

Pengaruh Integrasi Pencahayaan Alami Pada Sistem Pencahayaan, Terhadap Efisiensi Energi Bangunan Tinggi



^{a,1}M. Rachmat Syahrullah, ^{a,2}N. Amalia, ^{a,3}Khaerunnisa

^aProdi S1 Arsitektur, Jurusan Teknik Arsitektur, Universitas Tadulako, Palu, Indonesia

¹rachmatsyahrullah98@gmail.com; ²nazirahamalia@gmail.com; ³lagunikhaerunnisa@gmail.com

Submitted: Agustus 12, 2024 | Revised: Agustus 18, 2024 | Accepted: September 10, 2024

ABSTRACT

Increasing natural light illumination can reduce lighting energy but has the potential to increase ventilation energy due to higher heat gains in buildings. This condition presents a research problem to determine the optimal compromise for integrating natural light in lighting systems to achieve energy efficiency by examining the impact of building envelopes. The simulation object is a hypothetical, multi-story, air-conditioned office building with a typical floor area of 1600 m², measuring 40m x 40m. The WWR variable is set within a range of 10% - 70%, and the VT variable ranges from 0.1 to 0.9, with an orientation of 0° to the north. The simulation utilizes EnergyPlus v7.0 software, OpenStudio v7.0 plugins, LBNL Window 6.3, and Dialux 10.0. The research results show that integrating natural lighting can reduce lighting energy consumption by up to 66%, ventilation energy by up to 6%, and total energy by up to 20%. The combination of WWR and VT affects energy reduction. Smaller WWRs require low VT glass, medium WWRs require medium VT glass, and larger WWRs require high VT glass. The best energy performance is achieved with medium WWR and medium VT, specifically with a WWR configuration of 50% and glass VT of 0.5. The east and west sides have the highest levels of natural light illumination but also the highest heat gains, while the north and south sides effectively utilize natural lighting with large WWRs. A floor plan ratio of 3:1 is optimal for lighting energy performance, while a 1:2 ratio is best for total energy performance in comparable configurations. Shading components improve energy efficiency by up to 2% for lightshelf types and 4% for overhang types. The level of energy efficiency is also determined by the mechanical systems selected for lighting control, light, and AC types.

Keywords: energy conservation, building envelope, natural lighting, window-to-wall ratio, and visible transmittance

This is an Open-Access article distributed under the CC-BY-SA license



PENDAHULUAN

Konsumsi energi bangunan perkantoran diserap oleh tiga sektor utama, yakni penghawaan, pencahayaan dan peralatan. Persentase terbesar diserap oleh sektor Penghawaan dan Pencahayaan yang mencapai 65% - 80% dari total konsumsi energi bangunan. Strategi efisiensi energi diutamakan pada perbaikan kinerja pencahayaan alami karena dapat menurunkan energi sektor pencahayaan dan secara bersamaan berdampak pada penurunan perolehan panas internal dari radiasi pencahayaan sehingga menekan beban pendinginan yang akhirnya mengefisienkan sektor penghawaan.

Integrasi pencahayaan alami langsung mempengaruhi penurunan konsumsi energi sistem pencahayaan dan penghawaan karena cahaya alami mengganti cahaya artifisial, yang juga berdampak pada berkurangnya beban pendinginan yang bersumber dari panas internal. Optimalisasi performa pencahayaan alami dengan memperbesar rasio selubung bangunan dapat menurunkan performa penghawaan karena cahaya alami berpotensi meningkatkan perolehan

panas eksternal dari radiasi kaca. Sebaliknya memperkecil rasio selubung bangunan dapat meningkatkan performa penghawaan namun menurunkan performa pencahayaan alami. Tantangannya adalah mengatur kinerja selubung bangunan untuk mendapatkan nilai kompromi dari performa pencahayaan dan penghawaan dengan mengintegrasikan pencahayaan alami dalam sistem pencahayaan bangunan.

Pencahayaan alami pada bangunan hanya didapatkan dari sinar matahari, pada daerah tropis seperti Indonesia, cahaya matahari dapat memberikan dampak positif dan negatif pada manusia. Oleh karena itu, dalam ilmu arsitektur juga tercipta strategi dalam memanfaatkan cahaya alami tetapi mengurangi dampak panas yang disebabkan.

Kelebihan dari cahaya alami dari sinar matahari adalah bersifat alami, tersedia melimpah, terbarukan, memiliki spectrum cahaya yang lengkap, memiliki daya panas alami dan kimiawi yang dibutuhkan makhluk hidup di bumi. Tetapi matahari juga memiliki beberapa kekurangan seperti kesulitan dalam memanfaatkan cahaya matahari pada bangunan berlantai banyak, intensitasnya sulit diatur, dapat sangat menyilaukan atau sangat redup, pada malam hari tidak tersedia, membawa masuk panas kedalam Gedung, dapat memudarkan warna [9]. Sehingga perlu strategi integrasi pencahayaan alami pada bangunan.

Pencahayaan alami yang terintegrasi pada sistem pencahayaan bangunan bertujuan untuk melakukan mengefisienkan konsumsi listrik lampu. Cahaya alami diharapkan menekan penggunaan lampu pada siang hari sehingga konsumsi listrik akan berkurang. Sistem pencahayaan alami membutuhkan strategi yang tepat mengingat potensi panas yang dapat membebani kinerja AC. Beberapa langkah dalam strategi pencahayaan alami yaitu antara lain 1) orientasi, menurut [6] orientasi terhadap lintasan matahari menentukan berapa besar cahaya alami yang dapat dimanfaatkan sebagai pencahayaan ke dalam bangunan; 2) rasio denah, menurut [6], denah berbentuk bujur sangkar 16% areanya sama sekali tidak mendapat cahaya alami dan 33% mendapat cahaya alami sebagian; 3) pengaturan jendela, menurut [8] pengaturan jendela sangat menentukan kualitas cahaya alami dalam sistem pencahayaan. Hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan kaca mengenai komponen propertisnya kaca; 4) shading akan mampu mengendalikan iluminasi cahaya luar ke dalam bangunan tanpa membawa panas; 5) lighting control, menurut [7] baik atau tidaknya desain *daylighting* pada bangunan dilihat dari seberapa efektif *daylight* mampu menurunkan konsumsi listrik dari lampu. Kebanyakan arsitek sepakat sistem *switching* manual mampu mengurangi 50% konsumsi listrik pencahayaan.

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka penelitian ini memiliki pertanyaan yaitu apakah nilai konsumsi energi optimal yang dapat dicapai dengan mengintegrasikan pencahayaan alami pada sistem pencahayaan bangunan?, dan bagaimanakah pengaruh konfigurasi *Window to wall ratio* dan *visible transmittance* terhadap performa efisiensi energi bangunan ketika menerapkan integrasi pencahayaan alami pada sistem pencahayaan?.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan masukan terhadap desain selubung bangunan yang mengoptimalkan integrasi pencahayaan alami dalam upaya efisiensi energi.

METODE

Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode simulasi. Menurut [10], bahwa simulasi merupakan pengkondisian suatu bentuk konteks- nyata ke dalam bentuk replika atau hipotesis atas konteks dunia-nyata.

Obyek Penelitian dan Data Iklim

Obyek penelitian adalah bangunan hipotetik jenis bangunan tinggi dengan fungsi perkantoran, yang fokus perhitungannya pada lantai tipikal berpengkondisian udara (ber-AC) dengan luasan lantai 1600 m² dan ukuran denah 40m x 40m serta tinggi bangunan adalah 46.2 m terdiri atas 11 lantai. Tinggi ruangan (dari lantai ke langit-langit) adalah 3 meter dan tinggi plenum di atas ruangan adalah 1,2 meter sehingga total tinggi satu lantai (dari lantai ke lantai) adalah 4,2 meter.

Data iklim yang digunakan adalah data iklim dengan lokasi Jakarta. Koordinat garis lintang 6,204⁰ LS dan garis bujur 106,821⁰ BT pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut.

Sumber dari data iklim ini adalah *file* data yang digunakan dalam *workshop* Energi Simulation Training 2011 yang diselenggarakan oleh GBCI (*Green Building Council Indonesia*). *File* ini diperoleh dari data Weather Analytics (www.wxaglobal.com).

Variabel Penelitian

Variabel utama penelitian ini ada 2 yakni :

1. WWR (*wall to window ratio*) diletakkan pada empat sisi bidang dinding utara, selatan, timur dan barat dengan rasio 10% hingga 70%.
2. VT (*visible transmittance*) direntang 0,1 – 0,9. kalkulasi ditentukan berdasarkan perhitungan produk kaca yang terdaftar dalam basis data kaca internasional IGDB (*International Glazing Data Base*).

Tahap simulasi lanjutan variabel yang digunakan variasi bentuk dan komponen serta pilihan teknologi yang menunjang optimalisasi efisiensi energi yakni rasio denah, shading, tipe lampu, tipe pengendali cahaya dan tipe tata udara.

Perangkat Lunak Simulasi

Energy plus 7.0; Perangkat lunak berbasis *engine energy calculation* untuk menghitung energi. **Open Studio;** plugins google sketchup 7.0 untuk pemodelan. **LNBL Window 6;** untuk membaca basis data kaca IGDB dan mengkalkulasi nilai VT kaca dan EnergyPlus v7.0, untuk perhitungan simulasi berdasar data iklim.

Tahapan Penelitian

- a. Pemodelan bangunan hipotetik dan input data berdasarkan standar yang berlaku di Indonesia , variabel penelitian dan kelaziman praktek konstruksi.
- b. Penentuan data output simulasi berupa iluminasi cahaya dan konsumsi energi (sektor pencahayaan, penghawaan dan total) Output data simulasi, melalui perangkat lunak pengolah data (spreadsheet) direkap kinerja energinya dan pada beberapa bagian dihitung perolehan panas internal dan eksternalnya.
- c. Hasil simulasi dan pembahasan. Perbandingan nilai konsumsi energi. Analisis dilakukan terhadap WWR, VT, kombinasi WWR dan VT.
- d. Penarikan kesimpulan

HASIL DAN PEMBAHASAN

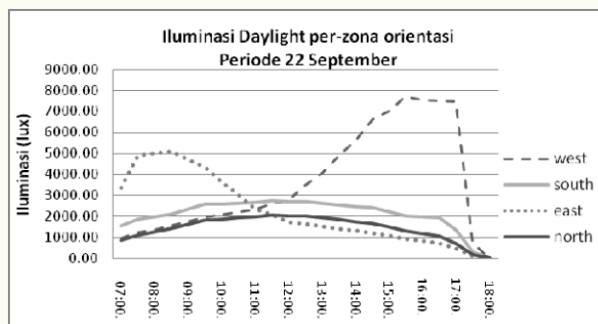
Simulasi dilakukan pada periode satu tahun (365 hari) untuk mendapatkan data rerata setahun dari konsumsi energi sektor pencahayaan, sistem HVAC (*heating ventilation air conditioning*) dan konsumsi energi total.

Tingkat Iluminasi Pencahayaan Alami

Tingkat iluminasi akan menentukan beberapa hal dalam simulasi penelitian ini antara lain :

- Berapa besar potensi efisiensi energi pencahayaan yang dapat dicapai dari penerapan integrasi pencahayaan alami.
- Perletakan *pengendali cahaya* yang efektif pada bangunan hipotetik.
- Jenis *pengendali cahaya* yang efektif digunakan.

Simulasi dilakukan pada model hipotetik dengan WWR 70% dan VT 0,9 karena komposisi ini adalah yang terbesar WWR nya dan kaca yang tertinggi meneruskan cahaya alami ke dalam bangunan. Simulasi dilakukan pada periode tanggal 22 september (matahari di garis *equator*), dan Hasil simulasi menunjukkan seperti pada gambar berikut.

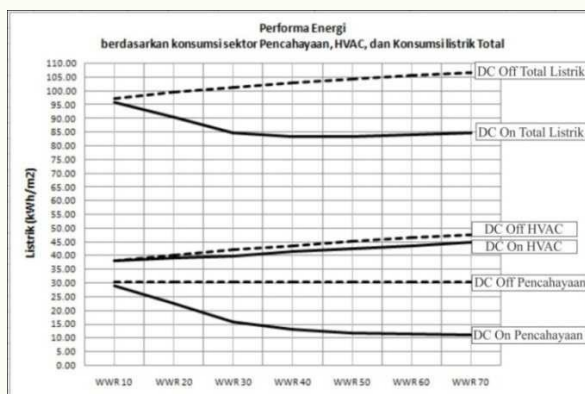


Gambar. 1. Data Iluminasi pada periode simulasi tanggal 22 september

Grafik menunjukkan orientasi utara dan selatan bergerak linier di atas 1000 lux mulai pukul 08.00 pagi hingga pukul 15.00 sore. Sementara orientasi timur mencapai 5000 lux di pagi hari dan bergerak turun ketika siang hingga sore hari, dan arah orientasi barat di pagi hari mencapai 1000 lux dan bergerak naik ketika hari menjelang siang hingga sore hari mencapai 7000 lux.

Perbandingan energi antara sistem pencahayaan buatan dan integrasi pencahayaan alami.

Simulasi pada konfigurasi kaca VT 0,5 pada variasi WWR 10% hingga 70%, power lampu ditetapkan 10 W/m² (lampu T5), sistem penghawaan jenis *water cool* dengan COP (*coefficient of performance*) 6. Model dengan sistem pencahayaan buatan menggunakan simbol DC off yakni *daylight control off* yang berarti tidak mengaktifkan sensor *daylight*, dan model dengan sistem integrasi pencahayaan alami menggunakan simbol DC on yakni *daylight control on* yang berarti fitur sensor pencahayaan alami diaktifkan.



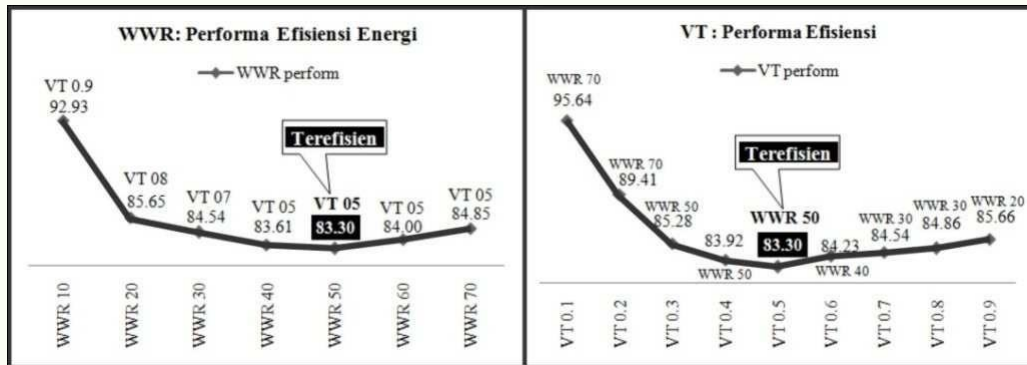
Gambar 2. Perbandingan Energi model cahaya buatan vs Integrasi cahaya alami

Sistem pencahayaan bangunan yang mengintegrasikan pencahayaan alami mampu menekan konsumsi listrik pencahayaan hingga 60.3%, sektor penghawaan hingga 6% dan konsumsi listrik total hingga 20.6%. Hal ini disebabkan berkurangnya penggunaan lampu mengurangi beban panas internal yang bersumber dari radiasi lampu sehingga beban pendinginan ikut berkurang yang pada akhirnya menekan konsumsi listrik penghawaan. Secara keseluruhan, berkurangnya konsumsi listrik pencahayaan dan penghawaan mengefisienkan konsumsi listrik total.

Pengaruh Kombinasi WWR dan VT pada Integrasi Cahaya Alami

Hasil simulasi pada tahap ini menunjukkan konfigurasi WWR 20-VT 0,1 adalah konsumsi energi totalnya yang terburuk dengan 98,96 kWh/m², dan konfigurasi WWR 50-VT 0,5 yang terbaik dengan 83.30 kWh/m². meskipun bukan performa terburuk namun jika dilihat nilai

rerata konsumsi energi total, WWR 10 adalah yang terburuk dan strategi integrasi cahaya alami tidak efektif penerapannya karena hanya mampu menurunkan energi 2% dibandingkan dengan model pencahayaan buatan.

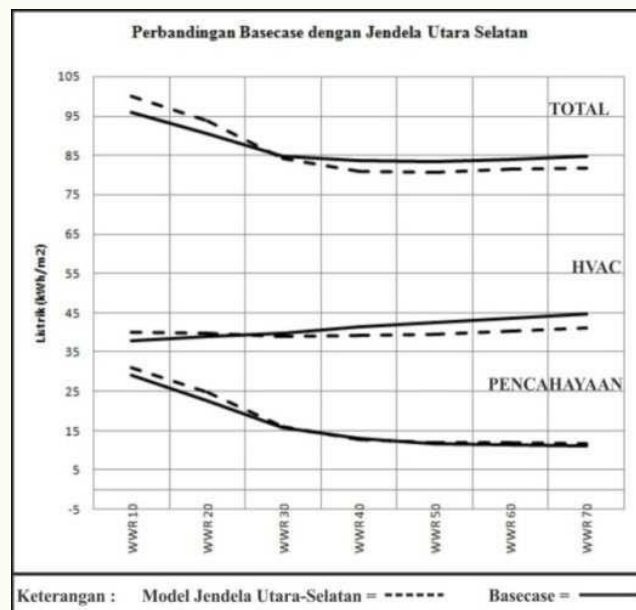


Gambar. 3. Kinerja energi terbaik dari masing-masing konfigurasi WWR dan VT

Konfigurasi WWR 50-VT 0,5 menjadi titik kompromi dari performa terbaik sektor pencahayaan dan HVAC yang saling berlawanan dengan memperoleh nilai konsumsi energi total terbaik, karena konfigurasi ini memiliki rasio jendela serta VT kaca yang memungkinkan cahaya alami lebih banyak diterima dan lebih jauh penetrasinya ke dalam bangunan.

Pengaruh Variasi WWR Pada Jendela di Orientasi Utara-Selatan

Simulasi dilakukan pada variasi WWR mulai dari 10% hingga 70% dengan kaca VT 0,5. Selain untuk mengetahui performa energinya juga untuk mengetahui performa cahaya alami yang dapat diterima bangunan. Obyek pembandingnya adalah model variasi WWR dengan jendela di semua sisi orientasi yang kemudian disebut *basecase* (BC) dan hasil simulasi dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar. 4. Grafik Perbandingan model *basecase* dengan model pengaturan jendela utara selatan

Konsumsi energi pada WWR 10 energi total BC lebih efisien 4,3% dan WWR 20 efisiensinya 3,6%. hal yang sama juga terlihat pada sektor HVAC dan pencahayaan dimana konsumsi listrik BC lebih efisien dari model jendela utara- selatan. Efisiensi terbaik diperoleh

model jendela utara selatan WWR 50 dengan energi total 81 kWh/m² dengan efisiensi 3,2% dibandingkan WWR yang sama pada BC. Hal ini disebabkan dengan dinding arah timur dan barat tanpa jendela mampu menurunkan beban pendinginan karena konduksi kaca ditiadakan hal ini terlihat pada konsumsi listrik sistem HVAC turun 7%. Efek penempatan jendela hanya pada orientasi utara selatan terhadap sektor pencahayaan adalah berkurangnya cahaya alami yang diterima khusus arah orientasi timur-barat sehingga membutuhkan cahaya buatan, namun kenaikannya hanya 2%.

KESIMPULAN

Kesimpulan Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Integrasi pencahayaan alami mengurangi energi sektor pencahayaan 19% hingga 66%, Sektor penghawaan 2% hingga 6%, dan konsumsi energi total 7% hingga 20%.
2. Semakin besar WWR dan semakin tinggi VT kaca menyebabkan energi pencahayaan semakin baik namun energi penghawaan semakin buruk. Sebaliknya semakin kecil WWR dan semakin rendah VT kaca menyebabkan energi penghawaan semakin baik dan energi pencahayaan semakin buruk. Komprominya pada WWR sedang dan VT kaca menengah menyebabkan energi total mencapai efisiensi paling optimal.
3. WWR kecil efektif pada kaca dengan VT tinggi, WWR sedang efektif pada kaca VT menengah dan tinggi, dan WWR tinggi efektif pada kaca VT rendah dan menengah.
4. Tingkat efisiensi energi dari integrasi pencahayaan alamiditentukan oleh pilihan sistem teknologi yang digunakan seperti jenis lampu menurut dayanya, dan jenis AC menurut COP-nya.

PENGAKUAN

Saya mengucapkan terima kasih yang tulus kepada rekan-rekan, teman-teman, dan seluruh pihak yang terlibat dalam penelitian ini. Saya mengucapkan terimakasih atas dukungan terus-menerus, diskusi konstruktif, dan selalu siap membantu.

DEKLARASI PENULIS

- | | | |
|-----------------------------|---|--|
| Kontribusi Penulis | : | Para penulis memberikan kontribusi yang signifikan dalam konsepsi dan desain penelitian. Para penulis bertanggung jawab atas analisis data, interpretasi, dan diskusi hasil. Para penulis membaca dan menyetujui naskah akhir. |
| Pernyataan Pendanaan | : | Tidak ada penulis yang menerima pendanaan atau hibah dari institusi atau badan pendanaan manapun untuk penelitian ini. |
| Konflik Kepentingan: | : | Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan. |
| Informasi Tambahan | : | Tidak ada informasi tambahan untuk makalah ini |

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D.,P (2004). *Daylighting Natural Light In Architecture*. Oxford: Architectural Press
- [2] Evans, B. (1981). *Daylight In Architecture*. New York: Architectural record book McGraw-Hill Book Company
- [3] Indonesia, B. S. (2000). SNI 03-6197-2000 Konservasi energi pada sistem pencahayaan Jakarta: BSNI
- [4] Indonesia, B. S. (2001). *Tata cara perancangan sistem pencahayaan alami pada bangunan gedung*. Jakarta: BSNI.
- [5] Lechner, N. (1991). *Heating, Cooling, Lighting*. Canada: John Wiley & Sons, Inc. Moore, F. (1985). *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.Inc.
- [6] Lechner, N (2001). *Heating, Cooling, Lighting metode desain untuk arsitektur*. Jakarta: PT Rajagrafindo Persada

-
- [7] Moore, F. (1985). *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*. New York: van Nostrand Reinhold Company, Inc.
- [8] O'Connor, J. (1997). *Tips for Daylighting*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- [9] Satwiko, Prasarto (2009). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: Andi
- [10] Wang, I. G. (2002). *Architectural Research Methods*. Canada: John Wiley & Sons.