

PENGARUH UKURAN JENDELA DAN WINDOW TO WALL RATIO (WWR) TERHADAP INTENSITAS PENCAHAYAAN ALAMI PADA RUANG KELAS (Studi Kasus: SDN 2 Mlati, Sleman, Yogyakarta)

Intan Mahardika Ikhsani¹, Sugini², dan Isyryn Yus Fauziah³

¹Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia

¹Surel: 19512005@students.uii.ac.id

ABSTRAK: *Isu mengenai global warming dan krisis energi semakin marak, salah satu upaya menangani hal tersebut adalah mengusung konsep sustainable architecture dengan pengoptimalan pencahayaan alami dengan memanfaatkan sinar matahari terutama untuk bangunan komersil seperti sekolah. Pencahayaan alami yang baik dapat mengurangi beban listrik dan menunjang konsentrasi serta semangat belajar di sekolah. Namun beberapa sekolah masih belum memenuhi kriteria tersebut, salah satunya SDN 2 Mlati di Sleman, Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran jendela dan window to wall ratio (WWR) terhadap intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas 3 SDN 2 Mlati yang digunakan sebagai sampel. Diharapkan penelitian ini akan didapatkan konfigurasi ukuran jendela dan nilai WWR yang optimal untuk diterapkan pada kasus bangunan lainnya. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan metode simulasi menggunakan software Velux Daylight Visualizer 3. Dari hasil penelitian didapatkan 2 model yang memenuhi standar SNI yakni memiliki rata-rata intensitas cahaya sebesar 294,5 lux dan 300,6 lux namun masih belum maksimal dalam hal distribusi cahaya dalam ruang.*

Kata kunci: pencahayaan alami, ruang kelas, ukuran jendela, window to wall ratio

PENDAHULUAN

Isu mengenai pemanasan global atau sering disebut juga *global warming* semakin marak diperbincangkan belakangan ini. Penggunaan energi secara berlebihan, misalnya pemborosan listrik, merupakan salah satu pemicu munculnya masalah global warming ini. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), konsumsi listrik di Indonesia terus meningkat. Pada tahun 2021 lalu, data konsumsi listrik di Indonesia mencapai 1.109kWh per kapita. Beberapa upaya dapat dilakukan guna mengurangi penggunaan energi secara berlebihan, dalam dunia arsitektur sendiri dapat dimulai dengan menerapkan konsep *sustainable architecture* atau arsitektur berkelanjutan dimana tujuan utama dari *sustainable architecture* ini adalah untuk meminimalisir dampak negatif lingkungan bangunan dengan efisiensi dan moderasi dalam penggunaan bahan, energi, dan ruang pengembangan serta ekosistem secara luas.

Upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk menciptakan bangunan dengan konsep *sustainable architecture* antara lain penghematan listrik, pengkondisian udara, efisiensi penggunaan air, efisiensi penggunaan lahan, serta efisiensi penggunaan material. Dalam hal menangani penggunaan energi berlebihan yang dapat menyebabkan *global warming*, dapat dimulai dengan penghematan listrik salah satunya dengan pemanfaatan pencahayaan alami.

Pencahayaan alami menjadi salah satu faktor penting dalam desain bangunan serta merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh sistem pencahayaan bangunan (P. Manurung, 2012). Pencahayaan alami merupakan dasar dari desain bangunan, tanpa terkecuali bangunan sekolah. Sekolah sangat membutuhkan pencahayaan alami sebagai penunjang sarana pendidikan dan pembelajaran.

Penelitian ini akan menggunakan salah satu bangunan sekolah yang terletak di Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta yaitu SDN 2 Mlati sebagai studi kasus. Permasalahan yang terjadi pada ruang kelas di SDN 2 Mlati ini yaitu jendela hanya terdapat pada salah satu sisi bangunan sehingga pencahayaan yang masuk sangat minim. Padahal menurut (ASHRAE, 2008), pencahayaan sangat penting untuk desain sekolah yang hemat energi dan berkelanjutan. Pemanfaatan sinar matahari adalah pencahayaan alami yang efektif untuk menyeimbangkan beban penggunaan cahaya buatan yang memerlukan listrik. Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa pencahayaan alami menggunakan sinar matahari juga dapat meningkatkan semangat belajar. Ruang kelas atau ruang pembelajaran merupakan bagian terpenting dari kegiatan belajar mengajar dan harus memenuhi persyaratan standar sistem pencahayaan yang sesuai agar kondisinya lebih optimal dan nyaman (N. L. Latifah, 2015). Kondisi ruang kelas sebagai prasarana sekolah diatur dalam Peraturan Menteri Pendidikan Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang sarana dan prasarana sekolah. Syarat-syarat yang harus dipenuhi yaitu sirkulasi, luas minimum, dan pencahayaan. Berdasarkan (SNI 03-2396-2001, 2001) tentang konservasi energi pada sistem pencahayaan, persyaratan penerangan minimal yang harus dipenuhi oleh suatu ruang kelas yaitu sebesar 250 lux.

Faktor yang mempengaruhi kuat intensitas cahaya, distribusi, dan penetrasi pencahayaan alami dari sinar matahari yang utama yaitu kondisi langit. Kualitas pencahayaan alami yang baik juga tidak lepas dari distribusi cahaya yang masuk melalui bukaan atau jendela, orientasi arah bukaan, letak bukaan terhadap arah datangnya sinar matahari, ketinggian efektif jendela dan luas permukaan kaca (*window to wall ratio*). Semakin lebar bukaan, semakin banyak cahaya yang masuk. Menurut (SNI 03-2396-2001, 2001), pencahayaan alami dapat dianggap baik apabila memenuhi hal-hal berikut: (a) Pada siang hari sekitar pukul 08.00 hingga 16.00 waktu setempat terdapat cukup banyak cahaya yang masuk ke dalam ruangan, (b) Pendistribusian cahaya di dalam ruang merata dan tidak menimbulkan kontras yang mengganggu.

Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada bagaimana pengaruh ukuran jendela dan perbandingan luas permukaan kaca terhadap dinding (*window to wall ratio*) terhadap intensitas pencahayaan alami pada bangunan sekolah dengan studi kasus SDN 2 Mlati. Diharapkan dari penelitian ini akan didapatkan konfigurasi ukuran jendela dan luas permukaan kaca yang efektif bagi pencahayaan di dalam ruang kelas agar dapat diterapkan pada bangunan sekolah lainnya.

STUDI PUSTAKA

1. *Sustainable Architecture*

Sustainable architecture atau sering disebut juga arsitektur berkelanjutan merupakan konsep arsitektur yang membantu meminimalisir dampak negatif yang dihasilkan suatu bangunan terhadap lingkungan. Istilah *sustainable* sering juga dikenal sebagai arsitektur hijau. Menurut (Amin et al., 2019) *sustainable architecture* atau arsitektur berkelanjutan adalah pendekatan yang mencakup aspek ekologi, ekonomi dan sosial. Perencanaan dan desain tidak hanya berfokus pada kelestarian dan keseimbangan lingkungan, tetapi juga pada keberlanjutan sosial dan ekonomi kawasan. Pengembangan *sustainable building design* terdiri dari *hybrid architecture*, *green architecture*, *tropical architecture*, dan *bioclimatic architecture*. Untuk *green architecture* sendiri, fokus utamanya yaitu penghematan energi suatu bangunan, menciptakan *eco design* dan mempertahankan sumber daya alam agar bertahan lebih lama. Perangkat penilaian di Indonesia yang digunakan oleh pemerintah yaitu PUPR dan BGH, sementara pemerintah swasta yakni GBCI dan GreenShip/Edge dengan 7 kriteria tahapan perencanaan yakni pertama pengelolaan tapak, efisiensi penggunaan energi, efisiensi penggunaan air, kualitas udara dalam ruang, material ramah lingkungan, pengelolaan sampah, dan pengelolaan air limbah. Upaya yang dapat dilakukan untuk menciptakan *sustainable architecture* antara lain dengan

penghematan listrik, pengondisian udara, penggunaan air, penggunaan lahan, dan penggunaan material. (Supriyanta, 2022).

2. Jendela

Bukaan pada bangunan dapat berupa jendela, pintu, dan ventilasi. Jendela adalah elemen suatu bangunan yang memungkinkan masuknya cahaya alami dari luar ke dalam bangunan. (Amin, Choirul, 2010). Jendela merupakan suatu bentuk perlubangan pada dinding yang biasanya dilengkapi tralis atau *sun shading* yang memungkinkan masuknya cahaya alami dari sinar matahari ataupun sirkulasi udara dari luar ke dalam bangunan (Bebhi, Adila Susanti, 2014). Sedangkan menurut (Daryanto & S., 2012) , jendela merupakan salah satu komponen yang berhubungan langsung dengan aspek pencahayaan dan penghawaan. Ukuran jendela merupakan faktor yang dapat memodifikasi iklim luar ke dalam ruangan. Oleh karena itu, ruangan membutuhkan jendela untuk memasukan sinar matahari dan mendapat mendapatkan pencahayaan alami. Seperti yang disebutkan oleh (Asmulyani, 2013) bahwa jendela berkembang di semua wilayah dari waktu ke waktu, tetapi tujuan utamanya yakni memasukan sinar matahari. Keberadaan jendela untuk pencahayaan dan penghawaan alami juga dapat meminimalisir penggunaan listrik dalam suatu bangunan. Desain jendela dipengaruhi oleh lokasi, penempatan, dimensi, dan jenis atau model jendela yang dipilih.

3. Bentuk dan Ukuran Jendela

Menurut (Esa Dora, 2011), memperbesar ukuran bukaan yakni pintu, jendela, maupun ventilasi secara otomatis meningkatkan area masuknya cahaya dan pertukaran udara. Pada umumnya luas bukaan jendela adalah 1/6 sampai 1/8 dari luas lantai ditambah sedikitnya 1/3 dari luas jendela plafon. Secara keseluruhan, bukaan yang ideal adalah 40-80% dari total luas dinding, atau 10-20% dari total luas lantai. Karena bukaan berbentuk jendela, intensitas cahaya alami yang masuk tergantung pada jenis kaca yang digunakan. Selain kondisi langit, faktor yang mempengaruhi distribusi dan kedalaman penetrasi sinar matahari adalah orientasi jendela, posisi jendela di dinding, tinggi efektif jendela (dari ambang batas atas jendela), dan lebar (Subkiman et al., 2014). Menurut (Ashita et al., 2017), bukaan paling umum di samping sebuah ruangan adalah jendela. Perencanaan jendela harus dilakukan dengan hati-hati, karena perencanaan yang salah dapat menyebabkan silau dan suhu ruangan cenderung tinggi.

- a. Penempatan jendela harus tinggi di atas lantai dan ditempatkan secara merata (tidak hanya di satu sisi dinding) untuk menyebarkan cahaya secara merata.
- b. Jendela yang terlalu lebar seringkali tidak cocok digunakan di negara tropis karena ruangan terlalu panas dan silau.
- c. Perlindungan matahari dapat dilakukan dengan dua cara: menghalangi sinar matahari dan menyaring sinar matahari.

Menurut (Asmulyani, 2013), jendela terdapat berbagai jenis, ukuran, dan pilihan yang tidak hanya mempengaruhi tampilan eksterior bangunan, tetapi juga pencahayaan alami, ventilasi dan pemandangan potensial dari dalam bangunan. Beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam mendesain jendela adalah luas kaca (*window to wall ratio*), letak atau letak pada fasad, *sun shading*, dan bukaan untuk memberikan aliran udara.

4. Window to Wall Ratio (WWR)

Secara umum, *window to wall ratio* (WWR) adalah rasio atau perbandingan luas jendela terhadap luas dinding pada suatu bangunan. *Window to wall ratio* (WWR) juga bisa dikatakan sebagai presentase fasad yang ditempati oleh area kaca yang mampu memasukan cahaya ke dalam ruangan termasuk jendela. Dalam hal ini, hanya luas fasad yang dihitung, tidak termasuk luas permukaan atap. Luas jendela tersebut memengaruhi pemanasan, pendinginan, dan pencahayaan pada bangunan dalam hubungannya dengan akses masuknya sinar matahari, ventilasi, dan oemandangan baik dari dalam maupun dari luar. Jendela yang dimaksud dalam penelitian ini adalah jendela yang responsif terhadap iklim. Faktor iklim tersebut yaitu suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya. Menurut (Kerr, 2008)

tentang bagian fasad bangunan, jendela memiliki fungsi dalam hubungannya dengan ruang dalam terutama sebagai media untuk penetrasi cahaya alami dalam suatu ruangan. Rumus perhitungan *window to wall ratio* (WWR):

$$WWR = \frac{\text{Luas jendela pada satu bidang}}{\text{Luas permukaan dinding pada satu bidang}}$$

5. Prinsip Desain Pencahayaan Alami pada Bangunan Sekolah

Menurut (SNI 03-2396-2001, 2001), untuk ruangan dengan fungsi ruang kelas, tingkat pencahayaan yang direkomendasikan adalah 250 lux dengan kelompok renderasi warna 1 atau 2. Desain pencahayaan alami yang baik harus berkontribusi pada kenyamanan, produktivitas, kesehatan, kelestarian lingkungan, dan efektivitas biaya. Menurut (Leslie, 2010), ada tujuh prinsip untuk merancang cahaya alami pada bangunan sekolah. Tempatkan terlebih dahulu agar area lantai yang digunakan berada pada zona cahaya alami. Zona cahaya alami tipikal adalah 4,6m dari jendela ke dinding, atau seluruh lantai di bawah *skylight*. Kedua, hindari silau dan paparan sinar matahari yang berlebihan. Ketiga, coba jendela di bagian atas dinding agar lebih banyak cahaya yang masuk ke dalam ruangan. Keempat, cobalah untuk mendapatkan cahaya alami dari lebih dari satu sisi ruangan. Kelima, hindari sinar matahari langsung. Keenam, gunakan warna-warna cerah pada permukaan ruangan untuk mengurangi kontras kecerahan dan mendistribusikan cahaya secara merata. Terakhir, matikan lampu saat ada banyak cahaya alami.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan pendekatan kuantitatif, agar mampu mengidentifikasi pengaruh variasi bukaan dan orientasi bangunan terhadap pencahayaan alami dan intensitasnya secara terukur. Teknik pengukuran menggunakan simulasi *software* Velux Daylight Visualizer 3 dengan variabel sebagai berikut:

Tabel 1. Variabel dan Parameter

Variabel	Parameter	Indikator
Bukaan	<ul style="list-style-type: none"> Ukuran Jendela <i>Window to wall ratio</i> (WWR) 	<ul style="list-style-type: none"> Ukuran jendela yang digunakan sesuai SNI 03-0675-1989 mengenai spesifikasi ukuran kusen daun pintu dan daun jendela dari kayu. (Tabel ukuran terlampir di bawah) Menurut SNI 03-6197-2000, sebuah ruang sebaiknya memiliki rasio antara luas bukaan dengan luas ruang minimal 20%
Pencahayaan Alami	<ul style="list-style-type: none"> Intensitas Cahaya Ruang Kelas 	<ul style="list-style-type: none"> Intensitas cahaya dalam ruang kelas sebesar 250-300 lux menurut standar SNI 03-2396-2001

Sumber : Data Penulis, 2022

Tabel 2. Tabel Ukuran Daun Jendela Menurut SNI 03-0675-1989

	Tebal Jadi (mm)	Lebar Rangka (mm)	Lebar Daun (mm)	Tinggi Daun (mm)
Daun Jendela	30	60,80,100,120	520	112
	35		820	

Sumber : SNI 03-0675-1989

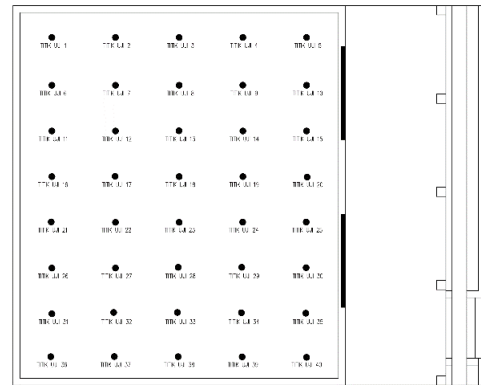
Pengambilan sampel dilakukan dengan metode sampling yang ditargetkan secara sengaja atau *purposive sampling*. Dengan kata lain, peneliti tidak menentukan sampelnya sendiri secara acak, melainkan peneliti memilih sendiri sampel yang akan digunakan. Pada penelitian ini yang digunakan sebagai sampel yakni ruang kelas 3 SDN 2 Mlati dengan orientasi bukaan menghadap ke timur.

Tabel 3. Variabel Kontrol

Variabel Kontrol	Keterangan
Lokasi	Sleman, Yogyakarta (latitude: -7.723, longitude: 110.36)
Kondisi Langit	Overcast
Orientasi	Timur
Material Ruangan	Dinding: bata plester, finishing cat hijau Penutup lantai: keramik 30×30cm warna terang Jendela: kaca standar 5mm, kusen kayu Pintu: kayu, kusen kayu
Tinggi Bukaan	Eksisting: ambang bawah minimal 120cm Model: ambang bawah minimal 85cm

Sumber : Data Penulis, 2022

Metode yang dilakukan untuk pengambilan data yakni melakukan observasi untuk mengambil data eksisting yang kemudian dilakukan pembuatan model baik itu model eksisting maupun model uji baru. Model uji pada penelitian ini berjumlah empat model dengan dengan ukuran jendela serta *window to wall* (WWR) yang berbeda untuk dilakukan uji pencahayaan alami dengan bantuan *software* Velux Daylight Visualizer 3. Pengujian dilakukan dengan mengambil empat puluh titik uji atau titik amatan seperti gambar di samping.



Gambar 1. Denah Titik Uji

Sumber : Ilustrasi Pribadi, 2022

Pengujian atau simulasi dilakukan dengan orientasi jendela berada di sebelah timur dengan ketinggian dan waktu yang berbeda yakni pada ketinggian 600mm, 1500mm, dan 2500mm. Waktu pengujian dilakukan pada saat proses belajar mengajar berlangsung, yakni pada 08.00, 12.00, dan 14.00 WIB. Namun pada penelitian ini nantinya hanya akan berfokus pada ketinggian amatan 600mm sesuai tinggi meja yang digunakan sebagai bidang kerja dan ketinggian 1500mm sejajar dengan tinggi manusia. Selain itu penelitian ini juga lebih fokus pada hasil pengujian pada pukul 12.00 karena jam tersebut adalah jam pelajaran setelah makan siang dimana biasanya jam rawan mengantuk bagi siswa sehingga pencahayaan dalam ruang kelas sangat berpengaruh agar ruang kelas tidak gelap dan tetap dapat menjaga konsentrasi serta semangat belajar siswa dalam kelas tersebut.

Kemudian untuk tahap analisis data menggunakan bantuan *software* SPSS untuk mendapatkan mean, modus dan diagram komparasi yang jelas dari setiap model uji baru dapat ditarik kesimpulan.

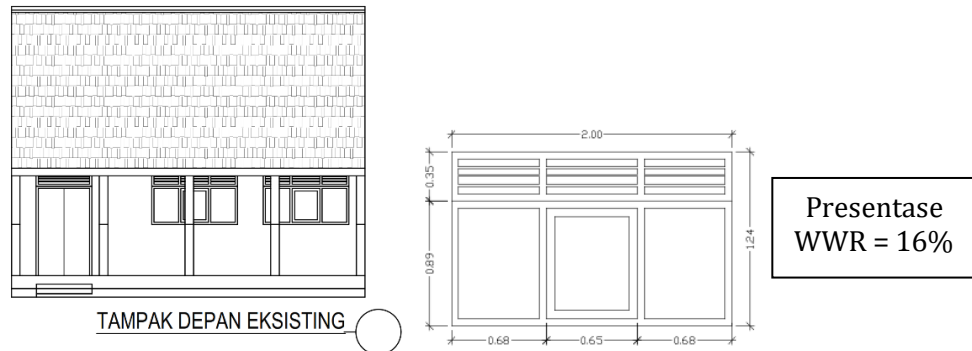
Hipotesis Penelitian:

1. Hipotesis Kerja (H1): Ukuran jendela dan *window to wall ratio* (WWR) mempengaruhi besar intensitas pencahayaan alami pada ruang kelas di SDN 2 Mlati.
2. Hipotesis Nol (H0): Ukuran jendela dan *window to wall ratio* (WWR) tidak mempengaruhi besar intensitas pencahayaan alami pada ruang kelas di SDN 2 Mlati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Simulasi Model Eksisting

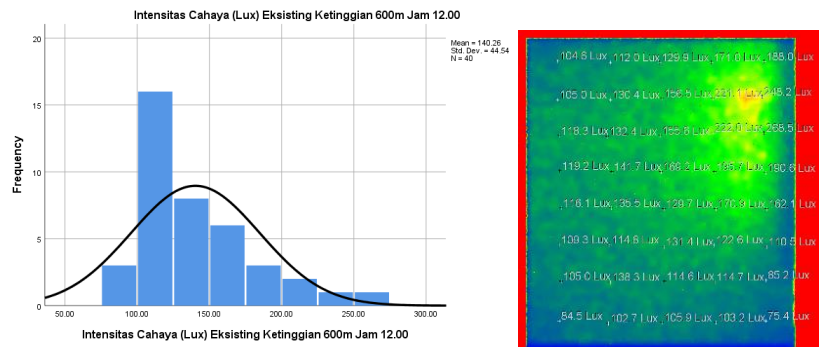
Penelitian ini mengambil sampel ruang kelas yang berada di SDN 2 Mlati yakni ruang kelas 3 untuk mewakili hasil uji intensitas pencahayaan alami karena kebanyakan ruang kelas pada bangunan ini setipe dan sama-sama memiliki orientasi bukaan ke arah timur. Kondisi model eksisting memiliki jendela berukuran 68cm; 65cm; 68cm× 89cm dengan model ventilasi di atasnya setinggi 35cm. Kemudian untuk kedudukan secara vertikal, jendela ini berada setinggi 120cm dari lantai dan nilai *window to wall ratio* (WWR) sebesar 16%.



Gambar 2. Model Uji Eksisting

Sumber : Ilustrasi Pribadi, 2022

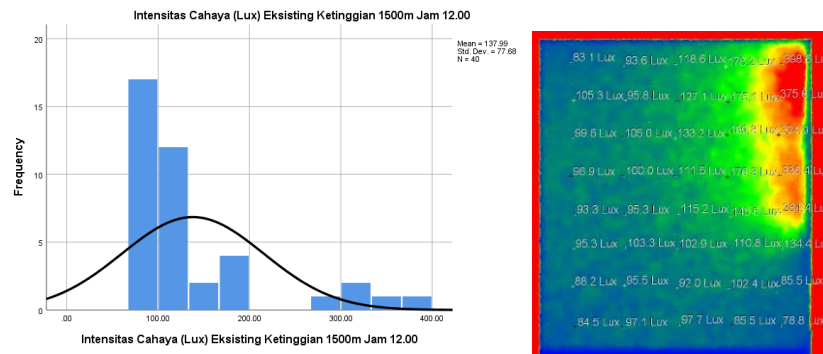
Data dari uji simulasi menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3 adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Hasil Uji Simulasi Eksisting Ketinggian 600mm Pukul 12.00 WIB

Sumber : Data Pribadi, 2022

Berdasarkan data di atas, hasil uji bangunan eksisting pada ketinggian 600mm sesuai bidang kerja pukul 12.00 menunjukkan bahwa rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas tersebut belum memenuhi standar SNI yakni 140,25 lux. Sedangkan standar intensitas cahaya untuk ruang kelas yaitu 250-300 lux. Nilai modus atau nilai intensitas cahaya yang paling banyak muncul yakni 105 lux, nilai terendah yaitu 75,40 lux, sedangkan nilai tertinggi yaitu 266,50 lux, sehingga didapati range antar nilai tertinggi dan terendahnya sebesar 191,10 lux, dan terakhir nilai median dari data ini yaitu 129,80 lux. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi cahaya dalam ruang kelas ini kurang merata, terlihat dari munculnya nilai tertinggi yang sudah mencapai standar SNI namun masih ada nilai terendah dan nilai modus yang masih jauh di bawah standar.

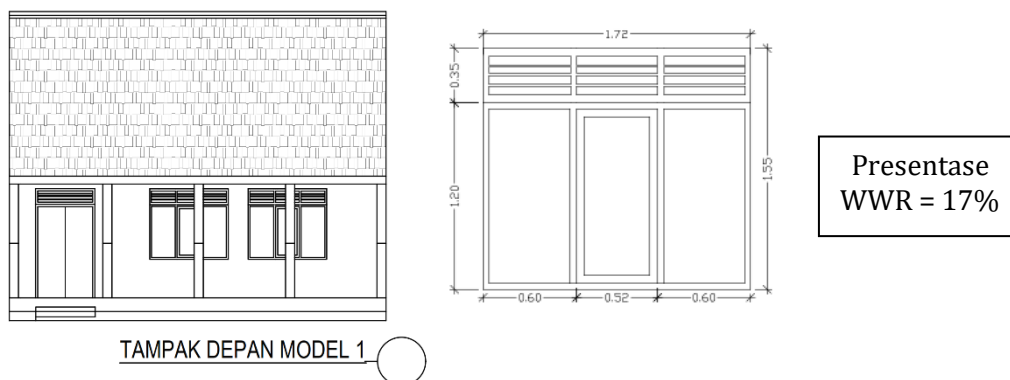


Gambar 4. Hasil Uji Simulasi Eksisting ketinggian 1500mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Hal yang sama terjadi pada ketinggian amatan 1500mm yang sejajar dengan tinggi manusia pada waktu yang sama pukul 12.00 didapati hasil bahwa rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas sebesar 137,99 lux, dengan nilai intensitas yang sering terjadi yakni 80,50 lux, nilai terendah yaitu 78,80 lux sedangkan nilai tertingginya yaitu 375,60 lux, sehingga range antara keduanya sebesar 296,80 lux, dan nilai mediannya yaitu 103,10 lux. Sehingga jika dijabarkan, bahwa nilai rata-rata dan modus yang muncul pada uji simulasi ini juga masih belum memenuhi standar SNI, distribusi cahaya juga kurang merata bahkan perbedaan antara nilai terendah yang masih sangat jauh dari standar dengan nilai tertinggi yang justru melebihi standar SNI yang ditetapkan sangat jauh.

2. Hasil Simulasi Model 1

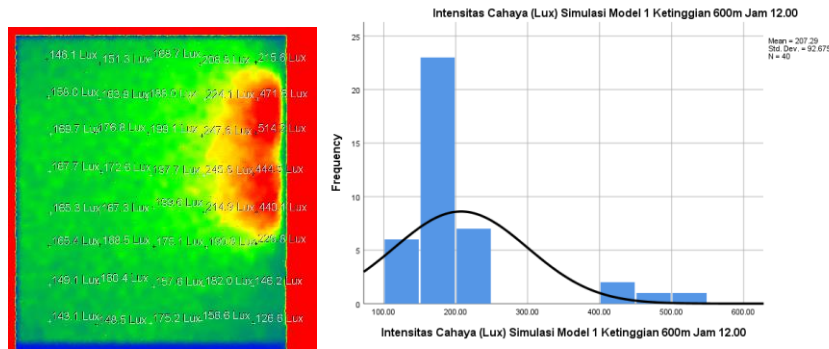
Pada model 1, jendela dibuat berukuran 60cm;52cm;60cm × 120cm dengan model ventilasi di atasnya setinggi 35cm. Hal ini berarti lebar jendela lebih kecil dibanding jendela pada model eksisting sebelumnya namun lebih tinggi. Kemudian untuk kedudukan secara vertikal, jendela ini berada setinggi 85cm dari lantai, berbeda dari kondisi eksisting sebelumnya yang berada setinggi 120cm dari lantai. Pada model ini rasio perbandingan antara luas jendela dengan luas permukaan dinding atau *window to wall ratio (WWR)* sebesar 17%.



TAMPAK DEPAN MODEL 1

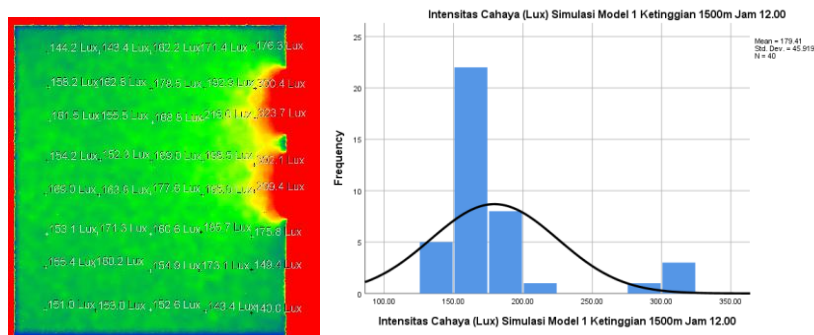
Gambar 5. Model Uji 1
Sumber : Ilustrasi Pribadi, 2022

Data dari uji simulasi menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3 adalah sebagai berikut:



Gambar 6. Hasil Uji Simulasi Model 1 ketinggian 600mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Dari hasil uji simulasi pada ketinggian 600mm pukul 12.00 rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas yakni sebesar 207,29 lux, masih belum memenuhi standar SNI. Nilai intensitas cahaya yang paling banyak muncul sama dengan nilai terendah yakni 126,60 lux, sedangkan nilai tertinggi yaitu 514,20 lux, melebihi standar SNI. Didapati range antar nilai tertinggi dan terendahnya sebesar 387,60 lux, dan terakhir nilai median dari data ini yaitu 173,85 lux. Distribusi cahaya pada model ini masih belum merata karena terdapat intensitas cahaya yang terlalu terang yakni 512,20 lux yang dapat menyebabkan silau.

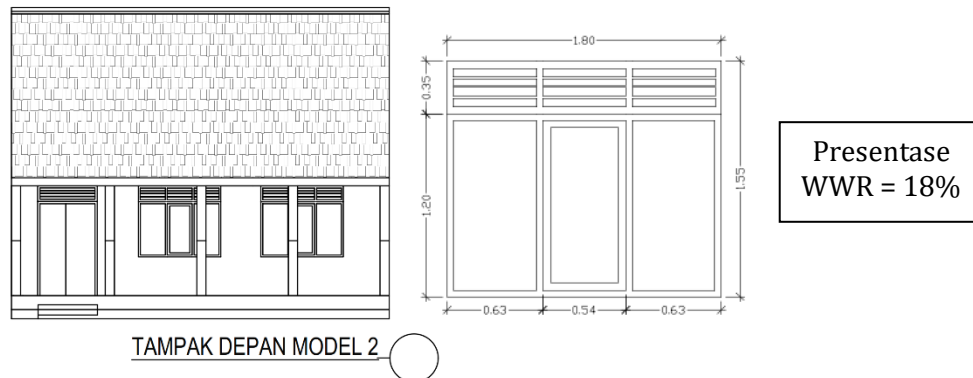


Gambar 7. Hasil Uji Simulasi Model 1 ketinggian 1500mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Sedangkan pada ketinggian amatan 1500mm yang sejajar dengan tinggi manusia pada waktu yang sama didapati hasil bahwa rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas tersebut 179,40 lux, dengan nilai intensitas yang sering terjadi yakni 143,40 lux, nilai terendah yaitu 140 lux sedangkan nilai tertingginya yaitu 323,70 lux. sehingga range antara keduanya sebesar 183,70 lux, dan nilai mediannya yaitu 163,30 lux. Hal ini juga menunjukkan bahwa distribusi cahaya pada model ini masih belum merata karena terdapat intensitas cahaya yang terlalu terang yakni 323,70 lux.

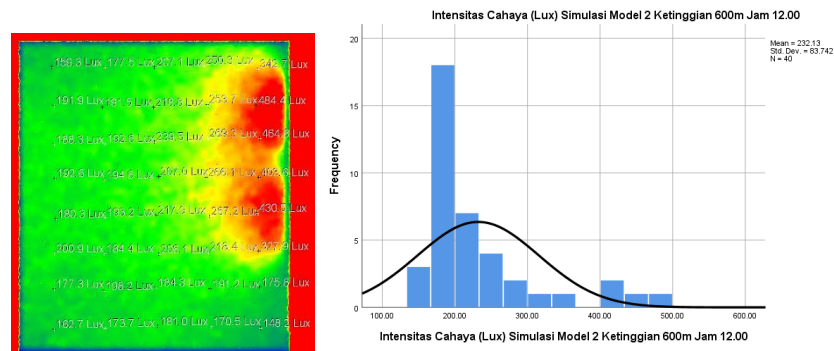
3. Hasil Simulasi Model 2

Jendela pada model 2 dibuat berukuran 63cm;54cm;63cm × 120cm dengan model ventilasi di atasnya setinggi 35cm. Kemudian untuk kedudukan secara vertikal, jendela ini berada setinggi 85cm dari lantai, sama seperti model sebelumnya. Rasio perbandingan antara luas jendela dengan luas permukaan dinding atau *window to wall ratio* (WWR) pada model 2 ini yaitu sebesar 18%.



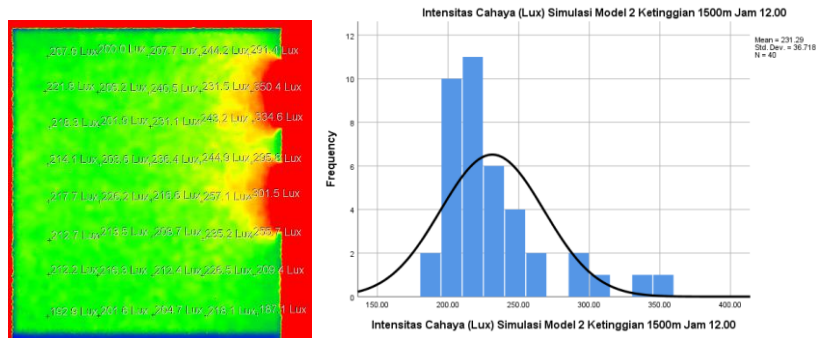
Gambar 8. Model Uji 2
Sumber : Ilustrasi Pribadi, 2022

Data dari uji simulasi menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3 adalah sebagai berikut:



Gambar 9. Hasil Uji Simulasi Model 2 ketinggian 600mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Hasil simulasi Velux menunjukkan model 2 pada ketinggian 600mm pukul 12.00 memiliki rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas yakni sebesar 232,13 lux, dengan nilai intensitas cahaya yang paling sering muncul yakni 192,60 lux, nilai terendah yaitu 148,20 lux sedangkan nilai tertinggi yaitu 488,40 lux, sehingga didapati range antar nilai tertinggi dan terendahnya sebesar 336,20 lux, dan terakhir nilai median dari data ini yaitu 196,40 lux. dapat dikatakan bahwa hasil rata-rata masih belum memenuhi standar namun sudah mendekati. Terkait distribusi cahaya juga masih kurang merata karena ada titik yang mengalami silau dgn nilai 488,40 lux.

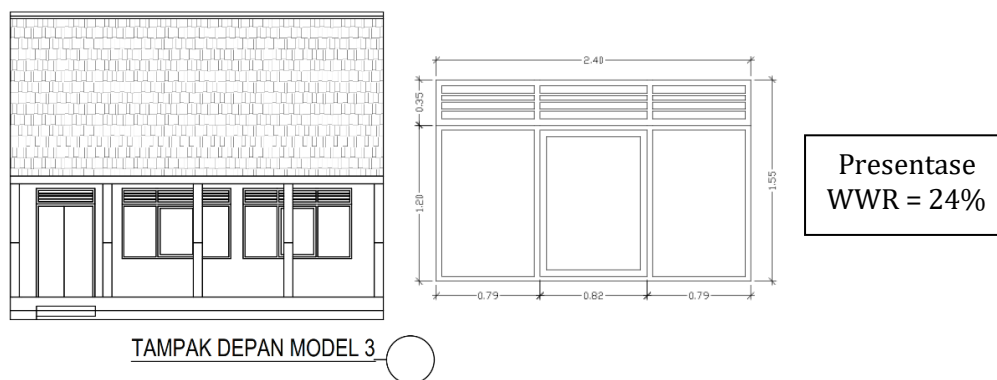


Gambar 10. Hasil Uji Simulasi Model 2 ketinggian 1500mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Sedangkan pada ketinggian 1500mm pada waktu yang sama yaitu pukul 12.00 didapati hasil bahwa rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas tersebut 231,29 lux, dengan nilai intensitas yang sering terjadi yakni nilai terendah dari hasil pengujian ini sebesar 187,10 lux, sedangkan nilai tertinggiya yaitu 350,40 lux, sehingga range antara keduanya sebesar 163,30 lux, dan nilai mediannya yaitu 217,90 lux. Pada ketinggian ini nilai rata-rata juga belum mencapai standar SNI namun nilai tertinggi juga sudah melebihi standar, artinya distribusi pencahayaan masih sama belum merata. Tetapi jika dibandingkan dari sebelumnya selisih nilai intensitas tertinggi yang terjadi dengan standar SNI tidak terlalu jauh.

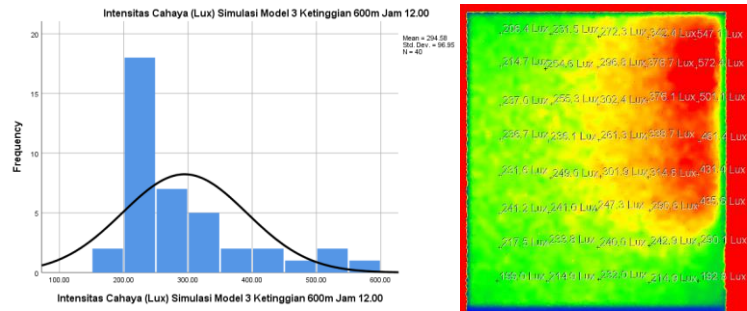
4. Hasil Simulasi Model 3

Model 3 memiliki ukuran jendela 79cm;82cm;79cm × 120cm dengan model ventilasi di atasnya setinggi 35cm. Kemudian untuk kedudukan secara vertikal, jendela ini masih sama seperti model sebelumnya yakni berada setinggi 85cm dari lantai dengan *Window to wall ratio* (WWR) sebesar 24%.



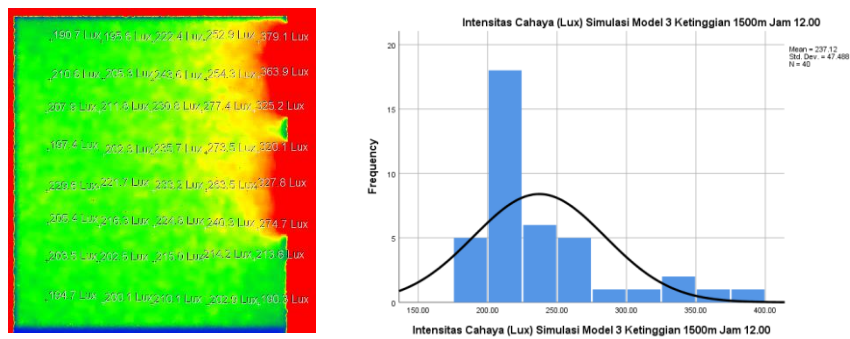
Gambar 11. Model Uji 3
Sumber : Ilustrasi Pribadi, 2022

Data dari uji simulasi menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3 adalah sebagai berikut:



Gambar 12. Hasil Uji Simulasi Model 3 ketinggian 600mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Hasil uji *software* Velux model 3 pada ketinggian 600mm pukul 12.00 menunjukkan bahwa memiliki rata-rata intensitas pencahayaan alami yakni sebesar 294,5 lux, dengan nilai intensitas cahaya yang paling sering muncul yakni 214,90 lux, nilai terendah yaitu 192,80 lux sedangkan nilai tertinggi yaitu 572,40 lux, sehingga didapati range sebesar 379,60 lux, dan terakhir nilai median dari data ini yaitu 251,80 lux. Hasil rata-rata pada ketinggian ini telah memenuhi standar SNI, namun nilai tertinggi pada titik yang terdapat dekat dengan jendela mengalami silau karena mencapai 572,40 lux.

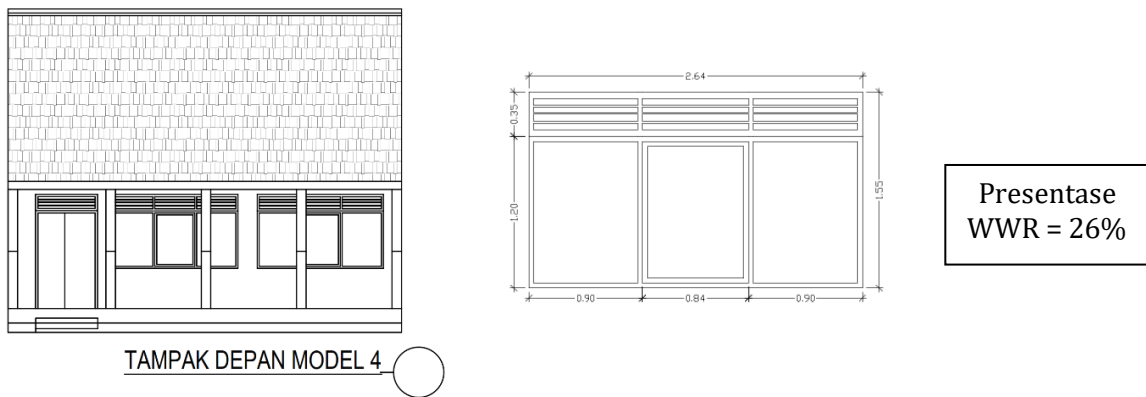


Gambar 12. Hasil Uji Simulasi Model 3 ketinggian 1500mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Sedangkan pada ketinggian 1500mm pada waktu yang sama didapati hasil bahwa rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas tersebut 237,11 lux, dengan nilai intensitas yang sering terjadi yakni 190,30 lux, nilai terendah yaitu 190,30 lux sedangkan nilai tertingginya yaitu 379,10 lux, sehingga range antara keduanya sebesar 188,80 lux dan nilai mediannya yaitu 219 lux. Pada ketinggian ini, rata-rata intensitas cahaya hampir mendekati standar SNI meskipun masih di bawah 250 lux. Namun baik dari ketinggian 600 dan 1500 sama-sama memiliki nilai tertinggi yang melebihi standar SNI dan dapat mengakibatkan silau.

5. Hasil Simulasi Model 4

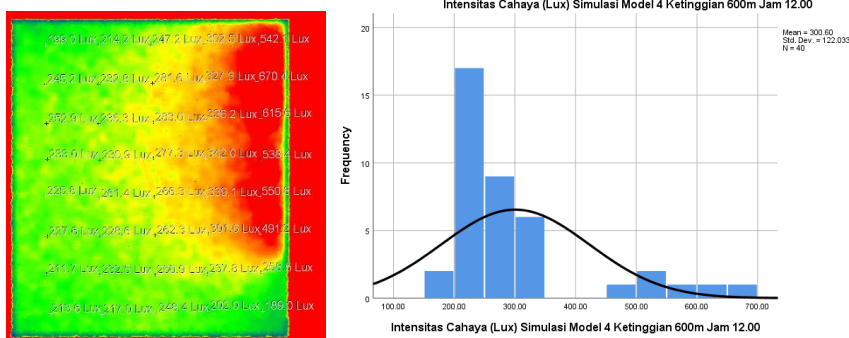
Pada model 4 ukuran jendela dibuat 90cm;84cm;90cm × 120cm dengan model ventilasi di atasnya setinggi 35cm. Kedudukan secara vertikal jendela model ini masih sama seperti model sebelumnya yakni setinggi 85cm dari lantai. Kemudian *window to wall ratio* (WWR) sebesar 26%.



TAMPAK DEPAN MODEL 4

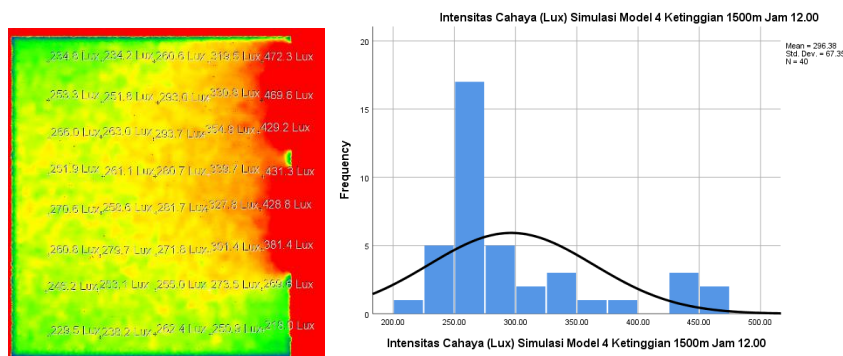
Gambar 13. Model Uji 4
Sumber : Ilustrasi Pribadi, 2022

Data dari uji simulasi menggunakan *software* Velux Daylight Visualizer 3 adalah sebagai berikut:



Gambar 14. Hasil Uji Simulasi Model 4 ketinggian 600mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Data hasil uji simulasi model 4 pada ketinggian 600mm pukul 12.00 memiliki rata-rata intensitas pencahayaan alami yakni sebesar 300,60 lux, dengan nilai intensitas cahaya yang paling sering muncul yakni sama dengan nilai terendah yakni 189 lux, sedangkan nilai tertinggi yaitu 670,40 lux, sehingga didapati range sebesar 481,40 lux, dan terakhir nilai median dari data ini yaitu 251,90 lux.



Gambar 14. Hasil Uji Simulasi Model 4 ketinggian 1500mm pukul 12.00 WIB
Sumber : Data Pribadi, 2022

Sedangkan pada ketinggian 1500mm pada waktu yang sama didapati hasil bahwa rata-rata intensitas pencahayaan alami dalam ruang kelas tersebut 296,38 lux, dengan nilai intensitas yang sering terjadi yakni 218 lux, nilai terendah yaitu 218 lux sedangkan nilai tertingginya yaitu 472,30 lux sehingga range antara keduanya sebesar 254,30 lux, dan nilai mediannya yaitu 270,10 lux. Pada model ini kedua ketinggian memiliki nilai rata-rata yang sudah memenuhi standar SNI.

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan menggunakan bantuan *software* Velux Daylight Visualizer 3 dan SPSS, menunjukkan hasil mengalami perubahan atau menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara eksisting dengan model uji. Dari keempat model dengan ukuran jendela dan WWR yang berbeda, semuanya mengalami perubahan dalam hal peningkatan intensitas cahaya alami yang masuk ke dalam ruangan. Hal ini sejalan dengan pendapat (Esa Dora, 2011) dan (Subkiman et al., 2014) bahwa memperbesar atau memperlebar ukuran bukaan akan meningkatkan area masuknya cahaya. Begitu pula dengan memperbesar perbandingan antara luas jendela dengan luas permukaan dinding atau *window to wall ratio* (WWR). Semakin besar luasan jendela terhadap dinding, maka semakin banyak pula cahaya yang masuk ke dalam ruangan. Namun, meskipun memiliki intensitas cahaya yang tinggi belum tentu memiliki distribusi cahaya yang merata. Terbukti pada hasil pengujian model 3 dan model 4 dimana rata-rata intensitas cahaya yang masuk telah mencapai standar SNI dan nilai *window to wall ratio* (WWR) telah lebih dari 20% sesuai ketentuan minimum SNI. Model 3 pada ketinggian amatan 600mm sesuai bidang kerja pada pukul 12.00 memiliki intensitas cahaya rata-rata 294,5 lux, namun pada beberapa titik yang terletak dekat dengan jendela memiliki nilai intensitas hingga mencapai 572,40 lux hal ini melebihi standar SNI dan berkemungkinan menyebabkan silau. Kemudian pada ketinggian 1500mm nilai rata-ratanya justru masih dibawah 250 lux, yakni hanya sebesar 237,11 lux. Kemudian untuk model 4, hasil simulasi pada dua ketinggian yang berbeda rata-rata intensitas cahaya yang masuk dalam ruangan telah mencukupi standar SNI yakni sebesar 300,60 lux dan 296,38 lux. Namun keduanya sama-sama mempunyai nilai tertinggi yang melebihi standar SNI, yakni 670,40 lux dan 472,30 lux. Sama seperti kasus model 3 sebelumnya bahwa nilai intensitas tertinggi tersebut terjadi pada beberapa titik dekat jendela. Artinya dapat disimpulkan bahwa dari kedua model tersebut sama-sama telah efektif dalam memenuhi kebutuhan intensitas cahaya alami dalam ruang sesuai dengan standar SNI, namun masih kurang baik dalam pendistribusian cahaya yang masuk agar lebih merata dan titik menyebabkan silau maupun gelap pada titik-titik tertentu.

6. Hasil Uji Hipotesis

Dalam pembuktian hipotesis dilakukan komparasi atau perbandingan pada setiap hasil uji simulasi model yang telah dilakukan mulai dari model eksisting hingga empat model lainnya. Komparasi atau perbandingan dilakukan dengan bantuan *software* SPSS. Dari hasil data SPSS dapat dilihat pada kolom tabel Sig (2-tailed) bahwa nilai dibawah 0.05 menunjukkan ada perbedaan dan diatas 0.05 menunjukkan tidak adanya perbedaan.

Tabel 4. Perbandingan Data Eksisting dan Model Simulasi Ketinggian 600 Pukul 12.00

Perbandingan	Sig. (2-tailed)
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 600mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 1 Ketinggian 600mm Jam 12.00	0.000
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 600mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 2 Ketinggian 600mm Jam 12.00	0.000
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 600mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 3 Ketinggian 600mm Jam 12.00	0.000
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 600mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 4 Ketinggian 600mm Jam 12.00	0.000

Sumber: Data Pribadi, 2022

Tabel 5. Perbandingan Data Eksisting dan Model Simulasi Ketinggian 1500 Pukul 12.00

Perbandingan	Sig. (2-tailed)
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 1500mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 1 Ketinggian 1500mm Jam 12.00	0.000
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 1500mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 2 Ketinggian 1500mm Jam 12.00	0.000
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 1500mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 3 Ketinggian 1500mm Jam 12.00	0.000
Intensitas Cahaya (Lux) Eksisting Ketinggian 1500mm Jam 12.00 - Intensitas Cahaya (Lux) Simulasi Model 4 Ketinggian 1500mm Jam 12.00	0.000

Sumber: Data Pribadi, 2022

Berdasarkan tabel komparasi diatas, keseluruhan menunjukkan nilai 0.000 artinya dibawah 0.05 sehingga hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan dari hasil simulasi model eksisting dengan model-model lainnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, analisis, dan pembahasan yang dilakukan menggunakan bantuan *software* Velux Daylight Visualizer 3 dan SPSS, dapat dilihat pada tabel perbandingan atau komparasi yang telah dilakukan sebelumnya bahwa antar model uji eksisting dengan empat model lainnya yang berbeda menunjukkan hasil mengalami perubahan atau menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara ekisting dengan model uji. Dari keempat model dengan ukuran jendela dan WWR yang berbeda, semuanya mengalami perubahan dalam hal peningkatan intensitas cahaya alami yang masuk ke dalam ruangan. Namun yang dapat mencapai standar SNI dengan nilai nilai *window to wall ratio* (WWR) telah lebih dari 20% sesuai ketentuan minimum SNI adalah model ke 3 dan 4. Model 3 pada ketinggian amatan 600mm sesuai bidang kerja pada pukul 12.00 memiliki intensitas cahaya rata-rata 294,5 lux, namun pada beberapa titik yang terletak dekat dengan jendela memiliki nilai intensitas hingga mencapai 572,40 lux hal ini melebihi standar SNI dan berkemungkinan menyebabkan silau. Kemudian pada ketinggian 1500mm nilai rata-ratanya justru masih dibawah 250 lux, yakni hanya sebesar 237,11 lux. Kemudian untuk model 4, hasil simulasi pada dua ketinggian yang berbeda rata-rata intensitas cahaya yang masuk dalam ruangan telah mencukupi standar SNI yakni sebesar 300,60 lux dan 296,38 lux. Namun keduanya sama-sama mempunyai nilai tertinggi yang melebihi standar SNI, yakni 670,40 lux dan 472,30 lux. Sama seperti kasus model 3 sebelumnya bahwa nilai intensitas tertinggi tersebut terjadi pada beberapa titik dekat jendela. Artinya dapat disimpulkan bahwa dari kedua model tersebut sama-sama telah efektif dalam memenuhi kebutuhan intensitas cahaya alami dalam ruang sesuai dengan standar SNI, namun masih kurang baik dalam pendistribusian cahaya yang masuk agar lebih merata dan titik menyebabkan silau maupun gelap pada titik-titik tertentu. Semakin dekat suatu titik dari jendela, maka kuat pencahayaannya akan semakin besar, begitu pula sebaliknya. Semakin jauh sebuah titik dari jendela, maka kuat pencahayaannya akan semakin rendah. Namun hal ini juga dapat terjadi akibat pada penelitian ini hanya menggunakan variabel jendela yang terdapat pada satu sisi bangunan. Bukan jendela seharusnya terdapat pada lebih dari satu bidang agar pendistribusiannya lebih merata.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, Choirul, D. (2010). *125 Desain Jendela*. CV Andi Offset.
- Amin, M. N., Winarto, Y., & Marlina, A. (2019). Penerapan Prinsip Arsitektur Berkelanjutan Pada Perencanaan Kampung Pangan Lestari di Mojosoongo, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta. *Jurnal SENTHONG*, 2(2), 383–394. <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/senthong/article/view/1049>
- Ashita, N., Thojib, J., & Asikin, D. (2017). Dominasi Pencahayaan Alami Sebagai Dasar Rancangan Galeri Kerajinan Kalimantan Timur di Samarinda. *Jurnal Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Brawijaya*, 1–15. <http://arsitektur.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jma/article/view/109/106>
- ASHRAE. (2008). *Advanced Energy Design Guide for K-12 School Buildings*.
- Asmulyani, A. (2013). *Tipologi Bentuk Jendela pada Rumah Tradisional Bugis di Taman Miniatur Sulawesi Selatan, Benteng Somba Opu Makassar*. 1, 7–12.
- Bebhi, Adila Susanti, dkk. (2014). Pengaruh Fasade Bangunan Terhadap Pencahayaan Alami Pada Laboratorium Politeknik Negeri Malang. *Thesis Universitas Brawijaya Malang*. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/143183>
- Daryanto, D., & S., F. U. (2012). Jendela Hemat Energi pada Fasade Rumah Susun di Jakarta. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.21512/comtech.v3i1.2364>
- Esa Dora, P. (2011). Optimasi Desain Pencahayaan Ruang Kelas SMA Santa Maria Surabaya. *Dimensi Interior*, 9. <https://doi.org/https://doi.org/10.9744/interior.9.2.69-79>
- Kerr, T. (2008). *The Green Future of Buildings* (Futurarc M). PT BCI Asia Constuction Information Pte.Ltd.
- Leslie, dkk. (2010). Patterns to Daylight Schools for People and Sustainability. *Rensselaer Polytechnic Institute, USA*.
- N. L. Latifah. (2015). *Fisika Bangunan* (2nd ed).
- P. Manurung. (2012). *Pencahayaan Alami dalam Arsitektur*.
- SNI 03-2396-2001. (2001). *Tata Cara Perencanaan Sistem Pencahayaan Alami Pada Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Subkiman, A., Larasati, D., & Isdianto, B. (2014). Pemanfaatan Pencahayaan Siang pada Interior Gedung Kampus PT Dahana sebagai Strategi Penerapan Prinsip Bangunan Berkelanjutan. *Intenas Rekapura*, 2(2), 64–73.
- Supriyanta. (2022). No Title. *Sustainable Architecture. Handout Mata Kuliah Adicita Evaluasi Kinerja Bangunan Dan Simulasi*. bit.ly/TKB-AEKBS-01