

Penerapan Metode Proyeksi Citra pada Citra Kamera 360 Derajat untuk Mengukur UGR

Abiyu Fathin Derian¹, Faridah², Rizki Armanto Mangkuto³

Abstract—The quality of lighting in a room will affect visual comfort. It is determined by light beam that hits observer's eyes generating a specific response. Meanwhile, the indicator that represents visual comfort is glare, especially discomfort glare. Glare index in a room, one of them, is stated by Unified Glare Rating (UGR) value affected by the ratio of glare source's luminance and background in a specific solid angle and position between observer and luminaire. As a result, it is needed to conduct an assessment to know glare potency in a room. The popular method measuring UGR is by analyzing pixel value from High Dynamic Range (HDR) image captured by 180-degree camera. At the same time, the implementation of 360-degree camera in assessing photometry has also been developed. However, the implementation is not been applied to measure glare yet. Therefore, this paper is aimed to implement 360-degree camera determining UGR value of HDR image. It is conducted by comparing the UGR value to 180-degree camera image. The result shows the significant irrelevance of both cameras. Statistical analysis on L_{mean} and L_{std} found that the coefficient of determination is less than one and Root Mean Square Error (RMSE) is bigger than 0.1, while F-test and T-test results are less than 0.05. The value of Coefficient Variation (CV) 180-degree camera is bigger than 360-degree camera which stated the data of luminance value is more spread out. It shows that the use of 360-degree camera with per-pixel analysis on HDR image to measure glare is not appropriate.

Intisari—Kualitas pencahayaan di suatu ruangan akan memengaruhi kenyamanan visual. Hal ini ditentukan oleh pancaran cahaya yang mengenai mata pengamat sehingga menimbulkan respons tertentu. Adapun indikator yang mewakili kenyamanan visual adalah silau, terutama *discomfort glare*. Indeks silau di dalam ruangan, salah satunya, ditentukan melalui nilai *Unified Glare Rating* (UGR) yang dipengaruhi oleh perbandingan nilai luminans sumber silau terhadap latar belakang dengan sudut ruang dan posisi tertentu antara pengamat dan luminair. Karenanya, perlu dilakukan asesmen (*assessment*) untuk mengetahui potensi silau di suatu ruangan. Metode yang populer digunakan dalam mengukur nilai UGR tersebut adalah dengan menganalisis nilai piksel dari citra *High Dynamic Range* (HDR) yang diambil menggunakan kamera 180 derajat. Di saat yang bersamaan, penerapan kamera 360 derajat dalam melakukan asesmen terhadap fotometri juga sedang dikembangkan. Namun, penggunaannya belum diterapkan untuk mengukur silau. Atas dasar itu, makalah ini bertujuan untuk

menerapkan kamera 360 derajat dalam menentukan nilai UGR menggunakan metode analisis piksel dari citra HDR. Hal ini dilakukan dengan membandingkan nilai UGR-nya terhadap citra kamera 180 derajat. Hasil pengujian menunjukkan ketidakterkaitan yang signifikan antara kedua kamera tersebut. Analisis statistik terhadap nilai L_{mean} dan L_{std} menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi kurang dari satu, serta uji F dan uji T kurang dari 0,05 dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) lebih dari 0,1. Adapun nilai *Coefficient Variation* (CV) kamera 180 derajat lebih besar daripada kamera 360 derajat, yang menyatakan data nilai luminansnya lebih tersebar. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kamera 360 derajat ini dengan metode analisis piksel pada citra HDR untuk mengukur silau adalah tidak sesuai.

Kata kunci—*Glare, Luminance, 360-degree Camera, Unified Glare Rating (UGR), High Dynamic Range (HDR) Image.*

I. PENDAHULUAN

Kenyamanan visual dipengaruhi oleh respons pengamat akibat pancaran cahaya yang mengenai mata dalam arah pandangan pengamat [1]. Pancaran cahaya dari sumber cahaya merupakan faktor determinan yang menentukan kualitas pencahayaan suatu ruangan [2]. Oleh karena itu, perlu dilakukan asesmen pencahayaan guna mengetahui kondisi pencahayaan di area tersebut.

Indikator yang merepresentasikan kenyamanan visual adalah silau, karena merupakan kondisi intensitas cahaya di suatu titik lebih terang dibandingkan sekitarnya secara signifikan [3]. Silau terbagi menjadi dua jenis, yaitu *discomfort glare* dan *disability glare*. Kondisi pertama dapat menyebabkan ketidaknyamanan penglihatan, sedangkan kondisi kedua dapat mengurangi kemampuan penglihatan [4]. Adapun pada makalah ini digunakan *discomfort glare* karena hendak diketahui gangguan sumber cahaya yang memengaruhi kenyamanan pengamat dalam melihat suatu objek.

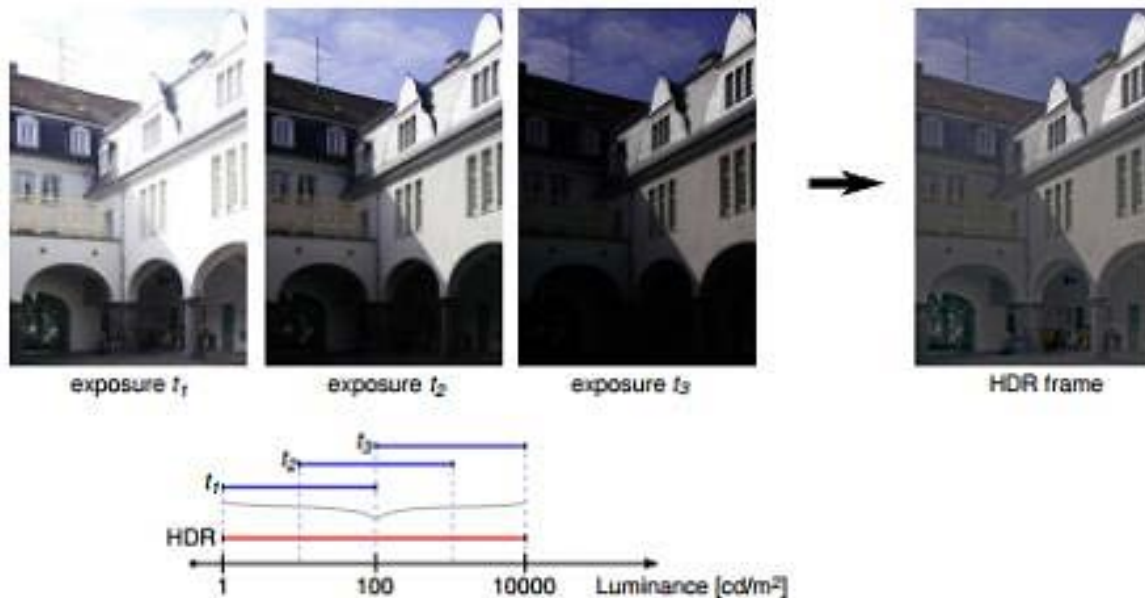
Penentuan *discomfort glare* ditentukan melalui berbagai jenis tingkat silau, seperti *Daylight Glare Probability* (DGP), *Daylight Glare Index* (DGI), *Visual Comfort Probability* (VCP), *CIE Glare Index* (CGI), dan *Unified Glare Index* (UGR) [5]. Setiap jenis digunakan dalam situasi yang berbeda-beda. Adapun UGR, yang digunakan dalam makalah ini, digunakan pada kondisi silau di suatu ruangan dengan sumber cahaya vertikal [6].

Nilai UGR ditentukan berdasarkan analisis piksel citra *High Dynamic Range* (HDR) yang diambil menggunakan kamera dengan lensa 180 derajat – untuk seterusnya disebut kamera 180 derajat [7]. Di sisi lain, perkembangan kamera dengan lensa 360 derajat – untuk seterusnya disebut kamera 360 derajat – juga dapat menjadi alternatif baru dalam mengukur UGR karena mampu menganalisis fotometri secara komprehensif [8]. Oleh karena itu, melalui makalah ini hendak diterapkan

¹ Mahasiswa, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281.

² Dosen, Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281, (Telp/Fax: (0274) 580882, e-mail: faridah@ugm.ac.id).

³ Dosen, Program Studi Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganeshha No. 10, Bandung 40132.



Gbr. 1 Proses penggabungan citra LDR menjadi HDR.

metode analisis piksel citra HDR pada kamera 360 derajat untuk mengukur nilai UGR.

Metode analisis piksel sudah diterapkan pada kamera 180 derajat untuk mengukur nilai UGR [9]. Citra yang digunakan adalah citra HDR agar rentang penglihatan manusia yang lebar, yaitu 10^{-8} – 10^6 cd/m^2 , dapat terakomodasi [10]. Selain itu, citra HDR mampu mewakili nilai luminans aktual sehingga hasil perhitungan nilai pikselnya dapat merepresentasikan keadaan sebenarnya [11].

Proses pengambilan citra HDR dilakukan dengan memotret sumber silau menggunakan kamera 180 derajat [12]. Kalibrasi nilai luminans aktual terhadap nilai piksel dilakukan dengan mengukur nilai luminans aktual menggunakan *luminance meter* [13]. Setelah itu, nilainya diproses secara otomatis menggunakan perangkat lunak HDRScope sehingga nilai piksel pada citra HDR dapat merepresentasikan nilai luminans aktual objek penelitian [14].

Metode yang sama berpeluang diterapkan pada kamera 360 derajat. Hal ini dikarenakan kamera 360 derajat sudah diterapkan untuk mengukur nilai luminans [15]. Selain itu, citra HDR juga sudah digunakan untuk menganalisis citra dengan pandangan 360 derajat [16].

II. UGR, LDR, DAN HDR

Berikut ini merupakan beberapa konsep dasar yang berkaitan dengan makalah ini.

A. Unified Glare Rating (UGR)

UGR merupakan indeks internasional yang dikeluarkan oleh *International Commission on Illumination* (CIE) pada tahun 1995 untuk menguantifikasi *discomfort glare*. Indeks ini berlaku pada pencahayaan di dalam ruangan, baik dengan sumber vertikal maupun horizontal. UGR dinyatakan melalui skala yang ditunjukkan oleh Tabel I. Nilai yang berada di bawah 10 akan diabaikan, sedangkan di atas 28 dianggap sebagai silau yang sangat besar sehingga tidak perlu dianalisis lebih lanjut [17].

TABEL I
KRITERIA NILAI UGR

Indeks UGR	Kriteria Hopkinson
10	Tidak terasa
13	Sedikit terasa
16	Terasa
19	Dapat diterima
22	Tidak dapat diterima
25	Sedikit tidak nyaman
28	Tidak nyaman

Indeks UGR dipengaruhi oleh empat hal, yaitu luminans sumber (L), luminans latar belakang (L_b), sudut ruang (ω), dan *guth position index* (p), seperti ditunjukkan oleh (1).

$$UGR = 8 \log \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \cdot \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

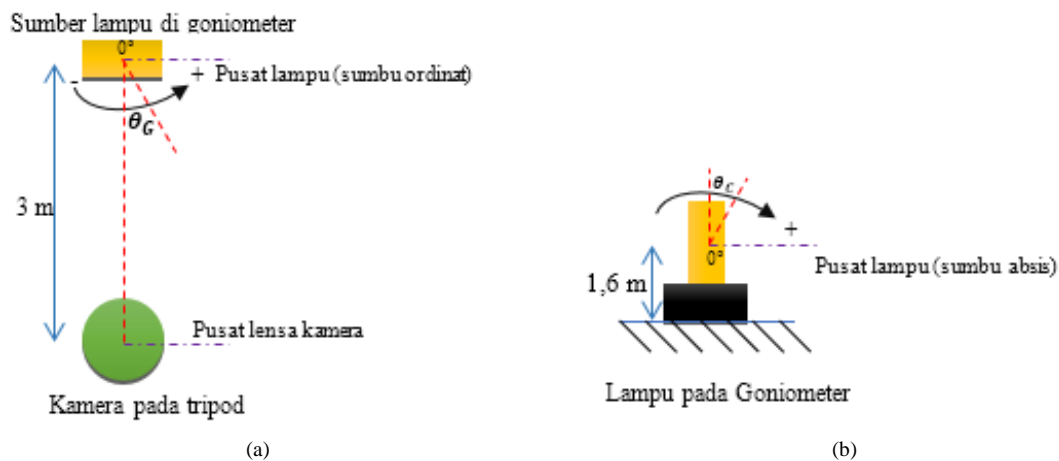
B. Citra LDR dan HDR

Citra *Low Dynamic Range* (LDR) merupakan citra dengan rentang nilai luminans yang kecil. Hal ini dipengaruhi oleh penentuan nilai *exposure* kamera pada saat pengambilan gambar [18]. Pengaruh masukan cahaya pada lensa membuat hasil citranya bervariasi.

Untuk memperoleh rentang luminans yang lebih luas, citra-citra LDR tersebut digabung menjadi citra HDR. Penggabungan ini dilakukan dengan metode konvolusi nilai piksel dari citra LDR untuk objek yang sama, sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 1. Dengan demikian, hasil citra HDR mampu mewakili rentang penglihatan manusia secara nyata guna mewakili nilai luminans aktualnya.

III. PENGATURAN PENELITIAN

Pada makalah ini, terdapat beberapa pengaturan penelitian tertentu yang harus diperhatikan agar proses pengambilan data dapat sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan.



Gbr. 2 Pengaturan penelitian di dalam ruang gelap, (a) tampak atas, (b) tampak depan.

A. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Kamera merek RICOH THETA V dengan lensa 360 derajat 17,9 mm.
- Kamera merek Canon EOS 5D Mark II dengan lensa 180 derajat 8 mm.
- *Luminance meter* merek Konika Minolta LS-100 untuk mengukur nilai luminans aktual.
- Ponsel.
- Goniometer merek LMT GO-V 1920 untuk mengubah variasi sudut lampu.
- Tripod untuk meletakkan kamera agar posisinya stabil.
- Goniometer.
- Lampu LED merek Philips 1550 lm dengan 30 watt sebagai sumber silau.
- Ruang gelap sebagai ruangan pengambilan citra.
- Perangkat lunak THETA V untuk mengambil citra dengan menggunakan kamera merek RICOH THETA V.
- Perangkat lunak EOS Utility untuk mengambil citra dengan menggunakan kamera merek Canon EOS 5D Mark II.
- Perangkat lunak Bracket untuk menggabungkan citra LDR menjadi citra HDR,
- Perangkat lunak Evalglare untuk menghitung nilai UGR.
- Perangkat lunak HDRScope untuk menghitung nilai luminans (L_{mean} dan L_{std}),
- Perangkat lunak Microsoft Excel dan SPSS untuk analisis statistik.

B. Pengaturan Eksperimen

Pengujian dilakukan di dalam ruang gelap guna menghindari sumber lain yang berasal dari pantulan permukaan ruangan dengan sumber cahaya lampu LED 1550 lm/30 watt. Lampu tersebut diletakkan pada goniometer secara tegak dengan orientasi yang dapat diatur secara vertikal dan horizontal. Sudut vertikal (θ_C) akan membuat lampu berputar pada sumbu absis, sedangkan sudut horizontal (θ_G) pada sumbu ordinat, sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 2.

Citra pada kedua kamera diambil secara otomatis menggunakan aplikasi guna mengurangi faktor galat pengujian. Kamera 180 derajat dikendalikan menggunakan laptop, sedangkan kamera 360 derajat dikendalikan menggunakan ponsel.

C. Kalibrasi Nilai Piksel terhadap Nilai Luminans Aktual

Kalibrasi nilai piksel terhadap nilai luminans aktual dilakukan dengan mengukur nilai luminans menggunakan *luminance meter*. Adapun objek yang dijadikan sebagai nilai luminans acuan adalah kertas putih berukuran A4 yang diletakkan di bawah lampu, seperti ditunjukkan pada Gbr. 3. Penggunaan kertas putih didasarkan pada sifatnya yang Lambertian, yaitu cahaya terdifusi secara merata ke seluruh permukaan kertas sehingga nilai luminans di seluruh permukaan kertas dapat diasumsikan sama. Oleh karena itu, kertas putih tersebut dapat digunakan sebagai acuan kalibrasi nilai luminans terhadap nilai piksel.



Gbr. 3 Pengukuran nilai luminans aktual pada kertas putih.

Kemudian, dilakukan kalibrasi nilai *shutter speed* dari kamera 360 derajat terhadap kamera 180 derajat sebagai acuan

dengan membandingkan citra dari sebuah objek tertentu. Adapun objek yang digunakan adalah pintu kayu. Kedua kamera diletakkan pada jarak 3 m dari depan pintu kayu guna menyesuaikan jarak pengambilan data di ruang gelap. Citra yang telah diambil kemudian disesuaikan visualnya secara manual berdasarkan pengamatan penguji sebagai basis data dalam tahapan selanjutnya.

IV. METODE

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan nilai UGR menggunakan kamera 360 derajat dengan metode analisis piksel. Nilai piksel tersebut dianalisis menggunakan perangkat lunak HDRScope. Hasilnya dibandingkan dengan citra HDR dari kamera 180 derajat secara statistik guna mengetahui kesesuaian penggunaan metode analisis piksel pada citra kamera 360 derajat dalam mengukur nilai UGR.

A. Data dan Variabel Penelitian

Nilai θ_C dan θ_G divariasikan sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel II yang ditentukan berdasarkan perubahan minimal sudut pengamatan yang dapat ditangkap oleh kamera secara signifikan. Adapun rentang pergeseran nilai θ_C dan θ_G ditentukan berdasarkan jangkauan penglihatan manusia secara normal.

TABEL II
VARIASI θ_C DAN θ_G

θ_C (°)	0										
θ_G (°)	0	15	30	45	60	75	-15	-30	-45	-60	-75
θ_C (°)	45										
θ_G (°)	0	15	30	45	60	75	-15	-30	-45	-60	-75
θ_C (°)	90										
θ_G (°)	0	15	30	45	60	75	-15	-30	-45	-60	-75

Penetapan setiap sudut tersebut diterapkan pada kamera 180 derajat dan kamera 360 derajat. Adapun beberapa informasi yang dapat diambil di setiap sudut tersebut, di antaranya adalah

- nilai luminans aktual yang diukur menggunakan *luminance meter* pada kertas putih,
- nilai UGR yang berasal dari hasil perhitungan HDRScope, dan
- variasi nilai statistik luminans dari kedua kamera, yaitu luminans rerata (L_{mean}) dan luminans standar deviasi (L_{std}).

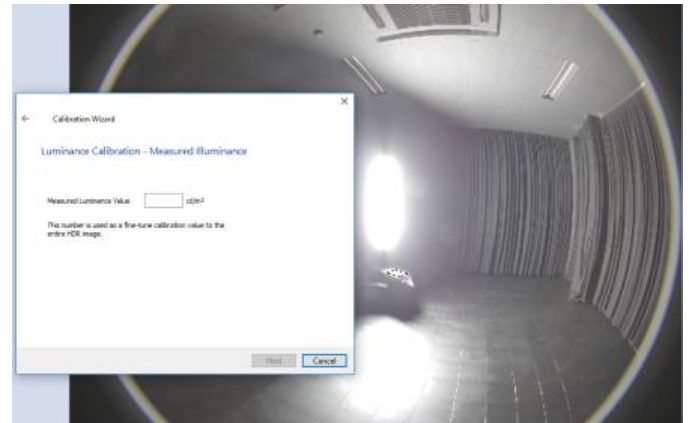
B. Proses Pengambilan Data

Ruangan uji dikondisikan gelap dengan lampu LED yang diletakkan secara vertikal pada goniometer. Sudut lampu divariasikan menggunakan goniometer yang diatur melalui komputer. Citra diambil pada setiap kombinasi θ_C dan θ_G sebanyak sebelas kali dengan variasi nilai *shutter speed*. Pengaturan kamera 180 derajat dan kamera 360 derajat disamakan sehingga hasil citra keduanya dapat dibandingkan.

Nilai luminans aktual diukur pada setiap kombinasi θ_C dan θ_G . *Luminance meter* diposisikan pada lensa kamera dan diarahkan pada kertas putih secara manual. Apabila pengambilan sebelas citra pada setiap kombinasi θ_C dan θ_G telah selesai, dilakukan langkah yang sama untuk kombinasi sudut lainnya.

C. Kalibrasi Nilai Luminans Citra HDR

Area kalibrasi ditentukan dengan memilih *tools – calibration*, lalu pilih *luminance calibration* karena nilai aktual yang diukur adalah luminans kertas putih. Lalu, area kertas putih pada citra dibatasi dengan menggunakan garis poligon. Nilai luminans terukur pada kombinasi θ_C dan θ_G yang sama kemudian dimasukkan ke dalam HDRScope sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 4. Setelah itu, algoritme HDRScope akan menyesuaikan nilai piksel keseluruhan pada citra berdasarkan nilai luminans tersebut.



Gbr. 4 Kalibrasi nilai luminans menggunakan HDRScope.

D. Pengolahan Nilai UGR

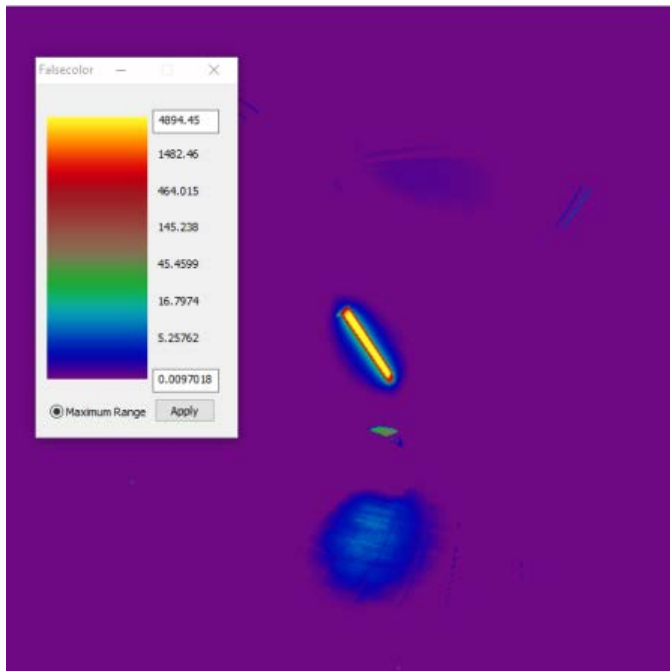
Untuk menentukan nilai UGR terhadap citra HDR yang sudah dikalibrasi, dipilih *analyze – glare analysis*. Lalu, dipilih *entire image* untuk menganalisis nilai UGR pada seluruh citra tersebut dengan area pandangan pengamat dalam bentuk *fisheye* atau rentang 180°. Terakhir, HDRScope akan mengeluarkan beberapa nilai indeks, yaitu DGP, DGI, UGR, VCP, dan CGI. Adapun yang digunakan pada makalah ini adalah indeks UGR, karena sesuai dengan pengaturan eksperimen pada penelitian ini, yaitu di dalam ruangan dan menggunakan sumber vertikal.

E. Perhitungan Sebaran Statistik Nilai Luminans Citra Keseluruhan, Sumber, dan Latar Belakang

Hasil analisis HDRScope pada sebuah citra HDR adalah L_{mean} dan L_{std} pada area keseluruhan citra, sumber, dan latar belakang. Area sumber dan latar belakang ditentukan menggunakan metode *falsecolor* yang akan memetakan nilai piksel citra HDR dengan visualisasi gradasi warna diiringi skala yang menerangkan perwakilan warna terhadap nilai luminans, seperti ditunjukkan pada Gbr. 5.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

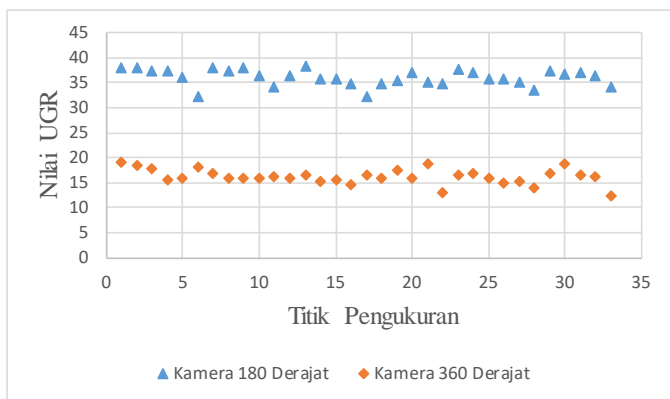
Untuk menganalisis hasil penerapan metode analisis piksel pada kamera 360 derajat, nilai UGR-nya dibandingkan dengan hasil kamera 180 derajat. Analisis dilakukan dengan membandingkan citranya secara visual berdasarkan perbedaan nilai UGR kedua kamera. Kemudian, dilakukan analisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan nilai luminans kedua kamera terhadap perbedaan nilai UGR.



Gbr. 5 Nilai luminans menggunakan metode *falsecolor*.

A. Analisis Perbedaan Nilai UGR Kedua Citra secara Visual berdasarkan Perbedaan Proyeksi Citra Kamera 180 Derajat dan Kamera 360 Derajat

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, ditemukan bahwa nilai UGR dari citra HDR kamera 360 derajat berbeda signifikan dengan kamera 180 derajat, sebagaimana ditunjukkan dalam Gbr. 6. Citra kamera 180 derajat menghasilkan nilai UGR antara 31–38 atau di atas 28, sedangkan nilai UGR citra kamera 360 derajat berada di rentang 12–19. Berdasarkan kriteria nilai UGR, maka citra kamera 180 derajat termasuk kondisi yang sangat silau, sedangkan citra kamera 360 derajat tergolong silau yang masih dapat diterima.

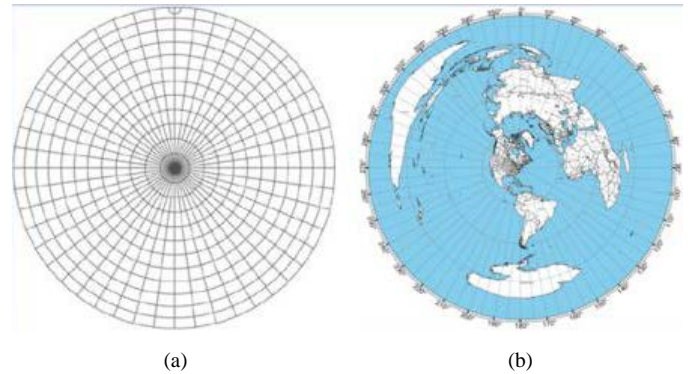


Gbr. 6 Nilai UGR kamera 180 derajat dan 360 derajat.

Nilai UGR tersebut dihitung oleh HDRScope dengan menggunakan perangkat lunak Evalglare. HDRScope menghitung nilai luminans aktual dengan menghitung nilai piksel citra HDR. Setelah itu, perangkat lunak Evalglare menghitung nilai UGR berdasarkan perbandingan nilai

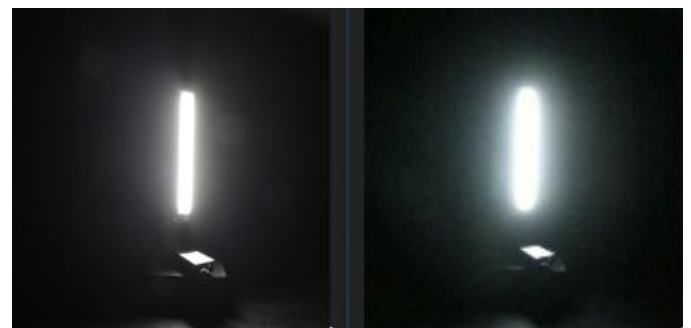
luminans pada area sumber terhadap latar belakang dari citra HDR tersebut.

Salah satu faktor yang memengaruhi perbedaan nilai piksel adalah perbedaan metode proyeksi yang diterapkan pada kamera 180 derajat dan kamera 360 derajat. Kamera 180 derajat menggunakan metode proyeksi *equiangular* sehingga menyebabkan lokasi di pusat citra lebih padat dibandingkan area pinggir citra. Adapun kamera 360 derajat menggunakan metode proyeksi *equidistant* yang menyebabkan area di pusat citra lebih tersebar dibandingkan area pinggir citra, sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 7.



Gbr. 7 Metode proyeksi, (a) *equiangular*, (b) *equidistant*.

Perbedaan proyeksi ini mengakibatkan perhitungan nilai luminansnya berbeda, sehingga nilai UGR yang dihasilkan pun berbeda. Analisis perbedaan tersebut dapat dilakukan secara visual dengan melihat hasil citra HDR dari kedua kamera. Pada bagian pusat citra HDR, citra kamera 180 derajat menghasilkan bentuk sumber lampu yang lebih tajam dibandingkan kamera 360 derajat, sebagaimana ditunjukkan pada Gbr. 8.

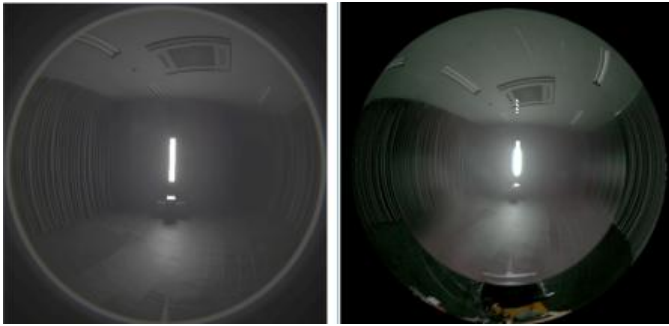


Gbr. 8 Perbandingan proyeksi kamera 180 derajat (kiri) terhadap kamera 360 derajat (kanan) pada pusat citra.

Perbedaan proyeksi juga dapat dilihat pada keseluruhan kedua citra, yaitu area pinggir citra kamera 180 derajat lebih sempit dibandingkan kamera 360 derajat, seperti ditunjukkan oleh Gbr. 9. Hal ini dapat dilihat melalui objek yang terdapat di sekitar area pinggir citra. Pada citra kamera 180 derajat, hanya terlihat kaki tripod, sedangkan pada kamera 360 derajat, penyangga kamera pada tripod masih dapat terlihat. Hal tersebut menunjukkan bahwa proyeksi citra kamera 180 derajat membuat citra lebih sempit daripada citra kamera 360 derajat.

Perbedaan proyeksi pada kedua citra tersebut memengaruhi perhitungan nilai UGR karena area sumber yang berada di

tengah citra akan menghasilkan perhitungan nilai luminans yang berbeda. Hal ini memengaruhi perhitungan rerata nilai piksel pada area sumber oleh HDRScope dari kedua citra, sehingga nilai UGR pada keduanya akan berbeda.



Gbr. 9 Perbandingan proyeksi kamera 180 derajat (kiri) terhadap kamera 360 derajat (kanan) pada keseluruhan citra.

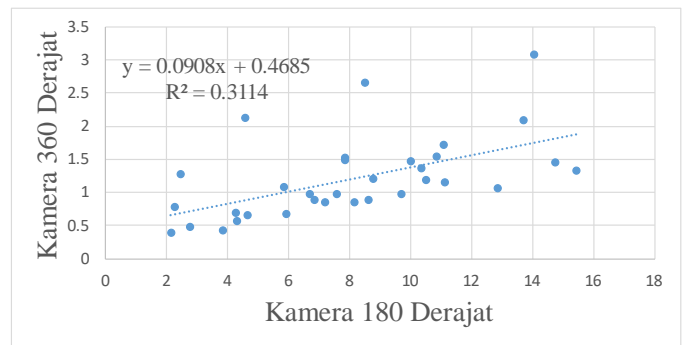
B. Analisis Hubungan Nilai Luminans terhadap Perhitungan Nilai UGR

Perhitungan nilai UGR dipengaruhi oleh perbandingan nilai luminans sumber terhadap luminans latar belakang. Adapun data luminans yang dapat diketahui dari HDRScope adalah L_{mean} dan L_{std} . Nilai L_{mean} digunakan untuk mengetahui nilai luminans secara umum dari citra HDR, sedangkan nilai L_{std} digunakan untuk mengetahui sebaran nilai luminansnya. Kedua nilai luminans ini menjadi basis analisis pengaruh perbedaan nilai UGR pada citra HDR dari kamera 360 derajat dan kamera 180 derajat.

Untuk mengetahui perbedaan nilai L_{mean} dan L_{std} dari kedua kamera, digunakan analisis secara statistik. Untuk mengetahui seberapa besar keterkaitan hasil analisis citra kedua kamera, dilakukan uji hipotesis menggunakan regresi dengan menganalisis nilai koefisien determinasi, uji F, uji T, serta persamaan regresi. Lalu, dihitung tingkat akurasinya melalui nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dari L_{mean} dan L_{std} . Setelah itu, dihitung nilai *Coefficient Variation* (CV) dari rasio L_{mean} dan L_{std} untuk mengetahui sebaran data nilai luminans citra HDR dari kedua kamera.

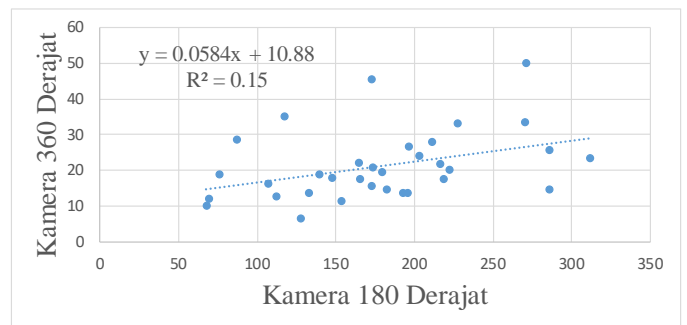
Dalam makalah ini, hipotesis H_0 merupakan hipotesis ketika nilai L_{mean} dan L_{std} keseluruhan citra pada kedua kamera sama. Adapun H_1 merupakan hipotesis ketika pada nilai L_{mean} dan L_{std} keseluruhan citra terdapat perbedaan. Kedua hipotesis ini menjadi dasar dari penentuan hasil analisis statistik dari nilai L_{mean} dan L_{std} .

Pertama, analisis statistika untuk nilai L_{mean} memperoleh nilai koefisien determinasi L_{mean} dari kedua kamera sebesar 0,311 dengan persamaan $L_{mean360} = 0,0908L_{mean180} + 0,4685$, sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 10. Nilai tersebut sangat jauh dari 1 sehingga terdapat perbedaan nilai L_{mean} yang besar pada kedua citra tersebut. Dengan tingkat kepercayaan 95%, diperoleh nilai uji F sebesar 0,000739 dan nilai p sebesar 0,0367. Karena nilai p berada di bawah 5%, maka H_0 ditolak sehingga H_1 diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa terdapat perbedaan nilai L_{mean} yang signifikan dari kedua citra tersebut.



Gbr. 10 Analisis regresi nilai L_{mean} pada kedua citra.

Kemudian, analisis statistika untuk nilai L_{std} menunjukkan nilai koefisien determinasi L_{std} dari kedua kamera sebesar 0,15 dengan persamaan $L_{std360} = 0,0584L_{std180} + 10,88$, sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 11. Nilai tersebut lebih kecil daripada L_{mean} sehingga juga terdapat perbedaan nilai L_{std} yang signifikan dari kedua citra tersebut. Dengan tingkat kepercayaan 95%, diperoleh nilai uji F sebesar 0,026 dan nilai p sebesar 0,0276. Karena nilai p berada di bawah 5%, maka H_0 ditolak sehingga H_1 diterima. Oleh karena itu, dapat dikatakan pula bahwa terdapat perbedaan nilai L_{std} yang signifikan dari kedua citra tersebut.



Gbr. 11 Analisis regresi nilai L_{std} pada kedua citra.

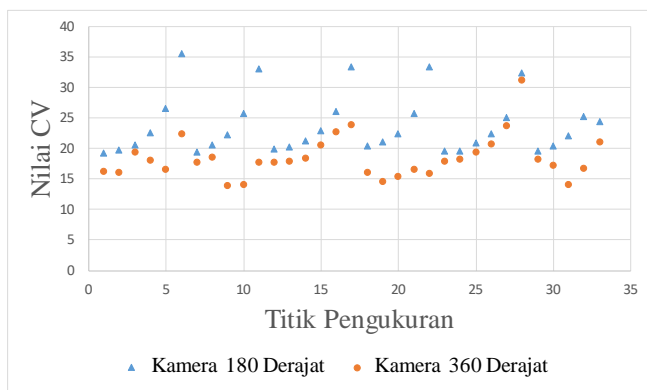
Untuk mengetahui akurasi kedua data tersebut, dicari nilai RMSE-nya. Pada L_{mean} , nilai RMSE-nya sebesar 0,497, sedangkan pada L_{std} sebesar 8,803. Kedua nilai tersebut lebih besar daripada nilai toleransi galat yang ditetapkan berdasarkan penelitian sebelumnya, yaitu 10%. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa akurasi nilai L_{mean} dan L_{std} dari citra kamera 360 derajat terhadap kamera 180 derajat adalah kecil. Hal ini menunjukkan bahwa nilai piksel yang terbaca pada kamera 360 derajat tidak dapat merepresentasikan nilai piksel yang ada pada kamera 180 derajat, terutama dalam menganalisis nilai L_{mean} dan L_{std} .

Kemudian, perlu diketahui sebaran nilai luminans di setiap lokasi piksel pada citra HDR untuk menentukan pengaruh dari perhitungan nilai L_{mean} dan L_{std} . Hal ini dilakukan dengan menghitung nilai CV dari L_{mean} dan L_{std} . Perhitungan nilai CV menjadi penting untuk mengetahui pengaruh dari perhitungan nilai luminans citra HDR dari kedua kamera dalam menentukan nilai UGR.

Selama ini, penentuan tingkat silau pada suatu citra belum pernah menggunakan analisis CV karena nilainya belum

menyatakan besaran perbandingan nilai luminans sumber terhadap latar belakang secara pasti. Namun, penggunaan nilai CV dapat digunakan sebagai penentuan awal terhadap nilai tingkat silau pada citra karena nilainya menjelaskan persebaran nilai luminansnya. Apabila nilai luminansnya semakin tersebar, maka *uniformity*-nya rendah. Hal ini disebabkan adanya variasi nilai luminans pada citra tersebut sehingga pada keseluruhan wilayah, nilai luminansnya cenderung tidak seragam.

Berdasarkan perhitungan, diperoleh bahwa nilai CV dari kamera 180 derajat lebih besar daripada kamera 360 derajat untuk setiap titik pengukuran, sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 12. Nilai CV tersebut dihitung melalui rasio antara L_{mean} dan L_{std} dari kamera 180 derajat dan 360 derajat pada masing-masing titik pengukuran. Semakin besar nilai CV, semakin luas sebaran data. Hal ini menunjukkan bahwa nilai luminans pada citra kamera 180 derajat lebih tersebar daripada kamera 360 derajat sehingga mengindikasikan perbedaan yang besar antara luminans sumber terhadap latar belakang. Oleh karena itu, analisis ini memperkuat penjelasan mengenai nilai UGR kamera 180 derajat yang lebih besar daripada kamera 360 derajat.

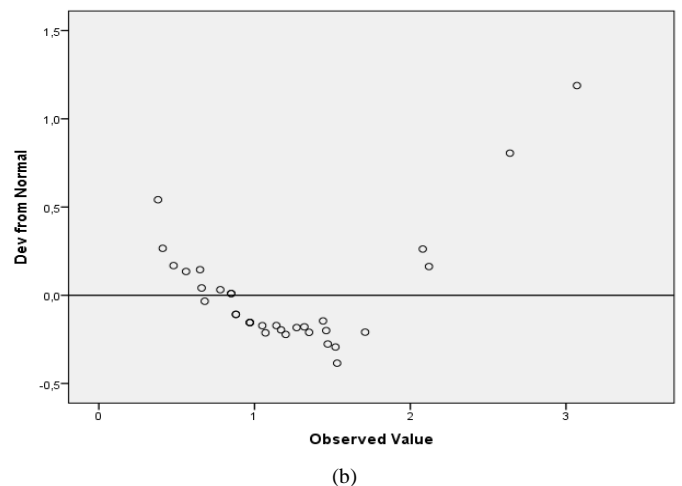
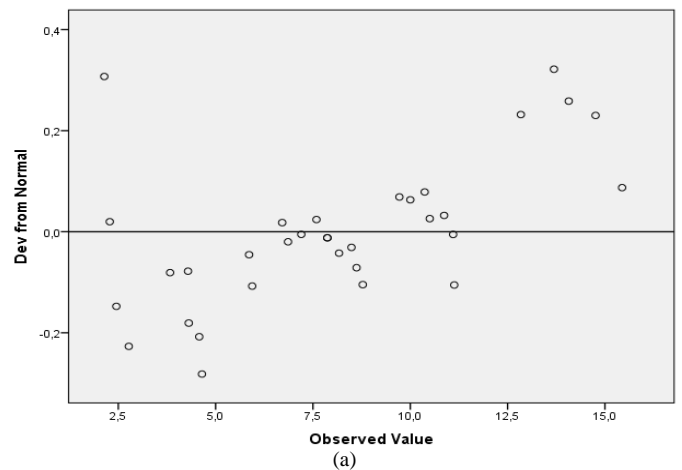


Gbr. 12 Nilai CV kamera 180 derajat dan 360 derajat.

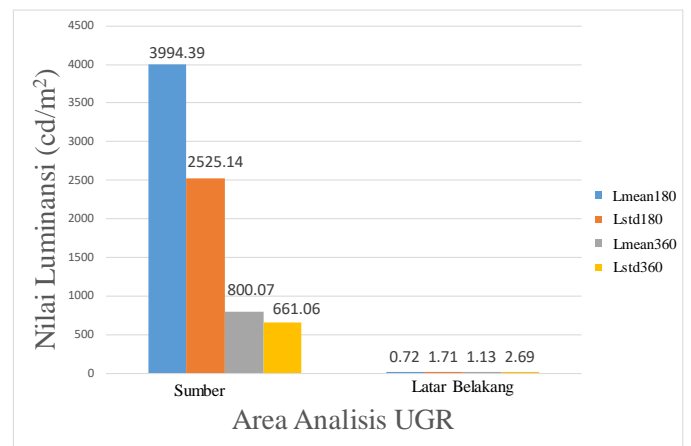
Untuk melihat secara visual perbedaan persebaran data yang terjadi antara kamera 180 derajat dan 360 derajat, seluruh data nilai L_{mean} di-plot dalam *Q-Q Plot*. Nilai L_{mean} digunakan karena nilainya menyatakan nilai luminans secara umum sehingga mewakili data nilai luminans pada citra. Dari Gbr. 13 dapat dilihat bahwa kamera 180 derajat memiliki nilai L_{mean} yang lebih menyebar dibandingkan kamera 360 derajat. Hal ini mengindikasikan bahwa pada data L_{mean} yang bervariasi, terdapat nilai-nilai luminans yang beragam. Pengaruh nilai luminans dari setiap posisi piksel membuat nilai luminans merata berbeda-beda, bahkan tersebar.

C. Analisis Perbandingan nilai L_{mean} dan L_{std} pada Area Sumber dan Latar Belakang

Nilai UGR dipengaruhi oleh perbandingan nilai luminans sumber silau terhadap luminans latar belakang pada sudut pandang arah tertentu. Pada makalah ini, nilai luminans dihitung menggunakan HDRScope, yang hasilnya hanya dapat menampilkan nilai L_{mean} dan L_{std} . Oleh karena itu, kedua nilai tersebut digunakan untuk mengetahui profil nilai luminans area sumber dan latar belakang dengan membandingkan nilai L_{mean} dan L_{std} dari kamera 360 derajat dan kamera 180 derajat.



Gbr. 13 *Q-Q Plot* nilai L_{mean} kamera, (a) kamera 180 derajat, (b) kamera 360 derajat.



Gbr. 14 Perbandingan nilai L_{mean} dan L_{std} dari area sumber dan latar belakang pada kamera 180 derajat dan kamera 360 derajat.

Ternyata ditemukan bahwa nilai L_{mean} dari citra kamera 180 derajat jauh lebih besar daripada kamera 360 derajat, yaitu secara berturut-turut mencapai 4.000 cd/m^2 dan 800 cd/m^2 , sebagaimana ditunjukkan oleh Gbr. 14. Perbedaan nilai L_{mean} terhadap L_{std} kamera 180 derajat juga lebih besar daripada kamera 360 derajat. Melalui nilai L_{mean} , dapat diketahui bahwa

secara umum, nilai luminans dari area sumber tersebut besar. Adapun nilai L_{std} menginformasikan bahwa variasi nilai luminans di area sumber cukup besar.

Perbedaan nilai luminans tersebut memengaruhi perhitungan nilai UGR. Grafik pada Gbr. 14 menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara nilai luminans area sumber dan latar belakang pada citra kamera 180 derajat. Adapun perbedaan nilai luminans area sumber terhadap latar belakang pada citra kamera 360 derajat lebih kecil dibandingkan kamera 180 derajat. Hal tersebut membuat nilai UGR dari citra kamera 180 derajat lebih besar daripada kamera 360 derajat karena perhitungan nilai UGR sangat ditentukan oleh perbandingan nilai luminans area sumber terhadap latar belakang. Apabila perbedaan nilai luminans antara kedua area tersebut besar, maka nilai UGR-nya pun besar. Oleh karena itu, nilai UGR dari citra kamera 180 derajat lebih besar daripada kamera 360 derajat, disebabkan oleh perbedaan nilai luminans yang lebih besar pada area sumber terhadap latar belakang.

VI. KESIMPULAN

Pengukuran UGR menggunakan metode analisis piksel citra HDR dengan kamera 360 derajat tidak sesuai. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan nilai UGR dari kedua citra, yaitu nilai UGR citra kamera 180 derajat lebih besar daripada kamera 360 derajat. Perbedaan ini dilihat dari nilai koefisien determinasi sangat jauh dari 1, serta nilai uji F dan nilai p kurang dari 0,05, sehingga citra kamera 180 derajat dan kamera 360 derajat memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Adapun nilai RMSE pada kamera 180 derajat dan 360 derajat lebih dari 10%, sehingga nilai luminans kamera 360 derajat tidak dapat mewakili kamera 180 derajat. Hubungan nilai luminans yang menyebabkan perbedaan nilai UGR tersebut dilihat dari nilai CV kamera 180 derajat yang lebih besar daripada kamera 360 derajat. Selain itu, perbedaan L_{mean} dan L_{std} area sumber dan latar belakang pada kamera 180 derajat lebih besar dibandingkan kamera 360 derajat. Meskipun demikian, terdapat hubungan dari nilai L_{mean} dan L_{std} pada kedua kamera tersebut melalui persamaan regresi, yaitu secara berturut-turut $L_{mean360} = 0,0908L_{mean180} + 0,4685$ dan $L_{std360} = 0,0584L_{std180} + 10,88$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada seluruh staf Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika UGM dan staf Laboratorium Fisika Bangunan Teknik Fisika ITB.

REFERENSI

[1] M. Šlipek, M. Sarey Khanie, D. Zukowska, dan J. Kolarik, "Visual Comfort Evaluation in Residential Buildings: A Simulation-Based

- Study," dipresentasikan di LUX EUROPA, Ljubljana, Slovenia, 2017.
- [2] S.M. Yacine, Z. Noureddine, B.E.A. Piga, E. Morello, dan D. Safa, "Towards a New Model of Light Quality Assessment Based on Occupant Satisfaction and Lighting Glare Indices," *Energy Procedia*, Vol. 122, hal. 805–810, 2017.
- [3] P. Iacomussi, M. Radis, G. Rossi, dan L. Rossi, "Visual Comfort with LED Lighting," *Energy Procedia*, Vol. 78, hal. 729–734, 2015.
- [4] J.B. Murdoch, *Illumination Engineering From Edison's Lamp to the Laser*, London, UK: McGraw-Hill Education - Europe, 1985.
- [5] J.A.Y. Garretón, E.M. Colombo, dan A.E. Pattini, "A Global Evaluation of Discomfort Glare Metrics in Real Office Spaces with Presence of Direct Sunlight," *Energy Build.*, Vol. 166, hal. 145–153, 2018.
- [6] J.Y. Suk, "Luminance and Vertical Eye Illuminance Thresholds for Occupants' Visual Comfort in Daylit Office Environments," *Build. Environ.*, Vol. 148, hal. 107–115, 2019.
- [7] J. Yong, M. Schiler, dan K. Kensek, "Investigation of Existing Discomfort Glare Indices Using Human Subject Study Data," *Build. Environ.*, Vol. 113, hal. 121–130, 2017.
- [8] J. Ling, K. Zhang, Y. Zhang, D. Yang, dan Z. Chen, "A Saliency Prediction Model on 360 Degree Images Using Color Dictionary Based Sparse Representation," *Signal Process. Image Commun.*, Vol. 69, hal. 60–68, 2018.
- [9] R.A. Mangkuto, K.A. Kurnia, D.N. Azizah, R.T. Atmodipoero, dan F.X.N. Soelami, "Determination of Discomfort Glare Criteria for Daylit Space in Indonesia," *Sol. Energy*, Vol. 149, hal. 151–163, 2017.
- [10] P.R. Boyce, *Human Factors in Lighting*, 3rd ed., Boca Raton, USA: CRC Press, 2014.
- [11] K.A. Kurnia, D.N. Azizah, R.A. Mangkuto, dan R.T. Atmodipoero, "Visual Comfort Assessment Using High Dynamic Range Images under Daylight Condition in the Main Library Building of Institut Teknologi Bandung," *Procedia Eng.*, Vol. 170, hal. 234–239, 2017.
- [12] A. Michael dan C. Heracleous, "Assessment of Natural Lighting Performance and Visual Comfort of Educational Architecture in Southern Europe: The Case of Typical Educational School Premises in Cyprus," *Energy Build.*, Vol. 140, hal. 443–457, 2017.
- [13] E. Tural dan M. Tural, "Luminance Contrast Analyses for Low Vision in a Senior Living Facility: A Proposal for an HDR Image-Based Analysis Tool," *Build. Environ.*, Vol. 81, hal. 20–28, 2014.
- [14] T. Porsch, C. Funke, F. Schmidt, dan C. Schierz, "Measurement of the Unified Glare Rating (UGR) Based on Using ILM-D," *CIE Proc.*, 2015, hal. 1471–1480.
- [15] M. Kurkela, M. Maksimainen, M.T. Vaaja, J.-P. Virtanen, A. Kukko, J. Hyypä, dan H. Hyypä, "Camera Preparation and Performance for 3D Luminance Mapping of Road Environments," *Photogramm. J. Finl.*, Vol. 25, No. 2, hal. 1–23, 2017.
- [16] Y. Lu, K. Wang, dan G. Fan, "Photometric Calibration and Image Stitching for a Large Field of View Multi-Camera System," *Sensors (Switzerland)*, Vol. 16, No. 4, hal. 1–12, 2016.
- [17] L. Bedocs, H.D. Einhorn, D. Fischer, E.H. Hansen, S. Kanaya, H.A. Löfberg, K. Poulton, A.I. Slater, K. Sørensen, dan W.G. Julian, "Discomfort Glare in Interior Lighting," CIE Technical Report 117, 1995.
- [18] G. Eilertsen, J. Kronander, G. Denes, R.K. Mantiuk, dan J. Unger, "HDR Image Reconstruction from a Single Exposure Using Deep CNNs," *ACM Trans. on Graphics*, Vol. 36, No. 6, hal. 1-15, 2017.