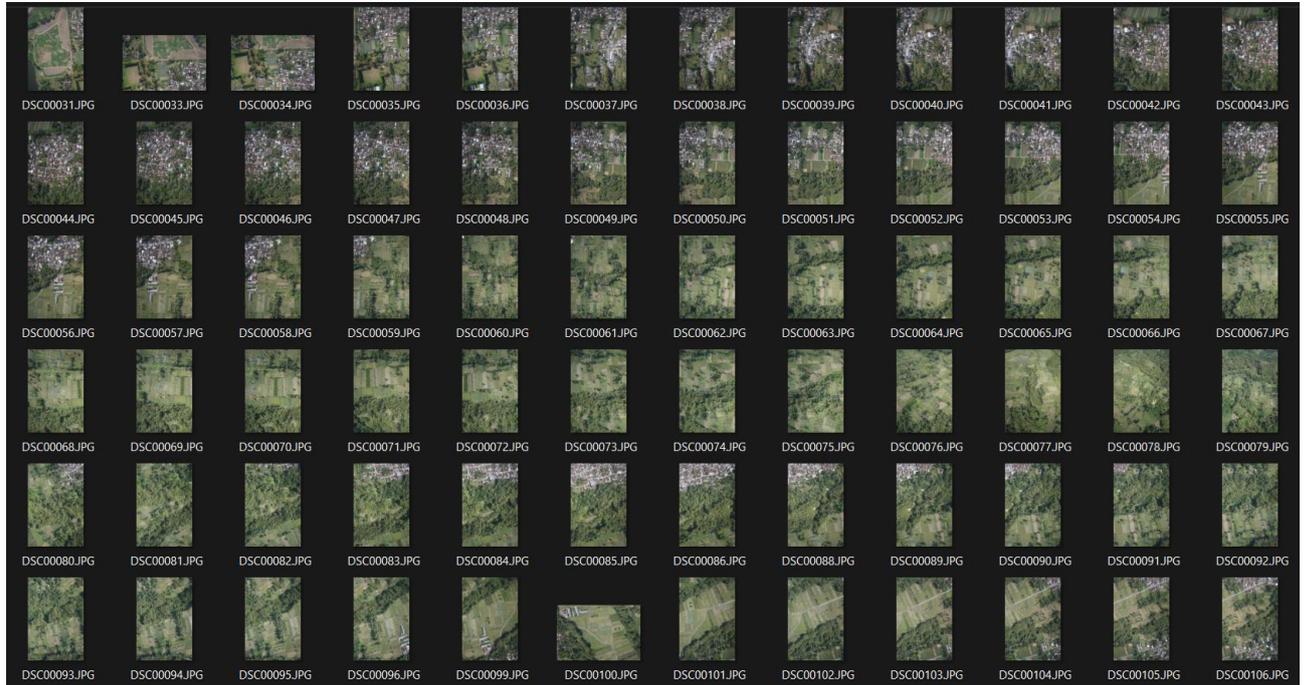
Spesifikasi <i>Skywalker PPK</i>			
1. Rentang Sayap	: 1900 mm	5. Battery	: 4000-5000 mah
2. Panjang Pesawat	: 1300 mm	6. Kecepatan di Udara	: 40 Km/h
3. Waktu Terbang Maksimal	: 25 min	7. Take off	: Dilemparkan dengan tangan
4. Tinggi Terbang Maksimal	: 200 m	8. Landing	: Meluncur ke bawah



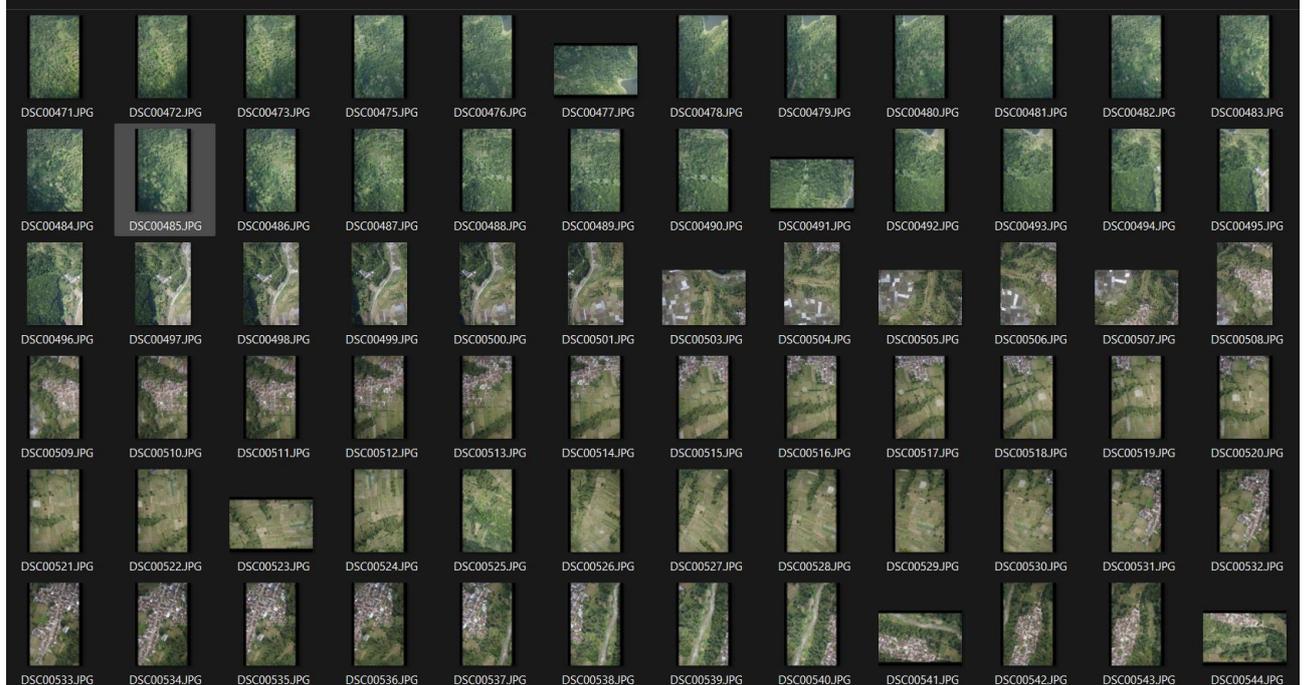
Spesifikasi Sony Alpha 6000			
1. Sensor	: CMOS APS-C 24.3MP Exmor APS HD	5. Prosesor Gambar	: BIONZ X
2. Sistem Fokus	: Hybrid autofocus	6. Kecepatan Bidik	: Hingga 11 fps
3. Layar LCD	: 3 inci	7. Slot Kartu Memori	: SD/SDHC/SD XC
4. ISO	: 100-25600		

Lampiran 2. Hasil Foto Udara UAV *Fixed Wing Skywalker PPK with Sony Alpha 6000*

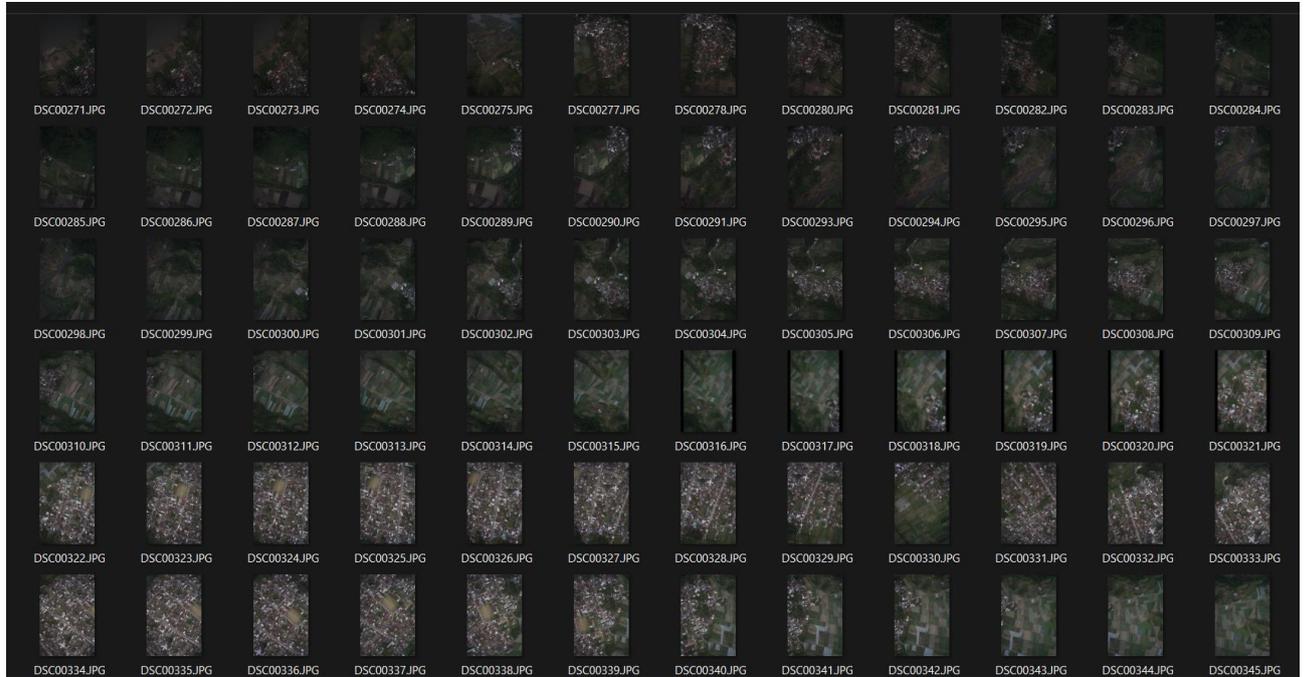
Flight 1



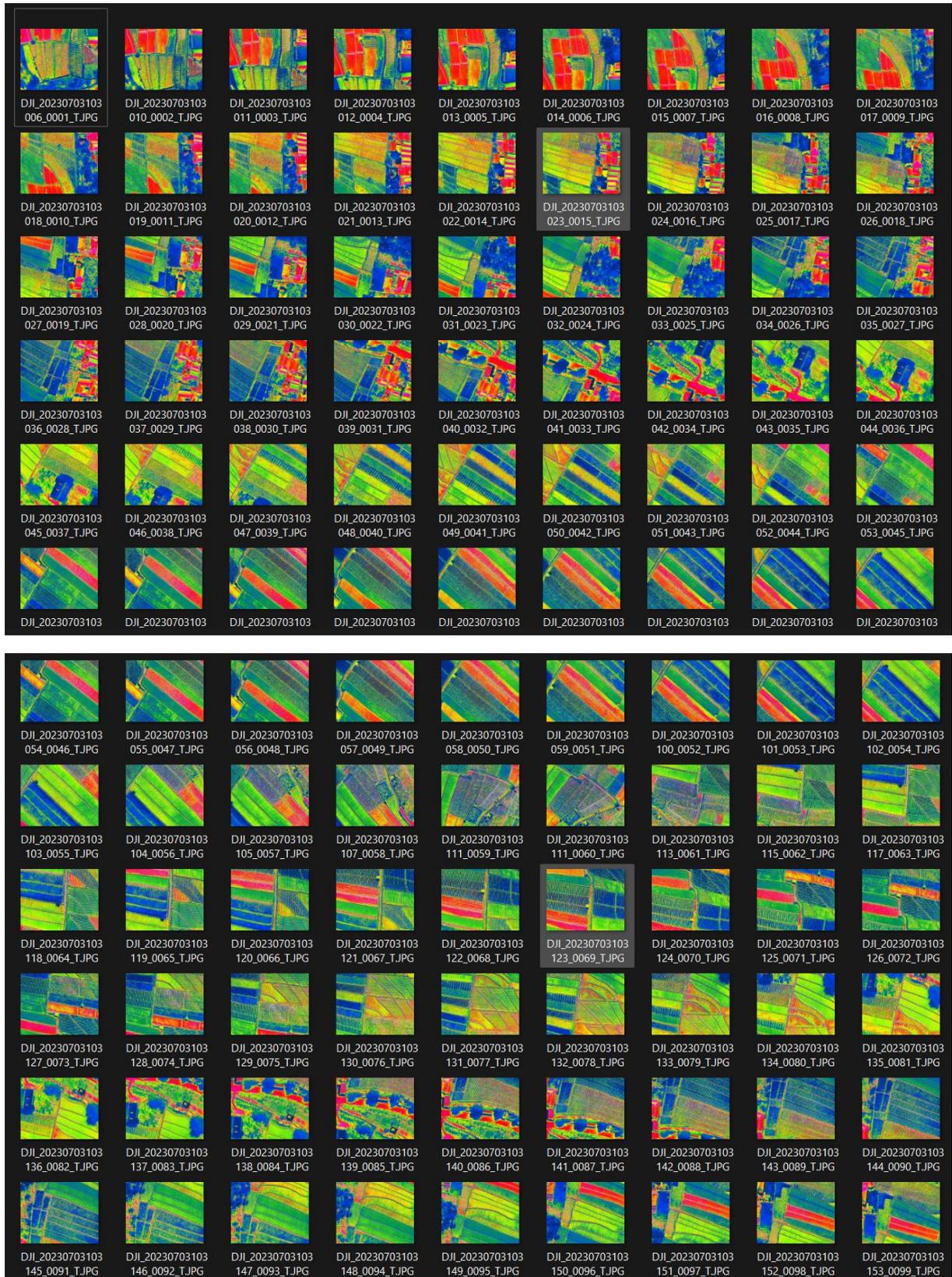
Flight 2



Flight 3



Lampiran 3 Hasil foto udara *Drone Thermal*



Lampiran 4. File Exif Hasil Foto Udara UAV *Fixed Wing Skywalker PPK with Sony Alpha 6000*

Flight 1

Image ID		Image ID	
Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	6000 x 4000
Width	4000 pixels	Width	6000 pixels
Height	6000 pixels	Height	4000 pixels
Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi
Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi
Bit depth	24	Bit depth	24
Compression		Compression	
Resolution unit	2	Resolution unit	2
Color representation	sRGB	Color representation	sRGB
Compressed bits/pixel	3	Compressed bits/pixel	3
Camera		Camera	
Camera maker	SONY	Camera maker	SONY
Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000
F-stop	f/4	F-stop	f/4
Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.
ISO speed	ISO-200	ISO speed	ISO-250
Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step
Focal length	20 mm	Focal length	20 mm

Image ID		Image ID	
Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000
Width	4000 pixels	Width	4000 pixels
Height	6000 pixels	Height	6000 pixels
Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi
Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi
Bit depth	24	Bit depth	24
Compression		Compression	
Resolution unit	2	Resolution unit	2
Color representation	sRGB	Color representation	sRGB
Compressed bits/pixel	3	Compressed bits/pixel	4
Camera		Camera	
Camera maker	SONY	Camera maker	SONY
Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000
F-stop	f/4	F-stop	f/4
Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.
ISO speed	ISO-200	ISO speed	ISO-160
Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step
Focal length	20 mm	Focal length	20 mm

Image ID		Image ID	
Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000
Width	4000 pixels	Width	4000 pixels
Height	6000 pixels	Height	6000 pixels
Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi
Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi
Bit depth	24	Bit depth	24
Compression		Compression	
Resolution unit	2	Resolution unit	2
Color representation	sRGB	Color representation	sRGB
Compressed bits/pixel	3	Compressed bits/pixel	3
Camera		Camera	
Camera maker	SONY	Camera maker	SONY
Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000
F-stop	f/4	F-stop	f/4
Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.
ISO speed	ISO-200	ISO speed	ISO-160
Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step
Focal length	20 mm	Focal length	20 mm

Flight 2

Image ID		Image ID		Image ID	
Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000
Width	4000 pixels	Width	4000 pixels	Width	4000 pixels
Height	6000 pixels	Height	6000 pixels	Height	6000 pixels
Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi
Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi
Bit depth	24	Bit depth	24	Bit depth	24
Compression		Compression		Compression	
Resolution unit	2	Resolution unit	2	Resolution unit	2
Color representation	sRGB	Color representation	sRGB	Color representation	sRGB
Compressed bits/pixel	3	Compressed bits/pixel	3	Compressed bits/pixel	3
Camera		Camera		Camera	
Camera maker	SONY	Camera maker	SONY	Camera maker	SONY
Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000
F-stop	f/4	F-stop	f/4	F-stop	f/4
Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.
ISO speed	ISO-160	ISO speed	ISO-250	ISO speed	ISO-250
Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step
Focal length	20 mm	Focal length	20 mm	Focal length	20 mm

Image ID		Image ID		Image ID	
Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000
Width	4000 pixels	Width	4000 pixels	Width	4000 pixels
Height	6000 pixels	Height	6000 pixels	Height	6000 pixels
Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi
Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi
Bit depth	24	Bit depth	24	Bit depth	24
Compression		Compression		Compression	
Resolution unit	2	Resolution unit	2	Resolution unit	2
Color representation	sRGB	Color representation	sRGB	Color representation	sRGB
Compressed bits/pixel	3	Compressed bits/pixel	3	Compressed bits/pixel	3
Camera		Camera		Camera	
Camera maker	SONY	Camera maker	SONY	Camera maker	SONY
Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000
F-stop	f/4	F-stop	f/4	F-stop	f/4
Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.
ISO speed	ISO-200	ISO speed	ISO-200	ISO speed	ISO-160
Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step
Focal length	20 mm	Focal length	20 mm	Focal length	20 mm

Flight 3

Image ID		Image ID		Image ID	
Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000
Width	4000 pixels	Width	4000 pixels	Width	4000 pixels
Height	6000 pixels	Height	6000 pixels	Height	6000 pixels
Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi
Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi
Bit depth	24	Bit depth	24	Bit depth	24
Compression		Compression		Compression	
Resolution unit	2	Resolution unit	2	Resolution unit	2
Color representation	sRGB	Color representation	sRGB	Color representation	sRGB
Compressed bits/pixel	2	Compressed bits/pixel	2	Compressed bits/pixel	2
Camera		Camera		Camera	
Camera maker	SONY	Camera maker	SONY	Camera maker	SONY
Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000
F-stop	f/16	F-stop	f/16	F-stop	f/16
Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.
ISO speed	ISO-3200	ISO speed	ISO-3200	ISO speed	ISO-3200
Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step
Focal length	20 mm	Focal length	20 mm	Focal length	20 mm

Image ID		Image ID		Image ID	
Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000	Dimensions	4000 x 6000
Width	4000 pixels	Width	4000 pixels	Width	4000 pixels
Height	6000 pixels	Height	6000 pixels	Height	6000 pixels
Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi	Horizontal resolution	350 dpi
Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi	Vertical resolution	350 dpi
Bit depth	24	Bit depth	24	Bit depth	24
Compression		Compression		Compression	
Resolution unit	2	Resolution unit	2	Resolution unit	2
Color representation	sRGB	Color representation	sRGB	Color representation	sRGB
Compressed bits/pixel	2	Compressed bits/pixel	2	Compressed bits/pixel	2
Camera		Camera		Camera	
Camera maker	SONY	Camera maker	SONY	Camera maker	SONY
Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000	Camera model	ILCE-6000
F-stop	f/16	F-stop	f/16	F-stop	f/16
Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.	Exposure time	1/1250 sec.
ISO speed	ISO-3200	ISO speed	ISO-3200	ISO speed	ISO-3200
Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step	Exposure bias	0 step
Focal length	20 mm	Focal length	20 mm	Focal length	20 mm

Lampiran 5. File Exif foto udara Drone Thermal

<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 48.8094999999994172 Longitude 112: 22: 4.90340000001019405 Altitude 773.737</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103006_0001_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.88 MB</p>	<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 49.3411999999990769 Longitude 112: 22: 4.67369999998474839 Altitude 773.784</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103010_0002_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.91 MB</p>
<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 49.7710000000006403 Longitude 112: 22: 4.48759999999310821 Altitude 773.776</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103011_0003_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.89 MB</p>	<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 50.6290000000009854 Longitude 112: 22: 4.11420000001093911 Altitude 773.859</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103013_0005_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.78 MB</p>
<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 50.9958000000004574 Longitude 112: 22: 3.958299999984736 Altitude 773.949</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103014_0006_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.79 MB</p>	<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 51.4442000000015298 Longitude 112: 22: 3.76799999998183921 Altitude 773.904</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103015_0007_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.82 MB</p>
<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 52.616600000001057 Longitude 112: 22: 3.26770000002589711 Altitude 773.934</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103018_0010_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.87 MB</p>	<p>GPS</p> <p>Latitude 7: 52: 53.0135000000008461 Longitude 112: 22: 3.09769999998380285 Altitude 773.911</p> <p>File</p> <p>Name DJI_20230703103019_0011_T.JPG Item type JPG File File location D:\2. Tugas Akhir\Data TA\Ther... Date created 10/06/2024 13:32 Date modified 03/07/2023 10:30 Size 1.89 MB</p>

Lampiran 6 Contoh perhitungan Estimasi Produksi Listrik

Rumus :

$$E = A \times r \times H \times PR$$

Dimana:

E: Daya dalam satuan Kwh;

A: Luas setiap atap (m^2);

r: Efesien panel surya (%);

H: Nilai radiasi matahari pada setiap tapak atap ($Kwh/(m^2)$);

PR: Rasio performa dan koefisien daya (%).

National Renewable Energi Laboratory (NREL). (r) = 15% dan rasio peforma (PR) = 86%

Jawab :

Perhitungan dilakukan pada atap dengan FID 1 pada bulan Januari

Dik :

A : 500 m^2

r : 15%

H : 268,39 Kwh/m^2

PR : 86%

Jawab :

$$\begin{aligned} E &= 500 \times 15\% \times 268,39 \times 86\% \\ &= 8657,81 \text{ Kwh} \end{aligned}$$

Lampiran 7 Sebagian perhitungan Estimasi Produksi Listrik

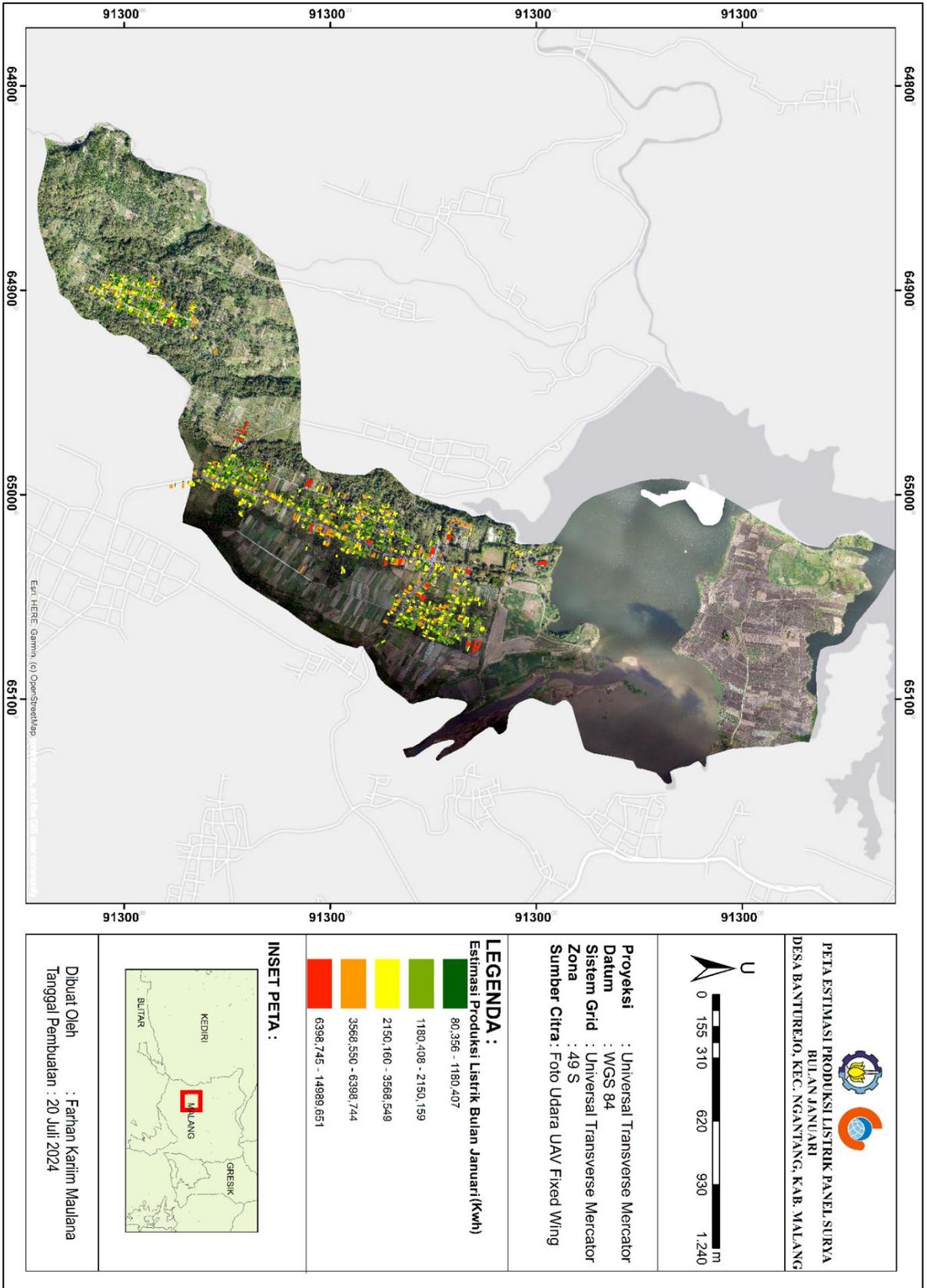
Hasil Perhitungan Efisiensi Produksi Energi Listrik (Kwh) Desa Banturejo Kabupaten Malang Tahun 2023													
Atap_Bangunan	Luas_Atap	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	500,0136013	8657,806	8424,316	7139,665	7798,05	11233,33	9439,042	10955,62	14570,87	14668,99	17646,49	11098,26	8105,336
2	197,392028	3463,931	3384,351	2867,44	3137,086	4527,078	3813,816	4420,63	5846,181	5820,303	6917,758	4420,205	3242,739
3	491,3631304	8544,011	8346,481	7059,415	7721,787	11184,4	9396,175	10914,94	14521,4	14591,08	17529,04	10955,34	7998,202
4	28,08068273	457,4454	450,6729	391,5543	441,9656	686,9474	577,4737	675,3334	881,778	836,0078	924,229	579,9237	426,0335
5	48,744869	900,2129	863,4308	734,2441	800,661	1143,827	957,8957	1112,278	1495,053	1516,963	1833,466	1161,407	843,603
6	136,526724	2301,255	2233,18	1907,758	2098,795	3068,143	2578,82	2997,001	3969,315	3940,642	4644,076	2945,019	2152,753
7	51,07973923	887,3875	855,7736	728,366	797,1331	1152,928	967,5373	1124,135	1499,54	1507,512	1813,86	1142,329	830,9772
8	81,47331226	1477,953	1412,811	1202,347	1307,341	1849,568	1551,644	1798,003	2406,872	2429,809	2923,511	1898,312	1385,911
9	78,29764765	1291,725	1241,875	1050,684	1139,749	1610,337	1346,274	1563,708	2108,81	2165,899	2650,376	1667,035	1211,16
10	61,41775885	1018,767	997,9767	854,1013	946,1699	1402,423	1182,766	1373,674	1805,266	1775,189	2063,542	1300,256	951,8555
11	56,97816055	996,1407	936,2685	792,9886	847,45	1144,959	957,0821	1105,463	1501,755	1576,618	1975,607	1289,317	935,9615
12	121,6446773	2073,105	1998,465	1700,307	1853,572	2644,061	2226,193	2577,28	3420,345	3441,796	4143,097	2657,031	1941,549
13	15,38515056	287,0834	275,4374	234,4003	256,132	368,6662	308,4127	358,6492	482,7656	488,7143	589,066	370,8454	268,9741
14	83,1122561	1379,234	1334,595	1130,188	1229,513	1745,591	1486,628	1699,62	2267,572	2294,1	2757,308	1765,852	1292,695
15	69,67259256	1262,844	1199,105	1018,256	1100,563	1535,059	1283,977	1488,009	2010,576	2071,968	2543,437	1632,055	1185,08
16	107,2179978	1750,113	1688,665	1452,154	1602,981	2368,036	1983,837	2312,888	3068,942	3060,949	3625,662	2254,544	1636,101
17	28,90328363	489,885	460,1512	398,6998	436,9559	614,0447	495,555	585,1869	831,0823	850,0047	1009,388	636,7695	458,6667
18	60,82031915	997,8327	948,9785	814,5951	883,9672	1245,24	1045,871	1212,313	1603,954	1629,99	1962,102	1280,952	934,925
19	93,89019562	1622,408	1568,92	1336,295	1464,673	2106,975	1766,55	2050,964	2748,732	2760,533	3279,108	2081,392	1518,908
20	115,9520317	1934,187	1863,129	1589,561	1737,803	2495,562	2104,439	2436,656	3211,96	3202,79	3844,95	2481,004	1811,37
21	58,18875062	1066,067	1011,198	861,9769	934,5872	1310,386	1092,848	1289,223	1720,197	1763,275	2145,574	1377,311	999,8713
22	48,93354794	796,9232	793,2445	678,3398	759,0422	1159,92	977,9053	1140,289	1490,689	1434,99	1637,432	1012,62	743,4379
23	31,6317837	517,0129	527,7959	455,7824	521,5243	836,2655	708,168	827,7778	1062,212	971,3695	1030,682	644,8548	480,4887
24	46,40985046	737,7406	717,8672	628,4708	706,1231	1063,637	894,8786	1041,358	1366,32	1343,356	1540,371	947,3981	686,4804
25	89,94128658	1532,027	1483,388	1261,067	1381,613	1999,984	1677,023	1949,073	2604,433	2606,51	3133,022	1968,888	1434,293
26	50,78367468	886,4558	856,0749	732,7838	804,6247	1167,895	980,9649	1139,17	1510,647	1494,043	1749,734	1130,062	829,4172
27	134,9537358	2229,965	2161,665	1834,055	2002,598	2878,708	2416,044	2805,646	3739,74	3746,097	4463,848	2852,831	2088,413
28	81,17422131	1476,016	1411,662	1205,31	1311,402	1853,668	1558,717	1803,378	2399,964	2409,829	2871,04	1885,802	1383,169
29	75,98126474	1296,341	1225,508	1031,623	1100,67	1491,063	1241,989	1438,625	1969,2	2079,105	2625,797	1678,594	1218,48
30	54,28054916	996,1653	958,0699	814,9105	890,5963	1284,145	1075,274	1250,476	1676,448	1695,421	2039,029	1284,597	933,2288

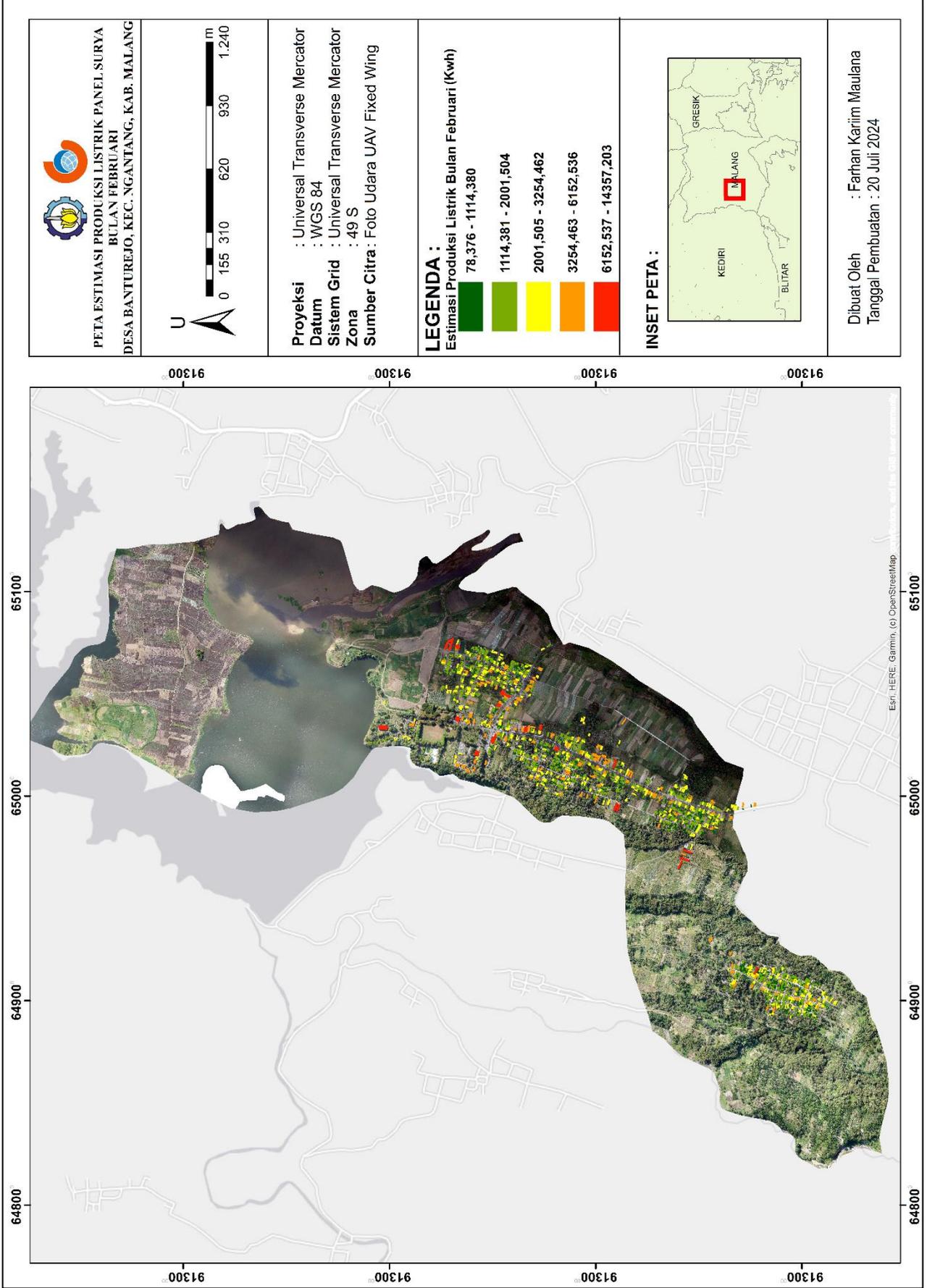
31	64,657,407,49	1104,324	1084,18	937,383	1047,24	1588,01	1344,43	1562,095	2024,807	1956,049	2240,531	1406,424	1029,029
32	178,963,890,2	3212,825	3101,791	2648,483	2909,938	4233,535	3553,975	4129,611	5496,629	5488,203	6525,293	4132,498	3007,001
33	105,842,171,4	1801,579	1734,02	1488,999	1632,317	2354,41	1981,816	2297,626	3033,252	3021,544	3575,441	2305,685	1685,073
34	92,164,057,81	1564,297	1504,875	1288,022	1413,472	2052,108	1722,092	2001,523	2662,253	2665,65	3168,301	2010,669	1463,818
35	84,859,319,67	1449,544	1385,758	1186,354	1292,528	1845,291	1549,753	1797,43	2398,353	2420,887	2879,092	1855,027	1357,115
36	68,098,622,87	1208,949	1169,758	998,5932	1096,664	1593,613	1337,2	1554,358	2070,009	2067,192	2444,921	1549,916	1131,142
37	96,194,611,48	1613,867	1535,274	1319,65	1435,172	2021,653	1699,74	1966,156	2606,893	2625,957	3122,049	2061,008	1511,296
38	124,114,149,9	2066,576	1960,688	1657,869	1782,163	2461,935	2055,541	2383,111	3233,033	3375,444	4221,394	2680,272	1940,265
39	120,224,413,9	1957,335	1909,649	1637,457	1812,062	2684,05	2263,141	2629,451	3446,13	3359,642	3897,056	2492,168	1829,064
40	89,562,806,79	1474,25	1442,888	1237,363	1372,983	2044,164	1717,752	1999,723	2643,818	2598,819	3017,142	1882,229	1376,3
41	85,643,950,78	1454,995	1383,415	1177,164	1274,644	1792,953	1500,391	1740,551	2340,789	2389,933	2890,821	1871,678	1364,996
42	43,293,297,04	730,1235	711,5968	604,1155	663,0366	963,5236	809,5858	940,6073	1249,937	1247,522	1486,313	935,2266	683,513
43	212,155,201,2	3637,425	3482,505	2982,087	3263,514	4689,676	3932,935	4565,176	6107,079	6163,388	7343,684	4677,401	3405,554
44	233,575,112,2	4056,595	3920,123	3352,97	3684,865	5364,666	4514,754	5239,843	6925,272	6883,984	8151,988	5200,858	3795,654
45	107,335,46	1790,743	1734,841	1471,327	1607,08	2303,363	1936,142	2245,136	2990,73	2992,685	3560,86	2291,083	1678,184
46	166,476,894,2	2816,555	2727,14	2320,721	2542,746	3672,307	3087,318	3582,176	4760,741	4755,417	5671,835	3611,085	2637,086
47	42,570,860,78	683,1626	646,6318	563,8241	622,1597	925,2113	769,8064	901,2138	1214,122	1232,651	1475,008	893,615	636,9187
48	17,304,125,33	275,2025	275,0659	239,3323	272,4251	427,9524	359,9623	421,4431	547,1452	503,6274	526,9363	342,1459	256,6401
49	130,661,856	2161,628	2096,89	1783,14	1954,517	2827,174	2374,937	2757,488	3668,208	3675,805	4388,642	2775,346	2023,467
50	129,902,720,7	2388,497	2275,698	1929,439	2092,295	2953,688	2465,67	2864,958	3883,19	3987,413	4876,132	3094,428	2240,646
51	85,794,785,38	1533,445	1472,6	1256,482	1375,96	1986,448	1665,829	1935,328	2582,034	2583,532	3095,086	1974,481	1436,291
52	18,119,995,93	339,6563	321,7387	272,7778	294,0033	405,936	339,6378	392,9117	533,0462	557,2146	690,8555	440,5943	318,8504
53	138,307,81,91	2280,147	2219,974	1891,309	2079,042	3040,178	2550,308	2967,96	3946,175	3933,649	4664,632	2922,928	2132,812
54	42,100,916,82	767,1013	736,6896	627,1954	681,8733	965,6084	811,6777	939,6992	1252,319	1261,613	1500,764	978,7423	718,848
55	159,244,95,86	2690,554	2585,703	2220,453	2440,354	3537,933	2967,171	3447,668	4587,614	4582,998	5420,418	3454,121	2516,966
56	157,392,36,16	2630,841	2540,553	2151,4	2344,315	3359,248	2809,405	3268,156	4395,243	4481,312	5464,426	3396,898	2465,118
57	52,215,79	898,5566	878,7662	750,6355	831,3393	1232,385	1036,503	1205,612	1595,709	1571,994	1833,539	1150,073	840,0065
58	29,779,99,67,1	552,5165	531,8786	453,7712	497,3324	720,7313	605,0753	702,8992	937,0563	941,2866	1124,301	711,2667	517,3531
59	161,282,00,55	2920,706	2825,108	2418,172	2668,787	3929,973	3292,611	3835,399	5116,141	5075,794	5965,065	3752,196	2731,874
60	112,685,20,15	1938,954	1859,008	1579,018	1715,006	2423,221	2032,537	2355,426	3156,492	3221,381	3924,702	2496,234	1817,548
61	101,456,38,47	1713,738	1640,174	1390,718	1509,274	2140,357	1790,44	2079,735	2798,316	2858,13	3499,186	2211,93	1607,114
62	92,396,79,71,9	1618,781	1547,214	1315,711	1427,185	2009,258	1676,186	1947,656	2634,246	2685,083	3239,713	2080,679	1517,895

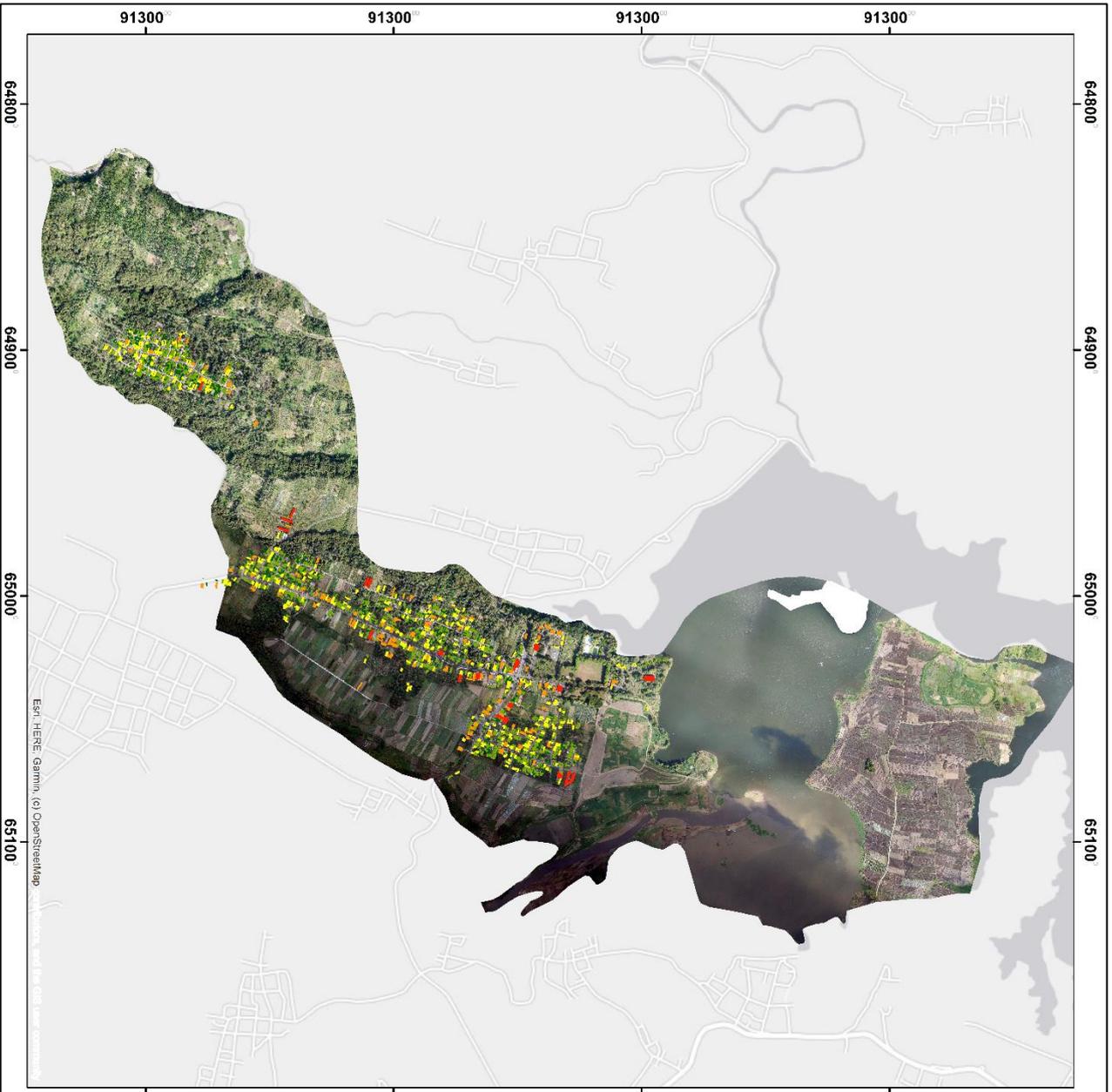
63	119,6508604	2071,682	1985,995	1700,527	1856,281	2853,639	2231,381	2585,36	3433,186	3442,171	4078,64	2646,102	1939,457
64	34,55592521	607,7479	588,7162	504,1279	555,3322	812,007	682,9112	793,1273	1049,359	1037,431	1215,167	776,6666	568,399
65	41,82635853	752,123	713,969	607,3188	657,0881	917,2365	768,5538	889,628	1197,468	1027,418	1505,399	970,787	705,5017
66	33,58705966	580,2643	551,8514	469,2995	508,9438	716,9284	600,1971	695,7918	935,3	953,5912	1170,96	750,5186	544,0681
67	21,88791295	389,1056	371,8323	314,868	341,0824	480,757	401,6067	466,4247	631,7842	648,9871	787,9016	502,0151	365,1732
68	43,89484955	751,766	717,1394	607,0131	655,606	911,7083	764,2563	884,2311	1194,102	1233,881	1514,526	970,3797	705,5069
69	101,3594824	1675,659	1611,783	1365,493	1481,594	2083,492	1748,734	2025,299	2713,335	2764,797	3381,64	2153,38	1571,075
70	103,3183303	1697,253	1636,14	1404,247	1548,481	2278,79	1908,59	2223,446	2962,705	2944,2	3467,807	2180,881	1587,307
71	88,98471001	1427,559	1374,094	1167,3	1272,89	1830,656	1528,041	1780,194	2397,119	2446,778	2983,285	1844,638	1336,942
72	94,74166485	1700,987	1625,194	1383,926	1507,884	2149,326	1799,913	2089,238	2810,572	2854,852	3481,632	2199,095	1594,047
73	81,01993619	1365,362	1227,651	1064,097	1117,739	1383,68	1100,223	1290,446	1924,988	2185,881	2799,251	1799,462	1282,264
74	71,39253191	1152,646	1132,787	966,817	1069,367	1590,74	1336,7	1556,836	2060,776	2046,541	2426,247	1481,718	1076,571
75	102,7736524	1878,828	1805,36	1534,405	1672,921	2392,589	2010,508	2331,168	3106,758	3135,814	3798,465	2420,653	1760,566
76	130,467106	2261,816	2220,199	1913,948	2140,94	3269,408	2749,57	3209,644	4213,513	4071,834	4637,801	2886,761	2109,322
77	102,2217719	1785,866	1725,239	1472,683	1615,125	2341,748	1968,859	2285,198	3031,708	3008,045	3561,604	2284,076	1671,403
78	84,13378798	1419,215	1377,554	1183,463	1309,886	1943,111	1634,438	1901,52	2505,804	2453,309	2846,731	1812,349	1326,281
79	118,1832197	1955,686	1888,011	1615,799	1777,151	2592,359	2173,298	2528,195	3368,644	3344,943	3938,383	2505,522	1829,785
80	84,92186318	1418,156	1362,649	1164,281	1272,786	1830,176	1536,004	1783,069	2377,866	2387,728	2835,644	1816,962	1328,023
81	85,63950321	1414,457	1367,961	1170,108	1286,892	1877,629	1576,985	1832,916	2432,61	2427,103	2872,981	1814,768	1323,051
82	79,85963194	1310,639	1270,86	1080,886	1184,037	1707,271	1435,556	1665,145	2215,001	2216,55	2633,898	1678,241	1227,062
83	76,62215704	1269,267	1215,22	1036,585	1131,107	1613,974	1352,529	1569,461	2101,179	2134,593	2596,531	1640,33	1188,962
84	63,46241973	1069,44	1037,975	885,4625	974,4281	1429,903	1201,79	1397,395	1852,268	1847,532	2195,692	1374,242	1000,408
85	50,12420417	820,811	790,9125	677,0623	743,3813	1071,474	900,5026	1044,143	1388,691	1395,685	1663,865	1055,426	768,0344
86	80,79109139	1385,358	1337,179	1141,536	1252,198	1811,353	1524,504	1767,741	2344,345	2336,83	2767,973	1775,785	1297,087
87	250,0053157	4213,782	4009,574	3393,532	3651,642	5022,881	4196,953	4861,38	6577,803	6789,128	8340,415	5424,231	3956,211
88	18,89626618	307,6372	297,8443	256,0027	282,5993	419,4614	353,5671	411,3936	535,0155	506,5648	569,4749	386,8942	287,8903
89	33,14648766	543,4286	533,3249	460,9489	514,2003	770,5836	647,5821	754,014	995,0731	960,8422	1069,139	685,7806	507,2042
90	97,16946675	1549,887	1502,355	1281,894	1409,293	2065,714	1729,083	2015,203	2692,457	2708,386	3254,436	2000,711	1449,366
91	92,43032737	1649,908	1590,918	1358,13	1490,976	2174,148	1821,779	2120,539	2827,992	2820,515	3353,991	2120,481	1544,354
92	79,62289087	1332,308	1268,804	1075,055	1161,428	1624,539	1357,401	1575,256	2132,578	2199,952	2703,789	1721,197	1249,998
93	67,88390787	1123,615	1096,192	935,6022	1033,083	1521,756	1280,977	1488,604	1967,213	1941,59	2274,789	1437,67	1050,676
94	98,43564369	1653,623	1586,992	1348,091	1466,34	2086,342	1751,529	2030,772	2713,197	2752,81	3350,724	2130,263	1549,839

95	137,9599756	2363,234	2271,661	1946,146	2136,154	3096,835	2595,918	3017,728	4023,618	4025,641	4764,709	3033,906	2211,542
96	43,78294445	776,1835	744,3553	634,7299	693,8611	1001,045	837,2277	974,4047	1307,176	1315,556	1572,802	998,9418	727,0315
97	114,2818865	2027,139	1968,181	1681,619	1852,246	2702,95	2272,091	2638,411	3506,909	3477,975	4069,306	2591,007	1896,535
98	51,88392431	916,3904	878,4523	749,4976	817,8603	1168,271	980,6464	1137,177	1518,087	1531,759	1837,867	1177,112	858,4778
99	74,21872681	1352,805	1290,776	1098,997	1195,297	1695,493	1418,25	1646,537	2218,56	2258,425	2728,683	1743,851	1268,203
100	75,57436287	1199,643	1182,049	1007,104	1115,13	1655,924	1395,825	1622,826	2129,808	2058,051	2374,251	1520,465	1121,239
101	110,9889053	1565,679	1533,113	1315,907	1463,082	2196,516	1850,702	2154,504	2820,571	2723,644	3123,72	1991,456	1462,604
102	94,82235866	1224,316	1464,102	1246,102	1355,727	1936,994	1624,445	1885,976	2519,987	2577,941	3148,586	1965,081	1426,258
103	78,52149288	1224,203	1145,948	986,0902	1066,173	1475,176	1219,6	1423,001	1940,812	2012,792	2447,909	1583,078	1147,332
104	165,3345312	2869,713	2739,231	2342,875	2555,889	3647,903	3050,497	3545,304	4761,126	4837,043	5817,537	3698,501	2688,067
105	74,78542519	1245,095	1203,499	1022,102	1116,424	1605,395	1347,88	1584,923	2085,532	2099,115	2542,461	1601,981	1166,034
106	92,7276825	1551,708	1504,815	1277,258	1396,692	2004,467	1684,866	1953,084	2611,29	2625,908	3129,53	1987,54	1453,125
107	115,3253327	1891,937	1829,847	1542,901	1672,585	2355,351	1978,371	2291,087	3067,786	3117,244	3791,634	2425,475	1774,47
108	475,3576249	8667,417	8289,816	7056,21	7683,162	10937,83	9151,354	10629,19	14300,77	14498,8	17425,24	11158,41	8123,884
109	189,2149806	3204,963	3084,21	2650,268	2921,317	4304,144	3609,462	4203,399	5597,637	5591,668	6595,325	4129,51	2994,269
110	67,14080453	1125,702	1097,987	933,3874	1027,653	1510,785	1267,071	1475,423	1965,379	1964,662	2344,067	1447,207	1053,163
111	106,6662329	1873,928	1761,104	1490,148	1593,331	2154,2	1799,371	2078,939	2832,717	2985,812	3750,342	2430,787	1761,206
112	63,50196911	1093,235	1050,057	886,3934	958,2514	1336,894	1121,42	1297,82	1747,193	1799,57	2210,121	1408,627	1025,731
113	162,1437556	2614,935	2560,257	2178,187	2399,497	3509,032	2953,773	3429,453	4533,591	4464,558	5223,844	3333,73	2446,341
114	236,9771907	3931,995	3790,301	3239,166	3544,57	5093,806	4284,318	4966,988	6582,704	6553,924	7748,705	5019,92	3680,959
115	111,3160742	1933,61	1843,131	1564,526	1693,327	2372,936	1988,906	2303,549	3097,35	3185,998	3934,825	2500,243	1813,375
116	120,0241918	2009,241	1937,464	1643,607	1788,317	2537,893	2137,653	2472,817	3285,533	3316,63	4019,53	2579,054	1882,888
117	70,63732867	1275,211	1230,988	1052,916	1158,826	1696,031	1423,918	1655,75	2199,54	2186,128	2589,691	1639,174	1193,169
118	143,3925196	2410,797	2325,452	1986,855	2175,842	3123,255	2628,253	3044,456	4033,772	4045,083	4844,045	3094,111	2256,409
119	72,53102702	1242,098	1187,999	1008,267	1091,267	1524,436	1282,124	1481,61	1976,283	2010,385	2450,085	1594,928	1165,046
120	52,76054746	916,717	861,1484	730,0335	780,3341	1052,496	878,4903	1015,493	1382,347	1452,123	1829,355	1187,912	861,0646
121	105,6815399	1732,84	1655,576	1414,287	1544,469	2200,601	1837,772	2137,454	2878,198	2925,49	3591,268	2248,207	1622,658
122	49,17583582	797,8714	765,7001	659,305	724,304	1054,262	877,8084	1026,364	1371,799	1372,547	1617,073	1024,19	745,8323
123	72,22534708	1121,957	1042,289	898,3942	968,6831	1349,263	1114,229	1303,139	1774,997	1850,034	2261,659	1454,807	1051,635
124	60,20465227	924,6396	867,3151	740,6165	793,3223	1085,25	897,7827	1047,617	1421,757	1478,655	1802,377	1187,334	867,941
125	71,23641555	1178,433	1112,557	947,7174	1018,151	1413,715	1189,577	1376,323	1830,429	1882,363	2298,527	1510,366	1105,5
126	376,4495613	6878,437	6632,205	5648,002	6184,989	8947,146	7493,79	8715,328	11670,69	11737,59	14022,06	8849,164	6440,94

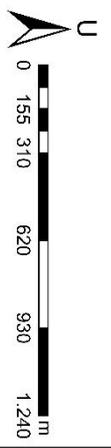
Lampiran 8 Peta Estimasi Produksi Listrik Tiap Bulan








PETA ESTIMASI PRODUKSI LISTRIK PANEL SURYA
BULAN MARET
DESA BANTUREJO, KEC. NGANTANG, KAB. MALANG



Proyeksi : Universal Transverse Mercator
Datum : WGS 84
Sistem Grid : Universal Transverse Mercator
Zona : 49 S
Sumber Citra : Foto Udara UAV Fixed Wing

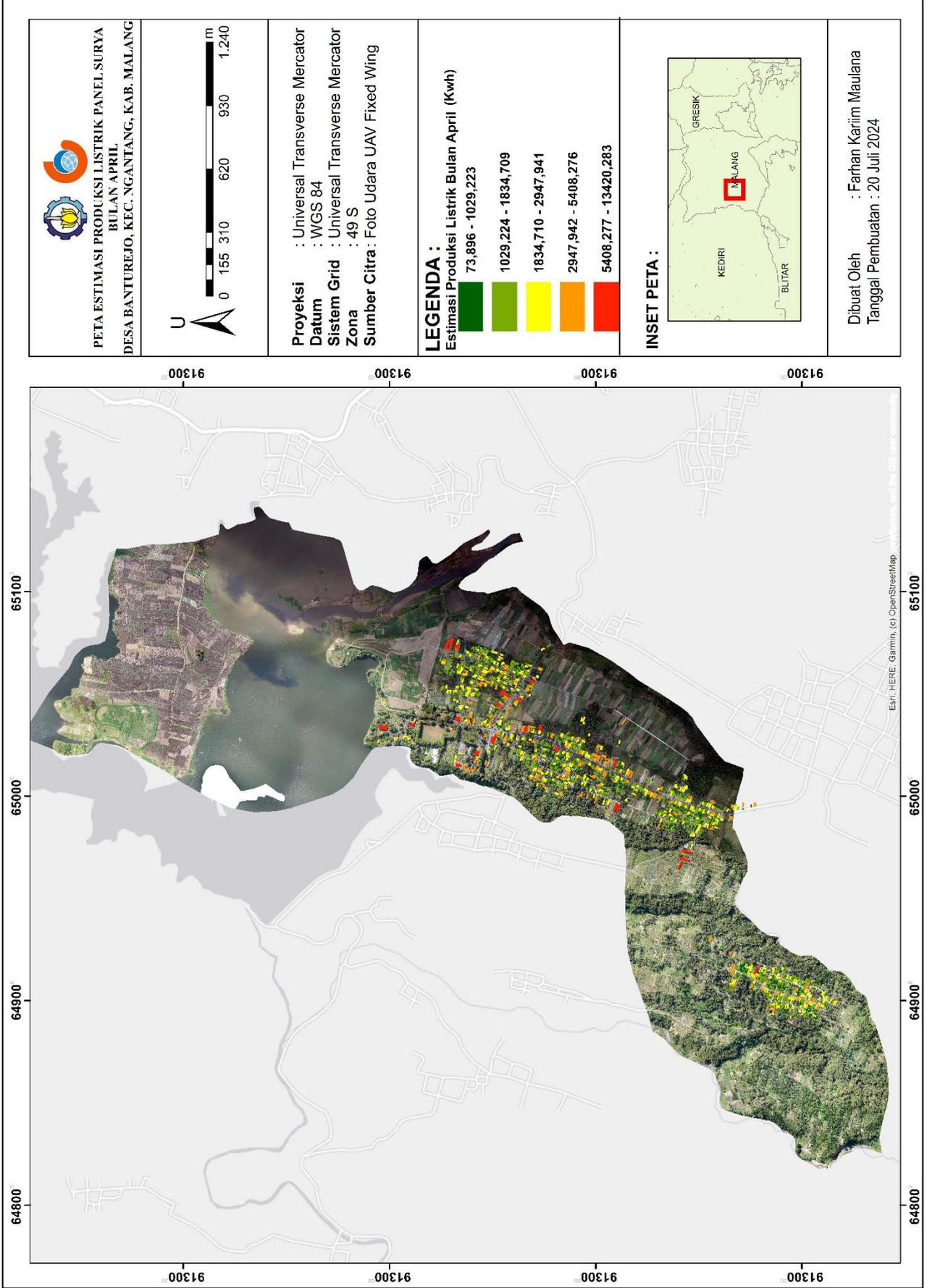
LEGENDA :

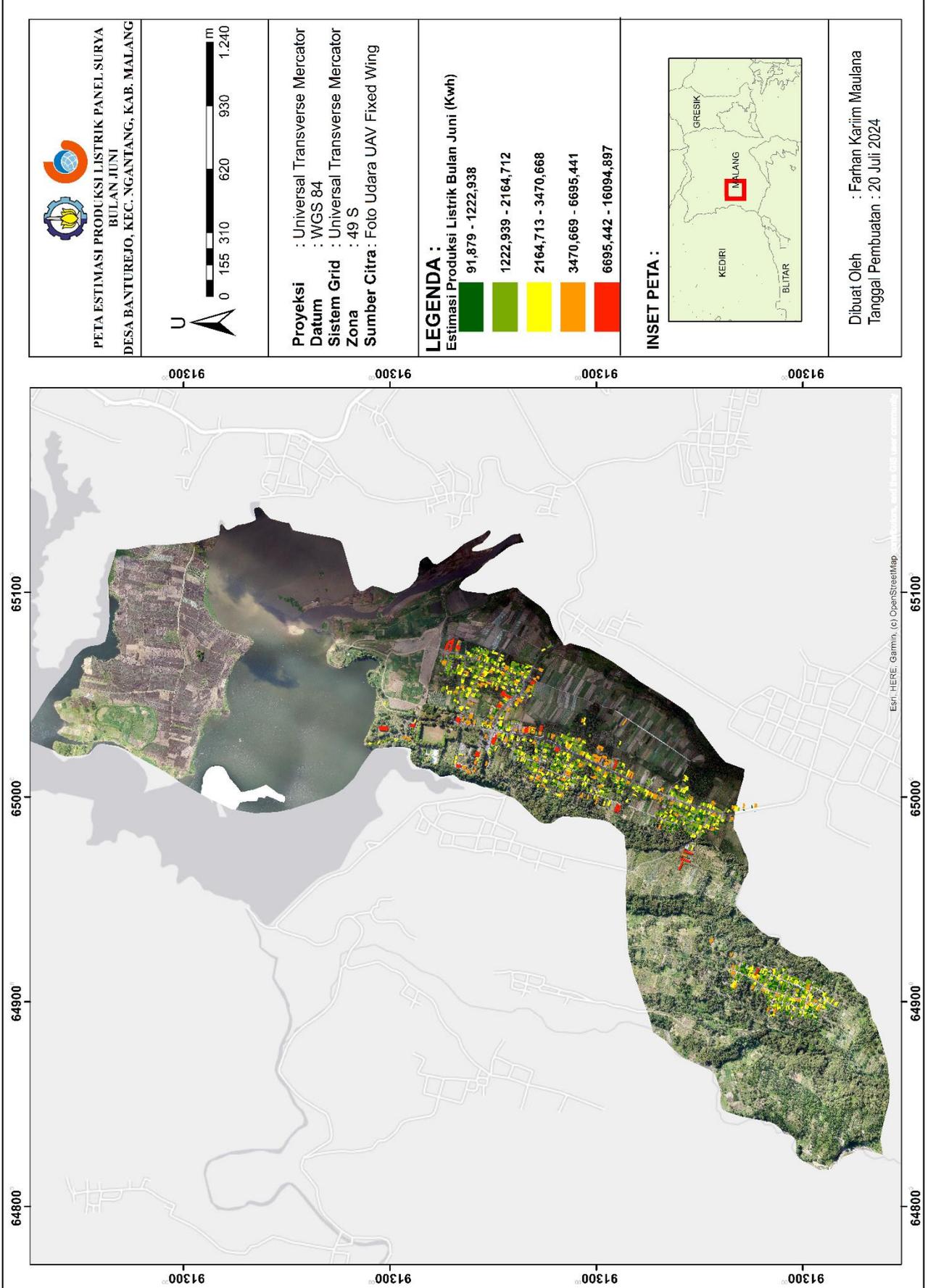
Estimasi Produksi Listrik Bulan Maret (Kwh)

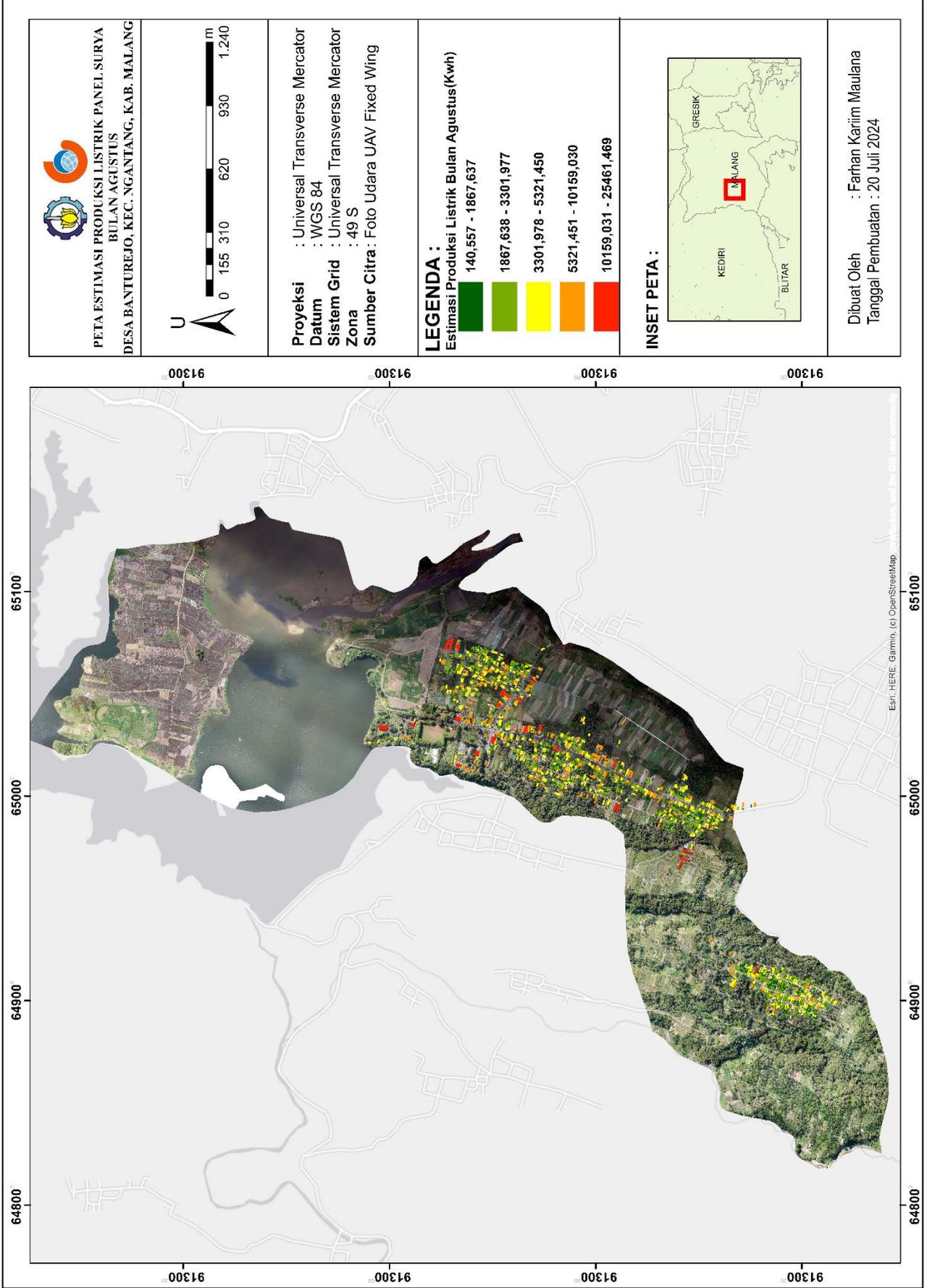
	67,035 - 945,829
	945,830 - 1694,871
	1694,872 - 2787,446
	2787,447 - 5207,194
	5207,195 - 12271,288

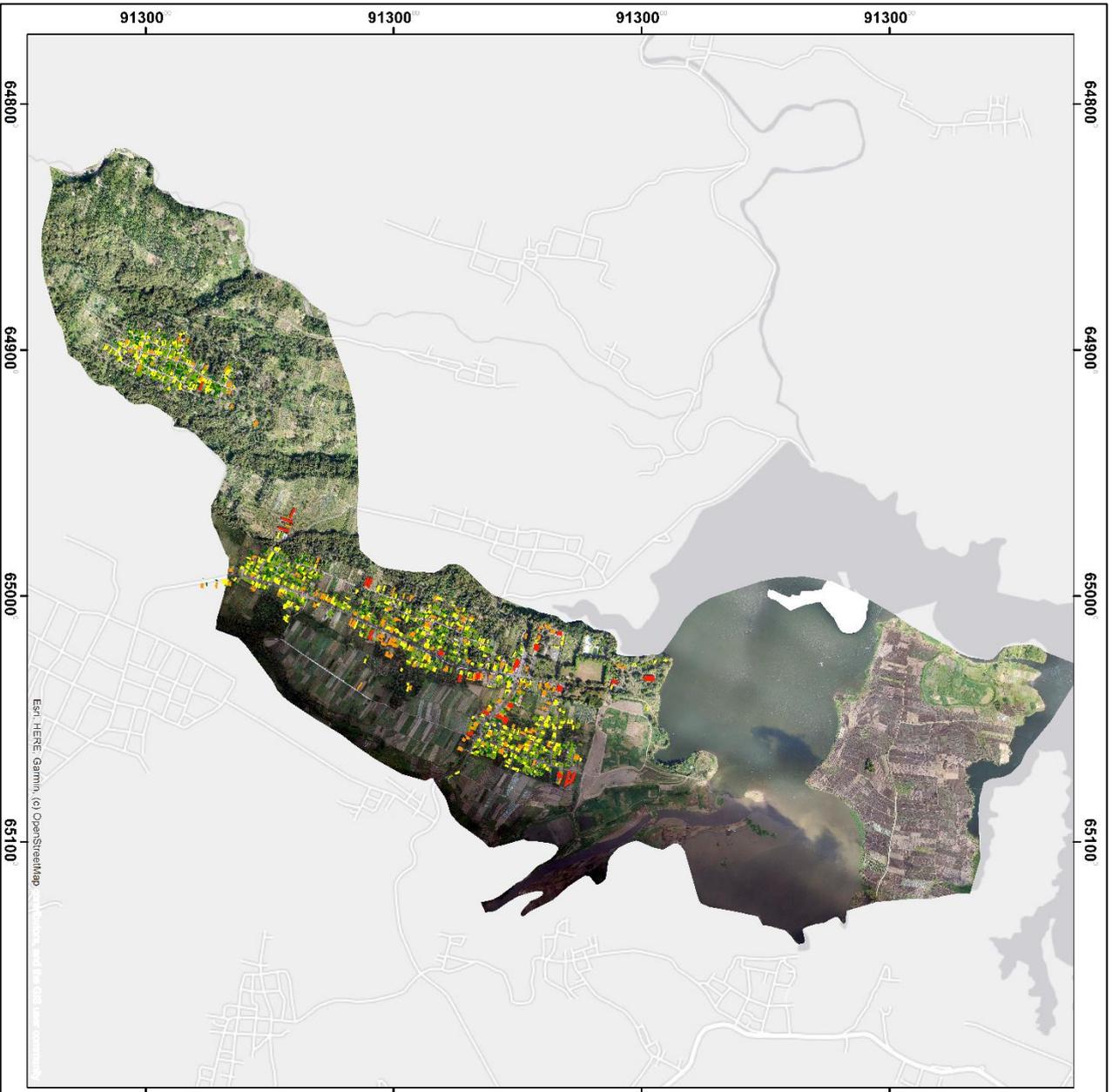


Dibuat Oleh : Farhan Karim Maulana
 Tanggal Pembuatan : 20 Juli 2024

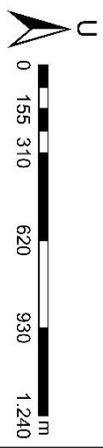








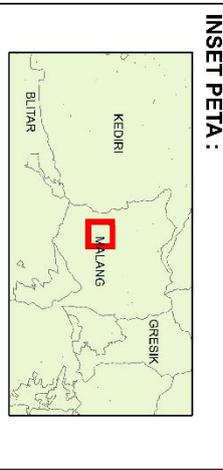

PETA ESTIMASI PRODUKSI LISTRIK PANEL SURYA
BULAN SEPTEMBER
DESA BANTUREJO, KEC. NGANTANG, KAB. MALANG



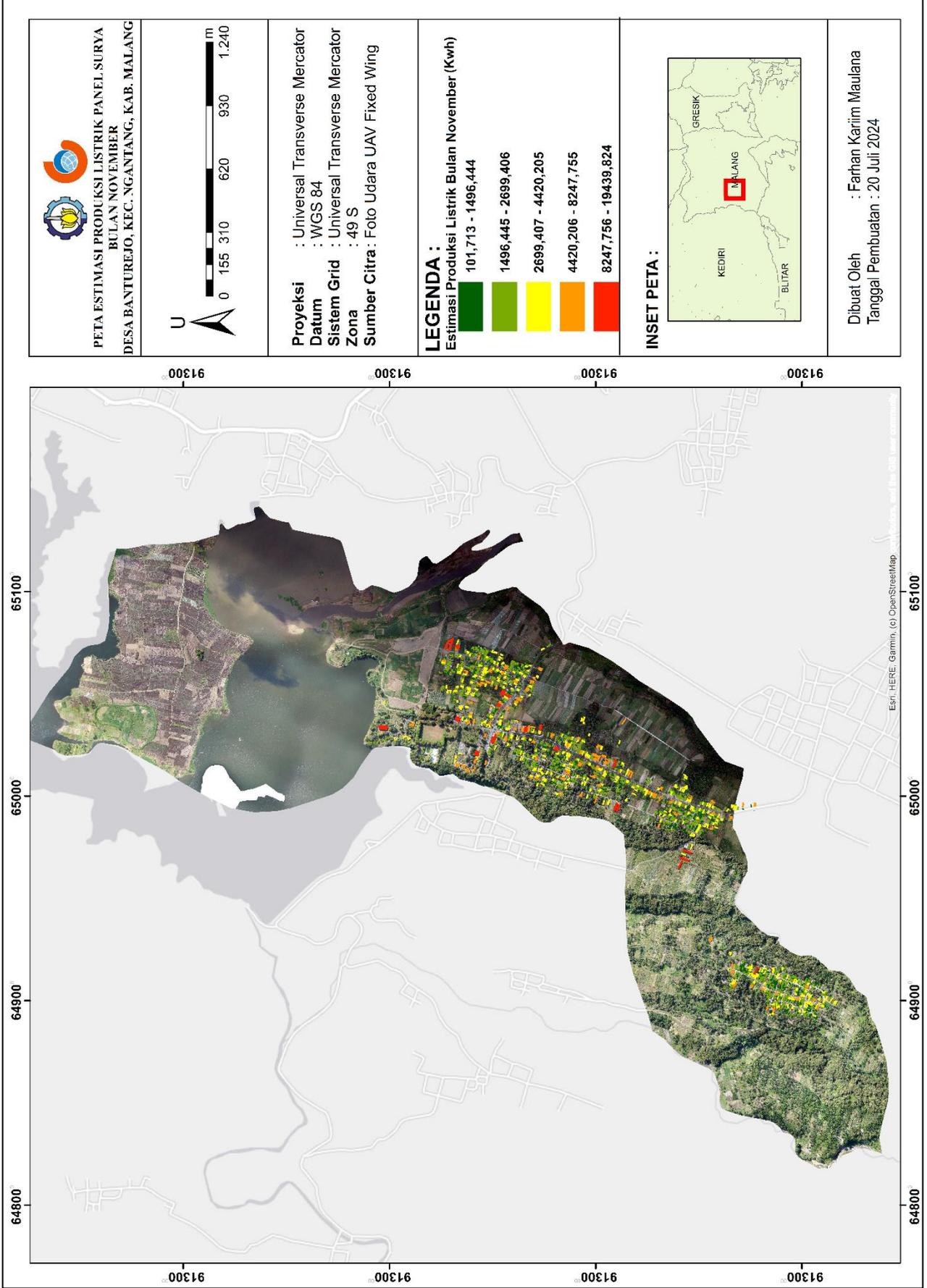
Proyeksi : Universal Transverse Mercator
Datum : WGS 84
Sistem Grid : Universal Transverse Mercator
Zona : 49 S
Sumber Citra : Foto Udara UAV Fixed Wing

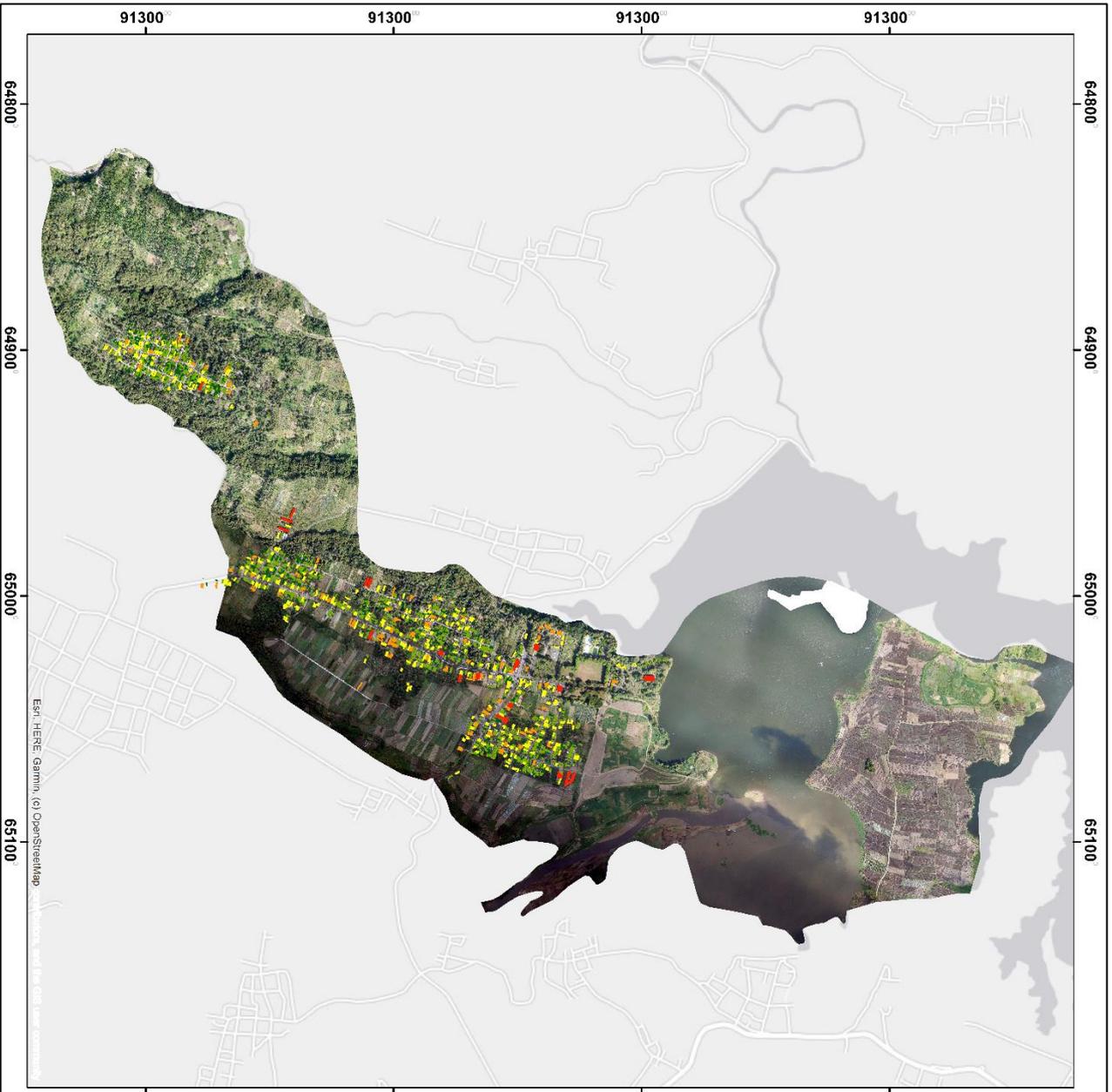
LEGENDA :
 Estimasi Produksi Listrik Bulan September(Kwh)

	136,799 - 1887,041
	1887,042 - 3350,158
	3350,159 - 5413,581
	5413,582 - 10026,233
	10026,234 - 26085,887

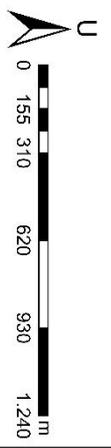


Dibuat Oleh : Farhan Karim Maulana
 Tanggal Pembuatan : 20 Juli 2024





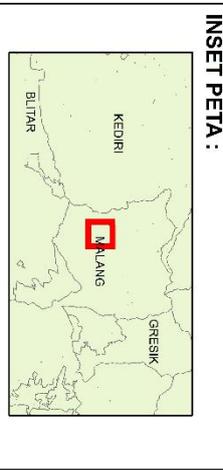

PETA ESTIMASI PRODUKSI LISTRIK PANEL SURYA
BULAN DESEMBER
DESA BANTUREJO, KEC. NGANTANG, KAB. MALANG



Proyeksi : Universal Transverse Mercator
Datum : WGS 84
Sistem Grid : Universal Transverse Mercator
Zona : 49 S
Sumber Citra : Foto Udara UAV Fixed Wing

LEGENDA :
 Estimasi Produksi Listrik Bulan Desember (kwh)

	75,131 - 1106,671
	1106,672 - 2007,321
	2007,322 - 3310,914
	3310,915 - 5996,495
	5996,496 - 14030,786



Dibuat Oleh : Farhan Karim Maulana
 Tanggal Pembuatan : 20 Juli 2024

BIODATA PENULIS



Farhan Kariim Maulana. Dilahirkan di Medan, 29 Desember 2002, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Angkasa II Jakarta Timur, SD Generasi Azkia Kabupaten Bogor, SMP Negeri 3 Gunung Putri, dan SMAN 2 Gunung Putri. Setelah lulus dari SMAN 2 Gunung Putri tahun 2020, mengikuti jalur pendaftaran Mandiri ITS dan diterima di Departemen Teknik Geomatika FTSPK – ITS pada tahun 2020 dan terdaftar dengan NRP 5016201094. Di Departemen Teknik Geomatika, aktif dalam beberapa kegiatan yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika (HIMAGE – ITS) . Mengikuti kegiatan kerja praktik di PT. Pertamina Hulu Energi selama satu bulan. Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, memilih bidang keahlian Geospasial, dengan judul Tugas Akhir ” Analisis Potensi Panel Surya Dengan *Digital Surface Model* (DSM) Hasil UAV *Fixed Wing* (Studi Kasus: Desa Banturejo, Kabupaten Malang)”. Untuk menghubungi dapat mengirimkan email pada farhankariim4@gmail.com