

THE EFFECT OF MASSES CONFIGURATION SHADING AND TYPES OF FAÇADES ON THE EFFECTIVENESS OF PHOTOVOLTAIC PANEL APPLICATION ON NAGRAK RUSUNAWA'S FAÇADE IN JAKARTA

¹Evelyn, ²Ir. Amirani Ritva Santoso, M.T.

¹ Student in the Undergraduate's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

² Senior lecturer in the Undergraduate's (S-1) Study Program in Architecture at Parahyangan Catholic University

Abstract – The sun is one of the most important and largest sources of energy for the earth. The energy emitted by the sun can be utilized both actively and passively. Solar cells or photovoltaics are used to convert solar radiation into electrical energy, which is known as active utilization. Rusunawa (Rumah Susun Sederhana Sewa) is a facility to provide affordable housing for people with low income. The target demographic create a needs for clean and affordable energy, which can be overcome by implementing solar panels.

The current type of Rusunawa being built is high-rise buildings with over 15 levels. This new type of building decreases the roof space while increasing the facade area. As a result, photovoltaics panels must be installed on the building's facade. The goal of this research is to determine the effectivity of implementing solar panels on the facade of Rusunawa Nagrak, in correlation to the tenant's energy cost savings, as well as to determine standard coefficients/ values so that the findings can be applied in the future to building with similar typologies with slight adjustments.

This is an experimental-quantitative type research done with the help of Rhinoceros, Grasshopper, and Ladybug software to find the most optimal photovoltaic panel configuration for the use of Rusunawa Nagrak Tower 1-5.

Keyword: Government Subsidized High-Rise Housing, Photovoltaic Panel, Masses Configuration Shading, Building Façade, Cilincing Jakarta.

PENGARUH PEMBAYANGAN ANTAR MASSA DAN TIPE FASAD TERHADAP EFEKTIVITAS PENERAPAN PANEL FOTOVOLTAIK PADA FASAD RUSUNAWA NAGRAK JAKARTA

¹Evelyn, ²Ir. Amirani Ritva Santoso, M.T.

¹Mahasiswa S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

²Dosen Pembimbing S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

Abstrak – Pemanfaatan Energi Matahari secara aktif dilakukan dengan mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik dengan bantuan solar cell atau fotovoltaik.

Rumah susun atau Rusun merupakan sebutan untuk tipe hunian bertingkat seperti apartemen, kondominium, flat, dan lain-lain. Rusunawa (Rumah Susun Sederhana Sewa) ditujukan untuk masyarakat berpenghasilan rendah (MBR), yang memunculkan kebutuhan energi murah. Permasalahan ini dicoba untuk diatasi dengan implementasi panel fotovoltaik pada bangunan rusunawa.

Dewasa ini, tren pembangunan rumah susun yang dikelola pemerintah berkembang secara vertikal, dengan jumlah lantai lebih dari 15 lapis. Tipologi bangunan rusun yang terus bertambah tinggi dengan dasar bangunan yang semakin kecil mempersempit area atap dan memperluas area fasad. Oleh karena itu, untuk meningkatkan penggunaan panel fotovoltaik pada bangunan, perlu dilakukan implementasi panel pada area fasad bangunan

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi performa penggunaan panel fotovoltaik pada fasad bangunan Rusunawa Nagrak, sekaligus mencari koefisien/nilai standar, sehingga hasil penelitian dapat

¹Corresponding Author: ruslievelyn@gmail.com

The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa 's Façade In Jakarta

diterapkan di kemudian hari pada bangunan yang memiliki tipologi serupa dengan sedikit perubahan. Penelitian ini bersifat eksperimental-kuantitatif dengan bantuan perangkat lunak Rhinoceros Grasshopper, & Ladybug untuk menemukan konfigurasi penyusunan panel fotovoltaik paling optimal untuk penggunaan gedung Rusunawa Nagrak Menara 1-5. Hasil penelitian menemukan bahwa orientasi massa paling efektif untuk solar panel adalah menghadap ke arah utara, dengan kemiringan panel optimal 30°, dengan jarak antar bangunan ≥ 0.73 dari tinggi bangunan dan tipe fasad bangunan polos.

Kata-kata kunci: Rusunawa, Panel Fotovoltaik, *Solar Access*, Fasad Bangunan, Cilincing Jakarta.

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, tren pembangunan rumah susun yang dikelola pemerintah dilakukan secara vertikal, guna menghemat penggunaan lahan. Bangunan rusun dengan tinggi lebih dari 15 lantai dengan dasar bangunan yang semakin kecil mempersempit area atap dan memperluas area fasad bangunan. Oleh karena itu, untuk meningkatkan penggunaan panel fotovoltaik pada bangunan, perlu dilakukan implementasi panel fotovoltaik pada Fasad bangunan. Rusunawa biasanya dibangun dalam sebuah kompleks, dengan jarak yang cukup dekat sehingga memiliki potensi pembayangan tinggi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk menemukan konfigurasi panel fotovoltaik pada fasad bangunan Rusunawa yang efektif .

Penelitian ini bermanfaat untuk menambah pengetahuan tentang pemanfaatan sistem fotovoltaik sebagai sumber energi terbarukan pada bangunan dengan fungsi Rusunawa serta menginspirasi rancangan bangunan-bangunan selanjutnya dengan tipologi serupa untuk mengimplementasikan sistem fotovoltaik. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental-kuantitatif dengan bantuan perangkat lunak Rhinoceros, Grasshopper, dan Ladybug. Rusunawa Nagrak dipilih sebagai objek studi karena memiliki bentuk geometri sederhana serta beberapa variasi jarak dan tipe fasad yang juga ditemukan pada rusunawa lain di Kota Jakarta, sehingga hasil temuan penelitian juga dapat diimplementasikan secara luas (nilai *replicability*). Variabel yang ingin diuji pada penelitian ini adalah orientasi panel fotovoltaik, kemiringan panel fotovoltaik, *solar access* massa bangunan yang diuji, dan tipe fasad.

2. KAJIAN TEORI

Memuat penjelasan mengenai rusunawa, teknologi fotovoltaik, dan potensi matahari.

2.1 RUSUNAWA

Rumah Susun Sewa (Rusunawa) Merupakan rumah susun dengan sistem sewa dengan target penghuni masyarakat berpenghasilan rendah (MBR) yang berlokasi di perkotaan. Rusunawa hadir sebagai solusi perumahan bagi MBR yang belum mampu mencukupi kebutuhan tinggal secara kepemilikan. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan pada beberapa rumah susun di Jakarta, ditemukan beberapa karakteristik arsitektural yang khusus, diantaranya:

a. Geometri Bangunan

Seperti yang tertulis pada persyaratan penampilan bangunan gedung, variasi massa rumah susun dapat berupa *single-loaded corridor*, *double-loaded corridor*, bentuk Y, bentuk O, bentuk bujursangkar, bentuk U, bentuk kincir, dan lain-lain

b. Tipe Fasad

Berdasarkan hasil pengamatan, didapatkan 2 (dua) tipe fasad pada bangunan rumah susun, yakni fasad polos dan fasad dengan tonjolan.

c. Konfigurasi Bangunan pada Kompleks

d. Pada umumnya, rumah susun sederhana di Indonesia dibangun dengan prinsip ekonomi dan keterjangkauan. Dengan keterbatasan tersebut, prioritas utama pembangunannya seringkali hanya pada penyediaan. Dengan rentang variasi jarak berkisar antara 15-40 meter.

Perhitungan kebutuhan listrik kasar bangunan Rusunawa dilakukan dengan menggunakan nilai IKE. IKE merupakan besar energi yang digunakan suatu bangunan gedung perluas area yang dikondisikan dalam satu bulan atau satu tahun. Bangunan dengan fungsi Rusunawa memiliki faktor okupansi 80% , dengan kebutuhan energi rata-rata 2.08 kWh/m²/bulan .

2.3 TEKNOLOGI FOTOVOLTAIK

Solar Panel (Fotovoltaik) merupakan komponen utama dalam PLTS, berfungsi untuk mengubah energi radiasi sinar matahari menjadi energi listrik DC. Inverter merupakan pengubah tegangan searah (DC) dari Solar Panel menjadi tegangan bolak-balik (AC) untuk mensuplai listrik ke pengguna.

Dengan mempertimbangkan dimensi area pada fasad bangunan yang mungkin dipasang solar panel, tipe solar panel yang dipilih untuk pemakaian pada fasad bangunan adalah Shinyoku Polycrystalline, dengan varian seperti berikut:



Spesifikasi:

- Merk/ Tipe : Shinyoku Solar Panel 156P 300W
- Max Power Voltage (Vmp): 36,2 Volt
- Max Power Current (Imp): 8,24 Ampere
- Open Circuit Voltage (Voc): 43,4 Volt
- Short Circuit Voltage (Isc): 9.27 Ampere
- Dimensi (PxLxT): 1956 x 922 x 400mm
- Berat: 20650g

Gambar 3. Shinyoku Solar Panel 156P 300W

Sumber:

<https://shinyokuindonesia.com/products/6039555/shinyoku-solar-panel-156p-300w>

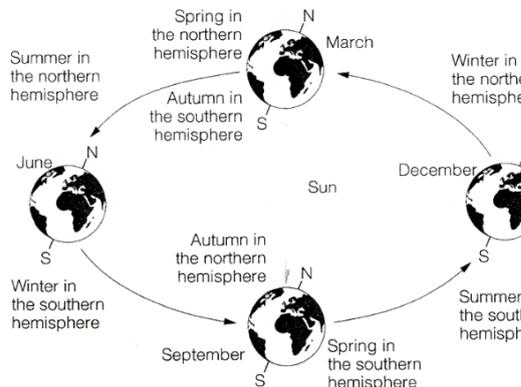
The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa's Façade In Jakarta

Ada beberapa faktor dari ketentuan teknikal yang mempengaruhi perolehan daya panel fotovoltaik, antara lain: kemiringan (*tilt*), orientasi, ukuran, lokasi, produksi listrik, serta sistem penyimpanan dan pengaliran listrik.

Dalam proses kerjanya, ada sebagian energi pokok yang terbuang karena faktor kehilangan energi (*energy loss*), yang terdiri dari: koefisien inverter, *soiling*, *mismatch*, *wiring*, *connection*, *nameplate rating*, dan *availability*. Faktor kehilangan energi untuk panel fotovoltaik tipe polikristalin adalah 12%. Selain itu, ada pula pengurangan energi yang disebabkan oleh degradasi modul/pertambahan umur. Pengurangan efisiensi tahun panel fotovoltaik polikristalin adalah 2%.

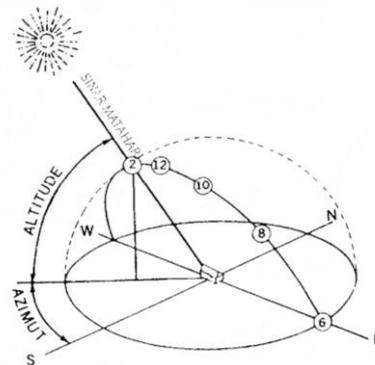
2.4 MATAHARI

Matahari merupakan sebuah reaktor fusi yang sepanjang masa hidupnya mengalami pelepasan energi. Energi yang dilepaskan berupa radiasi elektromagnetik yang merupakan hasil dari proses fusi nuklir. Bumi memiliki lintasan orbit yang berbentuk elips, menyebabkan perubahan jarak matahari terhadap bumi sepanjang tahun, seiring dengan perputaran bumi mengelilingi matahari. Pergerakan bumi mengelilingi matahari (Revolusi) berlangsung selama satu tahun, dan berotasi pada porosnya Bumi mengelilingi matahari seiring dengan perputaran bumi poros tidak tegak lurus pada bidang orbit, mempunyai kemiringan sudut sebesar $23,5^\circ$ dari sudut normal. Akibat perubahan konstan dari aspek-aspek tersebut, sinar matahari yang mencapai permukaan bumi bervariasi tiap harinya dan selalu berubah sepanjang tahun. Hal ini dalam jangka waktu satu tahun menciptakan perbedaan musim dan perbedaan energi radiasi matahari yang diterima di berbagai belahan bumi.



Gambar 1. Lintasan Orbit Bumi Mengelilingi Matahari

(Sumber: Roland Krippner: Building-Integrated Solar Technology)



Gambar 2. Sudut Altitude dan Azimuth Matahari

(Sumber: Roland Krippner: Building-Integrated Solar Technology)

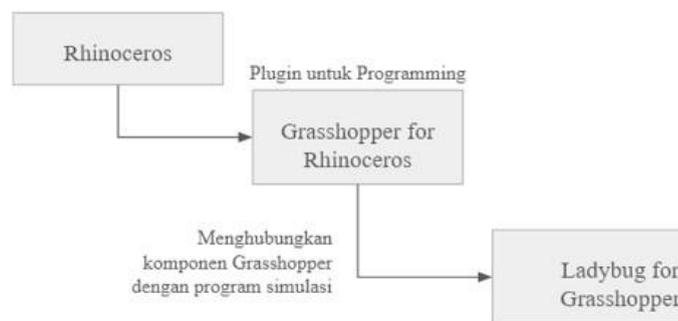
Pergerakan matahari juga mengakibatkan pembayangan. Pola pembayangan merupakan area terbayangi yang terbentuk pada dinding bangunan/ permukaan lainnya dari sinar matahari langsung yang terhalang penangkal sinar matahari.

Solar Access adalah merupakan kemampuan suatu bangunan untuk menerima sinar matahari langsung tanpa terbayangi oleh massa lainnya. Perhitungan *solar access* dapat dilakukan dengan menggunakan *sun path diagram*/ jalur edar kedatangan sinar matahari.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif – eksperimental. Penelitian kuantitatif dilakukan dengan mengintervensi objek dan sampling. Intervensi dilakukan di lingkungan virtual sepenuhnya dengan program komputer Rhinoceros, Grasshopper for Rhino, dan Ladybug for Grasshopper. Intervensi tersebut terwujud dalam rupa eksplorasi variabel jumlah, kemiringan, dan orientasi PV panel serta konfigurasi arsitektur bangunan (*solar access dan tipe fasad*) sebagai variabel independen yang akan dianalisis dan dilihat korelasinya dengan kuantitas energi yang dapat dihasilkan, dan keuntungan finansial yang didapatkan dari pemasangan sistem (variabel dependen). Faktor lain dikontrol dan dianggap tetap sesuai dengan kondisi paling memungkinkan, sehingga penelitian dapat memperlihatkan pola pada perubahan variabel dependen. Data akan disajikan dalam bentuk grafik, tabel, serta skema hasil simulasi dari setiap kasus studi pengujian variabel.

3.1 PERANGKAT LUNAK ANALISIS UNTUK SIMULASI



Gambar 4. Perangkat Lunak yang akan dipakai untuk tahap pengolahan data

Rhinoceros (Rhino) merupakan perangkat lunak aplikasi komputer grafis/*Computer Aided Design* (CAD) yang dikembangkan oleh Robert McNeel & Asc sejak tahun 1980. Geometri yang digunakan dalam aplikasi ini didasarkan pada model matematika NURBS, sehingga aplikasi mampu menghasilkan bentuk-bentuk bebas yang tepat secara matematis.

Grasshopper for Rhino merupakan aplikasi pemrograman visual yang berjalan di dalam Rhinoceros. Grasshopper memungkinkan Rhino untuk melakukan generasi elemen arsitektur berbasis parameter (*parametric design*). Elemen-elemen arsitektural dapat tercipta secara otomatis berdasarkan algoritma yang telah dirancang oleh pengguna. Dengan mengganti parameter menggunakan *slider/ script* dari algoritma tersebut, pengguna dapat dengan mudah mengendalikan dan mengoptimalkan desain.

Ladybug for Grasshopper merupakan *plug-in* Grasshopper berbasis analisis lingkungan (*environmental analysis*) untuk membantu arsitek dalam menciptakan desain yang ramah lingkungan. Ladybug memungkinkan pengguna untuk memasukkan dokumen EnergyPlus Weather standar (.epw) ke dalam Grasshopper dan menghasilkan berbagai grafik/metriks interaktif 3D, diantaranya: jalur matahari, arah gerak angin, tingkat radiasi, studi bayangan, dan masih banyak lagi.

3.2 VARIABEL PARAMETER PENELITIAN

Berikut adalah penjelasan dari tiap variabel yang diujikan dalam penelitian ini

3.2.1 Variabel Tetap

Agar hasil dari penelitian dapat dipastikan kebenarannya, variabel tetap tidak dimanipulasi atau diubah. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan, menetralkan, atau mengontrol penyimpangan hasil akibat perubahan yang terjadi pada variabel ini. Variabel tetap yang dipergunakan pada penelitian ini adalah lokasi geografis bangunan, bentuk massa bangunan, tinggi *floor-to-floor* (3.20m), jenis dan spesifikasi panel fotovoltaik yang dipergunakan, serta arah hadap panel fotovoltaik (utara).

3.2.2 Variabel Independen (Bebas)

Variabel bebas yang ingin diuji pada penelitian ini antara lain: orientasi panel fotovoltaik, *solar access* massa bangunan yang diuji, kemiringan panel fotovoltaik, dan tipe fasad (polos dan dengan tonjolan)

3.2.3 Variabel Dependen (Terikat)

Variabel dependen yang diobservasi dalam penelitian ini adalah: besaran daya yang mampu dihasilkan oleh panel fotovoltaik, dan efektifitas implementasi panel fotovoltaik pada fasad bangunan rusunawa.

4. ANALISIS

Analisis terdiri dari penentuan konfigurasi panel dan perhitungan efektivitas implementasi panel fotovoltaik pada Rusunawa Nagrak

4.1 KONFIGURASI PANEL FOTOVOLTAIK PADA FASAD RUSUNAWA NAGRAK YANG EFEKTIF DIKAITKAN DENGAN ORIENTASI DAN KEMIRINGAN PANEL

Kondisi eksisting Rusunawa Nagrak diuji sesuai dengan metodologi yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya, guna mengetahui potensi energi radiasi yang dapat diterima oleh kulit bangunan. Ditetapkan tahapan penentuan geometri panel fotovoltaik sebagai berikut:



Gambar 5. Tahapan Penentuan Geometri Panel Fotovoltaik

4.1.1 Penentuan Arah Hadap Panel Fotovoltaik

Dilakukan perhitungan potensi energi radiasi yang mungkin diterima bangunan dari keempat muka bangunan (utara, selatan, timur, dan barat). Perhitungan dilakukan berdasarkan data EPW Kota Jakarta yang berlokasi di Kemayoran, Jakarta Pusat.

The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa's Façade In Jakarta

Tabel 1 Hasil Simulasi Penentuan Arah Hadap Panel

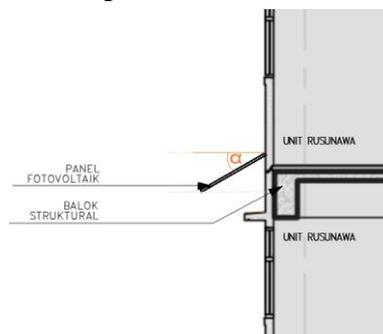
Bulan	Rata-Rata Perolehan Energi Bulanan yang Diterima dengan Kemiringan Panel											
	10°				15°				20°			
	U	S	T	B	U	S	T	B	U	S	T	B
JAN	669	717	697	692	644	717	694	692	539	701	671	663
FEB	701	718	712	710	684	718	703	710	638	680	689	679
MAR	710	707	712	707	704	695	703	707	668	627	688	685
APRIL	698	652	680	679	698	627	678	677	676	525	656	655
MEI	664	590	632	624	672	561	621	622	668	444	602	595
JUN	620	521	567	575	633	506	554	567	646	359	538	557
JUL	627	528	596	596	640	496	599	599	653	382	581	581
AGT	670	599	652	638	678	575	655	631	665	475	629	620
SEPT	695	683	696	695	692	669	696	686	654	593	671	670
OKT	695	683	707	704	684	703	704	698	620	659	681	675
NOV	669	712	702	702	647	712	697	693	554	695	671	680
DEC	629	705	681	676	598	713	681	668	487	699	653	653
xtahunan	671	651	670	667	665	641	665	663	622	570	644	643

Dari data diatas, dapat disimpulkan bahwa potensi radiasi yang diterima pada setiap meter persegi solar panel memiliki nilai terbesar pada sisi barat (659 kWh/m2/tahun), timur (657 kWh/m2/tahun), utara (653 kWh/m2/tahun) dan mengalami penurunan drastis pada sisi selatan (620 kWh/m2/tahun).

Mempertimbangkan geometri Rusunawa Nagrak yang memanjang ke arah barat-timur, arah utara dianggap sebagai orientasi panel fotovoltaik yang tepat. Meskipun arah utara memiliki rata-rata perolehan energi tahunan 0,81% lebih kecil dibanding sisi barat dan timur, namun luasan area yang dapat dimanfaatkan jauh lebih besar, sehingga total energi yang dapat dihasilkan menjadi lebih signifikan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik Rusunawa Nagrak

4.1.2 Penentuan Kemiringan Panel

Dengan utara sebagai arah hadap optimal, dilakukan pengujian terhadap potensi radiasi matahari yang mungkin diterima oleh solar panel pada tiap kemiringan dengan interval 10 derajat. Beberapa parameter bersifat tetap yang terdapat pada pengujian ini antara lain: Sisi bangunan yang diuji menghadap utara, produk panel surya menggunakan Shinyoku Solar Panel 156P 300W dengan dimensi 1956 x 922 x 400mm, dan dipasang dengan interval vertikal 3.2m (menyesuaikan dengan letak balok utama setiap lantai).



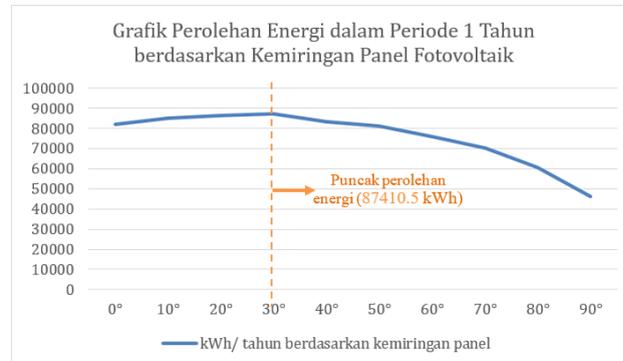
Gambar 6. Acuan Kemiringan Panel

Tabel 2 Hasil Simulasi Penentuan Kemiringan Panel

Ke miringan Panel	Total Insolasi Kumulatif Annual (kWh)
0°	82212.5142443
10°	85159.0528778

The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa 's Façade In Jakarta

20°	86381.855582
30°	87410.523983
40°	83220.6651203
50°	81398.870755
60°	76072.79508
70°	70251.645550
80°	60811.272322
90°	46421.799515



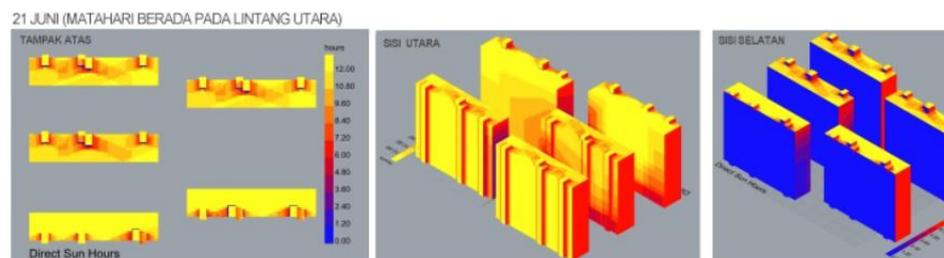
Gambar 6. Grafik Perolehan Energi dalam Periode 1 Tahun berdasarkan Kemiringan Panel Fotovoltaik

Dari hasil simulasi diatas, disimpulkan bahwa 30° merupakan kemiringan paling efektif yang dapat menghasilkan energi tahunan terbesar (79455.930894 kWh).

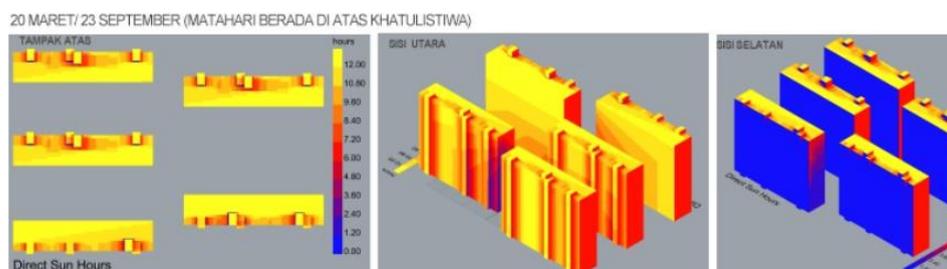
4.2 PENENTUAN KONFIGURASI PANEL DENGAN KAITANNYA TERHAAP ASPEK ARSITEKTURAL BANGUNAN

4.2.1 Penentuan Jumlah Jam Penyinaran per Tahun

Evolusi bumi mengelilingi matahari dalam kala waktu 1 tahun menyebabkan pergerakan semu matahari dari langit selatan ke utara. Dilakukan pengujian dengan bantuan program Ladybug pada 3 tanggal yang merupakan kondisi ekstrim penyinaran matahari pada bumi, dengan hasil sebagai berikut:

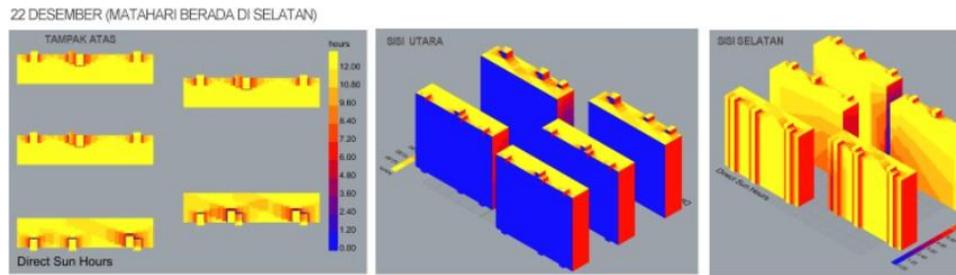


Gambar 7. Simulasi *Direct Sun Hours* pada tanggal 21 Juni



Gambar 8. Simulasi *direct sun hours* pada tanggal 20 Maret/ 23 September

The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa's Façade In Jakarta



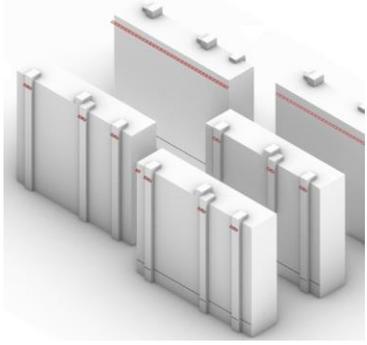
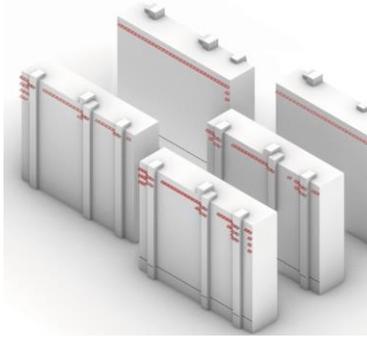
Gambar 9. Simulasi *direct sun hours* pada tanggal 22 Desember

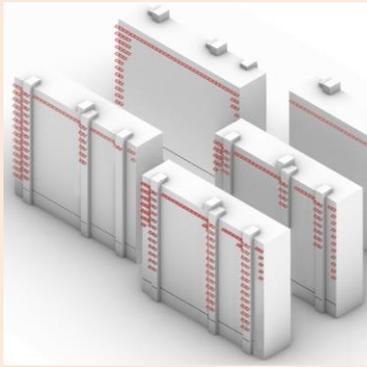
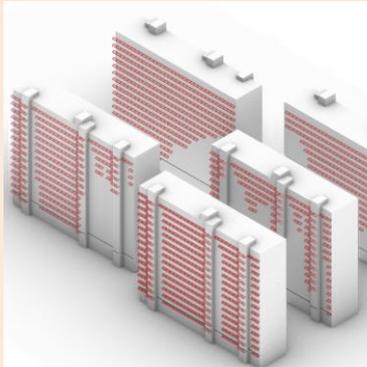
Kesimpulan dari ketiga hasil simulasi adalah: Radiasi sinar matahari yang diterima pada area fasad bersifat fluktuatif, dimana jumlah jam penyinaran per hari sangat ditentukan oleh posisi matahari terhadap bangunan dan pembayangan bangunan disekitarnya terhadap sisi bangunan yang diuji. Panel surya dapat bekerja dengan lebih efektif apabila terkena sinar matahari langsung. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap jumlah jam penyinaran yang diterima oleh panel surya dan korelasinya terhadap jumlah unit panel surya. Beberapa parameter yang tetap dalam pengujian ini antara lain: kemiringan panel adalah 30°, dan pengujian pada muka bangunan sisi utara.

Tabel 3 Hasil Simulasi Jam Penyinaran per Tahun

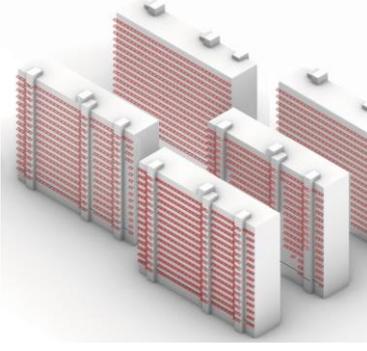
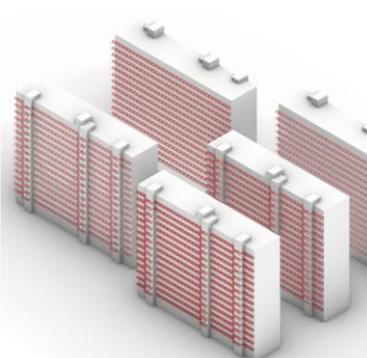
Durasi Penyinaran		Hasil Simulasi	enara	Panel	n Panel
Ra ta-rata per hari dalam 1 tahun	A kumulasi jam penyinaran/ tahun				
10 jam >	3650 jam >				
9 jam >	3285 jam >				
8 jam >	2920 jam >				

The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa's Façade In Jakarta

					
				2	
				2	
7 jam >	2555 jam >			7	
				2	
				2	06
				6	
				9	

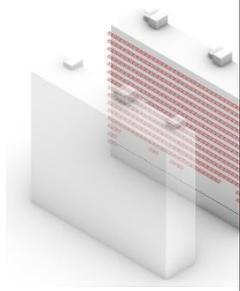
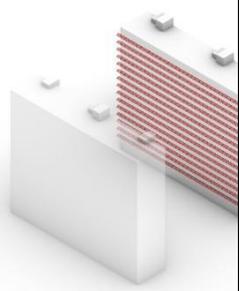
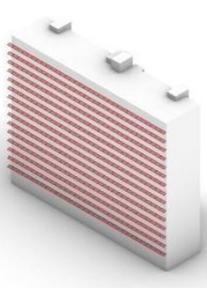
6 jam >	2190 jam >			39	
				4	
				9	23
				6	
				5	
5 jam >	1825 jam >			57	
				55	
				23	518
				95	
				88	
4 jam >	1460 jam >			25	
				20	101

The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa's Façade In Jakarta

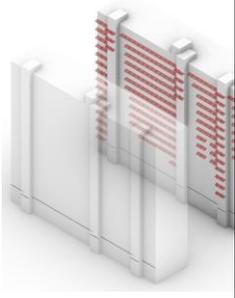
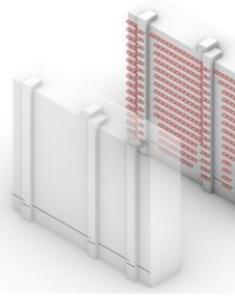
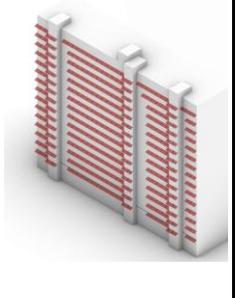
			60	
			01	
			95	
3 jam >	1095 jam >		82	372
			35	
			78	
			82	
			95	

Dari hasil simulasi di atas, disimpulkan bahwa pengaruh jumlah panel yang efektif untuk diletakkan pada fasad bangunan adalah: (1) *Solar Access* massa bangunan, dan (2) Tipe muka bangunan (polos/ dengan tonjolan). Ditemukan pula bahwa jumlah panel mengalami perbedaan drastis pada konfigurasi panel yang menerima sinar matahari langsung diatas 5 dan 6 jam (rata-rata per tahun), sehingga untuk penelitian selanjutnya akan lebih difokuskan kepada 2 jenis konfigurasi ini. Dari pola konfigurasi yang terjadi, juga terlihat bahwa massa bangunan yang berada di sebelah kanan dan kiri bidang uji saling membayangi, sehingga dilakukan penelitian lebih lanjut dengan parameter berupa: pengujian pada panel yang menerima >5 dan >6jam matahari langsung per hari, pengujian pada 2 tipe jarak, dan pengujian pada 2 tipe muka bangunan. Adapun pengujian dilakukan dengan mengisolasi massa bangunan yang ingin dilihat pengaruhnya, untuk mengurangi potensi kekeliruan perhitungan.

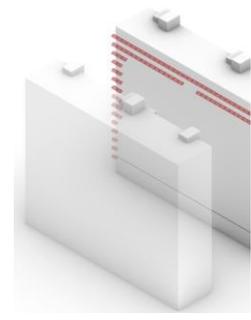
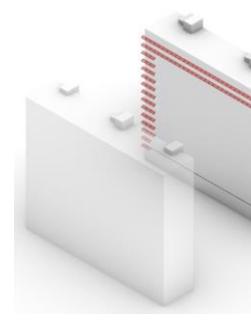
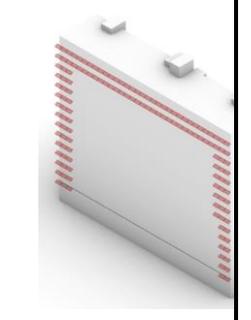
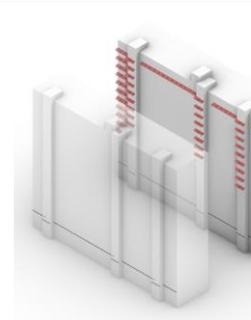
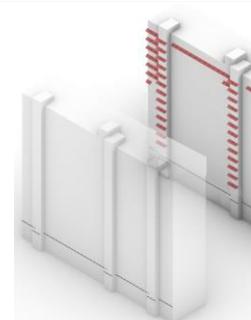
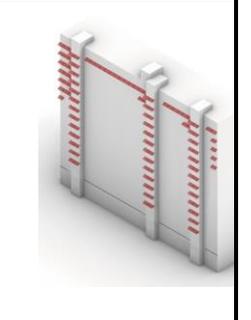
Tabel 4 Jumlah Panel dan Perolehan Energi dengan konfigurasi >5jam matahari langsung

		<i>Solar Access</i>					
		Terhalang massa dengan jarak 24.3m		Terhalang massa dengan jarak 39.1m		Tidak terhalang	
T i p e F a s a 	P o l o s						
		408 panel	91757.7 901295 kWh	4 95 panel	111453.8436 95 kWh	4 95 panel	112556.7 95551 kWh
		224.8 kWh/ panel		225.1 kWh/ panel		227.3 kWh/ panel	

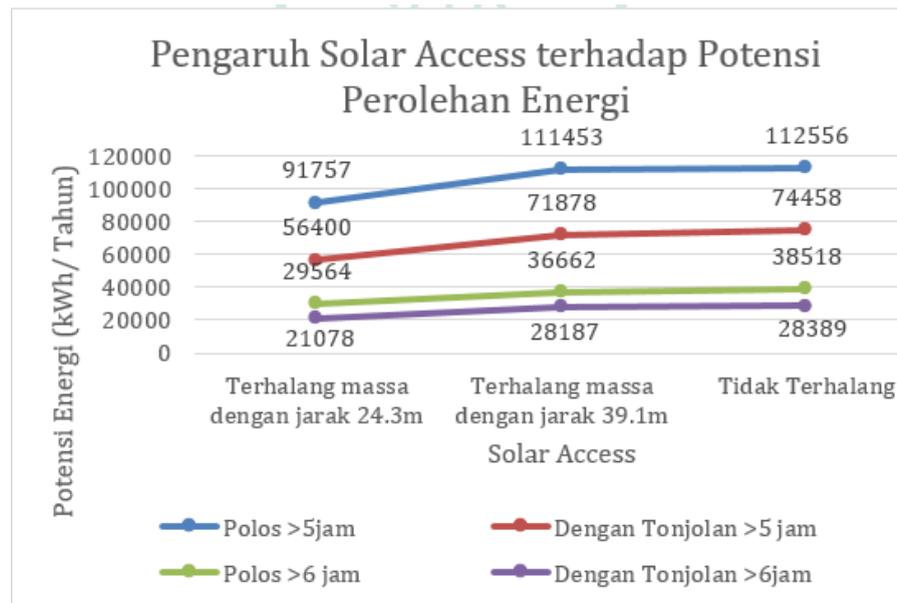
The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa's Façade In Jakarta

D e n g a n T o n j o l a n					
	277 panel 56400.5 59399 kWh	34 7 unit 71878.031 311 kWh	57 panel 74458.1169 88 kWh		
	203.6 kWh/ panel		207.1 kWh/ panel		208.5 kWh/ panel

Tabel 5 Jumlah Panel dan Perolehan Energi dengan konfigurasi >6jam matahari langsung

		<i>Solar Access</i>					
		Terhalang massa dengan jarak 24.3m		Terhalang massa dengan jarak 39.1m		Tidak terhalang	
T i p e F a s a d	P o l o s						
		112 unit 29564.3 65921 kWh	1 37 unit 36662.050903 kWh	41 unit 38518.182 897 kWh			
		263.9 kWh/ panel		267.6 kWh/ panel		273.1 kWh/ panel	
	D e n g a n T o n j o l a n						
		99 unit 21078.7 56876 kWh	13 7 unit 28187.0912 74 kWh	1 37 unit 28389.1 63132 kWh			
		212.9 kWh/ panel		205.7 kWh/ panel		207.2 kWh/ panel	

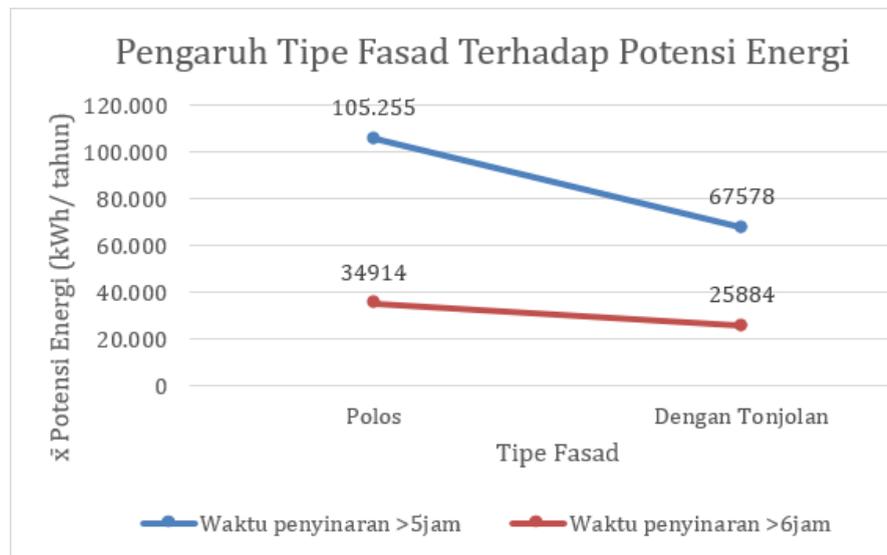
Pengaruh Solar Access terhadap Potensi Energi



Gambar 11. Grafik pengaruh solar access terhadap potensi energi

Dari data di atas, ditemukan bahwa semakin dekat jarak massa yang menghalangi bangunan, semakin kecil solar access, sehingga semakin sedikit potensi energi yang mampu dihasilkan. Sisi uji yang memiliki jarak antar bangunan 24.3m (0.45 tinggi bangunan) menghasilkan 23% lebih sedikit energi dibanding sisi uji yang memiliki jarak antar bangunan 39.1m (0.73 tinggi bangunan). Adapun potensi energi yang dihasilkan dari sisi uji yang memiliki jarak antar bangunan 39.1m dibandingkan dengan sisi uji tanpa pembayangan tidak memiliki penurunan yang signifikan, dengan rata-rata sekitar 1%.

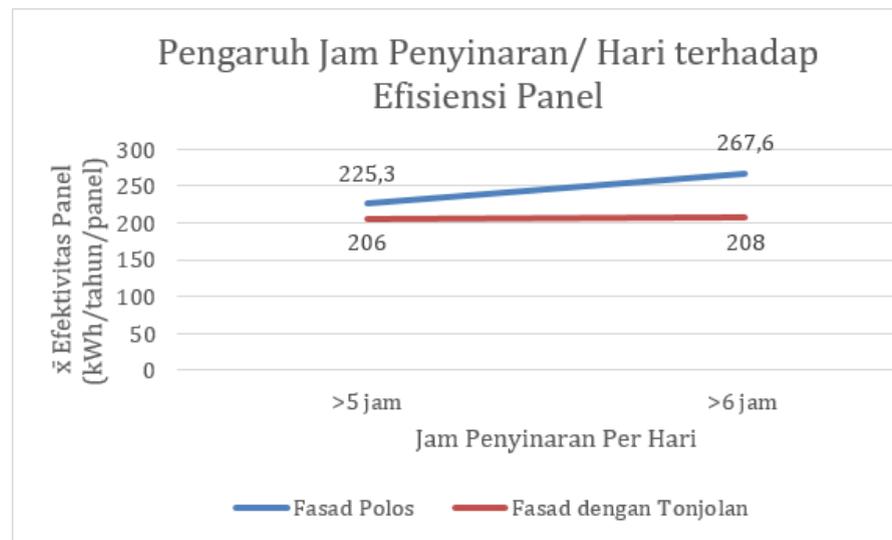
Pengaruh Tipe Fasad terhadap Potensi Energi



Gambar 12. Grafik pengaruh tipe fasad terhadap potensi energi

Dalam rata-rata, tipe fasad bangunan polos mampu menghasilkan 134%-155% lebih banyak energi dibanding tipe fasad bangunan dengan tonjolan. Hal ini disebabkan oleh pembayangan yang dihasilkan oleh tonjolan pada fasad, sehingga bidang yang terletak di sekitar area tonjolan kurang efektif untuk dijadikan bidang peletakkan panel fotovoltaik.

Pengaruh Jam Penyinaran/ Hari terhadap Efisiensi Panel



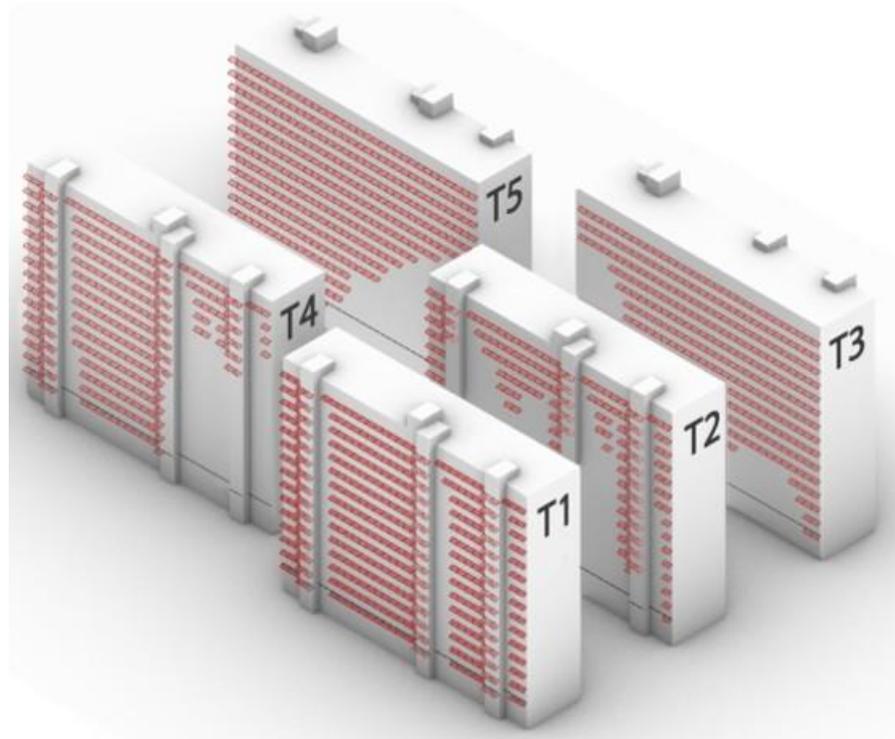
Gambar 13. Grafik pengaruh jam penyinaran/ hari terhadap efisiensi panel

Jam penyinaran yang lebih tinggi terbukti mampu meningkatkan efisiensi panel. Namun, jumlah panel yang mampu mencapai jam penyinaran tinggi lebih sedikit, sehingga potensi energi total yang dapat dihasilkan kurang seimbang dibandingkan dengan kebutuhan energi listrik bangunan. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya digunakan konfigurasi panel yang menerima lebih dari 5 jam penyinaran per hari.

4.3 PERHITUNGAN EFEKTIVITAS IMPLEMENTASI PANEL FOTOVOLTAIK PADA RUSUNAWA NAGRAK

Berdasarkan hasil penelitian yang didapatkan pada poin sebelumnya, ditemukan bahwa konfigurasi panel fotovoltaik yang paling optimal untuk diletakkan pada Rusunawa Nagrak adalah konfigurasi panel yang menerima lebih dari 5 jam sinar matahari langsung per hari. Perhitungan akan dilakukan dengan geometri eksisting Rusunawa Nagrak. Parameter perhitungan antara lain: Biaya per modul panel adalah Rp. 4,140,000,- , biaya rangka dan instalasi panel fotovoltaik adalah 10% dari nilai produk, laju kenaikan harga listrik ditetapkan sebesar 4% per tahun, umur panel fotovoltaik adalah 25 tahun, dan tarif listrik per tahun 2022 adalah Rp 1.444,70/kWh.

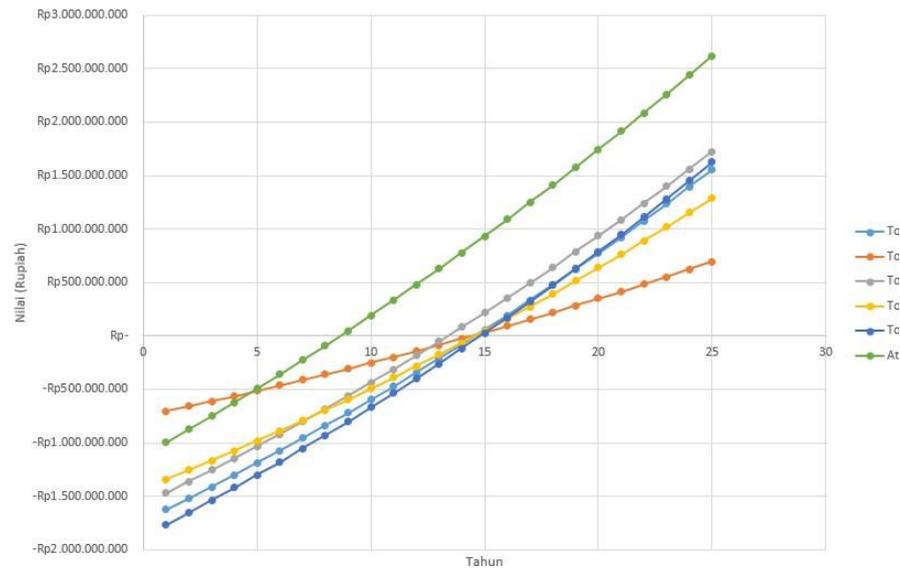
The Effect Of Masses Configuration Shading And Types Of Façades On The Effectiveness Of Photovoltaic Panel Application On Nagrak Rusunawa's Façade In Jakarta



Gambar 14. Konfigurasi Panel Fotovoltaik Final

Tabel 6 Rekapitulasi Konfigurasi Panel Fotovoltaik Final

Perletakan Panel Fotovoltaik	N Panel	Potensi Energi (kWh/tahun)	Modal Awal Instalasi Panel Fotovoltaik (Rp)	B EP terjadi pada tahun ke	% Kontribusi Terhadap Total Kebutuhan Listrik Unit Hunian (184.025,088 kWh/tahun)
Atap 10° (Kontrol)	2 19	921 14	997.326.000	9	50.05%
Menara 1	3 57	744 57	1.625.788.000,0	5 1	40.46%
Menara 2	1 55	327 36	705.870.000,0	5 1	17.78%
Menara 3	3 23	746 13	1.470.942.000,0	4 1	40.54%
Menara 4	2 95	615 25	1.343.430.000,0	5 1	33.43%
Menara 5	3 88	873 22	1.766.952.000,0	5 1	47.45%



Gambar 15. Rekapitulasi grafik BEP panel tiap menara

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya, didapatkan kesimpulan bahwa konfigurasi panel fotovoltaik yang efektif pada bangunan dengan tipologi rusunawa adalah orientasi yang menghadap ke arah utara, dengan kemiringan panel 30 derajat, dan jarak bersih antara bangunan sebesar lebih atau sama dengan 0.73 tinggi bangunan. Ada pula tipe bentuk muka fasad yang paling efektif adalah tipe polos, sehingga tidak menimbulkan pembayangan yang dapat mengurangi efisiensi panel fotovoltaik.

Menurut hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, potensi pemasangan panel surya pada fasad Rusunawa Nagrak adalah luasan fasad yang tinggi, melebihi besar luasan atap. Luasan fasad yang tinggi ini memperluas area yang mungkin dimanfaatkan untuk pemasangan panel fotovoltaik. Selain itu, pemasangan panel fotovoltaik pada bangunan rusunawa sebagai hunian yang dikelola pemerintah berkontribusi pada cita-citra nasional untuk beralih ke EBT (Energi Bersih Terbarukan). Sedangkan, kendala pemasangan panel surya pada fasad Rusunawa Nagrak adalah pada aspek finansial. Perhitungan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pemasangan panel fotovoltaik pada fasad Rusunawa Nagrak menara 1-5 memerlukan biaya inisiasi sebesar Rp6.284.520.000. Instalasi ini dalam jangka waktu 25 tahun diprediksi akan menghasilkan laba sebesar Rp6.546.556.502. Namun dengan pertimbangan inflasi, waktu balik modal yang panjang, dan biaya pemasangan awal yang besar, pemasangan panel fotovoltaik pada fasad Rusunawa Nagrak saat ini dinilai kurang efektif sebagai sumber energi listrik pendukung suplai PLN.

Karena keterbatasan waktu penelitian dan kemampuan penulis, hasil dari skripsi ini tentunya belum sempurna, sehingga terdapat beberapa hal yang dapat menjadi saran untuk kepentingan penelitian lanjutan, diantaranya; (1) variasi pengujian bentuk geometri bangunan, yang bisa mencakup bentuk geometri bangunan 'U', 'O', 'L', dan lainnya; (2) Variasi pengujian jumlah lantai bangunan; (3) Variasi pengujian *solar access* massa bangunan; (4) Variasi pengujian untuk tipe panel fotovoltaik yang digunakan. Diharapkan, hasil dari penulisan skripsi ini dapat memberi saran terhadap rencana implementasi panel fotovoltaik pada bangunan fungsi rumah susun.

6. DAFTAR PUSTAKA

- BPSDM, 2017. *Penghunian dan Pengelolaan Rusunawa*. s.l.:BPSDM Kementerian PUPR.
- Departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan, Japan International Cooperation Agency, 2007. *Pedoman Teknis Perencanaan Sistem Utilitas Rumah Susun Sederhana*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pendidikan Nasional, 2004. *Standar Kriteria IKE Bangunan Gedung*.
- Hartinisari, 2018. *Perancangan Rumah Susun menggunakan Multi Modul*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Indonesia, 2011. *Undang - Undang Nomor 20 Tahun 2011 tentang Rumah Susun*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Kim, J. et al., 2021. A Review of the Degradation of Photovoltaic Modules for Life Expectancy. *Energies*, 14(4278), p. 2.
- Krippner, R. et al., 2017. *Building-Integrated Solar Technology*. 1 ed. Munich: Information GmbH.
- Lechner, N., 2007. *Heating, Cooling, Lighting Metode Desain untuk Arsitektur*. 2 ed. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Tabb, P., 1984. *Solar Energy Planning, A Guide to Residential Settlement*. USA: McGraw Hill.