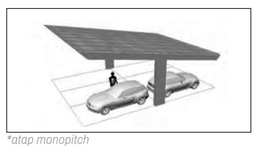
Pengaruh Sudut dan Orientasi Panel Surya terhadap Optimalisasi Energi Listrik Terbarukan dan Konfigurasi Fasilitas Parkir Tenaga Surya pada Gedung Komersial di Bandung

Impact of Solar Panel Angle and Orientation on Optimization of Renewable Electrical Energy and Solar Car Park Configuration for A Commercial Building in Bandung

Indonesia pada dasarnya memiliki banyak potensi terhadap penggunaan panel surya untuk menghasilkan energi terbarukan. Hal ini karena lokasi geografis Indonesia yang terletak pada iklim tropis. Kondisi iklim ini memungkinkan terjadinya penyinaran matahari yang relatif panjang dan merata tiap harinya. Penggunaan panel surya juga didukung dengan pernyataan Indonesia untuk ikut serta dalam gerakan ***net zero emission*** atau yang biasa dikenal dengan gerakan nol emisi karbon dengan memplubikasikan dokumen Enhanced Nationally Determined Contribution/ENDC tahun 2021 lalu. Yang menjadi halangan penggunaan panel surya di Indonesia adalah faktor biaya. Produksi panel surya di Indonesia masih relatif mahal karena komponen-komponen harus diimpor terlebih dahulu sebelum dirakit di Indonesia. Dalam perancangan sebuah instalasi panel surya, salah satunya Solar Car Park, studi mengenai sudut kemiringan dan orientasi panel surya yang optimum perlu dilakukan terlebih dahulu. Tujuannya agar pembangunan instalasi dapat dimanfaatkan secara maksimal dan efisien dalam jangka panjang. ***Studi yang dilakukan bukan hanya sebatas orientasi dan sudut kemiringan yang optimal, melainkan bagaimana model panel surya optimal dapat membentuk susunan fasilitas parkir yang ideal.***

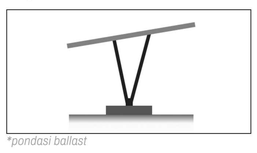
Kanopi Area yang beriklim tropis identik dengan intensitas radiasi yang tinggi. Faktor ini akan mengakibatkan peningkatan suhu dan selanjutnya dapat menyebabkan ketidaknyamanan pada sebuah ruang. Kanopi menjadi salah satu bentuk nyata solusi permasalahan pengendalian sinar matahari. Kanopi memberikan naungan, perlindungan terhadap panas dan hujan. Menurut KBBI (2024) kanopi merupakan tirai atau langit-langit dari terpal, kain logam, dan sebagainya. Diterjemahkan dari Cambridge Dictionary (2024), kanopi adalah sebuah penutup yang menyerupai atap yang dapat digunakan sebagai naungan maupun dekorasi. Pada penelitian kali ini, kanopi yang dimaksud merupakan naungan yang menggunakan bentuk dan elemen atap. Kanopi atau atap terdiri dari 2 komponen utama, struktur rangka dan struktur penutup yang



*atap monopitch

*rangka-v

Solar Car Park Sebuah instalasi yang mengintegrasikan instalasi panel surya dengan kanopi carport. Panel Surya sebagai elemen pengganti material kanopi carport akan berfungsi sebagai penghasil listrik terbarukan dan sebagai elemen penutup pelindung kendaraan dari panas dan hujan. Terdapat beberapa komponen penting penyusun modul solar carport antara lain rangka utama/ *frame*, atap/ *roof* sebagai kanopi penutup dengan kemiringan tertentu, dan pondasi/ *foundation.*



*pondasi ballast

Teknologi Fotovoltaik Panel surya/ fotovoltaik hadir sebagai inovasi yang menghadirkan energi terbarukan yang berkelanjutan. Terdapat 2 macam klasifikasi metode pemasangan panel fotovoltaik pada bangunan BAPV/ Building Applied Photovoltaics dan BIPV/ Building Integrated Photovoltaics. Kedua klasifikasi tersebut memiliki tingkatan integrasi yang berbeda. BIPV pemasangannya sudah direncanakan sejak perancangan desain bangunan. Sedangkan BAPV sifatnya adisi elemen yang dipasang pada bangunan maupun struktur eksisting. Dalam mengintegrasikan panel surya pada bangunan, terdapat beberapa aspek yang harus diperhatikan. Salah satu

Pengaruh pergerakan Matahari Revolusi bumi terhadap matahari dan rotasi bumi pada sumbu rotasinya sendiri menyebabkan variasi penyinaran matahari setiap harinya. Sumbu rotasi bumi yang miring terhadap bidang orbitnya akan menyebabkan musim-musim yang berbeda tergantung pada posisi geografis suatu negara. Faktor-faktor ini menyebabkan perbedaan sudut matahari pada saat mengenai objek di permukaan bumi. Arah datang sinar matahari yang bervariasi berdasarkan musim dan waktu dalam sehari dapat dijelaskan menggunakan sudut ***azimuth*** dan ***altitude*** matahari. (Krippner, Et al., 2017). *Azimuth* menjelaskan posisi matahari secara horizontal dari titik pengamat menggunakan arah mata angin. Sudut yang digunakan adalah sudut 0°/360° yang merepresentasikan true North hingga sudut 359°. Sedangkan, *altitude* menjelaskan posisi matahari secara vertikal dari titik pengamat. Sudut yang digunakan adalah sudut 0° yang merepresentasikan posisi matahari di saat sejajar dengan garis ufuk hingga sudut 90° di saat posisi matahari berada tepat di atas pengamat. Sudut altitude atau solar elevation angle akan menghasilkan sudut ***zenith***, sudut yang digunakan untuk menentukan kemiringan panel surya. Salah satu cara untuk memperhitungkan altitude dan azimuth matahari pada kondisi tertentu adalah dengan menggunakan diagram sun path.

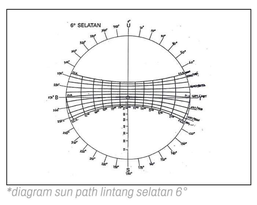
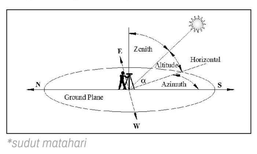


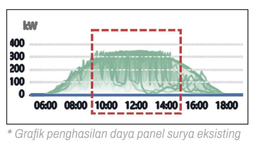
*diagram sun path lintang selatan 6°



*sudut matahari

Penelitian kali ini menggunakan ***metode evaluasi pasca huni*** terhadap objek studi Solar Car Park yang terletak pada fasilitas parkir *rooftop* pada sebuah gedung komersial di Bandung. Penelitian bertujuan untuk melakukan studi konfigurasi optimal instalasi Solar Car Park eksisting. Pendekatan penelitian merupakan kombinasi antara pendekatan kualitatif-deskriptif dan kuantitatif-eksperimental. Pengukuran pada simulasi penelitian dilakukan sepanjang tahun dengan pemilihan sampet waktu spesifik yang menyesuaikan kebutuhan data pengukuran yang akan dilakukan. Runtutan tahapan pada penelitian kali ini memiliki sifat kausalitas, sehingga hasil dari penelitian tahap sebelumnya akan berdampak pada penelitian tahap selanjutnya.

Peak Sun Hour Merupakan intensitas radiasi matahari maksimum dalam waktu satu jam. Data jam dengan radiasi maksimum digunakan untuk menentukan sampel waktu penelitian. Dari data rekapan perangkat lunak yang tersambung dengan instalasi panel surya Solar Car Park eksisting, didapatkan bahwa penyinaran matahari pada lokasi objek studi dimulai pada pukul 06.00 dan berakhir pada 18.00. Sedangkan waktu penyinaran matahari maksimum dimulai pada pukul 09.00 dan mengalami penurunan pada pukul 15.00. Dengan ini, dapat ditentukan jam yang akan digunakan sebagai sampel untuk simulasi adalah jam 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, dan 15.00.



* Grafik penghasilan daya panel surya eksisting

Equinox & Solstice Ditentukan pula tanggal yang akan menjadi perwakilan untuk simulasi sun path. Data yang diperlukan adalah data dalam kurun waktu satu tahun, sehingga diambil sampel satu hari pada setiap bulannya. Tanggal yang digunakan adalah tanggal 22, karena merupakan tanggal terjadinya fenomena *equinox*[1] maupun *solstice*[2].

[1] Terjadi tiap bulan Maret & September, fenomena saat belahan bumi Utara & Selatan mengalami penyinaran matahari dengan jangka waktu yang sama
[2] Terjadi tiap bulan Juni & Desember, fenomena saat belahan bumi Utara mengalami penyinaran matahari terpanjang dalam setahun, belahan bumi Selatan mengalami penyinaran matahari terpendek dalam setahun, dan sebaliknya.

Analisa Potensi Radiasi Matahari menggunakan Diagram Sun Path

	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
Azimuth (°)	178.9	167.0	353.1	32.0	22.3	356.1	357.9	354.2	56.2	117.1	147.8	146.4
Altitude (°)	77.3	86.7	82.3	67.4	60.4	59.6	62.8	71.3	77.3	80.6	74.2	69.9
Radiasi (W/m²)	197.6	205.5	209	206.7	201.8	199.0	202.1	207.0	209.0	205.0	197.1	192.7
Zenith (°)	12.7	3.3	7.7	22.6	29.6	30.4	27.2	18.7	12.8	9.4	15.8	20.1

Tahapan ini menghasilkan data matahari dengan radiasi maksimum pada lokasi objek studi. Matahari mengalami elevasi tertinggi setiap pukul 12.00, sedangkan penyinaran maksimal pada panel surya bervariasi antara pukul 11.00 atau 12.00. Hasil pengamatan posisi matahari dengan radiasi maksimum menghasilkan kemiringan panel surya minimum pada 3.3° dan maksimum 29.6° dari bidang horizontal yang sejajar dengan garis ufuk. Dari data tersebut dapat ditentukan sampel kemiringan panel surya 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, dan 30°. Sudut 0° tidak digunakan sebagai sampel simulasi karena persyaratan panel surya untuk memiliki kemiringan saat dipasang pada sebuah instalasi.

Pengujian Sudut Modul Panel Surya Eksisting

Sebelum melakukan simulasi modul independen panel surya untuk mendapatkan sudut optimal, perlu dipelajari juga kondisi eksisting objek studi. Dalam satu instalasi, bila modul-modul panel surya dipasang dengan orientasi yang bervariasi maka daya listrik yang dihasilkan akan berbeda-beda pula. Dari hasil observasi, didapatkan data jumlah panel surya pada instalasi eksisting adalah 750 buah dengan kesamaan kemiringan panel pada 5°. Panel-panel surya tersebut terbagi menjadi beberapa kategori berdasarkan sudut orientasinya.

No.	Orientasi		Jumlah Panel Surya	Daya Listrik per Modul	Total Daya Listrik
1	Timur	101°	372	1.867 kWh/hari	694.52 kWh/hari
2	Barat	281°	198	1.863 kWh/hari	368.87 kWh/hari
3	Barat	277°	180	1.860 kWh/hari	334.80 kWh/hari
		Total	750		**1,398.18 kWh/hari**

Data hasil simulasi menunjukan panel surya dengan orientasi Timur lebih unggul dalam menghasilkan daya listrik, walaupun perbedaannya tidak signifikan.

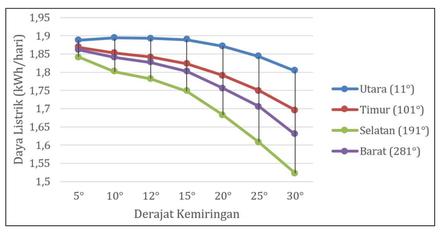
Simulasi Sudut dan Orientasi Optimum Panel Surya

Pengujian kali ini dilakukan untuk mendapatkan sudut optimal orientasi dan kemiringan panel surya dengan spesifikasi panel surya eksisting menggunakan simulasi otomatis menggunakan Galapagos pada Grasshopper. Dari simulasi otomatis tersebut, didapatkan sudut optimal orientasi panel surya adalah pada *azimuth* 26° dan *altitude* 78°. Konfigurasi tersebut menghasilkan kemiringan panel surya pada angka 12° dan diperkirakan dapat menghasilkan daya listrik sebesar 1.894 kWh/hari setiap modulnya.

Penerapan Panel Surya pada Fasilitas Parkir Rooftop Objek Studi

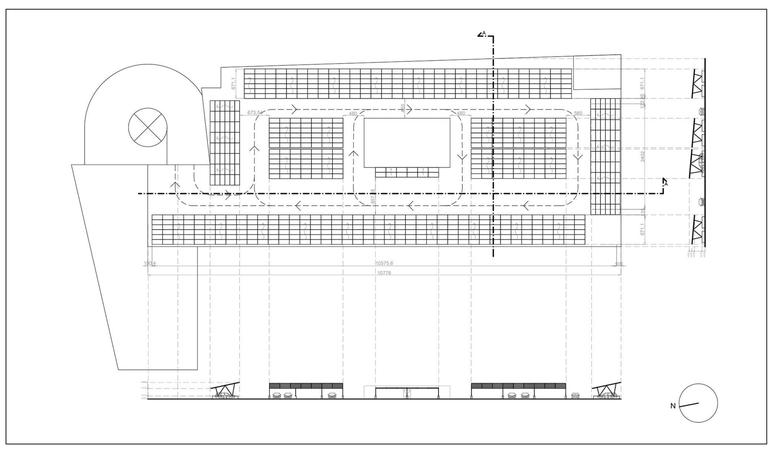
KEMIRINGAN (°)	ORIENTASI							
	Utara (11°)		Timur (101°)		Selatan (191°)		Barat (281°)	
	rad (W/m²)	daya (kWh/hari)	rad (W/m²)	daya (kWh/hari)	rad (W/m²)	daya (kWh/hari)	rad (W/m²)	daya (kWh/hari)
5	209.0	1.888	**207.2**	**1.868**	204.1	1.842	205.9	1.862
10	209.8	1.894	206.2	1.853	200.0	1.801	203.6	1.841
12	**209.9**	**1.893**	205.6	1.842	198.1	1.782	202.4	1.827
15	209.6	1.889	204.3	1.823	194.9	1.748	200.3	1.802
20	208.2	1.872	201.5	1.791	188.8	1.683	196.2	1.756
25	205.8	1.843	198.1	1.750	181.8	1.608	191.1	1.706
30	202.3	1.804	193.8	1.696	173.9	1.523	183.6	1.630

EKSISTING KEMIRINGAN OPTIMAL GALAPAGOS OPTIMAL (SAMPEL)

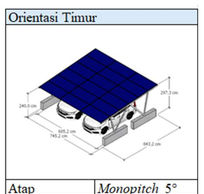


Dari grafik di atas, dapat diamati tren penurunan efisiensi pada panel surya setelah sudut kemiringan optimum yang adalah 12°. Hal ini diduga karena semakin besar sudut kemiringan panel surya, semakin besar pula jarak bidang panel surya terhadap sinar matahari yang datang. Dari grafik di atas pula, dapat diamati bahwa panel surya dengan orientasi Utara paling unggul bila dibandingkan dengan panel surya dengan orientasi lain. Pada orientasi Utara, pada semua sudut kemiringan, panel surya dapat menghasilkan daya listrik paling maksimum. Hal ini diduga karena panel surya menghadap langsung ke arah matahari pada siang hari, mengingat Bandung terletak pada Lintang Selatan belahan bumi. Sedangkan pada panel surya dengan orientasi Timur dan Barat menghasilkan daya listrik yang tidak berbeda jauh pada kemiringan minimum. Perbedaan hasil daya listrik semakin signifikan dengan bertambahnya kemiringan pada panel surya.

Konfigurasi Solar Car Park

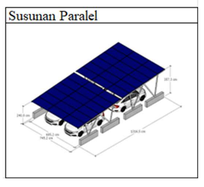


Orientasi Timur

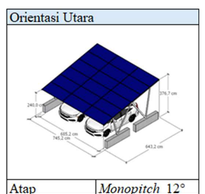


Atap	*Monopitch* 5°
Rangka	Rangka-V
Pondasi	*Ballast* beton
Jumlah Panel	18 buah
Jumlah SRP	2 buah

Susunan Paralel

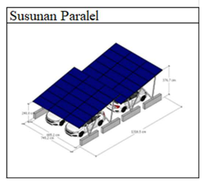


Orientasi Utara



Atap	*Monopitch* 12°
Rangka	Rangka-V
Pondasi	*Ballast* beton
Jumlah Panel	18 buah
Jumlah SRP	2 buah

Susunan Paralel



Menggunakan susunan modul panel surya dengan konfigurasi kemiringan 12° orientasi Utara dan kemiringan 5° orientasi Timur, dihasilkan sebuah susunan parkir yang menghasilkan total daya listrik sebesar 1,403.85 kWh/hari. Dengan menggunakan 636 buah panel surya orientasi Timur dan 114 buah panel surya orientasi Utara, didapatkan kenaikan 0,4% produksi daya listrik, bila dibandingkan dengan susunan Solar Car Park eksisting. Konfigurasi modul dengan orientasi Utara minim digunakan karena rawan terhadap fenomena *self-shading* yang dapat mengurangi efisiensi dari panel surya tersebut.

Berdasarkan hasil analisa penelitian kali ini, didapat ***kesimpulan*** bahwa ***konfigurasi panel surya optimum pada objek studi adalah dengan sudut kemiringan 12° dengan orientasi terhadap sumbu Utara.*** Dengan konfigurasi tersebut, daya listrik yang dapat dihasilkan oleh modul panel surya bifasial dengan efisiensi 20.9% adalah sebesar 1.894 kWh/hari. Terdapat kenaikan sebesar 2% terhadap daya listrik yang dapat dihasilkan apabila dibandingkan dengan konfigurasi panel surya eksisting dengan penghasilan daya listrik tertinggi. Sedangkan menurut hasil simulasi susunan panel, ***penggunaan panel surya dengan orientasi Utara kurang efisien diterapkan pada fasilitas parkir objek studi. Akan tetapi, hal tersebut tidak menutup kemungkinan penggunaan panel surya dengan orientasi Utara pada fasilitas objek studi kali ini.*** Penggunaan panel surya orientasi Utara pada susunan fasilitas parkir dapat meningkatkan total daya listrik yang dihasilkan sebanyak 0.4%.

Penelitian kali ini dapat menghasilkan rancangan desain skematik susunan fasilitas parkir Solar Car Park dengan pertimbangan optimalisasi energi listrik terbarukan dan fasilitas parkir. Desain perancangan kali ini belum mempertimbangkan faktor arsitektural lainnya secara lebih mendalam, seperti konsiderasi struktur eksisting, utilitas, dan beban yang dihasilkan oleh angin. Sebaiknya dalam menghasilkan desain rancangan Solar Car Park yang baik untuk dibangun, faktor-faktor tersebut ikut dipertimbangkan integrasinya.

Sumber Gambar : Suryanesia

PROGRAM STUDI SARJANA ARSITEKTUR
JURUSAN ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN

SKRIPSI AWARDS XXII 2024-2

NAMA PESERTA : Natasha Jovanka Hartono
NPM : 6112001097

DOSEN PEMBIMBING : Ir. Amirani Ritva Santoso, M.T.
DOSEN KO-PEMBIMBING : -
DOSEN PENGUJI 1 : Ir. E.B. Handoko Sutanto, M.T.
DOSEN PENGUJI 2 : Irma Subagio, S.T., M.T.