

EVALUASI DESAIN SELUBUNG BANGUNAN BIOMIMETIK DALAM MENGURANGI PANAS CAHAYA MATAHARI Studi Kasus: Teater Esplanade Singapura

Hassanal Mahendra¹, Baritoadi Buldan Rayaganda²

¹Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

¹Surel: 16512167@students.uui.ac.id

ABSTRAK: *Ketersediaan energi merupakan isu yang tidak dapat dihindari oleh seluruh negara di dunia. Bangunan memakan sebanyak kurang lebih 40% sumber energi di seluruh dunia (Paolo; Kassiani; Marco, 2014). Dan diperkirakan akan meningkat penggunaannya sebanyak 80% pada 2040 mendatang. Teknologi yang tepat dapat dimanfaatkan untuk mengurangi penggunaan energi dengan komputasi yang untuk meningkatkan efisiensi (Menezes et al., 2014). Dibangun pada tahun 1992, sebagai bangunan yang telah berhasil memberi pengaruh yang banyak Teater Esplanade di Singapura pada waktu proses perancangannya belum banyak berkembang software digital untuk menganalisis performa bangunan secara komprehensif. Penelitian ini melakukan simulasi terhadap model ulang bangunan semirip mungkin dengan bangunan Esplanade untuk dianalisis peran sirip pada selubungnya dalam mengurangi radiasi matahari sebagai parameter dalam penggunaan energi bangunan. Data disajikan secara kuantitatif dan grafis dengan membandingkan jumlah radiasi yang diterima bangunan ketika sirip diaplikasikan dan ketika tidak diaplikasikan.*

Kata kunci: performa bangunan, esplanade, biomimetik, radiasi matahari

PENDAHULUAN

Bangunan merupakan sektor yang menggunakan sumber energi paling tinggi. Berdasarkan dampaknya terhadap lingkungan, bangunan menggunakan 40% total konsumsi energi di dunia, dan menyumbang 30% emisi karbon dioksida (Paolo; Kassiani; Marco, 2014). Melihat perkembangan global yang sangat cepat dalam beberapa dekade ini, angka tersebut memiliki potensi yang sangat tinggi untuk meningkat. Sedangkan sebagian besar negara di dunia belum menggunakan sumber energi yang terbarukan. Sehingga lambat laun sumber energi tersebut terus berkurang dan bisa saja habis. Hal ini tentunya mendorong para arsitek untuk melakukan inovasi-inovasi agar bangunan dapat menggunakan energi se-efisien mungkin. Ini membuat pertimbangan terhadap efisiensi energi pun menjadi salah satu pertimbangan utama dalam merancang.

Perancangan arsitektur sejatinya merupakan suatu proses kreatif yang melibatkan ekspresi seni sekaligus juga mempertimbangkan aspek fungsi dan teknologi bangunan. Dalam hal ini seorang arsitek harus mampu menciptakan harmonisasi pada aspek-aspek tersebut agar suatu bangunan dapat menjadi estetis sekaligus juga nyaman untuk dialami penggunanya. Termasuk pada saat merancang bangunan yang secara visual geometri sangat estetis namun juga tetap hemat energi dalam operasionalnya. Memasuki era arsitektur post-modern, banyak berkembang pendekatan arsitektur yang sangat perhatian terhadap lingkungan seperti arsitektur biomimetik. Secara singkat, arsitektur biomimetik adalah pendekatan yang terinspirasi dari alam baik dari bentuk hingga bagaimana alam berproses (Hartono, Egam and Sembel, 2018). Ditambah semakin berkembangnya program/aplikasi komputer dan teknologi konstruksi yang memungkinkan arsitek untuk membuat bangunan yang lebih ekspresif secara geometri, pendekatan arsitektur biomimetik mulai sering diimplementasikan oleh para arsitek.

Melihat dari konsep dan gagasan buah lokal durian yang diangkat, bangunan teater Esplanade di Singapura merupakan bangunan dengan pendekatan arsitektur biomimetik yang dianggap sukses secara fungsinya sebagai teater berstandar internasional dan secara estetis juga sebagai bangunan ikonik di Singapura. Pada saat penelitian ini dilakukan,

bangunan ini telah beroperasi selama 17 tahun lebih. Dalam kurun waktu itu banyak pengaruh positif yang telah dikontribusikan kepada Singapura. Berdasarkan portal berita Channel News Asia, pada tahun 2016 teater ini mencatat angka fantastis pada jumlah pengunjung yaitu sebanyak 2 juta pengunjung. Juga telah sukses menjadi tempat penyelenggaraan beberapa acara internasional seperti 'Singapore International Festival of Arts' yang rutin diselenggarakan tiap tahunnya dan tentunya mengundang banyak pengunjung. Melihat keberhasilan tersebut dari segi arsitektural, bangunan ini memiliki potensi yang sangat tinggi untuk di evaluasi performa elemen selubungnya yang ikonik. Faktor yang sangat mempengaruhi penggunaan energi bangunan adalah cahaya matahari. Optimasi cahaya matahari yang optimal dapat menekan konsumsi energi bangunan hingga 27% (Wisnu dan Muji Indarwanto, 2017).

Berdasarkan situs resmi teater Esplanade 'esplanade.com' disebutkan bahwa bangunan ini dengan sengaja dirancang oleh firma lokal Singapura 'DP Architect' bersama Michael Wilford & Partners sebagai bangunan yang memiliki performa tinggi. Namun sejak desain final selesai tahun 1992, perkembangan teknologi perangkat lunak untuk simulasi terkait respon terhadap cahaya matahari belum se-mutakhir sekarang. Oleh karena itu, akan dilakukan simulasi terkait respon dari elemen-elemen selubung Esplanade dalam merespon cahaya matahari serta dampak langsungnya terhadap penggunaan energi bangunan. Seperti apa performa bangunan yang dinilai berhasil ini terkait penggunaan energi.

METODE PENELITIAN

a. Lokasi Obyek Penelitian

Obyek penelitian evaluasi desain selubung bangunan Biomimetik dalam merespon cahaya matahari terhadap penggunaan energi 'Teater Esplanade' berada di jalan utama Waterfront land di Marina Bay dekat mulut sungai Singapura.

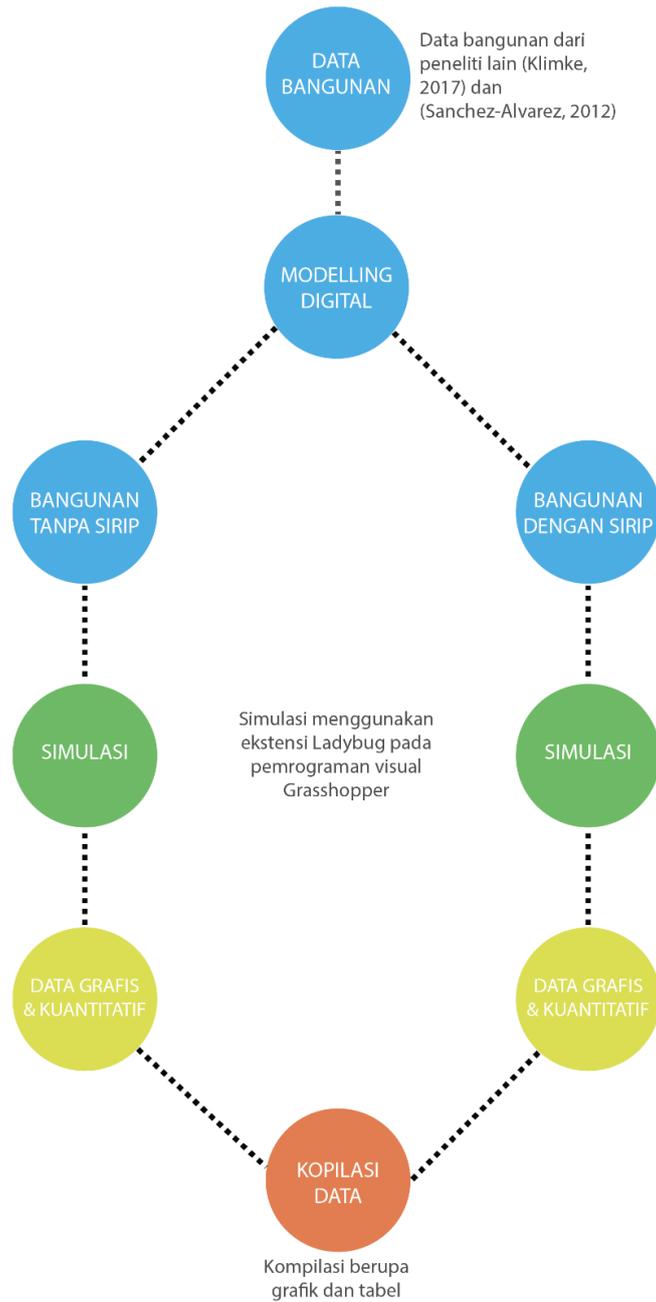


Gambar 1 Lokasi obyek penelitian (Teater Esplanade).

Sumber: Google Maps

b. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan pengumpulan data yang akan dianalisis menggunakan metode efisiensi energi bangunan modern menggunakan integrasi program pemodelan dan analisis bangunan (Collette, Corey and Johnson, 2004) dan dibantu juga metode analisis komprehensif menggunakan program ekstensi 'Ladybug' menggunakan rumus analisis bangunan untuk mengetahui jumlah paparan radiasi yang diterima bangunan (Roudsari and Pak, 2013).



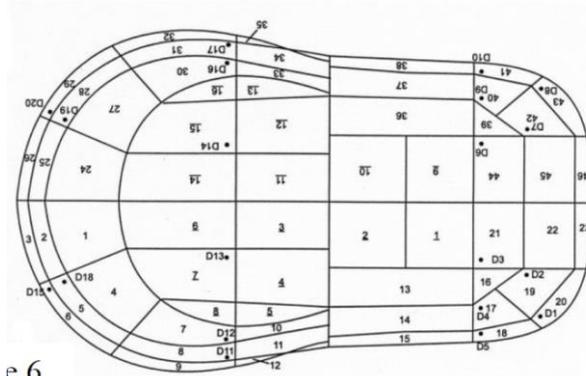
Gambar 2 Peta alur metodologi penelitian.
Sumber: Pribadi

c. Pengambilan Data

Penelitian dilakukan dengan pengumpulan data yang akan dianalisis menggunakan metode efisiensi energi bangunan modern menggunakan integrasi program pemodelan dan analisis bangunan (Collette, Corey and Johnson, 2004) dan dibantu juga metode analisis komprehensif menggunakan program ekstensi 'Ladybug' menggunakan rumus analisis bangunan (Roudsari and Pak, 2013).

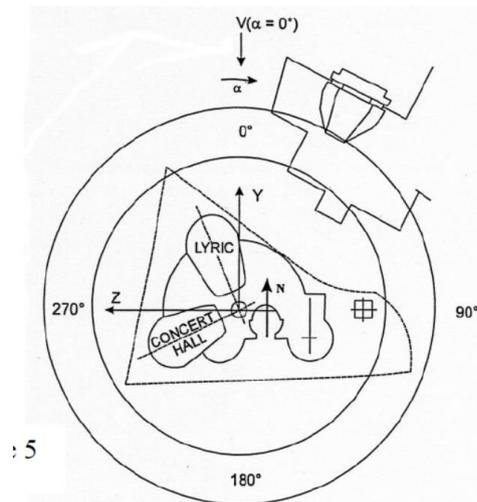
Proses pemodelan bangunan menggunakan data blueprint dari artikel yang diterbitkan (Klimke, 2017) dan (Sanchez-Alvarez, 2012). Data yang diambil sebagai berikut:

1. Blueprint denah gubahan 'Concert Hall' bangunnann Teater Esplanade.



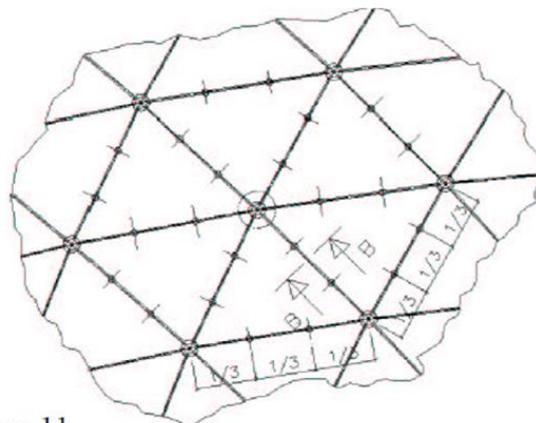
e 6
Gambar 3 Blueprit denah gubahan 'Concert Hall'.
Sumber: (Klimke, 2017)

2. Orientasi secara tepat massa bangunan terhadap mata angin.



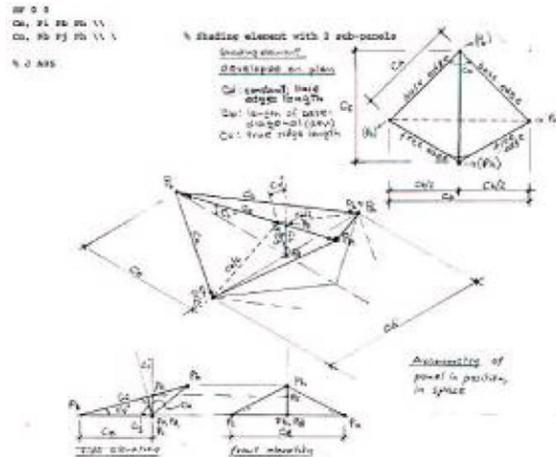
Gambar 4 Orientasi massa bangunan.
Sumber: (Klimke, 2017)

3. Pola panel kaca pada selubung gubahan concert hall.



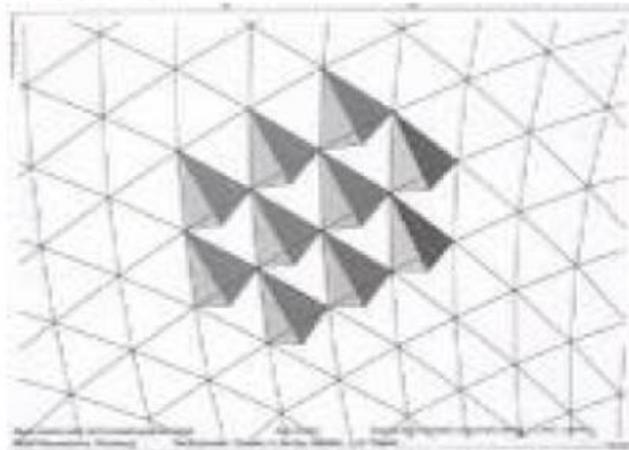
ire 11
Gambar 5 Pola panel kaca pada gubahan concert hall.
Sumber: (Klimke, 2017)

4. Geometri dasar sirip segitiga pada selubung bangunan.



Gambar 6 Geometri dasar sirip bangunan.
Sumber: (Sanchez-Alvarez, 2012)

5. Metode aplikasi sirip pada panel kaca.

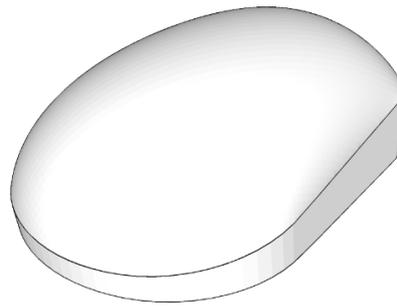


Gambar 7 Metode aplikasi sirip pada panel.
Sumber: (Sanchez-Alvarez, 2012)

Selanjutnya dilakukan pemodelan fasad bangunan Teater Esplanade pada perangkat lunak 'Rhinoceros' yang dibantu oleh ekstensi 'Grasshopper' untuk mencapai geometri bangunan yang sesuai. Pemodelan dilakukan dengan kondisi selubung bangunan yang teraplikasi sirip dan tanpa sirip.

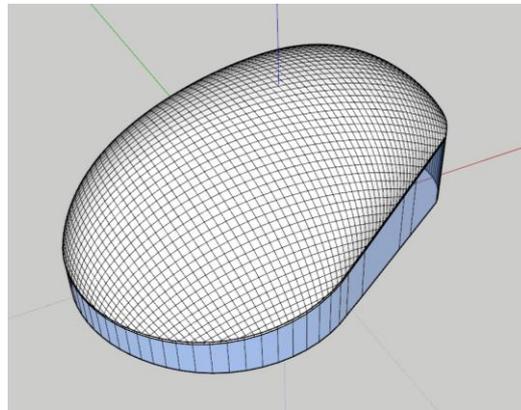
d. Model Bangunan

Model ulang bangunan menggunakan perangkat lunak komputer CAD (Computer Aided Design) dengan membentuk bentuk dasar gubahan ruang konser. Pembentukan model dilakukan dengan meniplak denah dasar dari sumber data yang dikumpulkan kemudian dibuat bentuk dasarnya dalam program 'Rhinoceros'.



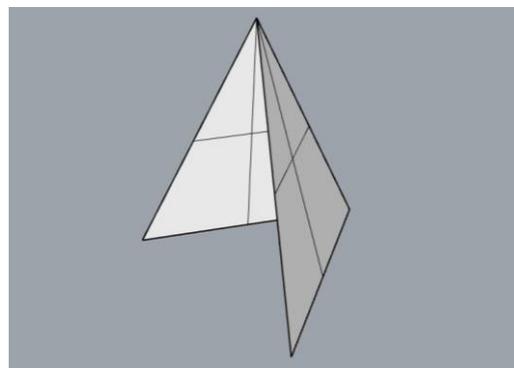
Gambar 8 Gubahan massa ruang konser Teater Esplanade.
Sumber: Pribadi

Untuk membentuk sirip bangunan, permukaan gubahan dipecah menjadi budang-bidang persegi yang tersusun berdasarkan grid yang teratur atau biasa disebut "Panelling". Grid ini menjadi tempat terpasangnya sirip yang menjadi ciri khas selubung bangunan ini.



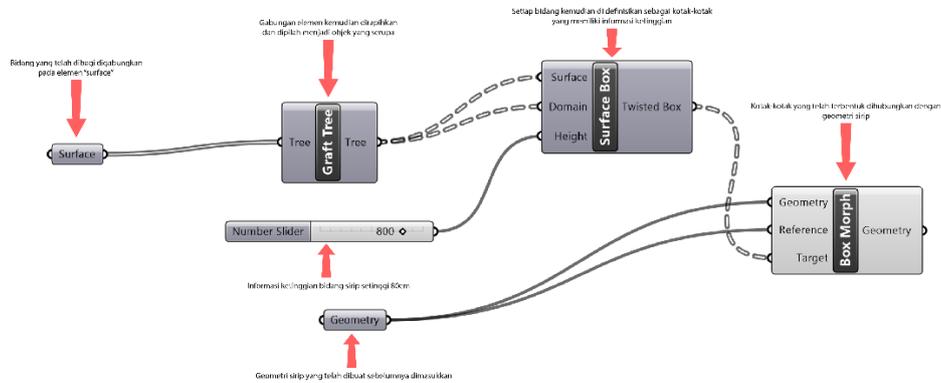
Gambar 9 Aplikasi pola pada bidang atas gubahan.
Sumber: Pribadi

Selanjutnya bentuk dasar sirip selubung yang terdiri dari dua buah segitiga yang ditempelkan. Dimensi dan bentuk detail sirip segitiga menyesuaikan dengan bentuk pola panel pada bidang atas bangunan.

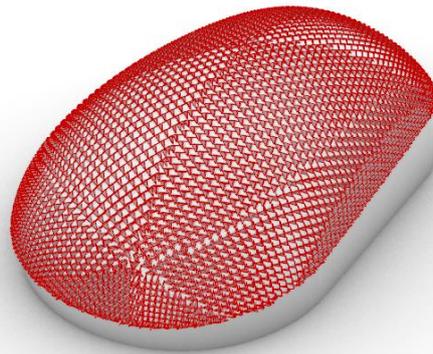


Gambar 10 Bentuk dasar sirip selubung.
Sumber: Pribadi

Bentuk dasar dari sirip kemudian diaplikasikan pada tiap panel dari bidang atas gubahan menggunakan rumus pada perangkat lunak 'Grasshopper' yang merupakan ekstensi dari Rhinoceros. Rumusnya cukup sederhana, dengan mengkoneksikan tiap seluruh panel yang telah dipilah pada bentuk dasar sirip kemudian ketinggian diatu setinggi 80cm.



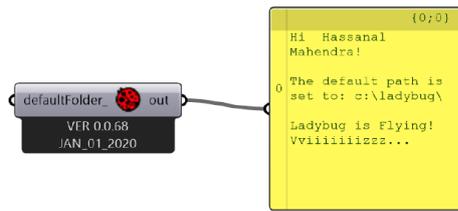
Gambar 11 Rumus aplikasi sirip pada panel bidang bangunan.
Sumber: Pribadi



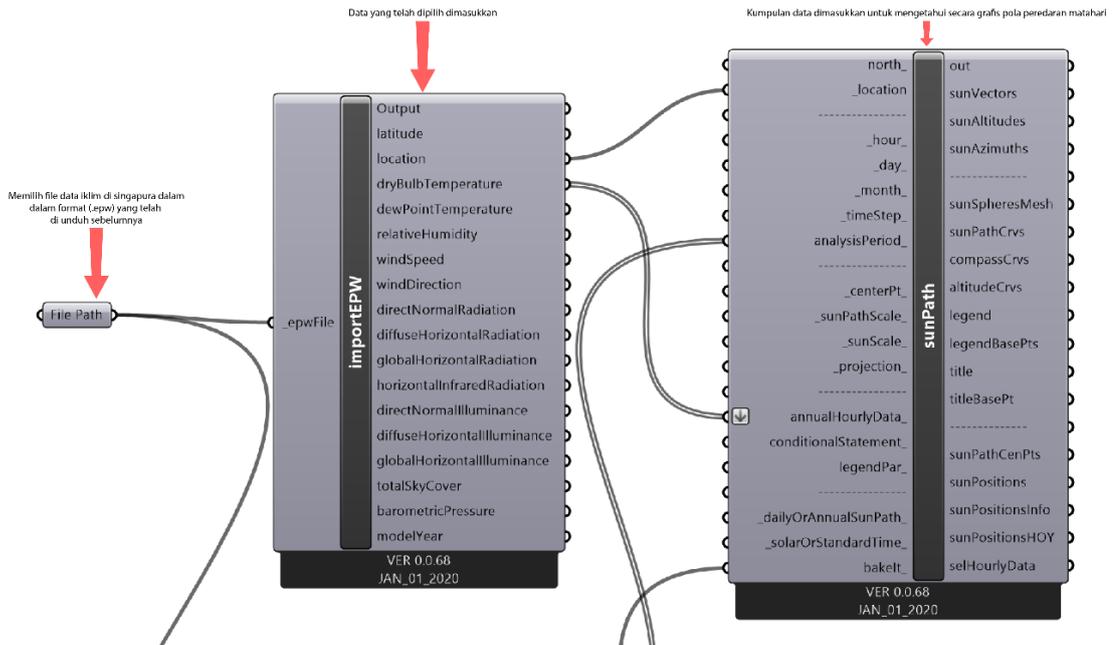
Gambar 12 Hasil final sirip yang telah teraplikasi pada bidang panel selubung bangunan.
Sumber: Pribadi

e. Simulasi Paparan Radiasi

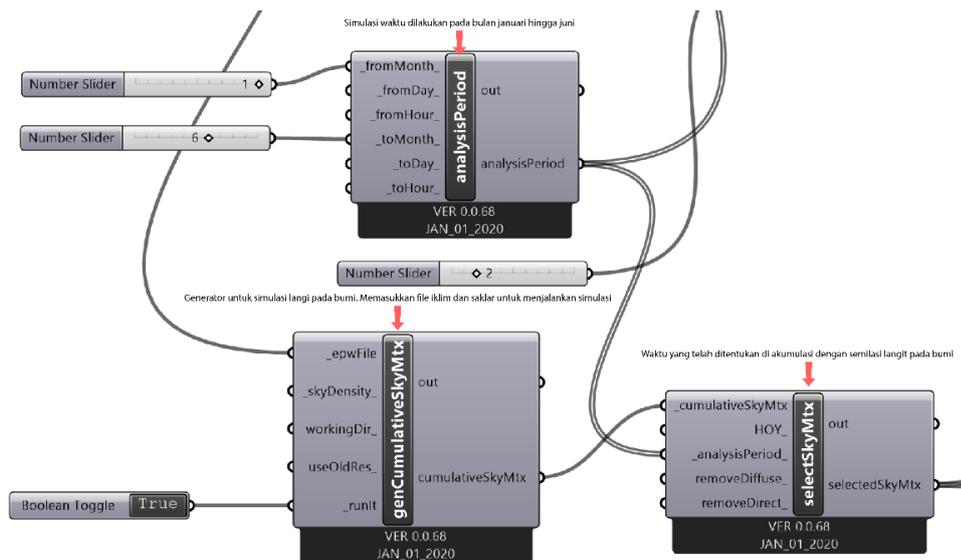
Hasil analisis dibuat menjadi dua bagian. Yaitu gubahan bangunan yang tidak dipasang sirip dan bangunan yang dipasang sirip. Hasil analisis dilakukan menggunakan program 'Ladybug' yang merupakan ekstensi dari pemrograman visual 'Grasshopper'. Seluruh parameter seperti geometri bangunan, data cuaca lokasi, dan waktu analisis dimasukkan ke dalam rumus yang komprehensif. Simulasi dilakukan pada skenario waktu setiap bulan selama 12 bulan. Simulasi dilakukan menggunakan rumus berikut.



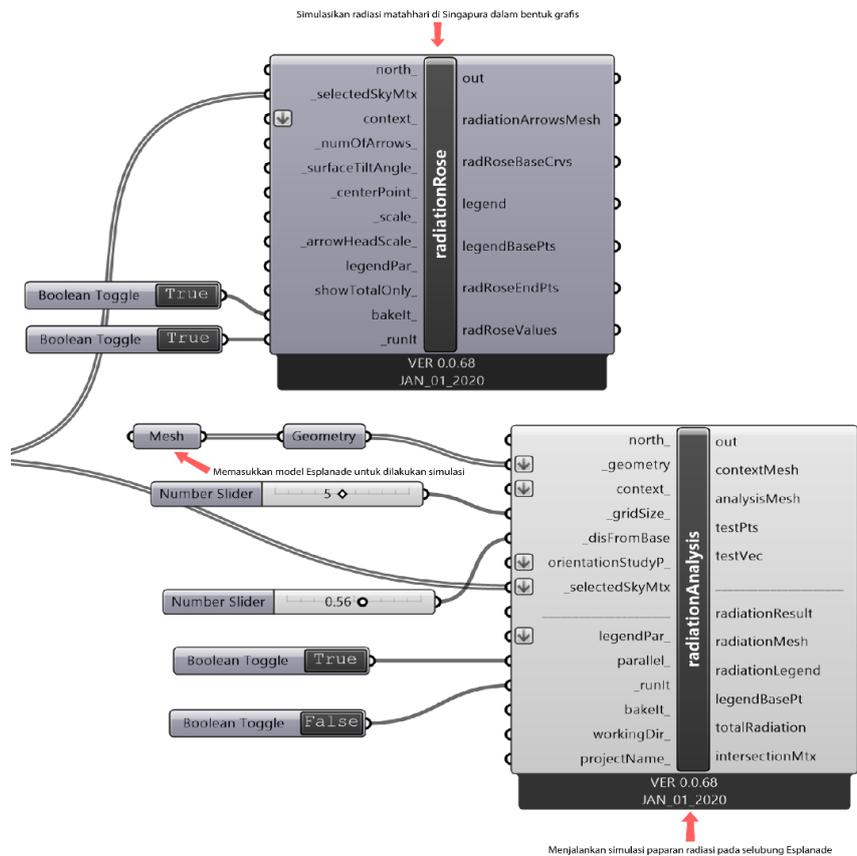
Gambar 13 Memastikan ekstensi Ladybug bekerja pada Grasshopper.
Sumber: Pribadi



Gambar 14 Memasukkan data iklim di Singapura kemudian di visualisasikan secara grafis.
Sumber: Pribadi



Gambar 15 Menentukan waktu simulasi dan menjalankan simulasi langit di Singapura.
Sumber: Pribadi



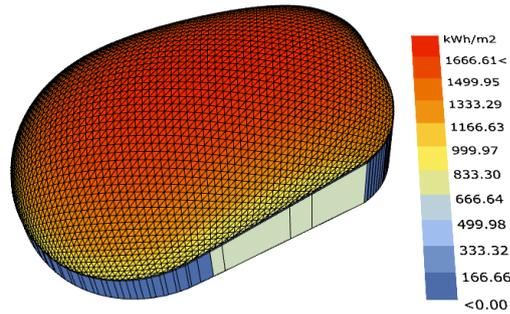
Gambar 16 Menjalankan simulasi paparan radiasi matahari terhadap selubung Esplanade.
Sumber: Pribadi

Rumus yang telah dihasilkan tersebut di aplikasikan pada gubahan Concert Hall bangunan Teater Esplanade dengan kondisi bangunan yang teraplikasi sirip pada selubungnya dan tanpa sirip. Sehingga simulasi dilakukan sebanyak dua kali berturut-turut setiap bulan selama 12 bulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

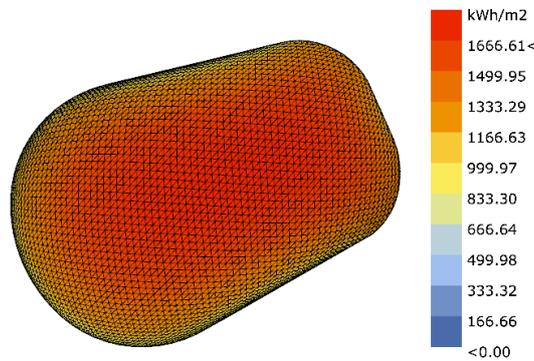
a. Analisis Bangunan Tanpa Sirip

Hasil pemodelan ulang geometri bangunan tanpa sirip dimasukkan ke dalam rumus analisis Ladybug. Konfigurasi waktu simulasi bangunan diatur sesuai dengan data yang dibutuhkan. Setelah proses simulasi analisis selesai, secara grafis ditampilkan bidang pada bangunan yang terpapar radiasi matahari dalam spektrum warna biru ke merah. Semakin tinggi jumlah paparan radiasi matahari yang diterima, maka bidang akan menampilkan spektrum ke arah warna merah. Semakin rendah jumlah paparan radiasi matahari yang diterima, maka bidang akan menampilkan spektrum ke arah warna biru. Kemudian data rata-rata paparan matahari di ekstraksi pada panel rumus visual aplikasi.



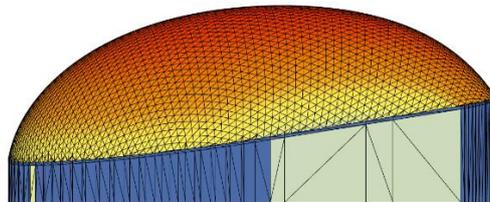
Radiation Analysis
SINGAPORE_SGP_1990
1 JAN 1:00 - 31 DEC 24:00

Gambar 17 Hasil analisis geometri bangunan tanpa sirip.
Sumber: Pribadi

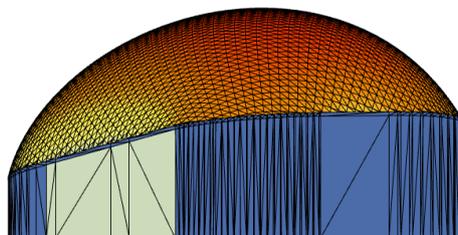


Radiation Analysis
SINGAPORE_SGP_1990
1 JAN 1:00 - 31 DEC 24:00

Gambar 18 Tampak atas hasil analisis geometri bangunan tanpa sirip.
Sumber: Pribadi



Gambar 19 Tampak depan (selatan) hasil analisis geometri bangunan tanpa sirip.
Sumber: Pribadi



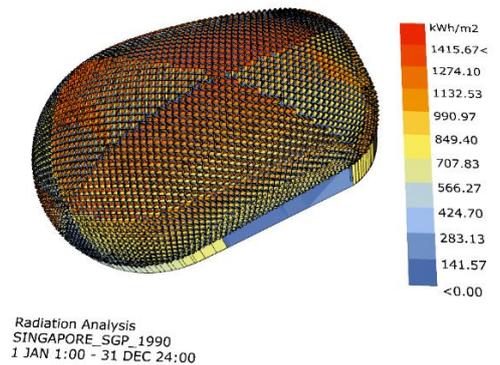
Gambar 20 Tampak kanan (timur) hasil analisis geometri bangunan tanpa sirip.
Sumber: Pribadi

Dari hasil pengujian simulasi yang dilakukan selama satu tahun penuh, dapat dilihat bahwa sebagian besar radiasi terpapar pada bagian atas bangunan. Secara grafis, bagian

atas gubahan bangunan tanpa sirip terpapar radiasi dengan jumlah total 991.038.374 kWh/m² selama satu tahun atau sebanyak rata-rata 82.586.531 kWh/m² setiap bulannya.

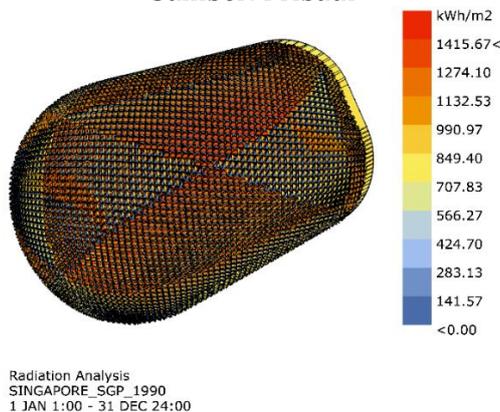
b. Analisis Bangunan Dengan Sirip

Hasil pemodelan ulang geometri bangunan dengan sirip dimasukkan ke dalam rumus analisis Ladybug. Proses analisis memakan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan simulasi sebelumnya diakarenakan bentuk geometri yang sangat kompleks. Ditambah lagi konfigurasi resolusi bidang yang terkena cukup tinggi membuat simulasi terkadang gagal dan harus diulang dari awal. Setelah proses analisis selesai, secara grafis ditampilkan bidang pada bangunan yang terpapar radiasi matahari dalam spektrum warna biru ke merah dan pada panel rumus grafis terakumulasi jumlah rata-rata radiasi yang terpapar pada bidang bangunan.



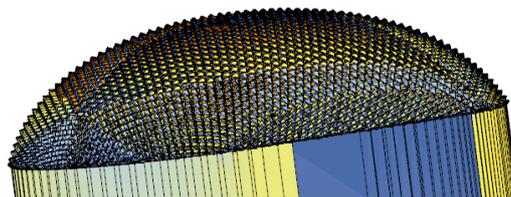
Gambar 21 Visualisasi prespektif hasil analisis geometri bangunan dengan sirip.

Sumber: Pribadi



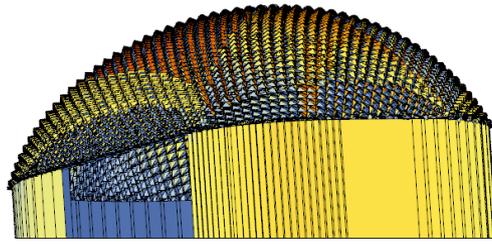
Gambar 22 Visualisasi tampak atas hasil analisis geometri bangunan dengan sirip.

Sumber: Pribadi



Gambar 23 Visualisasi tampak depan (selatan) hasil analisis geometri bangunan dengan sirip.

Sumber: Pribadi



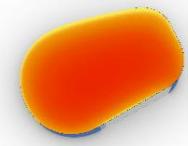
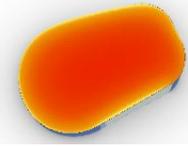
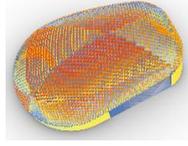
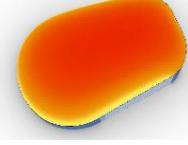
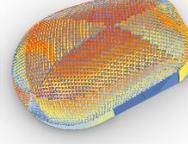
Gambar 24 Visualisasi tampak kanan (timur) hasil analisis geometri bangunan dengan sirip.
Sumber: Pribadi

Dari hasil simulasi gubahan bangunan dengan sirip yang telah dilakukan dalam jangka waktu selama satu tahun, dapat dilihat bahwa radiasi matahari paling banyak tetap berada pada bagian atas bangunan. Namun dikarenakan terdapat sirip yang menutupi hampir keseluruhan selubung bangunan, terdapat beberapa bagian pada selubung yang memiliki radiasi yang sangat minim yang digambarkan dengan spektrum warna yang lebih muda mengarah ke warna biru. Ketika sirip diaplikasikan pada bangunan, didapatkan jumlah total paparan radiasi selama satu tahun sebesar 448.736.503 kWh/m². Dengan rata-rata paparan radiasi sebesar 37.394.709 kWh/m² setiap bulannya.

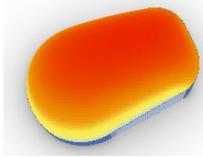
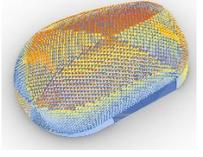
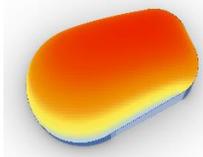
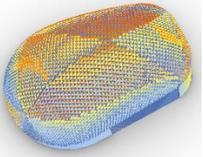
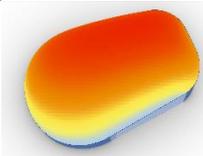
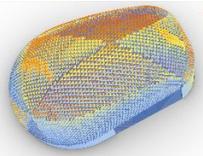
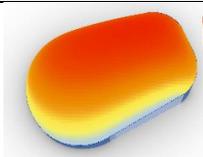
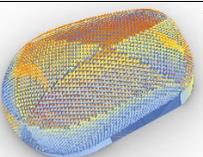
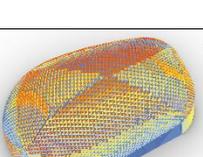
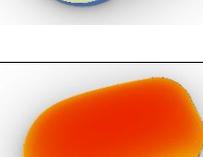
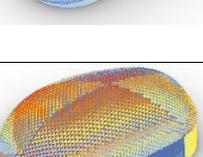
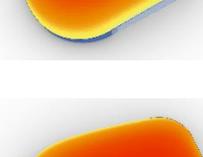
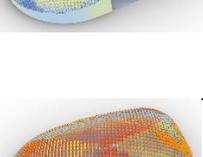
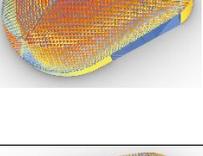
c. Akumulasi Data

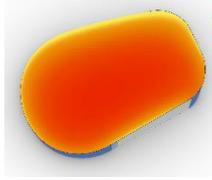
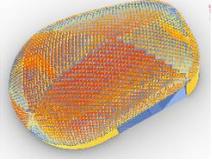
Hasil simulasi dari kedua model kemudian diambil data besaran rata-rata jumlah radiasinya secara akurat setiap bulannya selama 12 bulan. Data tersebut kemudian di ekstraksi satu-persatu stiap melakukan simulasi, lalu dikompilasi dalam tabel berikut.

Tabel 1 Kompilasi data hasil simulasi pemaparan radiasi matahari setiap bulan selama satu tahun.

Bulan	Tanpa Shading		Dengan Sirip	
	Grafis	Rata-Rata Radiasi (kWh/m ²)	Grafis	Rata-Rata Radiasi (kWh/m ²)
Januari		84.257.728		36.659.202
Februari		84.989.875		37.177.302
Maret		87.165.787		38.800.723

Seminar Karya & Pameran Arsitektur Indonesia 2020
Arsitektur untuk Indonesia Timur

April		88.227.517		40.319.493
Mei		83.339.385		39.070.587
Juni		80.595.570		37.941.168
Juli		82.880.044		39.003.759
Agustus		80.950.084		38.004.559
September		81.667.200		36.665.552
Oktober		81.120.927		35.844.737
November		78.714.661		34.568.295

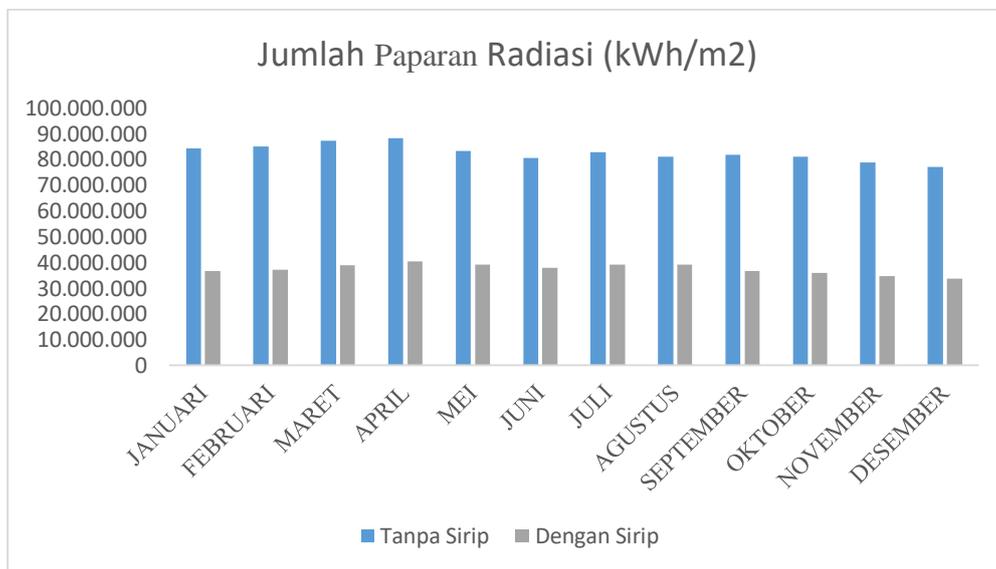
Desember		77.129.596		33.681.926
----------	---	------------	--	------------

Sumber: Pribadi

d. Grafik Perbedaan Rata-Rata Radiasi

Agar dapat dipahami lebih baik, hasil dari simulasi pemaparan matahari pada gubahan Concert Hall teater Esplanade ini ditampilkan dalam grafik batang untuk mengetahui secara grafis tingkat perbedaan radiasi matahari saat sirip diaplikasikan dan tidak diaplikasikan pada bangunan. Hasil simulasi bangunan tanpa sirip divisualisasikan dalam bar berwarna biru. Sedangkan hasil simulasi bangunan dengan sirip divisualisasikan dalam bar berwarna hijau.

Tabel 2 Kompilasi data hasil simulasi pemaparan radiasi matahari selama satu tahun.

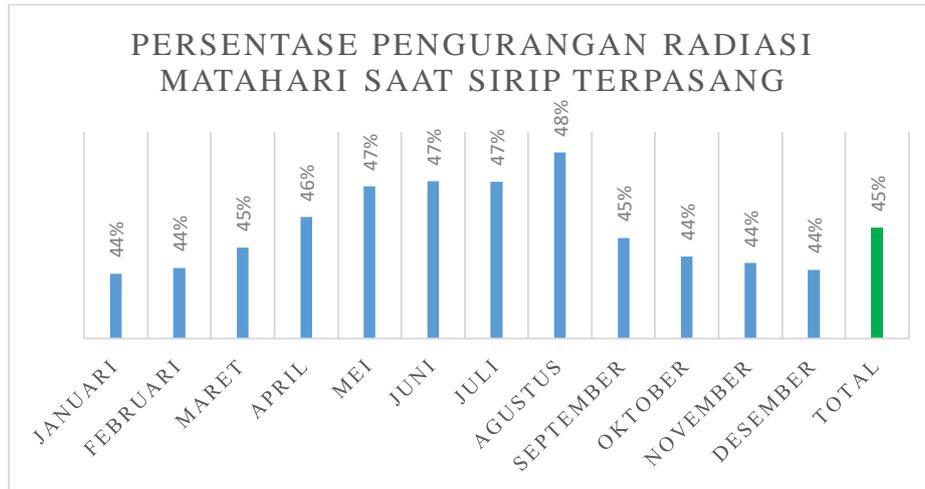


Sumber: Pribadi

e. Grafik Presentase Selisih Rata-Rata Radiasi

Untuk mengetahui dengan lebih tepat selisih tingkat perbahan jumlah radiasi yang diterima bangunan, data-data yang dikumpulkan kemudian dikompilasi dan diselisihkan dalam bentuk persentase dan disajikan dalam grafik berikut. Grafik dibawah merupakan persentase tingkat pengurangan paparan radiasi matahari pada saat sirip bangunan terpasang.

Tabel 3 Persentase pengurangan paparan radiasi matahari saat sirip pada bangunan terpasang.



Sumber: Pribadi

f. Pembahasan

Berdasarkan analisis dari simulasi gubahan Concert Hall bangunan teater Esplanade di Singapura menggunakan program ekstensi 'Ladybug' pada aplikasi pemrograman visual 'Grasshopper' ditemukan bahwa dalam proses simulasi membutuhkan komputasi yang tinggi. Pada beberapa simulasi waktu tertentu tingkat komputasi yang dibutuhkan sangat tinggi sehingga terjadi kegagalan pada saat simulasi. Dapat diakui bahwa pemodelan ulang bangunan teater Esplanade tidak dapat 100% persis sama dengan bangunan aslinya. Masih terdapat pula beberapa parameter seperti bangunan di sekitar, vegetasi, dan detail iklim secara pasti. Dalam hal ini penelitian dilakukan dengan batasan menganalisis besaran paparan radiasi yang diterima bangunan. Sehingga pada kasus ini indikator yang berpengaruh paling tinggi adalah geometri bangunan. Elemen sirip pada selubung bangunan meskipun secara keseluruhan tidak mengubah bentuk bangunan namun memberi pengaruh yang cukup signifikan pada bangunan dalam merespon paparan radiasi matahari. Perbandingan tersebut dapat dikenali dengan akumulasi data pada tabel berikut.

Tabel 4 Tabel akumulasi hasil simulasi paparan radiasi matahari.

Bulan	Tanpa Sirip	Dengan Sirip	Persentase Pengurangan Radiasi
	Jumlah Radiasi (kWh/m2)	Jumlah Radiasi (kWh/m2)	
JANUARI	84.257.728	36.659.202	44%
FEBRUARI	84.989.875	37.177.302	44%
MARET	87.165.787	38.800.723	45%
APRIL	88.227.517	40.319.493	46%
MEI	83.339.385	39.070.587	47%
JUNI	80.595.570	37.941.168	47%

JULI	82.880.044	39.003.759	47%
AGUSTUS	80.950.084	38.004.559	48%
SEPTEMBER	81.667.200	36.665.552	45%
OKTOBER	81.120.927	35.844.737	44%
NOVEMBER	78.714.661	34.568.295	44%
DESEMBER	77.129.596	33.681.926	44%
TOTAL	991.038.374	448.736.503	45%

Sumber: Pribadi

Dari hasil simulasi paparan radiasi matahari pada gubahan Concert Hall yang di model ulang secara digital menunjukkan hasil yang cukup signifikan dengan angka rata-rata total pengurangan radiasi sebesar 45%. Jumlah radiasi yang diterima bangunan ini dapat berimbas langsung pada suhu di dalam bangunan. Dalam hal ini energi untuk pendingin ruangan dapat dikurangi penggunaannya.

Terkait fitur yang disediakan oleh ekstensi simulasi 'Ladybug' pada aplikasi pemrograman visual Grasshopper, masih sangat banyak potensi dari fitur terkait performa bangunan yang dapat ditelusuri. Diantaranya ekstensi ini dapat melakukan simulasi angin, termal, dan reflektivitas cahaya. Ekstensi ini juga dapat dikolaborasi dengan ekstensi lain seperti 'Honeybee' untuk menemukan konfigurasi geometri paling efisien dalam merespon radiasi, dan cahaya matahari.

KESIMPULAN

Dari hasil analisis simulasi performa bangunan terkait paparan radiasi matahari pada model ulang gubahan Concert Hall teater Esplanade secara digital dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Radiasi matahari sebagai parameter alamiah memiliki pengaruh sangat besar pada bangunan khususnya kenyamanan termal dan penggunaan energi. Sehingga hasil pengukuran paparan radiasi matahari pada selubung bangunan dapat dijadikan pertimbangan penting pada perancangan bangunan maupun untuk evaluasi bangunan yang telah terbangun.
2. Hasil simulasi pada gubahan Concert Hall teater Esplanade menunjukkan bahwa sirip yang diaplikasikan pada selubung bangunan sebagai elemen biomimetik bangunan memberi peran signifikan dalam mengurangi jumlah paparan radiasi matahari yang diterima bangunan. Dibuktikan dengan hasil uji yang menunjukkan angka pengurangan paparan radiasi sebanyak 45% pada saat sirip bangunan terpasang.
3. Dari hasil simulasi yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa arsitek mampu menerapkan konsep biomimetik yang sirip pada bangunan tersebut diibaratkan sebagai duri pada buah durian dengan baik secara fungsi performa dan estetikanya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Allah SWT, yang selalu memberi karunia, petunjuk, kemudahan, dan kuasa-Nya dalam setiap proses penelitian maupun penyusunan laporan karya tulis ilmiah sehingga penulis dapat menyelesaikannya. Kepada kedua orang tua saya yang selalu memberikan semangat, dukungan materi, doa, motivasi, serta kasih sayangnya. Kepada bapak Baritoadi Buldan Rayaganda, S.T., MA selaku dosen pembimbing dan

memiliki peran penting dalam penelitian maupun penyusunan karya tulis ini yang dengan segala kesabaran dan keikhlasannya telah memberikan bimbingan, masukan – masukan, serta ilmu kepada penulis. Kepada bapak M. Galieh Gunagama, S.T., M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran kepada penulis sehingga penulisan karya tulis ilmiah ini dapat menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aarteta, J. (2017) 'A BRIEF HISTORY OF DIGITAL ARCHITECTURE', pp. 1–18.
- Ahmed, A. and Soomro, B. A. (2017) 'Impact of Solar Radiation on Building Envelope Using', (March).
- Banhart, J. S. (1959) The American Dictionary.
- Collette, M., Corey, B. and Johnson, J. (2004) 'High Performance Tools & Technologies', Lawrence Livermore National Laboratory Tech. Report UCRL-TR-209289.
- DJENAL, D. P. (2015) 'Sistem Monitoring Intensitas Radiasi Matahari Monitoring System of Solar Radiation Intensity', (5).
- Hartono, G. D. A., Egam, P. P. and Sembel, A. (2018) 'Pusat Hewan Peliharaan Di Kotamanado "Arsitektur Biomimetik"', (Pembimbing I).
- INDIRA, I. (2014) 'PENERAPAN KONSEP ARSITEKTUR BIOMIMICRY PADA BANGUNAN LAPAU PAJANG SEBAGAI ICON WISATA'.
- Klimke, H. (2017) 'The Envelopes of the Arts Centre in Singapore', IABSE Symposium Report, 86(15), pp. 9–20. doi: 10.2749/222137802796336036.
- Menezes, A. C. et al. (2014) 'Estimating the energy consumption and power demand of small power equipment in office buildings', Energy & Buildings. Elsevier B.V., 75, pp. 199–209. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.02.011.
- Mullin, G. (2014) No more Walkie Scorchie! London skyscraper which melted cars by reflecting sunlight is fitted with shading. Available at: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-2786723/London-skyscraper-Walkie-Talkie-melted-cars-reflecting-sunlight-fitted-shading.html>.
- Paolo; Kassiani; Marco (2014) Building Design for safety and sustainability. doi: 10.2788/338223.
- Purwantiasng, A. W. (2014) 'PROSES BELAJAR MENGAJAR MAHASISWA AKTIF DI', pp. 40–47.
- Redolfi, G. and Khoshtinat, S. (2009) 'Algorithms in Nature', Scientific Series journal, 4(1), pp. 5–12. doi: 10.1186/1479-5876-9-198.
- Roudsari, M. S. and Pak, M. (2013) 'Ladybug: A parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design', Proceedings of BS 2013: 13th Conference of the International Building Performance Simulation Association, (December), pp. 3128–3135.
- Sanchez-Alvarez, J. (2012) 'The Geometrical Processing of the Free-formed Envelopes for The Esplanade Theatres in Singapore', pp. 1–10.
- Vitruvius (1914) The Ten Book on Architecture. doi: 10.1130/SPE63-p36.
- Wisnu dan Muji Indarwanto (2017) 'Evaluasi Sistem Pencahayaan Alami Dan Buatan Pada Ruang Kerja Kantor Kelurahan Paninggilan Utara, Ciledug, Tangerang', vitruvian - Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan, 7(1), pp. 41–46.
- Zhang, Y. et al. (2017) 'Solar radiation reflective coating material on building envelopes: Heat transfer analysis and cooling energy saving', Energy Exploration and Exploitation, 35(6), pp. 748–766. doi: 10.1177/0144598717716285.