

AKURASI PERHITUNGAN FAKTOR LANGIT DALAM SNI 03-2396-2001 TENTANG PENCAHAYAAN ALAMI PADA BANGUNAN GEDUNG

The Accuracy of Sky Component Calculation in SNI 03-2396-2001 on Daylighting in Buildings

Rizki A. Mangkuto

Laboratorium Fisika Bangunan dan Akustik, Kelompok Keahlian Teknik Fisika,
Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132
Surel : armanto@tf.itb.ac.id

Diterima : 8 Agustus 2016; Disetujui : 27 September 2016

Abstrak

Standar Nasional Indonesia tentang pencahayaan alami pada bangunan gedung yang berlaku pada saat ini, SNI 03-2396-2001, merekomendasikan penggunaan faktor langit dari langit berawan seragam sebagai indikator ketersediaan pencahayaan alami dalam ruangan. Untuk menghitung faktor langit sebagai fungsi dari posisi relatif (L/D and H/D) dari suatu lubang cahaya vertikal tanpa kaca, disediakan tabel referensi yang dapat digunakan. Meskipun demikian, akurasi dari nilai-nilai yang terdapat dalam tabel tersebut tidak diketahui. Tulisan ini memaparkan akurasi dari nilai-nilai tersebut dibandingkan terhadap nilai analitisnya. Dari perhitungan, ditemukan bahwa dari 11 dari 361 nilai yang ada dalam tabel memiliki galat relatif sebesar 10% atau lebih besar. Beberapa contoh hasil yang didapat menggunakan interpolasi nilai-nilai pada tabel dibandingkan dengan hasil yang didapat menggunakan persamaan analitik. Berdasarkan analisis, disarankan untuk menggunakan tabel referensi hanya untuk nilai L/D dan H/D yang berada di dalam rentang 0,1 ~ 6,0. Untuk nilai-nilai di luar rentang tersebut, disarankan untuk menggunakan persamaan analitik untuk menentukan faktor langit.

Kata Kunci : Pencahayaan alami, faktor langit, Standar Nasional Indonesia, langit seragam, akurasi

Abstract

The current Indonesian standard for daylighting in buildings, SNI 03-2396-2001, recommends the use of sky component from a sky as the metric for indicating indoor daylight availability. To calculate sky component as a function of the relative position (L/D and H/D) of an unglazed, vertical daylight aperture, a reference table are provided; however, the accuracy of the tabulated values are unknown. This article reports the accuracy of the provided values compared to the analytical ones. It is found that 11 from 361 provided values have relative errors of 10% or larger. Comparisons between results of some worked examples obtained from interpolating the table values and from solving the analytical expression are also reported. Based on analysis that recommended to use the reference table only if the L/D and H/D ratios are within the tabulated range of 0.1 ~ 6.0. Otherwise, the use of analytical expression to determine the sky component is strongly suggested.

Keywords : Daylighting, sky component, SNI, uniform sky, accuracy

PENDAHULUAN

Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung (BSN 2001), untuk selanjutnya disebut sebagai 'SNI', diresmikan pada tahun 2001 dan masih berlaku sampai saat ini. SNI tersebut mencantumkan penggunaan faktor pencahayaan alami siang hari (FPASH) yang pada umumnya digunakan untuk model langit berawan menurut Moon dan Spencer (1947) yang telah diadopsi oleh Komisi Pencahayaan Internasional (CIE 2003, 2014). Meskipun demikian, SNI menyebutkan secara

spesifik bahwa model langit yang digunakan dalam standar tersebut adalah langit berawan seragam dengan distribusi luminansi langit yang merata, yang menghasilkan iluminansi horisontal pada lapangan terbuka di luar ruangan sebesar 10000 lx.

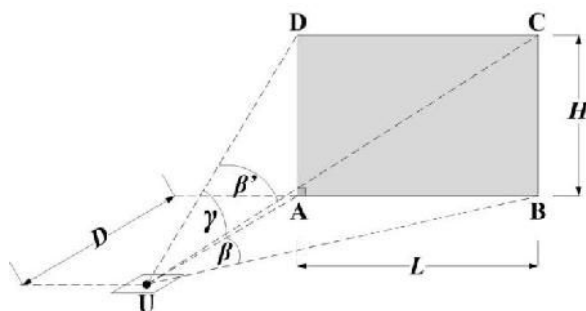
SNI menggunakan konsep metode fluks terpisah (*split-flux*) (Hopkinson 1966; Tregenza 1989), dimana FPASH dianggap terdiri dari tiga komponen, yaitu faktor langit (FL), faktor refleksi luar (FRL), dan faktor refleksi dalam (FRD). Secara matematis dapat dituliskan:

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

Di antara ketiga komponen tersebut, FL dianggap sebagai komponen yang paling besar kontribusinya dalam menentukan nilai FPASH. Secara definisi, FL adalah perbandingan iluminansi pada suatu titik dalam ruangan akibat cahaya langsung dari langit ($E_{i,l}$), terhadap iluminansi di lapangan terbuka di luar ruang (E_o) pada saat yang bersamaan.

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

Pada prinsipnya, FL adalah proporsi dari FPASH yang berasal hanya dari langit yang terlihat dari titik pengamat (Longmore 1968; Tregenza 1989). SNI merekomendasikan penggunaan FL, alih-alih FPASH, sebagai metrik atau indikator ketersediaan cahaya alami dalam ruang, karena FL dianggap sebagai komponen yang paling mendominasi dalam sebagian besar kondisi pencahayaan alami, serta dapat merepresentasikan skenario minimum atau terburuk dalam desain bangunan. Nilai FL dapat ditentukan dengan mengukur lebar dan tinggi dari lubang cahaya efektif yang terlihat dari titik ukur, relatif terhadap jarak titik ukur ke bidang tempat lubang cahaya berada.



Gambar 1 Ilustrasi suatu titik ukur U yang terletak pada jarak D dari suatu lubang cahaya efektif vertikal ABCD

Menurut SNI, pada kasus lubang cahaya efektif vertikal ABCD sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1, nilai FL pada titik ukur U dapat ditentukan secara analitik dengan persamaan berikut:

$$\text{FL} = \frac{1}{2\pi} \left(\arctan \frac{L}{D} - \frac{1}{\sqrt{1+(H/D)^2}} \arctan \frac{L/D}{\sqrt{1+(H/D)^2}} \right) \dots\dots\dots (3)$$

dengan D ialah jarak antara titik ukur U dan bidang tempat lubang cahaya efektif, H ialah tinggi lubang cahaya efektif di atas titik ukur, dan L ialah panjang lubang cahaya efektif diukur dari proyeksi titik ukur pada bidang lubang cahaya (Gambar 1). Titik ukur U umumnya diambil berada pada ketinggian bidang kerja yaitu 0,75 m di atas lantai.

Secara matematis, dapat dibuktikan bahwa persamaan (3) adalah bentuk khusus dari pers-

amaan (2) untuk kasus langit berawan seragam, yang dapat dimodelkan sebagai kubah atau setengah bola dengan luminansi konstan sebesar L . Sebagaimana dijabarkan oleh Seshadri (1960), nilai E_o pada persamaan (2) dapat dituliskan sebagai:

$$E_o = L \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \sin \theta \cos \theta \, d\theta \, d\psi = \pi L \dots\dots\dots (4)$$

dengan θ dan ψ masing-masing ialah sudut elevasi dan azimuth dari suatu titik pada bola langit, dalam satuan radian.

Adapun $E_{i,l}$ pada persamaan (2) dapat dituliskan sebagai:

$$E_{i,l} = L \int_0^{\theta'} \int_0^{\beta} \sin \theta \cos \theta \, d\theta \, d\psi \dots\dots\dots (5)$$

dengan mengetahui bahwa:

$$\tan \theta = \tan \gamma \cos \psi \dots\dots\dots (6)$$

$$\tan \beta = \frac{L}{D} \dots\dots\dots (7)$$

$$\tan \gamma = \frac{H}{D} \dots\dots\dots (8)$$

$$\tan \beta' = \tan \beta \cos \gamma = \frac{L}{\sqrt{H^2 + D^2}} \dots\dots\dots (9)$$

mengacu pada Gambar 1.

Setelah mensubstitusi dan mengintegrasikan, maka nilai analitik FL dapat dituliskan sebagai:

$$\text{FL} = \frac{\beta - \beta' \cos \gamma}{2\pi} \dots\dots\dots (10)$$

Dengan mensubstitusi nilai β , β' , dan γ , maka persamaan (10) dapat dituliskan kembali menjadi persamaan (3) sebagaimana tercantum dalam SNI.

Untuk menyederhanakan proses perhitungan, SNI juga menyediakan tabel referensi yang menampilkan nilai FL sebagai fungsi dari 19 nilai L/D dan H/D . Nilai L/D dan H/D yang dipilih adalah 0,1 s.d. 0,9 dengan interval 0,1; 1,0 s.d. 5,0 dengan interval 0,5; serta 6,0. Untuk nilai-nilai L/D dan H/D yang tidak tercantum pada tabel, haruslah dilakukan interpolasi atau ekstrapolasi terhadap nilai L/D dan H/D yang terdekat. Pada kasus dimana lubang cahaya efektif tidak memiliki pojok yang tepat berhimpit dengan proyeksi titik ukur pada bidang lubang cahaya, perlu dilakukan penjumlahan dan pengurangan secara geometri untuk menentukan FL pada titik ukur yang bersangkutan. Pada kasus dimana terdapat lebih dari satu lubang cahaya efektif, total FL pada titik ukur adalah jumlah dari FL akibat masing-masing lubang cahaya.

Oleh karena nilai-nilai FL pada tabel dalam SNI tersebut hanya diberikan untuk dua angka desimal, terdapat potensi kesalahan atau galat, baik akibat pembulatan maupun akibat interpolasi/ekstrapolasi. Meskipun demikian, potensi galat tersebut belum pernah dievaluasi dan diquantifikasi secara rinci. Untuk itu, Tulisan ini memaparkan akurasi dari nilai-nilai FL yang tercantum pada tabel SNI, serta perbandingan beberapa contoh hasil yang didapat menggunakan interpolasi nilai-nilai pada tabel dengan hasil yang didapat menggunakan persamaan analitik.

METODE

Perbandingan Nilai FL Individu

Pada tabel SNI terdapat 19 nilai L/D dan H/D , yang memberikan total $19 \times 19 = 361$ nilai FL. Akurasi dari setiap nilai FL pada tabel tersebut (FL_{tab}) dapat dinyatakan dengan galat ε relatif terhadap nilai analitiknya (FL_{ana}), yaitu:

$$\varepsilon = \frac{|FL_{tab} - FL_{ana}|}{FL_{ana}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (11)$$

Setiap nilai FL yang ada pada tabel SNI tersebut kemudian dapat diklasifikasi berdasarkan besarnya nilai ε , yaitu $> 10\%$ (sangat tidak akurat), antara 5% dan 10% (tidak akurat), antara 2% dan 5% (akurat), serta $< 2\%$ (sangat akurat).

Perbandingan Nilai FL pada Contoh Dalam SNI

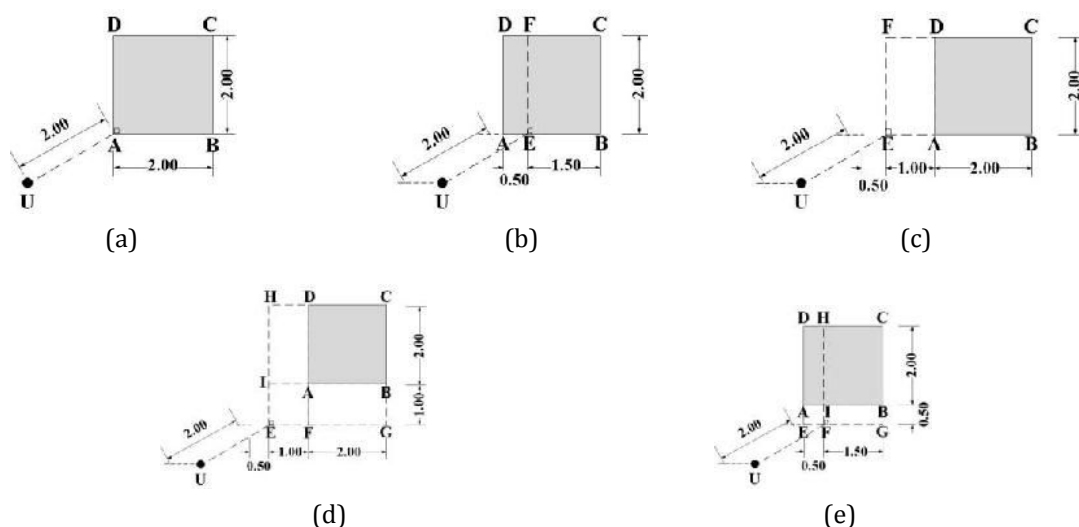
Untuk menunjukkan aplikasi konsep FL dalam desain suatu bangunan, SNI memberikan contoh perhitungan SNI pada suatu titik ukur U, akibat suatu lubang cahaya efektif berukuran $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, yang terletak pada lima jenis konfigurasi yang berbeda. Pada kelima kasus tersebut, titik ukur U terletak pada bidang kerja, serta berjarak 2 m dari

bidang lubang cahaya, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.

Pada SNI, perhitungan nilai FL pada kelima kasus tersebut dilakukan dengan menggunakan tabel, tanpa membandingkan dengan nilai analitiknya, sehingga akurasi hasil perhitungannya tidak dapat langsung diketahui oleh pembaca. Perhitungan nilai FL pada kasus (a) (Gambar 2a) dapat dilakukan secara relatif sederhana karena titik A yang merupakan salah satu pojok lubang cahaya ABCD tepat berhimpit dengan proyeksi titik ukur U pada bidang lubang cahaya, sehingga FL pada titik U adalah fungsi langsung dari nilai L/D ($= 2/2 = 1$) dan H/D ($= 2/2 = 1$) yang ada.

Adapun perhitungan nilai FL pada kasus (b) sampai dengan (e) (Gambar 2b, c, d, e) memerlukan penjumlahan dan pengurangan secara geometri, serta interpolasi terhadap nilai-nilai yang tercantum pada tabel, dengan rincian sebagai berikut:

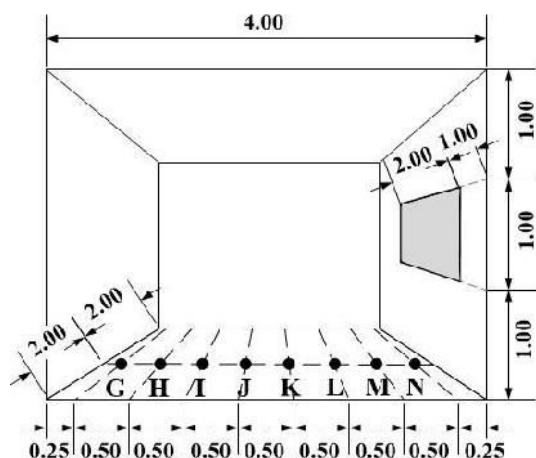
1. Pada kasus (b), FL di titik U = FL dari EFDA ($L/D = 0,5/2 = 0,25$, $H/D = 2/2 = 1$) + FL dari EBCF ($L/D = 1,5/2 = 0,75$, $H/D = 2/2 = 1$).
2. Pada kasus (c), FL di titik U = FL dari EBCF ($L/D = 3/2 = 1,5$, $H/D = 2/2 = 1$) - FL dari EADF ($L/D = 1/2 = 0,5$, $H/D = 2/2 = 1$).
3. Pada kasus (d), 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 ($L/D = 3/2 = 1,5$, $H/D = 1/2 = 0,5$).
4. 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 konfigurasi suatu lubang cahaya efektif vertikal ABCD relatif terhadap titik ukur U, diambil dari SNI 03-2396-2001, dalam satuan meter

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

Untuk mengetahui lebih lanjut batasan dari nilai-nilai FL dalam tabel SNI, dilakukan pula perbandingan dengan kasus uji (*test case*) 5.11 dalam CIE 171:2006 (CIE 2006). Kasus uji ini sejatinya bertujuan untuk mengevaluasi nilai FL dan FRL pada beberapa titik ukur di dalam suatu ruangan hitam (tanpa refleksi) berukuran $4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 3\text{ m}$ yang dilengkapi suatu bukaan cahaya $2\text{ m} \times 1\text{ m}$ tanpa kaca, di bawah kondisi langit berawan standar CIE (tipe 16) (Mangkuto 2016). Untuk keperluan studi dalam artikel ini, hanya nilai FL pada titik-titik yang terletak di bidang horisontal (menghadap ke atas) yang dievaluasi. Adapun model langit yang digunakan adalah langit berawan seragam tanpa kehadiran refleksi permukaan luar (Gambar 3).



Gambar 3 Tampak perspektif dari suatu ruangan dengan lubang cahaya vertikal serta titik ukur G s.d. N, diadaptasi dari kasus uji 5.11 dalam CIE 171:2006, dalam satuan meter

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Nilai FL Individu

Hasil perbandingan setiap nilai FL pada tabel dengan nilai analitiknya menunjukkan bahwa 11 (sekitar 3%) nilai FL memiliki galat relatif ϵ sebesar 10% atau lebih, sehingga dapat dianggap sangat tidak akurat. Dua (sekitar 0,6%) nilai FL memiliki galat relatif antara 5% dan 10% (tidak akurat), sedangkan 12 (sekitar 3,3%) memiliki galat relatif antara 2% dan 5% (akurat). Adapun sisanya memiliki galat relatif kurang dari 2% sehingga dapat dianggap sangat akurat.

Galat relatif $\epsilon \geq 10\%$ kemungkinan besar muncul akibat adanya kesalahan pengetikan angka pada tabel, sedangkan $\epsilon < 10\%$ kemungkinan muncul

akibat pembulatan nilai FL menjadi dua angka desimal. Pada kasus yang kedua, pembulatan pada angka yang kecil cenderung menghasilkan galat yang lebih besar. Rangkuman dari nilai-nilai FL dengan $\epsilon > 2\%$ ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai-nilai FL pada tabel SNI (FL_{tab}) yang memiliki galat relatif $\epsilon > 2\%$, dibandingkan dengan nilai analitiknya (FL_{ana}) yang dievaluasi sampai dengan tiga atau empat angka desimal

L/D [-]	H/D [-]	FL_{tab} [%]	FL_{ana} [%]	ϵ [%]
0,1	0,1	0,02	0,0307	34,9
0,2	0,1	0,03	0,0307	2,3
0,3	0,1	0,05	0,0447	12,0
0,3	0,2	0,17	0,1736	2,1
0,3	1,5	4,13	3,1830	29,8
0,3	2,0	4,80	3,6895	30,1
0,4	0,1	0,06	0,0572	4,9
0,4	2,5	3,98	5,1844	23,2
0,4	3,0	4,16	5,4229	23,3
0,4	3,5	4,28	5,5776	23,3
0,4	4,0	4,36	5,6828	23,3
0,4	4,5	4,41	5,7573	23,4
0,4	5,0	4,46	5,8118	23,3
0,4	6,0	4,51	5,8843	23,4
0,5	0,1	0,07	0,0681	2,8
0,6	0,1	0,08	0,0774	3,4
0,7	0,1	0,09	0,0852	5,6
0,9	0,1	0,10	0,0971	3,0
1,0	6,0	11,07	12,074	8,3
1,5	0,1	0,11	0,1140	3,5
2,5	0,9	6,04	6,2023	2,6
3,5	0,1	0,12	0,1229	2,4
4,0	0,1	0,12	0,1223	2,7
4,5	0,1	0,12	0,1235	2,9
5,0	0,1	0,12	0,1237	3,0
6,0	0,1	0,12	0,1238	3,1

Rata-rata nilai ϵ dari seluruh 361 nilai FL pada tabel SNI adalah 1,1%, dengan standar deviasi 4,4% dan median 0,1%. Jika nilai-nilai yang memiliki $\epsilon \geq 5\%$ dihilangkan, maka rata-rata nilai ϵ keseluruhan menjadi 0,3%, standar deviasi menjadi 0,7%, adapun median tetap di sekitar 0,1%.

Perbandingan Nilai FL pada Contoh Dalam SNI

Tabel 2 menampilkan nilai-nilai FL pada titik ukur U untuk lima jenis konfigurasi lubang cahaya (Gambar 2), yang didapat dengan menggunakan baik tabel SNI maupun persamaan analitik, beserta galat relatifnya. Nilai galat relatif ϵ yang didapat cenderung kecil (yang terbesar ialah 2,9%), sehingga secara umum hasil perhitungan dengan tabel SNI dapat dianggap cukup akurat.

Tabel 2 Nilai-nilai FL untuk kelima kasus pada Gambar 2, dihitung menggunakan tabel (FL_{tab}) dan persamaan analitik (FL_{ana}) yang dievaluasi sampai dengan empat angka desimal

Kasus	FL_{tab} [%]	FL_{ana} [%]	ϵ [%]
(a)	5,57	5,5736	0,1
(b)	4,54*	4,5163	0,4
(c)	4,36	4,3596	0,0
(d)	3,52	3,5182	0,1
(e)	7,27	7,4898	2,9

Keterangan:

*Pada teks asli SNI, tertulis bahwa nilai FL untuk kasus (b) ialah 6,68%. Nilai ini tidak benar dan kemungkinan didapatkan dari secara tidak sengaja mempertukarkan nilai L/D dan H/D yang seharusnya.

Meskipun demikian, perlu disadari bahwa secara kebetulan tidak ada satu pun nilai L/D dan H/D pada contoh tersebut yang cukup dekat dengan nilai yang memiliki $\epsilon \geq 10\%$ (yaitu karena kemungkinan terdapat kesalahan ketik) seperti yang tercantum pada Tabel 1, misalkan: $L/D = 0,4$ dan $H/D \geq 2,5$. Andaikan kasus ini terjadi, maka pengguna SNI akan memiliki risiko mendapatkan nilai yang tidak akurat, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi pertimbangan desain bangunan secara tidak tepat.

Untuk itu, perlu dipertimbangkan adanya ralat atau revisi dari tabel referensi pada SNI, khususnya untuk nilai-nilai FL dengan $\epsilon \geq 10\%$, supaya para pembaca dan pengguna SNI tersebut terhindar dari risiko melakukan kesalahan perhitungan yang dapat menyebabkan terjadinya kekeliruan desain.

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

Tabel 3 menampilkan nilai-nilai FL pada titik ukur G sampai dengan N (Gambar 3), yang didapat dengan menggunakan baik tabel SNI maupun persamaan analitik, beserta galat relatifnya.

Tabel 3 Nilai-nilai FL pada kasus pada Gambar 3, dihitung menggunakan tabel (FL_{tab}) dan persamaan analitik (FL_{ana}) yang dievaluasi sampai dengan empat angka desimal

Titik	FL_{tab} [%]	FL_{ana} [%]	ϵ [%]
G	1,26	1,2656	0,4
H	1,74	1,7541	0,8
I	2,46	2,4879	1,1
J	3,58	3,5917	0,3
K	5,00	5,1847	3,6
L	7,00	7,1138	1,6
M	8,12	7,9931	1,6
N	5,10	4,1282	23,5

Pada titik ukur G sampai dengan M, nilai galat relatif cenderung kecil, yang terbesar ialah 3,6% pada titik K. Akan tetapi, galat relatif pada titik N (yaitu titik ukur yang terdekat dengan lubang cahaya) ialah sebesar 23,5%, jauh lebih besar daripada galat relatif pada titik-titik lainnya. Hal ini rupanya disebabkan oleh satu nilai H/D yang cukup besar, yaitu $2/0,25 = 8$, yang relatif lebih besar daripada nilai H/D terbesar yang ada pada tabel SNI, yaitu 6. Ekstrapolasi terhadap nilai tersebut menghasilkan nilai FL sebesar $2 \times (20,68\% - 18,13\%) = 5,10\%$, jauh lebih besar daripada nilai analitiknya, yaitu $\approx 2 \times (20,1925\% - 18,1284\%) = 4,1282\%$.

Berdasarkan contoh di atas, untuk keperluan perhitungan disarankan menggunakan tabel SNI hanya jika nilai L/D dan H/D yang terhitung berada dalam rentang 0,1 sampai dengan 6,0, yaitu rentang nilai yang memang tercantum pada tabel SNI tersebut. Nilai L/D dan H/D yang jauh lebih kecil dari 0,1 atau jauh lebih besar dari 6,0 dapat menghasilkan galat yang besar akibat ekstrapolasi. Hal ini pada akhirnya dapat menghasilkan desain yang keliru dan tidak efektif. Untuk menghindari kekeliruan tersebut, disarankan menghitung FL hanya dengan menggunakan persamaan analitik, yaitu Persamaan (3) atau (10).

KESIMPULAN

Tulisan ini memaparkan akurasi perhitungan nilai faktor langit (FL) pada tabel referensi dalam SNI 03-2396-2001 tentang Tata Cara Perancangan Sistem Pencahayaan Alami pada Bangunan Gedung, dibandingkan dengan nilai analitiknya yang diperoleh dengan asumsi kondisi langit berawan seragam. Rata-rata galat relatif dari 361 nilai FL pada tabel ialah 1,1%, dengan standar deviasi 4,4% dan median 0,1%. Sebelas nilai FL pada tabel memiliki galat relatif 10% atau lebih besar, sehingga dapat dianggap sangat tidak akurat, 2 nilai FL memiliki galat relatif antara 5% dan 10% (tidak akurat), serta 12 memiliki galat relatif antara 2% dan 5% (akurat). Galat yang besar ($\geq 10\%$) kemungkinan terjadi akibat kesalahan ketik, sedangkan galat sedang dan kecil ($< 10\%$) umumnya terjadi akibat pembulatan nilai FL menjadi dua angka desimal. Untuk menghindari kekeliruan dalam penggunaan, perlu dipertimbangkan adanya revisi dari tabel referensi pada SNI, khususnya untuk nilai-nilai FL dengan galat $\geq 10\%$.

Nilai-nilai FL pada lima konfigurasi lubang cahaya yang tercantum pada contoh dalam SNI dihitung menggunakan tabel dan dibandingkan dengan perhitungan secara analitik. Galat relatif yang

didapat cenderung kecil, yaitu $\leq 2,9\%$. Meskipun demikian, secara kebetulan nilai L/D dan H/D pada contoh tersebut tidak cukup dekat dengan nilai-nilai yang menghasilkan FL dengan galat relatif $\geq 10\%$ pada tabel. Jika hal demikian terjadi, maka timbul risiko kesalahan perhitungan yang cukup besar, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi pertimbangan desain bangunan secara keliru.

Nilai-nilai FL pada beberapa titik ukur pada kasus uji 5.11 dalam CIE 171:2006 dihitung pula menggunakan tabel SNI dan dibandingkan dengan nilai analitiknya. Galat relatif yang didapat relatif kecil-sedang, kecuali untuk satu titik yang terdekat (0,25 m) dengan lubang cahaya, dimana galat relatifnya ialah 23,5%. Hal ini disebabkan oleh satu nilai H/D yang jauh lebih besar daripada nilai terbesar yang tercantum pada tabel SNI, sehingga menimbulkan galat akibat ekstrapolasi.

Untuk itu, disarankan menggunakan tabel SNI hanya untuk kasus dengan nilai L/D dan H/D yang berada dalam rentang yang tercantum pada tabel, yaitu antara 0,1 dan 6,0. Pada kasus dengan nilai L/D atau H/D yang jauh di luar rentang tersebut, persamaan analitik haruslah digunakan untuk menentukan nilai FL secara akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungannya Kelompok Keahlian Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 2001. SNI 03-2396-2001: Tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung.
- [CIE] Commission Internationale de l'Éclairage. 2006. CIE 171:2006 – Test cases to assess the accuracy of lighting computer programs.
- [CIE] Commission Internationale de l'Éclairage. 2003. ISO 15469:2004 (E) / CIE S 011/E:2003 – Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky.
- [CIE] Commission Internationale de l'Éclairage. 2014. CIE 215:2014 – CIE standard general sky guide.
- Hopkinson, R.G., P. Petherbridge, J. Longmore. 1966. Daylighting. London : Heinemann.
- Longmore, J. 1968. BRS Daylight Protractors. London : HM Stationary Office.
- Mangkuto, R.A. 2016. Validation of *DIALux* 4.12 and *DIALux evo* 4.1 against the analytical test cases of CIE 171:2006. *LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America*, 12(3), 2016: 139-150.
- Moon, P., D.E. Spencer. 1942. Illumination from a non-uniform sky. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 37(10): 707-726.
- Seshadri, T.N. 1960. Equations of sky components with a "CIE standard overcast sky". *Proceedings of Indian Academy of Science A*, 51(5), 1960: 233-242.
- Tregenza, P.R. 1989. Modification of the split-flux formulae for mean daylight factor and internal reflected component with large external obstructions. *Lighting Research and Technology*, 21(3), 1989: 125-128.