

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Strategi Desain pasif

Strategi desain pasif merupakan salah satu solusi arsitektur dengan metode menyelaraskan elemen alam untuk meminimalkan konsumsi energi bangunan dengan cara mengoptimalkan penempatan bangunan (orientasi), pencahayaan alami, ventilasi alami dan insulasi bangunan (Al Nahlawi et al., 2022; Nady Faragallah, 2022). Sesuai dengan lokasi penelitian berada di Kota Yogyakarta, Indonesia, maka tinjauan pustaka merujuk pada penerapan strategi desain pasif untuk desain bangunan di iklim tropis panas lembap.

3.1.1 Orientasi

Desain pasif mempertimbangkan penempatan bangunan yang berdampak pada penerimaan orientasi matahari. Di daerah beriklim tropis, matahari merupakan sumber panas utama. Oleh karena itu, orientasi bangunan sangat penting dalam mempengaruhi pola aliran angin dan penggunaan material yang tepat untuk menghindari paparan sinar matahari (Monis & Rastogi, 2022; Savero et al., 2020). Dinding bangunan yang lebih panjang sebaiknya menghadap utara dan selatan sehingga meminimalkan paparan matahari langsung.

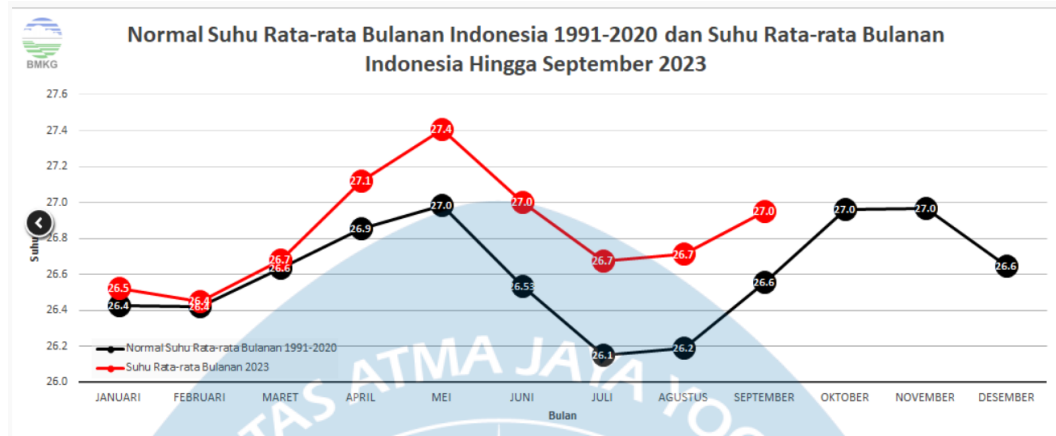
3.1.2 Bukaian

Faktor bukaian berkaitan dengan pencahayaan alami dan ventilasi alami. Kedua faktor tersebut berhubungan langsung dengan bukaian jendela untuk menghindari kebutuhan akan pencahayaan maupun pendingin buatan di siang hari. Ketika mendesain jendela terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan yaitu posisi penempatan, ukuran, peneduh, jenis kaca dan bahan rangka (kusen) (Gassar et al., 2021; Ismael et al., 2022). Jendela harus ditempatkan pada sisi bangunan yang menerima sinar matahari paling optimal, sementara perangkat peneduh seperti *overhang* dapat berperan dalam meminimalkan sinar matahari langsung dan panas berlebih.

Jendela yang menghadap ke arah selatan perlu disertai kisi-kisi untuk mengendalikan jumlah cahaya alami yang masuk ke dalam bangunan. Jendela di sisi utara diperlukan agar memperoleh cahaya yang menyebar namun minim radiasi. Pada sisi barat disarankan untuk meminimalkan bukaian karena menyebabkan panas dan silau berlebih. Penutup jendela dengan posisi vertikal dapat menjadi solusi untuk menjaga cahaya dan suhu internal yang diinginkan sepanjang hari (Akram et al., 2023; Nicoletti et al., 2020).

Tabel 2.1 Standar Tingkat Pencahayaan (Kementrian ESDM RI, 2012)

Ruangan	Tingkat pencahayaan (lux)	Daya Ruangan (Watt/m ²)
Teras dan Garasi	60	3
Ruang tamu	150	5
Ruang Makan, Kamar Tidur, Kamar Mandi Dan Dapur	250	7
Ruang kerja	300	7



Gambar 2.1 Grafik suhu udara rata-rata tahunan

Sumber: (Badan Meteorologi, 2023)

Merujuk hasil data pengamatan BMKG dari 91 stasiun cuaca, suhu udara rata-rata Indonesia periode 1991-2020 yaitu 26,8°C. Rata-rata suhu udara terakhir di tahun 2023 yaitu 27°C. Pada musim kemarau, di beberapa kota suhu rata-rata dapat mencapai 34,12°C hingga 40°C (Sayuti & Herlina, 2019). Merujuk pada SNI, suhu ruangan yang dapat menunjang kenyamanan aktivitas yaitu berkisar 24°C - 27°C atau di uraikan lebih rinci pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Standar kenyamanan suhu untuk daerah tropis

Tingkat kenyamanan	Temperatur efektif (TE)	Kelembapan Udara (RH)
Sejuk	20,5°C - 22,8°C	50%
		80%
Nyaman	22,8 °C – 25,8 °C	70%
Hangat	25,8°C – 27,1°C	60%

Sumber: SNI 03-2396-2001

3.1.3 Insulasi Bangunan

Insulasi bangunan merujuk pada berbagai metode maupun penggunaan bahan material bangunan untuk mengurangi ataupun membatasi perpindahan panas dan kelembapan yang tidak diinginkan dari ruang luar (Lovell, 2010; Nazari et al., 2023). Insulasi dapat diterapkan pada selubung bangunan seperti pada lantai, dinding, atap hingga jendela. Jenis dan ketebalan insulasi yang diperlukan akan bergantung pada iklim setempat, jenis bangunan dan efisiensi energi yang diinginkan. Pemilihan bahan komponen selubung bangunan berdasarkan pada:

a. Absorbtansi termal (α)

Merupakan nilai penyerapan panas pada material yang ditimbulkan oleh radiasi matahari. Semakin tinggi nilai absorbtansi (α), maka semakin tinggi penyerapan termal atau panas material. Informasi mengenai absorbtansi termal pada permukaan dinding tidak transparan diuraikan pada tabel berikut ini.

Tabel 2.3 Nilai (α) untuk dinding luar dan atap tidak transparan

NO	MATERIAL DINDING	(α)
1	Beton berat ¹⁾	0,91
2	Bata merah	0,89
3	<i>Bituminious felt</i>	0,88
4	Batu sabak	0,87
5	Beton ringan	0,86
6	Aspal jalan setapak	0,82
7	Kayu permukaan halus	0,78
8	Beton ekspos	0,61
9	Ubin putih	0,58
10	Bata kuning tua	0,56

NO	MATERIAL DINDING	(α)
11	Atap putih	0,50
12	Cat aluminium	0,40
13	Kerikil	0,29
14	Seng putih	0,26
15	Bata glazur putih	0,25
16	Lembaran aluminium (permukaan kilap)	0,12
1) Untuk bangunan nuklir		

Sumber: SNI 6389:2020

Tabel 2.4 Nilai (α) untuk cat permukaan dinding luar

NO	CAT PERMUKAAN DINDING LUAR	(α)
1	Hitam merata	0,95
2	Pernis hitam	0,92
3	Abu-abu tua	0,91
4	Pernis biru tua	0,91
5	Cat minyak hitam	0,90
6	Coklat tua	0,88
7	Abu-abu / biru tua	0,88
8	Biru / hijau tua	0,88
9	Coklat medium	0,84
10	Pernis hijau	0,79
11	Hijau medium	0,59
12	Kuning medium	0,58
13	Hijau/biru medium	0,57
14	Hijau muda	0,47
15	Putih semi kilap	0,30
16	Putih kilap	0,25
17	Perak	0,25
18	Pernis putih	0,21

b. Nilai konduktivitas termal bahan (k)Tabel 2.5 Nilai (k) bahan bangunan

No	Bahan bangunan	Densitas (kg/m^3)	k (W/m.K)
1	Beton	2400	1,448
2	Beton ringan	960	0,303
3	Bata dengan lapisan plester	1760	0,807
4	Bata langsung dipasang tanpa plester, tahan terhadap cuaca		1,154
5	Plesteran pasir semen	1568	0,533
6	Kaca lembaran	2512	1,053
7	Papan gypsum	880	0,170
8	Kayu lunak	608	0,125
9	Kayu keras	702	0,138
10	Kayu lapis	528	0,148
11	Glasswool	32	0,035
12	Fibreglass	32	0,035
13	Paduan Aluminium	2672	211
14	Tembaga	8784	385
15	Baja	7840	47,6
16	Granit	2640	2,927
17	Marmer/Batako/terazo/keramik/mozaik	2640	1,298

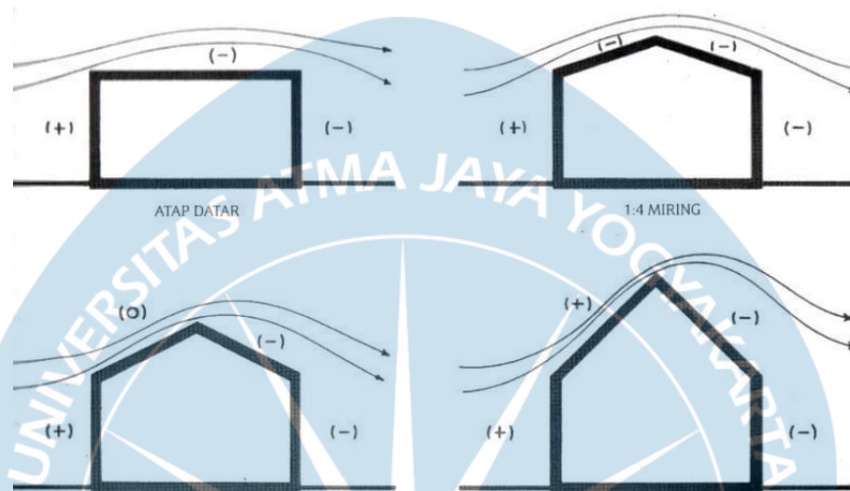
Sumber: SNI 6389:2020

3.1.4 Atap

Pada struktur bangunan, atap merupakan elemen penutup teratas. Berdasarkan kedudukannya, bagian atap memiliki intensitas terpapar cahaya matahari paling banyak. Pada dasarnya terdapat tiga bentuk atap yang umum digunakan yaitu atap miring, atap datar dan atap lengkung. Namun bangunan rumah tinggal di Indonesia lebih umum menggunakan bentuk atap miring karena disesuaikan dengan iklim Indonesia yang panas lembap dan curah hujan yang tinggi.

Atap miring dengan *overhang* dapat membantu mengurangi perolehan panas, sedangkan atap datar dapat menyerap lebih banyak panas. Kemiringan atap akan mempengaruhi bayangan (*leeward*) dan aliran putar angin (*eddy*). Ketika aliran

angin mencapai permukaan bangunan, akan menciptakan *windward* yang bersifat tekanan positif (+). Selanjutnya angin akan berbelok sesuai sisi bangunan sehingga tercipta *leeward* yang bersifat tekanan negatif (-).



Gambar 2.2 Pengaruh Kemiringan Atap Terhadap Tekanan Angin

Sumber: (Lechner, 2007)

Rentang sudut kemiringan atap rumah yang umum diterapkan di Indonesia yaitu $22,5^{\circ}$ - 30° . Untuk sudut kemiringan atap 45° - 60° sudah sangat jarang digunakan. Sudut kemiringan atap yang besar akan membuat bentuk atap menjadi sangat runcing sehingga lebih cocok untuk bangunan di lokasi bersalju. Begitu pula dengan sudut kemiringan atap yang terlalu datar akan mengakibatkan air hujan lambat mengalir dan menimbulkan pengendapan air di permukaan atap. Semakin datar atap, suhu ruangan di bawahnya akan semakin meningkat (Belinda Amri & Ode Abdul Syukur, 2017). Oleh karena itu, bentuk atap miring lebih umum digunakan karena bangunan membutuhkan ruang transisi di bawah atap untuk mereduksi panas.

2.2 Panel PV

Panel fotovoltaik (PV) adalah salah satu teknologi pengelolaan energi terbarukan yang terdiri dari sekumpulan sel surya yang dirangkai menjadi satu agar dapat mengkonversikan cahaya matahari (energi foton) menjadi energi listrik yang siap digunakan (Lubna et al., 2021). Manfaat memasang panel PV yaitu menghemat tagihan listrik karena kebutuhan listrik dipasok oleh dua sumber energi listrik, berkontribusi dalam pengelolaan energi modern dari sumber daya energi terbarukan dan membantu mengurangi dampak perubahan suhu iklim.

3.1.5 Jenis instalasi sistem panel PV

Pada umumnya instalasi panel PV dibedakan menjadi sistem *Off-grid* dan *On-Grid*. Berikut uraian perbedaannya:

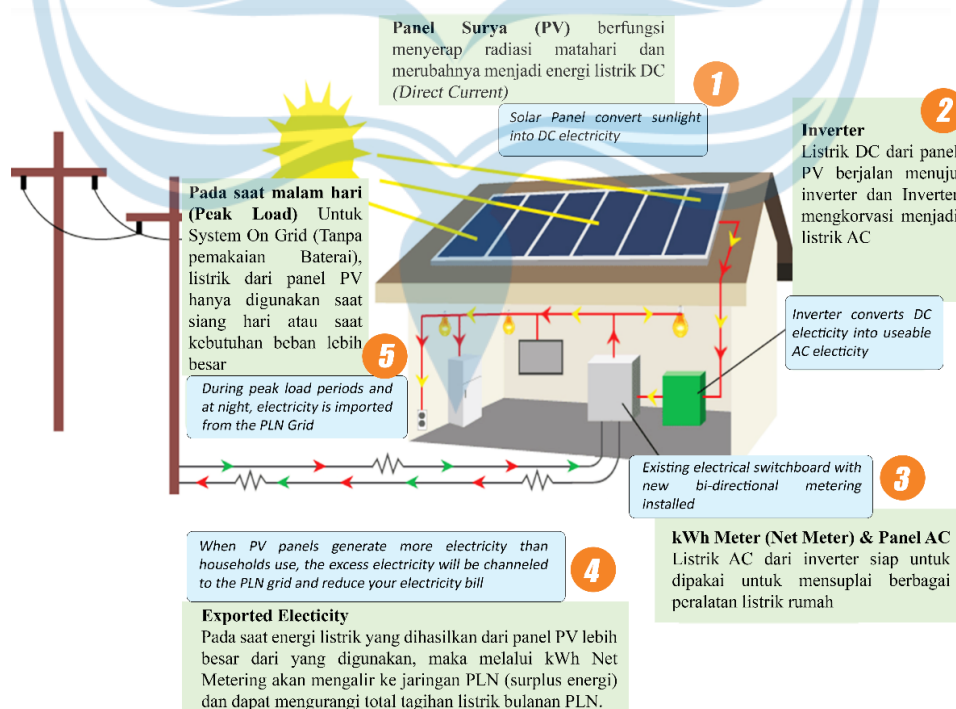
Tabel 2.6 Perbedaan instalasi panel PV sistem *Off-grid* dan *On-Grid*

KETERANGAN	<i>Off-Grid</i>	<i>On-Grid</i>
Pengertian	Merupakan sistem panel PV tanpa terhubung jaringan listrik PLN	Merupakan sistem pembangkit listrik yang harus bekerja sama dengan jaringan listrik konvensional (PLN).
Sumber energi	Matahari sebagai sumber energi satu-satunya.	Matahari + listrik PLN
Peran dan tujuan	Bersifat <i>stand alone</i> (mandiri) karena berperan sebagai satu-satunya sumber pasokan dalam menyuplai kebutuhan energi.	Sebagai alternatif sumber pasokan energi kedua dan bertujuan untuk menghasilkan energi semaksimal mungkin agar dapat mengurangi biaya pembayaran listrik bulanan
Baterai	Bersifat wajib untuk menyimpan hasil panen listrik (bank listrik surya)	Tidak bersifat wajib Konsekuensinya, ketika terjadi pemadaman listrik sistem <i>on grid</i> tidak dapat digunakan

KETERANGAN	<i>Off-Grid</i>	<i>On-Grid</i>
		karena tidak memiliki tabungan listrik surya.
Lokasi ideal pemasangan	<ul style="list-style-type: none"> - Lokasi yang tidak tersambung listrik PLN atau - Di pedesaan maupun lautan lepas yang tidak terhubung listrik PLN 24 jam. 	<ul style="list-style-type: none"> - Daerah yang terhubung listrik PLN sepanjang waktu, seperti perkotaan dan sekitarnya - Rumah, kantor, bangunan komersial dan industri

Sumber: (Latasya et al., 2019; N. Nugroho et al., 2022)

Dari beberapa penjelasan sebelumnya, penelitian ini mengaplikasikan sistem *On-Grid* karena merupakan alternatif PLTS yang lebih tepat untuk diterapkan pada wilayah yang sudah terkoneksi jaringan listrik PLN sepanjang waktu, seperti di perkotaan. Secara umum panel PV sistem *On-Grid* memiliki mekanisme dan komponen utama seperti digambarkan pada skema di bawah ini.



Gambar 2.3 Mekanisme Panel PV Sistem On Grid

Sumber: diolah dari (TMLEenergy, 2023)

3.1.6 Faktor yang mempengaruhi kinerja panel PV

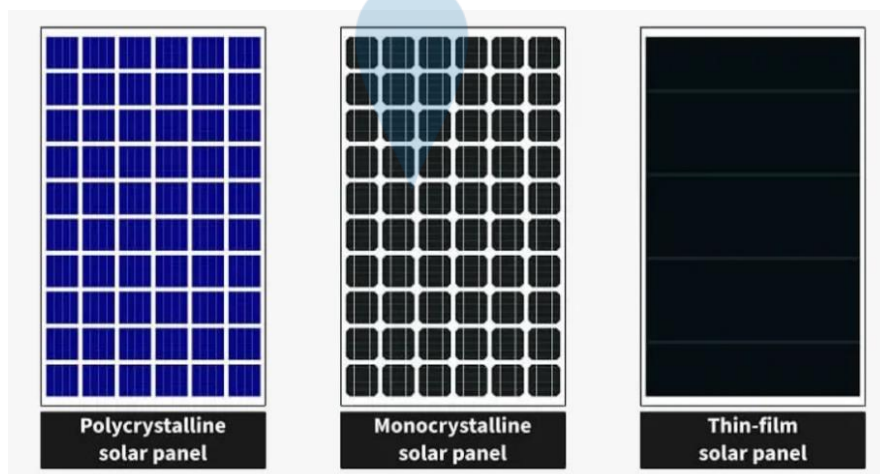
Berikut faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja *photovoltaic* (Sasmita and Widyartono 2020):

- 1) Iradiasi, ketika nilai iradisi matahari rendah, maka arus yang dihasilkan tidak maksimal. Terdapat beberapa kriteria radiasi matahari (kWh/m²/tahun) yaitu sangat rendah < 1300, rendah 1700-1900, sedang 1900-2000, tinggi 2000-2100 dan sangat tinggi >2000 (Elboshy et al., 2022).
- 2) Orientasi, menurut panduan umum apabila lokasi pemasangan berada di belahan bumi selatan seperti Indonesia, orientasi panel PV yang disarankan adalah mengarah ke utara.
- 3) Temperatur permukaan panel, semua perangkat modul PV bersifat semikonduktor sehingga sangat peka terhadap perubahan suhu. Sel surya dapat bekerja optimal pada suhu 25°C. Setiap kenaikan temperatur sel surya 10°C akan menurunkan total tenaga sebesar 0,4%.
- 4) Kecepatan angin yang berhembus di sekitar lokasi modul PV akan membantu mendinginkan permukaan pelapis sel surya
- 5) *Shading*, panel yang terhalangi oleh bayangan gedung tinggi, vegetasi, daun yang jatuh ataupun debu akan menyebabkan terganggunya kinerja panel dan berakibat menjadi beban pasif.
- 6) Luas atap, rata-rata panel surya memerlukan kurang lebih 2,5 m² untuk memproduksi 1 kWh listrik.
- 7) Sudut kemiringan

Umumnya standar sudut kemiringan optimal panel PV adalah di antara 13° - 15° yang didasarkan pada arah penyinaran matahari. Namun, arah datang matahari di setiap lokasi dapat bervariasi sesuai dengan garis lintang dan koordinat matahari sepanjang tahun. Sudut kemiringan dan orientasi panel PV sangat mempengaruhi hasil panel listrik surya. Seperti yang diketahui jika sudut kemiringan panel PV tepat, maka hasil produksi listrik surya juga akan optimum.

3.1.7 Jenis Sel

Di Indonesia terdapat tiga jenis sel surya yang digunakan pada proses perakitan panel surya yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline* dan *thin film*. Di antara ketiga jenis tersebut, *monocrystalline* adalah jenis sel surya yang paling baik dalam penampilan maupun kinerja daya sekitar 15%-20% (Jiang et al., 2020). Berbeda dengan sel surya *polycrystalline* yang memiliki tingkat efisien sebesar 12%, lebih rendah dibandingkan jenis *monocrystalline* (Siregar et al., 2022). Efisiensi jenis *thin film* hanya 10%.



Gambar 2.4 Tiga jenis sel panel PV

Sumber: (Mibet Energy, 2023)

Berdasarkan uji umur pemakaiannya, panel *monocrystalline* memiliki tingkat efisiensi tertinggi dengan garansi daya hingga 25 tahun sebesar 87,5% dari kapasitas daya awal. Berbeda dengan jenis *polycrystalline* yang hanya menghasilkan 80% dan *thin film* 75% dari kapasitas energi listrik awal yang dihasilkan oleh panel dengan kondisi baru (IESR, 2019). Penurunan (degrasi) kinerja rata-rata untuk *monocrystalline* 0,5%, *polycrystalline* 0,8% dan *thin film* 1% (Jordan & Kurtz, 2012).

Pada eksperimen perbandingan antara panel *Monocrystalline* dan *Polycrystalline* yang dilakukan oleh mahasiswa program studi diploma teknologi listrik Universitas Gadjah Mada diperoleh data pengukuran lapangan sebagai berikut (Suhono et al., 2021):

Tabel 2.7 Hasil eksperimen kinerja panel *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*

Indikator		Monocrystalline	Polycrystalline
Cuaca cerah 70500 Lux	Tegangan (Volt)	12,9 V	12,9V
	Arus (A)	5,3 A	5,5 A
Cuaca mendung 3300Lux	Tegangan (Volt)	12,1V	12V
	Arus (A)	0,71	0,14 A
Terhalang Shading	Tegangan (Volt)	12,4V	12,2 V
	Arus (A)	0,25 A	0,14 A

Menurut data di atas, dapat disimpulkan bahwa wilayah yang memiliki curah hujan cukup tinggi dan sering berawan diusulkan untuk menggunakan panel *Monocrystalline*, karna jenis panel ini memiliki efisiensi yang tinggi saat mendung. Untuk wilayah yang memiliki curah hujan rendah disarankan untuk menggunakan panel *polycrystalline* karna efisiensinya lebih tinggi dari jenis *monocrystalline* dalam kondisi cuaca cerah. Berdasarkan beberapa pertimbangan tersebut,

pemilihan spesifikasi panel PV untuk simulasi adalah solar sel jenis *monocrystalline*.

3.1.8 Regulasi Kapasitas Panel PV

Batasan kapasitas PLTS atap menurut Peraturan Menteri ESDM No.49/2018 pasal 5 ayat 1 yaitu 100% dari daya listrik yang tersambung pada PT. PLN. Sebagai contoh, untuk pelanggan kategori daya R1/2200 VA13, maksimal tenaga surya yang dapat dipasang adalah 2200 Wp. Akan lebih efisien jika penentuan kapasitas panel berdasarkan pada daya listrik yang ingin disuplai sebab perlu mengevaluasi beberapa hal berikut:

1. Sistem *on grid* tanpa baterai hanya dapat menggunakan listrik surya di siang hari. Pada saat malam hari kebutuhan energi listrik tetap disuplai penuh dari listrik PLN (Putri et al., 2020).
2. Keterbatasan luas atap, sebab tidak semua bagian atap berpotensi untuk memasang panel PV
3. Perbedaan selisih tarif kWh listrik Ekspor dan Impor

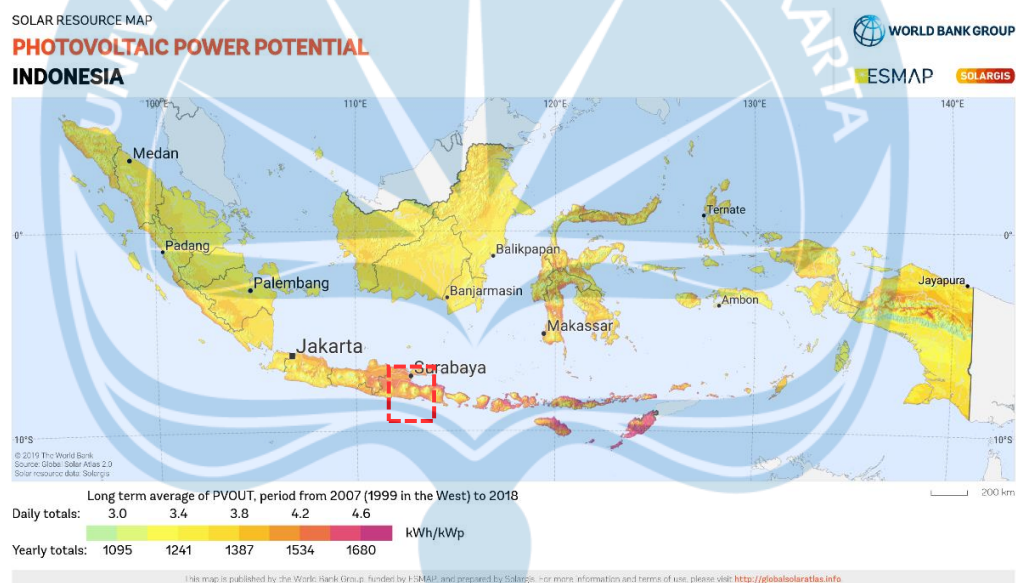


Gambar 2.5 Perhitungan tagihan listrik pelanggan panel PV sistem *On grid*

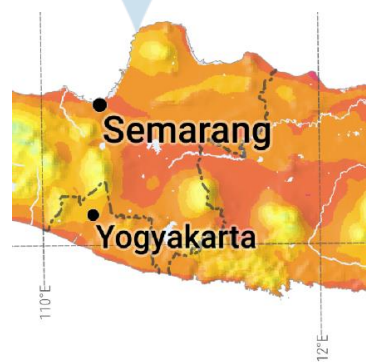
Sumber: (Ditjen EBTKE, 2019)

Listrik dari panel PV yang tidak digunakan akan otomatis disalurkan ke jaringan PLN dan dihitung sebagai listrik ekspor yang akan mengurangi tagihan biaya listrik. Tabungan listrik ekspor hanya akan diakumulasikan paling lama selama 3 bulan dan setelah itu akan dinihilkan. Oleh karena itu penghematan maksimal dan dari sisi ekonomis akan diperoleh jika kapasitas panel PV menyesuaikan dengan kebutuhan listrik yang ingin disuplai.

2.3 Rentang Waktu Konversi Energi Surya



Gambar 2.6 Pemetaan potensi daya fotovoltaik Negara Indonesia



Gambar 2.7 Pemetaan Potensi daya fotovoltaik Kota Yogyakarta
Sumber: Solargis

Berikut adalah peta yang memberikan ringkasan perkiraan rata-rata waktu potensi pembangkit listrik fotovoltaik (PV) harian/tahunan yang mencakup periode tahun 2007 hingga 2018. Negara Indonesia yang memiliki rentang waktu 3 hingga 4,6 jam tergantung dari letak geografis setiap kota. Khusus kota Yogyakarta memperoleh warna oranye muda hingga oranye tua (3,8 – 4,2 jam) dan memiliki nilai rata-rata 4 jam.

2.4 Tahap perhitungan kebutuhan panel PV

Proses perencanaan instalasi panel PV, secara umum memerlukan tahap perhitungan sebagai berikut (Mahfudz Hayusman et al., 2022; Tumbelaka et al., 2017):

a) Perhitungan Jumlah Konsumsi Energi Listrik Harian

Untuk mengetahui kapasitas sistem panel PV yang dibutuhkan, perlu dilakukan pendataan penggunaan alat listrik untuk mengetahui total konsumsi daya listrik per harinya. Perhitungan dilakukan menurut persamaan berikut:

$$\text{Konsumsi energi (Wh)} = \text{Jumlah peralatan} \times \text{waktu menyala (jam)} \times \text{Daya (Watt)}$$

b) Perhitungan jumlah Panel PV (Wp)

Untuk mengetahui banyaknya panel PV yang dibutuhkan untuk atap rumah, perlu mengetahui nilai *watt peak* (Wp) yaitu besarnya nominal watt tertinggi dari sebuah panel PV. Di Indonesia lama penyinaran cahaya matahari yang efektif yaitu antara 4 - 5,5 jam per harinya dari pukul 9.30 – 14.00 (Yuliani & Setiawan, 2018). Berikut ini merupakan perhitungan kebutuhan jumlah

panel surya tanpa memperhitungkan toleransi, rugi daya dan faktor keamanan (Tumbelaka et al., 2017):

$$Jumlah\ Panel = \frac{Total\ Konsumsi\ Energi\ Listrik/ hari\ (Wh)}{Wp/panel \times Waktu\ konversi\ energi\ surya\ (jam)}$$

Kemudian pada perhitungan total konsumsi daya/hari perlu penambahan toleransi rugi-rugi sistem yang dipengaruhi oleh faktor suhu, bayangan, inverter, kabel dan berbagai perangkat pendukung panel PV. Nilai rugi-rugi sistem memiliki rentang nilai 15% - 25% yang umumnya ditemui pada sistem PLTS skala kecil (USAID, 2020). Secara keseluruhan rumus perhitungan jumlah panel menjadi sebagai berikut (Daud et al., 2023):

$$Jumlah\ Panel = \frac{Total\ Konsumsi\ Energi\ Listrik/ hari\ (Wh) + (Wh \times 20\%)}{Wp\ panel\ PV \times Waktu\ konversi\ energi\ surya\ (jam)}$$

c) Jumlah kebutuhan baterai

Dalam studi penelitian menggunakan sistem *On-Grid* dan tidak mempertimbangkan penyimpanan listrik surya. Namun, penentuan kebutuhan baterai dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$Jumlah\ Baterai = \frac{Total\ konsumsi\ energi\ listrik/ hari\ (Wh)}{Kapasitas\ Baterai\ (VXAh)}$$

2.5 Intensitas Konsumsi Energi (IKE)

Intensitas konsumsi energi merujuk pada seberapa besarnya jumlah penggunaan energi listrik per meter persegi bangunan (kWh/m²) dalam suatu periode. Perhitungan nilai IKE diuraikan pada persamaan berikut:

$$IKE = \frac{\text{Total Pemakaian Energi Listrik (kWh)}}{\text{Luas Ruang (m}^2\text{)}}$$

Berikut standar IKE nasional menurut PERMEN ESDM NO.13 tahun 2012 yang turut menjadi acuan dalam penilaian kriteria IKE hasil penelitian.

Tabel 2.8 Kriteria nilai IKE

Kriteria	Ruang ber-AC		Ruang Non-AC	
	(kWh/ m ² / bulan)	(kWh/ m ² / Tahun)	(kWh/ m ² /bulan)	(kWh/ m ² / Tahun)
Sangat Efisien	< 8,5	< 102	< 3,4	<40,8
Efisien	8,5 – 14	102 - 168	3,4 – 5,6	40,8 – 67,2
Cukup Efisien	14 – 18,5	168 - 222	5,6 – 7,4	67,2 – 88,8
Boros	≥ 18,5	≥ 222	≥ 7,4	≥ 88,8

Sumber: (Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2012)

2.6 Pemilihan Program Simulasi

Dalam penelitian arsitektur, program simulasi dan permodelan menjadi salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengembangkan teori maupun penelitian. Oleh karena itu, pemilihan perangkat lunak merupakan tahap penting dalam melaksanakan penelitian. Pemilihan perangkat lunak yang tepat tidak hanya dapat membantu proses penelitian tetapi juga membuat hasil penelitian menjadi lebih akurat dan searah dengan tujuan penelitian. Dalam studi ini digunakan perangkat lunak Autodesk Revit dan plugin Insight 360.

3.4.1 Autodeks Revit - Insight 360

Autodesk Revit merupakan alat analisis energi yang bekerja langsung dengan Autodesk Revit. Insight 360 berevolusi dari *Autodesk Green Building studio* dan

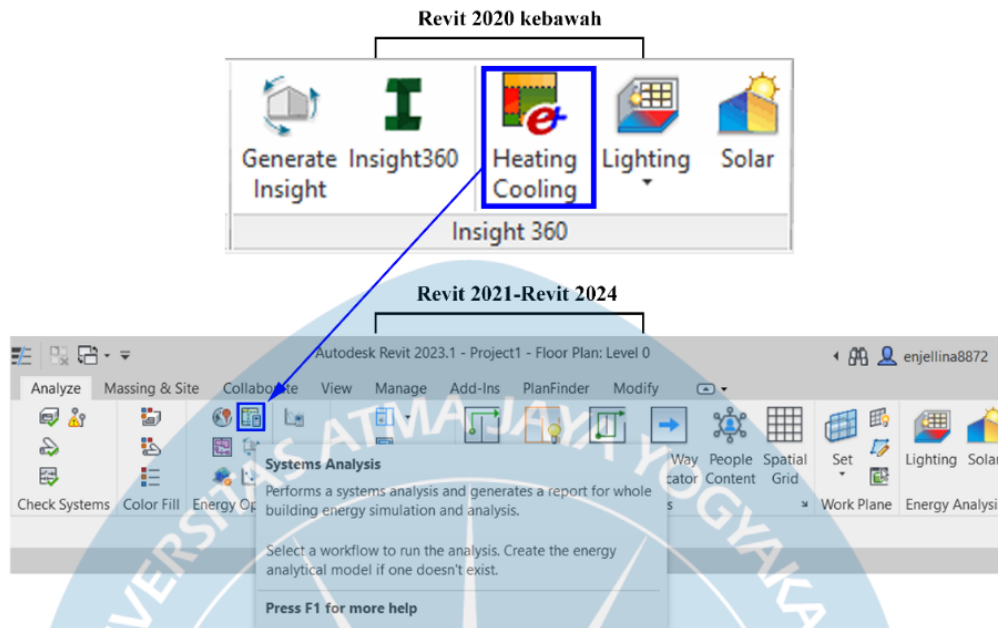
dirancang untuk mengkombinasikan BIM dan BEM ke dalam satu platform perangkat lunak. Insight 360 bekerja secara otomatis untuk menerjemahkan model BIM (*Building Information Model*) menjadi BEM (*Building Energy Model*) yang kemudian disimulasikan menggunakan mesin Energy Plus dan DOE2 (Bolorchi, 2022). Program Energy Plus dikembangkan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE) untuk digunakan oleh para peneliti, insinyur dan arsitek dalam memodelkan dan mensimulasikan konsumsi energi untuk sistem HVAC dan penggunaan energi air di gedung (Hossain, 2019). Namun, antarmuka grafis Energyplus tidak terlalu ramah pengguna, karena berbasis teks untuk input dan output. Untuk mengatasi ini, beberapa antar muka grafis eksternal telah dirilis untuk menggunakan Energyplus sebagai bagian dari beberapa alat simulasi program. Aplikasi pemodel dan plugin ini antara lain yaitu Rhino dan Grasshopper dengan Honeybee, Sketchup dengan Openstudio, DesignBuilder dan Autodesk revit dengan Insight (Chang et al., 2020).

Insight 360 dipilih karena berbasis BIM yang memungkinkan menjelajahi aspek-aspek desain selama proses perancangan guna mencapai efisiensi energi yang optimal. Berdasarkan pengaturan energi, konsumsi energi bangunan dihitung dalam bentuk Intensitas konsumsi energi (IKE) atau *Energy use intensity* (EUI) dengan membagi total energi yang dikonsumsi per tahun dengan total luas lantai bangunan (kWh/m^2). Selain itu, program ini memiliki beberapa fitur simulasi yang dapat mendukung studi ini, di antaranya (Autodesk University, 2022):

- 1) *Heating and cooling analysis*, melakukan analisis beban pemanas dan pendinginan dengan meninjau keseluruhan volume bangunan dan mempertimbangkan material yang digunakan.
- 2) *Solar analysis*, membantu melacak potensi radiasi matahari di seluruh bagian bangunan. Analisis ini menampilkan beberapa data diantaranya: produksi energi PV tahunan, membantu menentukan lokasi yang tepat untuk panel surya, penghematan energi, dan *payback period*.
- 3) *lighting analysis* untuk mengevaluasi performa pencahayaan alami dan buatan pada bangunan.
- 4) Semua hasil analisis berbasis pada model desain dan lokasi objek yang diinput.
- 5) Insight 360 mengacu pada standar ASHRAE dan ARCH 2030 sehingga pengoptimalan desain bangunan untuk efisiensi energi lebih tinggi dan mengurangi dampak krisis lingkungan global.

Adapun keterbatasan program yang ditemukan dalam proses penelitian ini yaitu:

- 1) Persiapan 3D model untuk keperluan presentasi dan simulasi energi memiliki *flow design* yang berbeda.
- 2) Saat ini perhitungan produksi energi PV masih berpatokan pada kemiringan permukaan model 3D sehingga perlu membuat berbagai variasi bidang permukaan pemasangan panel PV dan mengulang simulasi kembali.
- 3) Belum tersedianya fitur input data konsumsi daya rumah tangga sehari-hari sehingga hasil kalkulasi produksi PV masih belum spesifik.

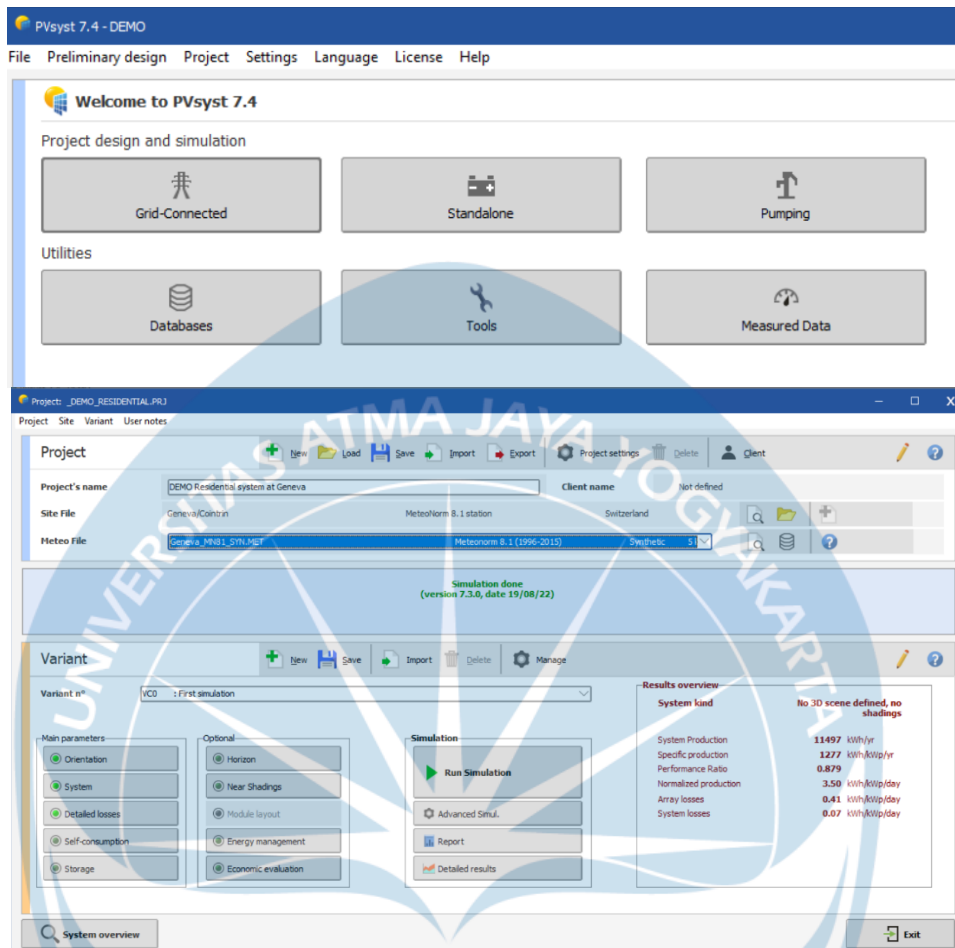


Gambar 2.8 Analysis tab (Insight 360) pada *software* Autodesk Revit

Revit versi 2020 ke bawah memiliki ikon *Heating and cooling analysis*, *Solar analysis and lighting analysis*. Pada Revit 2021 ke atas, *Heating and cooling analysis* telah berubah menjadi *System Analysis*. Data laporan hasil simulasi dapat diakses melalui halaman Autodesk Insight 360.

3.4.2 PVsyst

Dikutip dari halaman resmi, PVsyst adalah perangkat lunak simulasi yang digunakan oleh arsitek, insiyur maupun peneliti dalam menganalisis data-data surya terkait kinerja pengoperasian dan jumlah energi yang dihasilkan sistem PV demi mengoptimalkan desain sistem PV (Shrivastava et al., 2023). Simulasi PVsyst terbagi menjadi tiga sistem yaitu *Grid-connected* atau On-Grid, *Stand-alone* atau Off-Grid dan *pumping*.



Gambar 2.9 Antarmuka PVsyst

Output data berdasarkan pada data geografis, lokasi dan jenis sistem PV serta pengaturan lanjutan lainnya. Hasil data mencakup nilai bulanan, harian ataupun per jam. Diagram kerugian juga turut ditampilkan untuk memprediksi faktor-faktor kerugian agar dapat diminimalisir (Kumar et al., 2021). Adapun beberapa keunggulan PVsyst, antara lain:

1. Dapat mensimulasikan sistem panel PV dengan ataupun tanpa baterai serta tersedia berbagai sumber data meteorologi dari stasiun data cuaca.
2. Memiliki *database* panel PV dan inverter dari berbagai perusahaan.

3. Memungkinkan pengguna untuk memasukkan data spesifik terkait kebutuhan daya listrik perhari yang ingin disuplai oleh panel PV.
4. Jika terjadi ketidakcocokan ataupun masalah pada desain PV, akan diberi tahu melalui peringatan berkode warna
5. Memiliki rangkuman laporan simulasi yang otomatis disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik sehingga kesalahan dapat terdeteksi lebih awal.

