

**SKRIPSI 54**

**PERENCANAAN PENYATUAN TURBIN ANGIN  
DENGAN DESAIN FASAD GEDUNG TINGGI**

**OBJEK STUDI: PUSAT PEMBELAJARAN ARNZT-GEISE 2 UNPAR**



**NAMA : JERRY  
NPM : 6111901178**

**PEMBIMBING: DR. KAMAL A. ARIF, M. ENG.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN ARSITEKTUR  
PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR**

**Akreditasi Institusi Berdasarkan BAN Perguruan Tinggi No: 1998/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/XII/2022 dan Akreditasi Program Studi Berdasarkan BAN Perguruan Tinggi No: 10814/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/IX/2021**

**BANDUNG  
2023**

**SKRIPSI 54**

**PERENCANAAN PENYATUAN TURBIN ANGIN  
DENGAN DESAIN FASAD GEDUNG TINGGI**

**OBJEK STUDI: PUSAT PEMBELAJARAN ARNZT-GEISE 2 UNPAR**



**NAMA : JERRY  
NPM : 6111901178**

**PEMBIMBING:**

**Dr. Kamal A. Arif, M. ENG.**

**PENGUJI :**

**Ir. Paulus Agus Susanto, M.T.**

**Dr. Nancy Yusnita Nugroho, S.T., M.T.**

**UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN ARSITEKTUR  
PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR**

**Akreditasi Institusi Berdasarkan BAN Perguruan Tinggi No: 1998/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/XII/2022 dan Akreditasi Program Studi Berdasarkan BAN Perguruan Tinggi No: 10814/SK/BAN-PT/AK-ISK/S/IX/2021**

**BANDUNG  
2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN SKRIPSI

*(Declaration of Authorship)*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Jerry  
NPM : 6111901178  
Alamat : Capitol Dago Valley no 5B, Kav, Jl. Dago Pojok ujung ,tanggulan ( area komp, Jl. Kp. Padi, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135  
Judul Skripsi : Perencanaan Penyatuan Turbin Angin dengan Desain Fasad Gedung Tinggi

Dengan ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa :

1. Skripsi ini sepenuhnya adalah hasil karya saya pribadi dan di dalam proses penyusunannya telah tunduk dan menjunjung Kode Etik Penelitian yang berlaku secara umum maupun yang berlaku di lingkungan Universitas Katolik Parahyangan.
2. Jika di kemudian hari ditemukan dan terbukti bahwa isi di dalam Skripsi ini, baik sebagian maupun keseluruhan terdapat penyimpangan-penyimpangan dari Kode Etik Penelitian antara lain seperti tindakan merekayasa atau memalsukan data atau tindakan sejenisnya, tindakan plagiarisme atau autoplagarisme, maka saya bersedia menerima seluruh konsekuensi hukum sesuai ketentuan yang berlaku.

Bandung, 6 Juli 2023



Jerry

## **Abstrak**

# **PERENCANAAN PENYATUAN TURBIN ANGIN DENGAN DESAIN FASAD GEDUNG TINGGI**

**OBJEK STUDI: PUSAT PEMBELAJARAN ARNZT-GEISE 2 UNPAR**

**Oleh**

**Jerry**

**NPM: 6111901178**

Listrik di Indonesia masih banyak yang dihasilkan oleh energi tidak terbarukan, padahal banyak kekurangan dan dampak negatif bagi lingkungan. Untuk mengatasi masalah tersebut, energi terbarukan seperti angin, air, dan sinar matahari dikembangkan sebagai alternatif dalam pembangkit listrik dan pada penelitian ini akan difokuskan ke tenaga angin. Meskipun turbin angin skala besar lebih efisien saat ditempatkan di daerah terbuka dengan angin yang kencang, mereka tidak cocok untuk digunakan di perkotaan karena hambatan bangunan tinggi, kebisingan, dan dampak visual yang merusak. Oleh karena itu, turbin angin kecil aksis vertikal dapat lebih efektif dan efisien di perkotaan, dengan memanfaatkan bangunan tinggi sebagai kenaikan elevasi awal tanpa biaya tambahan untuk menara atau tiang turbin. Objek studi menggunakan bangunan tinggi PPAG 2 Unpar di Bandung. Tujuan penelitiannya adalah menganalisis model turbin angin yang optimal digunakan dalam kasus penelitian ini, menemukan posisi mana saja yang efektif untuk diletakkannya turbin angin dalam menghasilkan listrik, dan merencanakan penyatuan desain fasad bangunan PPAG 2 Unpar dengan turbin angin vertikal.

Penelitian menggunakan metode kombinitif antara kuantitatif dan kualitatif dengan mengambil data kecepatan dan arah angin pada lokasi yang berpotensi mendapatkan angin yang kencang dan dilakukan simulasi untuk melihat kecepatan angin dan arah gerak angin yang mengenai bangunan PPAG 2. Dilanjutkan dengan metode kualitatif yaitu merencanakan penyatuan turbin angin dengan desain fasad bangunan tinggi PPAG 2 tanpa mengubah desain awal gedung. Tahap mendesain ini dilakukan dalam mengolah turbin angin vertikal yang menyatu dengan desain bangunan PPAG 2 Unpar sehingga dengan adanya penambahan turbin angin itu tidak merusak desain bangunan PPAG 2 atau dapat menambahkan elemen estetis pada desain bangunan.

Hasilnya adalah posisi yang paling efektif untuk peletakan turbin angin vertikal model Makemu Domus 1000 W berada di rooftop tower Utara sisi Utara, kedua rooftop tower Selatan sisi Utara, dan di atas jembatan. Turbin angin model itu dapat beroperasi dengan kecepatan angin yang rendah dimana pada posisi yang disebutkan tadi sudah bisa beroperasi bahkan menghasilkan listrik yang cukup signifikan. Perencanaan penyatuan turbin angin dengan desain fasad bangunan tinggi PPAG 2 menghasilkan desain PPAG 2 eksisting yang ditambah turbin angin dengan elemen tambahan seperti kanopi untuk membelokkan angin sehingga kecepatan angin yang diterima turbin lebih tinggi dan desain menyatu dengan elemen tambahan menggunakan karakteristik bentuk dan warna dari desain fasad eksisting.

**Kata-kata kunci:** turbin angin, aksis vertikal, desain fasad, penghasilan listrik

## **Abstract**

### ***UNITY PLAN WIND TURBINE WITH TALL BUILDING FACADE DESIGN***

***STUDY OBJECT: PUSAT PEMBELAJARAN ARNZT-GEISE 2 UNPAR***

***by  
Jerry  
NPM: 6111901178***

*Electricity in Indonesia is still largely generated from non-renewable sources, despite their many drawbacks and negative impacts on the environment. To address this issue, renewable energy sources such as wind, water, and solar power are being developed as alternatives in power generation, with a focus on wind energy in this study. While large-scale wind turbines are more efficient when placed in open areas with strong winds, they are not suitable for urban areas due to high-rise buildings, noise, and detrimental visual impact. Therefore, small-scale vertical-axis wind turbines can be more effective and efficient in urban settings by utilizing tall buildings as an initial elevation boost without the additional cost of towers or turbine poles. The object of study is the tall building of PPAG 2 Unpar in Bandung. The research aims to analyze the optimal wind turbine model to be used in this case study, identify effective positions for placing the wind turbines to generate electricity, and plan the integration of the PPAG 2 Unpar building facade design with vertical-axis wind turbines.*

*The research utilizes a combinative method combining quantitative and qualitative approaches by collecting wind speed and direction data at locations with potential for strong winds. Simulations are conducted to observe wind speed and direction impacting the PPAG 2 building. The qualitative method involves plan to unite the wind turbine and tall building facade design without altering the original design of the PPAG 2 building. This design phase involves incorporating the vertical-axis wind turbine into the PPAG 2 Unpar building design, ensuring that the addition of wind turbines does not disrupt the existing design or add aesthetic elements to the building design.*

*The results indicate that the most effective positions for placing the Makemu Domus 1000 W vertical-axis wind turbine are on the northern side of the north rooftop tower, the northern side of the southern rooftop tower, and above the bridge. The wind turbine model can operate at low wind speeds, and in the mentioned positions, it can generate significant electricity. The integration planning of wind turbines with the high-rise PPAG 2 building facade design results in an enhanced design of the existing PPAG 2, with additional elements such as canopies to redirect the wind, allowing the turbine to receive higher wind speeds. The integrated design utilizes the characteristics of shape and color from the existing facade design.*

***Keywords:*** *wind turbine, vertical axis, facade design, generate electricity*

## **PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI**

Skripsi yang tidak dipublikasikan ini, terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Katolik Parahyangan, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI dan tata cara yang berlaku di lingkungan Universitas Katolik Parahyangan.

Referensi kepubstakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

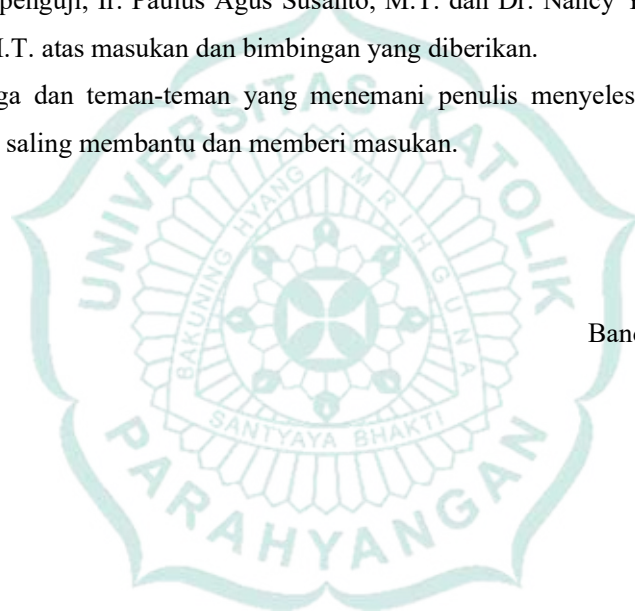
Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Skripsi haruslah seizin Rektor Universitas Katolik Parahyangan.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan penelitian ini. Penelitian ini dibuat untuk memenuhi tugas akhir Program Studi Sarjana Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Parahyangan. Selama proses penelitian berlangsung, penulis mendapatkan bimbingan, arahan, dukungan, dan saran. Untuk itu rasa terima kasih sedalam-dalamnya penulis sampaikan kepada:

- Dosen pembimbing, Dr. Kamal A. Arif, M. Eng. atas bimbingan dan asistensi sepanjang skripsi ini sehingga banyak pembelajaran yang dapat diserap dan skripsi ini dapat terselesaikan.
- Dosen penguji, Ir. Paulus Agus Susanto, M.T. dan Dr. Nancy Yusnita Nugroho, S.T., M.T. atas masukan dan bimbingan yang diberikan.
- Keluarga dan teman-teman yang menemani penulis menyelesaikan skripsi ini dengan saling membantu dan memberi masukan.



Bandung, 6 Juli 2023

Jerry

## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN SKRIPSI	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	6
1.3 Pertanyaan Penelitian .....	6
1.4 Tujuan Penelitian .....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	7
1.6 Ruang Lingkup .....	7
1.7 Kerangka Penelitian .....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Kondisi Pembangkit Listrik di Indonesia .....	9
2.2 Turbin Angin .....	10
2.2.1 Angin .....	11
2.2.2 Kelebihan Turbin Angin Dibanding Energi Terbarukan Lainnya .....	11
2.2.3 Prinsip Kerja Turbin Angin .....	12
2.2.4 Model Turbin Angin Berdasarkan Axis .....	13
2.2.5 Jenis Turbin Angin Berdasarkan Aplikasi .....	15
2.3 Potensi Turbin Angin Indonesia .....	16
2.4 Turbin Angin pada Area Urban .....	17
2.4.1 Potensi Turbin angin pada Area Urban .....	17
2.4.2 Pengaruh Bangunan terhadap Kecepatan Angin .....	18
2.5 Brosur Turbin Angin Aksis Vertikal .....	24
2.5.1 Turbin angin aksis vertikal Aeromine .....	24



2.5.1.1 Spesifikasi .....	24
2.5.1.2 Cara Kerja .....	25
2.5.2 Turbin angin aksis vertikal Qr 6 .....	26
2.5.3 Turbin angin aksis vertikal Makemu Domus 1000 W .....	28
2.5.4 Turbin angin aksis vertikal FLTXNY 600 W .....	29
2.6 Simulasi Angin <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD).....	29
2.6.1 Autodesk CFD .....	31
2.7 Estetika Desain Bangunan .....	31
2.7.1 Teori Arsitektur <i>Form, Space, Order</i> Francis D.K. Ching .....	32
2.7.2 Teori Form Follows Function Louis Sullivan.....	32
2.7.3 Teori Arsitektur Post Modern .....	33
2.8 Desain Fasad Bangunan Menyatu dengan Turbin Angin .....	35
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	37
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian.....	37
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	39
3.3.1 Studi Pustaka.....	39
3.3.2 Pengambilan Data di Lapangan .....	39
3.3.3 Mendapatkan Gambar Kerja PPAG 2 Unpar.....	40
3.3.4 Simulasi kecepatan angin pada PPAG 2 .....	40
3.4 Tahap Analisis Data.....	40
3.5 Tahap Penarikan Kesimpulan .....	41
<b>BAB IV HASIL PENGAMBILAN DATA, SIMULASI, ANALISIS .....</b>	<b>43</b>
4.1 Membuat Model PPAG 2 Unpar.....	43
4.2 Data Angin.....	45
4.2.1 Data Kecepatan Angin BMKG .....	45
4.2.2 DataArah Angin.....	49
4.2.3 Data Kecepatan Angin Lapangan (PPAG 2).....	50
4.3 Simulasi Beban Angin dengan Autodesk CFD.....	52
4.3.1 Angin dari Utara.....	52
4.3.2 Angin dari Barat.....	55
4.4 Analisis Data Angin Lapangan dengan Simulasi Angin.....	57
4.5 Analisis Simulasi Angin Terhadap Bangunan PPAG 2 .....	59
4.5.1 Pengaruh bentuk bangunan terhadap kecepatan angin.....	59

4.5.2 Posisi peletakan turbin angin vertikal yang efektif.....	62
4.6 Analisis Model Turbin Angin Vertikal Berdasarkan Data.....	64
4.7 Perencanaan Penyatuan Turbin Angin dengan Desain Fasad PPAG 2.....	65
4.7.1 Titik peletakan turbin angin aksis vertikal Makemu Domus di PPAG 2 .....	65
4.7.2 3D Model bangunan PPAG 2 dengan turbin angin Makemu Domus 1000 W	65
4.7.3 Analisis hasil simulasi PPAG 2 setelah pengolahan desain.....	70
4.7.4 Analisis pengolahan desain fasad PPAG 2 dengan turbin berdasarkan teori...	74
4.8 Analisis Penghasilan Listrik Turbin Makemu Domus di PPAG 2.....	77
<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kesimpulan .....	79
5.2 Saran .....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>81</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Hasil listrik berdasarkan jenis pembangkit listrik 2021	1
Gambar 1.2 Turbin angin besar pada lapangan bebas	2
Gambar 1.3 Wind mapping Ciumbuleuit, Bandung ketinggian 10 m	3
Gambar 1.4 simulasi wind load tampak atas (kiri), tampak samping (kanan)	4
Gambar 1.5 Contoh bangunan dan turbin angin yang tidak menyatu secara desain	5
Gambar 1.6 Gedung PPAG 2 Unpar	6
Gambar 1.7 Kerangka penelitian	8
Gambar 2.1 Kapasitas terpasang pembangkit listrik di Indonesia	9
Gambar 2.2 5 Provinsi dengan kapasitas pembangkit listrik terpasang tertinggi	10
Gambar 2.3 Komponen turbin angin	13
Gambar 2.4 Turbin angin axis horizontal	14
Gambar 2.5 Turbin angin axis vertikal	14
Gambar 2.6 Jenis turbin angin vertikal	15
Gambar 2.7 Energi Bayu Harapan Baru	17
Gambar 2.8 Ilustrasi dan simulasi breezeway effect	19
Gambar 2.9 Ilustrasi dan simulasi downwash effect	20
Gambar 2.10 Ilustrasi dan simulasi downwash effect	21
Gambar 2.11 Ilustrasi dan simulasi <i>row effect</i>	21
Gambar 2.12 Ilustrasi dan simulasi <i>combined row and downwash effect</i>	21
Gambar 2.13 Ilustrasi dan simulasi <i>stageting effect</i>	22
Gambar 2.14 Ilustrasi dan simulasi <i>venturri effect</i>	22
Gambar 2.15 Ilustrasi dan simulasi <i>funneling effect</i>	22
Gambar 2.16 Ilustrasi dan simulasi <i>cumulative effect</i>	23
Gambar 2.17 Ilustrasi dan simulasi <i>corner effect</i>	23
Gambar 2.18 Ilustrasi dan simulasi <i>porous windbreak effect</i>	23
Gambar 2.19 Ilustrasi dan simulasi <i>wake effect</i>	24
Gambar 2.20 Ilustrasi dan simulasi <i>vortex shedding</i>	24
Gambar 2.21 Turbin angin vertikal model Aeromine	25
Gambar 2.22 Ilustrasi cara kerja turbin angin vertikal aeromine	26
Gambar 2.23 Turbin angin aksis vertikal Qr6	26
Gambar 2.24 Grafik penghasilan listrik Turbin angin Quiet Revolution QR6	27

Gambar 2.25 Tinggi tiang dan jarak antar turbin QR6	27
Gambar 2.26 Turbin angin vertikal Makemu Domus 1000 W	28
Gambar 2.27 Grafik penghasilan listrik Makemu Domus	28
Gambar 2.28 Turbin angin aksis vertikal FLTXNY 600 W	29
Gambar 2.29 Grafik penghasilan listrik Turbin angin FLTXNY 600 W	29
Gambar 2.30 Prinsip-prinsip penyusunan arsitektur D.K. Ching	32
Gambar 2.31 Contoh fasad bangunan yang menyatu dengan turbin angin	35
Gambar 2.32 Contoh bangunan yang kurang menyatu dengan turbin angin	35
Gambar 3.1 Denah atap PPAG 2 Unpar	38
Gambar 3.2 Tampak Timur PPAG 2 Unpar	38
Gambar 4.1 Denah Lt.01 PPAG 2 (kiri), denah atap PPAG 2 (kanan)	43
Gambar 4.2 Tampak Timur PPAG 2 Unpar	43
Gambar 4.3 Model massing bangunan PPAG 2 dengan Rhino	44
Gambar 4.4 Nama bagian model massing bangunan PPAG 2	44
Gambar 4.5 Peta jarak dari PPAG 2 Unpar ke Stasiun Geofisika Bandung	45
Gambar 4.6 Diagram lingkaran persentase arah angin stasiun Geofisika Bandung 2018	49
Gambar 4.7 Posisi pengambilan data kecepatan angin pada tower Utara PPAG 2	50
Gambar 4.8 Posisi pengambilan data kecepatan angin pada tower Selatan PPAG 2	51
Gambar 4.9 Posisi pengambilan data kecepatan angin pada Lt 3 Utara PPAG 2	52
Gambar 4.10 Arah angin Utara pada tampak atas modeling PPAG 2	52
Gambar 4.11 Simulasi angin Utara tampak isometri searah gerak angin	53
Gambar 4.12 Simulasi angin Utara tampak depan (Barat)	53
Gambar 4.13 Simulasi angin Utara tampak atas	53
Gambar 4.14 Simulasi angin Utara tampak isometri tegak lurus arah gerak angin	54
Gambar 4.15 Simulasi angin Utara, arah gerak angin isometri	54
Gambar 4.16 Arah gerak angin tampak atas (kiri), tampak depan (kanan)	54
Gambar 4.17 Arah angin Barat pada tampak atas modeling PPAG 2	55
Gambar 4.18 Simulasi angin Barat, tegak lurus arah gerak angin	55
Gambar 4.19 Simulasi angin Barat tampak atas	55
Gambar 4.20 Simulasi angin Barat, searah dengan gerak angin	56
Gambar 4.21 Simulasi angin Barat, arah gerak angin isometri	56
Gambar 4.22 Arah gerak angin Barat tampak atas (kiri), tampak depan (kanan)	56
Gambar 4.23 Arah angin pengambilan data kecepatan angin lapangan (PPAG 2)	57
Gambar 4.24 Simulasi angin yang datang dari Utara	57

Gambar 4.25 Perbesaran ( <i>Zoom</i> ) simulasi angin yang datang dari Utara	58
Gambar 4.26 Simulasi angin Utara (kiri) dan angin dari Barat (kanan)	58
Gambar 4.27 Simulasi angin Utara (kiri ke kanan)	59
Gambar 4.28 Simulasi angin Barat (kiri ke kanan) tampak samping	60
Gambar 4.29 Simulasi angin Barat tampak atas	61
Gambar 4.30 Simulasi angin Utara (kiri ke kanan)	62
Gambar 4.31 Simulasi angin Barat (kiri ke kanan)	63
Gambar 4.32 Posisi peletakan turbin angin vertikal yang paling efektif	63
Gambar 4.33 Posisi peletakan turbin angin vertikal Makemu Domus di PPAG 2	65
Gambar 4.34 Model bangunan PPAG 2 tanpa turbin, isometri dari depan	66
Gambar 4.35 Model bangunan PPAG 2 tanpa turbin, isometri dari belakang	66
Gambar 4.36 Turbin angin vertikal Makemu Domus 1000 W pada model PPAG 2	67
Gambar 4.37 Model bangunan PPAG 2 dengan turbin, isometri dari depan	67
Gambar 4.38 Model bangunan PPAG 2 dengan turbin, isometri dari belakang	68
Gambar 4.39 Perencanaan desain penyatuan turbin angin dengan PPAG 2, iso depan	69
Gambar 4.40 Perencanaan desain penyatuan turbin angin dengan PPAG 2, iso belakang	69
Gambar 4.41 Gambar detail elemen tambahan tampak samping	70
Gambar 4.42 Gambar detail elemen tambahan tampak depan	70
Gambar 4.43 Arah angin Utara pada tampak atas modeling PPAG 2	71
Gambar 4.44 Arah angin Utara, simulasi searah dengan gerak angin	71
Gambar 4.45 Arah angin Utara, simulasi tegak lurus dengan arah gerak angin	71
Gambar 4.46 Arah angin Utara, simulasi dari tampak atas	72
Gambar 4.47 Arah angin Barat pada tampak atas modeling PPAG 2	72
Gambar 4.48 Arah angin Barat, simulasi dari tampak samping	73
Gambar 4.49 Arah angin Barat, simulasi dari tampak atas	73
Gambar 4.50 Prinsip-prinsip penyusunan arsitektur D.K. Ching	74
Gambar 4.51 Peletakan turbin angin yang mengikuti sumbu memanjang bangunan	75
Gambar 4.52 Tampak Utara PPAG 2	75
Gambar 4.53 Model 3d PPAG 2 tampak isometri perspektif	76
Gambar 4.54 Grafik penghasilan listrik turbin Domus	77
Gambar 5.1 Posisi peletakan turbin angin vertikal Makemu Domus yang efektif	79
Gambar 5.2 Rencana desain penyatuan turbin angin dengan desain fasad PPAG 2	80

## DAFTAR TABEL

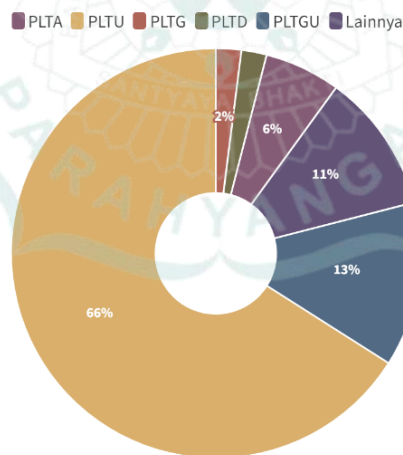
Tabel 2.1 Spesifikasi turbin angin Aeromine	25
Tabel 2.2 Spesifikasi turbin angin Qr6	27
Tabel 2.3 Spesifikasi turbin angin Makemu Domus 1000 W	28
Tabel 2.4 Spesifikasi turbin angin FLTXNY 600 W	29
Tabel 3.1 Jadwal pengambilan data rooftop PPAG 2	39
Tabel 4.1 Data angin dari stasiun Geofisika Bandung 2018	46
Tabel 4.2 Data angin dari Stasiun Geofisika Bandung 2019	46
Tabel 4.3 Data angin dari Stasiun Geofisika Bandung 2020	47
Tabel 4.4 Data angin dari Stasiun Geofisika Bandung 2021	47
Tabel 4.5 Data angin dari Stasiun Geofisika Bandung 2022	48
Tabel 4.6 Data kecepatan angin rata-rata dari Stasiun Geofisika Bandung 2018 – 2022	48
Tabel 4.7 Data angin dari stasiun Geofisika Bandung 2018	49
Tabel 4.8 Data angin pada tower Utara PPAG 2 pada 16 Mei 2023	50
Tabel 4.9 Data angin pada tower Utara PPAG 2 pada 11 Juni 2023	51
Tabel 4.10 Data angin pada tower Selatan PPAG 2 pada 16 Mei 2023	51
Tabel 4.11 Data angin pada tower Selatan PPAG 2 pada 11 Juni 2023	51
Tabel 4.12 Data angin pada rooftop lt.3 PPAG 2 pada 16 Mei 2023	52
Tabel 4.13 Data angin pada rooftop lt.3 PPAG 2 pada 11 Juni 2023	52
Tabel 4.14 Pengaruh bentuk bangunan pada angin Utara	59
Tabel 4.15 Pengaruh bentuk bangunan pada angin Barat (tampak samping)	61
Tabel 4.16 Pengaruh bentuk bangunan pada angin Barat (tampak atas)	62
Tabel 4.17 Posisi peletakan turbin angin vertikal yang paling efektif	63
Tabel 4.18 Data spesifikasi macam-macam model turbin angin vertikal	64
Tabel 4.19 Perhitungan kasar listrik yang dihasilkan turbin per tahun	77
Tabel 4.20 Tarif listrik PLN golongan sosial	78

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan zaman membuat kehidupan manusia tidak terpisahkan lagi dengan penggunaan listrik. Listrik sudah menjadi bagian besar hidup manusia dalam menunjang segala aktivitas, terutama pada dalam bangunan seperti menerangi ruangan dengan lampu, menyejukan ruang dengan AC, menyuplai listrik dalam menghidupkan komputer, dan masih banyak lainnya. Berdasarkan Badan Pusat Statistik sebagian besar listrik yang dihasilkan di Indonesia pada tahun 2021 melalui pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) sebesar 66% yang menghasilkan listrik dengan putaran turbin yang disebabkan oleh uap panas air boiler dari pembakaran batu bara. Ditambah lagi dengan pembangkit listrik lainnya yang juga menggunakan energi tidak terbarukan sebagai bahan bakarnya seperti solar dan diesel dalam mengoperasikan PLTGU, PLTG, dan PLTD. Dengan demikian, pasokan listrik Indonesia yang dihasilkan oleh pembangkit listrik bahan bakar energi tidak terbarukan minimal 83% dari keseluruhan penghasilan listrik skala nasional.



Gambar 1.1 Hasil listrik berdasarkan jenis pembangkit listrik 2021

Sumber: Badan Pusat Statistik 2023, <https://goodstats.id>

Pembakaran energi tidak terbarukan dalam menghasilkan listrik itu terus dijadikan sumber pasokan listrik utama di Indonesia karena bahan yang mudah didapat, efisien, dan teknologi yang sudah mapan. Namun, pemanfaatan energi tidak terbarukan itu sangat merusak

lingkungan, salah satu contohnya setiap PLTU berkapasitas 1 GW menghasilkan 5 juta ton CO<sub>2</sub> menurut Plt. Direktur Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM Dadan Kusdiana. Dalam mengatasi permasalahan itu dikembangkannya pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan seperti angin, air, dan sinar matahari. Salah satunya pembangkit listrik tenaga angin yang memanfaatkan hembusan angin natural untuk memutar turbin angin sehingga mengkonversi energi mekanik menjadi listrik.

Dibandingkan dengan sumber energi lain pembangkit listrik tenaga angin memiliki kelebihan sehingga berpotensi untuk digunakan dalam skala bangunan seperti, angin hampir ada dimana saja dan lebih konsisten dibanding sinar matahari, efisiensi konversi yang sangat baik, menempati lahan yang kecil, dampak negatif ke lingkungan yang minimal contohnya CO<sub>2</sub> yang dikeluarkan lebih kecil dari solar panel, dapat didaur ulang, dan memiliki peluang besar untuk dimanfaatkan pada skala kecil seperti satu bangunan.

Turbin angin penghasil listrik lebih identik dengan kincir angin besar, putih, dan tinggi yang paling efisien diletakan di daerah urban, lapangan bebas yang terdapat banyak angin. Namun, turbin angin dengan model dan skala besar itu tidak cocok digunakan dalam perkotaan karena kurangnya angin yang berhembus akibat terhalangnya angin dengan bangunan-bangunan tinggi, menimbulkan kebisingan, dan dapat merusak lansekap kota. Ditambah lagi dengan kecepatan angin pada banyak daerah di Indonesia yang kurang kencang membuat turbin angin skala besar tidak sesuai untuk digunakan. Oleh sebab itu, pada perkotaan yang kecepatan anginnya tidak terlalu kencang akan lebih sesuai dan efisien untuk menggunakan turbin angin kecil dan aksis vertikal karena dapat menerima angin dari segala sisi. Dalam memanfaatkan bentuk bangunan tinggi di perkotaan dapat meningkatkan kecepatan angin dengan mendapatkan elevasi ketinggian awal, lorong angin, dan pengaruh lainnya dari bangunan yang membuat kecepatan angin semakin kencang tanpa perlu adanya tambahan biaya dalam membuat menara atau tiang turbin tinggi.



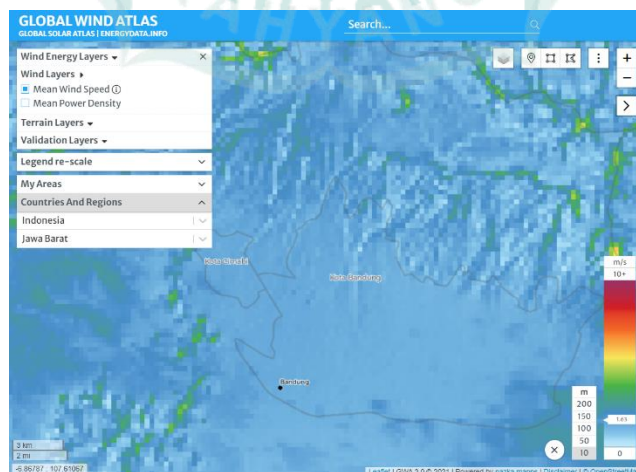
Gambar 1.2 Turbin angin besar pada lapangan bebas



Sumber: <https://www.britannica.com>

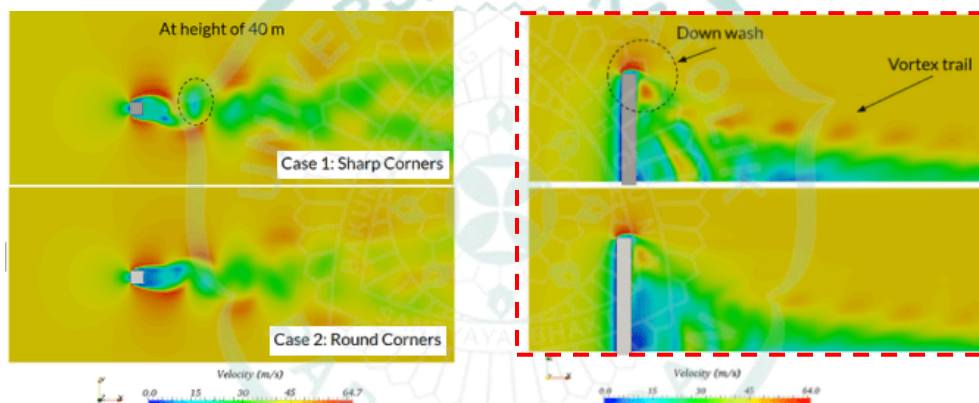
Penelitian ini menggunakan objek studi gedung Pusat Pembelajaran Arnzt Geise 2 (PPAG 2) Universitas Katolik Parahyangan yang berlokasi di Ciumbuleuit, Bandung. Pemilihan objek studi ini dengan pertimbangan gedung PPAG 2 merupakan bangunan tinggi yang di sekitarnya tidak ada bangunan tinggi lainnya yang dapat menghambat hembusan angin, berada di tengah perkotaan, bangunan berkapasitas besar yang setiap hari beroperasi sehingga penggunaan listrik yang besar dan listrik dihasilkan oleh turbin angin dapat langsung dipakai. Gedung PPAG 2 Unpar beroperasi dari hari Senin hingga Sabtu karena ada beberapa mata kuliah yang masuk di hari Sabtu dan bahkan di hari Minggu beroperasi bila ada acara. Kelas-kelas dilaksanakan dari jam 7.00 – 18.00 dan untuk beberapa ruang seperti ruang SPA dan SAA bisa digunakan hingga jam 21.00. Ditambah dengan penggunaan listrik yang banyak dikarenakan banyaknya alat elektronik yang di charge seperti laptop, handphone, menyalakan proyektor, AC, lampu, lift, dan lain-lain.

Dalam perencanaan turbin angin yang akan diletakkan pada bangunan di perkotaan diperlukan data kecepatan angin daerahnya terlebih dahulu. Data itu dapat dilihat dari *wind mapping* dan data dari stasiun cuaca seperti stasiun Geofisika Bandung. Kecepatan angin di Ciumbuleuit, Bandung sebesar 1,61 m/s didapat dari melihat *wind mapping* menurut global wind atlas yang diambil dari ketinggian 10 m dari tanah. Pada daerah Ciumbuleuit kecepatan anginnya masih tergolong rendah sehingga tidak efektif untuk dimanfaatkan dalam memutar turbin angin horizontal yang lebih sesuai digunakan untuk skala besar, angin kencang, dan berada di lapangan terbuka luas sehingga turbin angin vertikal lebih berpotensi digunakan dalam kondisi ini.



Gambar 1.3 Wind mapping Ciumbuleuit, Bandung ketinggian 10 m  
Sumber: <https://globalwindatlas.info/>

Simulasi wind load pada bangunan tinggi pada gambar dibawah menunjukkan kecepatan angin dengan perbedaan warna, biru menunjukkan kecepatan angin yang rendah dan warna yang semakin ke kanan kecepatan angin semakin besar. Dapat dilihat dari simulasi dibawah pada bangunan tinggi yang disekitarnya tidak ada bangunan tinggi lainnya yang menghambat hembusan angin, kecepatan angin yang paling besar berada di kedua tepi samping fasad bangunan dimana arah hembusan angin dan pada atap tepi bangunan. Kedua area ini mendapat kecepatan angin yang lebih besar dari area lainnya karena adanya tambahan angin yang disebabkan oleh angin yang menabrak fasad bangunan mengalir ke samping dan atas sehingga angin pada tepi itu menjadi lebih cepat. Pada penelitian ini peletakan turbin angin diletakan di atas bangunan ketimbang di tepi samping. Alasan dari batasan penelitian itu karena penambahan turbin angin pada bangunan eksisting jauh lebih mudah pemasangan dan perawatannya di atap bangunan dak beton datar dibandingkan dengan samping ujung bangunan tinggi.



Gambar 1.4 simulasi wind load tampak atas (kiri), tampak samping (kanan)  
 Sumber: <https://www.simscale.com>

Dalam melakukan upaya penggantian penggunaan listrik dari listrik pln menjadi tenaga angin (energi terbarukan) dapat dilakukan dengan skala mikro terlebih dahulu. Memanfaatkan tenaga angin untuk menghasilkan sebagian keperluan listrik pada gedung PPAG 2. Listrik yang dihasilkan oleh turbin angin ditampung terlebih dahulu pada baterai sehingga dapat juga digunakan saat listrik mati yang merupakan insiden tidak jarang terjadi pada gedung PPAG 2.

Banyak penginstalan turbin angin pada bangunan yang tidak dipikirkan dengan baik secara desain sehingga turbin angin itu hanya berupa tempelan yang tidak menyatu dengan keseluruhan desain bangunan. Hal ini dapat merusak tampak bangunan dan juga lanskap

kota karena kurang sentuhan arsitek atau desainer. Diperlukan penggabungan antara pembangkit listrik tenaga angin dengan desain fasad bangunan sehingga tidak hanya dapat efisien dalam menghasilkan listrik, namun desain fasadnya juga menyatu dan bahkan dapat menjadi estetika bangunan atau perkotaan. Pada penelitian ini difokuskan dalam perencanaan penyatuan desain fasad bangunan dengan turbin angin tanpa mengubah banyak fasad samping bangunan dan perubahan elemen berfungsi untuk mengoptimalkan penghasilan listrik dari turbin angin dan membuat desain bangunan menyatu.



Gambar 1.5 Contoh bangunan dan turbin angin yang tidak menyatu secara desain  
Sumber: <https://www.linkedin.com>

Objek studi PPAG 2 Unpar yang berfungsi sebagai wadah aktivitas perkuliahan ini merupakan salah satu bangunan tinggi yang setiap sisinya tidak terhalang oleh bangunan lain, merupakan bangunan universitas ternama, dan ditambah lagi dengan warnanya yang menarik perhatian membuat gedung ini menjadi salah satu bangunan ikonik Ciumbuleuit. Bentuk dan desain bangunan selain untuk memenuhi fungsinya juga perlu dipikirkan secara keindahan / estetikanya juga sehingga tidak merusak lansekap perkotaan. Turbin angin vertikal yang ditambahkan pada bagian atas tepi bangunan akan terlihat dengan jelas dari mata orang dibawah atau yang melalui bangunan ini sehingga penempatan dan pengolahan tampak dari turbin angin yang dipasang perlu disesuaikan dengan desain bangunan. Diperlukannya penyatuan desain fasad antara bangunan PPAG 2 ini dengan turbin angin tanpa mengorbankan efisiensi kerja turbinnya. Dari penyatuan desain itu diharapkan bisa membuat penambahan turbin angin itu tidak merusak tampak bangunan atau bahkan dapat menjadi elemen desain yang menaikkan estetika desain bangunan.



Gambar 1.6 Gedung PPAG 2 Unpar  
Sumber: <https://www.skyscrapercity.com>

## 1.2 Perumusan Masalah

Diperlukannya pengembangan pemanfaatan energi terbarukan seperti angin dalam menghasilkan listrik di perkotaan yang dipikirkan secara kesatuan desain fasad dengan bangunannya. Peletakan dan pengolahan turbin angin yang efisien pada bangunan perlu diperhitungkan dengan data kecepatan dan arah angin serta ada penyatuan desain sehingga dengan adanya turbin angin yang terlihat itu tidak merusak desain fasad bangunan yang pada penelitian ini menggunakan objek studi gedung PPAG 2 Unpar.

## 1.3 Pertanyaan Penelitian

Dari permasalahan yang sudah dipaparkan di atas, pertanyaan penelitian yang diperoleh sebagai berikut:

1. Dimana saja posisi peletakan turbin angin yang efektif di PPAG 2 Unpar?
2. Bagaimana penempatan dan perencanaan turbin angin dengan fasad bangunan tinggi PPAG 2 Unpar sehingga menjadi desain yang menyatu?

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis turbin angin tipe dan model apa yang optimal dioperasikan pada gedung PPAG 2 Unpar.
2. Menemukan posisi mana saja dan orientasi turbin angin di atap PPAG 2 Unpar yang paling efisien dalam menghasilkan listrik.
3. Merencanakan penyatuan desain fasad bangunan PPAG 2 Unpar dengan turbin angin aksis vertikal yang mempertimbangkan efisiensi penghasilan listrik dan estetika bangunan.

## **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk:

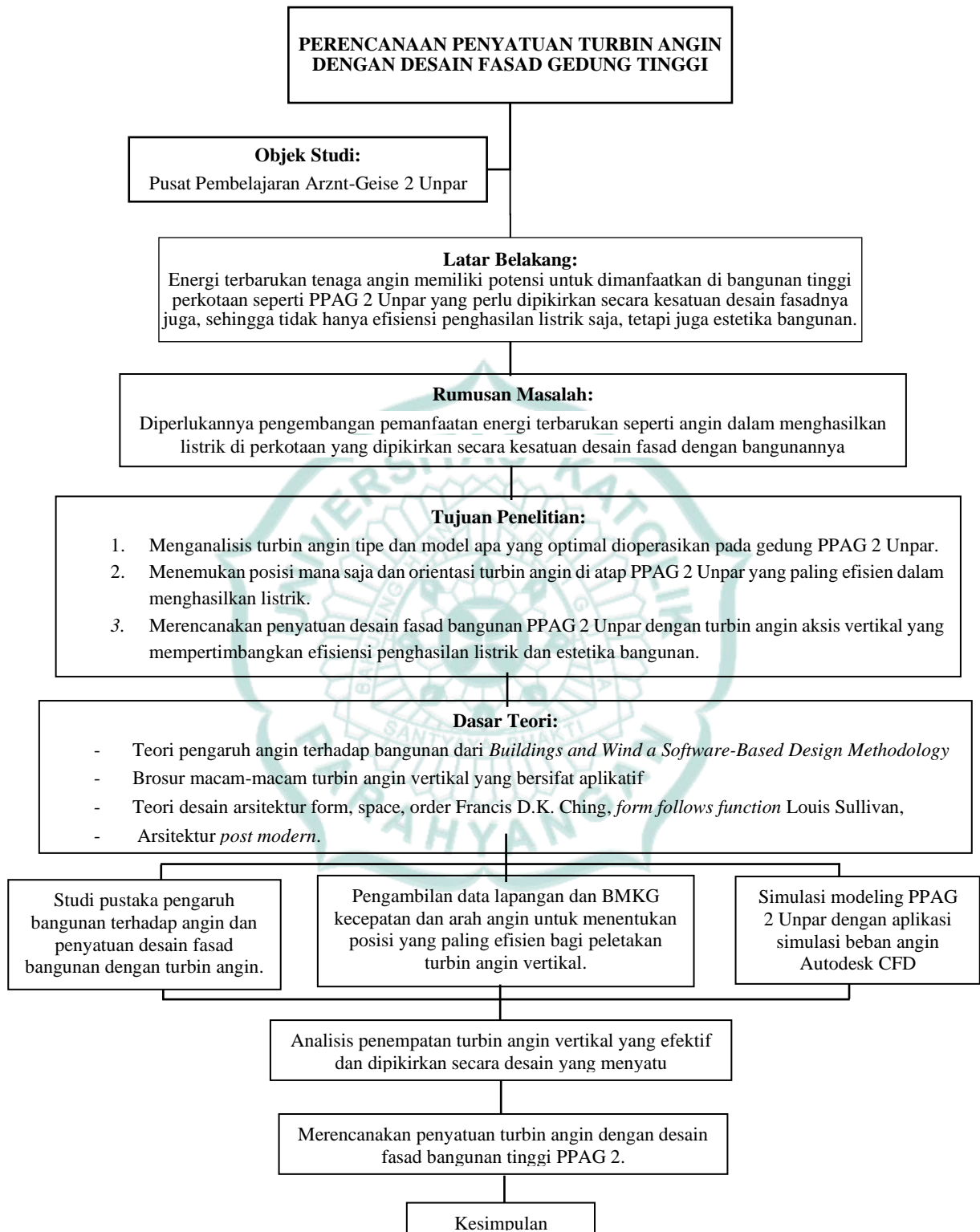
1. Menambah pengetahuan tentang penempatan turbin angin yang efisien dengan menentukan posisi dan orientasi pada gedung PPAG 2 Unpar dan bangunan tinggi lainnya yang sesuai dan desain bangunan tinggi yang menyatu dengan turbin angin.
2. Setelah selesainya penelitian, skripsi ini dapat menjadi ilmu tambahan bagi yang ingin mendalami tentang desain fasad bangunan yang menyatu dengan turbin angin, dilanjutkan untuk diteliti lebih dalam, menjadi pertimbangan untuk merealisasikan penginstalan turbin angin di PPAG 2 Unpar dalam upaya memanfaatkan energi terbarukan untuk menghasilkan sebagian listrik keperluan PPAG 2 itu sendiri.

## **1.6 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup yang menjadi batasan penelitian sebagai berikut:

1. Lingkup pembahasan turbin angin bersifat aplikatif dalam perencanaan penyatuan desain fasad bangunan dengan sudahnya ditentukan turbin angin aksis vertikal yang cenderung lebih berpotensi digunakan pada area urban untuk diteliti lebih lanjut.
2. Lingkup pembahasan perencanaan penyatuan desain fasad bangunan PPAG 2 Unpar dengan turbin angin tanpa mensubstraksi elemen desain dari PPAG 2 Unpar eksisting dan tidak diletakkan pada posisi yang sulit untuk melakukan pemasangan dan perawatan seperti di tepi bangunan.

## 1.7 Kerangka Penelitian



Gambar 1.7 Kerangka penelitian