

**KAJIAN SPASIAL TERHADAP URGENSI INSTALASI *PHOTOVOLTAIC*  
PADA BANGUNAN KAMPUS PUSAT UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**SKRIPSI**

Untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana (S1)



USQO IRWANTO

NIM 2017/17136106

PROGRAM STUDI GEOGRAFI  
JURUSAN GEOGRAFI  
FAKULTAS ILMU SOSIAL  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2021

## PERSETUJUAN PEMBIMBING SKRIPSI

Judul : Kajian Spasial Terhadap Urgensi Instalasi *Photovoltaic*  
Pada Bangunan Kampus Pusat Universitas Negeri Padang

Nama : Usqo Irwanto

NIM : 17136106/2017

Program Studi : Geografi

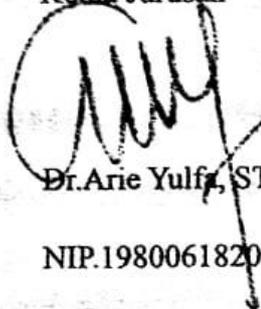
Jurusan : Geografi

Fakultas : Ilmu Sosial

Padang, Desember 2021

Disetujui oleh :

Ketua Jurusan



Dr. Arie Yulfa, ST, M.Sc

NIP.198006182006041003

Pembimbing



Dr. Ernawati, M.Si

NIP. 196211251987032001

## PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

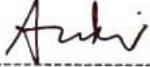
Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Skripsi  
Jurusan Geografi Fakultas Ilmu Sosial  
Universitas Negeri Padang  
Pada Hari Rabu, Tanggal Ujian 11 Agustus 2021 Pukul 11.00 – 11.40 WIB

### Kajian Spasial Terhadap Urgensi Instalasi Photovoltaic Pada Bangunan Kampus Pusat Universitas Negeri Padang

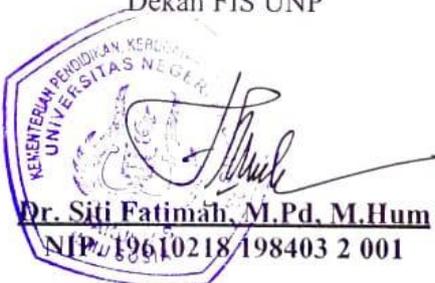
Nama : Usqo Irwanto  
TM/NIM : 2017/17136106  
Program Studi : Geografi  
Jurusan : Geografi  
Fakultas : Ilmu Sosial

Padang, Desember 2021

#### Tim Penguji :

	Nama	Tanda Tangan
Ketua Tim Penguji	: Febriandi, S.Pd., M.Si	 -----
Anggota Penguji	: Triyatno, S.Pd., M.Si	 -----

Mengesahkan:  
Dekan FIS UNP

  
**Dr. Siti Fatimah, M.Pd, M.Hum**  
NIP. 19610218198403 2 001



**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**  
**FAKULTAS ILMU SOSIAL**  
**JURUSAN GEOGRAFI**

Jalan. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang – 25131 Telp 0751-7875159

**SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

**Nama** : Usqo Irwanto  
**NIM/BP** : 17136106/2017  
**Program Studi** : Geografi  
**Jurusan** : Geografi  
**Fakultas** : Ilmu Sosial

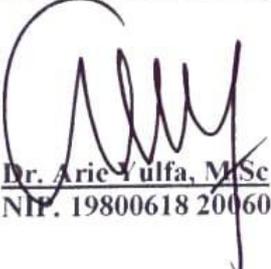
Dengan ini menyatakan, bahwa skripsi Saya dengan judul:

**“Kajian Spasial Terhadap Urgensi Instalasi Photovoltaic Pada Bangunan Kampus Pusat Universitas Negeri Padang”** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat dari karya orang lain maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan syarat hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di instansi Universitas Negeri Padang maupun di masyarakat dan negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 12 November 2021

Diketahui Oleh,  
**Ketua Jurusan Geografi**

  
**Dr. Aric Yulfa, M.Sc**  
**NIP. 19800618 2006041003**

**Saya yang menyatakan**

  
**Usqo Irwanto**  
**NIM. 17136106/2017**

## ABSTRAK

**Usqo Irwanto, 2021:** “Kajian Spasial Terhadap Urgensi Instalasi *Photovoltaic* Pada Kampus Pusat Universitas Negeri Padang”. *Skripsi*. Padang: Program Studi Geografi, Jurusan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagian atap bangunan kampus pusat UNP yang sesuai untuk instalasi *photovoltaic* beserta potensi energi listrik yang didapat, dan potensi pengurangan penggunaan energi konvensional pada kampus pusat UNP, Air Tawar Barat, Padang. Dengan total bangunan yang menjadi objek penelitian adalah 68 bangunan.

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data insolasi tahun 2019, DEMNAS, *shapefile* bangunan, data tinggi bangunan, dan tagihan listrik kampus pusat UNP periode 2019. Analisis yang digunakan adalah *Elevation Pixel Manipulation* untuk mendapatkan elevasi bangunan total, *Area Solar Radiation* untuk mendapatkan data insolasi yang diterima atap bangunan, *conditional* kriteria atap bangunan yang sesuai untuk PV, *USR (Usable Solar Radiation)* untuk mengetahui insolasi yang dapat digunakan, *EPP (Electrical Power Production)* untuk mendapatkan potensi listrik dari insolasi, dan kalkulasi akhir untuk perbedaan potensi energi PV dengan energi konvensional yang digunakan kampus pusat UNP.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan dari 83.492,19 m<sup>2</sup> luas atap bangunan, 78.051,69 m<sup>2</sup> sesuai untuk instalasi PV yang terindikasi 6,52 persen luas atap bangunan tidak sesuai untuk instalasi dikarenakan memiliki insolasi kurang dari 800 kWh/m<sup>2</sup>, luas totalnya kurang dari 30 m<sup>2</sup>, dan struktur bangunan yang tidak mendukung. Total potensi energi listrik sebesar 17.585,1 MWh yang merupakan total EPP dari keseluruhan bangunan. Energi konvensional yang digunakan UNP tahun 2019 sebesar 5.462,24 MWh perbandingan potensi listrik PV berkisar 3,21 lebih besar atau lebih dari 300 persen dari total konsumsi listrik 2019 sehingga masih tersisa energi PV sebesar 12.122,770 MWh untuk disimpan.

**Kata kunci:** *Electricity Power Production, Insolasi, Usable Solar Radiation.*

## ABSTRACT

**Usqo Irwanto, 2021:** *"Spatial Study on the Urgency of Photovoltaic Installation on the Central Campus of Padang State University". Essay. Padang: Geography Study Program, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, State University of Padang.*

*The purpose of this research is to find out the roof of unp central campus building suitable for photovoltaic installation along with the potential of electricity obtained, and the potential reduction of conventional energy use on unp central campus, West Air Tawar, Padang. With a total of 68 buildings that became the object of research.*

*This type of research is quantitative. The data used in this study are insolation data in 2019, DEMNAS, building shapefiles, building height data, and unp central campus electricity bills for the period 2019. The analysis used is Elevation Pixel Manipulation to obtain total building elevation, Solar Radiation Area to obtain insolation data received by the roof of the building at a certain period of time, conditional criteria of roofing buildings suitable for PV, USR (Usable Solar Radiation) to know the insolation that can be used, EPP (Electrical Power Production) to obtain electricity potential from insolation, and final calculation for differences in PV energy potential with conve energy used by unp central campuses.*

*The results of this study showed from 83.492,19 m<sup>2</sup> roof area, 78.051,69 m<sup>2</sup> suitable for PV installations indicated 6,52 percent of the roof area of the building is not suitable for installation because it has insolation of less than 800 kWh/m<sup>2</sup> and the total uas is less than 30 m<sup>2</sup>. The total potential of electric energy is 17.585,1 MWh which is the total EPP of the entire building. Conventional energy used by UNP in 2019 amounted to 5,462.24 MWh compared to pv electricity potential around 3,21 greater or more than 300 percent greater than the total electricity consumption in 2019 so that pv energy remains at 12.122,77 MWh to be stored.*

**Keywords:** *Electricity Power Production, Insolation, Usable Solar Radiation.*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur peneliti ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa dengan segala izin-Nya yang telah diberikan kepada peneliti sehingga pada akhirnya dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi yang berjudul “Kajian Spasial Terhadap Urgensi Instalasi *Photovoltaic* Pada Bangunan Kampus Pusat Universitas Negeri Padang” sebagai salah satu syarat bagi setiap mahasiswa yang akan memasuki tahap pengerjaan skripsi dan menyelesaikan studi Program Sarjana di Program Studi Geografi, Jurusan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Padang. Dalam proses penyelesaian proposal, tentunya peneliti mendapat dukungan dari berbagai pihak. Dengan demikian penulis ingin menyampaikan terima kasih terkhusus kepada:

1. Ayahanda Irwanto, Ibunda Rosdari Yeni, dan adik tersayang Thoriq Irwanto yang selalu mendukung secara materi, dukungan mental, hingga doa yang selalu diberikan kepada penulis
2. Ibu Dr. Ernawati, M.Si, selaku Pembimbing skripsi, yang telah banyak memberikan bimbingan berupa kritik, saran, dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini
3. Bapak Febriandi, S.Pd, M.Si, selaku Penguji 1 skripsi, yang telah banyak memberikan bimbingan berupa masukan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini
4. Bapak Triyatno, S.Pd, M.Si, selaku Penguji 2 skripsi, yang telah banyak memberikan bimbingan berupa kritik dan saran kepada penulis dalam

menyelesaikan skripsi ini

5. Ketua Jurusan Geografi, Ketua Prodi Geografi, beserta seluruh Bapak dan Ibu dosen Jurusan Geografi yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama berada di Kampus

Terima kasih kepada salah satu sahabat terbaik yaitu Aesya Nida Avrila yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini, Kak Widia Sutriani, S.Si. yang selalu memotivasi dan meneror penulis agar sesegera mungkin menyelesaikan skripsi, terima kasih sebesar-besarnya kepada diri penulis sendiri yang hingga akhir tetap konsisten dan semangat menjalani seluruh proses perkuliahan.

Penulis menyadari skripsi ini tidak luput dari kesalahan. Penulis mengharapkan kritik dan saran demi sebuah kesempurnaan sehingga akhirnya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi bidang ilmu spasial dan bisa dikembangkan lebih lanjut, Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Padang, Agustus 2021

Penulis

(Usqo Irwanto)

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	ii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I</b> .....	1
<b>A. Latar Belakang</b> .....	1
<b>B. Identifikasi Masalah</b> .....	3
<b>C. Batasan Masalah</b> .....	4
<b>D. Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>E. Tujuan Penelitian</b> .....	5
<b>F. Manfaat Penelitian</b> .....	5
<b>BAB II</b> .....	6
<b>A. Kajian Teori</b> .....	6
1. Kesesuaian Atap Bangunan Untuk Instalasi <i>Photovoltaic</i> dan Potensi Energi.....	6
a. Kartografi.....	6
b. Sistem Informasi Geografi.....	7
c. Energi Surya.....	8
d. Citra Satelit WorldView-4.....	9
e. Area Solar Radiation.....	9
f. Photovoltaic.....	10
g. Digital Elevation Model/DEMNAS.....	12
h. Elevation Pixels Manipulation.....	13

2.	Komparasi dan Selisih Energi Konvensional-Alternatif.....	14
a.	Tarif Tenaga Listrik .....	<b>14</b>
<b>B.</b>	<b>Penelitian Relevan</b> .....	14
<b>C.</b>	<b>Kerangka Konseptual</b> .....	35
<b>BAB III</b>	.....	36
<b>A.</b>	<b>Jenis Penelitian</b> .....	36
<b>B.</b>	<b>Tempat dan Waktu</b> .....	36
<b>C.</b>	<b>Jenis Data dan Sumber Data</b> .....	38
<b>D.</b>	<b>Teknik Pengumpulan Data</b> .....	39
1.	DEMNAS.....	39
2.	Citra satelit WorldView-4 tahun 2020 .....	39
3.	<i>Shapefile</i> dan tinggi bangunan .....	40
4.	Solar area radiation .....	40
5.	Tagihan Listrik .....	41
<b>E.</b>	<b>Teknik Analisis Data</b> .....	41
1.	Persebaran Atap Bangunan Yang Sesuai Untuk PV dan Potensi Energi Listrik Bangunan ( <i>Electric Power Potential</i> ).....	41
a.	Digitasi bangunan (Autovektorikasi).....	41
b.	Elevation Pixels Modify.....	42
c.	Area Solar Radiation .....	44
d.	PV Suitability for Building .....	45
e.	Usable Solar Radiation.....	48
f.	Electric Power Production Potential .....	51
2.	Jumlah Energi Listrik Yang Dapat Membantu Elektrifikasi UNP ( <i>Energy Recovery</i> ).....	53

<b>F. Tahap Alur Penelitian</b> .....	57
<b>BAB IV</b> .....	59
<b>A. Gambaran Umum Kampus Pusat Universitas Negeri Padang</b> .....	59
<b>B. Hasil Penelitian</b> .....	60
1. Persebaran Atap Bangunan Yang Sesuai Untuk Instalasi PV dan Potensi Energi Listriknya .....	60
a. Ketinggian Pondasi dengan Elevation Pixel Manipulation.....	60
b. Ketinggian Bangunan (Meter di Atas Permukaan Laut).....	63
c. Nilai Insolasi Tiap Bangunan dengan Area Solar Radiation .....	66
d. Kesesuaian PV Pada Bagian Atap Bagunan (PV Suitability for Building) .....	69
e. Usable Solar Radiation (USR) .....	73
f. Electric Power Production Potential .....	75
2. Sisa Energi Konvensional Yang Digunakan UNP .....	79
<b>C. Pembahasan</b> .....	82
<b>BAB V</b> .....	85
<b>A. Kesimpulan</b> .....	85
<b>B. Saran</b> .....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	88
<b>LAMPIRAN</b> .....	90

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Kerangka Konseptual .....	35
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian .....	37
Gambar 3. Antarmuka laman web BIG untuk perolehan DEMNAS .....	39
Gambar 4. Antarmuka akses arsip citra WorldView-4 di Maxar.....	40
Gambar 5. Ilustrasi bagian bangunan yang tidak menerima insolasi dengan sempurna. ....	42
Gambar 6. Jendela penyeleksian wilayah yang termasuk kriteria lebih .....	47
Gambar 7. Jendela penyeleksian wilayah yang termasuk kriteria lebih atau sama dengan 30 m <sup>2</sup> .....	48
Gambar 8. Konversi nilai dari <i>value</i> pada raster insolasi (kWh/m <sup>2</sup> ) menjadi tabel yang dapat digabungkan dengan polygon bangunan.....	50
Gambar 9. Pengaplikasian persamaan USR pada <i>calculate field</i> untuk data luas atap dengan insolasi rata-rata.....	51
Gambar 10. Pengaplikasian persamaan EPP pada <i>field calculator</i> .....	53
Gambar 11. Diagram alur penelitian .....	56
Gambar 12. Perbandingan data DEMNAS sebelum dan sesudah diolah dengan <i>pixel editor</i> .....	62
Gambar 13. Peta elevasi pondasi bangunan kampus pusat UNP .....	64
Gambar 14. Peta elevasi bangunan UNP (mdpl).....	65
Gambar 15. Persebaran dan konsentrasi insolasi pada kampus pusat UNP tahun 2019.....	67

Gambar 16. Contoh bangunan yang beberapa bagiannya memiliki insolasi yang rendah: a) Rektorat; b) Gedung Terpadu A dan B; c) Perpustakaan UNP; d) Gedung FE. ....	68
Gambar 17. Peta hasil seleksi data insolasi (lebih atau sama dengan 800 kWh/m <sup>2</sup> ). ....	70
Gambar 18. Kesesuaian PV untuk atap bangunan .....	71
Gambar 19. Peta <i>USR (Usable Solar Radiation)</i> yang telah dikalkulasikan dalam satuan MWh/m <sup>2</sup> . ....	74
Gambar 20. Peta <i>Electric Power Production Potential (EPP)</i> kampus pusat UNP. ....	77
Gambar 21. Hasil <i>summarize</i> dari seluruh EPP tiap bangunan. ....	79

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Penelitian Relevan.....	16
Tabel 2. Data dan Sumber Penelitian .....	38
Tabel 3. Tagihan listrik UNP .....	54
Tabel 4. Tagihan dan jumlah konsumsi listrik, Energi konvensional .....	80

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Luas atap bangunan yang sesuai dan tidak sesuai (sorot jingga) dan hitungannya.....	90
Lampiran 2. Jumlah Potensi Energi Listrik Per Bangunan UNP .....	93
Lampiran 3. Dokumentasi survei struktur atas bangunan sebagai data pendukung untuk kesesuaian instalasi PV. ....	94

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Listrik merupakan salah satu kebutuhan penting pada suatu wilayah, sehingga problematika energi listrik tampaknya akan menjadi topik yang hangat sepanjang peradaban manusia di masa yang akan datang, yang disebabkan dari semakin besarnya jumlah populasi dan kemajuan teknologi yang memanfaatkan energi listrik. Dari segi jumlah populasi, permasalahan energi listrik dapat muncul pada kondisi jika suatu wilayah menggunakan energi listrik lebih besar daripada hasil energinya. Kondisi tersebut menimbulkan kelangkaan energi yang menyebabkan naiknya biaya listrik di wilayah tersebut.

Permasalahan energi listrik yang biasanya terjadi di wilayah yang cukup berkembang adalah penggunaan teknologi mutakhir yang banyak diantaranya bergantung pada energi listrik. Kondisi tersebut mendesak negara maupun pemerintah setempat mendongkrak produksi energi listrik lebih banyak lagi agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Namun, tidak semua usaha pendongkrakan tersebut dapat berhasil dengan cepat dan ketergantungan pada listrik konvensional terus menerus malah hanya memperlambat progres peningkatan kualitas dan kuantitas energi listrik.

Peliknya masalah energi listrik tersebut, baik dari sisi kuantitas maupun biaya merambat pada berbagai sektor publik maupun masyarakat sipil. Salah satu sektor yang cukup merasakan dampaknya adalah sektor pendidikan. Sektor pendidikan merupakan salah satu sektor yang cukup bergantung pada energi listrik

dalam proses belajar mengajar, terlebih pada lingkup universitas yang memiliki jumlah mahasiswa masif. Khusus Kampus Pusat Universitas Negeri Padang, pihak kampus sendiri mengeluarkan biaya untuk energi listrik kisaran Rp 400.000.000,- setiap bulannya. Dengan data tersebut, mengacu pada Permen ESDM No 13 tahun 2012 intensitas konsumsi energi listrik Universitas Negeri Padang tergolong boros. Oleh sebab itu pengkajian terhadap berbagai sumber energi baru dan pemanfaatan tidak akan pernah menjadi langkah yang sia-sia, termasuk pada Kampus Pusat UNP.

Sebagai salah satu kampus yang berlokasi dekat dengan khatulistiwa, energi surya atau *photovoltaic* merupakan pilihan yang tepat bila dimanfaatkan di UNP untuk mengurangi anggaran penggunaan energi listrik. *Photovoltaic* (atau biasa disingkat PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk energi dengan mengubah sinar matahari menjadi listrik. Implementasi ide pembangunan dan instalasi dari *photovoltaic* tersebut dapat diterapkan di berbagai tempat dengan persyaratan-persyaratan tertentu, diantaranya pada kompleks pemerintahan, perumahan elit, dan area pendidikan, khususnya universitas.

Sebagai salah satu kampus di Indonesia, Universitas Negeri Padang menjadi salah satu “kandidat” yang dapat dijadikan wilayah yang melakukan penerapan *photovoltaic* pada atap bangunannya. Dengan rata-rata luas permukaan atap bangunan kampus yang relatif luas, tidak berada pada kawasan pegunungan dan perbukitan, berlokasi pada kawasan khatulistiwa, dan memiliki kemiringan lahan yang datar membuat UNP menjadi lokasi yang sesuai dalam implementasi *photovoltaic* demi meningkatkan elektrifikasi Kota Padang. Dengan fungsi

penelitian ini adalah untuk menjawab persoalan mengenai kecukupan energi yang dihasilkan untuk menampung kebutuhan energi pada kampus pusat UNP dengan menjawab persoalan seperti ketinggian bangunan untuk mencapai penerimaan radiasi maksimal, *viewshed* pada bangunan, jumlah radiasi di kawasan kampus, hingga energi yang dapat digunakan dan efektif digunakan yang hasil energi tersebut diharapkan dapat mengurangi konsumsi listrik dari PLN oleh universitas dan penghematan biaya tersebut dapat disalurkan untuk pembangunan energi untuk wilayah yang belum dialiri listrik, atau bahkan untuk sektor pembangunan lainnya. Seluruh fakta tersebut memberikan ide kepada penulis untuk menulis skripsi dengan judul “**Kajian Spasial Terhadap Urgensi Instalasi *Photovoltaic* Pada Bangunan Kampus Pusat Universitas Negeri Padang**”.

## **B. Identifikasi Masalah**

1. Kebutuhan energi listrik pada lingkungan Kampus UNP terbilang besar, sehingga anggaran yang diperlukan untuk pengadaan energi listrik di Kampus UNP juga besar.
2. Biaya yang diperlukan untuk pengadaan energi listrik di Kampus UNP adalah sekitar 665 juta rupiah per bulan dan menurut Permen ESDM No 13 tahun 2012 angka tersebut tergolong boros.
3. Jumlah energi tersebut cukup besar mengingat luas Kampus Pusat UNP tergolong sempit. Sehingga energi alternatif *photovoltaic* dirasa perlu dilakukan untuk menopang konsumsi energi tersebut.
4. Meski *photovoltaic* merupakan opsi yang baik untuk lingkungan kampus, tidak semua bangunan dapat dilakukan instalasi tersebut. Sehingga perlu

analisis lebih lanjut tentang persebaran bangunan yang sesuai untuk dilakukan instalasi *photovoltaic* pada atap bangunan.

5. Jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan oleh *photovoltaic* perlu diketahui potensinya sehingga dapat diketahui energi konvensional yang dapat dipotong dari penggunaan energi rata-rata Kampus UNP.

### **C. Batasan Masalah**

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di 68 bagian bangunan Kampus Pusat UNP. Kriteria kesesuaian instalasi PV yang digunakan adalah kriteria spasial dengan data pendukung berupa struktur atas bangunan. Sedangkan kriteria spasial lainnya (*aspect, vegetation density, slope*) tidak digunakan.
2. Analisis luas atap pada penelitian ini adalah luas datar (jarak datar) dan bukan luas miring (jarak miring) karena keterbatasan data.
3. Potensi energi listrik dihitung dengan data insolasi (bukan panas matahari), USR, dan EPP.
4. Data tagihan untuk kalkulasi selisih energi konvensional dengan energi alternatif adalah tagihan listrik UNP tahun 2019, serta estimasi biaya dan potensi harga energi berdasarkan Permen ESDM No.13 Tahun 2019.

### **D. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian yaitu :

1. Bagaimana persebaran atap bangunan yang sesuai untuk instalasi *photovoltaic* di Kampus Pusat UNP serta potensi listriknya?
2. Berapa jumlah energi konvensional yang dapat digantikan oleh potensi energi alternatif yang dihasilkan oleh PV serta profitnya?

## **E. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui persebaran atap bangunan yang sesuai untuk instalasi *photovoltaic* di Kampus Pusat UNP.
2. Mengetahui jumlah energi konvensional yang dapat digantikan oleh potensi energi alternatif yang dihasilkan oleh PV.

## **F. Manfaat Penelitian**

1. Untuk Penulis,
  - a. Penelitian ini bermanfaat sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana.
  - b. Menambah wawasan, ketajaman, dan kedalaman pemahaman akan peran ilmu spasial dalam pemecahan masalah lingkungan, terutama pada konsumsi energi.
2. Untuk Instansi
  - a. Sebagai tahap awal untuk menjadikan Universitas Negeri Padang sebagai “Kampus Ramah Energi” dengan memanfaatkan penelitian ini menjadi rujukan bangunan yang tepat untuk dilakukan instalasi *photovoltaic*.
  - b. Menjadi salah satu opsi bagi kampus untuk mengurangi ketergantungan energi konvensional, serta lebih hemat biaya dan berkelanjutan.
3. Bagi Masyarakat
  - a. Sebagai media informasi tentang keuntungan dari pemanfaatan energi surya yang dapat dirasakan penggunanya.

## **BAB II**

### **KERANGKA TEORITIS**

#### **A. Kajian Teori**

Dalam penyelesaian penelitian ini, penulis mengutip berbagai kajian teori yang *relate* pada pembahasannya sehingga dapat dijadikan sebagai tolak ukur dalam pengerjaan. Kajian teori secara garis besar terbagi menjadi dua sesuai dengan pembahasan dan tujuan yang akan dicapai.

#### **1. Kesesuaian Atap Bangunan Untuk Instalasi *Photovoltaic* dan Potensi Energi**

##### **a. Kartografi**

Kartografi adalah seni, ilmu pengetahuan dan teknologi tentang pembuatan peta-peta sekaligus mencangkup studinya sebagai dokumen-dokumen ilmiah dan hasil karya seni (ICA,1973). Kartografi merupakan teknik pembuatan peta, secara mendasar berhubungan dengan memperkecil keruangan pada suatu daerah yang luas di permukaan bumi atau luar angkasa, disajikan dalam bentuk yang mudah di fahami sehingga dapat digunakan untuk kepentingan komunikasi bagi khalayak ramai.

Kartografi memiliki peran penting dalam penelitian ini terutama dalam visualisasi data yang belum teratur menjadi peta yang dapat dipahami oleh pembaca. Seperti yang dilakukan oleh Thomas Huld (2017), dan A. Verso (2015), hasil dari tahap-tahap penelitian yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk peta yang menunjukkan potensi energi surya dari konsentrasi insolasi di Afrika (Thomas Huld, 2017) dan potensi *solar*

*thermal* yang dapat digunakan di atap-atap bangunan pada kawasan Miraflores, Peru menggunakan teknologi LiDAR (A. Verso, 2015). Dengan rujukan tersebut, peneliti juga akan menampilkan seluruh hasil (baik hasil tiap poin tahapan hingga akhir) berupa peta.

## **b. Sistem Informasi Geografi**

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem informasi khusus yang mengelola data yang memiliki informasi spasial (Kang-Tsung Chang, 2002). Atau dalam arti yang lebih sempit, adalah sistem komputer yang memiliki kemampuan untuk membangun, menyimpan, mengelola dan menampilkan informasi berefrensi geografis, misalnya data yang diidentifikasi menurut lokasinya, dalam sebuah database. Para praktisi juga memasukkan orang yang membangun dan mengoperasikannya dan data sebagai bagian dari sistem ini.

SIG dalam penelitian ini mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data dari hasil analisis, menggabungkannya, menganalisa dan pada akhirnya memetakan hasilnya. A. Verso pada 2015 memanfaatkan SIG untuk menganalisis data spasial berupa *aspect*, pengolahan *point cloud* dari hasil penyrotan sensor LiDAR, hingga kalkulasi total panas matahari yang diterima oleh bangunan. Hingga J. Alstan pada 2013 yang memanfaatkan SIG untuk penentuan lokasi yang sesuai untuk instalasi *photovoltaic* pada bangunan Kota Cambridge. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini seperti data insolasi, tinggi permukaan lahan, hingga tinggi bangunan akan diolah di SIG yang berbentuk data spasial. Dengan SIG, data-data tersebut berorientasi

geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dalam penelitian ini sangat berguna dalam beberapa tahap seperti mengolah piksel dari data elevasi, kalkulasi dari data insolasi, manajemen atribut data USR dan EPP, dan digitasi bangunan dari citra satelit yang ada. Penggunaan SIG juga dapat menghubungkan setiap data yang didapat dari tiap langkah-langkah yang telah dikerjakan, sehingga data-data tersebut menjadi lebih bernilai di mata ilmu geografi karena secara spesifik memiliki konsep yang jelas dan terstruktur.

### c. Energi Surya

Energi matahari adalah semua jenis energi yang dihasilkan oleh matahari. Energi matahari diciptakan oleh fusi nuklir yang terjadi di matahari. Fusi terjadi ketika proton dari atom hidrogen bertabrakan hebat di inti matahari dan berfusi untuk membuat atom helium (S. Ashok dalam Britannica).

Energi surya yang dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik terbagi menjadi dua, yakni *solar thermal* yang menggunakan panas matahari untuk dikonversikan menjadi energi listrik seperti pada penelitian A.Verso (2015) sehingga memerlukan kajian yang sedikit berbeda untuk mendapatkan nilai panas surya yang diterima oleh atap bangunan. Yang kedua adalah *photovoltaic* seperti pada penelitian Thomas Huld (2017), J. Alstan (2013), dan Taehoon Hong (2013) yang memanfaatkan gelombang radiasi dari matahari yang dikonversikan menjadi energi listrik. Pada penelitian ini juga

menggunakan *photovoltaic* yang memanfaatkan radiasi matahari untuk diinstalasikan di atap bangunan kampus.

#### **d. Citra Satelit WorldView-4**

WorldView-4 (sebelumnya GeoEye-2), diluncurkan pada 11 November 2016 pukul 10.30 pagi PST dari Vandenberg Air Force Base, California. WorldView-4 menyediakan sensor kedua dari DigitalGlobe yang mampu memberikan citra pada resolusi 30cm, tingkat resolusi detail tertinggi yang tersedia secara komersial dari satelit. WorldView-4 memperluas kemampuan pengumpulan data citra dengan resolusi 30 cm.

Dalam penelitian ini, WorldView-4 digunakan untuk digitasi bangunan beserta bagian-bagian pada atapnya. WorldView-4 sendiri sangat membantu dalam identifikasi bangunan hingga pembuatan *footprint* yang cukup detail karena memiliki resolusi yang sangat tinggi. Citra ini biasa digunakan untuk kajian pengukuran tapak tanah hingga penyusunan peta kadastral.

#### **e. Area Solar Radiation**

Alat *Area Solar Radiation* menggunakan konsep yang cukup kompleks dalam penyusunannya. Secara ringkas, radiasi matahari yang masuk (insolasi) yang diterima dari matahari adalah sumber energi utama yang menggerakkan banyak proses fisik dan biologis bumi. Konsep analisis ini adalah menggunakan data hasil pantauan insolasi global oleh stasiun cuaca global yang disebut *Research Meadow Station* menggunakan alat piranometer Li-Cor. Pembacaan dirata-ratakan dan dicatat menggunakan

pencatat data Campbell pada interval per jam. Data tersebut dapat digunakan pada lingkup penelitian dengan posisi lintang yang seragam.

Alat analisis radiasi matahari di ekstensi Analisis Spasial ArcGIS memungkinkan untuk memetakan dan menganalisis efek matahari di area geografis untuk periode waktu tertentu. Dalam penelitian Thomas Huld (2017), metode ini berguna untuk merangkum nilai konsentrasi dari insolasi di Afrika yang dibantu dengan menggunakan data *global insolation total* (total insolasi global). Namun, penelitian relevan lainnya tidak menggunakan alat ini untuk mendapatkan konsentrasi dari insolasi serta lebih mengedepankan penggunaan parameter lain seperti pada penelitian Juan M. (2013) yang menggunakan relief tanah, faktor cuaca (lama penyinaran matahari dan lama hari hujan), lingkungan, dan lokasi pohon. Sedangkan dalam penelitian ini menjelaskan lintang dan ketinggian dari objek penelitian, kecuraman (kemiringan), pergeseran harian dan musiman dari sudut matahari, dan efek bayangan yang ditimbulkan oleh topografi sekitarnya. Sehingga didapatkan hasil konsentrasi insolasi per meter persegi yang lebih presisi dalam konteks kajian spasial yang masuk akal.

#### **f. *Photovoltaic***

*Photovoltaic* (fotovoltaik/PV) adalah sektor teknologi dan penelitian yang berhubungan dengan aplikasi panel surya untuk energi dengan mengubah sinar matahari menjadi listrik. Menurut Andrew Blakers, Direktur Pusat Sistem Energi Berkelanjutan (*Director of the Centre for Sustainable Energy Systems / CSES*), Australian National University, ada dua jenis utama teknologi energi surya: *photovoltaic* dan *Solar Thermal*.

*Photovoltaic* adalah atap surya yang biasanya diinstalasi pada atap rumah sipil maupun atap gedung yang menghasilkan listrik dari energi matahari secara langsung. Sedangkan teknologi panas matahari (*Solar Thermal*) menggunakan energi matahari untuk menghasilkan panas, dan listrik dihasilkan darinya. Perbedaan tersebut juga mengacu pada konsep kerja dari kedua alat tersebut. PV sendiri mengandalkan intensitas matahari pada suatu wilayah. Hal yang memengaruhi besar penerimaan sinar oleh objek antara lain jarak pandang (*viewshed*) yang juga termasuk *aspect* dan *slope*, letak lintang, dan lama penyinaran. PV sendiri pada konsep kerjanya bukan menerima panas matahari, melainkan intensitas cahaya matahari. Sehingga faktor seperti jenis material sekitarnya, dan kerapatan density yang pada dasarnya memengaruhi termal suatu wilayah tidak memengaruhi jumlah intensitas cahaya.

Penelitian serupa yang membahas mengenai potensi *photovoltaic* seperti J. Alstan pada 2013, Taehoon Hong (2013) dan Thomas Huld (2017). Penelitian-penelitian tersebut telah menguji coba efektivitas penggunaan *photovoltaic* sebagai salah satu solusi untuk pemanfaatan energi alternatif. Dalam penelitian ini cenderung membahas mengenai lokasi mana yang sesuai untuk pemasangan *photovoltaic* tersebut pada atap bangunan kampus berdasarkan parameter yang telah ditentukan.

Pada atap bangunan sendiri, PV memiliki banyak kriteria yang harus dipenuhi, seperti kemiringan atap, tingkat kekokohan bangunan (khususnya atap), jenis atap, lama penyinaran, luas atap, konsentrasi, dan insulasi matahari. Kriteria tersebut pun dibagi kembali berdasarkan lingkup

kajian yang dapat mendeteksi kondisi suatu bangunan untuk dilakukan instalasi PV, misalnya pada kajian *civil engineering* yang membahas struktur bangunan dan kekuatannya; *electro engineering* yang membahas kemampuan PV secara mendalam, teknik instalasi, sudut terima, dan sebagainya; hingga *spatial science* yang membahas luasan objek, koordinat lintang, dan jumlah insolasi. Sehingga pada penelitian ini, ilmu spasial digunakan untuk mengkaji kriterianya dan data pendukung berupa struktur bangunan.

**g. *Digital Elevation Model/DEMNAS***

*Digital Elevation Model* (DEM) merupakan bentuk penyajian ketinggian permukaan bumi secara digital (Kingston Centre, 2002). DEM Nasional (DEMNAS) merupakan DEM yang diolah oleh pihak Badan Informasi Geospasial (BIG) yang bersumber dari data IFSAR (resolusi spasial 5 meter), TerraSAR-X (resolusi spasial 5 meter), dan ALOS PALSAR (resolusi spasial 11,25 meter), serta menambahkan data Masspoint hasil stereo-plotting.

Pada kajian ini, DEMNAS digunakan untuk mendapatkan elevasi dari dasar bangunan. Penelitian ini sedikit berbeda dari penelitian sebelumnya yang beberapa tidak menggunakan data relief tanah sebagai salah satu indikatornya. Misalnya seperti A.Verso yang menggunakan DSM (*Digital Surface Model*) yang didapat dari hasil perekaman LiDAR untuk mendapatkan *aspect* dari atap bangunan. Namun penelitian dari Juan M. (2013) menggunakan data relief tanah sebagai salah satu parameter penentuan lokasi pembangunan *solar farm* dengan metode *multi-riteria*.

Peneliti menggunakan data elevasi bangunan ini untuk digabungkan dengan ketinggian minimum dari atap bagian bangunan terhadap lahannya, sehingga didapatkan ketinggian bangunan di atas permukaan laut.

#### **h. *Elevation Pixels Manipulation***

Pada dasarnya, *Elevation Pixels Manipulation* adalah metode yang digunakan untuk memanipulasi nilai elevasi untuk kepentingan tertentu (Eric Rice, 2020). Metode ini menggunakan *tools* dari Pixel Editor, yang berisi seperangkat alat yang digunakan untuk memanipulasi nilai piksel secara interaktif untuk data raster dan citra. Ini memungkinkan pengguna untuk mengedit piksel secara per satuan atau sekelompok piksel pada satu waktu. Jenis operasi yang dapat dilakukan bergantung pada jenis sumber data set data raster.

Bagian dari *tools* ini yang akan digunakan sesuai dengan kepentingan penelitian ini adalah *Set Average*. *Set Average* adalah *tool* yang digunakan pada raster di area tertentu sehingga mengubah nilai piksel dari raster pada wilayah tersebut menjadi nilai rata-ratanya. Metode ini juga mengacu pada penelitian Eric Rice (2020) yang menggunakan alat ini untuk memperbaiki gangguan model medan yang direkam di salah satu jalan raya di California, AS. Perbaikan tersebut berfungsi untuk memperbaiki jalan raya, jembatan, dan jalan layang mungkin diperlukan untuk menghasilkan model ketinggian yang dapat diterima untuk digunakan untuk ortorektifikasi. Sehingga dalam penelitian ini untuk mengolah data sekunder, metode ini paling tepat digunakan untuk meyamarkan elevasi pada dasar bangunan.

## **2. Komparasi dan Selisih Energi Konvensional-Alternatif**

### **a. Tarif Tenaga Listrik dan Regulasi Panel Surya**

Tarif tenaga listrik adalah tarif tenaga listrik untuk konsumen yang disediakan oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Permen ESDM No. 28 Tahun 2016). Tarif tenaga listrik untuk setiap sektor berbeda-beda sesuai dengan sektor tersebut bergerak pada bagian apa, besar tegangannya, dan tarif *adjustment* atau mekanisme mengubah dan menetapkan turun naiknya besaran tarif listrik mengikuti perubahan besarnya faktor ekonomi mikro, agar tarif yang dikenakan kepada konsumen mendekati Biaya Pokok Penyediaan Listrik (BPP).

Pada penelitian ini menggunakan tarif yang sesuai dengan Permen ESDM No. 28 Tahun 2016 Pelanggan Tegangan Menengah (TM) seperti pelanggan bisnis, industri, pemerintah dan sosial (murni dan komersial) dengan daya >200 kVA, dan layanan khusus, besaran tarifnya tetap sebesar Rp 1.114,74/kWh, dan universitas negeri merupakan bagian dari sektor sosial. Untuk referensi tentang PV mengacu pada Permen ESDM No. 13 Tahun 2019 Tentang Penggunaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap Oleh Konsumen PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) dengan poin bahwa penggunaan pada instansi setidaknya membutuhkan daya PV lebih dari 500 kVA (kWh) dan harus mengantongi izin. Selain itu pada regulasi ini juga terdapat kisaran biaya minimum instalasi pada berbagai sektor.

### **B. Penelitian Relevan**

Dalam beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Thomas Huld (2017) yang menganalisis potensi *photovoltaic* pada lingkup spasial yang luas dan

penelitian oleh Juan M. Sánchez-Lozano (2013) menggunakan metode *multi-criteria*, yang tentunya menggunakan kriteria-kriteria berbagai penggunaan lahan hingga pada medan (*terrain*) pada lokasi yang akan dilakukan instalasi. Selain itu pada penelitian relevan tersebut di atas, lokasi yang akan dipasang *photovoltaic* adalah tanah, atau bukan pada atap bangunan dan memang dilakukan sebagai rencana pembuatan ladang surya (*solar farm*). Ladang surya tersebut diletakkan sesuai dengan hasil analisis *multi-criteria* yang parameternya telah ditetapkan oleh badan pemerintah berwenang setempat.

Kasus lainnya adalah pada penelitian Taehoon (2013) yang menggunakan berbagai metode khususnya bidang statistik yang menjelaskan efektivitas *photovoltaic* yang telah terinstalasi pada bangunan di negara tersebut. Efektivitas yang dibandingkan pada penelitian tersebut adalah besar tegangan dan jumlah energi yang diperoleh dari *photovoltaic* yang terinstalasi. Pengaruh dari hasil tersebut adalah lintang wilayah, kemiringan lereng (atap bangunan) dan cuaca. Persamaan peneliti dalam mengangkat tema ini dan ingin memperdalamnya dibandingkan penelitian Taehoon adalah azimuth wilayah. Taehoon menjadikan ini sebagai salah satu parameter pengujian yang mana ia yakin bahwa azimuth akan memengaruhi jumlah energi dan tegangan yang dihasilkan. Sementara peneliti mengangkat judul ini dikarenakan lokasi kampus Air Tawar UNP terletak pada kawasan lintang yang mendukung untuk mendapatkan radiasi matahari sepanjang tahun.

**Tabel 1. Penelitian Relevan**

No	Nama	Judul	Metode	Hasil	Persamaan	Perbedaan
1	Thomas Huld (2017)	Geospatial Analysis of Photovoltaic Mini-Grid System Performance	Kuantitatif	Peta produksi energi, permintaan yang tidak terpenuhi, dan keandalan produksi listrik dalam hitungan hari dengan pemadaman listrik karena energi yang hilang dalam sistem. Perhitungan disajikan untuk wilayah yang mencakup Afrika dan sebagian besar Asia Selatan dan Tengah. Alat ini mungkin berguna bagi pemerintah, otoritas lokal dan organisasi non-pemerintah untuk menyelidiki kesesuaian PLTS	Solar Radiation Area Analysis	Cakupan wilayah pada penelitian referensi lebih luas namun bersifat general.  Sementara penelitian ini bersifat detail sesuai dengan keadaan bangunan yang ada.

				untuk elektrifikasi daerah di mana akses ke listrik kurang.		
2	A. Verso (2015)	GIS-based method to evaluate the photovoltaic potential in the urban environments: The particular case of Miraflores de la Sierra	Kuantitatif	Dalam studi ini menyajikan perbedaan kesesuaian untuk dua jenis atap: pertama, panel <i>photovoltaic</i> ditempatkan sejajar dengan atap, dan kedua, struktur digunakan untuk memasangnya pada posisi optimal. Self-shading diperhitungkan dalam kasus kedua. Insiden radiasi pada panel dihitung dengan metode geometris berdasarkan radiasi horizontal per jam yang dipecah menjadi	Adanya penghitungan nilai produksi dari instalasi <i>photovoltaic</i> .	Penggunaan data penelitian ini menggunakan LiDAR. Metode yang digunakan antara lain <i>Aspect</i> untuk penentuan program <i>shading</i> untuk tipe atap nomor dua, dan suhu permukaan lahan untuk

			<p>komponen langsung dan difus. Akhirnya, efisiensi panel dan berbagai sumber kerugian, terutama suhu, dimasukkan ke dalam penilaian produksi yang efektif. Lima teknologi panel yang paling umum dipertimbangkan.</p>	<p>mengambil estimasi produksi.</p> <p>Sedangkan penelitian skripsi ini menggunakan tinggi bangunan secara keseluruhan dan tidak memperhitungkan arah <i>shading</i> karena faktor keterbatasan data dan faktor lokasi astronomis wilayah kajian.</p>
--	--	--	--	---

3	Taehoon Hong (2013)	A GIS (geographic information system)-based optimization model for estimating the electricity generation of the rooftop PV (photovoltaic) system	Kuantitatif	<p>Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan 1,12-, 1,62-, dan 1,37 kali lipat dalam pembangkitan listrik tahunan sistem <i>photovoltaic</i> atap di Korea Selatan karena faktor regional, azimut panel yang dipasang, dan kemiringan lereng panel yang dipasang. Dengan menggunakan model optimisasi berbasis GIS, pengambil keputusan akhir dapat dengan mudah dan akurat memperkirakan pembangkit listrik dari sistem <i>photovoltaic</i> atap dalam studi kelayakan awal.</p>	<p>Penelitian dalam jurnal ini juga menyajikan azimut panel dalam analisisnya.</p>	<p>Penelitian ini menggunakan metode <i>Multi Criteria</i> dalam persiapan data gedung yang akan dikomparasikan. Sementara untuk komparasi, peneliti menggunakan metode statistik dalam penyelesaiannya. Dalam penelitian skripsi ini, peneliti</p>
---	---------------------	--	-------------	---	--	---

						tidak menggunakan komparasi dan sebagainya.
4	J. Alstan Jakubiec (2013)	A method for predicting city-wide electricity gains from photovoltaic panels based on LiDAR and GIS data combined with hourly Daysim simulations	Kuantitatif	Sebuah studi validasi hasil listrik terukur dan simulasi dari dua instalasi <i>photovoltaic</i> atap di Cambridge menunjukkan bahwa metode baru ini mampu memprediksi perolehan listrik tahunan dalam 3,6–5,3 persen dari produksi terukur saat mengkalibrasi untuk data cuaca aktual dan geometri panel <i>photovoltaic</i> yang terperinci.	Penelitian pada jurnal ini juga terdapat analisis secara umum energi listrik yang dihasilkan oleh tiap panel <i>photovoltaic</i> .	Penelitian ini tidak membahas bagaimana memperoleh tingkat energi listrik yang didapat, dan hasil akhir yang dituju adalah efektivitas dari <i>photovoltaic</i> untuk membantu energi listrik kota

			<p>Kesalahan tahunan yang diprediksi dengan menggunakan metode baru ini terbukti lebih kecil dari varian yang dapat diharapkan dari variasi klimaks antar tahun. Lebih lanjut, karena metode baru menghasilkan data per jam, metode ini dapat diterapkan pada studi mitigasi beban puncak di tingkat perkotaan. Studi ini juga membandingkan hasil energi bulanan yang diprediksi menggunakan metode baru dengan metode sebelumnya untuk dua instalasi pengujian yang divalidasi dan secara tahunan</p>	<p>Cambridge.</p> <p>Sedangkan penelitian di skripsi ini, hasil akhir yang dituju peneliti adalah estimasi listrik. Sederhananya, pada referensi ini mendapatkan data hasil listrik dari PV yang sudah ada, sementara penelitian pada skripsi ini</p>
--	--	--	---	---

				untuk 10 bangunan yang dipilih secara acak dari dataset Cambridge.		mencari estimasi listrik yang dapat dihasilkan pada tiap bangunan di lokasi penelitian (belum ada <i>photovoltaic</i> ).
5	Juan M. Sánchez-Lozano (2013)	GIS-based photovoltaic solar farms site selection using ELECTRE-TRI: Evaluating the case for Torre Pacheco, Murcia, Southeast of Spain	Kuantitatif	Plot diklasifikasikan menurut beberapa aspek evaluasi, dengan mengembangkan model multikriteria dan menerapkan metode ELECTRE-TRI menggunakan Sistem Pendukung Keputusan IRIS. Kombinasi GIS dan IRIS menawarkan kepada	Adanya analisis kesesuaian lokasi yang akan ditanam panel, meskipun pada penelitian tersebut akan meletakkannya pada pohon.	Penelitian ini menggunakan metode <i>Multi Criteria</i> dalam analisis kesesuaiannya. Aspek yang menjadi pertimbangan

			<p>pengguna kemungkinan untuk menggunakan informasi yang disediakan oleh pemetaan GIS yang mengarah ke penugasan dari rangkaian tindakan yang layak (plot) ke kategori manfaat menurut kriteria evaluasi yang beragam, bertentangan dan tidak sebanding. GIS menyediakan database kartografi dan alfanumerik, termasuk dua faktor yang berbeda: batasan dan kriteria. Pembatasan dimasukkan ke dalam GIS menggunakan lapisan yang ditentukan dari undang-undang</p>	<p>tersebut adalah cuaca, lingkungan, lokasi pohon, dan <i>terrain</i>. Penelitian ini tidak sampai kepada estimasi energi yang dihasilkan pada suatu daerah.</p> <p>Sedangkan penelitian skripsi ini sangat terfokus pada estimasi energi listrik yang didapat</p>
--	--	--	---	---

			<p>saat ini (tanah perkotaan, tanah yang belum dikembangkan, area perlindungan khusus untuk burung, situs komunitas, infrastruktur, dll.), Yang mengurangi area studi dengan menghilangkan area di mana pertanian surya fotovoltaik tidak bisa diimplementasikan. Kriteria disusun menjadi pohon yang akan digunakan untuk menilai kapasitas yang lebih besar atau lebih kecil untuk memasang pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik. Kriteria ini dimasukkan ke dalam</p>	<p>jika suatu gedung dilakukan instalasi <i>photovoltaic</i> pada atap bangunannya. Untuk kesesuaian atap, penelitian skripsi ini menggunakan parameter yang berbeda, yaitu pembatasan radiasi solar.</p>
--	--	--	---	---

				GIS, dengan mempertimbangkan aspek evaluasi cuaca, lingkungan, lokasi, dan medan.		
6	William Lidberg, et.al (2019)	Evaluating preprocessing methods of digital elevation models for hydrological modelling	Kuantitatif	Akurasi jaringan sungai, dalam hal persimpangan gorong-gorong yang benar, meningkat dengan meningkatnya resolusi DEM. Jaringan aliran sungai yang diekstrak dari DEM yang telah dimodifikasi alih-alih diisi membuat jaringan aliran sungai yang lebih akurat pada semua resolusi dan memiliki dampak yang lebih kecil dalam hal	Penelitian ini menggunakan <i>elevation pixel modify</i> untuk mengantisipasi beberapa piksel yang hilang maupun nilai piksel yang dapat mengganggu identifikasi jalur aliran sungai.	Pengerjaan pada penelitian William tersebut menggunakan alat <i>fill voids</i> untuk mengisi piksel yang hilang sehingga hasil yang didapatkan menjadi lebih akurat karena gangguan terhadap

			<p>perubahan pada area dan volume absolut. Perbedaan akurasi antara pelanggaran dan pengisian meningkat seiring dengan peningkatan resolusi. Akurasi juga meningkat ketika aliran dari peta topografi dibakar melintasi jalan dari peta topografi, untuk semua metode dan resolusi.</p>	<p>hasil pemindaian seperti gorong-gorong dapat dihilangkan.</p> <p>Sedangkan dalam penelitian ini menggunakan <i>set average</i> untuk menyamaratakan nilai dari seluruh piksel yang lokasinya sesuai dengan bangunan.</p>
--	--	--	---	---

7	Francis Omondi Oloo, et.al (2015)	Spatial Modelling of Solar Energy Potential in Kenya.	Kuantitatif	<p>Dari studi tersebut, kami memperkirakan bahwa sekitar 70 persen dari luas daratan Kenya memiliki potensi energi surya tahunan di atas 5 kWh / m<sup>2</sup> / hari. Secara spesifik 32,4 persen lahan memiliki potensi matahari tahunan rata-rata berkisar antara 5,0-5,5 kWh / m<sup>2</sup> / hari, selain itu, sekitar 26,5 persen dari luas daratan negara memiliki potensi energi surya tahunan rata-rata dalam kisaran 5,5-6,0 kWh / m<sup>2</sup> /hari. Lebih jauh lagi, di atas 10,8 persen dari luas daratan di Kenya</p>	<p>Penelitian Francis Omondi Oloo memiliki banyak kesamaan dengan penelitian ini berupa penggunaan data yang berasal dari <i>NASA Earth Observation</i> (NEO). Selain itu dilakukan kalkulasi ulang untuk konversi data insolasi menjadi energi listrik yang dapat digunakan.</p>	<p>Penelitian ini menggunakan data mentah dari NEO dengan resolusi 10 km × 10 km karena cakupan wilayah kajian yang luas (Kenya). Data tersebut dihitung dan diolah lebih lanjut menggunakan fasilitas atau alat yang disebut <i>map algebra</i> untuk kalkulasi tiap piksel</p>
---	-----------------------------------	---	-------------	--	---	--

				<p>memiliki potensi menerima lebih dari 6 kWh / m<sup>2</sup> / hari energi matahari. Distribusi spasial kawasan berpotensi tinggi di negara ini menunjukkan bahwa investasi pembangkit energi surya di kawasan berpotensi tinggi tidak hanya dapat memastikan beban yang memadai untuk peralatan surya tetapi juga meningkatkan aksesibilitas ke listrik dan manfaat lain dari sumber daya energi surya untuk lebih banyak penduduk di negara tersebut. negara terutama mereka yang mendiami daerah</p>	<p>pada data insolasi yang digunakan.</p> <p>Sementara dalam penelitian ini menggunakan data yang diambil secara online dari <i>extention perangkat lunak ArcGIS Pro 2.7</i> dengan resolusi temporal dan perekaman pada tahun 2019.</p>
--	--	--	--	--	--

				pedesaan yang jauh dengan sedikit atau tidak ada akses listrik saat ini.		
8	Zack Norwood, et.al (2016)	A Geospatial Comparison of Distributed Solar Heat and Power in Europe and the US	Kuantitatif	Dari hasil pemodelan produksi, peneliti menyimpulkan bahwa, baik dari segi produksi listrik maupun panas, jenis teknologi surya ini dapat memainkan peran besar dalam jumlah total energi berguna yang dapat dikumpulkan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan iklim regional tempat sistem akan dipasang, daripada membandingkan teknologi hanya berdasarkan daya	Persamaan penelitiannya adalah penghitungan potensi energi listrik yang juga menggunakan data dari NEO.	Penelitian yang dilakukan oleh Zack dan kawan-kawan lebih mengedepankan potensi secara luas atau memiliki cakupan yang luas (Eropa dan Amerika). Kemudian penelitian Zack juga

			<p>terukur (seperti yang sering terjadi). Misalnya, terlihat bahwa sel surya silikon menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam produksi listrik tahunan dibandingkan sel film tipis di iklim dingin, tetapi peningkatan itu berkurang di area dengan radiasi rata-rata tinggi. Hasil penting lainnya terlihat di garis lintang utara, di mana teknologi pelacakan secara signifikan mengungguli teknologi non-pelacakan, menghasilkan daya sebanyak 65 persen lebih banyak dengan</p>	<p>menggunakan parameter berupa koordinat lintang yang mana memiliki persamaannya tersendiri.</p>
--	--	--	---	---

				kolektor yang sama.		
9	Thorsten Seehaus, et.al (2020)	Novel Techniques for Void Filling in Glacier Elevation Change Data Sets	Kuantitatif	Kinerja metode <i>void fill</i> dievaluasi dengan membandingkan keluarannya dengan kumpulan data bebas rongga asli. Pendekatan hypsometric, khususnya pendekatan hypsometric global, menunjukkan performa keseluruhan yang paling buruk. Pengisian rongga dengan nilai diskrit dalam interval ketinggian masing-masing menyebabkan offset lokal yang kuat, dan dapat menghasilkan offset keseluruhan	Persamaan terdapat pada metode penelitian ini yang menggunakan <i>telea</i> . <i>Telea</i> merupakan salah satu metode matematis yang digunakan untuk mengisi rongga pada data elevasi dan efektif untuk wilayah yang sempit. Metode ini sebagai dasar dari	Penelitian Thorsten menggunakan <i>void fill</i> yang berguna untuk mengisi rongga yang ada pada data raster. Sedangkan peneliti menggunakan <i>Set Average</i> yang berguna menyamaratakan nilai piksel berdasarkan hasil

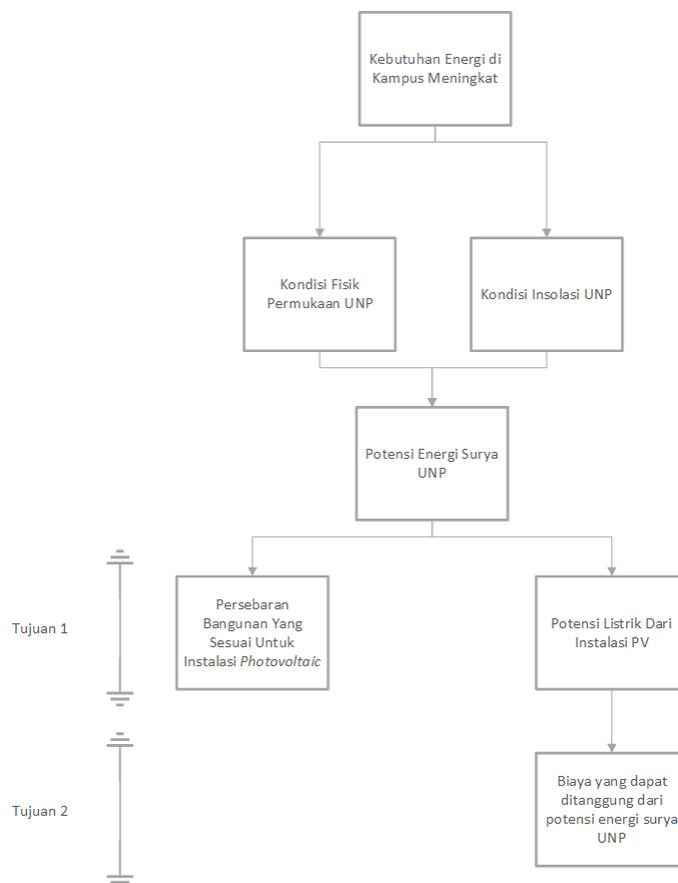
			<p>yang relatif besar, dibandingkan dengan metode lainnya. Hanya untuk satu pengaturan void yang spesifik dan sulit (pengaturan Center, Terminus void), pendekatan hipsometrik adalah yang terbaik, yang terjadi karena metode lain tidak memiliki cukup data untuk dibatasi dengan baik. Banyak penelitian mengandalkan pendekatan hipsometrik untuk mengisi rongga di peta perubahan ketinggian. Namun, berdasarkan analisis kami, kami tidak dapat merekomendasikan</p>	<p><i>tools</i> yang ada di <i>pixel editor</i> yang ada pada ArcGIS Pro.</p>	<p>rata-rata wilayah yang dipilih.</p>	<p>pada yang</p>
--	--	--	--	---	--	------------------

				penggunaannya, tetapi jika seseorang menggunakannya, metode hipsometrik lokal harus lebih disukai.		
10	Tianyue Huang, et.al (2018)	A GIS-based assessment of large-scale PV potential in China	Kuantitatif	Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada area tanah yang luas di Cina Barat Laut yang memiliki potensi besar untuk mengembangkan PV besar. Untuk mentransmisikan daya secara efektif ke pengguna akhir, jaringan listrik bertegangan tinggi yang mampu menampung sumber daya energi terbarukan juga harus	Banyak kesamaan yang ditemukan dari penelitian Huang dengan penelitian ini. Poin kesamaan tersebut diantaranya menggunakan alat yang sama untuk mendapatkan konsentrasi insolasi	Penelitian Huang memiliki cakupan area yang luas yang tentunya berbanding terbalik dengan penelitian ini. Selain itu, Huang menambahkan lima kriteria dalam penelitiannya, yaitu

			<p>dikembangkan dengan giat. Kecuali untuk jaringan listrik, transportasi yang nyaman dapat meningkatkan efisiensi ekonomi pembangkit listrik PV. Karena lalu lintas jalan di China sangat berkembang, studi ini tidak menganggap ketersediaan jalan sebagai faktor kendala untuk instalasi PV. Selain itu, PV atap yang didistribusikan telah dinilai oleh pemerintah dalam beberapa tahun terakhir, yang juga memiliki prospek penerapan yang luas.</p>	<p>hingga mengkonversikan nilainya menjadi satuan kilo watt-hour per meter persegi.</p>	<p>pengecualian pada kawasan lindung, penggunaan lahan yang tidak sesuai, kemiringan permukaan lebih dari 5 persen, semua jenis badan air dan kawasan dengan GHI tahunan masing-masing kurang dari 1500 kWh / m.</p>
--	--	--	---	---	--

### C. Kerangka Konseptual

Kebutuhan energi (terutama energi bersih) yang terus meningkat menimbulkan permintaan yang besar pula dalam pemanfaatan energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang dapat dilakukan dan dimanfaatkan pada lingkungan perkotaan adalah pemanfaatan energi surya. Energi surya yang memerlukan instalasi *photovoltaic* harus dilakukan pada daerah yang tidak membutuhkan lahan khusus namun tetap efektif, atap bangunan misalnya. Sehingga dalam persiapannya diperlukan analisis spasial terhadap permukaan atap bangunan mana yang akan sesuai untuk dilakukan instalasi *photovoltaic* dengan melakukan analisis potensi energi listrik yang dapat dihasilkan pada tiap-tiap bangunan jika dilakukan instalasi *photovoltaic*.



**Gambar 1. Kerangka Konseptual**

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Hasil dari analisis ini serta seleksi berdasarkan kriteria kesesuaian instalasi PV untuk bangunan, yaitu luas bagian atap lebih atau sama dengan 30 m<sup>2</sup> dan insolasi lebih dari atau sama dengan 800 kWh/m<sup>2</sup>. Dengan hasil komparasi menunjukkan adanya perbedaan luas total dari bidang atap sebesar 5440,506 m<sup>2</sup>. Dengan total luas bidang atap bangunan kampus pusat UNP adalah 81.652,709, persentase penyusutan luas (luas atap yang tidak sesuai untuk instalasi PV) adalah 6,52 persen. Analisis *USR (Usable Solar Radiation)* tertinggi pada bidang atap bangunannya sebesar 5582,56 MWh dan terendah pada angka 33,02 MWh. Nilai *EPP (Electric Power Production)* didapat dari kalkulasi persamaannya adalah 17.585,1 MWh yang mana hasil ini adalah jumlah seluruh nilai *EPP* dari semua gedung yang ada di kampus pusat UNP.
2. Seperti yang dapat dilihat dalam tabel tagihan listrik UNP per 2019, tagihan rata-rata per bulannya mencapai Rp 507.414.986,- dengan total tagihan dalam satu tahun sebesar Rp 6.088.979.834,- yang bila dikonversikan dalam satuan energi listrik sebesar 5.462,24 MWh. Namun, bila dibandingkan dengan total *EPP* di kampus pusat UNP, total konsumsi energi tersebut dapat ditalangi bahkan angka *EPP* tersebut lebih dari 300 persen daripada konsumsi listrik konvensional kampus pusat UNP pada tahun 2019.

#### **B. Saran**

Dari hasil penelitian ini, peneliti memberikan saran bahwa:

1. Peneliti berharap bahwa penelitian ini diperhatikan oleh kampus untuk dilakukan penelitian lebih lanjut. Misalnya seperti penggunaan pemetaan DSM (*Digital Surface Model*) resolusi sangat tinggi menggunakan UAV yang memiliki banyak kegunaan, seperti tidak diperlukan lagi survei lapangan untuk mengukur ketinggian bangunan dengan *abney level*, memperoleh kemiringan bidang atap bangunan serta langkah dari *Elevation Pixel Manipulation* tidak diperlukan lagi karena tentunya data DSM lebih presisi. Hasil dari *Area Solar Radiation* nantinya akan memiliki ketepatan hasil yang lebih baik. Dengan DSM, beberapa kriteria untuk persebaran atap bangunan yang sesuai untuk instalasi PV juga dapat ditambahkan, seperti kemiringan atap bangunan dan aspek dari atap tersebut. Juga dengan data ini, hasil akhir dapat divisualisasikan dalam model 3D.
2. Selain itu, untuk mendapatkan hasil yang jauh lebih presisi lagi, peneliti mengharapkan adanya penelitian lanjutan mengenai biaya operasional dari PV, seperti biaya tahunan pemulihan total, kapasitas pemanfaatan, biaya operasional dan perawatan, baterai, hari hujan, lama penyinaran matahari, dan sebagainya perlu diteliti agar realisasi instalasi PV dapat dilaksanakan.
3. Untukantisipasi kemungkinan dampak negatif yang tidak diinginkan pada lingkungan sekitar instalasi PV, sebaiknya dikaji ulang terlebih dahulu dari segi lingkungan untuk mengetahui apakah ada efek tertentu pada lingkungan jika dilakukan pemasangan PV, misalnya peningkatan temperatur sekitar, paparan radiasi yang meningkat, dan efek lainnya yang mungkin berbahaya.
4. Mungkin instalasi PV memang belum umum dilakukan di Indonesia, namun mengingat berbagai kebijakan dunia mengenai pemanfaatan energi

terbarukan (*renewable energy*) seperti dalam SDGs dan mulainya penyusunan kebijakan untuk memberhentikan produksi kendaraan berbahan bakar fosil di berbagai negara akan memaksa beberapa gedung-gedung yang memiliki fungsi untuk kepentingan bersama harus memiliki pangkalan pengisian baterai kendaraan listrik. Bahkan sudah banya di kota-kota besar di Indonesia yang gedung-gedung perkantorannya (kantor bisnis dan pemerintah) memiliki pangkalan ini. Selain itu biaya yang biasanya digunakan untuk tagihan listrik dapat dialokasikan untuk perihal lain. Sehingga peneliti berharap kajian spasial terhadap urgensi instalasi *photovoltaic* pada kampus pusat Universitas Negeri Padang ini menjadi langkah awal untuk mencapai itu semua.