

PENGARUH ORIENTASI DAN TATA LETAK PHOTOVOLTAIC DALAM PENCAPAIAN PENGGUNAAN ENERGI TERBAHARUKAN DALAM PERANCANGAN HOTEL

Fadly Yusuf Arjanggi¹, Dyah Hendrawati²

¹Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

¹Surel: 19512204@students.uii.ac.id

ABSTRAK: Hotel menjadi kebutuhan yang penting seiring dengan perkembangan pariwisata di suatu daerah. Hotel memiliki jam operasional 24 jam. Jam operasional akan berpengaruh besar pada kebutuhan energi suatu bangunan. Konsumsi energi paling besar pada hotel adalah untuk sistem pendinginan udara, yaitu sebesar 65% dari total penggunaan energi. Bangunan di negara tropis yang mendapatkan sinar matahari sepanjang tahun, seharusnya dapat memanfaatkan energi lain yaitu sinar matahari, sebagai energi terbarukan sehingga bisa mengurangi konsumsi energi listrik fosil. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar dan baru dimanfaatkan sebesar 0.04%. Pada tahun 2025 kementerian ESDM memiliki target penggunaan energi terbarukan sebesar 23% yang pada 2017 pemanfaatannya hanya sebesar 12,5%. Tujuan penelitian ini untuk memberikan gambaran tata letak photovoltaic yang mampu memperoleh energi secara optimal. Lokasi penelitian ini di Yogyakarta yang terletak pada 110°22'19" Bujur Timur dan 07°47'55" Lintang Selatan. Dengan variabel arah orientasi photovoltaic dan durasi penyinaran photovoltaic oleh matahari langsung. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan uji simulasi radiasi matahari. Hasil pengujian menunjukkan energi yang mampu dihasilkan 1332 photovoltaic selama sebulan sebesar 6.233.760Kwh dengan orientasi dan tata letak photovoltaic diatur sedemikian rupa untuk mengurangi pembayangan dan tetap memaksimalkan sinar matahari yang masuk ke dalam bangunan sebesar 30%.

Kata kunci: orientasi, pembayangan, photovoltaic, tata letak

PENDAHULUAN

Yogyakarta merupakan salah satu kota sebagai destinasi favorit wisatawan baik lokal maupun mancanegara. Beragamnya objek wisata seperti kuliner, wisata belanja, wisata seni dan budaya, pertunjukkan dan atraksi lainnya turut mengundang daya tarik wisatawan (Brilliant Nugroho & Istriani, 2021; Suminar & Sari, 2021). Yogyakarta bukan saja ramai karena banyaknya wisatawan tetapi banyaknya juga pusat pendidikan dan instansi pendidikan di sana yang turut meramaikan Yogyakarta. Hingga kemudian tingkat kepadatan penduduknya semakin meningkat. Kebutuhan tempat tinggal untuk warga lokal yang tinggi, akomodasi tempat tinggal para pelajar dan mahasiswa, dan akomodasi penginapan untuk wisatawan.

Proyeksi jumlah penduduk yang dilakukan (BPS Provinsi D.I. Yogyakarta, n.d.-a) jumlah penduduk di Kota Yogyakarta pada tahun 2022 sebanyak 4.021.816 jiwa dan pada tahun 2023 terjadi peningkatan menjadi 4.073.907 jiwa. Semakin tingginya jumlah penduduk akan berpengaruh pada tingkat kepadatan sebuah wilayah, kemudian tingkat kepadatan yang semakin tinggi juga diikuti dengan adanya peningkatan kebutuhan energi (*Rumah Hemat Energi: Solusi Mewujudkan Perumahan Berkelanjutan - Caritra*, n.d.). Dengan begitu krisis energi dapat terjadi kapan saja ketika energi hanya bergantung dari satu sumber, apalagi menggunakan energi fosil yang sewaktu-waktu akan habis. Sayangnya kesadaran penggunaan energi alternatif hanya ditemukan di bangunan-bangunan tertentu yang sadar untuk mulai berinvestasi pada sumber energi alternatif sebagai upaya melakukan penghematan energi (Mulyana, 2017).

Untuk memulai penerapan sumber energi alternatif menggunakan panel *photovoltaic* terlebih dahulu memerlukan sumber cahaya oleh matahari. Dalam hal ini yang menjadi tolok ukurnya adalah besaran radiasi matahari yang jatuh pada permukaan panel *photovoltaic*. Namun radiasi matahari tidak dapat dikendalikan oleh manusia sebab merupakan faktor alam. Radiasi matahari tidak dapat dipungkiri juga mampu memberikan dampak buruk pada bangunan, sebab radiasi matahari yang berlebih akan memberikan panas yang berlebih juga sehingga justru akan membutuhkan lebih banyak energi untuk mendinginkan sebuah ruangan (Apriyadi et al., n.d.)

Pengujian tentang penghematan energi menggunakan panel *photovoltaic* ini dilakukan di Jl. P. Mangkubumi di atas lahan Hotel Harper. Pengujian ini dilakukan dengan mendesain ulang Hotel Harper dengan pendekatan efisiensi energi menggunakan panel *photovoltaic*. Hotel tersebut dipilih sebagai objek pengujian sebab lokasi lahan yang strategis dengan destinasi wisata, halte kendaraan umum, stasiun kereta dan fasilitas lain yang mampu memenuhi kebutuhan para wisatawan. Salah satu destinasi wisata yang dekat adalah Malioboro yang menurut (Nisa & Haryanto, 2014) memiliki peran penting terhadap ekonomi daerah melalui jasa akomodasi wisatawan dan kebutuhan sarana prasarana wisatawan.

Menurut (Bahtiar et al., 2019; Kaban & Jafri, 2020) bidang atap efektif digunakan sebagai tempat panel *photovoltaic*, namun pada tipologi hotel area ruang atap akan lebih banyak diperuntukkan untuk keperluan sarana dan ruang-ruang utilitas gedung. Maka dari itu perlu adanya pedoman pemasangan panel *photovoltaic* apabila memiliki bidang atap yang terbatas. Kemudian perlu juga dibuktikan bagaimana kinerja panel *photovoltaic* apabila panel tidak diletakkan pada bidang atap.



Gambar 1 Fasad panel *photovoltaic* sebagai *shading devices*
Sumber : Archdaily.com

Sehingga mengenai fenomena tersebut, ditemukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Arah orientasi manakah pada bidang fasad bangunan yang mendapatkan pancaran sinar matahari maksimum sepanjang tahun ?
2. Bagaimana tata letak sistem panel *photovoltaic* yang mampu mengakomodasi banyak modul *photovoltaic* untuk perolehan radiasi matahari yang maksimal dengan luas bidang atap yang terbatas?
3. Apakah pemasangan *photovoltaic* secara optimum dapat memenuhi standar GBCI untuk energi terbarukan, yaitu mampu menghasilkan listrik minimal 0,5% dari kebutuhan?

4. Apakah pemasangan *photovoltaic* secara optimum tetap dapat memenuhi standar GBCI, yaitu 30% dari NLA menggunakan pencahayaan alami?

Tujuan dari tulisan ini adalah untuk memberikan gambaran terkait pengujian panel *photovoltaic* yang tidak dipasangkan pada bidang atap namun tetap mempertahankan kinerja panel *photovoltaic* sebagai sumber energi terbarukan pada bangunan hotel yang memiliki bidang atap terbatas.

TINJAUAN PUSTAKA

Kunjungan wisatawan yang menginap di hotel di Kota Yogyakarta pada November 2022 mencapai 590.142 orang. Diikuti juga dengan adanya kenaikan Tingkat Penghunian Kamar per November 2022 menjadi 64,95% yang pada bulan Oktober hanya sebesar 61,23% (*BPS Provinsi D.I. Yogyakarta*, n.d.-b). Dengan peningkatan persentase Penghunian Kamar di Kota Yogyakarta maka akan semakin tinggi kebutuhan penggunaan energi untuk bisnis perhotelan. Mengacu pada data statistik (*BPS Provinsi D.I. Yogyakarta*, n.d.-b; *Rumah Hemat Energi : Solusi Mewujudkan Perumahan Berkelanjutan - Caritra*, n.d.) konsumsi energi listrik fosil terbesar di Yogyakarta pada tahun 2017 adalah pada sektor rumah tangga yang menyentuh 56% kemudian diikuti oleh sektor bisnis sebesar 21%.

Kebutuhan energi listrik untuk bisnis perhotelan sangat tinggi mengingat jam operasional hotel selama 24 jam. Menurut (Berchmans et al., 2015) standar konsumsi energi di Yogyakarta selama satu tahun adalah sebesar 393 Kwh/m² dikalikan dengan luas hotel objek penelitian sebesar 11.514 m² menghasilkan kebutuhan konsumsi energi listrik sebesar 4.525.002 Kwh/tahun. Dengan jumlah Kwh/tahun tersebut dan harga listrik Rp1.500,00 maka dalam satu tahun biaya operasional listrik yang perlu dibayarkan sebesar Rp6.787.503.000,00 atau dalam satu bulan sebesar Rp565.625.250,00.

Indonesia merupakan negara tropis dengan kondisi matahari yang dapat menyinari selama hampir 12 jam. Dengan begitu matahari akan meneruskan radiasinya di Indonesia dalam waktu yang lama. Energi radiasi matahari menurut (Apriyadi et al., n.d.) merupakan kondisi alam yang tidak dapat manusia kendalikan. Berarti matahari akan selalu memancarkan radiasi yang bersama cahaya dan panasnya. Berikut adalah nilai faktor radiasi matahari:

Tabel 1 Nilai faktor radiasi matahari

Orientasi	U	TTL	T	TGR	S	BD	B	BL
	130	113	112	97	97	176	243	211

Sumber : SNI-06389-2010

Bangunan yang mampu memenuhi 0.5% kebutuhan listriknya menggunakan sumber energi terbarukan akan memenuhi persyaratan GBCI dalam parameter EEC 5. Setiap 0.5% kebutuhan listrik terpenuhi akan mendapatkan 1 poin. Kemudian persyaratan terkait bangunan yang memiliki pencahayaan alami sebesar 300 lux dan memenuhi 30% dari luas ruang akan mendapatkan 2 poin (*GREEN BUILDING COUNCIL INDONESIA GREEN BUILDING COUNCIL INDONESIA GREENSHIP Untuk BANGUNAN BARU Versi 1.2 RINGKASAN KRITERIA DAN TOLOK UKUR*, 2013).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara kuantitatif, untuk melihat keberhasilan perancangan ulang hotel yang menggunakan pendekatan *Performance Based Design* (PBD) dengan parameter GBCI. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai maka perlu dilakukan penelitian dengan metode simulasi menggunakan *software* dan perhitungan . Metode ini tepat untuk

mengukur keberhasilan pemanfaatan sumber energi matahari sebagai sumber energi terbarukan dan pencahayaan alami bangunan. Pengujian keberhasilan desain dihitung dengan bantuan aplikasi FormIt untuk melihat perolehan tingkat radiasi yang jatuh di permukaan panel *photovoltaic* dan aplikasi Dialux untuk melihat sebaran nilai lux pencahayaan alami di dalam ruang.

Tabel 2 Variabel penelitian

Parameter Efisiensi Energi	Tolok ukur	Cara Pengujian
Penentuan arah orientasi dan letak <i>photovoltaic</i> pada fasad	Pancaran sinar matahari yang maksimal	Menggunakan aplikasi FormIt
Perolehan energi listrik terbarukan pada panel <i>photovoltaic</i>	0,5% dari kebutuhan konsumsi listrik	Perhitungan Perolehan dan Konsumsi Energi Listrik
Memanfaatkan energi matahari sebagai sumber pencahayaan alami	Memiliki nilai 300 lux pencahayaan alami untuk 30% luas ruangan	Menggunakan aplikasi Dialux

Sumber : Penulis, 2022

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan ulang hotel ini berada di Jl. P.Mangkubumi yang merupakan jalan raya dengan lokasi strategis karena berada di antara dua destinasi wisata favorit yakni Tugu Yogyakarta dan Malioboro. Sepanjang jalan tersebut juga terdapat wisata kuliner pinggir jalan sederhana dan terdapat Stasiun Yogyakarta di ujung selatan Jl. P.Mangkubumi.



Gambar 2 Lokasi lahan
Sumber : *Google Earth*, 2022

Orientasi bangunan tetap dipertahankan menghadap ke arah barat dengan pertimbangan kemudahan akses langsung dari Jl. P.Mangkubumi sehingga pemanfaatan lahan dapat fokus pada aspek bisnis hotel dan mengurangi ruang sirkulasi kendaraan. Kemudian pertimbangan pada besar nilai faktor radiasi matahari di sisi barat paling besar di angka 243, sehingga muka bangunan harus mampu untuk mengakomodasi sejumlah besar panel *photovoltaic* di sisi barat bangunan.

Orientasi bangunan ke arah barat akan berdampak buruk pada panas matahari berlebih yang masuk ke dalam ruangan melalui bukaan. Namun kebutuhan pencahayaan alami untuk menjawab parameter GBCI EEC 2 harus tetap dilakukan. Perhitungan *shading devices* pada desain harus dilakukan untuk mengetahui dimensi *shading devices* yang sesuai untuk mengurangi panas radiasi matahari dan memenuhi kebutuhan pencahayaan alami. Pada sisi barat bangunan dilakukan simulasi pada tanggal 1 Maret pukul 15.00 WIB sebab pada tanggal dan waktu tersebut posisi matahari berada di sisi paling barat. Didapatkan hasil lebar *shading devices* horizontal 65cm dan *shading devices* vertikal 50cm.

Tabel 3 Uji Sun Tool pada sisi barat

Denah Pengujian	Tabel Uji Sun Tool	Gambar Render Shading																																																																																																																																																																															
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Tabulated Daily Solar Data</p> <p>Latitude: 7.2° Longitude: 113.3° Timezone: 102.0° (7 hrs) Orientation: 277.0°</p> </div> <div> <p>Date: 1st March Julian Date: 60 Sunrise: 06:45 Sunset: 17:55</p> </div> <div> <p>Time: 15:00 Date: 1st March Percentage Shading: 89%</p> </div> </div> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Local</th> <th>(Solar)</th> <th>Azimuth</th> <th>Altitude</th> <th>HSA</th> <th>VSA</th> <th>Shading</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>06:00</td><td>(06:38)</td><td>77.7°</td><td>3.3°</td><td>-179.3°</td><td>176.7°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>(06:38)</td><td>81.8°</td><td>10.8°</td><td>-178.9°</td><td>180.8°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>(07:38)</td><td>98.0°</td><td>18.0°</td><td>-178.0°</td><td>182.0°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>(07:38)</td><td>92.2°</td><td>25.4°</td><td>-177.2°</td><td>184.8°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>(08:38)</td><td>84.8°</td><td>32.4°</td><td>-177.8°</td><td>147.2°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>(08:38)</td><td>81.0°</td><td>40.2°</td><td>-177.0°</td><td>138.0°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>09:00</td><td>(09:38)</td><td>81.5°</td><td>47.2°</td><td>-176.5°</td><td>132.2°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>09:30</td><td>(09:38)</td><td>81.0°</td><td>55.1°</td><td>-176.0°</td><td>124.8°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>10:00</td><td>(10:38)</td><td>82.5°</td><td>62.5°</td><td>-175.0°</td><td>117.4°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>10:30</td><td>(10:38)</td><td>82.3°</td><td>69.8°</td><td>-175.3°</td><td>110.0°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>11:00</td><td>(11:38)</td><td>82.3°</td><td>77.3°</td><td>-175.3°</td><td>102.6°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>11:30</td><td>(11:38)</td><td>81.7°</td><td>84.8°</td><td>-175.7°</td><td>95.2°</td><td>Blocked</td></tr> <tr><td>12:00</td><td>(12:38)</td><td>-81.1°</td><td>87.3°</td><td>-151.1°</td><td>87.2°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>12:30</td><td>(12:38)</td><td>-82.5°</td><td>86.4°</td><td>-9.4°</td><td>80.5°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>13:00</td><td>(13:38)</td><td>-82.2°</td><td>73.8°</td><td>-8.2°</td><td>72.2°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>13:30</td><td>(13:38)</td><td>-82.4°</td><td>65.5°</td><td>-9.4°</td><td>65.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>14:00</td><td>(14:38)</td><td>-82.3°</td><td>56.1°</td><td>-9.0°</td><td>58.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>14:30</td><td>(14:38)</td><td>-82.3°</td><td>50.1°</td><td>-10.3°</td><td>51.1°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>15:00</td><td>(15:38)</td><td>-83.8°</td><td>43.3°</td><td>-10.8°</td><td>43.8°</td><td>89%</td></tr> <tr><td>15:30</td><td>(15:38)</td><td>-84.4°</td><td>35.9°</td><td>-11.4°</td><td>35.8°</td><td>71%</td></tr> <tr><td>16:00</td><td>(16:38)</td><td>-85.0°</td><td>28.5°</td><td>-12.0°</td><td>28.0°</td><td>56%</td></tr> <tr><td>16:30</td><td>(16:38)</td><td>-85.7°</td><td>21.1°</td><td>-12.7°</td><td>21.5°</td><td>40%</td></tr> <tr><td>17:00</td><td>(17:38)</td><td>-86.5°</td><td>13.7°</td><td>-13.5°</td><td>14.0°</td><td>25%</td></tr> <tr><td>17:30</td><td>(17:38)</td><td>-87.4°</td><td>6.3°</td><td>-14.4°</td><td>6.0°</td><td>16%</td></tr> </tbody> </table>	Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading	06:00	(06:38)	77.7°	3.3°	-179.3°	176.7°	Blocked	06:30	(06:38)	81.8°	10.8°	-178.9°	180.8°	Blocked	07:00	(07:38)	98.0°	18.0°	-178.0°	182.0°	Blocked	07:30	(07:38)	92.2°	25.4°	-177.2°	184.8°	Blocked	08:00	(08:38)	84.8°	32.4°	-177.8°	147.2°	Blocked	08:30	(08:38)	81.0°	40.2°	-177.0°	138.0°	Blocked	09:00	(09:38)	81.5°	47.2°	-176.5°	132.2°	Blocked	09:30	(09:38)	81.0°	55.1°	-176.0°	124.8°	Blocked	10:00	(10:38)	82.5°	62.5°	-175.0°	117.4°	Blocked	10:30	(10:38)	82.3°	69.8°	-175.3°	110.0°	Blocked	11:00	(11:38)	82.3°	77.3°	-175.3°	102.6°	Blocked	11:30	(11:38)	81.7°	84.8°	-175.7°	95.2°	Blocked	12:00	(12:38)	-81.1°	87.3°	-151.1°	87.2°	100%	12:30	(12:38)	-82.5°	86.4°	-9.4°	80.5°	100%	13:00	(13:38)	-82.2°	73.8°	-8.2°	72.2°	100%	13:30	(13:38)	-82.4°	65.5°	-9.4°	65.0°	100%	14:00	(14:38)	-82.3°	56.1°	-9.0°	58.0°	100%	14:30	(14:38)	-82.3°	50.1°	-10.3°	51.1°	100%	15:00	(15:38)	-83.8°	43.3°	-10.8°	43.8°	89%	15:30	(15:38)	-84.4°	35.9°	-11.4°	35.8°	71%	16:00	(16:38)	-85.0°	28.5°	-12.0°	28.0°	56%	16:30	(16:38)	-85.7°	21.1°	-12.7°	21.5°	40%	17:00	(17:38)	-86.5°	13.7°	-13.5°	14.0°	25%	17:30	(17:38)	-87.4°	6.3°	-14.4°	6.0°	16%	
Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading																																																																																																																																																																											
06:00	(06:38)	77.7°	3.3°	-179.3°	176.7°	Blocked																																																																																																																																																																											
06:30	(06:38)	81.8°	10.8°	-178.9°	180.8°	Blocked																																																																																																																																																																											
07:00	(07:38)	98.0°	18.0°	-178.0°	182.0°	Blocked																																																																																																																																																																											
07:30	(07:38)	92.2°	25.4°	-177.2°	184.8°	Blocked																																																																																																																																																																											
08:00	(08:38)	84.8°	32.4°	-177.8°	147.2°	Blocked																																																																																																																																																																											
08:30	(08:38)	81.0°	40.2°	-177.0°	138.0°	Blocked																																																																																																																																																																											
09:00	(09:38)	81.5°	47.2°	-176.5°	132.2°	Blocked																																																																																																																																																																											
09:30	(09:38)	81.0°	55.1°	-176.0°	124.8°	Blocked																																																																																																																																																																											
10:00	(10:38)	82.5°	62.5°	-175.0°	117.4°	Blocked																																																																																																																																																																											
10:30	(10:38)	82.3°	69.8°	-175.3°	110.0°	Blocked																																																																																																																																																																											
11:00	(11:38)	82.3°	77.3°	-175.3°	102.6°	Blocked																																																																																																																																																																											
11:30	(11:38)	81.7°	84.8°	-175.7°	95.2°	Blocked																																																																																																																																																																											
12:00	(12:38)	-81.1°	87.3°	-151.1°	87.2°	100%																																																																																																																																																																											
12:30	(12:38)	-82.5°	86.4°	-9.4°	80.5°	100%																																																																																																																																																																											
13:00	(13:38)	-82.2°	73.8°	-8.2°	72.2°	100%																																																																																																																																																																											
13:30	(13:38)	-82.4°	65.5°	-9.4°	65.0°	100%																																																																																																																																																																											
14:00	(14:38)	-82.3°	56.1°	-9.0°	58.0°	100%																																																																																																																																																																											
14:30	(14:38)	-82.3°	50.1°	-10.3°	51.1°	100%																																																																																																																																																																											
15:00	(15:38)	-83.8°	43.3°	-10.8°	43.8°	89%																																																																																																																																																																											
15:30	(15:38)	-84.4°	35.9°	-11.4°	35.8°	71%																																																																																																																																																																											
16:00	(16:38)	-85.0°	28.5°	-12.0°	28.0°	56%																																																																																																																																																																											
16:30	(16:38)	-85.7°	21.1°	-12.7°	21.5°	40%																																																																																																																																																																											
17:00	(17:38)	-86.5°	13.7°	-13.5°	14.0°	25%																																																																																																																																																																											
17:30	(17:38)	-87.4°	6.3°	-14.4°	6.0°	16%																																																																																																																																																																											

Sumber : Penulis, 2022

Pada sisi utara bangunan dilakukan simulasi pada tanggal 1 Juli pukul 11.30 WIB sebab pada tanggal dan waktu tersebut posisi matahari berada di sisi paling utara dan waktu tengah hari sesungguhnya yang termasuk sebagai jam kritis. Didapatkan hasil lebar *shading devices* horizontal 75cm dan *shading devices* vertikal 50cm.

Tabel 4 Uji Sun Tool pada sisi utara

Denah Pengujian	Tabel Uji Sun Tool	Gambar Render Shading																																																																																																																																																																								
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Tabulated Daily Solar Data</p> <p>Latitude: 7.2° Longitude: 113.3° Timezone: 102.0° (7 hrs) Orientation: 74.0°</p> </div> <div> <p>Date: 1st July Julian Date: 182 Sunrise: 05:55 Sunset: 17:09</p> </div> <div> <p>Time: 11:30 Date: 1st July Percentage Shading: 100%</p> </div> </div> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Local</th> <th>(Solar)</th> <th>Azimuth</th> <th>Altitude</th> <th>HSA</th> <th>VSA</th> <th>Shading</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>06:00</td><td>(06:17)</td><td>66.5°</td><td>0.9°</td><td>59.5°</td><td>1.9°</td><td>63%</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>(06:47)</td><td>65.2°</td><td>7.7°</td><td>58.2°</td><td>14.4°</td><td>68%</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>(07:17)</td><td>63.8°</td><td>14.4°</td><td>56.8°</td><td>26.9°</td><td>73%</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>(07:47)</td><td>61.4°</td><td>21.0°</td><td>54.4°</td><td>33.4°</td><td>75%</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>(08:17)</td><td>58.7°</td><td>27.4°</td><td>51.7°</td><td>40.0°</td><td>80%</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>(08:47)</td><td>55.3°</td><td>33.7°</td><td>48.3°</td><td>45.1°</td><td>86%</td></tr> <tr><td>09:00</td><td>(09:17)</td><td>51.0°</td><td>38.0°</td><td>44.0°</td><td>49.0°</td><td>91%</td></tr> <tr><td>09:30</td><td>(09:47)</td><td>45.4°</td><td>42.2°</td><td>38.4°</td><td>52.1°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>10:00</td><td>(10:17)</td><td>38.4°</td><td>50.2°</td><td>31.5°</td><td>54.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>10:30</td><td>(10:47)</td><td>29.3°</td><td>54.3°</td><td>22.3°</td><td>54.3°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>11:00</td><td>(11:17)</td><td>18.3°</td><td>57.3°</td><td>11.3°</td><td>57.8°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>11:30</td><td>(11:47)</td><td>5.5°</td><td>58.9°</td><td>-1.5°</td><td>58.9°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>12:00</td><td>(12:17)</td><td>-7.8°</td><td>58.7°</td><td>-14.8°</td><td>58.9°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>12:30</td><td>(12:47)</td><td>-20.3°</td><td>56.9°</td><td>-29.3°</td><td>58.9°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>13:00</td><td>(13:17)</td><td>-31.0°</td><td>53.7°</td><td>-38.0°</td><td>58.9°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>13:30</td><td>(13:47)</td><td>-39.7°</td><td>49.4°</td><td>-46.7°</td><td>58.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>14:00</td><td>(14:17)</td><td>-46.5°</td><td>44.3°</td><td>-53.5°</td><td>56.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>14:30</td><td>(14:47)</td><td>-51.8°</td><td>38.7°</td><td>-58.8°</td><td>52.1°</td><td>99%</td></tr> <tr><td>15:00</td><td>(15:17)</td><td>-56.0°</td><td>32.4°</td><td>-63.0°</td><td>47.7°</td><td>96%</td></tr> <tr><td>15:30</td><td>(15:47)</td><td>-59.2°</td><td>25.4°</td><td>-66.2°</td><td>43.8°</td><td>91%</td></tr> <tr><td>16:00</td><td>(16:17)</td><td>-61.8°</td><td>18.9°</td><td>-68.8°</td><td>40.1°</td><td>82%</td></tr> <tr><td>16:30</td><td>(16:47)</td><td>-63.9°</td><td>13.3°</td><td>-70.9°</td><td>35.8°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>17:00</td><td>(17:17)</td><td>-65.4°</td><td>8.6°</td><td>-72.4°</td><td>30.9°</td><td>100%</td></tr> </tbody> </table>	Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading	06:00	(06:17)	66.5°	0.9°	59.5°	1.9°	63%	06:30	(06:47)	65.2°	7.7°	58.2°	14.4°	68%	07:00	(07:17)	63.8°	14.4°	56.8°	26.9°	73%	07:30	(07:47)	61.4°	21.0°	54.4°	33.4°	75%	08:00	(08:17)	58.7°	27.4°	51.7°	40.0°	80%	08:30	(08:47)	55.3°	33.7°	48.3°	45.1°	86%	09:00	(09:17)	51.0°	38.0°	44.0°	49.0°	91%	09:30	(09:47)	45.4°	42.2°	38.4°	52.1°	100%	10:00	(10:17)	38.4°	50.2°	31.5°	54.0°	100%	10:30	(10:47)	29.3°	54.3°	22.3°	54.3°	100%	11:00	(11:17)	18.3°	57.3°	11.3°	57.8°	100%	11:30	(11:47)	5.5°	58.9°	-1.5°	58.9°	100%	12:00	(12:17)	-7.8°	58.7°	-14.8°	58.9°	100%	12:30	(12:47)	-20.3°	56.9°	-29.3°	58.9°	100%	13:00	(13:17)	-31.0°	53.7°	-38.0°	58.9°	100%	13:30	(13:47)	-39.7°	49.4°	-46.7°	58.0°	100%	14:00	(14:17)	-46.5°	44.3°	-53.5°	56.0°	100%	14:30	(14:47)	-51.8°	38.7°	-58.8°	52.1°	99%	15:00	(15:17)	-56.0°	32.4°	-63.0°	47.7°	96%	15:30	(15:47)	-59.2°	25.4°	-66.2°	43.8°	91%	16:00	(16:17)	-61.8°	18.9°	-68.8°	40.1°	82%	16:30	(16:47)	-63.9°	13.3°	-70.9°	35.8°	100%	17:00	(17:17)	-65.4°	8.6°	-72.4°	30.9°	100%	
Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading																																																																																																																																																																				
06:00	(06:17)	66.5°	0.9°	59.5°	1.9°	63%																																																																																																																																																																				
06:30	(06:47)	65.2°	7.7°	58.2°	14.4°	68%																																																																																																																																																																				
07:00	(07:17)	63.8°	14.4°	56.8°	26.9°	73%																																																																																																																																																																				
07:30	(07:47)	61.4°	21.0°	54.4°	33.4°	75%																																																																																																																																																																				
08:00	(08:17)	58.7°	27.4°	51.7°	40.0°	80%																																																																																																																																																																				
08:30	(08:47)	55.3°	33.7°	48.3°	45.1°	86%																																																																																																																																																																				
09:00	(09:17)	51.0°	38.0°	44.0°	49.0°	91%																																																																																																																																																																				
09:30	(09:47)	45.4°	42.2°	38.4°	52.1°	100%																																																																																																																																																																				
10:00	(10:17)	38.4°	50.2°	31.5°	54.0°	100%																																																																																																																																																																				
10:30	(10:47)	29.3°	54.3°	22.3°	54.3°	100%																																																																																																																																																																				
11:00	(11:17)	18.3°	57.3°	11.3°	57.8°	100%																																																																																																																																																																				
11:30	(11:47)	5.5°	58.9°	-1.5°	58.9°	100%																																																																																																																																																																				
12:00	(12:17)	-7.8°	58.7°	-14.8°	58.9°	100%																																																																																																																																																																				
12:30	(12:47)	-20.3°	56.9°	-29.3°	58.9°	100%																																																																																																																																																																				
13:00	(13:17)	-31.0°	53.7°	-38.0°	58.9°	100%																																																																																																																																																																				
13:30	(13:47)	-39.7°	49.4°	-46.7°	58.0°	100%																																																																																																																																																																				
14:00	(14:17)	-46.5°	44.3°	-53.5°	56.0°	100%																																																																																																																																																																				
14:30	(14:47)	-51.8°	38.7°	-58.8°	52.1°	99%																																																																																																																																																																				
15:00	(15:17)	-56.0°	32.4°	-63.0°	47.7°	96%																																																																																																																																																																				
15:30	(15:47)	-59.2°	25.4°	-66.2°	43.8°	91%																																																																																																																																																																				
16:00	(16:17)	-61.8°	18.9°	-68.8°	40.1°	82%																																																																																																																																																																				
16:30	(16:47)	-63.9°	13.3°	-70.9°	35.8°	100%																																																																																																																																																																				
17:00	(17:17)	-65.4°	8.6°	-72.4°	30.9°	100%																																																																																																																																																																				

Sumber : Penulis, 2022

Pada sisi timur bangunan dilakukan simulasi pada tanggal 1 Maret pukul 09.00 WIB sebab pada tanggal dan waktu tersebut posisi matahari berada di sisi paling timur. Didapatkan hasil lebar *shading devices* horizontal 65cm dan *shading devices* vertikal 50cm.

Tabel 5 Uji Sun Tool pada sisi timur

Denah Pengujian	Tabel Uji Sun Tool	Gambar Render Shading																																																																																																																																																																															
	<p>Time: 09:00 Date: 1st March Percentage Shading: 100%</p> <p>Tabulated Daily Solar Data</p> <p>Latitude: -7.8° Longitude: 110.3° Timezone: 102.0 (+7 hrs) Orientation: 97.0°</p> <p>Date: 1st March Julian Date: 60 Sunrise: 05:46 Sunset: 17:55</p> <p>Local Correction: 8.8 mins Equation of Time: -12.4 mins Declination: -4.1°</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Local</th> <th>(Solar)</th> <th>Azimuth</th> <th>Altitude</th> <th>HSA</th> <th>VSA</th> <th>Shading</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>06:00</td><td>(06:08)</td><td>97.7°</td><td>3.3°</td><td>0.7°</td><td>3.3°</td><td>4%</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>(06:38)</td><td>98.8°</td><td>10.0°</td><td>-2.0°</td><td>10.0°</td><td>17%</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>(07:08)</td><td>96.0°</td><td>18.0°</td><td>-1.0°</td><td>18.0°</td><td>27%</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>(07:38)</td><td>92.3°</td><td>25.4°</td><td>-1.7°</td><td>25.4°</td><td>44%</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>(08:08)</td><td>94.0°</td><td>32.8°</td><td>-2.4°</td><td>32.8°</td><td>58%</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>(08:38)</td><td>94.0°</td><td>40.2°</td><td>-3.0°</td><td>40.2°</td><td>86%</td></tr> <tr><td>09:00</td><td>(09:08)</td><td>93.2°</td><td>47.9°</td><td>-3.5°</td><td>47.9°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>09:30</td><td>(09:38)</td><td>93.0°</td><td>55.1°</td><td>-4.0°</td><td>55.1°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>10:00</td><td>(10:08)</td><td>92.8°</td><td>62.5°</td><td>-4.4°</td><td>62.5°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>10:30</td><td>(10:38)</td><td>92.3°</td><td>69.9°</td><td>-4.7°</td><td>70.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>11:00</td><td>(11:08)</td><td>92.3°</td><td>77.3°</td><td>-4.7°</td><td>77.4°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>11:30</td><td>(11:38)</td><td>93.7°</td><td>84.8°</td><td>-5.2°</td><td>84.8°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>12:00</td><td>(12:08)</td><td>-68.1°</td><td>87.8°</td><td>164.9°</td><td>82.1°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>12:30</td><td>(12:38)</td><td>-122.5°</td><td>89.2°</td><td>170.5°</td><td>81.5°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>13:00</td><td>(13:08)</td><td>-82.2°</td><td>73.0°</td><td>170.8°</td><td>106.6°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>13:30</td><td>(13:38)</td><td>-82.4°</td><td>65.5°</td><td>170.8°</td><td>114.2°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>14:00</td><td>(14:08)</td><td>-82.9°</td><td>58.1°</td><td>170.9°</td><td>121.9°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>14:30</td><td>(14:38)</td><td>-83.3°</td><td>50.7°</td><td>169.7°</td><td>129.9°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>15:00</td><td>(15:08)</td><td>-83.8°</td><td>43.3°</td><td>169.2°</td><td>138.2°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>15:30</td><td>(15:38)</td><td>-84.4°</td><td>35.9°</td><td>168.6°</td><td>143.4°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>16:00</td><td>(16:08)</td><td>-85.0°</td><td>28.5°</td><td>168.0°</td><td>151.0°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>16:30</td><td>(16:38)</td><td>-85.7°</td><td>21.1°</td><td>167.3°</td><td>158.9°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>17:00</td><td>(17:08)</td><td>-86.5°</td><td>13.7°</td><td>166.5°</td><td>166.0°</td><td>(Behind)</td></tr> <tr><td>17:30</td><td>(17:38)</td><td>-87.4°</td><td>6.3°</td><td>165.8°</td><td>173.5°</td><td>(Behind)</td></tr> </tbody> </table>	Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading	06:00	(06:08)	97.7°	3.3°	0.7°	3.3°	4%	06:30	(06:38)	98.8°	10.0°	-2.0°	10.0°	17%	07:00	(07:08)	96.0°	18.0°	-1.0°	18.0°	27%	07:30	(07:38)	92.3°	25.4°	-1.7°	25.4°	44%	08:00	(08:08)	94.0°	32.8°	-2.4°	32.8°	58%	08:30	(08:38)	94.0°	40.2°	-3.0°	40.2°	86%	09:00	(09:08)	93.2°	47.9°	-3.5°	47.9°	100%	09:30	(09:38)	93.0°	55.1°	-4.0°	55.1°	100%	10:00	(10:08)	92.8°	62.5°	-4.4°	62.5°	100%	10:30	(10:38)	92.3°	69.9°	-4.7°	70.0°	100%	11:00	(11:08)	92.3°	77.3°	-4.7°	77.4°	100%	11:30	(11:38)	93.7°	84.8°	-5.2°	84.8°	100%	12:00	(12:08)	-68.1°	87.8°	164.9°	82.1°	(Behind)	12:30	(12:38)	-122.5°	89.2°	170.5°	81.5°	(Behind)	13:00	(13:08)	-82.2°	73.0°	170.8°	106.6°	(Behind)	13:30	(13:38)	-82.4°	65.5°	170.8°	114.2°	(Behind)	14:00	(14:08)	-82.9°	58.1°	170.9°	121.9°	(Behind)	14:30	(14:38)	-83.3°	50.7°	169.7°	129.9°	(Behind)	15:00	(15:08)	-83.8°	43.3°	169.2°	138.2°	(Behind)	15:30	(15:38)	-84.4°	35.9°	168.6°	143.4°	(Behind)	16:00	(16:08)	-85.0°	28.5°	168.0°	151.0°	(Behind)	16:30	(16:38)	-85.7°	21.1°	167.3°	158.9°	(Behind)	17:00	(17:08)	-86.5°	13.7°	166.5°	166.0°	(Behind)	17:30	(17:38)	-87.4°	6.3°	165.8°	173.5°	(Behind)	
Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading																																																																																																																																																																											
06:00	(06:08)	97.7°	3.3°	0.7°	3.3°	4%																																																																																																																																																																											
06:30	(06:38)	98.8°	10.0°	-2.0°	10.0°	17%																																																																																																																																																																											
07:00	(07:08)	96.0°	18.0°	-1.0°	18.0°	27%																																																																																																																																																																											
07:30	(07:38)	92.3°	25.4°	-1.7°	25.4°	44%																																																																																																																																																																											
08:00	(08:08)	94.0°	32.8°	-2.4°	32.8°	58%																																																																																																																																																																											
08:30	(08:38)	94.0°	40.2°	-3.0°	40.2°	86%																																																																																																																																																																											
09:00	(09:08)	93.2°	47.9°	-3.5°	47.9°	100%																																																																																																																																																																											
09:30	(09:38)	93.0°	55.1°	-4.0°	55.1°	100%																																																																																																																																																																											
10:00	(10:08)	92.8°	62.5°	-4.4°	62.5°	100%																																																																																																																																																																											
10:30	(10:38)	92.3°	69.9°	-4.7°	70.0°	100%																																																																																																																																																																											
11:00	(11:08)	92.3°	77.3°	-4.7°	77.4°	100%																																																																																																																																																																											
11:30	(11:38)	93.7°	84.8°	-5.2°	84.8°	100%																																																																																																																																																																											
12:00	(12:08)	-68.1°	87.8°	164.9°	82.1°	(Behind)																																																																																																																																																																											
12:30	(12:38)	-122.5°	89.2°	170.5°	81.5°	(Behind)																																																																																																																																																																											
13:00	(13:08)	-82.2°	73.0°	170.8°	106.6°	(Behind)																																																																																																																																																																											
13:30	(13:38)	-82.4°	65.5°	170.8°	114.2°	(Behind)																																																																																																																																																																											
14:00	(14:08)	-82.9°	58.1°	170.9°	121.9°	(Behind)																																																																																																																																																																											
14:30	(14:38)	-83.3°	50.7°	169.7°	129.9°	(Behind)																																																																																																																																																																											
15:00	(15:08)	-83.8°	43.3°	169.2°	138.2°	(Behind)																																																																																																																																																																											
15:30	(15:38)	-84.4°	35.9°	168.6°	143.4°	(Behind)																																																																																																																																																																											
16:00	(16:08)	-85.0°	28.5°	168.0°	151.0°	(Behind)																																																																																																																																																																											
16:30	(16:38)	-85.7°	21.1°	167.3°	158.9°	(Behind)																																																																																																																																																																											
17:00	(17:08)	-86.5°	13.7°	166.5°	166.0°	(Behind)																																																																																																																																																																											
17:30	(17:38)	-87.4°	6.3°	165.8°	173.5°	(Behind)																																																																																																																																																																											

Sumber : Penulis, 2022

Pada sisi selatan bangunan dilakukan simulasi pada tanggal 1 Januari pukul 13.45 WIB sebab pada tanggal dan waktu tersebut posisi matahari berada di sisi paling selatan dan matahari sudah memasuki jam kritis. Didapatkan hasil lebar *shading devices* horizontal 65cm dan *shading devices* vertikal 50cm.

Tabel 6 Uji Sun Tool pada sisi selatan

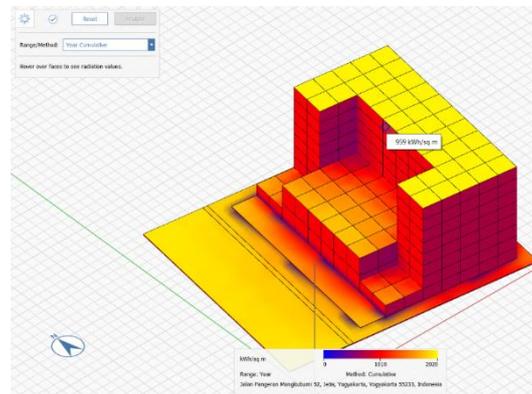
Denah Pengujian	Tabel Uji Sun Tool	Gambar Render Shading																																																																																																																																																																																						
	<p>Time: 13:45 Date: 1st January Percentage Shading: 100%</p> <p>Tabulated Daily Solar Data</p> <p>Latitude: -7.8° Longitude: 110.3° Timezone: 102.0 (+7 hrs) Orientation: 187.0°</p> <p>Date: 1st January Julian Date: 05:28 Sunrise: 05:28 Sunset: 17:55</p> <p>Local Correction: 17.8 mins Equation of Time: -3.4 mins Declination: -23.0°</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Local</th> <th>(Solar)</th> <th>Azimuth</th> <th>Altitude</th> <th>HSA</th> <th>VSA</th> <th>Shading</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>05:30</td><td>(05:47)</td><td>113.3°</td><td>0.3°</td><td>-73.3°</td><td>1.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>06:00</td><td>(06:17)</td><td>112.5°</td><td>7.1°</td><td>-74.8°</td><td>25.1°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>06:30</td><td>(06:47)</td><td>112.0°</td><td>14.0°</td><td>-75.0°</td><td>43.9°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>07:00</td><td>(07:17)</td><td>111.9°</td><td>20.9°</td><td>-75.1°</td><td>61.6°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>07:30</td><td>(07:47)</td><td>112.1°</td><td>27.8°</td><td>-74.9°</td><td>63.7°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>08:00</td><td>(08:17)</td><td>112.8°</td><td>34.7°</td><td>-74.2°</td><td>68.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>08:30</td><td>(08:47)</td><td>114.1°</td><td>41.6°</td><td>-72.9°</td><td>71.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>09:00</td><td>(09:17)</td><td>116.2°</td><td>48.2°</td><td>-70.8°</td><td>73.8°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>09:30</td><td>(09:47)</td><td>119.0°</td><td>54.8°</td><td>-67.8°</td><td>76.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>10:00</td><td>(10:17)</td><td>124.9°</td><td>61.1°</td><td>-62.1°</td><td>76.5°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>10:30</td><td>(10:47)</td><td>133.0°</td><td>66.9°</td><td>-53.8°</td><td>75.7°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>11:00</td><td>(11:17)</td><td>147.8°</td><td>71.6°</td><td>-39.2°</td><td>75.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>11:30</td><td>(11:47)</td><td>160.5°</td><td>74.4°</td><td>-17.2°</td><td>75.1°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>12:00</td><td>(12:17)</td><td>-164.9°</td><td>74.1°</td><td>8.9°</td><td>75.2°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>12:30</td><td>(12:47)</td><td>-144.5°</td><td>70.8°</td><td>28.5°</td><td>73.0°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>13:00</td><td>(13:17)</td><td>-131.0°</td><td>65.9°</td><td>41.4°</td><td>71.4°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>13:30</td><td>(13:47)</td><td>-123.7°</td><td>59.9°</td><td>49.3°</td><td>69.3°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>14:00</td><td>(14:17)</td><td>-118.9°</td><td>53.0°</td><td>54.1°</td><td>66.8°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>14:30</td><td>(14:47)</td><td>-116.0°</td><td>47.0°</td><td>57.2°</td><td>63.2°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>15:00</td><td>(15:17)</td><td>-113.8°</td><td>40.2°</td><td>59.2°</td><td>58.8°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>15:30</td><td>(15:47)</td><td>-113.0°</td><td>33.4°</td><td>60.4°</td><td>53.1°</td><td>100%</td></tr> <tr><td>16:00</td><td>(16:17)</td><td>-112.0°</td><td>26.5°</td><td>61.0°</td><td>46.8°</td><td>99%</td></tr> <tr><td>16:30</td><td>(16:47)</td><td>-111.0°</td><td>19.6°</td><td>61.1°</td><td>39.4°</td><td>97%</td></tr> <tr><td>17:00</td><td>(17:17)</td><td>-112.1°</td><td>12.7°</td><td>60.9°</td><td>24.9°</td><td>83%</td></tr> <tr><td>17:30</td><td>(17:47)</td><td>-112.6°</td><td>5.6°</td><td>60.4°</td><td>11.7°</td><td>76%</td></tr> </tbody> </table>	Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading	05:30	(05:47)	113.3°	0.3°	-73.3°	1.0°	100%	06:00	(06:17)	112.5°	7.1°	-74.8°	25.1°	100%	06:30	(06:47)	112.0°	14.0°	-75.0°	43.9°	100%	07:00	(07:17)	111.9°	20.9°	-75.1°	61.6°	100%	07:30	(07:47)	112.1°	27.8°	-74.9°	63.7°	100%	08:00	(08:17)	112.8°	34.7°	-74.2°	68.0°	100%	08:30	(08:47)	114.1°	41.6°	-72.9°	71.0°	100%	09:00	(09:17)	116.2°	48.2°	-70.8°	73.8°	100%	09:30	(09:47)	119.0°	54.8°	-67.8°	76.0°	100%	10:00	(10:17)	124.9°	61.1°	-62.1°	76.5°	100%	10:30	(10:47)	133.0°	66.9°	-53.8°	75.7°	100%	11:00	(11:17)	147.8°	71.6°	-39.2°	75.0°	100%	11:30	(11:47)	160.5°	74.4°	-17.2°	75.1°	100%	12:00	(12:17)	-164.9°	74.1°	8.9°	75.2°	100%	12:30	(12:47)	-144.5°	70.8°	28.5°	73.0°	100%	13:00	(13:17)	-131.0°	65.9°	41.4°	71.4°	100%	13:30	(13:47)	-123.7°	59.9°	49.3°	69.3°	100%	14:00	(14:17)	-118.9°	53.0°	54.1°	66.8°	100%	14:30	(14:47)	-116.0°	47.0°	57.2°	63.2°	100%	15:00	(15:17)	-113.8°	40.2°	59.2°	58.8°	100%	15:30	(15:47)	-113.0°	33.4°	60.4°	53.1°	100%	16:00	(16:17)	-112.0°	26.5°	61.0°	46.8°	99%	16:30	(16:47)	-111.0°	19.6°	61.1°	39.4°	97%	17:00	(17:17)	-112.1°	12.7°	60.9°	24.9°	83%	17:30	(17:47)	-112.6°	5.6°	60.4°	11.7°	76%	
Local	(Solar)	Azimuth	Altitude	HSA	VSA	Shading																																																																																																																																																																																		
05:30	(05:47)	113.3°	0.3°	-73.3°	1.0°	100%																																																																																																																																																																																		
06:00	(06:17)	112.5°	7.1°	-74.8°	25.1°	100%																																																																																																																																																																																		
06:30	(06:47)	112.0°	14.0°	-75.0°	43.9°	100%																																																																																																																																																																																		
07:00	(07:17)	111.9°	20.9°	-75.1°	61.6°	100%																																																																																																																																																																																		
07:30	(07:47)	112.1°	27.8°	-74.9°	63.7°	100%																																																																																																																																																																																		
08:00	(08:17)	112.8°	34.7°	-74.2°	68.0°	100%																																																																																																																																																																																		
08:30	(08:47)	114.1°	41.6°	-72.9°	71.0°	100%																																																																																																																																																																																		
09:00	(09:17)	116.2°	48.2°	-70.8°	73.8°	100%																																																																																																																																																																																		
09:30	(09:47)	119.0°	54.8°	-67.8°	76.0°	100%																																																																																																																																																																																		
10:00	(10:17)	124.9°	61.1°	-62.1°	76.5°	100%																																																																																																																																																																																		
10:30	(10:47)	133.0°	66.9°	-53.8°	75.7°	100%																																																																																																																																																																																		
11:00	(11:17)	147.8°	71.6°	-39.2°	75.0°	100%																																																																																																																																																																																		
11:30	(11:47)	160.5°	74.4°	-17.2°	75.1°	100%																																																																																																																																																																																		
12:00	(12:17)	-164.9°	74.1°	8.9°	75.2°	100%																																																																																																																																																																																		
12:30	(12:47)	-144.5°	70.8°	28.5°	73.0°	100%																																																																																																																																																																																		
13:00	(13:17)	-131.0°	65.9°	41.4°	71.4°	100%																																																																																																																																																																																		
13:30	(13:47)	-123.7°	59.9°	49.3°	69.3°	100%																																																																																																																																																																																		
14:00	(14:17)	-118.9°	53.0°	54.1°	66.8°	100%																																																																																																																																																																																		
14:30	(14:47)	-116.0°	47.0°	57.2°	63.2°	100%																																																																																																																																																																																		
15:00	(15:17)	-113.8°	40.2°	59.2°	58.8°	100%																																																																																																																																																																																		
15:30	(15:47)	-113.0°	33.4°	60.4°	53.1°	100%																																																																																																																																																																																		
16:00	(16:17)	-112.0°	26.5°	61.0°	46.8°	99%																																																																																																																																																																																		
16:30	(16:47)	-111.0°	19.6°	61.1°	39.4°	97%																																																																																																																																																																																		
17:00	(17:17)	-112.1°	12.7°	60.9°	24.9°	83%																																																																																																																																																																																		
17:30	(17:47)	-112.6°	5.6°	60.4°	11.7°	76%																																																																																																																																																																																		

Sumber : Penulis, 2022

1. Penerapan intervensi panel *photovoltaic* pada desain

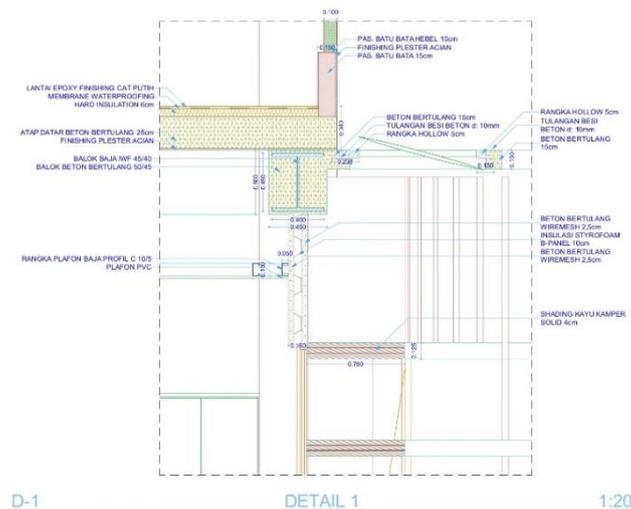
Menurut (Bahtiar et al., 2019) untuk wilayah tropis di Indonesia pemasangan panel *photovoltaic* yang efektif adalah pada bidang atap dan di sekitarnya tidak terdapat pohon atau bangunan yang menghalangi panel *photovoltaic*. Dengan standar kemiringan panel adalah 10°-15° dari posisi horizontal agar kinerja panel *photovoltaic* dapat optimal. Kemiringan tersebut juga merupakan cara agar air hujan tidak tergenang dan tetap mengalir di permukaan panel *photovoltaic*.

Intervensi panel *photovoltaic* pada desain diawali dengan menguji perolehan radiasi matahari di permukaan bentuk bangunan dengan bantuan aplikasi FormIt. Hasil pengujian menunjukkan perolehan radiasi matahari pada fasad sisi barat sebesar 959 Kwh/m².



Gambar 3 Uji radiasi matahari menggunakan FormIt
Sumber : Penulis, 2022

Dengan meletakkan panel *photovoltaic* pada elemen *shading devices* bangunan secara berderet maka penggunaan ruang atap dapat diperuntukkan khusus untuk sarana utilitas gedung hotel. Pengaturan letak panel *photovoltaic* diatur kembali sehingga limpasan air hujan dapat terus mengalir tanpa tergenang pada panel *photovoltaic* dan *shading devices*. Elemen *shading devices* yang dapat dipasangkan panel *photovoltaic* hanya pada lantai 3-8 dengan jarak tinggi *shading devices* 4m. Jarak tinggi tersebut adalah jarak yang sesuai untuk performa panel *photovoltaic* yang minim pembayangan. Karena pembayangan pada panel *photovoltaic* akan mempengaruhi perolehan radiasi matahari di permukaan panel *photovoltaic* yang akan berdampak pada berkurangnya perolehan energi listrik terbarukan.



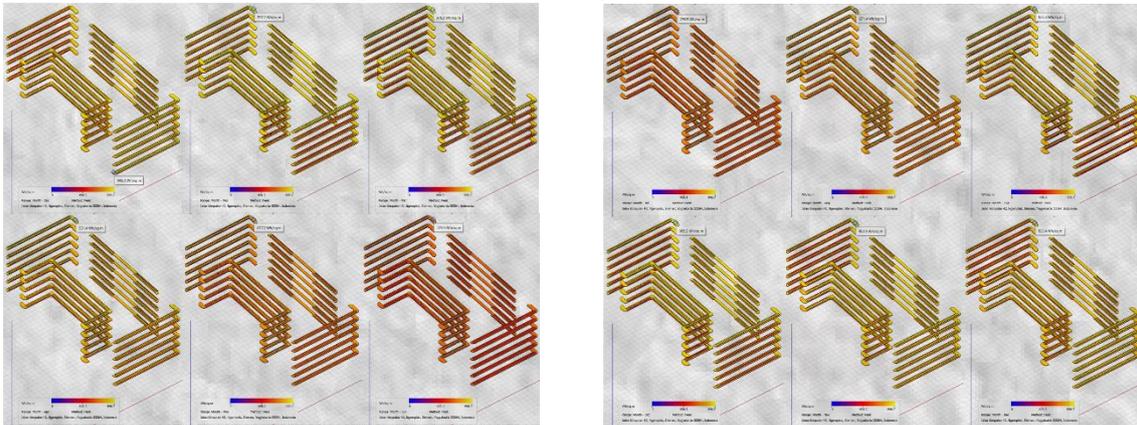
Gambar 4 Gambar detail pemasangan panel *photovoltaic*
Sumber : Penulis, 2022

Jumlah panel *photovoltaic* yang dapat terpasang pada perancangan hotel ini adalah sebanyak 1332 modul panel *photovoltaic* dengan ukuran modul 1,65m x 1m. Panel *photovoltaic* disebar di seluruh sisi bangunan untuk dapat menjangkau perolehan radiasi sepanjang tahun.



Gambar 5 Gambar render panel *photovoltaic*
Sumber : Penulis, 2022

Pengujian perolehan radiasi yang jatuh di permukaan panel *photovoltaic* dilakukan dengan bantuan aplikasi FormIt yang dilakukan di setiap bulan selama satu tahun.



Gambar 6 Hasil pengujian panel *photovoltaic* menggunakan FormIt
Sumber : Penulis, 2022

Perhitungan perolehan energi listrik terbarukan melalui panel *photovoltaic*: Jika perhitungan radiasi matahari $977,2 \text{ Watt/m}^2 = 100\%$ radiasi matahari dan pada kondisi riilnya di Indonesia hanya berkisar 80%, maka radiasi matahari $782,2 \text{ Watt/m}^2$. Nilai KwP maksimum pada spesifikasi panel *photovoltaic* sebesar 40KwP maka:

$$\begin{aligned} (1) &= 782,2 \text{ Watt/m}^2 \text{ diubah satuannya ke menjadi } 0,78\text{Kwh/m}^2 \\ &= 0,78\text{Kwh/m}^2 \times 40 \text{ KwP} \\ &= 31,2\text{Kwh} / \text{panel } \textit{photovoltaic} \text{ selama 1 jam} \end{aligned}$$

Kemudian apabila durasi penyinaran panel *photovoltaic* mendapatkan skenario terburuk sehingga durasi penyinaran hanya selama 3 jam, maka perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (2) &= (1) \times 3 \text{ jam} \\ &= 31,2\text{Kwh} \times 3 \text{ jam} \\ &= 156\text{Kwh}/\text{panel } \textit{photovoltaic} \end{aligned}$$

Kemudian dikalikan lagi dengan jumlah seluruh panel *photovoltaic* sebanyak 1332 panel.

$$\begin{aligned} (3) &= (2) \times 1332 \text{ panel } \textit{photovoltaic} \\ &= 156\text{Kwh} \times 1332 \text{ panel } \textit{photovoltaic} \\ &= 207.792\text{Kwh}/\text{hari} \end{aligned}$$

Perolehan listrik selama 1 bulan atau 30 hari

$$\begin{aligned}(4) &= (3) \times 30 \text{ hari} \\ &= 207.792 \text{Kwh/hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 6.233.760 \text{Kwh}\end{aligned}$$

Perolehan listrik selama 1 tahun atau 365 hari

$$\begin{aligned}(5) &= (3) \times 365 \text{ hari} \\ &= 124.675,2 \text{Kwh/hari} \times 365 \text{ hari} \\ &= 75.844.080 \text{Kwh}\end{aligned}$$

Melanjutkan perhitungan, jika standar IKE 300 Kwh/m² dikalikan dengan luas hotel sebesar 11.514 m² maka menghasilkan kebutuhan konsumsi energi listrik sebesar 3.454.200Kwh/tahun. Maka hanya membutuhkan sekitar 3,5% dari energi listrik terbarukan panel *photovoltaic*.

$$\begin{aligned}(6) &= (5) \times 3,5\% \\ &= 75.844.080 \text{Kwh} \times 3,5\% \\ &= 2.654.542,8 \text{Kwh}\end{aligned}$$

Selama satu bulan, panel *photovoltaic* mampu menghasilkan listrik sebesar 6.233.760Kwh dikalikan dengan 3,5% penggunaan listrik dari panel *photovoltaic*.

$$\begin{aligned}(7) &= (4) \times 3,5\% \\ &= 6.233.760 \text{Kwh} \times 3,5\% \\ &= 218.181,6 \text{Kwh}\end{aligned}$$

Sedangkan kebutuhan listrik hotel:

$$\begin{aligned}(8) &= 3.454.200 \text{Kwh} : 12 \text{ bulan} \\ &= 287.850 \text{Kwh}\end{aligned}$$

Lalu dihitung selisih kebutuhan listrik hotel dan perolehan energi listrik panel *photovoltaic*.

$$\begin{aligned}(9) &= (8) - (7) \\ &= 287.850 \text{Kwh} - 218.181,6 \text{Kwh} \\ &= 69.668,4 \text{Kwh}\end{aligned}$$

Kemudian mengacu pada kriteria tingkat efisien standar IKE maka perlu dihitung konsumsi energi dalam /m².

$$\begin{aligned}(10) &= (9) : \text{luas hotel} \\ &= 69.668,4 \text{Kwh} : 11.514 \text{ m}^2 \\ &= \mathbf{6,05 \text{ Kwh/m}^2}\end{aligned}$$

Tabel 7 Standar IKE Permen ESDM No.13 Tahun 2012

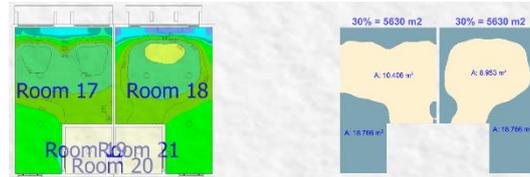
Kriteria	Ruang Ber-AC (kWh/m ² /bln)	Ruang tanpa AC (kWh/m ² /bln)
Sangat Efisien	4,17 s/d 7,92	0,84 s/d 1,67
Efisien	7,92 s/d 12,08	1,67 s/d 2,5
Cukup Efisien	12,08 s/d 14,58	-
Agak Boros	14,58 s/d 19,17	-
Boros	19,17 s/d 23,75	2,5 s/d 3,34
Sangat Boros	23,75 s/d 37,75	3,34 s/d 4,17

Sumber : Permen ESDM No.13 Tahun 2012

Berdasarkan tabel 7 tersebut dengan hasil $6,05 \text{ kWh/m}^2$ masuk ke dalam kriteria sangat efisien.

2. Perhitungan persentase pencahayaan alami dalam ruang

Pengujian ini dilakukan pada unit kamar dengan menggunakan bantuan aplikasi Dialux dan yang kemudian dilakukan *tracing* untuk menghitung perolehan persentase pencahayaan alami.



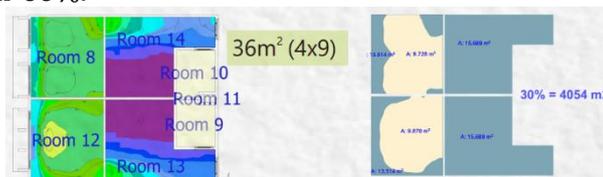
Gambar 7 Hasil uji *daylighting* unit kamar 24m^2 menggunakan Dialux
Sumber : Penulis, 2022

Uji pencahayaan alami pada unit kamar 24m^2 telah memenuhi 30% luas ruang atau sebesar $5,630\text{m}^2$ dengan pencapaian luas pencahayaan alami sebesar $8,953\text{m}^2$ dan $10,406\text{m}^2$. Di dalam unit kamar 24m^2 terdapat 3 titik lampu yang pada siang dapat mematikan 2 lampu sehingga terjadi penghematan sebesar 66%.



Gambar 8 Hasil uji *daylighting* unit kamar 28m^2 menggunakan Dialux
Sumber : Penulis, 2022

Uji pencahayaan alami pada unit kamar 28m^2 telah memenuhi 30% luas ruang atau sebesar $6,792\text{m}^2$ dengan pencapaian luas pencahayaan alami sebesar $8,639\text{m}^2$. Di dalam unit kamar 28m^2 terdapat 3 titik lampu yang pada siang hari dapat mematikan 2 lampu sehingga terjadi penghematan sebesar 66%.



Gambar 9 Hasil uji *daylighting* unit kamar 36m^2 menggunakan Dialux
Sumber : Penulis, 2022

Uji pencahayaan alami pada unit kamar 36m^2 telah memenuhi 30% luas ruang atau sebesar $4,054\text{m}^2$ dengan pencapaian luas pencahayaan alami sebesar $9,870\text{m}^2$. Di dalam unit kamar 36m^2 terdapat 4 titik lampu yang pada siang hari dapat mematikan 1 lampu sehingga terjadi penghematan sebesar 25%.



Gambar 10 Hasil uji *daylighting* unit kamar 56m^2 menggunakan Dialux
Sumber : Penulis, 2022

Uji pencahayaan alami pada unit kamar 56m² telah memenuhi 30% luas ruang atau sebesar 2,180m² dan 6,117m² dengan pencapaian luas pencahayaan alami sebesar 4,748m² dan 7,570m². Di dalam unit kamar 56m² terdapat 5 titik lampu yang pada siang hari dapat mematikan 3 lampu sehingga terjadi penghematan sebesar 60%.

KESIMPULAN

Dari seluruh pengujian di atas, tata letak panel *photovoltaic* dapat diorientasikan ke segala arah dengan syarat panel *photovoltaic* tidak terbayangi oleh benda apa pun di sekitarnya karena akan berdampak pada optimalisasi kinerja panel *photovoltaic*. Dengan meletakkan panel *photovoltaic* pada elemen *shading devices* bangunan dengan kemiringan 15° kinerja panel *photovoltaic* tetap baik yang dibuktikan dengan perolehan radiasi matahari yang jatuh di permukaan panel *photovoltaic* sebesar 977,2 Watt/m². Perolehan radiasi matahari tersebut ketika dihitung kembali mampu menghasilkan listrik sebesar 6.233.760Kwh selama satu bulan dan berhasil melampaui penggunaan listrik alternatif sebesar 0,5% dari standar GBCI. Konfigurasi antara *shading devices* dan panel *photovoltaic* yang tepat akan mempertahankan kemampuan bukaan untuk memasukkan cahaya matahari alami sebesar 30% dari NLA ruangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriyadi, S. D., Ery, D., Sc, D. M., & Sujatmiko, W. (n.d.). *PENGUKURAN RADIASI MATAHARI UNTUK PERHITUNGAN FAKTOR MATAHARI SOLAR RADIATION MEASUREMENT FOR CALCULATION SOLAR FACTOR*.
- Bahtiar, T. A., Sabaruddin, A., Yusniewati, Setiawan, A., Rahmawati, Y., Haqiqi, M. R., Widyahantari, R., Nurjannah, A., Hidayat, R., & Syaputra, R. (2019). *TEKNOLOGI ATAP SOLAR PVROOF*. <http://litbang.pu.go.id/puskim/>
- Berchmans, H., Bona, R., & Soebagio, R. (2015). *PANDUAN PRAKTIS PENGHEMATAN ENERGI DI HOTEL*. www.iced.or.id
- BPS Provinsi D.I. Yogyakarta. (n.d.-a). Retrieved January 5, 2023, from <https://yogyakarta.bps.go.id/indicator/12/133/2/proyeksi-jumlah-penduduk-menurut-kabupaten-kota-di-d-i-yogyakarta-.html>
- BPS Provinsi D.I. Yogyakarta. (n.d.-b). Retrieved January 5, 2023, from <https://yogyakarta.bps.go.id/pressrelease/2023/01/02/1286/perkembangan-pariwisata-d-i-yogyakarta--november-2022.html>
- Brilliant Nugroho, A., & Istriani, E. (2021). *PENGARUH DAYA TARIK WISATA, FASILITAS LAYANAN DAN LOKASI TERHADAP KEPUASAN WISATAWAN MALIOBORO YOGYAKARTA*.
- GREEN BUILDING COUNCIL INDONESIA GREEN BUILDING COUNCIL INDONESIA GREENSHIP untuk BANGUNAN BARU Versi 1.2 RINGKASAN KRITERIA DAN TOLOK UKUR*. (2013).
- Kaban, S. A., & Jafri, M. (2020). *OPTIMALISASI PENERIMAAN INTENSITAS CAHAYA MATAHARI PADA PERMUKAAN PANEL SURYA (SOLAR CELL) MENGGUNAKAN CERMIN* (Vol. 5, Issue 2).
- Mulyana, R. (2017). *PLT Bayu Sidrap (under construction) Dok. upcrenewables PLTS Atap di kediaman Bambang Sumaryo*.
- Nisa, A. F., & Haryanto, R. (2014). *kajian keberadaan wisata belanja malioboro terhadap pertumbuhan jasa akomodasi di jalan sosrowijayan dan jalan dagen*.

Rumah Hemat Energi : Solusi Mewujudkan Perumahan Berkelanjutan - Caritra. (n.d.). Retrieved January 5, 2023, from <https://www.caritra.org/2019/06/21/rumah-hemat-energi-solusi-mewujudkan-perumahan-berkelanjutan/>

Suminar, L., & Sari, P. A. (2021). Pola Penggunaan Ruang Terbuka Publik di Kawasan Wisata Malioboro Pada Masa Pandemi. In *Jurnal Ilmiah Pariwisata* (Vol. 26, Issue 1).