

PENELITIAN TERHADAP KUAT PENERANGAN DAN HUBUNGANNYA DENGAN ANGKA REFLEKTANSI WARNA DINDING Studi Kasus Ruang Kelas Unika Widya Mandala Surabaya

Luciana Kristanto

Staf Pengajar Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Arsitektur – Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Kuat penerangan rata-rata dan kuat penerangan yang merata adalah dua buah faktor kuantitas pencahayaan yang harus dipenuhi dalam sistem pencahayaan general, agar penglihatan dapat berfungsi dengan baik.

Landasan teori bahwa dinding dan langit-langit yang terang (berkaitan dengan angka reflektansi) sangat efisien dalam menghemat energi dan mendistribusikan cahaya secara merata digunakan dalam memecahkan masalah tidak terpenuhinya kedua faktor tersebut di ruang-ruang kelas Unika Widya Mandala Surabaya.

Di akhir penelitian, disimpulkan bahwa standar kuat penerangan rata-rata dapat dicapai dengan peningkatan angka reflektansi warna dinding; sedang tercapainya standar pencahayaan merata, di samping peningkatan angka reflektansi warna dinding harus pula diatur letak lampu sesuai *spacing criteria*.

Kata Kunci : kuat penerangan rata-rata, kuat penerangan yang merata, angka reflektansi.

ABSTRACT

The average of illumination and uniformity of illumination are two factors that have to be fulfilled in general lighting system in maintaining the visual activity.

Theory that light walls and ceilings are much more efficient than dark walls in conserving energy and distributing light uniformly is used to develop the solution for the case study classes of Unika Widya Mandala Surabaya in reaching the standard of both factors.

The conclusion of this case study, the average of illumination standard can be fulfilled with increasing the surface (wall) reflectance only; whereas the uniformity of illumination standard should be fulfilled both with increasing the surface reflectance and fulfill the spacing criterion of luminaires.

Keywords: average of illumination, uniformity of illumination, reflectance.

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Penelitian ini dilakukan di ruang kelas Unika Widya Mandala Surabaya, bermula dengan adanya keluhan dari sebagian sivitas akademika yang merasa ruang kelas kurang terang pencahayaannya. Adanya gejala tersebut, perlu diteliti lebih lanjut penyebab pengguna merasa pencahayaan kurang terang, hingga ditemukan solusi terhadap permasalahan tsb.. Ruang kelas adalah ruang dengan aktivitas utama baca-tulis, sehingga kuat penerangan minimum yang diharapkan adalah 250 lux. (Darmasetiawan & Puspakesuma, 1991) Standar di negara kita tentang penerangan buatan untuk kelas yaitu 200 - 300 lux. (Standar Penerangan Buatan dalam Gedung, 1978).

Kasus di ruang kelas Universitas Katolik Widya Mandala ini ialah kuat penerangan yang kurang memenuhi standar tersebut. Dari penelitian awal ditemukan banyak titik dengan kuat penerangan jauh di bawah 200 lux.

Kurangnya kuat penerangan dapat mempengaruhi aktivitas baca tulis para mahasiswa dalam ruang kelas tersebut, bahkan dalam jangka panjang dapat mengakibatkan gangguan penglihatan.

Adapun kondisi eksisting beberapa ruang kelas adalah sbb. :

- Lantai keramik merah bata ukuran 10 x 20 cm²; dan beige 20 x 20 cm².
- Dinding batu bata (warna *terracotta*) dan lulu (warna *cement grey*) ekspos.
- Langit-langit aluminium, dengan balok beton ekspos.
- Kursi dengan penyangga tangan untuk menulis dari kayu.

- Lampu tipe TL'D 36/33 (2500 lumen) dan TL'D 36/54 (3000 lumen) eks Philips dan GE 36W Cool white (2850 lumen).
- Luminaire eks Amelind Fixture/Simplex dan TMS 012 eks Philips.

Dengan kondisi tersebut dan adanya kenyataan bahwa warna gelap menyerap lebih banyak cahaya (% reflektansi / pantulan warna gelap lebih rendah daripada warna terang), maka peneliti merasa perlu meneliti hubungan antara pemilihan warna tersebut terhadap kuat penerangan.

2. Tujuan dan Lingkup Penelitian

Penelitian bertujuan memberikan usulan sedemikian hingga tercapai kuat penerangan yang tepat dan usulan lain sesuai perkembangan hasil penelitian selanjutnya.

Ruang kelas sepenuhnya mengandalkan pencahayaan buatan, siang hari pun lampu dianggap menyala total. Penelitian ditujukan pada pencahayaan buatan, pengaruh cahaya matahari tidak diperhitungkan.

Penelitian dilakukan dengan mengubah warna dinding atau plafon saja; pertama, karena 'jiwa' disain interior ruang dengan suasana *finishing* bata; kedua, lantai keramik tidak dimungkinkan diganti. Jumlah dan susunan *luminaire* diusahakan tetap dipertahankan.

LANDASAN TEORI

1. Kuat Penerangan (*Illumination*)

Darmasetiawan & Puspakesuma (1991) mendefinisikan *kuat penerangan ialah kuantitas/jumlah cahaya pada level pencahayaan / permukaan tertentu*. [Satuan = lux (lumen/m²)] dan merekomendasikan kuat penerangan ruang kelas sebesar 250 lux. Menurut Standar Penerangan Buatan Dalam Gedung (1978), standar kuat penerangan kelas ialah 200 – 300 lux. Dengan tetap mematuhi standar tersebut dan untuk mengantisipasi depresiasi dari lampu, maka dalam penelitian ini ditetapkan kuat penerangan rata-rata yang ingin dicapai adalah minimum 250 lux.

2. Kuat Penerangan Yang Merata (*Uniformity of illuminance*)

Oleh Cayless & Marsden (1966) dinyatakan bahwa kuat penerangan yang merata adalah penting karena tiga hal, yaitu dapat mengurangi variasi kuat penerangan dalam ruang dengan

aktivitas sejenis; kepadatan cahaya dapat mempengaruhi kinerja dan kenyamanan visual; pencahayaan yang tidak merata tidak memuaskan secara subjektif.

Pritchard (1986) menyatakan bahwa perencanaan pencahayaan dalam praktik pada umumnya bertujuan untuk tercapainya kuat penerangan yang merata pada seluruh bidang kerja. Pencahayaan yang sepenuhnya merata memang tidak mungkin dalam praktik, tetapi standar yang dapat diterima adalah *kuat penerangan minimum serendah-rendahnya 80% dari kuat penerangan rata-rata ruang*. Artinya, misalkan kuat penerangan rata-ratanya 100 lux, maka kuat penerangan dari semua titik ukur harus 80 lux. Selanjutnya oleh Pritchard dinyatakan bahwa hal ini dapat dicapai jika memenuhi *spacing criteria* (SC), yaitu perbandingan jarak antar pusat *luminaire* terhadap jarak *luminaire* ke bidang kerja (*mounting height*). SC 1,5 artinya jarak maksimum antar *luminaire* = 1,5 x *mounting height*-nya.

3. Reflektansi/*Reflectance*

Dalam *IES Lighting Handbook* (1984) dinyatakan bahwa setiap objek memantulkan sebagian dari cahaya yang mengenainya. Tergantung pada susunan geometris, ukuran yang tepat dapat berupa reflektansi cahaya total, reflektansi cahaya reguler (specular), reflektansi cahaya difus, faktor reflektansi cahaya atau faktor luminasi. Skala reflektansi cahaya adalah antara 0 dan 100 %, hitam ke putih.

Karena *finishing* dinding Unika Widya Mandala yang diteliti terdiri dari bahan dengan tekstur yang berlainan yaitu bata (halus berpoles) dan luluh, maka reflektansi yang dimaksud ialah reflektansi rata-rata dari kedua material tersebut. Angka reflektansi inilah yang ditiru oleh sampel untuk ditingkatkan.

Untuk sekolah, agar didapatkan kenyamanan penglihatan di dalam ruang, Stein & Reynolds (1992) merekomendasikan

- Angka reflektansi dinding : 50 – 70 %
- Angka reflektansi lantai : 20 – 40 %
- Angka reflektansi langit-langit : 70 – 90 %
- Angka reflektansi perabot : 25 – 45 %
- Angka reflektansi papan tulis : > 20 %

4. Hubungan Kuat Penerangan dengan Angka Reflektansi

IES Lighting Handbook (1984) menyatakan bahwa dinding dan langit-langit yang terang, baik yang netral maupun berwarna, sangat lebih

efisien daripada dinding gelap dalam menghemat energi dan mendistribusikan cahaya secara merata.

Studi bertahap sudah dilakukan oleh Brainerd dan Massey pada tahun 1942 dilaporkan dengan istilah *footcandle* (kuat penerangan) dan *coefficient of utilization* (mewakili angka reflektansi).

Analisis matematis oleh Moon terhadap pengaruh warna dinding terhadap kuat penerangan dan rasio kepadatan cahaya/luminasi dalam ruang kubus menunjukkan bahwa *peningkatan reflektansi dinding dengan suatu faktor 9 dapat menghasilkan peningkatan kuat penerangan dengan suatu faktor sekitar 3*.

Oleh Birren (1982) dinyatakan bahwa warna terang memantulkan lebih banyak cahaya daripada warna gelap.

Sorcar (1987) menyatakan bahwa nilai *coefficient of utilization* atau CU paling dominan bergantung pada reflektansi permukaan; dengan demikian, reflektansi permukaan yang lebih tinggi berarti nilai CU yang lebih tinggi. Jadi, bila angka reflektansi permukaan ditingkatkan, nilai CU juga lebih tinggi, sehingga kuat penerangan juga meningkat.

5. Hubungan CU dengan Peningkatan Reflektansi Permukaan

Adanya ketergantungan CU pada distribusi cahaya oleh *luminaire*, ketinggian *luminaire* di atas bidang kerja, proporsi ruang, dan reflektansi permukaan, maka dipilih meningkatkan reflektansi permukaan karena :

1. Penggunaan *luminaire* TMS012 yang memungkinkan 78% cahaya diarahkan ke bidang kerja sudah tepat, sehingga penggantian *luminaire* hanya akan memakan biaya yang besar;
2. Ketinggian penggantung *luminaire* sudah dipertimbangkan terhadap proporsi tinggi ruang keseluruhan oleh si arsitek;
3. Proporsi ruang (panjang, lebar, tinggi) dianjurkan tidak diubah;
4. Reflektansi permukaan paling dominan dalam menentukan nilai CU.

Karena beberapa alternatif dalam meningkatkan reflektansi permukaan, antara lain mengganti tekstur dengan yang lebih halus ataupun mengganti dengan yang lebih mengkilat dapat berarti menghilangkan 'jiwa' ruang ber-*terracotta* yang ingin diangkat oleh si arsitek, maka dipilih tekstur tetap (batu bata), tetapi

warna bata (*terracotta*) diganti dengan yang lebih muda.

6. Hubungan Warna dengan Angka Reflektansi

Stein & Reynolds (1992) menyatakan bahwa dalam sistem warna Munsell, *brilliance* (*value*) dari suatu pigmen atau pewarnaan berhubungan dengan reflektansinya terhadap cahaya. *Brilliance/value* yang lebih tinggi, faktor reflektansinya juga lebih tinggi. Saat putih ditambahkan ke suatu pigmen, hasilnya ialah *tint* (warna yang lebih muda); penambahan hitam menghasilkan suatu *shade* (warna yang lebih gelap).

Maka dalam penelitian ini yang dimaksud dengan warna yang lebih muda ialah dengan penambahan warna putih terhadap warna bata (*terracotta*).

METODOLOGI PENELITIAN

Merujuk pendapat dari para pemakai bangunan bahwa pencahayaan ruang kelas Unika Widya Mandala terkesan kurang terang, maka penelitian ini dilakukan dengan dugaan awal bahwa kuat penerangan rata-rata /Erata-rata di bawah persyaratan (<250 lux); kurang merata (E minimum < 80% Erata-rata); dan atau angka reflektansi dinding dan langit-langit di bawah rekomendasi (dinding < 50%, langit-langit < 70%). Untuk itu dilakukan pengukuran awal pada 3 tipe ruang kelas (kelas B.302, B.312 dan B.405), sedang penelitian selanjutnya dilakukan pada satu tipe ruang saja yaitu B.312 yang dianggap mewakili ruang kelas pada umumnya.

1. Metode Penentuan dan Pengukuran Titik-titik Ukur Kuat Penerangan

Dalam menentukan titik-titik ukur ruang digunakan metode a dan metode b dari IES Lighting Handbook 1984.

Metode a, yaitu *Determination of Average Illuminance on a Horizontal Plane from General Lighting Only*; pengukuran dilakukan dengan meletakkan titik-titik ukur berpola kotak-kotak (*grid*) 0,6 meter persegi dalam ruang. Kuat penerangan rata-rata didapatkan dengan menghitung nilai rata-rata dari semua titik ukur.

Metode b, yaitu *Regular Area With Symmetrically Spaced Luminaires in Two or More Rows*. Metode ini digunakan untuk ruang dengan letak *luminaire* simetris dalam dua lajur

atau lebih. Pengukuran kuat penerangannya hampir sama dengan pola grid, bedanya titik-titik ukur tidak diambil seluruhnya, melainkan hanya titik-titik ukur yang mewakili.

2. Metode Pengukuran Angka Reflektansi

Pada material / sampel yang hendak diukur diambil beberapa titik ukur (pada tiap material dinding kelas diambil rata-rata sepuluh titik ukur; pada sampel diambil 55 titik ukur).

Pada setiap titik dilakukan dua kali pengukuran, pertama ialah untuk mengukur kuat penerangan sinar datang yang relatif langsung berasal dari sumber cahaya. Kedua ialah untuk mengukur kuat penerangan sinar yang dipantulkan kembali oleh material.

Pengukuran sinar datang dilakukan dengan sensor yang diletakkan pada titik ukur dan dihadapkan ke sumber cahaya, pengukuran sinar pantul dengan sensor dihadapkan dengan jarak dua *inch* ke titik ukur material (Stein & Reynolds 1992).

Selanjutnya untuk menentukan persentase pantulan di tiap titik ialah dengan membagi kuat penerangan sinar pantul dengan kuat penerangan sinar langsung dikalikan 100%. Angka reflektansi material / sampel ialah angka reflektansi rata-rata semua titik ukur. Angka reflektansi mutlak sample didapatkan dengan melakukan pengukuran di ruang nonreflektif, yaitu ruang dengan dinding, lantai dan plafon berwarna hitam seluruhnya, sehingga hampir tidak ada pantulan dari sekitarnya.

3. Metode Pencampuran Warna

Warna yang diteliti ialah warna dinding eksisting Unika Widya Mandala, yaitu *terracotta*.

Untuk mendapatkan warna yang sama dengan warna tersebut dilakukan pencampuran tiga buah cat dinding yaitu *Tile red 3-74 Paragon* (coklat), *Hibiscus 3-57 Paragon* (merah), dan *BM 090 Benjamin Moore* (*cream*).

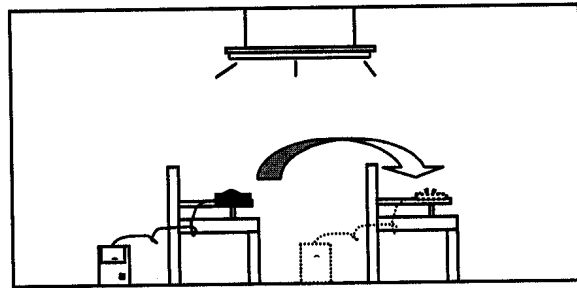
Pencampuran dilakukan berulang kali dengan menggunakan gelas ukur, untuk mendapatkan perbandingan warna yang paling mendekati warna dinding Unika Widya Mandala, hingga didapat perbandingan *volume* coklat : merah : *cream* = 15 : 5 : 20.

4. Langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan selengkapnya sbb.:

a. Mengukur panjang dan lebar ruang, tinggi langit-langit, tinggi bidang kerja ke *luminaire*

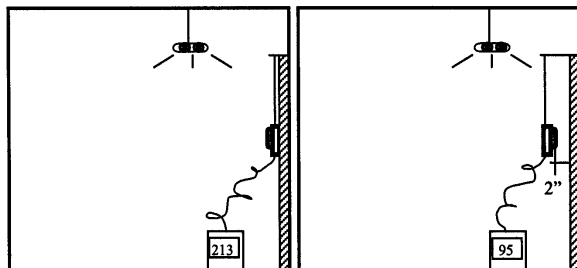
(*hrc*), tinggi penggantung *luminaire* (*hcc*), tinggi bidang kerja (*hfc*), jarak antar *luminaire*.

- b. Meletakkan titik-titik ukur dengan *grid* 60 cm x 60 cm dalam ruang kelas (Metode a). Untuk menentukan posisi titik, digunakan meteran.
- c. Meletakkan bidang kerja pada titik-titik ukur yang sudah dipersiapkan. Bidang kerja ialah bangku kuliah, tinggi 70 cm (*hfc*).
- d. Pengukuran kuat penerangan menggunakan *luxmeter*; sensor diletakkan di atas bidang kerja menghadap ke sumber cahaya. Tiap titik ukur diukur dan dicatat kuat penerangan-nya, lalu digambar garis isolux-nya.



Gambar 1. Pengukuran Di Titik Ukur/ Bidang Kerja dengan *Luxmeter*

- e. Pengukuran angka reflektansi material dinding juga dengan *luxmeter*. Di tiap material diambil beberapa titik ukur. Pada setiap titik dilakukan pengukuran sinar langsung dan sinar pantul. Angka reflektansi tiap titik ialah sinar pantul dibagi sinar langsung, dikalikan 100%. Dengan mencari angka rata-rata persentase pantulan titik-titik ukur tiap material, akan didapatkan angka reflektansi masing-masing material dinding. Angka reflektansi dinding ditentukan dengan mencari rata-rata persentase pantulan semua material dinding terhadap luasnya.



Gambar 2. Pengukuran Angka Reflektansi

- f. Bila angka reflektansi dinding lebih rendah dari 50%, maka perlu dilakukan peningkatan angka reflektansi dengan cara mencari warna cat yang sama dengan warna dinding

- eksisting kemudian mencampur warna tersebut dengan warna putih dengan perbandingan volume tertentu; misalnya 1 : 3, 1 : 4, dst. hingga tercapai reflektansi minimum 50% (sesuai rekomendasi).
- g. Karena tidak dimungkinkan untuk mengecat dinding Unika Widya Mandala secara langsung, maka dalam penelitian ini dibuat sampel berukuran 1 m x 2 m. Ukuran minimum sampel (Stein & Reynolds 1992) ialah 8 inch x 8 inch (20 cm x 20 cm).
 - h. Sampel diukur reflektansi mula-mulanya, lalu cat dengan perbandingan tertentu tersebut dicatkan pada sampel dan diukur angka reflektansinya. Agar pengukuran *valid*, tidak dipengaruhi oleh serapan maupun pantulan sekitarnya, dilakukan di *ruang nonreflektif* Universitas Kristen Petra (lantai, dinding dan langit-langit di ruang ini seluruhnya berwarna hitam dan $\rho = 0\%$). Pengukuran reflektansi sampel dilakukan dengan cara yang sama dengan di atas, dengan grid titik ukur 20 cm x 20 cm. Demikian dilakukan hingga didapatkan angka reflektansi 50% atau lebih. Angka reflektansi di ruang nonreflektif ini adalah angka reflektansi yang sesungguhnya/absolut karena relatif tidak ada pengaruh dari sekitarnya.
 - i. Selanjutnya, sampel dibawa ke Unika Widya Mandala, lalu diukur kembali angka reflektansinya. Di sini karena sampel mendapat pengaruh sekitarnya, mungkin didapat angka reflektansi yang berbeda. Dengan perbedaan yang tidak terlalu besar (tetap mendekati angka reflektansi absolutnya), maka sampel cukup valid untuk digunakan lebih lanjut yaitu dimudahkan warnanya.
 - j. Dengan dimudahkan warnanya maka angka reflektansi ditingkatkan; akan didapat angka CU yang lebih besar (dari perhitungan), sehingga kuat penerangan juga meningkat.
 - k. Selain itu, karena tidak dimungkinkan pengecatan langsung dinding ruang kelas Unika Widya Mandala, maka pembuktian peningkatan kuat penerangan rata-rata dilakukan membuat model ruang kelas B.312 Unika Widya Mandala skala 1 : 10. Model dibuat dari multipleks. Bidang yang mewakili dinding dilapis kertas warna coklat-hitam, langit-langit dilapis *aluminium foil*, sedang lantai tidak dilapis. Kondisi awal sampel diupayakan sedemikian hingga mendekati kondisi eksisting. Dengan model ini akan

dapat diketahui persentase kenaikan di titik-titik ukur.

- l. Pritchard (1986) menyatakan bahwa penerangan dianggap merata bila kuat penerangan minimum pada titik-titik ukur 80% kuat penerangan rata-rata. Dari pengukuran di titik-titik ukur, maka didapatkan kuat penerangan rata-rata ruang. Bila ada titik ukur yang berada di bawah 80% kuat penerangan rata-rata, berarti tidak memenuhi syarat sebagai penerangan merata; untuk itu perlu dilakukan pengukuran apakah tata letak lampu memenuhi *spacing criteria* (SC). Agar syarat penerangan merata terpenuhi, maka pola/ tata letak *luminaire* harus mengikuti SC.
- m. Pengujian apakah setelah dilakukan perubahan tata letak lampu sesuai SC sudah dapat memenuhi syarat merata, dilakukan dengan Model.

5. Alat Ukur Penelitian

Untuk mengukur kuat penerangan maupun angka reflektansi digunakan *luxmeter* (Digital Hi-tester) merk Hioki tipe 3422 dengan kondisi baik. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur kuat penerangan hingga maksimum 2000 lux.

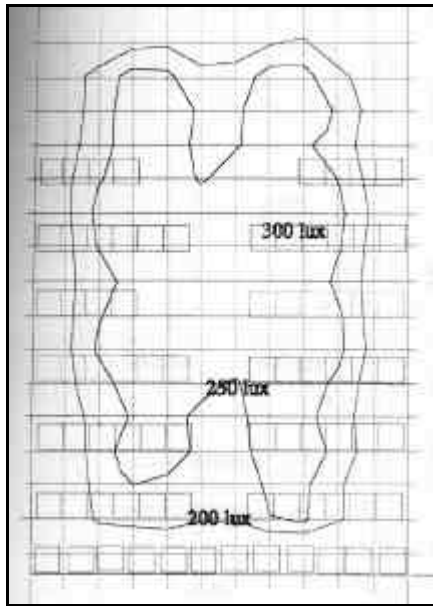
HASIL PENGUKURAN

Tabel Hasil Pengukuran vs Rekomendasi (Ruang B.302, B.312, B.405)

	Rekomendasi	B.312	B. 302	B.405
E rata-rata	250 lux	219,7lux(a); 237 lux (b)	197,25 lux(a); 228 lux(b)	240,57lux (a); 247 lux(b)
Pencahayaan Merata	Emin 80% Erata-rata	40 titik <80% Erata-rata	70 titik < 80% Erata-rata	36 titik < 80% Erata-rata
%Reflektansi dinding	50% – 70%	20%	20,71%	21,17%

Dengan demikian adalah benar bahwa ruang kelas di Unika Widya Mandala tidak memenuhi standar kuat penerangan rata-rata, standar *uniformity* dan rekomendasi angka reflektansi (dinding).

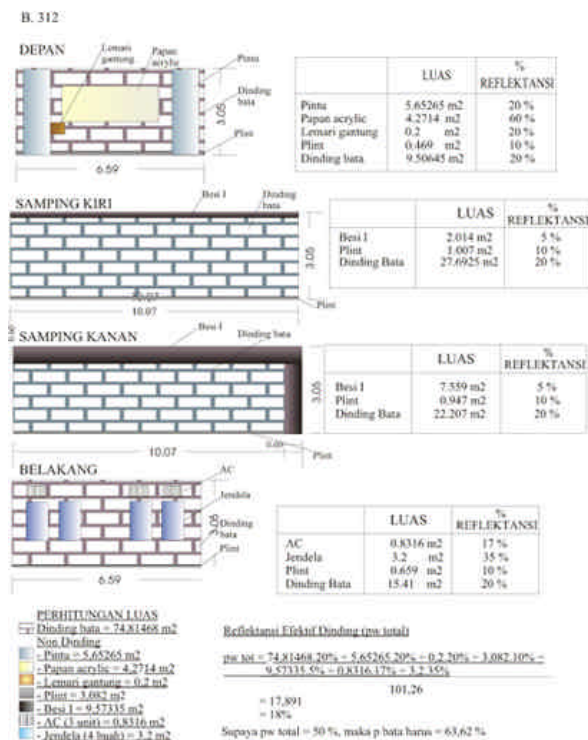
Selanjutnya hasil pengukuran kuat penerangan ditampilkan dalam garis isolux, yaitu garis yang menghubungkan titik-titik dengan kuat penerangan yang sama; untuk ruang B.312 seperti berikut ini.



Gambar 3. Garis Isolux Kuat Penerangan B.312

Jumlah titik ukur	=	170 titik
Titik Ukur 0 - 199 lux	=	57 titik (33,50 %)
Titik Ukur 200 - 250 lux	=	40 titik (23,50 %)
Titik Ukur 251 - 300 lux	=	68 titik (40,00 %)
Titik Ukur > 300 lux	=	5 titik (3,00 %)

Hasil pengukuran angka reflektansi (dinding) ruang B.312 secara geometris, dengan angka reflektansi rata-rata didapatkan dari perhitungan, ditampilkan dalam gambar berikut.



Gambar 4. Angka Reflektansi Dinding Interior B.312

PEMBAHASAN

Penelitian dengan tujuan sedemikian hingga ruang kelas di Unika Widya Mandala dapat memenuhi baik standar kuat penerangan maupun standar kuat penerangan yang merata (*uniformity*).

1. Alternatif Meningkatkan Kuat Penerangan Rata-rata

Merujuk rumus yang dikemukakan Schiler (1992) sbb.:

$$E = \frac{N \times n \times LL \times LLF \times CU}{A}$$

maka kurangnya kuat penerangan (E) dapat disebabkan a.l. oleh: kurangnya tingkat pencahayaan ($\hat{O}$) terhadap luasan ruang (A), rendahnya nilai CU, ataupun rendahnya LLF.

- Kurangnya tingkat pencahayaan ($\hat{O}$) terhadap luasan ruang (A). Faktor-faktor yang mempengaruhinya ialah jumlah lampu, lumen awal jenis lampu tertentu.
- Rendahnya nilai CU. Faktor-faktor yang mempengaruhinya a.l. tingkat distribusi cahaya oleh *luminaire*, ketinggian *luminaire* di atas bidang kerja, proporsi ruang, dan reflektansi permukaan.
- Rendahnya LLF. Faktor-faktor yang mempengaruhinya meliputi *nonrecoverable factor* (*lamp lumen depreciation*) dan *recoverable factors* (*luminaire dirt depreciation* dan *room surface dirt depreciation*).

Melalui perhitungan berikut ini, dapat diketahui manakah dari ketiga perkiraan di atas yang menyebabkan rendahnya kuat penerangan di ruang kelas Unika Widya Mandala sbb. :

B. 312

E rata-rata (standar) = 250 lux;

E rata-rata = 219,7 lux (hasil pengukuran);

CU = 0,55 (hasil perhitungan dan pengukuran);

A = 66,3613 m² (hasil pengukuran);

LLF = 0,68 (hasil perhitungan);

Eksisting = 16 lampu GE36W, lumen awal 2850 lumen.

$$E = \frac{\hat{O} \times CU \times LLF}{A}$$

$$\hat{O} = \frac{E \times A}{CU \times LLF} = \frac{250 \times 66,3613}{0,55 \times 0,68} = 45180,62 \text{ lumen.}$$

$$\hat{O} : 2850 = 44359,2 : 2850 = 15,56 \quad 16 \text{ lampu (jumlah lampu OK)}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa seharusnya tingkat pencahayaan sudah mencukupi. Akan tetapi,

karena dari hasil pengukuran eksisting ternyata kuat penerangan rata-rata < 250 lux (E rata-rata = 219,7 lux di ruang B.312) berarti ada ketidaksesuaian antara hasil perhitungan dengan kondisi yang sesungguhnya, yaitu kuat penerangan rata-rata yang belum memenuhi standar.

Kesalahan perhitungan dapat disebabkan karena salah memprediksi nilai CU dan atau nilai LLF (nilai $\hat{O}$ dan A tidak mungkin salah karena bukan variabel). Karena ternyata kuat penerangan yang sesungguhnya terjadi < 250 lux, berarti prediksi nilai CU dan atau LLF dalam perhitungan di atas terlalu besar daripada kondisi sesungguhnya. Maka, agar tercapai kuat penerangan rata-rata 250 lux, nilai CU atau nilai LLF perlu ditingkatkan. Karena masalah terletak pada titik-titik ukur kuat penerangan terdekat dinding yang sangat rendah, maka alternatif yang dipilih oleh peneliti ialah *meningkatkan angka reflektansi permukaan dinding hingga memenuhi rekomendasi yaitu 50 – 70%*, yang akan dapat meningkatkan nilai CU. Peningkatan LLF juga dapat meningkatkan kuat penerangan rata-rata, tetapi tidak secara khusus meningkatkan kuat penerangan titik-titik terdekat dinding. Karena distribusi pencahayaan ialah *semi-direct*, sehingga hanya sedikit cahaya yang dipantulkan ke langit-langit, maka peningkatan angka reflektansi langit-langit hanya merupakan alternatif tambahan.

Dari perhitungan dapat disimpulkan bahwa untuk kondisi kelas di Unika Widya Mandala, dengan % peningkatan yang relatif sama yaitu 30%, peningkatan angka reflektansi dinding meningkatkan kuat penerangan lebih banyak daripada peningkatan angka reflektansi langit-langit.

Tabel Peningkatan Kuat Penerangan dengan Peningkatan Angka Reflektansi Dinding dan Langit-langit

Reflektansi bidang	Luas (m ²)	$\bar{n}$ awal (%)	$\bar{n}$ akhir (%)	Peningkatan Erata-rata (%)
Dinding	101,626	19	50	9,1
Langit-langit	66,3613	40	70	6,4

2. Alternatif Mencapai Standar *Uniformity*

Dari hasil pengukuran kuat penerangan, peneliti menangkap bahwa kasus kuat penerangan di ruang kelas B.312 Unika Widya Mandala ini lebih terletak pada tidak meratanya kuat penerangan dalam satu ruang. Hal ini

diperjelas dengan garis isolux yang menggambarkan kecenderungan kuat penerangan pada sisi sekeliling bidang dinding yang cukup rendah, bahkan ada yang di bawah 100 lux, kontradiktif dengan kuat penerangan di bawah lampu yang tinggi, bahkan ada yang di atas 300 lux.

Dengan kenyataan tersebut, maka masalah terletak pada bagaimana mencapai standar kuat penerangan yang merata, yaitu kuat penerangan minimum 80% kuat penerangan rata-rata.

Untuk itu alternatif yang dilakukan ialah :

- Memeriksa tata letak *luminaire*, memenuhi *spacing criteria* atau tidak. Dari perhitungan *spacing criteria* didapatkan bahwa tata letak *luminaire* di ruang B.312 tidak memenuhi standar. Untuk itu diajukan usulan perubahan tata letak lampu yang memenuhi *spacing criteria*, yaitu jarak antar *luminaire* maksimum 2,25 m; jarak antara *luminaire* ke dinding maksimum 1,125 m.
- Meningkatkan kuat penerangan titik ukur sekeliling sisi dinding, dalam hal ini dipilih dengan *meningkatkan reflektansi dinding*, bukan menambah lampu; karena dari perhitungan, fluks / tingkat pencahayaan terbukti sudah mencukupi.

3. Alternatif Peningkatan Angka Reflektansi

Beberapa cara peningkatan angka reflektansi yang peneliti ketahui a.l. ialah dengan membuat permukaan menjadi mengkilat; meletakkan bidang-bidang reflektif, misalnya cermin dalam ruangan; menggunakan tekstur permukaan yang lebih halus; memudahkan warna, dsb. Dari sekian banyak alternatif tersebut, peneliti memilih dengan *memudahkan warna* yaitu dengan menambahkan warna putih, karena alternatif ini didukung dengan *landasan teori yang kuat dan relatif mudah dan murah dalam melakukannya, di samping dapat tetap menampilkan tekstur dinding bata, meskipun dengan warna yang lebih muda*. Stein & Reynolds (1992) menyatakan bahwa warna putih dapat meningkatkan *value* yang berarti peningkatan angka reflektansi; maka dipilih alternatif penambahan cat warna putih dengan perbandingan tertentu ke dinding warna *terracotta*, agar tidak menghilangkan tekstur dinding bata yang sudah ada.

Eksperimen dilakukan dengan sampel yang mewakili dinding Unika Widya Mandala, yaitu dengan tekstur, warna, dan angka reflektansi yang mendekati sama dengan aslinya. Ukuran sampel 1m x 2m.

3.1 Hasil Pengukuran Peningkatan Angka Reflektansi dengan Sampel

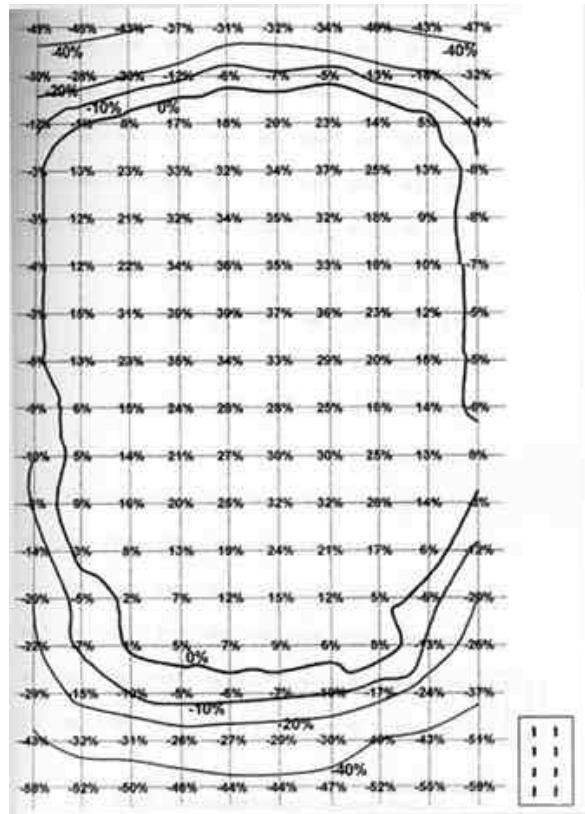
Tabel Hasil Pengukuran Angka Reflektansi Sampel/Model Uji

% $\bar{n}$ Dinding	Tr awal	Tr : Pt 1:3	Tr : Pt 1:4	Tr : Pt 1:5	Tr : Pt 1:6
Nonreflektif $\bar{n}=0\%$	19,19 %	34,23 %	45,55 %	57,76 %	
Reflektif $\bar{n}=80\%$				63,74 %	
B.312 $\bar{n}=18,9\%$				49,76 % (I) 51,44 % (II)	56,66 %

3.2 Penggunaan Model Untuk Menguji Hasil Sampel

Dari hasil eksperimen pencampuran cat dengan *volume* tertentu dengan menggunakan sampel tersebut di atas, didapatkan bahwa rekomendasi angka reflektansi dinding 50% dicapai dengan perbandingan *volume* cat *terracotta* terhadap cat putih = 1 : 5. Untuk mengetahui pengaruh angka reflektansi dinding 50% terhadap kuat penerangan, maka seharusnya cat ini diuji langsung ke dinding kelas Unika Widya Mandala. Akan tetapi, karena hal ini tidak mungkin dilakukan, maka peneliti membuat model dari tripleks dengan skala 1 : 10 terhadap ruang kelas Unika Widya Mandala. Posisi dan proporsi ruang diusahakan mendekati sama, yaitu posisi lampu dan tinggi penggantung serta ukuran panjang, lebar dan tinggi ruang. Untuk mewakili lampu dan *luminaire* digunakan lampu baterai dengan TL bertegangan 4 watt. Untuk mewakili reflektansi permukaan, langit-langit dilapis *aluminium foil*, lantai tetap, sedangkan dinding dengan lapisan kertas warna coklat-hitam. Tujuannya bukan menyamakan angka yang sama, melainkan kuat penerangan awal model memiliki *pola* sama atau mendekati sama dengan *pola* kuat penerangan eksisting Unika Widya Mandala.

Dapat dilihat bahwa ada kesamaan model dengan titik-titik ukur eksisting B.312 yaitu sisi sekeliling dinding yang kuat penerangannya cukup rendah, sedangkan titik-titik ukur yang tinggi kuat penerangannya ialah yang berada di bawah lampu. Maka model cukup layak dijadikan acuan pengujian pengaruh angka reflektansi terhadap kuat penerangan dan *uniformity*.

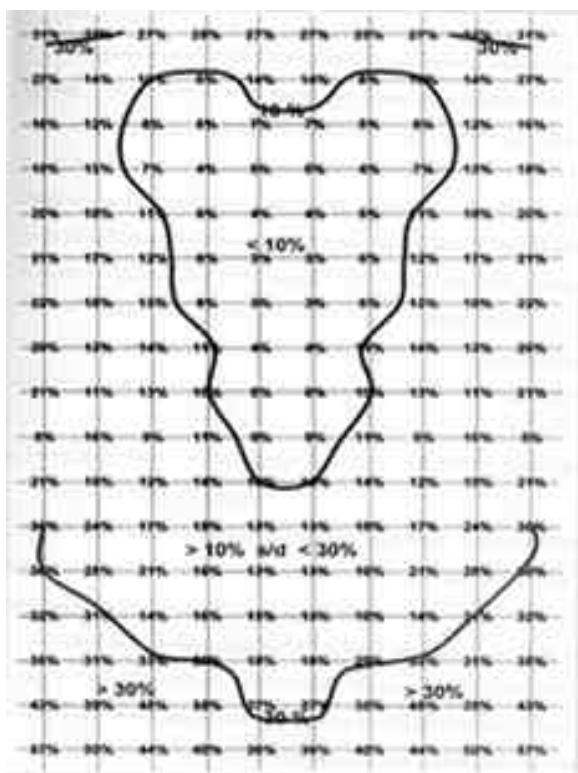


Gambar 5. Isolux Contour Model (% terhadap standar 250 lux)

HASIL PENELITIAN

1. Pengaruh Angka Reflektansi Dinding terhadap Kuat Penerangan Rata-rata

Untuk mengetahui pengaruh peningkatan angka reflektansi 50% terhadap ruang B.312, dilakukan pengecatan cat *terracotta* : cat putih = 1 : 5 terhadap dinding model. Didapatkan bahwa pada kondisi sebelum dicat, kuat penerangan rata-ratanya ialah 103,1 lux sedangkan setelah dicat 1 : 5, kuat penerangan rata-rata menjadi 118,6 lux; yaitu meningkat $\pm 15\%$. Persentase kenaikan kuat penerangan di tiap titik ukur setelah dicat terhadap kuat penerangan sebelum dicat dinyatakan dalam gambar, dengan titik-titik terdekat dinding yang mengalami peningkatan paling besar.



Gambar 6. Persentase Kenaikan Kuat Penerangan Model Skala 1 : 10 Setelah Dicat Tr 1: Pt 5 terhadap Kuat Penerangan Rata-rata Sebelum Dicat

2. Pengaruh Angka Reflektansi Dinding terhadap Uniformity

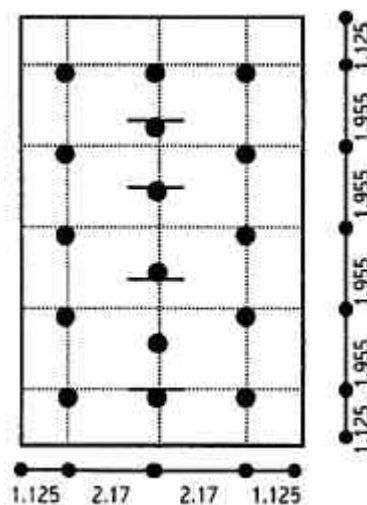
Dari persentase sebelum dan sesudah angka reflektansi dinding ditingkatkan didapatkan bahwa pada kondisi awal, titik-titik ukur yang tidak memenuhi standar *uniformity* berada pada range 22%-59% di bawah kuat penerangan rata-rata 103,1 lux; sedangkan setelah ditingkatkan angka reflektansinya, titik-titik yang tidak memenuhi standar *uniformity* berada pada range 22%-44% di bawah rata-rata 118,6 lux. Berarti dengan peningkatan angka reflektansi dinding dari 19% menjadi 50% meskipun lebih memperbaiki *uniformity*, tetap ada titik-titik ukur yang berada di bawah standar *uniformity*. Dengan belum tercapainya *uniformity*, maka alternatif lain ialah dengan mengatur tata letak lampu sesuai *spacing criteria*, yang merupakan bahasan selanjutnya.

2.1 Eksperimen Penerapan Spacing Criteria dengan Model

Seperti sudah dibahas di awal maka *spacing criteria* untuk kondisi ruang B.312 Unika Widya Mandala dicapai dengan mengatur jarak

maksimum antar lampu 2,25 m; sedang jarak *luminaire* ke dinding maksimum 1,125 m.

Pengaturan jarak tersebut diterapkan pada model dengan jumlah *luminaire* tetap yaitu 16 buah, sedang tata letak lampu diubah sbb. :



Pengukuran dilakukan sebanyak empat kali, yaitu dua kali dengan dinding coklat hitam (mewakili dinding eksisting) dan dua kali dengan dinding *terracotta* : putih = 1 : 5. Masing-masing dengan posisi lampu sebelum dan sesudah dilakukan perubahan tata letak lampu. Hasil pengukuran ditampilkan dalam tabel.

2.2. Pembahasan terhadap Hasil Pengukuran

Hasil pengukuran ditampilkan dalam persentase kuat penerangan di titik-titik ukur terhadap kuat penerangan rata-ratanya dengan penjelasan '*persentase < -20% menyatakan bahwa kuat penerangan di titik tersebut tidak memenuhi / di bawah standar uniformity*'. Nilai positif menunjukkan % kuat penerangan di titik tersebut di atas kuat penerangan rata-ratanya, sebaliknya nilai negatif menunjukkan % kuat penerangan di titik tersebut di bawah rata-ratanya.

Dari hasil pengukuran model dengan dinding coklat-hitam dan posisi lampu sebelum dilakukan perubahan, seperti di ruang B.312; didapatkan adanya 18 buah titik yang tidak memenuhi standar *uniformity*, yaitu < 80% rata-rata kuat penerangan.

Setelah dilakukan perubahan tata letak lampu sesuai *spacing criteria*, maka meskipun *spacing criteria* sudah terpenuhi, ternyata ada dua titik yang tidak memenuhi standar *uniformity*; yaitu pada titik-titik terdekat dinding. Berarti dengan memenuhi *spacing criteria*, *uniformity* meningkat; tetapi *uniformity* belum tercapai sepenuhnya.

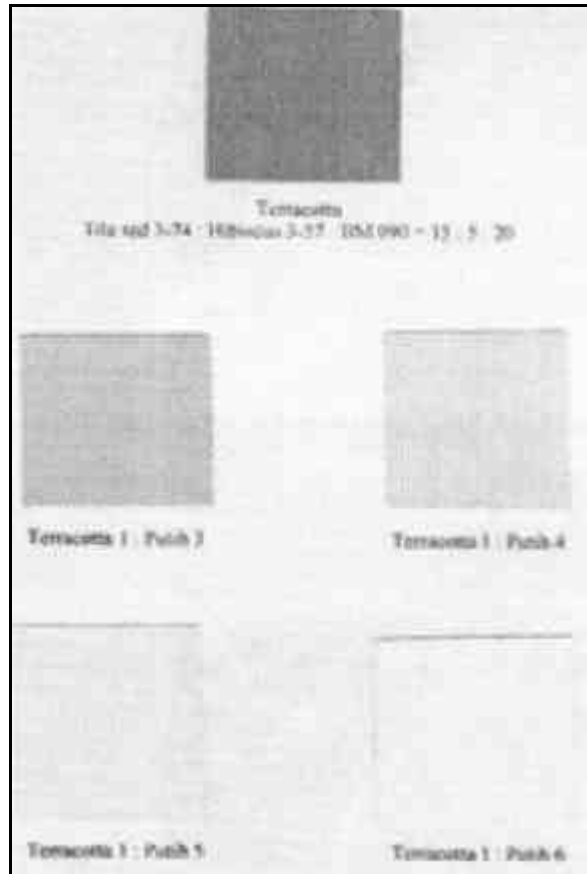
Selanjutnya dilakukan pengecatan *terracotta* 1 : putih 5 dengan posisi titik sebelum dilakukan

perubahan, didapatkan empat buah titik yang tidak memenuhi standar *uniformity*. Berarti dengan warna (dinding) yang lebih putih, meskipun *spacing criteria* tidak dipenuhi, *uniformity*-nya juga meningkat. Hasil ini memberikan kejelasan bahwa di samping *spacing criteria*, angka reflektansi (dinding) pun mempengaruhi *uniformity*.

Pengukuran terakhir, yaitu dengan dinding *terracotta* 1 : putih 5 dan posisi lampu sesuai *spacing criteria*, didapatkan semua titik memenuhi standar *uniformity*. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa untuk mencapai *uniformity* pada kondisi di Unika Widya Mandala, tidak dapat hanya dengan meningkatkan angka reflektansi dinding sesuai rekomendasi atau hanya dengan memenuhi *spacing criteria*, melainkan harus dengan melakukan kedua-duanya.

Tabel Alternatif Mencapai *Uniformity*

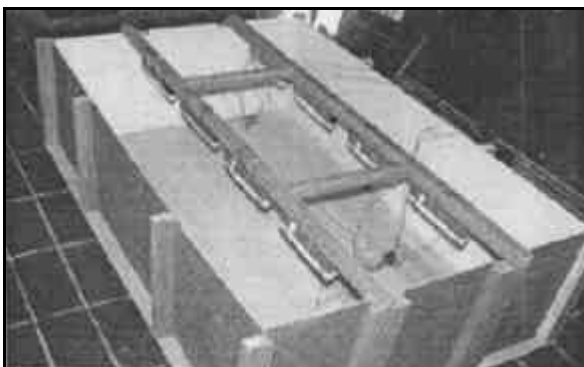
Model Skala 1 : 10	Hasil Pengukuran <i>Uniformity</i>
Posisi Lampu Tetap, % Reflektansi Dinding Tetap	18 titik < E minimum (not OK)
Posisi Lampu Sesuai SC, % Reflektansi Dinding Tetap	2 titik < E minimum (not OK)
Posisi Lampu Tetap, % Reflektansi Sesuai Rekomendasi	4 titik < E minimum (not OK)
Posisi Lampu Sesuai SC, % Reflektansi Sesuai Rekomendasi	Semua titik > E minimum (OK)



Sampel warna



Model dengan warna dinding coklat-hitam Eksisting



Model dengan warna dinding 1Tr : 5 Pt





Foto tampak-tampak interior ruang kelas B.312
Unika Widya Mandala

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Angka reflektansi absolut suatu benda (tekstur dan warna tertentu) didapat bila tidak ada pengaruh refleksi permukaan sekitarnya ($\bar{n}$ permukaan sekitar = 0%). Bila suatu benda berada dalam ruang yang memberikan refleksi permukaan ($\bar{n}$ permukaan 0%), maka angka reflektansi benda tersebut bersifat relatif; yaitu menjadi lebih besar bila $\bar{n}$ permukaan sekitar lebih besar daripada $\bar{n}$ absolut benda dan sebaliknya, menjadi lebih kecil bila $\bar{n}$ permukaan sekitar lebih kecil daripada $\bar{n}$ absolut benda. Secara matematis dapat dirumuskan sbb. :

$$\bar{n} \text{ relatif} = \frac{\bar{n} \text{ perm.sekitar} * A_{\text{perm.sekitar}} + \bar{n} \text{ absolut benda} * A_{\text{benda}}}{A_{\text{perm.sekitar}} + A_{\text{benda}}}$$

Keterangan :

- $\bar{n}$ = angka reflektansi bidang (%); A = luas
2. Untuk pencahayaan yang bersifat umum (*general lighting*), selain terpenuhinya kuat penerangan rata-rata (*average illumination*), juga harus dipenuhi kuat penerangan yang merata (*uniformity of illumination*).
3. Mengubah warna dengan warna yang lebih muda yaitu penambahan dengan warna putih terbukti meningkatkan angka reflektansi.
4. Dengan meningkatkan angka reflektansi permukaan (dinding), kuat penerangan meningkat dan pencahayaan lebih merata.
5. Dengan memenuhi *spacing criteria*, kuat penerangan tetap, pencahayaan lebih merata.
6. Dengan memenuhi rekomendasi reflektansi permukaan ($\bar{n}$) dan *spacing criteria* (SC) serta tingkat pencahayaan yang cukup ($\bar{O}$), kuat penerangan dan pencahayaan yang merata pasti terpenuhi.
7. Peneliti memberikan beberapa usulan bagi Unika Widya Mandala sbb.:

Memudakan warna dinding dengan mengecat dinding dengan cat perbandingan *terracotta* : putih = 1 : 5 ($\bar{n} = \pm 50\%$), sehingga kuat penerangan rata-rata meningkat dan pencahayaan lebih merata. Alternatif ini dengan suatu konsekuensi terdapat beberapa titik terdekat dinding kurang memenuhi standar kuat penerangan, yang dapat diatasi dengan memindahkan kursi lebih ke tengah.

Mengatur tata letak *luminaire* sesuai *spacing criteria*; yaitu untuk ruang tipikal B.312, jarak maksimum antar *luminaire* 2,25 m dan jarak maksimum *luminaire* ke dinding 1,125 m. Alternatif ini memberikan pencahayaan yang lebih merata, tetapi kuat penerangan rata-rata tetap dan masih ada beberapa titik terdekat dinding yang tidak memenuhi standar kuat penerangan.

Melakukan kedua alternatif a dan b di atas, yang menurut hasil penelitian dapat memberikan solusi terbaik, yaitu tercapainya standar kuat penerangan rata-rata kelas dan terpenuhinya standar pencahayaan yang merata/*uniform*.

DAFTAR PUSTAKA

- Birren, F., *Light, Color, and Environment : a discussion of the biological and psychological effects of color*, Van Nostrand Reinhold, New York. 1982.
- Bradshaw, V., *Building Control Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York. 1993.
- Cayless, M.A. and Marsden, A.M., *Lamps and Lighting : A Manual of Lamps and Lighting*, 3rd ed., Edward Arnold Ltd., London. 1983.
- Dagostino, F.R., *Mechanical and Electrical Systems in Construction and Architecture*, Prentice Hall Reston Publishing Company, Inc., Virginia. 1978.
- Darmasetiawan, C. and Puspakesuma, L., *Teknik Pencahayaan dan Tata Letak Lampu*, Gramedia, Jakarta. 1991.
- Flynn, J.E. and Segil, A.W., *Architectural Interior System*, 15th ed., Van Nostrand Reinhold, New York. 1970.
- Kaufman, J.E. and Christensen, J.F. (ed). *IES Lighting Handbook: Reference Volume*, IESNA, USA. 1984.

- Kinzev Jr., B.Y. and Sharp, H.M., *Environmental Technologies in Architecture*, Prentice Hall, Inc., New Jersey. 1963.
- McGuinness, W.J. and Stein, B., *Building Technology : Mechanical and Electrical Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York. 1977.
- Paschal, J.M., *Step by Step Guide to Lighting*, Primedia Intertec, Kansas. 1998.
- Pritchard, D.C. (ed). *Interior Lighting Design*, 6th ed., The Lighting Industry Federation Ltd. and The Electricity Council, London. 1986.
- Schiler, M., *Simplified Design of Building Lighting*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1992.
- Sorcar, P.C., *Architectural Lighting for Commercial Interiors*, 10th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York. 1987.
- Stein, B. and Reynolds, J.S., *Mechanical and Electrical Equipment for Buildings*, 8th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York. 1992.