

05/SKRIPSI/S.Tr-TKG/2026

SKRIPSI

**PERANCANGAN PANEL SURYA PADA BANGUNAN
BERTINGKAT DENGAN IMPLEMENTASI BIM REVIT 6D
(Studi Kasus: Gedung Perkuliahan St. John's
University,Taiwan)**



**Disusun untuk melengkapi salah satu syarat kelulusan Program D-IV
Politeknik Negeri Jakarta**

Disusun Oleh:

M Saeful Anwar

NIM. 2201421045

Pembimbing:

Rizki Yunita Sari, S.Pd., M.T.

NIP. 198906052022032006

**PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK KONSTRUKSI GEDUNG
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi Berjudul :

**PERANCANGAN PANEL SURYA PADA BANGUNAN BERTINGKAT
DENGAN IMPLEMENTASI BIM REVIT 6D**

(Studi Kasus: Gedung Perkuliahan St. John's) yang disusun oleh **M Saeful Anwar**
(2201421045) telah disetujui dosen pembimbing untuk dipertahankan dalam

Sidang Skripsi Tahap 1

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Pembimbing

Rizki Yunita Sari, S.Pd., M.T.

NIP. 198906052022032006



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi berjudul :

**PERANCANGAN PANEL SURYA PADA BANGUNAN BERTINGKAT
DENGAN IMPLEMENTASI BIM REVIT 6D**

(Studi Kasus: Gedung Perkuliahan St. John's) yang disusun oleh **M Saeful Anwar**
(**2201421045**) telah dipertahankan dalam Sidang **Skripsi Tahap 1** di depan Tim
Penguji Pada hari Jumat tanggal 06 Juni 2026

	Nama Tim Penguji	Tanda Tangan
Ketua	Sidiq Wacono, S.T., M.T. NIP : 196401071988031001	
Anggota	Agung Budi Broto, S.T., M.T. NIP : 196304021989031003	
Anggota	RA. Kartika Hapsari Sutantiningrum, S.T., MT. NIP : 19900519202012215	

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Politeknik Negeri Jakarta



Istiatun S. T., M. T.

NIP. 196605181990102001



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : M Saeful Anwar
NIM : 2201421045
Program Studi : D-IV Teknik Konstruksi Gedung
Alamat Email : m.saeful.anwar.ts22@mhsw.pnj.ac.id
Judul Naskah : Perancangan Panel Surya Pada Bangunan Bertingkat Dengan ImplementasiI BIM REVIT 6D (Studi Kasus: Gedung Perkuliahan St. John's University,Taiwan)

Dengan ini, saya menyatakan bahwa tulisan yang saya sertakan dalam Skripsi Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta Tahun Akademik 2025/2026 adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan karya orang lain dan belum pernah diikutsertakan dalam segala bentuk kegiatan akademis.

Apabila dikemudian hari ternyata tulisan/naskah saya tidak sesuai dengan pernyataan ini, maka secara otomatis tulisan/naskah saya dianggap gugur dan bersedia menerima sanksi yang ada. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

New Taipei, 10 Mei 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

M Saeful Anwar



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: **“PERANCANGAN PANEL SURYA PADA BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN IMPLEMENTASI BIM REVIT 6D (Studi Kasus: Gedung Perkuliahan St. John's University, Taiwan)”**

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Konstruksi Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem panel surya pada bangunan bertingkat dengan memanfaatkan teknologi *Building Information Modeling* (BIM) Revit 6D, sehingga dapat mendukung perencanaan bangunan yang lebih efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan melalui optimalisasi pemanfaatan energi terbarukan.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, bimbingan, serta motivasi. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Bapak Kasum dan Ibu Maenah yang selalu mendoakan, memberikan dukungan moral dan material, serta menjadi sumber kekuatan dan semangat utama dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Ibu Rizki Yunita Sari, S.Pd., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berharga dari tahap awal hingga selesainya skripsi ini.
3. Ibu Istiatun, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Jakarta.
4. Dosen dan staf di St. John's University, Taiwan, yang telah memberikan dukungan data, informasi, serta kesempatan sehingga penelitian studi kasus ini dapat terlaksana dengan baik.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

5. Kakak dan Saudara Penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangat selama proses penyusunan tugas akhir ini.
6. Sahabat dan teman-teman (Jumantara, Arkananta, Kabinet Maju Mundur serta L&K A (St.Jhon university)) yang telah menjadi bagian dari perjalanan kehidupan perkuliahan Penulis
7. Dan yang terakhir, penulis ingin berterima kasih kepada diri sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah dalam menghadapi berbagai tantangan selama proses penyusunan skripsi ini hingga dapat menyelesaikannya dengan baik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan, baik dari segi penyajian, analisis, maupun pembahasan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang guna penyempurnaan penelitian ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang energi terbarukan dan implementasi teknologi BIM dalam perancangan bangunan berkelanjutan.

New Taipei, 02 Maret 2026

M Saeful Anwar

NIM 2201421045



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I	
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat Penulisan.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
2.2 Keterbaruan Penelitian (<i>Research Novelty</i>).....	9
2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biaya Operasional Energi Listrik.....	9
2.3.1 Pola Konsumsi Energi Berdasarkan Jadwal Akademik.....	10
2.3.2 Sistem HVAC sebagai Kontributor Utama Beban Energi.....	10
2.3.3 Beban Listrik Pada Jam Operasional Gedung.....	10
2.3.4 Pengaruh Kondisi Iklim terhadap Konsumsi Energi Listrik.....	11
2.3.5 Karakteristik Bukaan Gedung.....	11
2.4 Sistem Panel Surya pada Bangunan Bertingkat.....	11
2.4.1 Standar Solar Panel di Taiwan.....	12
2.4.2 Keterkaitan Solar Panel dengan Green Building di Taiwan.....	13
2.4.3 Prinsip Kerja Sistem Panel Surya.....	13
2.4.4 Komponen Sistem Panel Surya.....	14
2.4.5 Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Panel Surya.....	15
2.4.6 Objek Studi: Gedung St. John's University.....	16
2.4.7 Perencanaan Rooftop Solar panel.....	16
2.5 Building Information Modeling (BIM) Dimensi 6D.....	17
2.5.1 Konsep dan Perkembangan BIM (3D–7D).....	18
2.5.2 Standar Yang digunakan Autodesk Revit Untuk Analisis.....	18



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.5.2.1 Mesin Simulasi EnergyPlus™ dan Integrasi BIM 6D.....	18
2.5.2.2 Model Radiasi Sky Diffuse (Perez Model).....	19
2.5.2.3 Algoritma Ray-Tracing dan Geometri Surya.....	19
2.5.2.4 Parameter Fotovoltaik Standar NREL.....	19
2.5.2.5 Parameter yang Digunakan Revit.....	19
2.5.3 BIM 6D dalam Analisis Energi dan Sustainability.....	22
2.5.4 Integrasi Model Energi dan Biaya dalam BIM.....	22
2.5.5 Autodesk Revit dalam Implementasi BIM 6D.....	22
2.5.6 Peran BIM 6D dalam Optimasi Penempatan Panel Surya.....	23
2.5.7 Simulasi Analisis Energi pada Autodesk Revit.....	23
2.6 Penghematan Biaya dan Kelayakan Ekonomi Sistem Panel Surya.....	24
2.6.1 Analisis Konsumsi Energi dan Penghematan Biaya Listrik.....	24
2.6.2 Biaya Perangkat Lunak Building Information Modeling (BIM).....	25
2.7 Kerangka Pemikiran Penelitian.....	26
BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Lokasi dan Objek Penelitian.....	27
3.2 Tahapan Penelitian.....	28
3.3 Variabel Penelitian.....	30
3.3.1 Variabel Bebas.....	30
3.3.2 Variabel Terikat.....	30
3.3.3 Hubungan Antar-Variabel (Penetapan Variabel Penelitian).....	31
3.4 Alat Penelitian.....	31
3.5 Pengumpulan Data.....	32
3.5.1 Kriteria Validator.....	33
3.5.2 Penyusunan Pertanyaan Wawancara.....	35
3.5.3 Kriteria Narasumber.....	39
3.6 Teknik Pengolahan Data.....	40
3.6.1 Metode Simulasi Penempatan Panel Surya Berbasis Autodesk Revit.....	40
3.6.2 Analisis Penghematan Energi dan Biaya Operasional Akibat Penerapan Panel Surya.....	42
3.7 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	45
3.8 Luaran.....	46
BAB IV	
DATA DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biaya Operasional Energi Listrik di Gedung St.Jhon University.....	47
4.1.1 Hasil Validasi Pakar Penelitian.....	47
4.1.2 Hasil Jawaban Narasumber.....	50
4.1.3 Analisis Tipe atap.....	53
4.1.4 Analisis Konsumsi Daya Listrik.....	54



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.1.5 Data Konsumsi Listrik Tahun 2025.....	55
4.1.6 Faktor Faktor yang mempengaruhi biaya listrik pada Gedung St.Jhon University.....	55
4.2 Penerapan Building Information Modeling (BIM) 6D.....	56
4.2.1 Perancangan Pannel Surya Pada revit.....	56
4.2.2.1 Penentuan Arah Utara Bangunan (Building North Orientation)..	57
4.2.2.2 Pengaturan Lokasi dan Analisis Jalur Matahari (Sun Settings)...	57
4.2.2.3 Simulasi Konsumsi Energi Bangunan Menggunakan Autodesk Insight.....	58
4.2.2.4 Simulasi Produksi Energi Panel Surya.....	60
4.2.2.5 Analisis Titik Optimal Pemasangan Panel Surya (Solar Heat Map Analysis).....	60
4.2.2.6 Penentuan Sudut Kemiringan (Tilt Angle) Panel Surya.....	62
4.2.2.7 Perbandingan Indikator Analisis Sistem Panel Surya.....	63
4.2.2 Analisis Energi Yang dihasilkan dengan Hitungan Manual.....	64
4.2.2.1 Parameter Input dan Sumber Data.....	64
4.2.2.2 Analisis Parameter Teknis.....	66
4.2.2.3 Efektivitas Penerapan BIM 6D dalam Penempatan Panel Surya dan Estimasi Produksi Energi Gedung.....	68
4.3 Penghematan dari diterapkannya panel surya.....	69
4.3.1 Penghematan Konsumsi Listrik Tahunan (kWh/tahun).....	70
4.3.2 Penghematan Biaya Listrik Tahunan (NT\$/tahun).....	70
4.3.3 Perbandingan Energi Eksisting dan Output Panel Surya.....	71
BAB V	
PENUTUP.....	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN.....	77



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu.....	6
Tabel 3.6 Data Cuaca.....	20
Tabel 3.7 Klasifikasi Potensi Energi.....	21
Tabel 3.1 Variabel Bebas.....	30
Tabel 3.2 Variabel Terikat.....	31
Tabel 3.3 Kriteria Validator.....	34
Tabel 3.4 Susunan Pertanyaan Wawancara.....	35
Tabel 3.5 Keterangan Responden.....	38
Tabel 3.6 Kriteria Narasumber.....	39
Tabel 3.7 Analisis warna pada solar radiation.....	42
Tabel 3.8 Hasil pengolahan data.....	44
Tabel 3.9 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	45
Tabel 3.10 Profil Pakar dan Narasumber.....	39
Tabel 4.1 Hasil validasi instrumen.....	40
Tabel 4.2 Hasil Jawaban Narasumber.....	42
Tabel 4.3 Analisis Konsumsi Daya Listrik.....	46
Tabel 4.4 Data Konsumsi Listrik Tahun 2025.....	47
Tabel 4.5 Perbandingan Skenario Maksimal dan Implementasi Optimal.....	55
Tabel 4.6 Perbandingan Skenario Maksimal dan Implementasi Optimal.....	56
Tabel 4.7 Perbandingan Hitungan Manual dengan Revit.....	59
Tabel 4.8 Perbandingan Energi Eksisting dan Output Panel Surya.....	63
Tabel 4.8 Hasil Jawaban Narasumber Ahli BIM.....	113
Tabel 4.9 Hasil Jawaban Narasumber Ahli Solar Panel.....	117



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Penerapan Panel Surya Pada Gedung Bertingkat.....	11
Gambar 2.2 Gedung St. John's University.....	16
Gambar 2.3 Atap pada Gedung St. John's University.....	16
Gambar 2.4 Dimensi informasi BIM.....	17
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Objek Penelitian.....	26
Gambar 3.3 Diagram Alir.....	27
Gambar 3.4 View Sun Setting.....	40
Gambar 3.5 View Photovoltaic Analysis.....	40
Gambar 3.6 Rangka Solar Pannel.....	46
Gambar 4.1 Pengaturan Arah Utara Bangunan.....	50
Gambar 4.2 View Location Weather and Site.....	51
Gambar 4.3 View Building/Space Type Setting.....	52
Gambar 4.4 View Photovoltaic Analysis.....	53
Gambar 4.5 View Photovoltaic Analysis.....	54
Gambar 4.6 Heat Map Radiasi Matahari.....	54
Gambar 4.7 Simulasi Sudut Kemiringan pada Permukaan Atap.....	55
Gambar 4.8 Implementasi Solar Panel.....	61

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 As Build Drawing.....	78
Lampiran 2 Building Managemen Profile.....	79
Lampiran 3 Appendix Interview validation.....	80
Lampiran 4 Appendix Sheet for BIM Expert & Solar Panel Specialist.....	96
Lampiran 5 Sertifikat Keahlian Narasumber.....	117
Lampiran 6 Formulir SI-1 Pernyataan Calon Pembimbing.....	118
Lampiran 7 Formulir SI-2 Lembar Pengesahan.....	119
Lampiran 8 Formulir SI-3 Asistensi Dosen Pembimbing.....	120
Lampiran 9 Formulir SI-3 Asistensi Dosen Penguji.....	121
Lampiran 10 Formulir SI-4 Lembar Persetujuan Pembimbing.....	124
Lampiran 11 Formulir SI-5 Lembar Persetujuan Penguji.....	125

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis energi dan peningkatan emisi karbon menjadi tantangan utama sektor bangunan secara global. Sektor Architecture, Engineering, and Construction (AEC) menyumbang sekitar 37% emisi karbon global dan 34% konsumsi energi dunia, sehingga bangunan berkontribusi signifikan terhadap degradasi lingkungan. Kondisi ini menuntut strategi perencanaan bangunan yang lebih berkelanjutan dan berbasis energi terbarukan. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah penerapan sistem *photovoltaic* (PV) terintegrasi untuk mendukung konsep *Net Zero Energy Building* (NZEB). Melalui konsep *Building Integrated Photovoltaic* (BIPV), panel surya dapat berfungsi sebagai elemen konstruksi seperti atap dan fasad sekaligus menghasilkan energi listrik secara mandiri, sehingga meningkatkan efisiensi ruang dan performa energi bangunan (Alves et al., 2025).

Seperti yang terjadi di lingkungan kampus St. John's University, kebutuhan energi listrik gedung perkuliahan meningkat seiring perkembangan fasilitas akademik dan teknologi pembelajaran. Aktivitas perkuliahan yang berlangsung hampir sepanjang hari menyebabkan tingginya penggunaan sistem pencahayaan, Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC), komputer, proyektor, dan perangkat elektronik lainnya. Di sisi lain, Taiwan merupakan wilayah yang memiliki potensi radiasi matahari yang relatif baik sehingga memungkinkan penerapan energi surya sebagai sumber energi alternatif pada bangunan pendidikan (Wang et al., 2025). Analisis radiasi matahari dan potensi PV dapat dilakukan melalui pemodelan bangunan menggunakan Autodesk Revit, yang mampu mengintegrasikan solar *radiation*, *sun path*, dan *photovoltaic potential* pada tahap desain (Kumar et al., 2022).

Tingginya konsumsi dan tagihan listrik pada gedung perkuliahan dipengaruhi oleh intensitas penggunaan ruang, durasi operasional HVAC yang panjang, serta penggunaan pencahayaan dan perangkat elektronik. Selain itu, belum terintegrasinya analisis performa energi sejak tahap awal perancangan menyebabkan potensi energi terbarukan belum dimanfaatkan secara optimal (Alves et al., 2025). Penerapan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sistem PV berbasis Building Information Modeling (BIM) memungkinkan perhitungan kebutuhan beban listrik dan penentuan kapasitas panel surya secara lebih akurat sehingga sistem dapat dirancang sesuai kebutuhan energi bangunan (Mrad et al., 2023).

Berdasarkan kondisi tersebut, integrasi sistem panel surya melalui pendekatan Building Information Modeling (BIM) hingga 6 Dimensi diduga mampu menjadi solusi untuk menekan konsumsi energi listrik gedung perkuliahan. Implementasi BIM 6D memungkinkan analisis energi, simulasi radiasi matahari, evaluasi shading, serta optimasi orientasi dan kemiringan panel secara komprehensif. Pendekatan ini juga mendukung penerapan konsep BIPV untuk memaksimalkan produksi energi dan meningkatkan efisiensi bangunan secara keseluruhan (Febru et al., 2024; Alves et al., 2025).

Oleh karena itu, peneliti mengangkat penelitian mengenai perancangan integrasi panel surya pada bangunan bertingkat dengan memanfaatkan teknologi BIM Revit hingga dimensi 6D. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi dalam meningkatkan efisiensi energi pada gedung perkuliahan, mengoptimalkan potensi radiasi matahari di wilayah Taiwan, serta mendukung penerapan konsep bangunan hijau dan berkelanjutan. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian ini berjudul: “Perancangan Panel Surya pada Bangunan Bertingkat dengan Implementasi BIM Revit 6D.”

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menjawab beberapa pertanyaan berikut:

1. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi besarnya biaya operasional energi listrik pada Gedung St. John’s University?
2. Bagaimana penerapan *Building Information Modeling* (BIM) 6D dapat mendukung perencanaan dan penempatan panel surya pada Gedung St. John’s University untuk mengoptimalkan efisiensi energi listrik?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Berapa besar penghematan dari diterapkannya panel surya pada gedung St.John's University ?

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, pembahasan dalam penelitian ini dibatasi pada beberapa aspek utama berikut:

1. Penelitian difokuskan pada Gedung Perkuliahan St. John's University di Taiwan sebagai objek studi kasus.
2. Desain yang digunakan merupakan representasi kondisi bangunan eksisting tanpa perubahan signifikan pada bentuk dan struktur utama bangunan.
3. Perancangan sistem dibatasi pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dipasang pada area atap bangunan menggunakan sistem *mounting* khusus yang menyesuaikan kondisi permukaan atap.
4. Sistem PLTS yang dikaji menggunakan skema *on-grid* tanpa melibatkan sistem penyimpanan energi (*battery storage*).
5. Pemodelan dan analisis dilakukan menggunakan pendekatan *Building Information Modeling* (BIM) berbasis Autodesk Revit 6D, dengan fokus pada analisis energi dan estimasi penghematan biaya operasional listrik.
6. Data iklim dan radiasi matahari mengacu pada data lokasi Taiwan yang relevan, termasuk penggunaan data cuaca format *EnergyPlus Weather* (.epw) dalam proses simulasi.
7. Penelitian ini tidak mencakup analisis struktur bangunan secara mendalam terkait kemampuan struktur dalam menahan beban tambahan panel surya.
8. Penelitian ini tidak menganalisis durasi atau waktu pemasangan sistem panel surya.
9. Penelitian ini tidak mencakup analisis biaya pemeliharaan (*maintenance*) sistem panel surya.
10. Analisis ekonomi dibatasi pada estimasi penghematan biaya listrik dan tidak mencakup analisis kelayakan finansial secara rinci, seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period*.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah dan batasan masalah yang telah dipaparkan, penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi biaya operasional energi listrik pada Gedung St. John's University.
2. Menganalisis penerapan *Building Information Modeling* (BIM) 6D dalam perencanaan dan penempatan panel surya untuk meningkatkan efisiensi energi listrik pada Gedung St. John's University.
3. Menentukan besarnya penghematan energi dan biaya operasional listrik yang dihasilkan dari penerapan panel surya pada Gedung St. John's University.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi Penulis: Mengembangkan keahlian praktis dalam mengimplementasikan teknologi BIM 6D menggunakan *software* Autodesk Revit, khususnya dalam menganalisis aspek keberlanjutan dan efisiensi energi pada bangunan gedung.
2. Bagi St. John's University: Memberikan rekomendasi desain tata letak panel surya yang paling optimal serta data konkret mengenai besar penghematan biaya operasional listrik untuk mendukung program efisiensi energi kampus.
3. Bagi Politeknik Negeri Jakarta: Penelitian ini dapat menjadi referensi akademik dalam pengembangan keilmuan, khususnya pada bidang konstruksi dan *Building Information Modeling* (BIM) 6D untuk analisis keberlanjutan bangunan. Selain itu, penelitian ini mendukung penguatan kurikulum berbasis teknologi konstruksi digital dan energi terbarukan serta membuka peluang penerapan konsep efisiensi energi dan energi surya di lingkungan kampus.
4. Bagi Pembaca: Menambah wawasan atau pengetahuan pembaca, serta dapat dijadikan referensi tentang pemanfaatan *Building Information Modeling* (BIM) 6D menggunakan *software* Autodesk Revit pada pemodelan energi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

surya dan penerapannya dalam menghitung besar penghematan energi serta biaya operasional pada suatu bangunan gedung.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun untuk memberikan gambaran yang terstruktur mengenai isi setiap bab. Adapun sistematika penulisan adalah sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini memuat latar belakang mengenai integrasi panel surya pada bangunan bertingkat menggunakan *Building Information Modeling* (BIM) 6D sebagai upaya mendukung efisiensi energi dan *sustainability*. Selain itu, disajikan rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas teori dan konsep yang mendasari penelitian, meliputi BIM 6D, potensi energi surya pada bangunan bertingkat, serta prinsip *sustainability*, serta penelitian terdahulu yang relevan.

BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan lokasi dan objek penelitian, jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data, serta tahapan penelitian yang meliputi wawancara narasumber, pemodelan menggunakan Autodesk Revit, dan analisis berbasis *cloud* melalui Autodesk Insight. Diagram alir penelitian juga disajikan pada bab ini.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil pemodelan dan simulasi panel surya berbasis BIM 6D, analisis kebutuhan energi gedung, optimasi desain, serta perhitungan potensi produksi energi dan penghematan biaya operasional.

BAB V Penutup

Bab ini berisi kesimpulan sebagai jawaban atas rumusan masalah serta saran untuk penelitian selanjutnya.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Faktor utama yang memengaruhi besarnya biaya operasional energi listrik pada Gedung St. John's University adalah tingginya penggunaan sistem pengondisian udara (AC), terutama pada ruang kuliah, laboratorium, dan ruang manajemen. Konsumsi listrik juga dipengaruhi oleh faktor musiman, khususnya pada musim panas di Taiwan yang menyebabkan peningkatan penggunaan AC selama jam operasional puncak. Selain itu, belum adanya sistem kontrol energi yang terintegrasi serta belum dilaksanakannya audit energi secara formal turut menyebabkan potensi inefisiensi penggunaan energi listrik pada gedung.

Penerapan Building Information Modeling (BIM) 6D terbukti mampu mendukung proses perencanaan dan penempatan panel surya secara efektif dan akurat. Integrasi Autodesk Revit, Insight, dan Solar Analysis memungkinkan identifikasi area atap optimal seluas 2.808 m² dengan orientasi menghadap selatan dan sudut kemiringan 25° yang sesuai dengan kondisi geografis Tamsui, Taiwan. Hasil simulasi menghasilkan potensi produksi energi listrik sebesar 507.461 kWh/tahun, sedangkan perhitungan manual menunjukkan hasil sebesar 516.270 kWh/tahun dengan selisih hanya 1,71%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model BIM 6D memiliki tingkat validitas yang tinggi dan dapat diandalkan sebagai alat perencanaan energi bangunan berbasis panel surya.

Penerapan sistem panel surya pada Gedung St. John's University mampu menghasilkan energi listrik sebesar 507.461 kWh/tahun sehingga menurunkan konsumsi listrik tahunan gedung dari 949.802 kWh menjadi 442.341 kWh. Penurunan konsumsi energi tersebut berdampak pada berkurangnya biaya operasional listrik dari NT\$ 3.592.433/tahun menjadi NT\$ 1.672.300/tahun. Dengan demikian, implementasi panel surya memberikan penghematan energi dan biaya operasional sebesar 53,4%, sehingga dapat menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi energi serta mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi listrik konvensional.



5.2 Saran

Peningkatan efisiensi energi di Gedung St. John's University dapat dilakukan melalui penggantian bertahap sistem pengkondisian udara (AC) yang sudah tua dengan teknologi yang lebih hemat energi, serta penerapan sistem manajemen energi terintegrasi. Selain itu, pelaksanaan audit energi secara berkala diperlukan untuk mengidentifikasi potensi pemborosan energi dan meningkatkan efisiensi operasional gedung secara keseluruhan.

Penerapan *Building Information Modeling* (BIM) 6D dalam perencanaan bangunan berkelanjutan sangat direkomendasikan karena mampu memberikan analisis dan simulasi energi yang lebih akurat sebelum implementasi di lapangan. Pendekatan ini dapat dimanfaatkan oleh pengelola bangunan maupun praktisi konstruksi dalam pengambilan keputusan terkait perencanaan sistem energi terbarukan, khususnya panel surya. Selain itu, pengembangan fitur pada BIM Insight juga perlu dilakukan agar dapat mendukung perencanaan sistem PLTS yang lebih komprehensif. Beberapa pengembangan yang disarankan meliputi penambahan kemampuan analisis shading secara lebih detail, optimasi otomatis tata letak dan kapasitas panel surya, integrasi database komponen PLTS yang lebih lengkap, serta penyediaan analisis ekonomi seperti Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), dan Payback Period. Dengan adanya pengembangan tersebut, BIM Insight tidak hanya berfungsi sebagai alat estimasi awal potensi energi, tetapi juga dapat menjadi platform yang lebih andal dalam mendukung perencanaan, evaluasi teknis, dan pengambilan keputusan investasi sistem energi surya pada bangunan.

Pengembangan penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan analisis kelayakan ekonomi yang lebih mendalam seperti *payback period*, *net present value* (NPV), dan *return on investment* (ROI) termasuk perhitungan biaya investasi awal (initial investment cost) sebagai dasar utama dalam evaluasi kelayakan finansial. Selain itu, studi lanjutan juga dapat mempertimbangkan integrasi sistem penyimpanan energi (*battery storage*) serta evaluasi kinerja panel surya dalam jangka panjang agar hasil penelitian menjadi lebih komprehensif.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Alves, J. L., Palha, R. P., & de Almeida Filho, A. T. (2025). BIM-based framework for photovoltaic systems: Advancing technologies, overcoming challenges, and enhancing sustainable building performance. *Sustainability*, 17(8), 3695. <https://doi.org/10.3390/su17083695>
- Chin, J. Y., Ng, C. T., Sa'ari, R., Ng, H. S., & Thong, J. W. (2025). Energy retrofitting by using building information modelling-based energy model. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*. <https://doi.org/10.1108/ijbpa-10-2024-0218>
- Febru, M. A., Hanifah, Y., & Setiawan, A. A. (2024). Bim implementation for bipv laying and slope design in energy-efficient building. *Lakar: Jurnal Arsitektur*, 7(1), 101. <https://doi.org/10.30998/lja.v7i1.22177>
- Home. (2019, December 26). IEA-PVPS. <https://iea-pvps.org>
- Irena – international renewable energy agency. (n.d.). Retrieved March 1, 2026, from <https://www.irena.org>
- Kulthanaphanich, Y., Permata, R., & Lin, S.-Y. (2025). Life cycle assessment of integrated energy and seismic retrofits for existing buildings. *Journal of Building Engineering*, 108, 112967. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.112967>
- Laporte, J. P., & Cansino, J. M. (2024). Energy consumption in higher education institutions: A bibliometric analysis focused on scientific trends. *Buildings*, 14(2), 323. <https://doi.org/10.3390/buildings14020323>
- Li, Y., Li, Y., & Ding, Z. (2024). Building information modeling applications in civil infrastructure: A bibliometric analysis from 2020 to 2024. *Buildings*, 14(11), 3431. <https://doi.org/10.3390/buildings14113431>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Lv, J., Lin, M., Zhou, W., & Xu, M. (2021). How PPP renegotiation behaviors evolve with traffic changes: evolutionary game approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(5). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002024](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002024)
- Mahiwal, S. G., Bhoi, M. K., & Bhatt, N. (2021). Evaluation of energy use intensity (EUI) and energy cost of commercial building in India using BIM technology. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(5), 877–894. <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00352-5>
- Melo, F. C., Carrilho da Graça, G., & Oliveira Panão, M. J. N. (2023). A review of annual, monthly, and hourly electricity use in buildings. *Energy and Buildings*, 293, 113201. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113201>
- Motalebi, M., Rashidi, A., & Nasiri, M. M. (2022). Optimization and BIM-based lifecycle assessment integration for energy efficiency retrofit of buildings. *Journal of Building Engineering*, 49, 104022. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104022>
- Nematchoua, M. K., & Reiter, S. (2021). Evaluation of bioclimatic potential, energy consumption, CO₂-emission, and life cycle cost of a residential building located in Sub-Saharan Africa; a case study of eight countries. *Solar Energy*, 218, 512–524. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.02.052>
- Product documentation*. (n.d.-a). Autodesk Help. Retrieved March 1, 2026, from <https://help.autodesk.com>
- Product documentation*. (n.d.-b). Autodesk Help. <https://help.autodesk.com>
- Quevedo, T. C., Geraldi, M. S., Melo, A. P., & Lamberts, R. (2024). Benchmarking energy consumption in universities: A review. *Journal of Building Engineering*, 82, 108185. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108185>



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Rey, G., Kunz, O., Green, M., & Trupke, T. (2022). Luminescence imaging of solar modules in full sunlight using ultranarrow bandpass filters. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 30(9), 1115–1121. <https://doi.org/10.1002/pip.3563>
- Salem, E., & Elwakil, E. (2025). Optimizing building energy performance using BIM and climate-driven site data. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10(9). <https://doi.org/10.1007/s41062-025-02221-5>
- Shahverdian, M. H., Najaftomaraei, M., Fassadi Chimeh, A., Yavarzadeh, N., Sohani, A., Javadijam, R., & Sayyaadi, H. (2025). Towards zero-energy buildings: a comparative techno-economic and environmental analysis of rooftop PV and BIPV systems. *Buildings*, 15(7), 999. <https://doi.org/10.3390/buildings15070999>
- Šriupša, L., Vaitkūnas, M., Baronas, A., & Dosinas, J. (2023). Analysis of self-generated PV energy consumption profiles in prosumers microgrid. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 1583–1602. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2290302>
- Tanne, Y. A., Rivana, D., Ramadan, R., & Farhani, S. (2025). BIM for efficiency and sustainability in construction: A case study in Indonesia. *Discover Civil Engineering*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44290-025-00228-6>
- Zhong, F., Wang, Y., Li, G., Huang, C., Xu, A., Lin, C., Xu, Z., Yan, Y., & Wu, S. (2021). Beyond-carbon materials for potassium ion energy-storage devices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 146, 111161. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111161>