

KINERJA PENERANGAN ALAM PADA HUNIAN RUMAH SUSUN DUPAK BANGUNREJO SURABAYA

Hedy C. Indrani

Jurusan Desain Interior, Fakultas Seni dan Desain,
Universitas Kristen Petra - Surabaya
e-mail: comelli@petra.ac.id

ABSTRAK

Bangunan hunian membutuhkan distribusi penerangan alam yang memadai untuk kenyamanan visual dan produktivitas sehari-hari. Terkait dengan kondisi langit dan lingkungan tropis lembab maka analisis distribusi penerangan alam menggunakan nilai *illuminance* dan *daylight factor* (DF) untuk melihat performa ruang hunian. Permasalahan timbul dalam penggunaan dimensi, bahan, orientasi bukaan, *overhang*, dan *obstruction* pada hunian rumah susun (rusun) *low cost*. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh dimensi bukaan, *overhang* dan *obstruction* terhadap strategi pencahayaan dan peran ketiga hal tersebut dalam peningkatan kenyamanan visual. Kegiatan simulasi fenomena pencahayaan alam dilakukan menggunakan program SUPERLITE v.2.0. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa dimensi, bahan, dan orientasi bukaan mempengaruhi pola kontur cahaya dalam ruang dan berpotensi menimbulkan *glare* jika kontras penerangan terlalu besar. *Overhang* di atas bukaan yang terlalu lebar dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam ruang karena menghalangi *Sky Component* (SC), tetapi berpotensi menaikkan nilai *Externally Reflected Component* (ERC), tergantung pada kemampuan reflektansi permukaan bidangnya. Adanya *obstruction* di depan bukaan dapat menurunkan intensitas cahaya yang masuk ke dalam ruang karena nilai SC menurun, tetapi mengurangi potensi *glare* karena intensitas cahaya yang masuk lebih merata.

Kata kunci: Bukaan, *overhang*, *obstruction*, distribusi penerangan alam, hunian rusun, lingkungan tropis lembab.

ABSTRACT

Residential buildings require adequate natural light distribution for visual comfort and daily productivity. To analyze natural light distribution is to use illuminance dan daylight factor (DF) values, in relation to the atmospheric condition and wet tropical environment. Problems arise from the dimensions, materials, opening orientations, overhangs and obstructions used in low-cost residential flats. This research aims to observe the influence of the dimensions in openings, overhangs and obstructions on the lighting strategy and the role of the three aspects in increasing visual comfort. The simulation activity of this natural lighting phenomenon is performed using the SUPERLITE v. 2.0. program. The results show that dimensions, materials and the orientation of the openings influences the contour pattern of lighting in the building and triggers glare if the lighting contrast is too high. Overhangs over the openings that are too large may decrease light penetration inside the building because they hinder Sky Component (SC), but are likely to increase Externally Reflected Component (ERC) value depending on the reflection potential of the surface. The presence of obstruction in front of an opening can decrease light intensity inside the building because of the decrease in SC value but can also minimize glare since the light intensity entering the building would be more even in distribution.

Keywords: Opening, overhang, obstruction, natural light distribution, residential flat, wet tropical environment.

PENDAHULUAN

Terdapat 2 jenis sumber cahaya yang dapat dipergunakan untuk penerangan di dalam ruang, yaitu cahaya alam yang berasal dari kubah langit dan cahaya buatan dari pencahayaan elektrik. Penerangan alam berperan penting dalam pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*) karena dapat dimanfaatkan tanpa membutuhkan energi dan tidak menimbulkan polusi sehingga mengurangi polutan (Evans, 1981:18).

Ketersediaan cahaya matahari yang melimpah merupakan suatu kelebihan tersendiri bagi hunian di lingkungan tropis lembab. Intensitas penerangan alam di daerah khatulistiwa dapat mencapai ± 10.000 lux dan tersedia sepanjang tahun dengan intensitas yang dipengaruhi kubah langit. Lama waktu penyinaran matahari relatif stabil sepanjang tahun yaitu antara pukul 06.00-18.00 atau antara 11-12 jam (Koenigsberger, 1974:76).

Ruang-ruang hunian memerlukan distribusi penerangan alam yang optimum untuk memenuhi

kebutuhan kerja visual (*visual task*) yang memadai. Aktivitas dalam hunian membutuhkan kuantitas cahaya dalam intensitas tertentu yang harus dipenuhi agar kegiatan dapat berjalan dengan baik dan nyaman (Soegijanto, 1999:35). Untuk itu, penelitian dilakukan terhadap salah satu bangunan rumah susun (rusun) Dupak Bangunrejo Surabaya, yaitu ruang hunian di lantai 1 dan lantai 3 (teratas) untuk membandingkan fenomena distribusi penerangan alam yang terjadi berdasarkan perbedaan ketinggian lantai.

Terkait dengan kondisi langit di lingkungan tropis lembab yang dapat mempengaruhi penerangan alam suatu bangunan maka timbul permasalahan dalam penggunaan dimensi, bahan, dan orientasi terhadap bukaan, *overhang*, dan *obstruction* yang terdapat pada bangunan bertingkat. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh bukaan, *overhang* dan *obstruction* terhadap strategi penerangan pada hunian rusun dan peran modifikasi dalam peningkatan kenyamanan visual. Evaluasi fenomena penerangan alam dalam ruang hunian bangunan rusun lantai 1 maupun lantai 3 dilakukan melalui penilaian standar *illuminance* dan *daylight factor*.

Kegiatan simulasi menggunakan program SUPERLITE v.2.0. Program komputer ini dikembangkan oleh *Building Technologies Department of Environmental Energy Technologies Division* dalam *Lawrence Berkeley National Laboratory* yang didukung oleh *Pacific Gas & Electric Company (PG&E)* melalui *California Institute for Energy Efficiency (CIEE)* sebagai bagian dari *Daylighting Initiative for Market Transformation* dari PG&E.

Analisis kinerja penerangan alam dilakukan terhadap massa rusun dengan melihat perbandingan hasil simulasi salah satu hunian di lantai 1 dan lantai 3, baik pada bangunan *existing* (dengan *obstruction*) maupun modifikasi (tanpa *obstruction*) terhadap standar *illuminance* dan *Daylight Factor* (DF).

Hasil yang didapat menunjukkan bahwa dimensi, bahan, dan orientasi bukaan mempengaruhi pola kontur cahaya dalam ruang dan berpotensi menimbulkan *glare* jika kontras penerangan terlalu besar. *Overhang* di atas bukaan yang terlalu lebar dapat mengurangi penetrasi cahaya ke dalam ruang karena menghalangi *Sky Component* (SC), tetapi berpotensi menaikkan nilai *Externally Reflected Component* (ERC), tergantung pada kemampuan reflektansi permukaan bidangnya. Adanya *obstruction* di depan bukaan dapat menurunkan intensitas cahaya yang masuk ke dalam ruang karena nilai SC menurun, tetapi dapat mengurangi potensi *glare* karena intensitas cahaya yang masuk lebih merata.

METODE PENELITIAN

Penelitian dan studi simulasi eksperimental dilakukan dengan terlebih dahulu mencari alternatif hunian rusun di wilayah *sub-urban* yang memiliki bukaan <20% luasan lantai, *overhang* >1.0 m, dan *obstruction* di hadapannya. Selanjutnya melakukan observasi dan pengukuran ruang, bukaan, *overhang*, dan *obstruction* melalui gambar kerja, serta memasukkan data iklim setempat ke dalam program simulasi. Input permodelan beserta penyederhanaannya harus disesuaikan terhadap kemampuan program *software* SUPERLITE v.2.0 yang meliputi:

1. *Room Dimensions* (room width, depth, height).
2. *Room Elevation and Orientation*.
3. *Window Number, Location, and Luminaire Group* (number of windows in the room, location of windows, number of luminaire).
4. *Window Data* (width, height, window (skylight) center displacement with respect to the wall (ceiling) center, window (skylight) center displacement with respect to the floor (wall), number of window nodes in the window width direction, number of window nodes in the window height direction, interior window surface reflectance).
5. *Window Surface Data* (type of window, window maintenance factor, window transmittance, window glass recess, overhang Type).
6. *Overhang Data* (depth, distance from the window edge, reflectance, overhang property identifier, transmittance).
7. *Indoor Surface Data* (front wall: nodes in the horizontal direction, nodes in the vertical direction, interior surface reflectance; left wall: nodes in the horizontal direction, nodes in the vertical direction, interior surface reflectance; rear wall: nodes in the horizontal direction, nodes in the vertical direction, interior surface reflectance; right wall: nodes in the horizontal direction, nodes in the vertical direction, interior surface reflectance; ceiling: nodes in the horizontal direction, nodes in the vertical direction, interior surface reflectance; floor: nodes in the horizontal direction, nodes in the vertical direction, interior surface reflectance).
8. *Work Surface Data* (number of nodes in the direction parallel to the front wall, number of nodes in the direction perpendicular to the front wall, work surface elevation).
9. *Outdoor Obstruction Type*.
10. *Outdoor Obstruction Data* (height, width, horizontal displacement of the outdoor obstruction's vertical center line, distance between the outdoor obstruction and the front wall, reflectance).

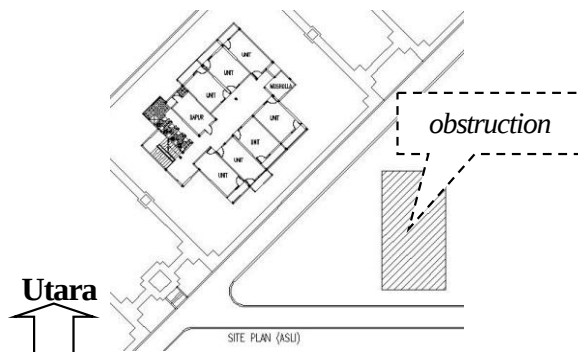
11. *Subject Building Data* (height of the subject building's outdoor façade, width of the subject building's outdoor façade, horizontal displacement of the subject building's vertical center line, average reflectance of the outdoor surface of the subject building).
12. *Geographic, Sky Model and Ground Reflectance Data* (site location latitude, site location longitude, time Zone, site altitude above sea level, sky model, ground reflectance).
13. *Date/Time Loop Data* (first month to be calculated, last month to be calculated, month increment between calculations, day within each month to be calculated, first hour to be calculated, last hour to be calculated, hour increment between calculations) (SUPERLITE v. 2.0., 1994).

Hasil run SUPERLITE v.2.0 diolah menjadi *nodes* yang membentuk garis-garis kontur cahaya dan menunjukkan distribusi cahaya pada bidang kerja setinggi 75 cm dari atas permukaan lantai. Selanjutnya, melakukan analisis nilai *illuminance* dan *Daylight Factor* (DF) pada model bangunan *existing* dan jika belum memenuhi standar maka perlu membuat model bangunan modifikasi dengan memperluas bukaan dan meniadakan *obstruction* dan memasukkan kembali ke dalam program simulasi untuk dilakukan analisis. Kesimpulan diperoleh dengan melakukan studi perbandingan hasil model bangunan *existing* terhadap model bangunan modifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

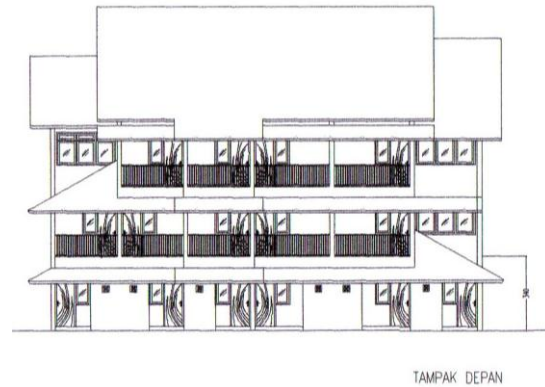
Hasil Studi Permodelan SUPERLITE v.2.0

Obyek penelitian mengambil rusun Dupak Bangunrejo di Surabaya, dimana salah satu blok massa rusun yang diambil untuk studi memiliki penghalang (*obstruction*) dihadapannya (gambar 1). Posisi bangunan rusun memanjang arah Timur Laut (45° dari arah Utara).



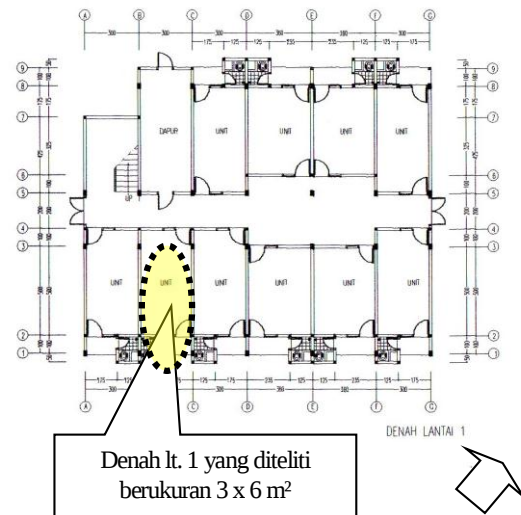
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 1. Salah satu blok rusun yang diteliti dengan kondisi *obstruction* dihadapannya



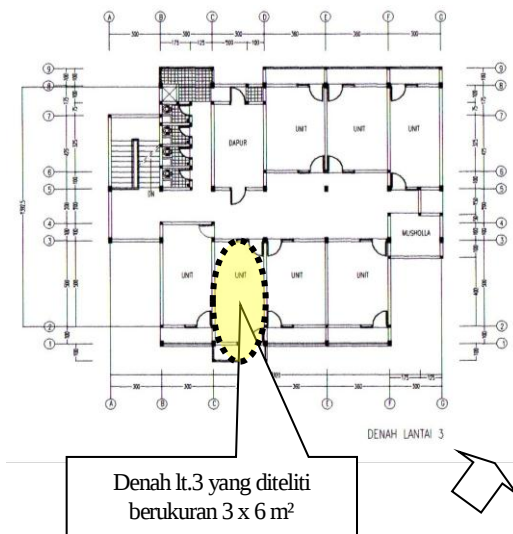
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 2. Tampak depan blok rusun Dupak Bangunrejo yang diteliti



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 3. Denah ruang hunian lantai 1 dengan *obstruction* dihadapannya



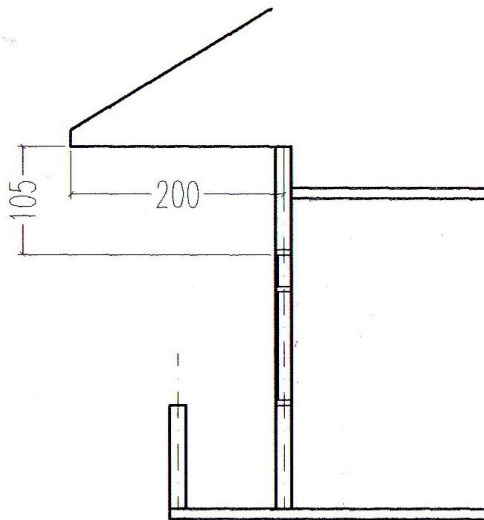
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 4. Denah ruang hunian lantai 3 dengan *obstruction* dihadapannya



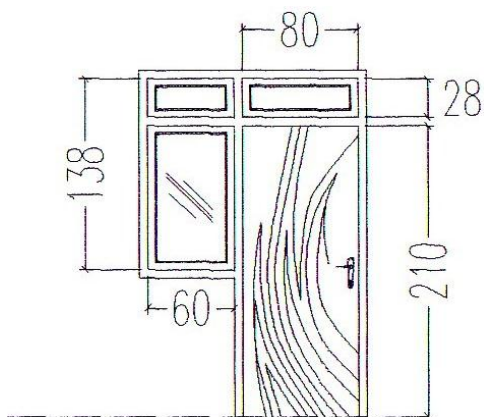
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 5. Denah tipikal unit hunian lantai 3



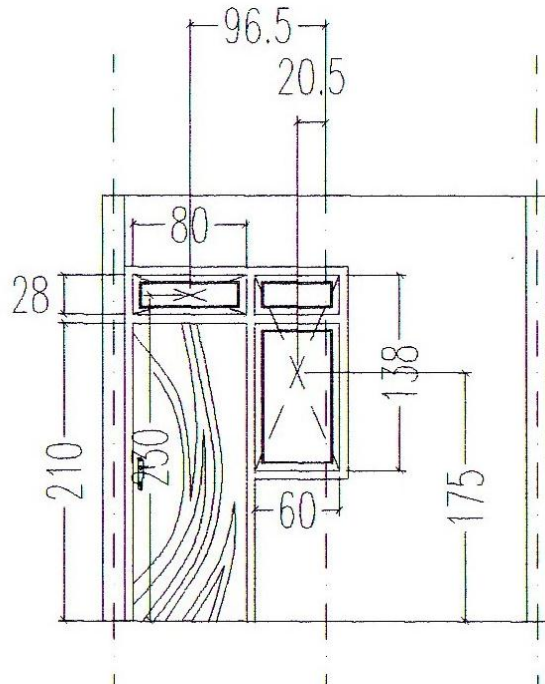
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 6. Potongan unit hunian lantai 3



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 7. Tampak eksterior pintu-jendela hunian lantai 1 & 3



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

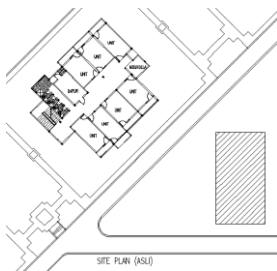
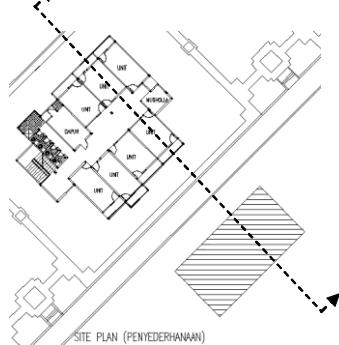
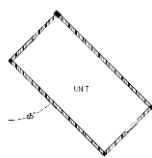
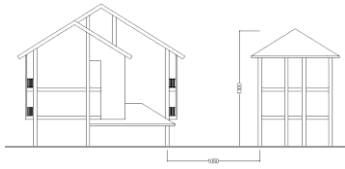
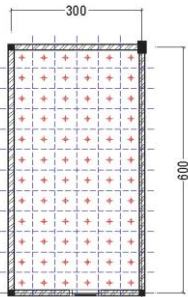
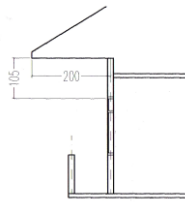
Gambar 8. Tampak interior pintu-jendela hunian lantai 1 & 3

Kondisi bangunan dikelilingi *open space* dan terdapat bangunan sejenis pada sisi kiri dan kanannya (*obstruction*) yang terletak di seberang jalan, dengan dinding yang tidak paralel namun membentuk sudut 45° terhadap bangunan rusun yang distudi (gambar 1). Ruang hunian lantai 1 dan 3 yang dipilih untuk diteliti menghadap ke arah *obstruction* tersebut (gambar 3 dan 4).

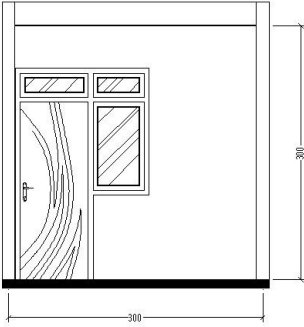
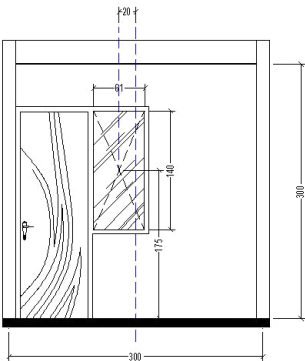
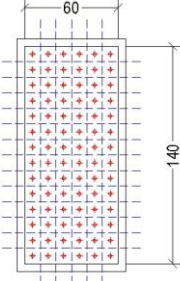
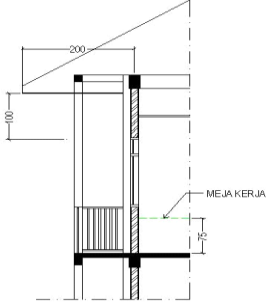
Beberapa hunian pada lantai 1 maupun 3 harus mengalami penyederhanaan permodelan untuk menyesuaikan dengan kemampuan program SUPERLITE v.2.0 (tabel 1). Adapun data *input* yang perlu diketahui meliputi dimensi ruang, ketinggian dan orientasi ruang, bukaan jendela (letak, tipe, luasan, dan jumlah), *overhang* depan bukaan, kondisi permukaan interior (4 dinding, lantai, dan plafon), bidang kerja, *outdoor obstruction*, kondisi geografis, dan waktu kegiatan simulasi dilakukan.

Bangunan dianggap tidak menggunakan penerangan buatan untuk melihat performa penerangan alam dalam unit hunian. Data penerangan alam menggunakan data geografis kota Surabaya yaitu $7^\circ 2' \text{ LS}$ dan $112^\circ 4' \text{ BT}$ dengan standar waktu *Pacific Standard Time* atau nilai 8. Tinggi lokasi dari permukaan laut yaitu 3 m. Kondisi langit diasumsikan "*no direct sun, overcast sky*" atau $\text{ICLD}=1$. *Ground reflectance* diasumsikan 0.4 atau lingkungan sekitar dianggap beton (*concrete*). Simulasi dilakukan pada bulan Maret, hari ke-21 dan hanya dalam 1 hari tersebut. Waktu simulasi dilakukan pada 3 jam berbeda yaitu pukul 06.00, 12.00, dan 17.00.

Tabel 1. Penyederhanaan Permodelan

GBR	KONDISI AWAL	PENYEDERHANAAN
Site Plan dan Posisi Obstruction	 Bangunan asli miring 45° dari utara. Rusun dikelilingi <i>open space</i> dan terdapat rusun sejenis pada sisi kiri-kanannya. Bangunan lain (<i>obstruction</i>) terdapat di seberang jalan dengan dinding yang tidak paralel namun membentuk sudut 45°. Ruang hunian yang distudi menghadap ke arah <i>obstruction</i>.	 Oleh karena keterbatasan program SUPERLITE v. 2.0, maka <i>obstruction</i> dibuat paralel sehingga <i>obstruction</i> sejajar dengan bangunan yang distudi.
Denah Unit Hunian dan Nodes Lantai	 Sisi dinding yang tegak lurus dengan pintu-jendela membentuk sudut 45° dari arah selatan. Terdapat 2 pintu dan jendela yang saling berseberangan. Pada bagian tepi luar hunian lantai 3 terdapat balkon berpagar terbuka. Ruang hunian lt. 3 berukuran 3 x 6 m² dengan ketinggian plafon 3 m. Jarak muka lantai 3 dari tanah (<i>referance height</i>) 6.6 m.	 Penyederhanaan dengan mengabaikan pintu dan jendela yang menghadap koridor <i>internal</i> dengan pertimbangan analisis kondisi penerangan alam. Balkon tidak diperhitungkan karena sifatnya terbuka dengan pagar tidak masif. Dimensi ruang tetap, maka <i>number of nodes</i> untuk ruang dibagi dalam <i>grid</i> dengan <i>interval</i> 0.5 m, <i>nodes</i> yang sejajar jendela sebanyak 6 dan yang tegak lurus dengan dinding jendela sebanyak 12.
	 POTONGAN A-A	 NODES LANTAI
	 Balkon lt. 3	
		Nilai <i>reflectance material</i> : ▪ Lantai: 0.27 (dianggap hanya berupa lantai semen biasa). ▪ Dinding: 0.55 (dianggap dinding di-<i>finishing</i> cat warna putih yang sudah lama/<i>old</i>) ▪ Langit-langit: 0.55 (dianggap di-<i>finishing</i> cat warna putih yang sudah lama/<i>old</i>).

Tabel 1. Lanjutan

GBR	KONDISI AWAL	PENYEDERHANAAN
Dimensi dan Nodes Buka-an	 Pada kondisi bangunan sesungguhnya, terdapat <i>bovenlicht</i> di atas jendela dan pintu. Ukuran pintu selebar 0.8 m dengan tinggi 2.1 m. Total tinggi kusen pintu dan jendela 2.5 m dengan ambang bawah jendela setinggi 1.0 m dari muka lantai.	 <i>Bovenlicht</i> di atas pintu diabaikan dan <i>bovenlicht</i> di atas jendela digabung dengan jendela di bawahnya menjadi bidang kaca yang lebih luas. Lis jendela diasumsikan tidak ada, karena ukuran lis tidak terlalu besar, sehingga jendela diasumsikan sebagai jendela mati. Titik pusat jendela berjarak 1.75 m dari muka lantai dan 0.2 m dari as dinding. Oleh karena letak as jendela berada di sebelah kiri (dilihat dari sisi dalam ruangan dengan pengamat menghadap ke arah jendela), maka nilainya dianggap negatif (-0.20). Pembagian <i>nodes</i> dengan interval 10 cm sehingga didapat 6 <i>nodes</i> sejajar lebar dan 14 <i>nodes</i> sejajar tinggi bukaan jendela.  NODES BUKAAN JENDELA Kaca menggunakan kaca bening (<i>clear glass</i>) dengan asumsi kaca sering dibersihkan ($AK2=0.9$). Kemampuan transmisi cahaya 0.8 (<i>clear plastic sheet</i>). <i>Overhang</i> memiliki kedalaman 2 m dari as dinding dan berjarak 1 m dari batas ambang atas jendela. Kedalaman kaca dari dinding eksterior hanya sebesar 5 cm. Material <i>overhang</i> bersifat <i>opaque</i> nilai $KOH=0$ dan nilai <i>reflectance</i> 0.55 atau dianggap bidang dicat putih dan sudah lama. <i>Overhang</i> termasuk type 1, atau <i>overhang</i> yang berada di atas. Tinggi meja kerja 75 cm dari muka lantai dengan asumsi sesuai ketinggian meja untuk bekerja. Ketinggian meja kerja lebih rendah daripada ambang bawah jendela. Pembagian <i>nodes</i> bidang kerja sama dengan lantai dan langit-langit (6 <i>nodes</i> sejajar jendela dan 12 <i>nodes</i> tegak lurus).
Overhang	 Kondisi <i>overhang</i> tetap, tidak mengalami penyederhanaan.	

Hasil Studi Simulasi dan Analisis

Kuantitas penerangan alam diukur dalam 2 (dua) cara yaitu:

- Kuantitas *luminous (fluks, illuminance)* yaitu dengan mengasumsikan satu set cahaya dari ruang luar dan mengkalkulasi *illuminance* (I) interior yang terjadi.
- Besaran relatif (*Daylight Factor-DF*) yaitu rasio *illuminance* suatu titik di dalam ruang yang terdapat di atas bidang kerja, terhadap *illuminance* di luar pada saat yang sama. Rasio ini konstan untuk solusi yang ada dalam kondisi penerangan di luar yang variatif.
- Distribusi cahaya model bangunan *existing* dan modifikasinya akibat komposisi pembukaan dan *obstruction* yang ada memakai pedoman nilai *illuminance* sebesar 100 lux dan nilai DF yang disarankan untuk ruang hunian sebesar 2% (Lam, 1977:98)

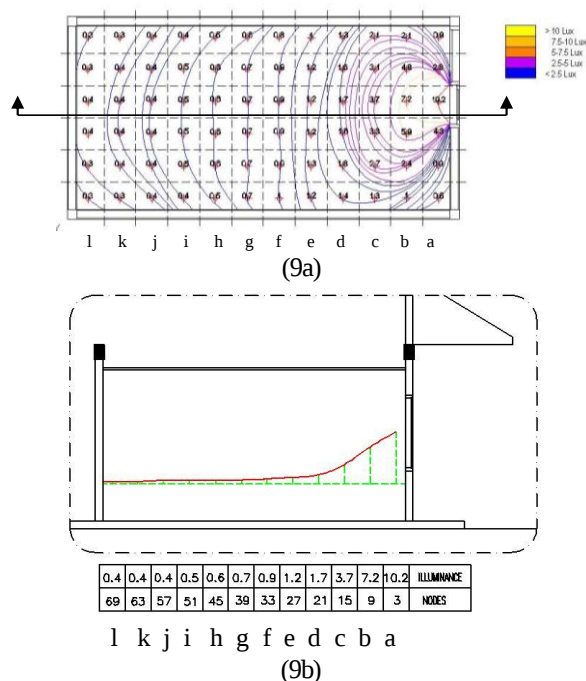
Simulasi model bangunan *existing* maupun modifikasi dilakukan dalam 3 jam yang berbeda yaitu pukul 06.00, 12.00, dan 17.00 menggunakan program SUPERLITE v.2.0 dan diperoleh hasil *illuminance* (I) yang sama pada setiap *nodes* di bidang kerja. Hal ini disebabkan pengaruh kubah langit yang menggunakan tipe *no direct sun* dan *overcast sky*. *Overcast sky* merupakan keadaan di mana posisi matahari tidak dapat ditentukan karena kepadatan awan yang menutupi langit. Cahaya didifusikan pada kubah langit, karena tidak adanya *direct sun* sehingga sudut kemiringan matahari pada setiap jam tidak berpengaruh terhadap hasil simulasi.

Analisis Daylight Contour

Hasil simulasi model bangunan *existing* lantai 1 (pada ketiga jam yang berbeda) diperoleh nilai intensitas penerangan (lux) yang sama pada setiap *nodes*-nya seperti terlihat pada Gambar 9.

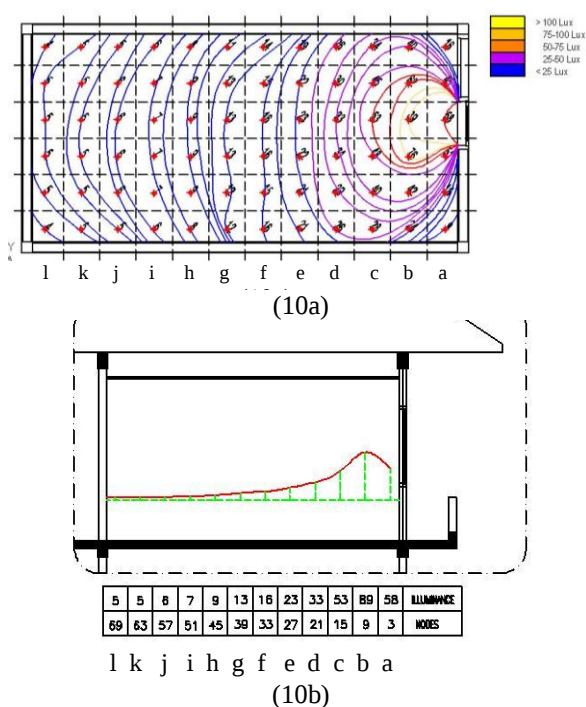
Rekapitulasi intensitas penerangan yang dihasilkan untuk $I < 2.5$ lux sebesar 58.33% berasal dari area bagian belakang ruang, pintu, dan dinding; $2.5 < I < 5$ lux sebesar 12.5% berasal dari sisi kiri-kanan jendela; $I > 5$ lux hanya sebesar 2.78% berasal dari di depan jendela.

Pada *node a* yang terletak di depan jendela (tipe *clear glass*) mengalami penetrasi cahaya terbesar dengan iluminasi sebesar 10.2 fc atau 102 lux. *Node b* pada posisi baris kedua dari depan jendela memiliki iluminasi 72 lux. Sedangkan mulai *node c* sampai dengan *l*, besaran iluminasi semakin menurun hingga paling belakang hanya sebesar 4 lux. Iluminasi yang semakin menurun sejalan dengan semakin jauhnya letak *node* (pada bidang kerja 75 cm) dari hadapan jendela.



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 9. Denah kontur cahaya (9a) dan potongan distribusi pencahayaan dengan intensitas persebaran cahaya (9b) pada model bangunan *existing* lantai 1



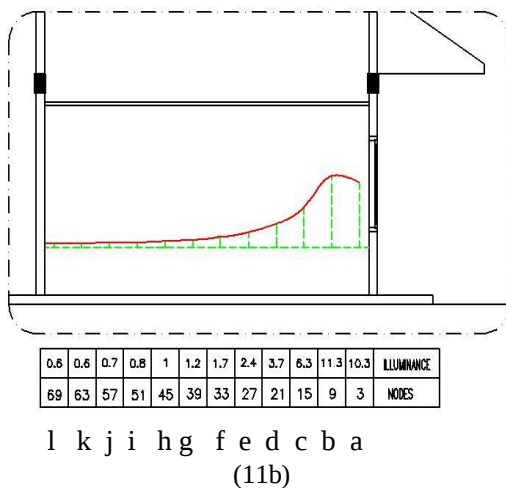
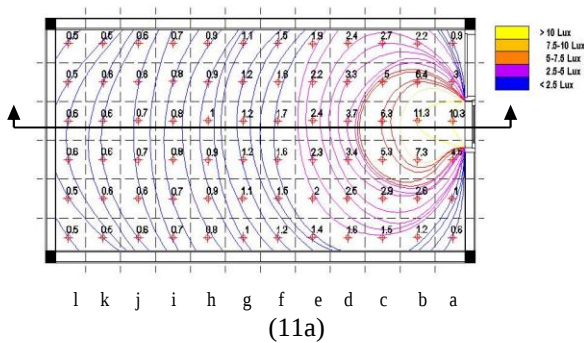
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 10. Denah kontur cahaya (10a) dan potongan distribusi pencahayaan dengan intensitas persebaran cahaya (10b) pada model bangunan *existing* lantai 3

Hasil *run* SUPERLITE v.2.0 untuk model bangunan *existing* lantai 3, memperlihatkan pola

distribusi cahaya pada *nodes* baris pertama (*nodes* 1-6) tidak memiliki nilai *illuminance* yang sama (gambar 10a). *Node* yang berada tepat di muka jendela (*node* 3) mencapai 58 lux, sementara yang di bagian tepi sangat rendah bahkan hingga 16 lux. Demikian pula pada baris kedua dan ketiga, *illuminance* di bagian tepi ruang jauh lebih rendah dibandingkan *node* yang berada tepat di muka jendela. *Illuminance* akan cenderung sama setelah baris ke-4 sehingga kontur cahaya tidak terlalu melengkung. Nilai *illuminance* tertinggi berada pada *nodes* baris kedua (*node* 9) sebesar 89 lux sehingga pola distribusi cahaya bila dilihat dari gambar potongan sedikit membentuk kurva parabola (Gambar 10b).

Hasil simulasi model bangunan modifikasi lantai 1 (tanpa *obstruction*), dengan kondisi semua *properties* dan material bangunan tetap sama, diperoleh nilai *illuminance* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.



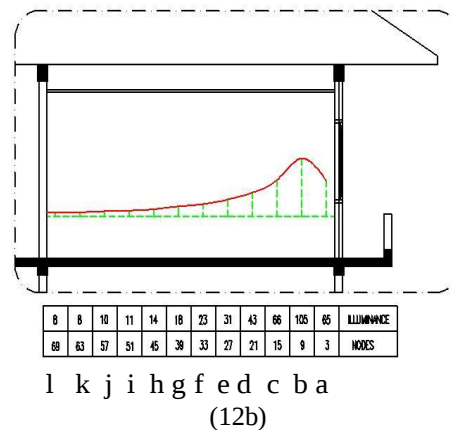
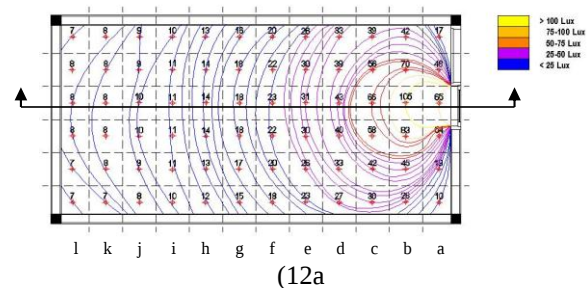
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 11. Denah kontur cahaya (11a) dan potongan distribusi pencahayaan dengan intensitas persebaran cahaya (11b) pada model bangunan modifikasi lantai 1

Rekapitulasi intensitas penerangan yang dihasilkan untuk $I < 2.5$ lux meliputi area sebesar 72.2%; $2.5 < I < 5$ lux sebesar 12.5%; dan $I > 5$ lux hanya

meliputi area 8.33% yang berasal tepat di depan jendela.

Hasil simulasi model bangunan modifikasi lantai 3 (tanpa *obstruction*) dengan kondisi *properties* serta material tetap sama seperti *existing*, diperoleh nilai *illuminance* seperti pada Gambar 12.



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 12. Denah kontur cahaya (12a) dan potongan distribusi pencahayaan dengan intensitas persebaran cahaya (12b) pada model bangunan modifikasi lantai 3

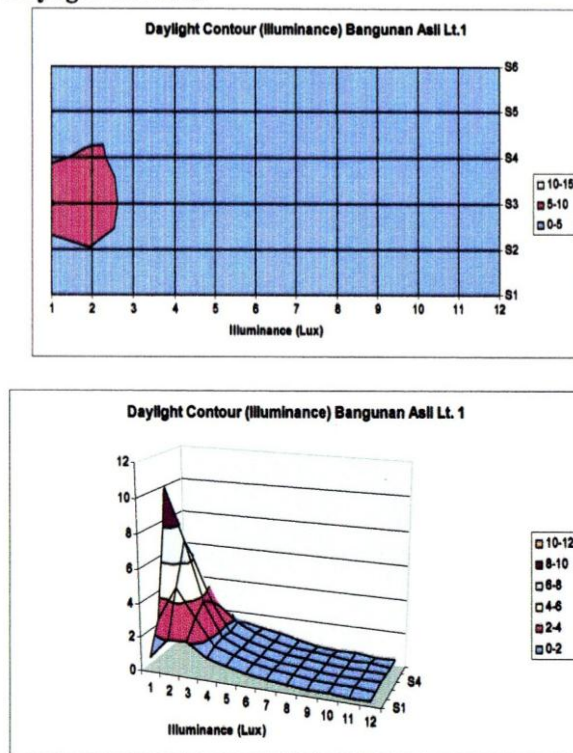
Lengkung kurva pada potongan model bangunan modifikasi lantai 3 lebih tinggi daripada *existing* dimana lengkung kontur cahaya hingga 5 baris pertama *nodes* lebih cembung dan perbedaan antara *illuminance* di tepi dan tengah ruangan pada baris-baris tersebut cukup besar (Gambar 12b). Pada *nodes* yang berada jauh dari jendela lebih terang dibanding bangunan *existing*. Pada *nodes* barisan belakang nilai *illuminance* cenderung sama, antara 7-10 lux dan nilai ini berulang sehingga dapat dikatakan pada area yang jauh dari jendela, penurunan penerangan terjadi sedikit demi sedikit. *Illuminance* tertinggi pada *node* 9 mencapai 105 lux dan terendah 6 lux di daerah belakang.

Hasil perbandingan intensitas cahaya pada model bangunan modifikasi lebih tinggi daripada bangunan *existing*, meskipun pada kedua model bangunan tidak ada yang memenuhi standar penerangan 100 lux. Pola kontur cahaya pada bangunan *existing* lebih pipih (Gambar 13) sedangkan pada bangunan modifikasi

lebih cembung (Gambar 14). Pada baris pertama intensitasnya lebih rendah karena letak meja kerja yang berada di bawah ambang jendela.

Berdasarkan hasil pengamatan dengan menghilangkan *obstruction*, nilai kuantitas penerangan menjadi meningkat namun distribusi cahaya ke dalam ruang kurang merata dan cenderung menumpuk di satu titik. Pengaruh SC yang diterima titik tersebut semakin tinggi karena bidang jendela yang mendapatkan sinar menjadi lebih luas (Gambar 13 dan 14).

Daylight Contour



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

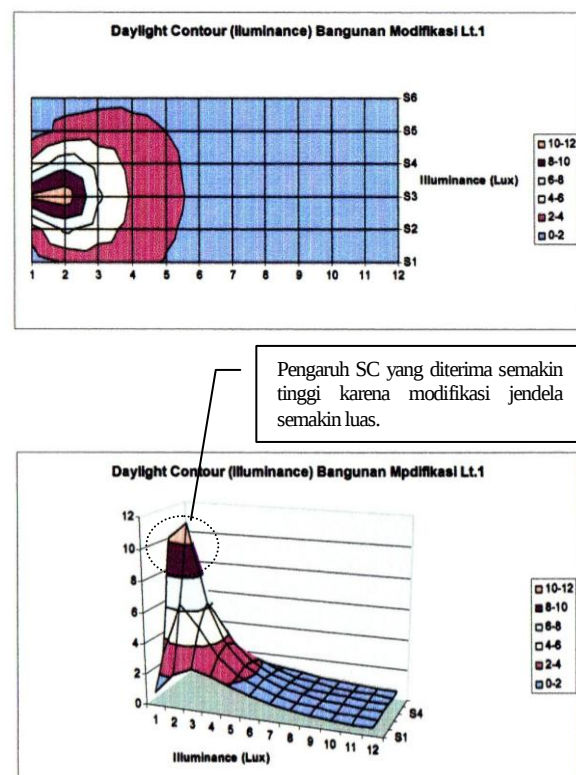
Gambar 13. DF *contour* model bangunan *existing* lantai 1

Keadaan ini menjadi tidak memenuhi persyaratan penerangan, hal ini disebabkan beberapa kondisi eksterior dan interior sebagai berikut:

- Posisi *obstruction* yang terletak berhadapan langsung dengan jendela hunian berakibat menghalangi penetrasi cahaya masuk ke dalam ruang.
- Dimensi *overhang* selebar 2.0 m berada tepat di atas jendela akan membayangi jendela sehingga menghalangi penetrasi cahaya untuk masuk lebih dalam lagi.
- Besaran bukaan jendela hanya 4,6% dari total luasan lantai (*rule of thumb* menyatakan minimal 20% dari total luasan lantai dengan syarat bangunan berada di lingkungan terbuka atau *open country*).

- Iluminasi terbesar hanya berada di depan jendela karena posisinya berada di tengah dan 1.0 m dari permukaan lantai, sehingga hanya bagian tersebut yang memiliki iluminasi terbesar.
- Posisi bidang kerja berada di bawah ambang bawah jendela (1.0 m) yaitu 0.75 m menyebabkan jarak bertambah, sehingga mengurangi penetrasi cahaya pada bidang kerja, akibatnya iluminasi pun semakin dalam semakin berkurang.

Kedalaman ruang yang terlalu dalam menyebabkan penetrasi cahaya tidak dapat mencapai titik terdalam (*rule of thumb* menyatakan bahwa kedalaman ruang maksimal 2.5 kali tinggi jendela) di mana kedalaman ruang seharusnya 2.5 x 1.4 m yaitu 3.5 m saja, bukan 6.0 m.



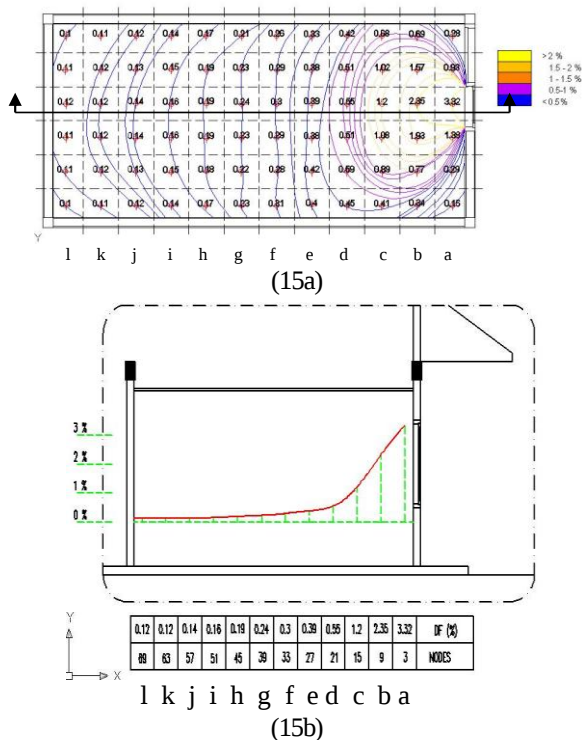
Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 14. DF *contour* model bangunan modifikasi lantai 1

Analisis Daylight Factor

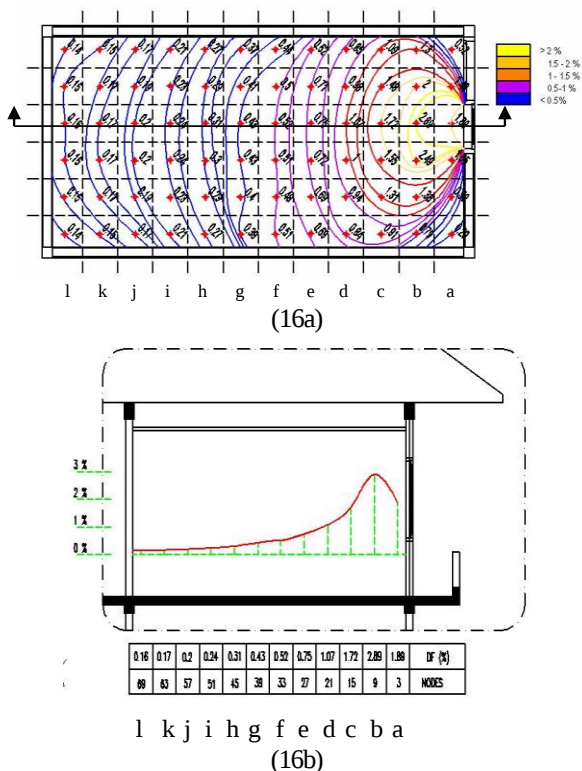
Setelah dilakukan simulasi pada ketiga jam yang berbeda juga diperoleh hasil DF yang sama pada setiap *nodes*-nya. Pola distribusi DF pada model denah dan potongan tidak jauh berbeda dengan pola distribusi *illuminance* seperti terlihat pada Gambar 15.

Rekapitulasi prosentase DF menunjukkan bahwa $DF < 1\%$ meliputi 88.89% area *nodes*; $1\% < DF < 2\%$ sebesar 8.33% dari area *nodes*; $DF > 2\%$ (memenuhi persyaratan) hanya sebesar 2.78% saja pada bagian depan jendela.



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 15. Denah kontur cahaya (15a) dan potongan distribusi pencahayaan dengan intensitas persebaran cahaya (15b) pada model bangunan *existing* lantai 1



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 16. Denah kontur cahaya (16a) dan potongan distribusi pencahayaan dengan intensitas persebaran cahaya (16b) pada model bangunan *existing* lantai 3

Hasil perhitungan DF pada bidang meja kerja diperoleh nilai tertinggi pada *node* 9 sebesar 2.89% dan terendah pada *node* 67 dan 72 sebesar 0.14%. DF pada baris pertama lebih rendah dibandingkan pada baris kedua. Kontur DF cenderung stabil di daerah belakang. Setelah baris ke-4 nilai DF menurun sedikit demi sedikit dan dalam 1 baris didapati nilai yang sama sehingga kontur yang terbentuk cenderung rata. Pada baris pertama nilainya lebih rendah dan kemudian mencapai nilai maksimum pada baris kedua.

Jika standar DF untuk bangunan hunian ditetapkan sebesar 2%, maka hanya area *nodes* 7, 8, 9, dan 10 yang memenuhi dan selebihnya tidak. Nilai DF juga dapat diperoleh dari perhitungan SC + ERC + IRC. Untuk area *nodes* yang tepat berada di depan jendela cenderung tinggi karena dapat menerima ketiga komponen tersebut, sementara di daerah lainnya lebih banyak mengandalkan ERC dan IRC. Untuk daerah bayangan (*node* 1, 2, 5, dan 6), tidak mendapatkan ERC dan SC, maka IRC yang berperan banyak. Bila dilihat dari kontur DF, maka area di belakang baris *node* 25-30 mulai mengandalkan IRC karena intensitasnya yang cenderung sama dalam 1 baris dan penurunan sedikit demi sedikit ke arah belakang. Reflektansi dinding dan langit-langit sebesar 0.55 (*finishing* cat tembok warna putih sudah lama) dan reflektansi lantai hanya sebesar 0.27 saja sangat mempengaruhi nilai IRC.

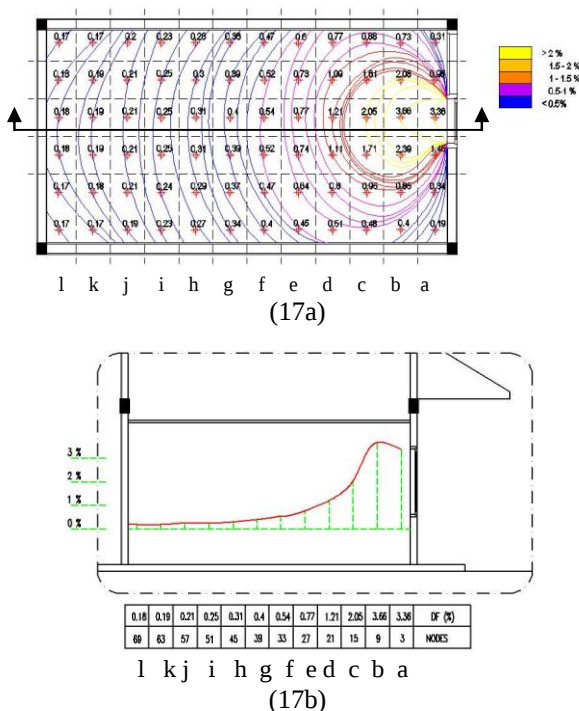
Adanya *obstruction* dapat menghalangi masuknya cahaya dari SC dan sekaligus juga dapat membantu memasukkan cahaya dengan pemantulan atau ERC. Nilai reflektansi *obstruction* tidak terlalu besar, hanya sekitar 0.55. Hal ini menyebabkan cahaya yang dipantulkan oleh *obstruction* hanya separuh dari yang mengenainya sehingga intensitas pencahayaan dalam ruangan tidak tinggi.

Daylight Factor dapat juga merupakan perbandingan antara intensitas pencahayaan luar dan dalam yang dinyatakan dalam rumus:

$$DF = \frac{E_i}{E_o} \times 100\%$$

maka pada area sekitar *node* 7, 8, dan 9, perbandingan besar pencahayaan luar dengan dalam cukup tinggi. Hal ini dapat berpotensi menimbulkan *glare* karena persebaran cahaya berasal dari satu jendela kecil sehingga kontrasnya terlalu besar.

Hasil simulasi model bangunan modifikasi lantai 1 didapati nilai DF yang sama pada setiap *nodes*-nya. Lengkungan kurva distribusi DF di depan jendela terlihat lebih tinggi (gambar 17b) bahkan hingga lebih dari 3% meskipun tidak berbeda terlalu banyak bila dibandingkan dengan bangunan *existing*.



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 17. Denah kontur cahaya (17a) dan potongan distribusi pencahaya dengan intensitas persebaran cahaya (17b) pada model bangunan modifikasi lantai 1

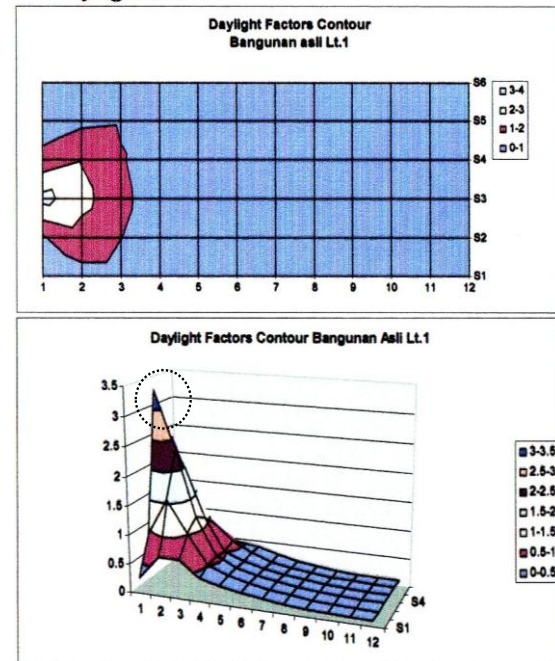
Rekapitulasi prosentase DF menunjukkan $DF < 1\%$ sebesar 84.72% area *nodes*; $1\% < DF < 2\%$ sebesar 8.33% area *nodes*; $DF > 2\%$ meningkat hingga sebesar 4.16% dari area *nodes*. Hasil perbandingan nilai DF pada model bangunan modifikasi lebih tinggi daripada bangunan *existing*. Hanya 1/6 bagian atau sekitar 15% memenuhi persyaratan minimum DF 2%. Besaran DF semakin menurun sejalan dengan semakin jauhnya letak bidang kerja dari jendela.

Area yang lebih terang pada model bangunan modifikasi lebih luas daripada bangunan *existing*. Prosentase pemenuhan $DF > 2\%$ pada bangunan modifikasi dapat mencapai 6.94% sedangkan pada bangunan *existing* hanya 2.28% (Gambar 18 dan 19). Penerangan akan menjadi lebih baik jika bangunan dimodifikasi tanpa *obstruction*.

Pada *node a* dengan iluminasi pada bidang kerja memenuhi persyaratan 100 lux, walau hanya sebesar 102 lux namun memiliki nilai DF lebih tinggi dari persyaratan yaitu 3.32%. Hal ini dimungkinkan karena keadaan di dalam lebih terang akibat pengaruh *ground reflectance* dari bahan *concrete* (0.4) dan *obstruction reflectance* (ERC) daripada di luar ($E_i > E_o$) yang cenderung lebih gelap. Akibat kondisi di luar cenderung gelap maka hal ini juga mempengaruhi kondisi di dalam ruang sehingga iluminasi di dalam ruang turun. Demikian halnya dengan keadaan pada *node b*, sedangkan pada *node c* hingga l keadaan iluminasi dan DF semakin menurun

dan masing-masing tidak memenuhi persyaratan mengingat keadaan ruang yang terlalu dalam dan berpenghalang. Apabila di depan jendela terdapat *obstruction* maka ruangan menjadi cenderung gelap dan banyak yang tidak dapat memenuhi persyaratan iluminasi minimal 100 lux karena hanya mengandalkan ERC akibat SC yang masuk sangat minim atau bahkan tidak ada.

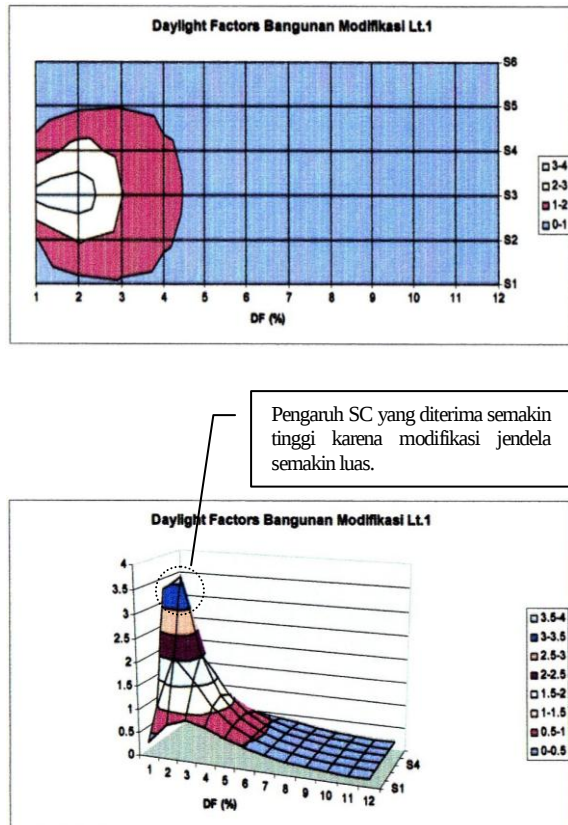
Daylight Factors



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 18. DF contour model bangunan *existing* lantai 1

Jika bangunan tanpa *obstruction*, untuk tipe jendela *clear glass* dengan pembukaan jendela kaca satu sisi dan hanya 1 (satu) buah seluas 4,6% dari luas lantai ruangan ($\pm 1/20$ bagian), maka distribusi terang dengan persyaratan *Daylight Factor* untuk hunian 2% terjadi hanya pada posisi $1/4$ jarak dari lubang cahaya. Dengan melihat posisi yang ditentukan berdasarkan grid yang dibuat, hanya 25% saja yang dapat memenuhi DF 2% (sudah meningkat 10% bila dibandingkan dengan bangunan yang berpenghalang), selebihnya kurang atau tidak memenuhi persyaratan. Hal ini disebabkan oleh luasan bukaan jendela yang terlalu minim, di mana secara *rule of thumb* untuk luas bukaan jendela minimal adalah 20% dari luas lantai (bahkan bisa mencapai 50% dari luas lantai bila Rusun berada ditengah-tengah perumahan yang padat). Selain itu, kondisi jendela berada 1.0 m di atas permukaan lantai menyebabkan distribusi cahaya pada bidang kerja menjadi kurang memenuhi. *Rule of thumb* tentang kedalaman ruang juga tidak memenuhi karena melebihi 2,5 kali tinggi jendela (1.40 m) yaitu 6.0 meter, seharusnya 3.5 m supaya penetrasi cahaya dengan DF 2% mencapai bagian belakang hunian.



Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 19. DF contour model bangunan modifikasi lantai 1

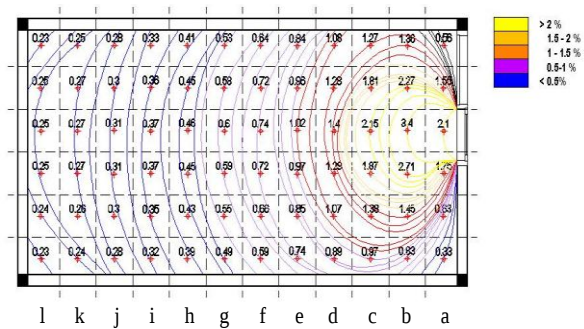
Besaran DF yang memenuhi persyaratan pada bangunan tanpa *obstruction* dihadapan memiliki besaran tertinggi pada posisi di depan jendela sebesar 3.36%, 3.66%, dan 2.05%, selanjutnya semakin ke belakang semakin menurun. Besaran DF semakin menurun sejalan dengan semakin jauhnya letak bidang kerja dari jendela.

Dengan demikian, bila di depan jendela tidak terdapat *obstruction* maka iluminasi dan *daylight factor* lebih besar sehingga ruangan cenderung lebih terang karena ruangan dipengaruhi ERC dari *ground reflectance* yaitu *concrete reflectance* (baik yang mengenai *overhang* lalu jatuh ke bidang kerja maupun yang mengenai langit-langit kemudian sampai ke bidang kerja) dan SC yang masuk lebih leluasa daripada jika bangunan dengan *obstruction* dihadapannya.

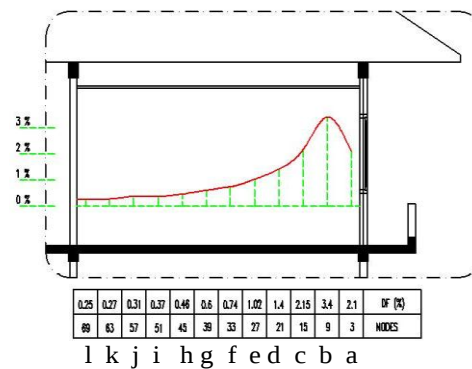
Nilai DF pada model bangunan modifikasi lantai 3 ditunjukkan melalui Gambar 20.

Lengkungan kurva distribusi DF pada potongan lebih tinggi bahkan lebih dari 3%, meskipun bedanya tidak terlalu banyak bila dibandingkan dengan *existing*. Hasil perhitungan DF didapati nilai DF tertinggi terdapat pada *node* 9 yang bisa mencapai 3.4% dan terendah pada *node* 67 dan 72 sebesar 0.23%. Kontur DF lebih bulat dan penetrasi cahaya

dapat masuk lebih dalam ke dalam ruangan. Persebaran ke arah sisi-sisi dinding jauh lebih baik dari pada bangunan *existing* hingga baris ke-7, nilai DF antara 0.5-1.0%. Pada baris pertama, nilainya lebih rendah dan kemudian mencapai nilai maksimum di baris kedua.



(20a)



(20b)

Sumber: Indrani dan Nurdiah, 2006

Gambar 20. Denah kontur cahaya (20a) dan potongan distribusi pencahayaan dengan intensitas persebaran cahaya (20b) pada model bangunan modifikasi lantai 3

Meskipun telah dilakukan modifikasi dengan menghilangkan *obstruction*, intensitas pencahayaan tidak meningkat banyak. Peningkatan *illuminance* dan DF pada bangunan modifikasi tidak terlalu signifikan. Kenaikan ini dapat diakibatkan meningkatnya nilai SC yang diterima bangunan. Meskipun dapat dipastikan nilai ERC dari pemantulan bidang *obstruction* berkurang karena *obstruction* tidak ada lagi, namun nilai SC yang masuk dimungkinkan lebih tinggi bila dibandingkan ERC, sehingga terjadi kenaikan pada *illuminance* dan DF meskipun kenaikannya tidak terlalu signifikan.

Dari kontur cahaya dan pola distribusinya, didapati bahwa deretan baris pertama *nodes* nilainya lebih rendah dari pada baris kedua, hal ini sama dengan bangunan asli. *Overhang* dan posisi meja kerja yang berada di bawah ambang jendela dapat menjadi penyebabnya.

Dengan menghilangkan *obstruction*, penetrasi *daylighting* dapat masuk lebih dalam dibandingkan dengan *obstruction*. Jika dengan *obstruction*, *daylighting* dengan DF sebesar $>1.5\%$ hanya sampai pada jarak ± 1.5 m dari ambang jendela, maka pada bangunan modifikasi, nilai DF sebesar $>1.5\%$ dapat masuk sedalam ± 2 m dari ambang jendela.

Setelah dilakukan modifikasi, gradasi penurunan intensitas pencahayaan dalam 1 garis lurus, dari depan jendela hingga ke dalam ruang, didapati perubahan nilai illuminasi dan DF yang drastis, terutama pada jarak 3 m dari muka jendela. Pada *node* 3 nilai DF sebesar 2.1% kemudian naik sebesar 3.4% pada *node* 9 dan turun lagi hingga 2.15% pada *node* 15. Setelah *nodes* 33, penurunan mulai berlangsung sedikit demi sedikit dari nilai 0.74 pada *node* 33 hingga 0.25% pada *node* 69. Dengan demikian, intensitas cahaya yang diterima oleh area yang berada di dekat muka jendela naik lebih tinggi dan kemudian menurun dengan cepat pula ketika masuk ke dalam ruang. Hal ini dapat diamati dari potongan ruangnya, lengkungan kurva pada bangunan modifikasi lebih tinggi bila dibandingkan bangunan asli. Fenomena ini berpotensi menimbulkan *glare* yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan bangunan aslinya. Maka, dengan adanya *obstruction*, potensi *glare* lebih rendah karena intensitas cahaya yang masuk ke dalam ruang lebih merata.

Kontur *daylighting* menyesuaikan dengan lebar dan tinggi jendela. Ukuran jendela yang kecil mengakibatkan masuknya *daylight* ke dalam ruangan tidak merata. Area yang mendapatkan *daylight* dengan intensitas tinggi hanya yang sepanjang lintasan lebar jendela. Sementara sisi kanan dan kirinya mengalami penurunan yang cukup drastis. Penyebaran cahaya lebih homogen pada daerah yang berada di belakang.

SIMPULAN

Keterbatasan dalam segi biaya mengakibatkan bangunan rusun harus tampil sederhana dan seadanya. Kondisi ini mengakibatkan diabaikannya faktor kenyamanan bagi penghuni, tidak hanya dalam hal estetika akan tetapi juga dalam hal ventilasi, termal, dan penerangan alami. Ketiga hal tersebut seharusnya mendapat perhatian, mengingat konsep rusun *low-cost* tidak hanya menitikberatkan pada biaya sewa saja tetapi harus pula memperhatikan kemampuan operasional bangunan. Selain itu, ketersediaan ventilasi alami yang cukup, kondisi termal yang nyaman, dan penerangan alami yang memadai, telah menjadi kebutuhan dasar bagi setiap penghuni rusun.

Penerangan alami yang baik bermanfaat untuk aktivitas di siang hari, mengurangi kelembaban, baik untuk kesehatan karena menciptakan *mood* yang menyenangkan bagi penghuninya dan pasti akan mengurangi penggunaan energi listrik untuk penerangan buatan pada pagi hingga sore hari. Untuk itu, perancangan rumah susun yang baik harus memperhatikan nilai-nilai estetika dan kenyamanan (*thermal dan visual comfort*) bagi penghuninya, karena hal tersebut merupakan faktor penting bagi penghuni untuk melakukan aktifitas dalam ruang seefisien mungkin dengan perasaan nyaman dan tenang.

Hasil simulasi menggunakan *input short option* SUPERLITE v2.0 dan analisis performa bangunan memperlihatkan bahwa secara keseluruhan rusun Dupak Bangunrejo belum dapat memenuhi standar tingkat penerangan alami dan kenyamanan penglihatan, hanya 1/3 bagian ruang terpenuhi sehingga dapat dipastikan operasional bangunan tidak hemat energi.

Dengan memahami variabel yang mempengaruhi kondisi penerangan alam dalam bangunan maka dapat dilakukan pengendalian khususnya melalui penggunaan bagian bangunan itu sendiri. Beberapa hal yang perlu dikaji ulang dalam desain bangunan rusun untuk mewujudkan lingkungan penerangan alam yang lebih baik, antara lain:

Lingkungan Eksternal

Obstruction

Keberadaan bangunan tanpa *obstruction* mampu meningkatkan intensitas cahaya yang masuk ke dalam ruang karena nilai SC meningkat. Namun perlu diperhatikan bahwa *obstruction* dan bidang reflektansinya dapat digunakan untuk mengurangi potensi *glare* karena intensitas cahaya yang masuk menjadi lebih merata dan perbedaan penurunan *illuminance* menjadi perlahan, tidak terlalu drastis.

Overhang

Keberadaan *overhang* selebar 1.0 m di atas jendela akan membayangi jendela tetapi tidak mengurangi penetrasi cahaya yang masuk ke dalam ruangan khususnya bagian belakang ruang, karena tidak menghalangi masuknya SC. *Overstek* juga berpotensi menaikkan nilai ERC, tergantung pada kemampuan reflektansi permukaan bidangnya, utamanya untuk lantai 1.

Lingkungan Internal

Letak dan Luasan Bukaan

Dimensi jendela akan mempengaruhi pola kontur cahaya yang masuk ke dalam ruang secara vertikal maupun horisontal. Prosentase luasan bukaan minimal 20%, jika bangunan berada di lingkungan pemukiman yang padat dapat mencapai 50% agar intensitas cahaya yang diterima bisa masuk lebih merata ke bagian terdalam ruang dan tidak menimbulkan *glare* akibat kontras penerangan yang terlalu besar. Posisi peletakan bukaan di tengah dinding dengan pelebaran ke arah horisontal lebih berpengaruh terhadap masuknya cahaya secara merata ke seluruh geometri ruang. Pelebaran ke arah vertikal apalagi hingga ke bawah bidang kerja tidak akan menghasilkan perbaikan intensitas cahaya.

Work Surface

Jika penempatan *work surface* (bidang kerja) setinggi 0.75 m dari atas permukaan lantai atau 0.25 m di bawah ambang bawah jendela, hal ini menyebabkan jarak bertambah sehingga mengurangi penetrasi cahaya pada bidang kerja, akibatnya iluminasi pun semakin dalam semakin berkurang. Ambang jendela sebaiknya 0.75 m dari atas permukaan lantai sehingga bidang kerja yang pada umumnya setinggi 0.75 m dari atas permukaan lantai bisa berada sejajar dengan ambang bawah jendela. Hal ini membuat penetrasi cahaya bisa mencapai ke dalam ruang secara optimal.

Kedalaman Ruang

Semakin dalam dan semakin rendah ketinggian ruangan, maka prosentase penurunan intensitas cahaya alami dalam ruang pun akan semakin besar. Kedalaman ruang perlu mendapat perhatian, utamanya bila pencahayaan datang hanya dari satu sisi jendela dan tidak ada jendela lain pada sisi yang berlawanan. Apalagi jika *layout* ruang model *triple layer*, tanpa *void*, dan *skylight* di tengah, maka bidang dinding pada *internal corridor* sama sekali tidak mendapatkan cahaya sehingga hanya mengandalkan dari satu sisi bukaan depan saja.

Reflektansi Bidang Interior

Kemampuan reflektansi permukaan bidang interior (dinding, lantai, dan plafon) berpengaruh terhadap intensitas cahaya yang datang ke atas bidang kerja. Tipe warna terang (warna putih dan warna pastel) pada permukaan bidang interior dengan reflektansi yang tinggi sangat membantu memantulkan cahaya yang lebih besar pada bidang kerja.

Salah satu alternatif desain rumah susun yang dapat ditawarkan adalah dengan mengikuti konsep bangunan bertingkat masa kolonial di mana bangunan selalu memiliki *void* di tengah untuk memudahkan sinar matahari dan pencahayaan alami masuk ke bagian tengah bangunan. Dengan adanya *void* di tengah, maka bentuk ruang yang *single layer* akan memudahkan sinar matahari masuk ke bagian belakang ruang, mencegah kelembaban, mengeringkan pakaian, selain itu ruangan dan penghuninya pun menjadi lebih sehat.

REFERENSI

- Evans, Benjamin H. 1981. *Daylight in Architecture*. New York: Mc. Graw Hill.
- Indrani, Hedy C. dan Nurdiah, Esti N. 2006. *Penilaian Performa Bangunan Rumah Susun dari Segi Ventilasi, Termal, dan Daylighting*. Surabaya: Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Koenigsberger, O.H., et all. 1973. *Manual of Tropical Housing and Building*. Bombay: Orient Longman, India.
- Soegijanto. 1999. *Bangunan di Indonesia dengan Iklim Tropis Lembab ditinjau dari Aspek Fisika Bangunan*. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- _____. 1994. *SUPERLITE v.2.0. User's Manual Program Description Daylighting and Lighting Performance*. Berkeley, USA: Lawrence Berkeley Laboratory.