

USULAN PEMBARUAN TABEL FAKTOR LANGIT PADA SNI 03-2396-2001 TENTANG PENCAHAYAAN ALAMI PADA BANGUNAN

Proposal for Revision of Sky Component Table in SNI 03-2396-2001 on Daylighting in Buildings

Fahmi Nur Hakim¹, Atthailah², Rizki Armanto Mangkuto³

¹Program Magister Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132

²Program Doktor Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132

³Kelompok Keahlian Fisika Bangunan, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung,
Jalan Ganesha 10, Bandung 40132

Surel: 23320015@mahasiswa.itb.ac.id, atthailah@unimal.ac.id, armanto@tf.itb.ac.id

Diterima : 19 Maret 2021; Disetujui : 28 Oktober 2021

Abstrak

Pencahayaan alami siang hari (PASH) ialah unsur krusial untuk dipertimbangkan pada desain bangunan karena dua manfaat besar yaitu efisiensi energi dan peningkatan kinerja dan kesehatan pengguna. Di Indonesia hanya terdapat satu regulasi yang mengatur tentang PASH dalam bangunan, yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) SNI 03-2396-2001. Selain belum pernah diperbarui kembali sejak dipublikasikan, terdapat sejumlah persoalan dalam SNI 03-2396-2001, antara lain penggunaan model langit seragam yang tidak lagi relevan serta adanya kesalahan nilai-nilai faktor langit (FL) pada tabel yang dicantumkan standar tersebut. Untuk itu, penelitian ini mengusulkan penggunaan model langit berawan standar CIE yang masih berlaku saat ini, serta mengamati nilai galat dari FL pada berbagai kasus uji dalam SNI 03-2396-2001 dan kasus uji 5.11 dalam dokumen CIE 171:2006. Metode analitik digunakan untuk menghitung nilai FL dan mengetahui nilai galat untuk model langit seragam pada SNI 03-2396-2001 terhadap langit berawan standar CIE. Hasil yang didapat menunjukkan perbedaan nilai FL yang signifikan untuk kasus $H/D < 1,0$, dengan galat maksimum sebesar 163% untuk $H/D = L/D = 0,1$, serta 34% pada kasus uji 5.11 dalam dokumen CIE 171:2006, sehingga dapat menimbulkan kesalahan yang serius dalam praktik desain bangunan.

Kata Kunci: Cahaya siang hari, faktor langit, faktor pencahayaan siang hari, standar CIE overcast sky, model langit seragam

Abstract

Daylighting is a crucial factor in building design, due to the benefits of energy efficiency and improvement in user performance and health. In Indonesia, the only national regulation on daylighting is SNI 03-2396-2001, which has not been revised since its publication. Several problems are recognised in the standard, among others are the use of obsolete uniform sky and the errors in sky component (SC) values provided in the lookup table. Therefore, this research aims to propose the use of the standard CIE overcast sky, which is still valid up to now, while observing the errors of SC values in several test cases in SNI 03-2396-2001 and in the test case 5.11 of the CIE 171:2006 document. Analytical method is applied to calculate SC values and to determine the errors for the case of the uniform sky model in SNI 03-2396-2001 with respect to the standard CIE overcast sky. The results suggest significant difference of SC values in cases where $H/D < 1.0$, with maximum error of 163% when $H/D = L/D = 0.1$, and 34% for the test case 5.11 in CIE 171:2006, which may yield serious errors in building design practice.

Keywords: Daylighting, sky components, daylight factor, standard CIE overcast sky, uniform sky model

PENDAHULUAN

Pada tahap awal proses desain suatu bangunan, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan, salah satunya aspek pencahayaan alami siang hari (PASH). Pada dekade 1970-an, aplikasi teknologi pencahayaan elektrik menjadi primadona dalam

desain bangunan karena kepraktisan dalam penggunaan dan pengendaliannya (Bellia, Bisegna, dan Spada 2011). Akan tetapi, isu pemborosan energi dan degradasi lingkungan pada akhir abad 20, membuat pencahayaan alami kembali menjadi faktor utama dalam desain pencahayaan bangunan

(Heerwagen 2000; Lechner 2007). Hal ini antara lain disebabkan oleh kemampuan PASH dalam meningkatkan penghematan konsumsi energi sebesar 40-45% pada bangunan (Mediastika 2013; Lechner 2007). Kedua, PASH dapat mempengaruhi aspek fisiologis dan psikologis manusia secara positif. Berbagai penelitian telah dilakukan terkait manfaat PASH terhadap peningkatan kinerja dan kesehatan fisiologis dan psikologis penghuni bangunan (Boubekri 2008; Boubekri et al. 2020; Hescong, Wright, dan Okura 2000; Mediastika 2013; Lechner 2007; Bellia, Bisegna, dan Spada 2011). Oleh sebab itu, keberadaan PASH dalam desain suatu bangunan menjadi sangat krusial untuk dipertimbangkan dengan bijaksana.

Untuk dapat menjamin kualitas dari penerapan PASH dalam bangunan diperlukan regulasi yang mengatur metrik yang digunakan serta kriteria yang relevan. Di Indonesia, standar yang mengatur tentang PASH dalam bangunan adalah SNI 03-2396 (2001), yaitu revisi dari standar yang sama sebelumnya (1991). Metrik PASH yang digunakan pada SNI 03-2396-2001 adalah faktor pencahayaan alami siang hari (FPASH) dan faktor langit (FL), namun dengan asumsi model langit berawan seragam (Yamauti 1924), mengacu pada standar NGB II 1951/V 1069 (NNI, 1953) yang dipublikasikan di Belanda pada tahun 1953. Penggunaan langit seragam pada standar NGB II 1951/V 1069 tersebut terutama disebabkan belum diadopsinya model langit berawan (Moon dan Spencer 1942) sebagai langit berawan standar oleh Komisi Internasional Pencahayaan (CIE).

Sementara itu, sejak diadopsinya langit berawan Moon dan Spencer sebagai langit berawan standar, CIE sudah tidak lagi memasukkan langit seragam sebagai salah satu model langit standar yang digunakan untuk perhitungan FPASH (Reinhart 2011). Hal ini terutama disebabkan kondisi langit seragam dinilai tidak realistis karena hanya mengasumsikan satu nilai luminansi yang konstan secara spasial di seluruh kubah langit.

Di berbagai standar yang berlaku di luar negeri, FPASH sampai saat ini masih banyak digunakan sebagai salah satu metrik PASH dalam bangunan. Hal ini dapat dilihat dengan masih diadopsinya FPASH pada regulasi internasional seperti EN 17037:2018 (CEN 2018) yang berlaku di negara-negara Eropa, yang masih mengasumsikan penggunaan langit berawan standar CIE dalam perhitungan FPASH. Sementara dalam SNI 03-2396-2001, seperti telah dijelaskan sebelumnya, model langit seragam masih digunakan untuk perhitungan FPASH. Selain itu, SNI 03-2396-2001 juga memiliki ketidakakuratan dalam penulisan nilai-nilai FL yang disajikan dalam bentuk tabel (Tabel 4 dalam SNI 03-2396-2001),

sebagaimana telah dijabarkan pada penelitian sebelumnya (Mangkuto 2016). Hal ini cukup memprihatinkan, sehingga perlu adanya upaya untuk memperbaiki standar PASH tersebut yang masih berlaku hingga saat ini.

Berdasarkan hal-hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan perbandingan nilai FL pada model langit seragam Yamauti (1924) yang diadopsi oleh SNI 03-2396-2001 dengan model langit berawan standar CIE berdasarkan model Moon dan Spencer (1942), untuk mengetahui nilai galat yang ditimbulkan. Selanjutnya, pada penelitian ini juga dilakukan perhitungan nilai FL untuk lima kasus uji seperti terdapat dalam SNI 03-2396-2001, serta kasus uji 5.11 dalam dokumen CIE 171 (2006). Hal ini dilakukan sebagai langkah awal dalam upaya memberikan masukan untuk pembaruan standar yang mengatur tentang PASH di Indonesia.

METODE

Dalam SNI 03-2396-2001, perhitungan FPASH dilakukan berdasarkan nilai FL saja, dengan asumsi bahwa FL ialah komponen yang paling berkontribusi dalam menentukan nilai FPASH keseluruhan. Meskipun demikian, FPASH tidak hanya terdiri dari FL saja, namun juga faktor refleksi luar (FRL) dan faktor refleksi dalam (FRD) yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$FPASH = FL + FRL + FRD \dots\dots\dots (1)$$

Sementara itu, FL dapat didefinisikan sebagai persentase perbandingan nilai iluminansi pada suatu titik dalam ruangan ($E_{i,l}$) akibat cahaya langsung dari langit terhadap nilai iluminansi di lapangan terbuka di luar ruangan (E_o) pada saat yang bersamaan. Secara matematis:

$$FL = \frac{E_{i,l}}{E_o} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Selanjutnya, langit seragam sendiri ialah deskripsi paling awal dan sederhana dari model langit, di mana matahari tidak terlihat serta luminansi langit di setiap titik kubah langit memiliki nilai yang sama (Yamauti 1924). Secara matematis:

$$L(\gamma, \alpha) = L_z = \text{konstan} \dots\dots\dots (3)$$

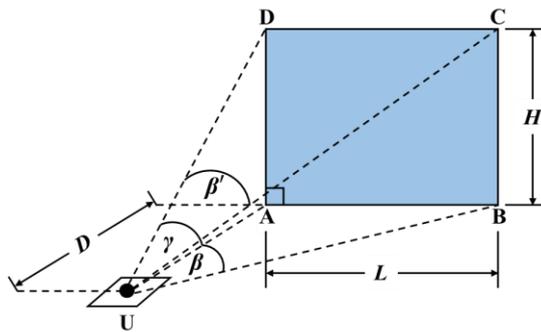
Adapun model langit berawan standar CIE ialah deskripsi standar dari kondisi terburuk untuk model langit yang lazim digunakan dalam desain pencahayaan alami dalam ruang (Moon dan Spencer 1942). Pada model langit ini, besarnya luminansi langit di cakrawala adalah 1/3 luminansi langit di titik zenit, sedangkan luminansi langit pada dengan model matematis sebagai berikut:

$$L(\gamma, \alpha) = L_z \frac{1+2 \sin \gamma}{3} \dots \dots \dots (4)$$

di mana $L(\gamma, \alpha)$ ialah luminansi langit pada titik dengan sudut ketinggian (γ) dan sudut azimut (α) tertentu, serta L_z adalah luminansi langit pada titik zenit.

Perhitungan FL dengan Model Langit CIE Berawan Standar

Untuk menyamakan format tabel usulan dengan Tabel FL (yaitu Tabel 4) pada SNI 03-2396-2001, maka perhitungan FL pada penelitian ini menggunakan parameter-parameter masukan nilai FL yang sama dengan Tabel SNI 03-2396-2001. Pada tabel yang dimaksud, parameter masukan yang digunakan adalah perbandingan lebar lubang cahaya efektif dengan jarak titik ukur ke lubang cahaya (L/D) (Gambar 1) pada rentang nilai 0,1~6,0 dan tinggi lubang cahaya efektif dengan jarak titik ukur ke lubang cahaya (H/D) (Gambar 1) juga pada rentang nilai 0,1~6,0.



Gambar 1 Ilustrasi Suatu Titik Ukur U yang Terletak pada Jarak D dari Suatu Lubang Cahaya Efektif Vertikal ABCD

Kemudian, perhitungan nilai FL dilakukan menggunakan model langit berawan standar CIE dengan model matematis sebagai berikut:

$$FL = \frac{3}{14\pi} (\beta - \beta' \cos \gamma) + \frac{2}{7\pi} \sin^{-1} (\sin \beta \sin \gamma) - \frac{1}{7\pi} (\sin 2 \gamma \sin \beta') \dots (5)$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{L}{D}; \beta' = \tan^{-1} \frac{\frac{L}{D}}{\sqrt{(H/D)^2 + 1}}; \gamma = \tan^{-1} \frac{H}{D} \dots (6)$$

Perbandingan Nilai FL Model Langit Berawan Standar CIE dengan Model Langit Seragam pada SNI 03-2396-2001

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan nilai FL dengan model langit berawan standar CIE dengan beberapa skenario, yaitu perbandingan dengan parameter pada Tabel SNI 03-2396-2001, perbandingan pada contoh perhitungan dalam SNI

03-2396-2001, serta perbandingan pada kasus uji 5.11 dalam dokumen CIE 171:2006.

Pada Tabel SNI 03-2396-2001 terdapat 19 nilai L/D dan H/D pada rentang 0,1~6,0, sehingga terdapat 361 nilai FL pada tabel tersebut. Perbedaan setiap nilai FL yang dihitung dengan model langit berawan standar CIE (FL_{CIE}) dengan nilai FL pada Tabel SNI 03-2396-2001 (FL_{SNI}) dinyatakan dengan galat relatif ϵ yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{|FL_{CIE} - FL_{SNI}|}{FL_{CIE}} \times 100\% \dots \dots \dots (7)$$

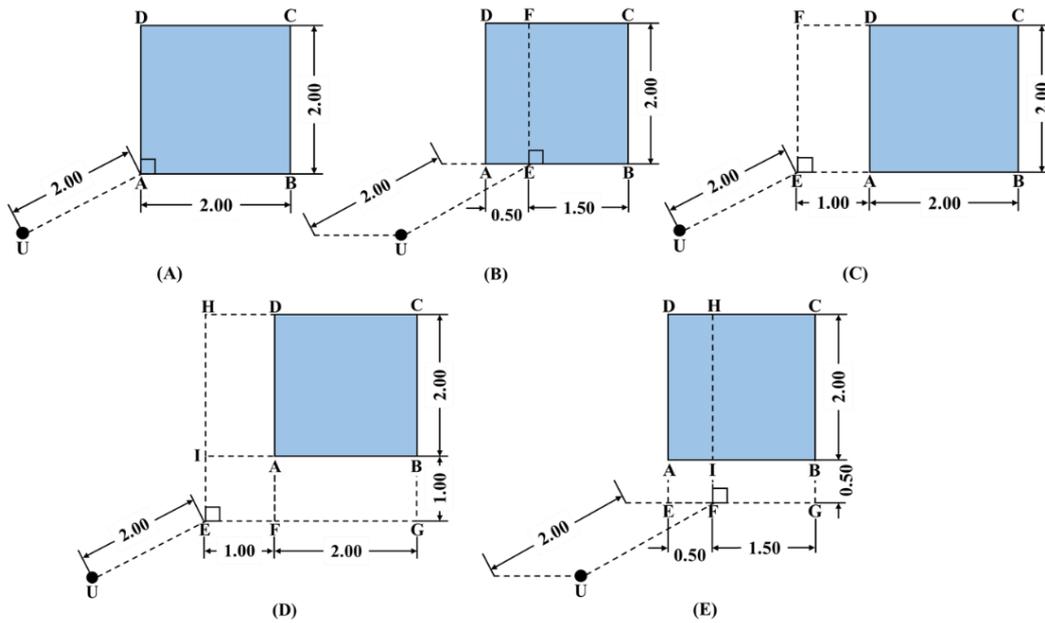
Setiap nilai FL tersebut dapat dikelompokkan berdasarkan nilai galat yang ditimbulkan, yaitu $\epsilon > 10\%$: perbedaan sangat signifikan (atau sangat tidak akurat), $5\% < \epsilon < 10\%$: perbedaan signifikan (tidak akurat), $2\% < \epsilon < 5\%$: perbedaan tidak signifikan (akurat), serta $\epsilon < 2\%$: perbedaan sangat tidak signifikan (sangat akurat) (Mangkuto, 2016).

Perbandingan Nilai FL pada Contoh Perhitungan dalam SNI 03-2396-2001

Untuk menunjukkan aplikasi dari konsep FL dalam desain suatu bangunan, SNI 03-2396-2001 memberikan contoh perhitungan nilai FL pada lima kasus bukaan cahaya efektif yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada kelima kasus tersebut, titik ukur ditunjukkan pada titik U dengan jarak 2 m terhadap bidang lubang cahaya ABCD yang berukuran 2 m x 2 m dengan konfigurasi yang berbeda-beda. Perhitungan nilai FL pada kelima kasus tersebut dilakukan dengan memasukkan nilai L/D dan H/D ke dalam Persamaan (5), serta dibandingkan dengan nilai FL menggunakan Tabel SNI 03-2396-2001. Rincian perhitungan nilai FL dengan berbagai nilai L/D dan H/D pada lima kasus tersebut ialah sebagai berikut:

1. Pada kasus (a), FL di titik U = FL dari ABCD ($L/D=2/2=1, H/D=2/2=1$)
2. Pada kasus (b), FL di titik U = FL dari EFDA ($L/D = 0,5/2 = 0,25, H/D = 2/2 = 1$) + FL dari EBCF ($L/D = 1,5/2 = 0,75, H/D = 2/2 = 1$)
3. Pada kasus (c), FL di titik U = FL dari EBCF ($L/D = 3/2 = 1,5, H/D = 2/2 = 1$) - FL dari EADF ($L/D = 1/2 = 0,5, H/D = 2/2 = 1$)
4. Pada kasus (d), FL di titik U = FL dari EGCH ($L/D = 3/2 = 1,5, H/D = 3/2 = 1,5$) - FL dari EFDH ($L/D = 1/2 = 0,5, H/D = 3/2 = 1,5$) + FL dari EFAI ($L/D = 1/2 = 0,5, H/D = 1/2 = 0,5$) - FL dari EGBI ($L/D = 3/2 = 1,5, H/D = 1/2 = 0,5$).
5. Pada kasus (e), FL di titik U = FL dari FHDE ($L/D = 0,5/2 = 0,25, H/D = 2,5/2 = 1,25$) - FL dari FIAE ($L/D = 0,5/2 = 0,25, H/D = 2,5/2 = 1,25$) + FL dari FHCG ($L/D = 1,5/2 = 0,75, H/D = 2,5/2 = 1,25$) - FL dari FIBG ($L/D = 1,5/2 = 0,75, H/D = 2,5/2 = 1,25$).



Gambar 2 Lima kasus dari Suatu Lubang Cahaya Efektif, Relatif terhadap Titik Ukur yang Tercantum pada SNI 03-2396-2001 (BSN, 2001); Dimensi dalam Satuan Meter

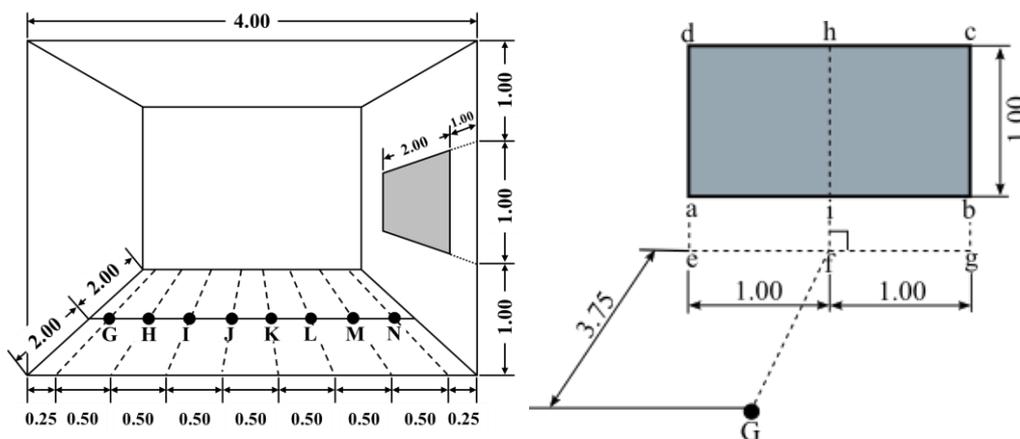
Perbandingan Nilai FL pada Kasus Uji 5.11 dalam CIE 171:2006

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai perbedaan nilai FL dengan model langit berawan standar CIE dengan nilai FL pada Tabel SNI 03-2396-2001, suatu ruang dengan bukaan yang sama namun posisi titik ukur yang berbeda, dilakukan perhitungan nilai FL pada kasus uji (*test case*) 5.11 dalam dokumen CIE 171 (2006). Kasus uji tersebut bertujuan mengevaluasi nilai FL pada beberapa titik ukur yang terdapat pada suatu ruangan tanpa refleksi dengan ukuran 4 m x 4 m x 3 m dan bukaan cahaya tanpa kaca berukuran 2 m x 1 m pada kondisi langit CIE Berawan Standar. Pada penelitian ini, hanya titik-titik ukur yang terletak pada bidang horizontal yang digunakan

untuk mengevaluasi nilai FL. Posisi titik-titik ukur serta dimensi ruangan dan bukaan pada kasus uji ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Rincian perhitungan nilai FL di setiap titik ukur pada ruang dengan nilai perbandingan L/D dan H/D yang beragam adalah sebagai berikut:

1. Pada titik ukur G, FL di titik G = 2 × (FL dari FGCH ($L/D = 1/3,75 = 0,267, H/D = 2/3,75 = 0,533$) - FL dari FGBI ($L/D = 1/3,75 = 0,267, H/D = 1/3,75 = 0,267$))
2. Pada titik ukur H, FL di titik H = 2 × (FL dari FGCH ($L/D = 1/3,25 = 0,308, H/D = 2/3,25 = 0,615$) - FL dari FGBI ($L/D = 1/3,25 = 0,308, H/D = 1/3,25 = 0,308$))



Gambar 3 Posisi Titik Ukur serta Dimensi Ruangan dan Bukaan Pada Kasus Uji 5.11 dalam Dokumen CIE 171:2006 (CIE, 2006); Dimensi dalam Satuan Meter

3. Pada titik ukur I, FL di titik I = $2 \times$ (FL dari FGCH ($L/D = 1/2,75 = 0,364$, $H/D = 2/2,75 = 0,727$) – FL dari FGBI ($L/D = 1/2,75 = 0,364$, $H/D = 1/2,75 = 0,364$))
4. Pada titik ukur J, FL di titik J = $2 \times$ (FL dari FGCH ($L/D = 1/2,25 = 0,444$, $H/D = 2/2,25 = 0,889$) – FL dari FGBI ($L/D = 1/2,25 = 0,444$, $H/D = 1/2,25 = 0,444$))
5. Pada titik ukur K, FL di titik K = $2 \times$ (FL dari FGCH ($L/D = 1/1,75 = 0,571$, $H/D = 2/1,75 = 1,143$) – FL dari FGBI ($L/D = 1/1,75 = 0,571$, $H/D = 1/1,75 = 0,571$))
6. Pada titik ukur L, FL di titik L = $2 \times$ (FL dari FGCH ($L/D = 1/1,25 = 0,8$, $H/D = 2/1,25 = 1,6$) – FL dari FGBI ($L/D = 1/1,25 = 0,8$, $H/D = 1/1,25 = 0,8$))
7. Pada titik ukur M, FL di titik M = $2 \times$ (FL dari FGCH ($L/D = 1/0,75 = 1,333$, $H/D = 2/0,75 = 2,667$) – FL dari FGBI ($L/D = 1/0,75 = 1,333$, $H/D = 1/0,75 = 1,333$))
8. Pada titik ukur N, FL di titik N = $2 \times$ (FL dari FGCH ($L/D = 1/0,25 = 4$, $H/D = 2/0,25 = 8$) – FL dari FGBI ($L/D = 1/0,25 = 4$, $H/D = 1/0,25 = 4$))

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan nilai FL dengan model langit berawan standar CIE dengan L/D pada rentang 0,1~6,0 dan H/D pada rentang 0,1~6,0 ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa nilai FL_{CIE} meningkat seiring meningkatnya nilai L/D dan H/D dengan rentang nilai yaitu 0,008% ~ 19,85%.

Perbandingan Nilai FL Model Langit CIE Berawan Standar dengan Model Langit pada SNI 03-2396-2001

Hasil perbandingan nilai FL model langit berawan standar CIE dengan model langit pada SNI 03-2396-2001 ditunjukkan oleh nilai galat relatif ε yang dirangkum pada Tabel 2.

Dapat diamati bahwa seiring meningkatnya nilai H/D , nilai galat yang diperoleh semakin kecil; sedangkan seiring meningkatnya nilai L/D , nilai galat sedikit meningkat. Selain itu, rentang nilai $H/D < 1,0$ menghasilkan $\varepsilon > 20\%$, dengan ε maksimum 163% pada $L/D = H/D = 0,1$, serta ε minimum sebesar 101% pada $L/D = 0,2$, $H/D = 0,1$. Hal ini menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara nilai FL_{CIE} dibandingkan dengan nilai FL_{SNI} . Hal ini perlu diperhatikan dengan saksama, karena dapat menimbulkan konsekuensi kesalahan yang serius dalam praktik desain bangunan. Adapun nilai ε pada rentang nilai $H/D > 3,0$ didapati kurang dari 5%. Hal ini menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antara FL_{CIE} dan FL_{SNI} .

Galat antara nilai FL tersebut dapat terjadi karena pada model langit berawan, nilai luminansi langit pada setiap titik tidak sama melainkan sesuai dengan Persamaan (4) di mana nilai luminansi langit pada bintang cakrawala (sudut ketinggian = 0°) sebesar $1/3$ nilai luminansi langit di titik zenit dan nilai luminansinya meningkat seiring meningkatnya nilai sudut ketinggian, sehingga pada nilai H/D yang kecil ($< 1,0$), nilai FL_{CIE} jauh lebih kecil dibandingkan dengan Tabel SNI 03-2396-2001, sehingga menghasilkan perbedaan yang sangat signifikan ($\varepsilon > 10\%$).

Perbandingan Nilai FL pada Contoh Perhitungan dalam SNI 03-2396-2001

Hasil perbandingan nilai FL_{CIE} dan FL_{SNI} untuk contoh perhitungan dalam lima kasus (yaitu A s.d. E) yang ada dalam SNI 03-2396-2001 ditunjukkan pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, nilai galat yang dihasilkan pada kasus A, B, dan C cukup besar dibandingkan pada kasus D dan E. Hal ini dikarenakan pada kasus A, B, dan C perhitungannya melibatkan nilai H/D yang kurang dari 1,0, sehingga perbedaan antara nilai FL_{CIE} dan FL_{SNI} cukup signifikan, yaitu dengan $\varepsilon > 10\%$. Selain itu, perhitungan pada kasus D dan E melibatkan nilai $H/D > 1,0$, sehingga perbedaan antara nilai FL_{CIE} dan FL_{SNI} tidak terlalu signifikan, dengan $\varepsilon < 10\%$.

Perbandingan nilai FL pada kasus uji 5.11 dalam CIE 171:2006

Hasil perbandingan nilai FL pada kasus uji 5.11 dalam CIE 171:2006 yang dihitung menggunakan FL_{CIE} dan FL_{SNI} pada delapan titik ukur (G s.d. N) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, dapat dilihat bahwa nilai galat yang dihasilkan cenderung lebih besar pada titik ukur yang lebih jauh dari bukaan pada ruangan, yaitu pada titik ukur G, H, I, dan J; dengan galat maksimum sebesar 34% terdapat pada titik G. Hal ini dikarenakan pada titik ukur yang lebih jauh dari bukaan, perhitungan nilai FL melibatkan nilai H/D yang kecil ($H/D < 1,0$). Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2, pada rentang nilai $H/D < 1,0$ terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara nilai FL_{CIE} dengan FL_{SNI} , sehingga dapat timbul galat yang cukup besar.

Adapun nilai galat yang dihasilkan pada titik ukur K, L, M, dan N cenderung lebih kecil, karena pada titik ukur yang lebih dekat dengan bukaan, perhitungan nilai FL melibatkan nilai $H/D > 1,0$. Pada rentang nilai H/D tersebut terdapat perbedaan yang tidak terlalu signifikan antara nilai FL_{CIE} dengan FL_{SNI} .

Berdasarkan uraian di atas, perlu ada upaya pembaruan dalam substansi SNI 03-2396-2001, khususnya terkait dengan asumsi model langit yang digunakan. Dengan memperhatikan kecenderungan yang ada saat ini, khususnya di dunia praktik desain bangunan, penggunaan langit berawan standar CIE praktis telah menjadi standar minimum dalam memprediksi kondisi PASH dalam ruang, misalkan dengan perangkat pemodelan dan simulasi komputasi pencahayaan.

Adapun penggunaan langit seragam praktis tidak lagi ditemui dalam berbagai perangkat pemodelan dan simulasi, serta tidak pula diakui lagi secara resmi oleh

CIE. Perbedaan yang ditimbulkan antara nilai FL yang dihitung dengan kedua model langit tersebut dapat berbeda secara signifikan, sehingga berisiko menimbulkan konsekuensi yang serius berupa kesalahan implementasi desain di lapangan.

Dengan demikian, penggunaan langit berawan standar CIE serta tabel nilai FL yang bersesuaian dapat dipertimbangkan untuk dimasukkan ke dalam SNI PASH yang akan diperbarui. Hal tersebut diharapkan dapat meningkatkan akurasi dari hasil prediksi desain PASH yang dilakukan dengan mengacu kepada ketentuan-ketentuan yang dicantumkan dalam SNI.

Tabel 1 Nilai FL [%] dengan Model Langit Berawan Standar CIE (FL_{CIE})

H/D	L/D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1		0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
0,2		0,03	0,06	0,09	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21
0,3		0,08	0,15	0,22	0,28	0,34	0,38	0,42	0,45	0,48	0,50
0,4		0,14	0,27	0,40	0,51	0,61	0,69	0,76	0,82	0,86	0,90
0,5		0,22	0,42	0,62	0,79	0,94	1,07	1,18	1,27	1,35	1,41
0,6		0,30	0,59	0,87	1,11	1,32	1,51	1,66	1,79	1,90	1,99
0,7		0,39	0,77	1,13	1,45	1,73	1,97	2,18	2,35	2,49	2,61
0,8		0,49	0,95	1,39	1,79	2,14	2,45	2,71	2,92	3,11	3,26
0,9		0,57	1,13	1,65	2,12	2,55	2,91	3,23	3,49	3,71	3,90
1,0		0,66	1,30	1,90	2,45	2,93	3,36	3,73	4,04	4,30	4,53
1,5		0,99	1,96	2,87	3,72	4,48	5,17	5,77	6,29	6,74	7,13
2,0		1,19	2,35	3,46	4,49	5,44	6,29	7,05	7,72	8,31	8,82
2,5		1,31	2,59	3,82	4,96	6,02	6,98	7,84	8,60	9,28	9,88
3,0		1,39	2,74	4,04	5,26	6,38	7,41	8,34	9,17	9,91	10,56
3,5		1,43	2,84	4,18	5,45	6,62	7,70	8,67	9,54	10,32	11,02
4,0		1,47	2,90	4,28	5,58	6,79	7,89	8,89	9,80	10,61	11,33
4,5		1,49	2,95	4,35	5,67	6,90	8,03	9,06	9,98	10,82	11,56
5,0		1,51	2,99	4,40	5,74	6,99	8,13	9,18	10,12	10,97	11,73
6,0		1,53	3,03	4,47	5,84	7,10	8,27	9,34	10,30	11,17	11,96

H/D	L/D	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
0,1		0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
0,2		0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
0,3		0,55	0,58	0,59	0,59	0,59	0,60	0,60	0,60	0,60
0,4		1,01	1,05	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,09	1,09
0,5		1,58	1,65	1,67	1,69	1,70	1,70	1,70	1,71	1,71
0,6		2,24	2,33	2,38	2,40	2,41	2,42	2,42	2,42	2,43
0,7		2,95	3,09	3,15	3,18	3,19	3,20	3,21	3,21	3,21
0,8		3,70	3,87	3,95	3,99	4,01	4,02	4,03	4,04	4,04
0,9		4,45	4,67	4,77	4,82	4,85	4,86	4,87	4,88	4,88
1,0		5,19	5,46	5,58	5,64	5,68	5,69	5,71	5,71	5,72
1,5		8,35	8,90	9,16	9,30	9,37	9,42	9,45	9,46	9,48
2,0		10,51	11,33	11,75	11,98	12,11	12,19	12,23	12,27	12,30
2,5		11,92	12,98	13,54	13,86	14,05	14,16	14,24	14,29	14,34
3,0		12,85	14,09	14,78	15,19	15,43	15,59	15,69	15,76	15,84
3,5		13,49	14,87	15,67	16,15	16,45	16,64	16,77	16,86	16,96
4,0		13,94	15,43	16,31	16,85	17,20	17,43	17,59	17,69	17,83
4,5		14,26	15,83	16,78	17,38	17,77	18,04	18,22	18,35	18,51
5,0		14,51	16,14	17,15	17,79	18,22	18,51	18,71	18,86	19,05
6,0		14,83	16,56	17,65	18,36	18,85	19,19	19,43	19,61	19,85

Tabel 2 Nilai Galat Relatif ϵ [%] dari Perbandingan Nilai FL_{CIE} dengan FL_{SNI}

L/D H/D	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	163,24	101,40	131,00	116,76	112,61	114,01	118,95	103,71	114,13	105,08
0,2	82,54	86,24	81,60	83,83	89,73	85,74	85,88	88,73	88,54	90,15
0,3	68,02	71,40	67,85	70,28	70,00	70,77	72,05	71,23	72,54	73,37
0,4	57,44	56,89	55,58	56,88	58,16	58,06	58,17	59,35	59,98	59,86
0,5	47,90	46,03	47,29	47,84	47,40	48,25	48,99	49,44	50,13	50,05
0,6	38,84	38,04	38,70	39,69	39,74	40,61	40,73	41,20	41,70	42,51
0,7	32,16	31,94	33,08	33,35	33,58	33,85	34,51	35,29	35,55	35,94
0,8	27,82	27,92	27,88	27,96	28,42	33,27	29,36	29,97	30,40	30,81
0,9	23,63	23,91	23,59	24,24	24,50	24,62	25,20	25,71	26,26	26,67
1,0	19,87	20,25	20,72	20,65	21,34	21,68	22,02	22,48	22,89	23,09
1,5	10,94	10,93	43,87	11,11	11,27	11,64	11,81	12,07	12,46	12,69
2,0	6,59	6,64	38,67	6,80	6,80	7,11	7,21	7,37	7,63	7,87
2,5	4,51	4,18	4,30	19,80	4,50	4,76	4,86	4,94	5,15	5,28
3,0	3,23	2,92	3,04	20,86	3,24	3,37	3,39	3,52	3,67	3,78
3,5	2,52	2,22	2,33	21,45	2,38	2,53	2,57	2,61	2,69	2,83
4,0	1,56	1,95	1,82	21,88	1,82	1,88	1,97	2,05	2,08	2,17
4,5	1,29	1,33	1,32	22,29	1,54	1,47	1,58	1,67	1,70	1,72
5,0	1,45	1,16	1,26	22,35	1,15	1,30	1,24	1,29	10,51	1,45
6,0	0,57	0,94	0,81	22,72	0,92	0,82	0,89	0,96	0,97	7,40

L/D H/D	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
0,1	101,40	110,90	107,24	105,48	104,54	103,99	103,65	103,43	103,18
0,2	91,25	91,90	92,68	91,09	90,25	89,76	89,46	89,26	92,98
0,3	74,80	74,88	75,36	75,62	74,86	76,10	75,82	75,65	75,44
0,4	61,54	62,75	62,81	63,33	63,54	64,05	63,79	63,63	63,44
0,5	52,00	53,13	53,46	53,95	53,85	54,63	54,39	54,23	54,05
0,6	43,95	45,19	45,53	45,93	46,09	46,52	46,28	46,13	46,37
0,7	37,83	38,95	39,52	38,56	40,08	40,00	40,39	40,23	40,37
0,8	32,50	33,69	34,34	34,56	34,86	34,96	35,22	35,06	35,13
0,9	28,36	29,30	26,60	28,64	29,59	30,21	30,58	31,03	31,05
1,0	24,77	25,86	26,49	26,90	27,22	27,32	27,59	27,42	27,58
1,5	14,05	14,95	15,56	16,03	16,27	16,47	16,98	16,76	16,83
2,0	8,87	9,67	10,26	10,69	11,00	11,19	11,32	11,44	11,59
2,5	6,05	6,74	7,22	7,65	7,92	8,17	8,31	8,42	8,62
3,0	4,34	4,89	5,38	5,74	6,00	6,23	6,43	6,54	6,75
3,5	3,26	3,71	4,11	4,48	4,71	4,93	5,19	5,23	5,45
4,0	2,60	2,95	3,27	3,55	3,78	4,02	4,17	4,32	4,49
4,5	2,08	2,37	2,66	2,92	2,96	3,29	3,47	3,62	3,80
5,0	1,68	1,91	2,18	2,41	2,59	2,81	2,91	3,07	3,27
6,0	1,18	1,37	1,54	1,73	1,87	2,04	2,15	2,29	2,44

Tabel 3 Nilai Galat Relatif ϵ [%] dari Perbandingan Nilai FL_{CIE} dengan FL_{SNI} untuk Kasus Contoh Perhitungan pada SNI 03-2396-2001

Kasus	FL_{CIE} (%)	FL_{SNI} (%)	Galat (%)
(A)	4,53	5,57	23,09
(B)	5,50	4,54	17,38
(C)	2,25	2,91	29,22
(D)	3,23	3,52	9,08
(E)	6,71	7,27	8,34

Tabel 4 Nilai Galat Relatif ϵ [%] dari Perbandingan Nilai FL_{CIE} dengan FL_{SNI} pada Kasus Uji 5.11 dalam CIE 171:2006

Titik Ukur	FL_{CIE} (%)	FL_{SNI} (%)	Galat (%)
G	0,94	1,26	33,52
H	1,37	1,74	26,64
I	2,06	2,46	19,14
J	3,19	3,58	12,28
K	4,97	5,00	0,65
L	7,42	7,00	5,68
M	9,12	8,12	10,92
N	5,04	5,10	1,25

KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan perhitungan nilai faktor langit (FL) menggunakan model langit berawan standar CIE, sebagai usulan pembaruan nilai-nilai FL dalam tabel yang tercantum pada SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung. Nilai-nilai FL dengan menggunakan model langit berawan standar CIE telah dihitung untuk rentang H/D dan L/D sebesar 0,1~6,0. Besar perbedaan atau galat dengan nilai-nilai FL yang tercantum pada Tabel SNI 03-2396-2001 telah pula dihitung dan dilaporkan, beserta galat yang ditimbulkan pada sejumlah kasus contoh perhitungan pada SNI 03-2396-2001 dan kasus uji 5.11 dalam dokumen CIE 171:2006.

Nilai FL yang dihitung menggunakan model langit berawan standar CIE didapati memiliki perbedaan signifikan dengan nilai FL pada Tabel SNI 03-2396-2001, yang menggunakan model langit seragam, terutama untuk nilai H/D < 1,0, dengan galat maksimum sebesar 163% untuk H/D = L/D = 0,1, serta 34% pada kasus uji 5.11 dalam dokumen CIE 171:2006, sehingga dapat menimbulkan kesalahan yang serius dalam praktik desain bangunan. Adapun perbedaan nilai FL yang terjadi untuk H/D > 1,0 didapati tidak terlalu signifikan. Hal tersebut terjadi karena luminansi langit pada model langit berawan standar CIE berubah seiring dengan berubahnya sudut ketinggian, sedangkan pada model langit seragam yang diadopsi pada SNI 03-2396-2001, besar nilai luminansi kubah langit ialah sama di setiap titik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) ITB melalui skema P2MI tahun 2021.

DAFTAR PUSTAKA

(CIE), Commission Internationale de l'Eclairage. 2006. "CIE 171-2006: Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs."

Badan Standardisasi Nasional (BSN). 1991. "SNI 03-2396: Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami."

———. 2001. "SNI 03-2396: Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami."

Bellia, L., F. Bisegna, dan G. Spada. 2011. "Lighting in indoor environments: Visual and non-visual effects of light sources with different spectral power distributions." *Building and Environment* 46 (10): 1984–92. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.04.007>.

Boubekri, M. 2008. *Daylighting, Architecture and Health: Building design strategies*. Oxford: Elsevier.

Boubekri, M, J Lee, K Bub, dan K Curry. 2020. "Impact of Daylight Exposure on Sleep Time and Quality of Elementary School Children." *European Journal of Teaching and Education* 2 (2): 10–17.

Heerwagen, Judith. 2000. "Green buildings, organizational success and occupant productivity." *Building Research and Information* 28 (5–6): 353–67. <https://doi.org/10.1080/096132100418500>.

Heschong, L, R Wright, dan S Okura. 2000. "Daylighting and Productivity: Elementary School Studies," in *Efficiency and Sustainability*. Washington.

Lechner, Norberg. 2007. *Heating, Cooling, Lighting: Strategi Desain untuk Arsitektur*. 2nd ed. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.

Mangkuto, R.A. 2016. "Akurasi perhitungan faktor langit dalam SNI 03-2396-2001 tentang pencahayaan alami pada bangunan gedung." *Jurnal Permukiman* 11 (2): 110–15.

Mediastika, Christina. E. 2013. *Hemat Energi Dan Lestari Lingkungan Yogyakarta*: CV Andi Offset.

Moon, P., dan D.E. Spencer. 1942. "Illumination from a non-uniform sky." *Transactions of the Illuminating Engineering Society* 37 (10): 707–26.

Reinhart, Christoph F. 2011. "Daylight performance predictions." In *Building Performance Simulation for Design and Operation*, diedit oleh Jan L M Hensen dan Roberto Lambert, 235–76. New York: Spon Press.

Yamauti, Z. 1924. "Geometrical calculation of illumination." *Electrotech. Lab. Tokyo. Res.*, 148.