

***Smart Glass* dan Penerapannya pada Selubung Bangunan di Iklim Tropis untuk Efisiensi Energi Gedung**

Marianus Bahantwelu¹⁾, Imanuel N. Mbake²⁾

^{1, 2)} Program Studi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana., Kupang, NTT

Abstrak

Bangunan nol energi (*zero energi building*) merupakan jawaban atas salah satu permasalahan kerusakan lingkungan akibat pemakaian jenis energi yang tidak ramah lingkungan. Pada bangunan, selubung kaca merupakan elemen yang paling banyak menyumbang pemborosan energi. Hal ini karena rata-rata material kaca memiliki Nilai-U yang rendah sehingga panas matahari mudah masuk kedalam bangunan yang menyebabkan beban penyejukan menjadi lebih besar. Penggunaan *smart glass* merupakan suatu bentuk upaya penghematan energi yang muncul dari keprihatinan akan penggunaan energi yang berlebihan di bangunan. Penelitian ini mencoba untuk menggali berbagai macam jenis dan pola penerapan dari *smart glass* kedalam bangunan khususnya pada jendela didaerah tropis, serta juga untuk menjajaki pentingnya penggunaan *smart glass* sebagai bagian yang integral dalam desain yang hemat energi. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah kajian pustaka. Hasil yang diperoleh diantaranya penggunaan *smart glass* bisa dipadukan dengan shading dan sel surya serta kusen U-PVC yang mana dengan penggabungan ketiga metode ini maka dapat mengurangi beban penyejukan pada bangunan, dapat mengatur cahaya yang masuk kedalam bangunan tanpa menghalang view keluar bangunan serta dapat menciptakan kenyamanan dengan menghindari silau dan panas dari luar.

Kata kunci: bangunan, hemat energi, pencahayaan, penyejukan, *smart glass*

Abstract

Zero energy building is one of the keys to the problems in environmental damage as the result of not eco-friendly energy usage. The wasted of energy are mostly came from glass envelopes because glasses material has a low U Value that caused sun heat transferred in the building and makes loads of cooling heat increase. Smart glass usage is an example effort for energy usage efficiency as a result of the concern as in energy wasted. This research is trying to explore the application of various types and patterns of smart glass in buildings, as well as to know the importance of it especially window in tropic climate for the part of integral of energy efficiency designs. Literature reviews are used as the method. The results contain the usage of smart glass combined with the shading, the solar cell and the U-PVC frames will reduce cooling heat loads in the building, adjust the lighting that entering the building without blocking the outside view of the building, and creating thermal comfort by avoiding dazzled from the outside.

Keywords: building, energy efficiency, lighting, cooling, smart glass

Kontak Penulis

Marianus Bahantwelu
Program Studi Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknik,
Universitas Nusa Cendana
Jalan Adisucipto, Kota Kupang, NTT, 85001
E-mail : marianusbahantwelu@staf.undana.ac.id

Pendahuluan

(1) Latar belakang

Penggunaan energi pada bangunan menjadi isu yang paling dibicarakan oleh para pemerhati lingkungan dan energi dewasa ini. Bahwa sebuah desain bangunan bukan hanya untuk memenuhi tuntutan Vitruvius yaitu harus kuat, berfungsi dan bernilai estetis, tetapi bangunan harus bisa hemat energi atau dengan kata lain bangunan harus mencapai nilai *Zero Energi Building (ZEB)*. Di Indonesia ZEB menjadi lebih penting karena “bangunan menggunakan 50 % energi secara umum atau 70 % listrik dari total konsumsi di Indonesia, yang menjadikannya sebagai pengguna energi terbesar melebihi sector industry dan transportasi” (USAID-ICED, 2015). Selain itu secara global, konstruksi bangunan dan operasinya menyumbang emisi karbondioksida sebesar 40% pada tahun 2017 (Nations, 2018). Hal ini dapat dimaklumi karena 80 % kegiatan manusia dihabiskan didalam bangunan (Kompas, 2017) sehingga energi yang dibutuhkan untuk pencahayaan dan penghawaan serta listrik akan selalu mengalami peningkatan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh *World Bank Group-International Finance Corporation* yang bekerjasama dengan Pemda DKI Jakarta, ditemukan bahwa di Jakarta perolehan panas eksternal (lewat selubung bangunan untuk kantor tipikal) adalah sangat besar, yaitu sebesar 63 % sedangkan perolehan panas internal (peralatan, penerangan dan hunian) hanya sekitar 37% ((IFC), 2011). Hal senada juga ditemukan oleh (Soorosh, 2020 dalam Alessandro dkk) bahwa penggunaan kaca untuk selubung menyumbang 60% kehilangan energi dengan estimasi jendela kaca 10-25% nya, hal yang sama juga oleh (Hatton, Wheeldon, Hancock, Kollé, Aizenberg, & Ingber, 2013) bahwa salah satu bagian yang paling banyak menyumbang pemborosan energi adalah jendela kaca, yaitu sekitar 40% dari total biaya energi bangunan.

Inefisiensi penggunaan kaca untuk selubung ini disebabkan karena secara umum Nilai-U (nilai perolehan panas secara konduksi) kaca lebih rendah dari material selubung lainnya (beton, bata) begitupun nilai SHGC (*Solar Heat Gain Coefficient*-Koefisien Perolehan Panas Matahari) atau SC (*Shading Coefficient* - Koefisien Peneduh).

Hal ini menyebabkan kaca dengan sangat mudah memasukan panas kedalam bangunan, baik lewat proses konduksi maupun radiasi sehingga otomatis menyebabkan beban energi penyejukan menjadi besar. Selain kerugian karena menambah beban penyejukan, maka penggunaan kaca juga memiliki beberapa kerugian lain diantaranya menimbulkan kesilauan pandangan mata, juga sinar Ultraviolet yang masuk kedalam bangunan bisa menyebabkan buku memudar, berubah warna atau rusak

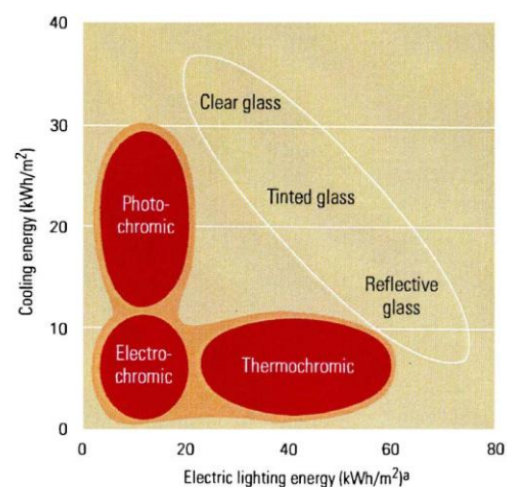
(perpustakaan). Selain itu, cat ataupun *furniture* serta lukisan dalam interior pun dapat memudar warna dan kualitasnya. Penggunaan elemen internal seperti tirai dan kerei disamping bagus untuk menghalangi silau, tetapi ia bekerja dengan merefleksikan dan memasukan udara panas dari luar kedalam bangunan yang pada akhirnya menyebabkan kualitas udara dalam menjadi tidak nyaman (Satwiko, 2005).

Hal tersebut diatas menunjukkan bahwa peluang untuk penghematan energi sangat besar jika selubung bangunan (yang menggunakan material kaca) dirancang dengan seksama sejak awal, baik dengan menggunakan teknologi maupun dengan prinsip-prinsip arsitektur hemat energi.

Salah satu teknologi material yang sudah dipakai dan dikembangkan adalah *smart glass* yaitu “kategori dari bahan kaca yang dapat mengubah transparansinya sebagai reaksi dari luar (eksternal stimulus) khususnya terhadap listrik, cahaya, panas dan oksidasi gas” (Katanbafnasab & Abu-Hijleh, 2013).

Smart glass telah diteliti dan dikembangkan sejak tahun 80-an dalam kebutuhan untuk mencari material yang dapat dikontrol untuk beragam sektor kegiatan mulai dari otomotif sampai industri penerbangan (Canavale, 2020).

Salah satu keuntungan *smart glass* adalah view keluar bangunan tetap terjaga tanpa takut kepanasan didalam ruangan walaupun saat kondisi lingkungan luar panas. Selain itu penggunaan *smart glass* jika digabungkan dengan sensor, maka akan juga sangat membantu, misalnya ketika ruangan tidak digunakan, maka kacanya diubah menjadi gelap sehingga cahaya tidak dapat masuk. (Katanbafnasab & Abu-Hijleh, Assessment of the Energi Impact of Using Building Integrated Photovoltaic and Electrochromic Glazing in Office Building in UAE, 2013)



Gambar 1. Perbandingan besarnya energi listrik untuk pencahayaan dan penyejukan dari beberapa tipe kaca (Sumber: Canavale, 2020)

Ada berbagai macam preferensi masyarakat terhadap penggunaan *smart glass*, diantaranya seperti yang ditemukan oleh Sotile (Sottile, 2008), bahwa ada 3 hal yang masyarakat paling penting dalam penggunaan *smart glass*, diantaranya efisiensi energi (81,1% dari mereka yang disurvei responden), estetika (32,9%), pembayangan (22,1%) dan untuk pelestarian (21,4%). Hal ini tentu sangat bagus karena menunjukkan bahwa kesadaran akan penggunaan energi yang berlebihan telah merambah banyak kalangan, sehingga membuat mereka menyatakan bahwa efisiensi energi merupakan keharusan untuk suatu material di masa depan.

Seturut penelitian yang dilakukan oleh (Ajaji & Andre, 2015) menemukan bahwa penggunaan *smart glass* jenis *Electrochromic* dapat mengurangi secara signifikan beban energy dari 100,9 kWh/m² ke 38,6 kWh/m². Pemakaian *smart glass electrochromic* jika digabungkan dengan ventilasi alami maka sangat bagus untuk mengurangi kelebihan panas dalam ruangan.

(2) Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui metode dan cara pengaplikasian *smart glass* kedalam selubung bangunan terhadap pengurangan beban konsumsi energi di iklim tropis.

(3) Tinjauan teori

(a) Jenis Smart Glass

Smart glass merujuk pada kategori dari bahan kaca yang dapat mengubah transparansinya sebagai reaksi dari luar (*external stimulus*) khususnya terhadap listrik, cahaya, panas dan oksidasi gas (dikenal juga sebagai *switchable glazing, dynamic glazing and chromogenics*). Terdapat dua jenis *smart glass* diantaranya (Beevor, 2010)

1) Smart glass pasif

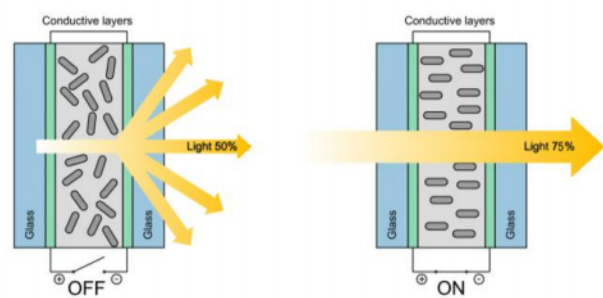
Tidak membutuhkan rangsang energi listrik. Sebaliknya dia bereaksi terhadap rangsangan cahaya (*Photochromic Glass/PC*) dan juga panas (*Thermochromic Glass/TC*). Tidak bisa dikontrol oleh pengguna.

2) Smart glass aktif

Dinamakan juga dengan *switchable glass*. Bereaksi jika diberikan tegangan listrik, dan dapat dikontrol baik secara manual maupun sensor. Dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

a) *Polymer dispersed liquid crystal devices (PDLC)*

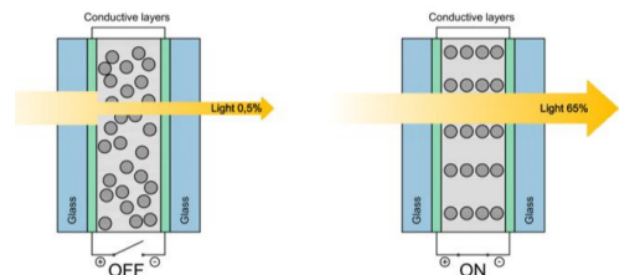
Berikut adalah gambar sistem kerja dari *smart glass* jenis ini. Gambar kiri adalah ketika *smart glass*nya dimatikan (di *Switched off*), sedangkan gambar sebelah kanan adalah ketika *smart glass*nya dihidupkan (di *Switched on*).



Gambar 2. Operasi PDLC (Sumber: Marco S, 2014)

b) *Suspended particle device (SPD)*

Memiliki sistem pembayangan yang dapat dikendalikan antara gelap dan terang. Jenis ini dapat menghalangi $\pm 99,4\%$ cahaya yang masuk ketika gelap (Casini, 2014). Sebaliknya bisa juga berfungsi seperti kaca biasa yang tidak berwarna (performa dan kemampuannya) dalam menyaring cahaya.



Gambar 3. Operasi SPD (Sumber: Marco S, 2014)

c) *Electrochromic Device (EC)*

Jenis kaca ini dapat mereduksi penggunaan energi khususnya dengan kontrolnya terhadap panas matahari, pencahayaan alami dan silau. Terdapat berbagai macam tipe EC tetapi satu yang paling umum adalah jenis *Metal/Tungsten Oxide (WO₃)* yang terkenal karena memiliki properties dan stabilitas yang tinggi.

Teknologi ini bekerja dengan melewati tegangan rendah listrik saat melintasi lapisan mikroskopis-tipis pada permukaan kaca. Ini mengaktifkan lapisan EC yang menyebabkan warna berubah dari bening menjadi gelap, yang menyebabkan perubahan transparansi jendela. Salah satu keuntungan kaca EC adalah bahwa ia hanya membutuhkan listrik untuk mengubah *opacity* (sifat tak tembus cahaya) tetapi tidak untuk mempertahankan warna tertentu. Memiliki daya tahan yang baik dan dapat berubah warna dengan jelas lebih dari 100.000 kali tanpa kehilangan fungsinya. Keuntungan lain adalah bahwa tidak seperti kaca *low emission* yang hanya sesuai untuk satu jenis iklim, jenis *smart glass* ini dapat diatur tergantung pada kebutuhan khusus. Selanjutnya, berbeda dengan tirai, kaca ini mampu secara parsial menghalangi

cahaya saat memberikan pandangan yang jelas dari luar ruangan.

Karakteristik kinerja EC yang mungkin membatasi penggunaannya adalah kecepatan *switching*-nya. Karena transisi ini memakan waktu tiga sampai lima menit tergantung dari besaran jendelanya), jumlah cahaya yang masuk ruangan dibatasi oleh keterlambatan respon dari jendela. Kerugian lain adalah ketidaksamaan perubahan warna yang terjadi pada kaca. Hal ini dikenal sebagai "efek iris" di mana perubahan warna dimulai pada tepi

luar dari jendela dan perlahan-lahan menuju pusat.

Berikut adalah tabel tentang perbedaan dari ketiga jenis *smart glass* aktif ini:

Tabel 1. Perbedaan Jenis *Smart Glass*

PROPERTIES	JENIS SMART GLASS			
	PASIF	AKTIF		
	TC	EC	SPD	PLDC
Optical and Thermal Performances				
Clear state	Low temperature	Off	On	On
Dark state	High temperature	On	Off	Off
Visible Light Transmission (Clear)	60 %	60 %	60 %	Up to 75 %
Visible Light Transmission (Dark)	5 %	1 %	0,5 %	50 %
SHGC (Clear)	0,37	0,46	0,57	0,69
SHGC (Dark)	0,12	0,06	0,06	0,55
UV Transmission (Clear)	0 %	0,4 %	0,1 %	0,5 %
UV Transmission (Dark)	0 %	0 %	0,1 %	0,5 %
Privacy in dark state	No	No	Limited	Yes
Number of light control levels from clear to dark	No	Typicaly 4 states	Unlimited	2 (Transparent and Frosted)
Continuos states between dark and clear	Yes	Yes	Yes	No
Light zoning	n/a	Yes	Yes	Yes
Operating temperature	From -20 to 160 ⁰ C	From -20 to 70 ⁰ C	From -40 to 120 ⁰ C	From -20 to 70 ⁰ C
Configuration option				
Maximum size	1651 mm x any lenght	1524 x 3048 mm	1524 mm x any lenght	1828 x 3567 mm
Shape	Any shape, including curved	Rectangle, square, trapezoid, trangle	Any shape, including holes anywhere and curved	Any shape, including holes anywhere and curved
Colour	Blue, Green, Bronze, Gray	Blue, Green	Typically Blue	Clear, Bronze, Gray, Green tint
Electrics properties				
Operating voltage	n/a	12 V DC	65-110 V AC	65-110 V AC
Power requirement for state transition	n/a	2,5 W/m ²	5 W/m ²	5-10 W/m ²
Switching speed	n/a	0,4 W/m ²	0,55 W/m ²	5-10 W/m ²
Control	No	Wall switch, Remote control, Movement sensor, Light and temperature sensor, Timer	Wall switch, Remote control, Movement sensor, Light and temperature sensor, Timer	Wall switch, Remote control, Movement sensor, Light and temperature sensor, Timer
Cost and durability				
Cost	Lowest	Medium	Highest	High
Durability	>20 years	>30 years	>20 years	>10 years

Sumber: Marco S (2014)

(b) *Smart Glass* dan Efisiensi Energi

Seturut penilaian dari lembaga bangunan hijau LEED dan BREAAAM, maka *smart glass* dikategorikan sebagai bahan yang sangat ramah lingkungan, dengan point 28 (Casini, 2014).

Table 2. *Smart Glass* dan LEED

Kriteria Sertifikasi LEED	Poin
Energy & atmosphere	18
Indoor environment quality	8
Thermal comfort	1
Daylight	3
Quality views	1
Interior lighting	2
Sustainable site	1
Material and resources	2

Sumber: Marco C (2013)

Metode

Metode yang digunakan pada kajian ini adalah studi pustaka. Tujuan dari kajian ini membahas prinsip penerapan *smart glass* kedalam selubung bangunan di iklim tropis. Dari pendapat beberapa ahli akan disimpulkan terkait prinsip penerapan *smart glass* yang diintegrasikan kedalam bangunan. Studi pustaka diperoleh dari berbagai sumber yang diterbitkan seperti artikel jurnal, makalah, dan materi terkait lainnya. Pembahasan kajian ini dimulai dengan kondisi pemakaian energi pada bangunan selanjutnya dikaji pendapat beberapa ahli terkait penerapan *smart glass* kedalam bangunan. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat disusun suatu pemahaman teoritikal terkait penerapan *smart glass* kedalam bangunan.

Hasil dan Pembahasan

Strategi penerapan *smart glass* dalam bangunan di iklim tropis

Ada berbagai macam strategi penerapan *smart glass* di jendela, diantaranya adalah seperti yang diteliti oleh (Lee & Tavit, 2007), dimana mereka memadukan aplikasi *smart glass* dengan shading. Tujuan dari perpaduan ini adalah untuk membantu kerja *smart glass* dalam menghadapi paparan langsung sinar matahari, selain itu juga akan menambah keawetan dari *smart glass*. Letak dan ukuran shading tentu akan menyesuaikan dengan lokasi dimana bangunan itu berada, karena akan terkait dengan posisi garis edar matahari. Dengan memakai *smart glass* dipadukan dengan shading ternyata

menambah potensi penghematan 9-13 % untuk beban penyejukan dan pencahayaan dalam bangunan. Hal ini dengan sendirinya akan menghemat penggunaan listrik sampai 7-8 % tiap tahunnya. Selain itu penggunaan shading juga akan dapat mereduksi terpaparnya fasad bangunan oleh sinar matahari langsung.

Geometri shading harus dirancang sesuai dengan jalur pergerakan matahari, yang menyebabkan rancangan bentuk dan ukuran yang berbeda untuk orientasi yang berbeda. Secara umum, perangkat peneduh horisontal lebih sesuai untuk jendela dengan orientasi selatan dan utara di mana sudut datang sinar matahari relatif tinggi. Sirip vertikal dapat efektif menghalau radiasi matahari dengan sudut datang rendah pada jendela yang berorientasi ke arah timur dan barat. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, diagram jalur matahari (*sun path diagram*) sebaiknya digunakan untuk pengembangan rancangan perangkat peneduh (Dinas Penataan Kota Provinsi DKI Jakarta, 2012).

Strategi lain yang bisa diterapkan pada selubung bangunan adalah menggunakan sel surya (*building Integrated Photovoltaic-BIPV*) dan *smart glass*. Hal ini seturut penelitian oleh (Katanbafnasab & Abu-Hijleh, 2013) di Abu Dhabi dengan melakukan simulasi memakai software IES-VE menemukan bahwa penempatan BIPV lebih optimal jika diletakan pada arah selatan sedangkan *smart glass* dengan jendela lebih optimal jika diletakan pada arah utara.

Khusus untuk wilayah pada belahan bumi selatan, maka posisi sel surya yang paling optimal adalah 180⁰ terhadap arah utara menghadap khatulistiwa (Pangestuningtyas D.L, 2013) bandingkan dengan (John A Duffie, 2006).

Selain itu menurut penelitian dari (Suwignyo & Seputra, 2013) yang menguji benda uji sederhana ukuran 3x4x3 m³, WWR 50 % dengan bukaan memakai perpaduan material *smart glass (spectrally selective)* dengan kusen U-PVC. Hasil simulasi dengan program CFD ACE dan Energy Plus menemukan bahwa dengan perpaduan material tersebut dapat meningkatkan efektifitas reduksi kalor hingga 12%, secara relatif terhadap benchmark kaca clear berkusen aluminium dan juga dapat mengefisiensi energi tahunan sebesar 15%.

Dibawah ini adalah tabel yang menunjukkan prinsip dan pola penerapan *smart glass* yang bisa diterapkan pada selubung bangunan di iklim tropis:

Tabel 3. Penerapan dan Potensi Penghematan Energi Penggunaan *Smart Glass*

No	Peneliti	Judul Penelitian	Lokasi	Metode penelitian	Strategi penerapan smart glass	Hasil penelitian
1	(Lee & Tavit, 2007)	<i>Energy and visual comfort performance of electrochromic windows with overhangs</i>	Chicago dan Houston	Simulasi dengan software DOE-2	Perpaduan smart glass dengan shading	Penghematan 9-13 % energi pencahayaan dan penghawaan
2	(Katanbafnasab & Abu-Hijleh, 2013)	Abu Dhabi-UAE	Abu Dhabi-UAE		Perpaduan smart glass shading dan sel surya	Sel Surya diletakan selatan dan EC diletakan di utara (belahan bumi utara) jika belahan bumi selatan maka berlaku sebaliknya*
3	(Suwignyo & Seputra, 2013)	Perpaduan <i>smart glass</i> dan U-PVC sebagai bahan jendela modern hemat energi di iklim tropis	Indonesia	Simulasi dengan software CFD dan EnergiPlus	Perpaduan smart glass jenis <i>spectrally selective</i> dengan kusen U-PVC	Mengefisiensi energi tahunan sebesar 15%.
4	(Tallberg, Jelle, Loonen, Gao, & Hamdy, 2019)	<i>Comparison of the energi saving potential of adaptive and controllable smart windows: A state of the art review and simulation studies of thermochromic, photochromic and electrochromic</i>	Trondheim (Norwegia), Madrid (Spanyol) dan Nairobi (Kenya)	Simulasi memakai software IDA Indoor Climate and Energi (IDA ICE)		Jenis smart glass yang paling efektif menghemat kebutuhan energi adalah jenis Electrochromic

*Catatan penulis

Penutup

Penggunaan *smart glass* perlu untuk lebih diperkenalkan kepada para arsitek dan juga mahasiswa arsitek sebagai salah satu material utama dalam perancangan. Hal ini memerlukan kerjasama semua pihak untuk dapat terus mempopulerkan dan meneliti formula yang lebih hemat dan tahan lama serta mudah dijangkau oleh semua kalangan.3qa

Daftar Pustaka

- (IFC), I. F. (2011). *Jakarta Building Energy Efficiency Baseline and Saving Potential: Sensitivity Analysis*. Jakarta: Pemprov DKI Jakarta.
- Ajaji, Y., & Andre, P. (2015). Support for energy and comfort management in an office building using smart electrochromic glazing: dynamic simulations. *Conference of International Building Performance Simulation Association* (pp. 42-49). Hyderabad: BS2015.
- Beevor, M. (2010). *Smart Building Envelopes*. Cambridge: University of Cambridge.
- Canavale, U. A. A. (2020). Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort. *Energies*, 1-17.
- Casini, M. (2014). Smart windows for energy efficiency of buildings. *Advances In Civil, Structural and Environmental Engineering- ACSEE 2014* (pp. 273-281). Institute of Research Engineers and Doctors, USA.
- Dinas Penataan Kota Provinsi DKI Jakarta. (2012). *Selubung Bangunan*. Jakarta: Dinas Penataan Kota Provinsi DKI Jakarta.
- Hatton, B. D., Wheeldon, I., Hancock, M. J., Kollé, M., Aizenberg, J., & Ingber, D. E. (2013). An artificial vasculature for adaptive thermal control of windows. *Solar Energy Material & Solar Cells*, 429-436.
- John A Duffie, W. A. (2006). *Solar engineering of thermal process*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Katanbafnasab, M. & Abu-Hijleh, B. (2013). Assessment of the Energi Impact of Using Building Integrated Photovoltaic & Electrochromic Glazing in Office Building in UAE. *Engineering*, 56-61.
- Kompas. (2017, Agustus Kamis). *Kompas*. Retrieved Oktober Selasa, 2020, from Kompas.com: <https://www.google.com/amp/s/amp.kompas.com/properti/read/2017/08/03/10000072/1/80-persen-hidup-manusia-berada-di-dalam-ruangan>
- Lee, E. S., & Tavit, A. (2007). Energi and visual comfort performance of electrochromic windows with overhangs. *Building and Environment*, 2439-2449.
- Nations, U. (2018). *International Energy Agency and the United Nations Environment Programme—Global Status Report 2018: Towards a Zero-Emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. Katowice: IEA and UNEP.
- Pangestuningtyas D. L, H. K. (2013). Analisis pengaruh sudut kemiringan panel surya terhadap radiasi matahari yang diterima oleh panel surya tipe larik tetap. *Transient*.
- Satwiko, P. (2005). *Fisika Bangunan*. Yogyakarta: ANDI.

- Soorosh, D. D. (2020). Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort. *energies* .
- Sottile, G. M. (2008). Cleantech Daylighting Using Smart Glass: A Survey of LEED Accredited Professionals . *Clean Technology Proceedings* (pp. 201-204). Boston: Hynes Convention Center.
- Suwignyo, B. S., & Seputra, J. A. (2013). Perpaduan Smart Glass dan U-PVC sebagai bahan jendela modern hemat energi di iklim tropis. *SCAN* , 73-86.
- Tallberg, R., Jelle, B. P., Loonen, R., Gao, T., & Hamdy, M. (2019). Comparison of the energy saving potential of adaptive and controllable smart windows: A state of the art review and simulation studies of thermochromic, photochromic and electrochromic. *Solar Energy Materials and Solar Cells* .
- USAID-ICED. (2015). *Panduan praktis penghematan energi di hotel*. Jakarta: Indonesia Clean Energy Development.