

INFLUENCE OF ATRIUM SLOPE TOWARDS DAYLIGHT PERFORMANCE IN ADJOINING SPACE OF ATRIUM

¹ Safarah Putri Ma'wa, ² Ryani Gunawan, ST., MT

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

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

Abstract

Since architectural re-establishment period in 1970, atrium has been used as an effort to conserve energy in terms of daylighting and natural ventilation. However, the use of atrium as medium for daylighting in buildings has shortcomings. As farther from light source, level of daylighting will decrease, both horizontally and vertically. Atrium slope is one of the atrium geometry factors that can significantly influence the quantity of daylighting in atrium and adjacent space of atrium. Changes in atrium slope will have an impact on the width of roof opening, as well as expose some part of adjacent space of atrium toward roof opening, thus affecting the amount of natural light in atrium and adjacent space of atrium. This study aims to determine the effect of atrium slope toward daylight performance in adjacent space of atrium in terms of distribution and penetration and to determine minimum atrium slope as an optimization strategy for daylight in study object in the form of average daylight factor that indicates distribution and daylight factor coverage that indicates penetration. The study object in this study is atrium of Mall Festival Citylink as one of the atrium that represents the presence of dark areas in adjacent space of atrium.

The method used in this research is quantitative – experimental with data collection techniques in virtual simulation. Rhinoceros & Grasshopper for Rhino software is used as a visualization and generation of 3D-models, while Honeybee and Ladybug for Grasshopper plug-ins are used as daylighting simulation. The data obtained will be combined in Microsoft Excel program and analyzed using JMP program to see the correlation, significance, and determination between research variables.

Through the simulation results, it was concluded that in the existing conditions of the study object, the two lowest floors did not meet the BREEAM standard (daylight factor 2%) and LEED standard (daylight factor 2% coverage of 75% of the total depth of the adjacent space of atrium). To meet the BREEAM standard, the atrium is sufficient to have a minimum slope of 7° or a recommended slope of 10°. However, this slope is not enough to meet the daylight factor coverage according to the LEED standard. For the entire floor of the adjacent space of atrium to meet the LEED standard daylight factor coverage, a minimum slope of 11° or a recommended slope of 15° is required.

Keywords: *slope, adjacent space of atrium, average daylight factor, daylight factor coverage, atrium of Mall Festival Citylink.*

¹ Corresponding author: smputri2468@gmail.com

PENGARUH KEMIRINGAN ATRIUM TERHADAP PERFORMA PENCAHAYAAN ALAMI PADA RUANGAN SEKITAR ATRIUM

¹ Safarah Putri Ma'wa. ² Ryani Gunawan, ST., MT

¹ Mahasiswa S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

² Dosen Pembimbing S1 Program Studi Arsitektur Universitas Katolik Parahyangan

Abstrak

Sejak masa *architectural re-establishment* pada tahun 1970, atrium telah digunakan sebagai upaya untuk mengkonservasi energi dari sisi pencahayaan alami maupun penghawaan alami. Namun penggunaan atrium sebagai salah satu media penetrasi pencahayaan alami ke dalam bangunan masih memiliki kekurangan, yakni tingkat pencahayaan alaminya yang semakin berkurang jika semakin jauh dari sumber, baik secara horizontal maupun vertikal. Kemiringan atrium merupakan salah satu faktor geometri atrium yang dapat memengaruhi kuantitas pencahayaan alami yang masuk ke atrium dan ruangan sekitarnya secara signifikan. Perubahan variabel kemiringan atrium akan berdampak pada perubahan lebar bukaan atap pada atrium, serta munculnya area lantai ruangan sekitar atrium yang terekspos langsung ke arah bukaan atap atrium, sehingga dapat memengaruhi jumlah cahaya alami yang masuk ke ruangan sekitar atrium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh kemiringan atrium terhadap performa pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium yang ditinjau dari segi distribusi maupun penetrasi, serta untuk mengetahui kemiringan atrium minimal sebagai strategi peningkatan pencahayaan alami pada objek studi. Tinjauan tersebut berupa nilai *average daylight factor* yang mengindikasikan pemerataan dan jangkauan *daylight factor* yang mengindikasikan tingkat penetrasi. Objek studi yang digunakan pada penelitian ini adalah atrium Mall Festival Citylink sebagai salah satu atrium yang merepresentasikan terdapatnya area gelap pada ruangan sekitarnya.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif – eksperimental dengan teknik pengumpulan data berupa simulasi pada ruang virtual. Program komputer Rhinoceros & Grasshopper for Rhino digunakan sebagai visualisasi dan generasi 3D-model, sementara *plug-in* Honeybee dan Ladybug for Grasshopper digunakan sebagai media simulasi pencahayaan alami. Data yang diperoleh digabungkan dalam program Microsoft Excel dan dianalisa menggunakan program JMP untuk melihat korelasi, signifikansi, dan determinasi antar variabel penelitian.

Melalui hasil simulasi, didapat kesimpulan bahwa pada kondisi eksisting objek studi, dua lantai terendahnya belum memenuhi standar BREEAM (*average daylight factor* 2%) dan standar LEED (jangkauan *daylight factor* 2% sebesar 75% dari total kedalaman ruangan sekitar atrium). Untuk memenuhi standar BREEAM, atrium cukup memiliki kemiringan minimal 7° atau kemiringan yang disarankan 10°. Tetapi angka kemiringan ini belum cukup untuk memenuhi standar jangkauan *daylight factor* yang disyaratkan LEED. Agar seluruh lantai ruangan sekitar atrium memenuhi standar LEED, dibutuhkan kemiringan minimal 11° atau kemiringan yang disarankan 15°.

Kata-kata kunci: kemiringan, ruangan sekitar atrium, *average daylight factor*, jangkauan *daylight factor*, atrium Mall Festival Citylink.

1. PENDAHULUAN

Atrium sebagai salah satu media penetrasi pencahayaan alami ke dalam bangunan masih memiliki kekurangan, yakni tingkat pencahayaan alaminya yang semakin berkurang jika semakin jauh dari sumber, baik secara horizontal maupun vertikal. Ruangan di sekitar atrium yang berada di lantai teratas cenderung memiliki tingkat pencahayaan alami yang lebih baik dibanding ruangan di sekitar atrium yang berada di lantai bawahnya. Bahkan tidak sedikit ruangan di sekitar atrium yang memiliki tingkat pencahayaan alami di bawah standar

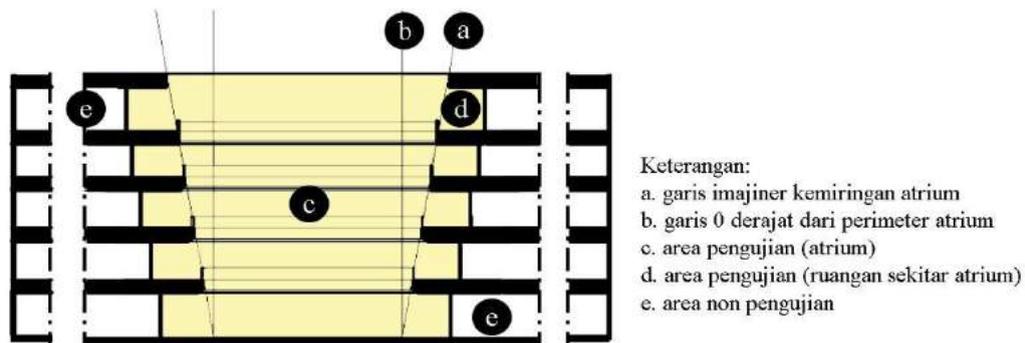
sehingga ruangan tersebut menjadi gelap dan membutuhkan bantuan pencahayaan buatan sepanjang hari.

Terdapat berbagai cara yang telah diteliti dapat memengaruhi distribusi pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium. Zhao et al. (2014) memfokuskan faktor-faktor tersebut menjadi faktor arsitektural saja sebagai faktor yang dapat diubah untuk memperbaiki kualitas dan kuantitas pencahayaan alami pada atrium dan ruangan sekitarnya. Faktor-faktor tersebut di antaranya, (1) *Geometry property*, (2) *Surface property*, dan (3) *Material property*. Meski faktor-faktor tersebut saling berkaitan dan memiliki pengaruhnya masing-masing, namun menurut Ferreira (2018), faktor geometri atrium merupakan faktor yang paling memengaruhi kuantitas dan kualitas pencahayaan alami pada atrium dan ruangan sekitarnya secara signifikan. Faktor geometri memiliki komponen kompleks yang menyusun suatu bentuk, yang dapat dilihat melalui bentuk denah dan bentuk potongan serta memiliki pengkategorian lebih lanjut di dalamnya.

Kemiringan merupakan salah satu faktor geometri yang dapat memengaruhi luas suatu bidang maupun volume suatu ruang yang dapat diidentifikasi melalui bentuk potongan. Khususnya dalam kaitannya terhadap pencahayaan alami pada bangunan beratrium, setiap perubahan kemiringan atrium akan berdampak pada nilai *Well Index* sebagai proporsi antara luas pelingkup atrium terhadap empat kali luas bukaan atrium, serta berdampak pula terhadap perubahan *Well Efficiency* sebagai ukuran perbandingan tingkat pencahayaan alami pada dasar atrium terhadap tingkat pencahayaan alami pada bukaan atrium.

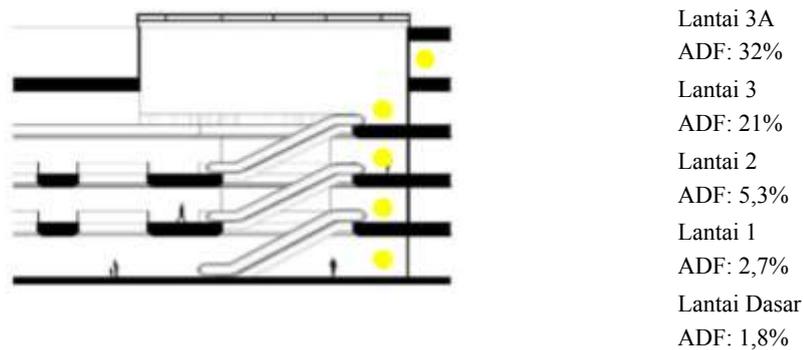
Zhao et al. (2014) menjelaskan, terdapat tiga macam bentuk atrium berdasarkan kemiringannya, yakni (1) *Vertical form*, (2) *A form*, dan (3) *V form*. Penelitian ini hanya akan membahas mengenai seberapa signifikan pengaruh kemiringan atrium pada jenis atrium *V form* dalam meningkatkan kuantitas pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium yang ditinjau dari distribusi dan penetrasi pada ruangan sekitar atrium. Jenis atrium *V form* ini diambil berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa atrium *V form* merupakan jenis atrium terbaik dalam mendistribusikan pencahayaan alami pada atrium dan ruangan sekitarnya (Erlendsson, 2014). Akan tetapi, penelitian tersebut hanya sebatas studi bentuk atrium terhadap perolehan nilai *daylight autonomy*, tanpa indikasi lebih lanjut mengenai presentase penetrasi jangkauan pencahayaan alami pada ruangan sekitarnya. Oleh sebab itu, penelitian berjudul *Pengaruh Kemiringan Atrium terhadap Performa Pencahayaan Alami pada Ruangan Sekitar Atrium* ini dilakukan untuk mengembangkan penelitian yang sudah ada dengan mencari pengaruh kemiringan atrium terhadap performa pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium, yang ditinjau dari distribusi atau pemerataan nilai *average daylight factor* dan penetrasi atau jangkauan nilai *daylight factor* pada ruangan sekitar atriumnya.

Kemiringan atrium atau yang umum disebut sebagai *stepped atrium* oleh Zhao et al. (2014) dan *atrium slope* oleh Erlendsson (2014) pada penelitian ini merupakan garis imajiner yang ditarik dari perimeter atrium di lantai dasar hingga lantai teratas, yang menimbulkan adanya undakan lantai (*stepped*) pada ruangan sekitarnya jika dilihat dari potongan. Guna mendapatkan jangkauan area pengujian yang setara pada setiap lantainya, maka lebar dari ruangan sekitar atrium yang diujikan dipertahankan sama pada setiap lantai sebesar 3,50 meter atau sama dengan lebar koridor fungsional dan sirkulasi pada objek studi.



Figur 1. Definisi kemiringan atrium

Objek studi yang digunakan pada penelitian ini adalah atrium Mall Festival Citylink dan ruangan sekitarnya sebagai salah satu atrium yang merepresentasikan terdapatnya area-area gelap pada ruangan sekitarnya, sehingga memerlukan strategi untuk mendapatkan tingkat pencahayaan alami yang sesuai standar. Objek studi ini dipilih setelah dilakukan observasi awal pada tanggal 5 Februari 2020 pukul 10.00 WIB dengan ketinggian titik ukur 80 cm dari lantai dan jarak 1.50 m dari perimeter atrium. Berikut skema hasil observasi yang telah dilakukan.



Figur 2. Potongan Memanjang Atrium Mall Festival Citylink dengan Perolehan Nilai *Average Daylight Factor* di Ruangan Sekitarnya

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah dengan kondisi eksisting atrium Mall Festival Citylink performa pencahayaan alami pada ruangan sekitarnya telah memenuhi *average daylight factor* sebesar 2% (standar BREEAM) serta memenuhi jangkauan *daylight factor* 2% sejauh 75% dari lebar total ruangan sekitar atrium (standar LEED) dan untuk mengetahui bagaimana kemiringan atrium dapat memengaruhi performa pencahayaan alami pada ruangan sekitarnya yang ditinjau dari kedua standar tersebut, serta untuk mengetahui korelasi antara kemiringan atrium terhadap performa pencahayaan alami pada ruangan sekitarnya.

Penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil sampel sebagian bentuk geometri objek studi eksisting berupa atrium dan ruangan sekitarnya, yang kemudian akan diujikan melalui simulasi perubahan variabel independen berupa kemiringan atrium untuk dapat menemukan hubungan antara kemiringan atrium terhadap performa pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium. Keluaran yang dihasilkan dari simulasi tersebut berupa jangkauan nilai *daylight factor* dan *average daylight factor* pada setiap lantai ruangan sekitar atrium.

Keluaran ini kemudian akan dibandingkan dengan standar pencahayaan alami BREEAM dan LEED. Perangkat lunak yang akan digunakan untuk membuat model tiga dimensi pada penelitian ini adalah program Rhinoceros dan Grasshopper for Rhino, sementara simulasi pencahayaan alaminya akan dilakukan dengan bantuan *plug-in* Honeybee for Grasshopper dan Ladybug for Grasshopper.

2. KAJIAN TEORI

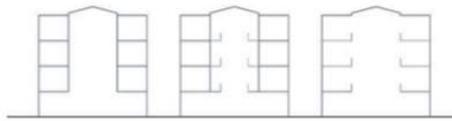
2.1 PENCAHAYAAN ALAMI PADA BANGUNAN BERATRIUM

Kata ‘atrium’ memiliki kaitan erat dengan rumah orang-orang Roma kuno di mana di dalamnya terdapat taman tanpa atap. Konsep taman di dalam rumah tersebut merupakan upaya yang baik untuk mendistribusikan cahaya dan udara alami, perlindungan terhadap angin, penyimpan energi panas dan dingin, serta menjadi tempat pembayangan pada musim panas (Bednar, 1986). Konsep taman di dalam bangunan ini kemudian dikembangkan sebagai ‘atrium’ pada bangunan modern yang ditutup atap kaca sehingga masih memungkinkan masuknya cahaya matahari langsung ke dalam bangunan.

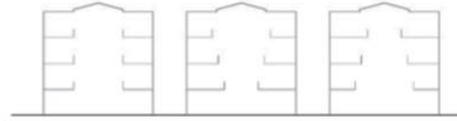
Pencahayaan alami pada bangunan beratrium menurut Samant (2011) dipengaruhi beberapa hal di antaranya: (1) Kondisi langit eksternal, (2) Sistem atap dan fenestrasinya, (3) Tipe, bentuk, dan geometri atrium, (4) Elemen bidang pelingkup atrium, serta (5) Properti desain dari ruang berdampingan. Sementara Zhao et al. (2014) memfokuskan kembali faktor-faktor tersebut menjadi faktor arsitektural saja sebagai faktor yang dapat diubah untuk memperbaiki kualitas dan kuantitas pencahayaan alami pada atrium dan ruangan sekitar atrium. Faktor-faktor tersebut yakni, (1) *Geometry property*, (2) *Surface property*, dan (3) *Material property*.

2.1.1 PROPERTI GEOMETRI

Geometri dapat didefinisikan sebagai cabang ilmu matematika yang berkaitan dengan pengukuran, properti/sifat, dan hubungan dari titik, garis, sudut, permukaan, dan ruang (Kamus Merriam Webster). Properti geometri menurut Zhao et al, (2014) terdiri dari geometri serta bentuk dan rasio. Properti geometri dapat diidentifikasi melalui bentuk denah dan bentuk potongan. Pada bentuk denah, secara umum Zhao et al. (2014) mengelompokkannya ke dalam tiga (3) bentuk dasar, yakni lingkaran, segitiga, dan segi empat. Sementara pada bentuk potongan, geometri atrium dibagi berdasarkan sifat dan bentuk. Geometri atrium berdasarkan sifat dikelompokkan karena perbedaan pembatas antara atrium dan ruangan sekitarnya. Batas tersebut ada yang berupa dinding penuh (*enclosed entity*), balkon yang dilingkupi ruangan lain di sebelahnya (*adjoining*), atau ruangan sekitar atrium yang terbuka dengan dinding setengah (*open atrium*). Sementara geometri atrium berdasarkan bentuk dikelompokkan karena perbedaan bentuk kemiringannya. Bentuk kemiringan atrium tersebut ada yang berupa tegak lurus atau tanpa kemiringan sama sekali (*vertical form*), kemiringan yang membentuk huruf A (*A form*), dan kemiringan yang membentuk huruf V (*V form*). Pada penelitian ini, sesuai dengan kondisi ruangan sekitar atrium objek studi, termasuk dalam kategori *adjoining atrium*. Sementara pengaruh kemiringan yang akan diteliti akan mengambil bentuk *V form*.



Figur 3. Sifat *cross section* (dari kiri ke kanan) *enclosed entity, adjoining, dan open atrium* (sumber: Zhano et al., 2014)



Figur 4. Bentuk *cross section* (dari kiri ke kanan) *vertical form, A form, dan V form* (sumber: Zhano et al., 2014)

Kemiringan atrium sebagai properti geometri juga berkaitan dengan *well index* dan *well efficiency*. *Well index* merupakan cara untuk menggambarkan geometri atrium secara matematis. Semakin besar nilai *well index*, maka semakin besar pula proporsi tinggi atrium terhadap lebarnya, sehingga nilai *daylight factor* cenderung mengecil. Sebaliknya, semakin kecil nilai *well index*, maka semakin besar proporsi lebar atrium terhadap tingginya, sehingga nilai *daylight factor* cenderung lebih besar. Rumus *well index* pada atrium dengan bentuk dasar lingkaran telah diturunkan pada penelitian sebelumnya melalui persamaan berikut (Susanto, 2019):

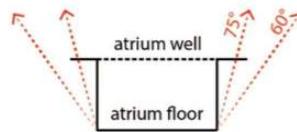
$$WI = \frac{\text{Luas Selubung Atrium}}{4 \times \text{Luas Atrium}}$$

Namun persamaan tersebut hanya berlaku jika suatu atrium memiliki kemiringan 0° . Sehingga, jika atrium memiliki kemiringan yang berbeda, tentu rumus tersebut akan berubah. Berikut merupakan perbandingan nilai *well index* pada atrium dengan kemiringan 0° dan atrium dengan kemiringan θ° .

Tabel 1. Perbandingan nilai *well index*

Perbandingan Rumus Persamaan Well Index Atrium	Atrium Berbentuk Lingkaran dengan Kemiringan 0°	Atrium Berbentuk Lingkaran dengan Kemiringan θ°
Skema		
Teorema Phytagoras untuk Mencari Kemiringan		
Persamaan Akhir	$WI = \frac{t}{2R}$	$WI = \frac{t \times (r+R)}{4 \times r^2 \times \cos \theta}$

Sementara itu, *well efficiency* merupakan cara untuk mengungkapkan seberapa baik suatu atrium dalam mendistribusikan pencahayaan alami ke dasar atrium. Nilai *well efficiency* yang mendekati 1 mengindikasikan atrium tersebut sangat efisien dalam mendistribusikan cahaya. Sebaliknya, semakin menjauhi 1, maka atrium tersebut kurang efisien dalam mendistribusikan cahaya.



$$WE = \frac{DF \text{ di lantai dasar (atrium floor)}}{DF \text{ di bawah bukaan atrium (atrium well)}}$$

Figur 5. Rumus Perhitungan Well Efficiency
(sumber: Ferreira, 2018)

2.2.2 STANDAR PENCAHAYAAN ALAMI PADA BANGUNAN

Berdasarkan *BREAAM UK New Construction non-domestic buildings technical manual 2014*, standar pencahayaan alami untuk jenis bangunan retail adalah nilai *average daylight factor* minimum 2%. Sementara USGBC melalui standar LEED menspesifikan standar pencahayaan alami untuk bangunan yang sama agar nilai *daylight factor* 2% dapat menjangkau 75% dari total ruangan. Mempertimbangkan kedua standar tersebut, performa pencahayaan alami pada penelitian ini dianggap baik apabila: (1) Kuantitas pencahayaan alami minimal berupa nilai *average daylight factor* 2% dan (2) Tingkat pemerataan jangkauan *daylight factor* 2% tersebut minimal 75% dari lebar total ruangan sekitar atrium.

3. METODA PENELITIAN

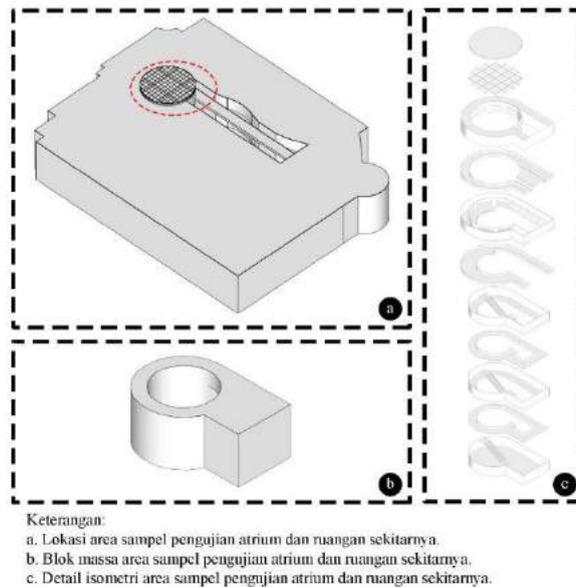
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental berupa simulasi pada ruang virtual. Program komputer Rhinoceros & Grasshopper for Rhino digunakan sebagai visualisasi dan generasi 3D-model, sementara *plug-in* Honeybee dan Ladybug for Grasshopper digunakan sebagai media simulasi pencahayaan alami. Data yang diperoleh digabungkan dalam program Microsoft Excel dan dianalisa menggunakan program JMP untuk melihat korelasi, signifikansi, dan determinasi antar variabel penelitian.

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*development research*) yang bertujuan untuk mengembangkan dan menggali lebih dalam dari teori yang telah dipaparkan pada bab sebelumnya mengenai kaitan antara distribusi pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium dengan geometri atrium yang dipengaruhi oleh kemiringan atrium.

3.1 TEKNIK PENGAMBILAN DATA

Data yang diambil untuk keperluan simulasi merupakan data hasil observasi berupa gambar kerja dari pihak pengelola, pengamatan langsung ke lokasi objek studi, serta studi literatur.

Data-data tersebut kemudian diolah untuk menggenerasi bentuk model 3 dimensi pada program Rhinoceros dan Grasshopper. Dalam keterbatasan waktu penelitian, generasi model 3 dimensi yang dilakukan hanya mengambil sampel ruang atrium dan ruangan sekitar atrium Mall Festival Citylink sejauh 3,5 meter dari perimeter atrium. Setelah jarak tersebut, proses generasi model dibatasi dengan membuat dinding masif cat putih setebal 15 cm guna menghindari pengaruh dari faktor-faktor luar yang tidak dikehendaki.



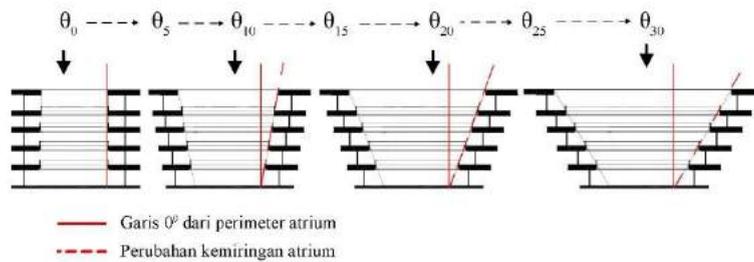
Figur 6. Cangkupan area sampel penelitian

Seluruh data yang digunakan untuk menggenerasi model 3 dimensi digunakan sebagai variabel kontrol penelitian. Variabel-variabel kontrol tersebut di antaranya: (1) Bentuk dan ukuran dasar atrium yang mengikuti kondisi eksisting berupa lingkaran dengan radius 8 meter, serta adisi persegi panjang di salah satu sisinya, (2) Lebar ruangan sekitar atrium selebar 3,5 meter yang ditarik dari perimeter atrium, yang berfungsi sebagai koridor fungsional dan sirkulasi pada ruangan sekitar atrium, (3) Tinggi atrium yang sesuai kondisi eksisting Mall Festival Citylink, yakni 23 meter atau merupakan hasil penjumlahan seluruh lantai pada ruangan sekitar atriumnya, mulai dari lantai dasar hingga lantai 3A, dengan tinggi *floor to floor* lantai 4,5 meter, terkecuali lantai dasar 5 meter, (4) Material dan nilai reflektansinya yang disajikan pada tabel 1, serta (5) Kondisi langit yang berupa CIE *Uniform Sky*, dengan waktu pengukuran pada bulan ke-6 dan jam 12 siang.

Tabel 2. Nilai reflektansi elemen pelingkup

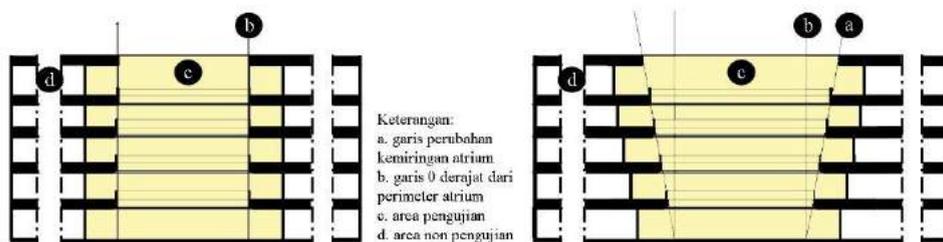
Elemen	Nilai Reflektansi	Elemen	Nilai Transmittansi
Lantai keramik	0,8	Jendela kaca bening	0,9
Dinding cat putih, balok beton cat putih, dan plafon	0,7	Railing kaca	0,9
Tangga eskalator	0,2	Clerestory	0,85
Atap dak beton	0,8	Skylight	0,85
Rangka atap baja	0,95		
Penutup eskalator meskin	0,99		
Railing aluminium	0,95		

Sedangkan variabel independen yang digunakan pada penelitian ini merupakan sudut kemiringan atrium yang diambil mulai dari kemiringan 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, dan 30°. Tujuan pengaturan variabel independen ini adalah untuk memperoleh varian data yang beragam, sehingga didapatkan pola tertentu.



Figur 7. Variabel Independen

Setiap perubahan kemiringan atrium hanya dikehendaki mengubah lebar ruangan sekitar atrium non-pengujian. Untuk kepentingan pengujian, lebar ruangan sekitar atrium pada semua lantai dianggap sama selebar 3,5 m.



Figur 8. Dampak perubahan kemiringan atrium terhadap area pengujian

Sementara itu, variabel dependen yang digunakan pada penelitian ini berupa nilai *average daylight factor* dan jangkauan nilai *daylight factor* pada setiap lantai ruangan sekitar atrium. Titik pengukuran *average daylight factor* dan *daylight factor* diambil dari ketinggian 80 cm dari lantai ruangan sekitar atrium dengan pembagian jarak antar titik pengukuran per 50 cm.

3.2 ALUR KERJA PENELITIAN

Alur kerja pada penelitian ini secara garis besar dapat dibagi menjadi empat tahap yakni, (1) Tahap generasi 3D Model, (2) Tahap simulasi, (3) Tahap koleksi data, dan (4) Tahap analisis dan evaluasi. Berikut merupakan diagram alur kerja pada penelitian ini.



Figur 9. Alur Kerja Penelitian

Tahap pertama dan tahap kedua berupa generasi model tiga dimensi dan simulasi dilakukan di lingkungan virtual menggunakan program Rhinoceros, Grasshopper for Rhino, serta *plug-in* simulasi Honeybee dan Ladybug for Grasshopper dengan keluaran berupa jangkauan nilai *daylight factor* dan nilai *average daylight factor*.

Tahap ketiga yakni koleksi data, merupakan proses pencatatan dan perhitungan dari data-data yang dihasilkan pada tahap simulasi. Hasil yang dicapai pada tahap ketiga ini disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berdasarkan korelasi antar variabel dependen dan independen.

Tahap terakhir berupa analisis dan evaluasi ditujukan untuk menganalisis dan mengevaluasi data yang telah didapat dan dikumpulkan mulai dari tahap pertama hingga tahap ketiga. Tahap ini menggunakan program JMP untuk menjawab pertanyaan penelitian nomor 3, mengenai korelasi antara variabel independen dan variabel dependen.

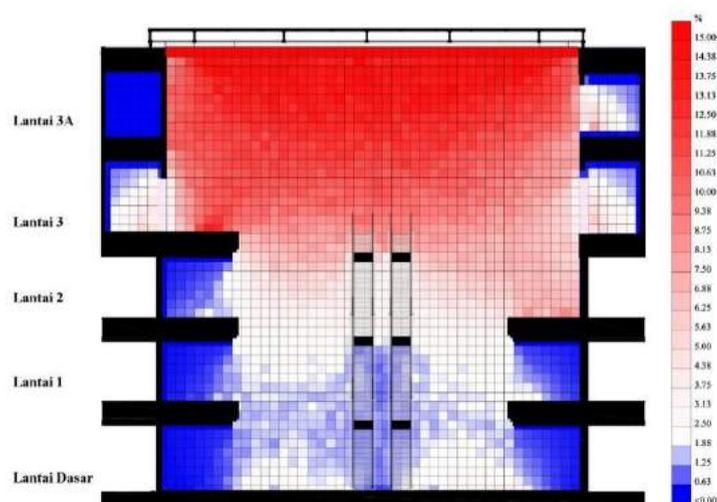
Jenis analisis data yang dilakukan pada penelitian ini adalah regresi bivariat atau regresi *stepwise*, dengan jenis data *continuous*. Data *continuous* merupakan data berupa angka yang bersifat berkelanjutan. Data-data tersebut akan dilihat koefisien korelasi, signifikansi, dan determinasinya sebagai parameter pengaruh antar variabel penelitian. Setelah itu, dibuat grafik *scatterplot* untuk mempermudah penyajian analisis data.

4. ANALISA

4.1 PENGARUH KEMIRINGAN ATRIUM TERHADAP PERFORMA PENCAHAYAAN ALAMI PADA RUANGAN SEKITAR ATRIUM

4.1.1 PERFORMA PENCAHAYAAN ALAMI PADA KONDISI EKSISTING

Kondisi eksisting atrium Mall Festival Citylink dan ruangan sekitarnya telah diujikan sesuai dengan kondisi dan metode yang telah dijelaskan sebelumnya. Setelah dibandingkan dengan standar *average daylight factor* BREEAM minimal 2%, masih terdapat beberapa lantai di ruangan sekitar atrium yang secara keseluruhan belum memenuhi standar, yakni pada lantai dasar dan lantai 1. Dari hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa kondisi atrium eksisting hanya mampu mengakomodasi kebutuhan pencahayaan alami hingga kedalaman 13,5 meter atau setara dengan 3 lantai dengan ketinggian *floor to floor* 4,5 meter.

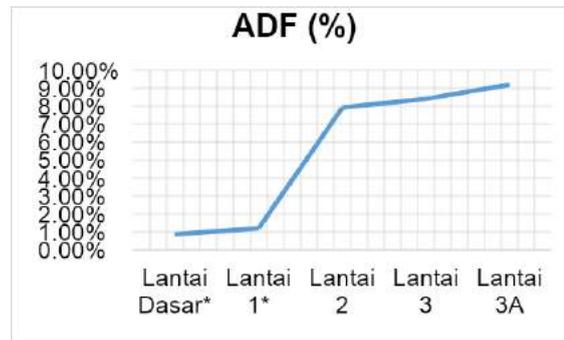


Figur 10. Peta Persebaran Nilai *Daylight Factor* per Titik Ukur

Tabel 3. *Average Daylight Factor* ruangan sekitar atrium Mall Festival Citylink

Nama Lantai	ADF (%)
Lantai Dasar*	0,86 %
Lantai 1*	1,20 %
Lantai 2	7,92 %
Lantai 3	8,41 %
Lantai 3A	9,19 %

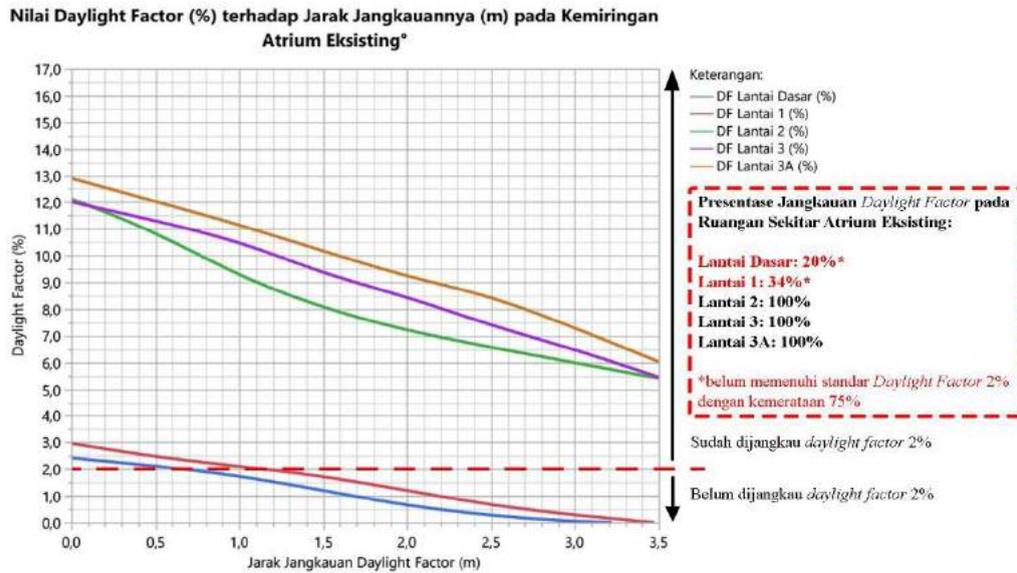
*tidak memenuhi standar minimal BREEAM, LEED, dan GBCI



Figur 11. Grafik *Average Daylight Factor* pada Kondisi Eksisting Atrium Mall Festival Citylink

Karakter nilai *average daylight factor* berdasarkan grafik di atas memiliki sifat yang cenderung linear. Terutama pada lantai dasar dan lantai 1, serta lantai 3 dan lantai 3A. Hal ini disebabkan oleh fasad atrium yang cenderung sama dan datar tanpa adanya perbedaan ukuran, sehingga karakter perubahan nilai *average daylight factor* pun menjadi kurang signifikan. Namun yang menarik, pada lantai 2, di mana lantai atasnya merupakan salah satu bentuk *stepped atrium* (atrium yang lantai ruangan sekitarnya dibuat lebih mundur atau lebih maju dari lantai di bawahnya), nilai *average daylight factor* mengalami kenaikan yang signifikan sebagaimana yang tergambar pada grafik di atas. Dari nilai *average daylight factor* di lantai 1 yang hanya sebesar 1,20%, kemudian mengalami lonjakan pada lantai 2 sebesar 7,92%. Oleh sebab itu, dapat diketahui bahwa maju atau mundurnya ruangan sekitar atrium memiliki pengaruh yang besar terhadap performa pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium.

Lebih lanjut lagi, performa pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium Mall Festival Citylink dianalisis menggunakan ukuran jarak jangkauan nilai *daylight factor* per 50 cm. Namun hasil jangkauan nilai *daylight factor* ini masih belum memenuhi standar LEED yang menghendaki nilai *daylight factor* 2% dapat menjangkau minimal 75% dari ruangan sekitar atrium. Misalnya pada lantai 1, nilai *daylight factor* 2% hanya mampu menjangkau kedalaman 1,2 meter dari total 3,5 meter lebar ruangan sekitar atrium atau sebesar 34% dan pada lantai dasar, nilai *daylight factor* 2% hanya mampu menjangkau kedalaman 0,7 meter dari total 3,5 meter lebar ruangan sekitar atrium atau sebesar 20%.



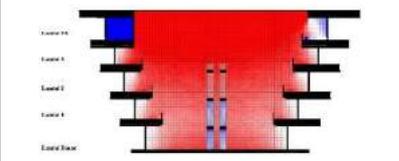
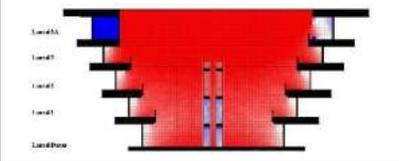
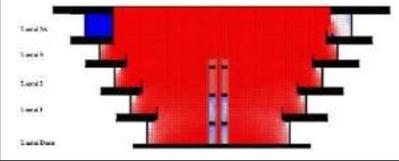
Figur 12. Grafik jangkauan nilai *daylight factor* pada kondisi eksisting

4.1.2 PENGARUH KEMIRINGAN ATRIUM TERHADAP PERFORMA PENCAHAYAAN ALAMI PADA RUANGAN SEKITAR ATRIUM

Perubahan setiap kemiringan atrium yang diujikan pada penelitian ini memiliki pengaruh langsung terhadap perubahan radius bukaan atap yang berdampak pada penurunan nilai *Well Index* dan peningkatan nilai *Well Efficiency* sebagai bagian dari properti geometri atrium. Sebagai perbandingan, dampak perubahan setiap variabel kemiringan atrium yang diujikan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. Dampak perubahan setiap variabel kemiringan atrium

Perubahan Kemiringan Atrium	Ilustrasi	Radius Dasar Atrium (m)	Radius Bukaan Atap (m)	Well Index (WI)	Well Efficiency (WE)
0°		8 m	8 m	1,44	0,25
5°			10,01 m	1,04	0,29
10°			12,06 m	0,81	0,36
15°			14,16 m	0,66	0,44

20°		16,37 m	0,56	0,51
25°		18,73 m	0,48	0,58
30°		21,28 m	0,43	0,66

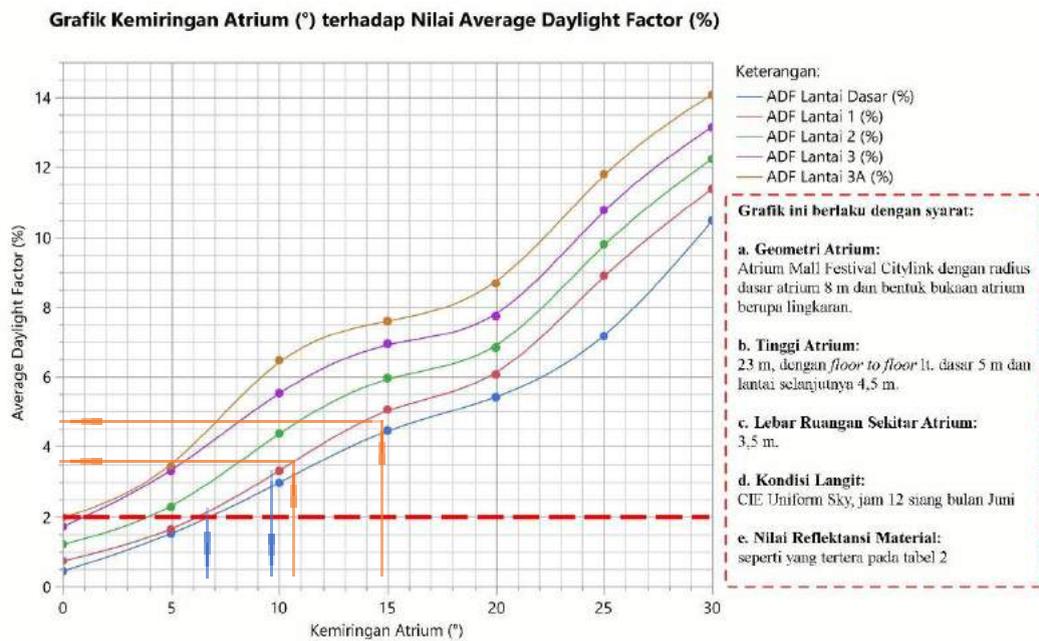
Dengan radius dasar atrium yang sama, peningkatan kemiringan atrium akan berbanding lurus terhadap peningkatan radius bukaan atrium dan perolehan nilai *well efficiency*, namun berbanding terbalik terhadap perolehan nilai *well index*.

Hasil simulasi pada setiap perubahan kemiringan atrium tersebut dirangkum dalam dua buah grafik *scatterplot* yang menyatakan hubungan antara kemiringan atrium terhadap nilai *average daylight factor* dan hubungan antara kemiringan atrium terhadap presentase jangkauan *daylight factor*. Grafik tersebut kemudian dibandingkan dengan standar BREEAM (*average daylight factor* 2%) dan standar LEED (presentase jangkauan *daylight factor* 2% sebesar 75% dari total ruangan di setiap lantai). Standar tersebut ditandai dengan garis putus-putus warna merah (untuk standar BREEAM pada Figur 13, sementara untuk standar LEED pada Figur 14). Dari titik-titik potong antara kurva dan garis standar tersebut didapat kemiringan atrium minimal dan kemiringan atrium yang disarankan agar pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium Mall Festival Citylink memenuhi standar BREEAM dan LEED. Kemiringan atrium minimal merupakan nilai kemiringan atrium yang berada di tengah-tengah skala kemiringan yang diujikan (dalam hal ini berarti nilai kemiringan di tengah 0° hingga 5°, 5° hingga 10°, dan seterusnya hingga kemiringan 30°). Nilai kemiringan minimal ini masih perlu diujikan kembali untuk memastikan minimnya penyimpangan pada kurva. Sementara nilai kemiringan atrium yang disarankan merupakan nilai kemiringan yang telah diujikan sebagai variabel independen (kelipatan 5°, mulai dari 0° hingga 30°), yang sudah dapat dipastikan validitasnya untuk menghasilkan tingkat pencahayaan alami sesuai standar BREEAM dan LEED.

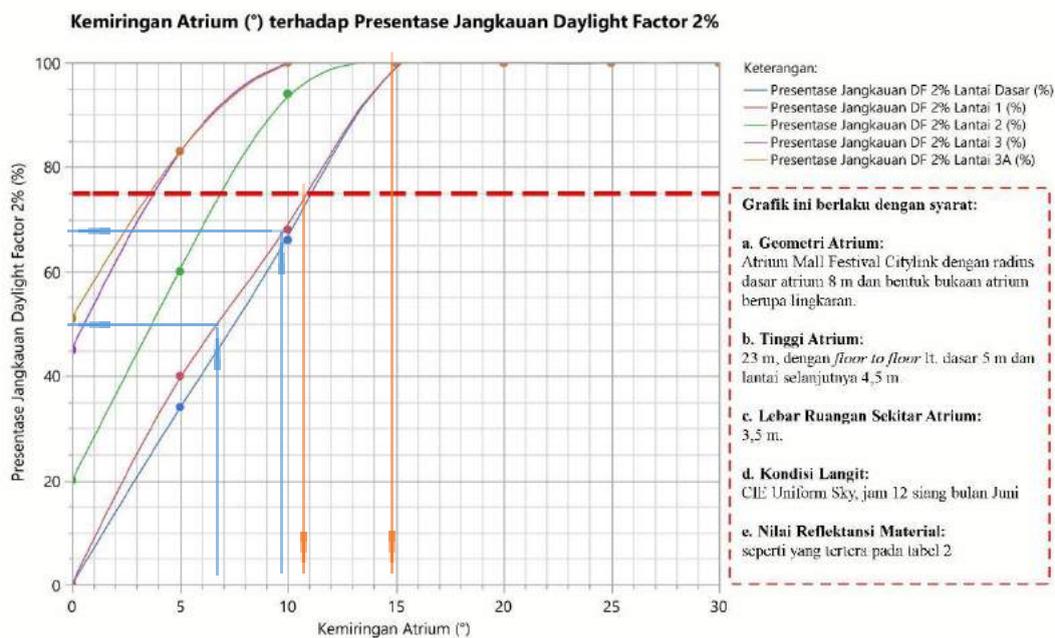
Apabila dibandingkan dengan standar BREEAM, agar nilai *average daylight factor* 2% dapat menjangkau hingga lantai dasar ruangan sekitar atrium, maka dibutuhkan kemiringan atrium minimal 7° atau kemiringan yang disarankan 10° sebagaimana yang ditunjukkan panah biru pada Figur 13. Akan tetapi, besar kemiringan 7° ini, jika menggunakan grafik pada Figur 14 (panah biru), hanya mampu menjangkau 47,5% dari ruangan sekitar atriumnya dan pada kemiringan 10° hanya mampu menjangkau 66% dari ruangan sekitar atriumnya.

Namun apabila dibandingkan dengan standar LEED, agar dapat tercapai jangkauan *daylight factor* 2% mencakup 75% dari total ruangan sekitar atriumnya, maka dibutuhkan kemiringan atrium minimal 11° atau kemiringan yang disarankan 15° sebagaimana yang ditunjukkan panah merah pada Figur 14. Sebagai implikasi dari kemiringan atrium 11° dan

15°, maka akan didapat nilai *average daylight factor* yang melebihi standar BREEAM sebesar 2% (panah merah pada Figur 13).



Figur 13. Grafik kemiringan atrium (°) terhadap nilai *average daylight factor* (%)



Figur 14. Grafik kemiringan atrium (°) terhadap presentase jangkauan *daylight factor* 2%

Merangkum dari kedua kurva di atas, kemiringan atrium yang dapat digunakan untuk memenuhi standar BREEAM (*average daylight factor* 2%) pada setiap lantai di ruangan sekitar atrium dapat dilihat melalui tabel berikut.

Tabel 3. Kemiringan atrium minimal dan kemiringan atrium yang disarankan untuk *average daylight factor* 2%.

Jumlah Lantai (ketinggian dalam meter)	Batas Kemiringan Atrium Minimal (untuk ADF ≈ 2%)	Kemiringan Atrium yang Disarankan	Nilai <i>Average Daylight Factor</i> yang Dicapai dari Kemiringan Atrium yang Disarankan
1 lantai (4,5 m)	1°	5°	3,43%
2 lantai (9 m)	1°	5°	3,30%
3 lantai (13,5 m)	4°	5°	2,27%
4 lantai (18 m)	7°	10°	3,3%
5 lantai (23 m)	7°	10°	2,96%

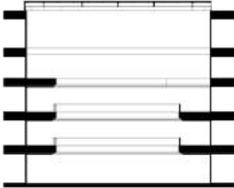
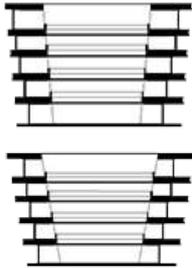
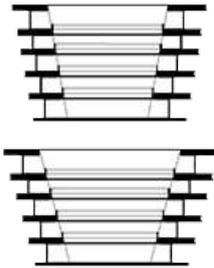
Sementara kemiringan atrium yang dapat digunakan untuk memenuhi standar LEED (jangkauan *daylight factor* 2% sebesar 75%) dapat dilihat melalui tabel berikut.

Tabel 4. Kemiringan atrium minimal dan kemiringan atrium yang disarankan untuk presentase jangkauan *daylight factor* 2% minimal 75%.

Jumlah Lantai (ketinggian dalam meter)	Batas Kemiringan Atrium Minimal (untuk presentase jangkauan DF ≈ 75%)	Kemiringan Atrium yang Disarankan	Presentase Jangkauan <i>Daylight Factor</i> 2% yang Dicapai dari Kemiringan Atrium yang Disarankan
1 lantai (4,5 m)	4°	5°	82,5%
2 lantai (9 m)	4°	5°	82,5%
3 lantai (13,5 m)	7°	10°	90%
4 lantai (18 m)	11°	15°	100%
5 lantai (23 m)	11°	15°	100%

Apabila dibandingkan antara hasil pengujian kondisi eksisting bersama hasil simulasi kemiringan atrium berdasarkan standar BREEAM maupun LEED akan diperoleh tabel perbandingan sebagai berikut.

Tabel 4. Perbandingan kemiringan atrium yang dibutuhkan berdasarkan standar

	Kondisi Eksisting	Standar BREEAM	Standar LEED
Kebutuhan kemiringan atrium		 7° ~ 10°	 11° ~ 15°
Radius Dasar Atrium	8 m		
Radius Bukaannya	8 & 12 m	10,82 m ~ 12,06 m	12,47 m ~ 14,16 m
Nilai ADF (sampai di lantai dasar)	0,86%	2% ~ 2,96%	3,25 ~ 4,46%
Presentase Jangkauan DF (sampai di lantai dasar)	20%	47,5% ~ 66%	75% ~ 100%

Pada penelitian ini, suatu performa pencahayaan alami dikatakan baik apabila memenuhi standar BREEAM maupun standar LEED. Oleh sebab itu, agar seluruh lantai pada objek studi atrium Mall Festival Citylink dan ruangan sekitarnya memenuhi kriteria performa

pencahayaannya alami yang disyaratkan, maka dibutuhkan kemiringan atrium minimal 11° atau kemiringan yang disarankan 15° .

4.1.3 KORELASI ANTARA KEMIRINGAN ATRIUM TERHADAP PERFORMA PENCAHAYAAN ALAMI PADA RUANGAN SEKITAR ATRIUM

Korelasi antara kemiringan atrium dan komponennya (*well index* dan *well efficiency*) terhadap variabel dependen berupa nilai *average daylight factor* dan presentase jangkauan *daylight factor* 2% diujikan secara terpisah melalui pengujian *bivariate fit* pada program JMP. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kekuatan korelasi antar variabel tersebut serta untuk mengetahui hubungan yang terjadi di dalamnya.

Kemiringan atrium terhadap nilai *well efficiency* memiliki korelasi yang linear atau berbanding lurus. Kenaikan yang terjadi pada kemiringan atrium akan memengaruhi kenaikan nilai *well efficiency*. Jika dikehendaki nilai *well efficiency* yang besar, maka dibutuhkan kemiringan atrium yang besar pula. Nilai *well efficiency* merupakan indikasi seberapa efisien atrium tersebut dalam menyalurkan pencahayaan alami ke dasar atrium, yang secara langsung berdampak pada ruangan sekitarnya. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa antara kemiringan atrium, *well efficiency*, dan performa pencahayaan alami pada ruangan sekitar atrium memiliki korelasi yang saling linear.

Akan tetapi, kemiringan atrium terhadap *well index* memiliki korelasi yang berbanding terbalik. Kenaikan yang terjadi pada kemiringan atrium akan menurunkan nilai *well index*-nya. Hal ini disebabkan karena *well index* merupakan perbandingan antara luas selubung atrium terhadap 4 x luas bukaan atap atrium. Sehingga semakin miring suatu atrium dan semakin besar radius bukaannya, akan mengakibatkan semakin kecilnya hasil perbandingan tersebut. Jika melihat korelasi nilai komponen kemiringan atrium sebelumnya, maka dapat diketahui bahwa kemiringan atrium yang besar, yang mengimplikasikan nilai *well efficiency* yang besar pula, akan berdampak pada nilai *well index* yang kecil, namun performa pencahayaan alami pada atrium dan ruangan sekitarnya akan semakin baik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, analisis, dan evaluasi yang telah dilakukan, didapat kesimpulan bahwa kondisi eksisting ruangan sekitar atrium Mall Festival Citylink masih belum seluruhnya memenuhi standar BREEAM maupun standar LEED. Agar seluruh tingkat lantai pada objek studi mendapatkan kuantitas *average daylight factor* yang ideal sebesar 2% sesuai dengan standar BREEAM, maka dibutuhkan kemiringan atrium minimal 7° atau kemiringan yang disarankan 10° . Sedangkan untuk memenuhi standar presentase jangkauan *daylight factor* 2% sejauh 75% sesuai dengan LEED, maka dibutuhkan kemiringan atrium minimal 11° atau kemiringan yang disarankan 15° . Pada penelitian ini, kemiringan atrium 11° atau 15° diambil sebagai kemiringan yang tepat karena dapat memenuhi kriteria performa pencahayaan alami yang disyaratkan baik dari BREEAM maupun LEED.

Pengujian sejumlah variabel kemiringan atrium terhadap kaitannya dengan nilai *average daylight factor* dan presentase jangkauan *daylight factor* pada ruang sekitar atrium disajikan pada sebuah grafik *scatterplot*. Tren umum dari hubungan ini adalah:

- (1) Semakin besar kemiringan atrium, maka semakin besar pula nilai *average daylight factor* yang dimiliki pada setiap lantai ruangan sekitar atrium dan

semakin besar pula presentase jangkauan *daylight factor* 2% yang masuk ke ruangan sekitar atrium serta,

- (2) Semakin dangkal kedalaman lantai bangunan atau semakin sedikit jumlah lantai bangunan, semakin kecil derajat kemiringan atrium yang diperlukan untuk mendapatkan nilai *average daylight factor* yang sesuai standar dan semakin mudah ruangan sekitar atrium dalam memperoleh presentase jangkauan *daylight factor* 2% yang lebih besar.

Pada setiap perubahan kemiringan atrium, secara otomatis akan memengaruhi perubahan nilai *Well Index* dan *Well Efficiency* sebagai ukuran-ukuran matematis yang berhubungan dengan geometri atrium. Kemiringan atrium memiliki hubungan linear terhadap nilai *Well Efficiency*, namun memiliki hubungan berbanding terbalik dengan *Well Index*. Kemiringan atrium yang besar akan menyebabkan nilai *Well Efficiency* yang besar namun dengan nilai *Well Index* yang kecil, yang mengindikasikan baiknya kuantitas cahaya alami yang masuk ke ruangan sekitar atrium. Sebaliknya, kemiringan atrium yang kecil akan menyebabkan nilai *Well Efficiency* yang kecil namun dengan nilai *Well Index* yang besar, yang mengindikasikan buruknya kuantitas cahaya alami yang masuk ke ruangan sekitar atrium. Secara sederhana, korelasi antara kemiringan atrium, kuantitas pencahayaan alami yang masuk ke ruangnya, dan ukuran matematis yang berhubungan dengan geometri atrium dapat diungkapkan ke dalam persamaan berikut:

$$\text{Kemiringan Atrium} \approx \frac{1}{\text{Well Index}} \approx \text{Well Efficiency} \approx \text{Nilai ADF} \approx \text{Presentase Jangkauan DF}$$

Hubungan antar variabel penelitian ini merupakan hubungan yang hanya berlaku pada atrium berbentuk *V form*. Kekuatan korelasi yang telah diujikan melalui program JMP pun merupakan korelasi yang hanya berlaku pada atrium jenis ini.

Penutup

Penelitian mengenai “*Pengaruh Kemiringan Atrium terhadap Performa Pencahayaan Alami pada Ruangan Sekitar Atrium*” ini tentunya masih belum sempurna karena berbagai kendala selama proses penelitian serta jangka waktu penelitian yang terbatas. Selanjutnya, penelitian ini dapat dikembangkan dengan cara menambahkan parameter tertentu yang memengaruhi properti geometri atrium, seperti ketinggian atrium dan radius atrium, sehingga didapat formula-formula yang menyatakan korelasi antar parameter-parameter tersebut. Pengembangan penggunaan metode analisis statistik pun tidak kalah penting untuk dilakukan guna membantu peneliti studi parametrik arsitektur dalam menganalisis data hasil penelitian sehingga hasil penelitian menjadi lebih valid.

6. DAFTAR PUSTAKA

Buku

Egan, M. D., Olgyay, V. 2002. *Architectural lighting*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill Higher Education.

- Kolarevic, Branko., Malkawi, Ali. 2005. *Performative Architecture Beyond Instrumentality*. Spoon Press: New York.
- Lechner, Norbert. 1991. *Heating, Cooling and Lighting: Design Methods for Architects*. New York: Wiley.
- Nick Baker, Koen Steemer. 2002. *Daylight Design of Buildings: A Handbook for Architects and Engineers*. James & James (Science Publisher).
- Susanto, Angeline. 2019. *Pengaruh Proporsi Atrium terhadap Performa Pencahayaan Alami Siang Hari pada Rusunawa Rancacili*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Fakultas Teknik. Universitas Katolik Parahyangan: Bandung.

Jurnal

- Erlendsson, Orn. 2014. *Daylight Optimization: A Parametric Study of Atrium Design*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology. M.Sc.
- Ferreira, T., Bournas, I., Dubois, MC. 2019. Effect of Atrium Geometry and Reflectance on Daylighting in Adjacent Rooms. *Journal of Physics: Conference Series* 1343.
- Ghasemi, M., Kandar, M. Z., & Noroozi, M. (2016). Investigating the Effect of Well Geometry on the Daylight Performance in the Adjoining Spaces of Vertical top-lit Atrium Buildings. *Indoor and Built Environment*, 25(6), 934-948.
- Hung, W., & Chow, W. (2011). A Review on Architectural Aspects of Atrium. *Architectural Science Review*, 285-296.
- Littlefair, Paul. 2002. *Daylight Prediction in Atrium Building*. *Solar Eenergy*. 73(2):105-109. Juni, 12.
- Samant, S. (2010). A critical review of articles published on atrium geometry and surface reflectances on daylighting in an atrium and its adjoining spaces. *Archit Sci Rev*, 53(2), 145-156.
- Samant, Swinal R. 2011. *A Parametric Investigation of the Influence of Atrium Facades on the Daylight Performance of Atrium Buildings*. Nottingham: University of Nottingham. Ph.d.
- Satwiko, P. (2004). *Fisika Bangunan I*. Yogyakarta: Andi.
- Sharples, S., & Lash, D. (2007). Daylight in Atrium Buildings : A Critical Review. *Architectural Science Review*, 50, 301-312.
- Short, C. Alan. 2017. *The Recovery of Natural Environments in Architecture: Air, Comfort, and Climate*. New York: Routledge.
- Zhao, Wei., Kang, Jian., Jin, Hong. 2014. Architectural Factors Influenced on Physical Environment in Atrium. *Renewable Energy in the Service of Mankind*, 1(35):391-404.

Internet

- BREEAM. 2016. *Hea 01 Visual Comfort (All Buildings)*. [Online]. Available: https://www.breeam.com/BREEAMIntNDR2016SchemeDocument/content/05_health/hea_01_nc.htm [5 Februari 2020]
- CLEAR. 2020. *Sky Types*. [Online]. Available: https://www.new-learn.info/packages/clear/visual/daylight/sun_sky/sky_types.html. [7 April 2020]
- USGBC. 2020. *Daylight*. [Online]. Available: <https://www.usgbc.org/credits/eq8> [4 April 2020]

Geometry. Merriam-Webster Dictionary. [Online]. Available:
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/geometry#synonyms> [11 Mei 2020]

Ratio. Merriam-Webster Dictionary. [Online]. Available:
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/ratio>. [11 Mei 2020]