

Efektifitas fasad selubung ganda dalam mengurangi beban panas pada dinding luar bangunan

Rosady Mulyadi

Laboratorium Sains dan Teknologi Bangunan, Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Abstrak

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental melalui simulasi numerik berbantuan komputer untuk mengetahui efektifitas fasad selubung ganda dalam mengurangi beban panas pada dinding luar. Model fasad selubung ganda yang digunakan terdiri atas selubung luar, selubung dalam, elemen peneduh, bukaan bawah dan bukaan atas sebagai gerbang masuk dan keluarnya udara melalui rongga udara yang tercipta antara selubung luar dan selubung dalam. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan data temperatur pada rongga selubung, temperatur kaca, temperatur elemen peneduh, transfer panas radiasi, transmittansi termal, dan jumlah *exhaust-heat*. Data tersebut digunakan untuk menghitung besaran u-value dan SC dari fasad selubung ganda. Hasil perhitungan besaran beban panas dengan MicroHASP/TES menunjukkan bahwa lebih dari 57.7% dari beban panas pada zona perimeter di waktu puncak dapat direduksi pada selubung barat dan timur. Sebanyak 11% dari total load dapat direduksi jika dibandingkan dengan fasad kaca tunggal 8mm dan 10% dari total load dapat dikurangi jika dibandingkan dengan fasad kaca ganda 6mm.

Kata-kunci : fasad selubung ganda, beban panas, room load, fresh air load, cooling load.

Pengantar

Bangunan yang efisien dalam konsumsi energi semakin urgen dan dibutuhkan di Indonesia pada era krisis energi tak terbaharukan seperti sekarang ini. Berdasarkan data dari Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral, bangunan menghabiskan sekitar 50% dari total konsumsi energi di Indonesia. Lebih lanjut disebutkan bahwa lebih dari 70% dari total konsumsi energi listrik di Indonesia digunakan untuk konsumsi energi listrik pada bangunan. Sekitar 50% dari konsumsi energi listrik pada bangunan digunakan untuk menciptakan iklim dalam ruangan buatan melalui pendinginan, ventilasi, dan pencahayaan. Dari total biaya keseluruhan untuk operasional bangunan, energi listrik menghabiskan sekitar 25% biaya operasional bangunan (Gunawan dkk, 2012).

Dewasa ini, telah berkembang banyak strategi disain fasad bangunan yang bertujuan untuk mengurangi konsumsi energi listrik pada

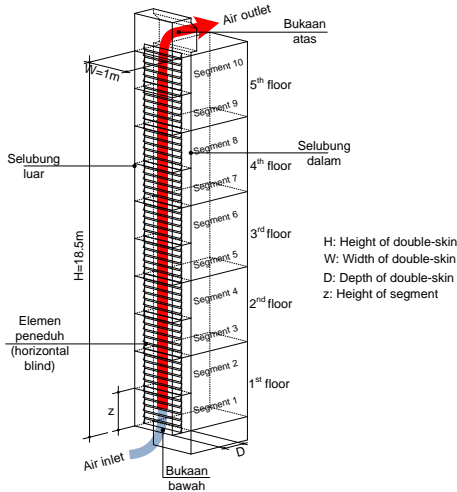
bangunan, salah satunya adalah fasad selubung ganda. Fasad selubung ganda merupakan salah satu strategi disain fasad bangunan yang bertujuan untuk mengurangi beban panas pada dinding luar bangunan akibat pengaruh iklim, seperti radiasi matahari dan temperatur lingkungan.

Fasad selubung ganda adalah suatu sistem konstruksi fasade bangunan yang terdiri atas dua selubung (selubung luar dan dalam). Diantara kedua selubung tersebut terdapat rongga yang berisi udara dan dapat ditambahkan elemen peneduh berupa *horizontal-blind*. Di bagian atas dan bawah dari konstruksi fasad tersebut terdapat bukaan (*in-let* and *out-let*) sebagai wadah pertukaran udara dari luar ke dalam selubung dan sebaliknya. Dengan konstruksi selubung seperti ini, akan terjadi proses pertukaran udara di dalam selubung yang akan mengalirkan panas dari dalam selubung sehingga menyebabkan beban

panas permukaan selubung bagian dalam akan berkurang (Mulyadi, 2012).

Metode

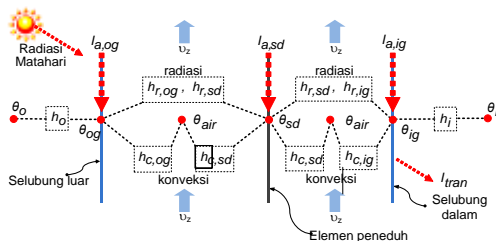
Penelitian ini adalah penelitian eksperimental melalui simulasi numerik dengan bantuan komputer. Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan Fortran. Model fasad selubung ganda yang digunakan dipenelitian ini diilustrasikan sebagai berikut:



Gambar 1. Model fasad selubung ganda

Model fasad selubung ganda ini terdiri atas selubung luar, selubung dalam, elemen peneduh, bukaan bawah dan bukaan atas sebagai gerbang masuk dan keluarnya udara melalui rongga udara yang tercipta antara selubung luar dan selubung dalam.

Berikut ini adalah ilustrasi simulasi numerik dengan prinsip *heat-balance* pada fasad selubung ganda.



Gambar 2. Outline simulasi numerik pada fasad selubung ganda

Heat-balance pada selubung luar:

$$h_o (\theta_{og} - \theta_o) + h_{r,og} \left(\theta_{og} - \sum_{n=1}^{10} G_{og_n, sd_n} \cdot \theta_{sd} \right) + \dots (1)$$

$$h_{c,og} (\theta_{og} - \theta_{air}) = I_{a,og}$$

Heat-balance pada selubung dalam:

$$h_{r,ig} \left(\theta_{ig} - \sum_{n=1}^{10} G_{sd_n, ig_n} \cdot \theta_{sd} \right) + h_{c,ig} (\theta_{ig} - \theta_{air}) + \dots (2)$$

$$h_i (\theta_{ig} - \theta_i) = I_{a,ig}$$

Heat-balance pada elemen peneduh:

$$2h_{c,sd} (\theta_{sd} - \theta_{air}) + h_{r,sd} \left(\theta_{sd} - \sum_{n=1}^{10} G_{sd_n, og_n} \cdot \theta_{og} \right) + \dots (3)$$

$$h_{r,sd} \left(\theta_{sd} - \sum_{n=1}^{10} G_{sd_n, ig_n} \cdot \theta_{ig} \right) = I_{a,sd}$$

Heat-balance pada lapisan udara di dalam rongga selubung ganda:

$$\rho_{air} c_{air} v_z \frac{\partial \theta_{air}}{\partial z} = h_{c,og} (\theta_{og} - \theta_{air}) + \dots (4)$$

$$h_{c,ig} (\theta_{ig} - \theta_{air}) + 2h_{c,sd} (\theta_{sd} - \theta_{air})$$

Dimana:

- h_o = perpindahan panas pada selubung luar [W/m².K]
- θ_{og} = temperatur selubung luar [°]
- θ_o = temperatur lingkungan [°]
- $h_{r,og}$ = perpindahan panas radiatif pada selubung luar [W/m².K]
- $G_{og, sd}$ = koefisien absorpsi emisi selubung luar ke elemen peneduh [-]
- θ_{sd} = temperatur elemen peneduh [°]
- $h_{c,og}$ = perpindahan panas konvektif pada selubung luar [W/m².K]
- θ_{air} = temperatur rongga udara pada selubung ganda [°]
- $I_{a,og}$ = radiasi yang terserap di selubung luar [W/m²]
- ρ_{air} = kepadatan udara di rongga udara selubung ganda [kg/m³]
- c_{air} = kapasitas panas dari udara yg terdapat di rongga udara selubung ganda [J/m³.K]
- v_z = kecepatan aliran udara di rongga udara selubung ganda [m/s]
- z = ketinggian tiap-tiap segmen pada selubung ganda [m]
- $h_{c,ig}$ = perpindahan panas konvektif pada selubung dalam [W/m².K]
- θ_{ig} = temperatur selubung dalam [°]

- $h_{c, sd}$ = perpindahan panas konvektif pada elemen peneduh [$W/m^2.K$]
 $h_{r, sd}$ = perpindahan panas radiatif pada elemen peneduh [$W/m^2.K$]
 $I_{a, sd}$ = radiasi yang terserap di elemen peneduh [W/m^2]
 $h_{r, ig}$ = perpindahan panas radiatif pada selubung dalam [$W/m^2.K$]
 h_i = perpindahan panas pada selubung dalam [$W/m^2.K$]
 $I_{a, ig}$ = radiasi yang terserap pada selubung dalam [W/m^2]
 n = jumlah segmen

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan pada simulasi ini adalah sebagaimana dapat dilihat pada tabel 1 dan diagram alir pada gambar 3 berikut.

Tabel 1. Disain dan kondisi operasional dari simulasi numerik

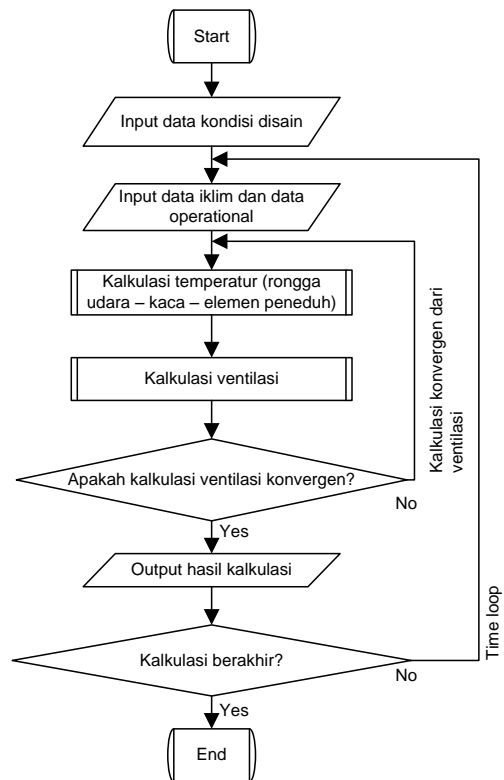
Uraian	Nilai
Azimuth selubung utara [$^{\circ}$]	0
Azimuth selubung timur [$^{\circ}$]	90
Azimuth selubung selatan [$^{\circ}$]	180
Azimuth selubung barat [$^{\circ}$]	270
Sudut inklinasi selubung [$^{\circ}$]	90
Sudut kemiringan elemen peneduh [$^{\circ}$]	45
Rasio transmittansi elemen peneduh [-]	0.1
Rasio absorptansi elemen peneduh [-]	0.5
Emisivitas elemen peneduh [-]	0.95
Emisivitas kaca [-]	0.837
Koefisien alir bukaan atas dan bawah [-]	0.65
Area bukaan atas dan bawah [m^2/m]	0.30
Reflektansi permukaan tanah [-]	0.14

Pada bagian input data kondisi disain, item yang diinput antara lain: spesifikasi selubung ganda dan bukaan, karakteristik termal dari kaca dan elemen peneduh, *pressure loss of ventilation route*, dan orientasi selubung.

Pada bagian input data iklim dan operasional, hal-hal yang diinput adalah: kondisi elemen peneduh, kondisi bukaan, setting indoor temperatur, temperatur lingkungan, dan data radiasi matahari.

Simulasi dijalankan berdasarkan parameter operasional sebagaimana terlihat pada tabel 1. Dimulai pada jam 08:00 hingga 17:00. Temperatur indoor diset pada suhu 25°C.

Ventilasi alami dengan metode *stack-effect* dan temperatur di dalam rongga udara selubung ganda dikalkulasi menurut prinsip-prinsip *heat-balance*. Baik distribusi temperatur dan volume ventilasi dikalkulasi hingga mencapai kondisi konvergen.



Gambar 3. Diagram alir simulasi

Selama waktu operasional, bukaan bawah dan atas selubung diasumsikan terbuka penuh sepanjang tahun. Saat radiasi matahari mencapai permukaan selubung luar, temperatur di dalam rongga udara selubung ganda akan meningkat secara perlahan. Dengan *in-let* yang terbuka, akan memberi peluang masuknya udara menuju rongga udara sehingga dengan demikian udara panas di dalam rongga selubung akan diventilasikan ke luar melalui *out-let*.

Simulasi tersebut menghasilkan data: temperatur pada rongga selubung, temperatur kaca, temperatur elemen peneduh, transfer panas radiasi, transmittansi termal, dan jumlah *exhaust-heat*.

Selanjutnya dilakukan penghitungan u-value dan *shading coefficient* (SC) fasad selubung ganda. Metode *Least-Square* digunakan untuk menentukan formula dari u-value dan SC dalam kaitannya dengan radiasi matahari (I_G) dengan menggunakan *polynomial least-square* sebagai berikut ini.

$$U = aI_G^b + c \dots\dots\dots(5)$$

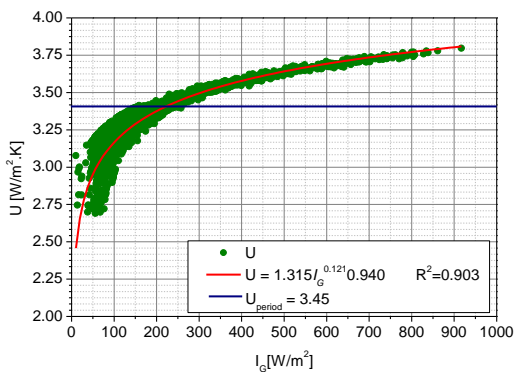
$$SC = dI_G^e + f \dots\dots\dots(6)$$

Dari formula tersebut, dapat diformulasikan rumus untuk u-value dan SC sebagai berikut:

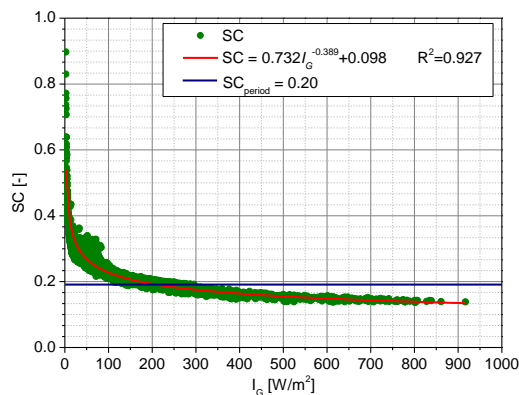
$$U = 1.315I_G^{0.121} + 0.940 \dots\dots\dots(7)$$

$$SC = 0.732I_G^{-0.389} + 0,098 \dots\dots\dots(8)$$

Kurva *polynomial least-square* dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Kurva polynomial u-value



Gambar 4. Kurva polynomial SC

Berdasarkan formula tersebut di atas, u-value dapat diperoleh melalui rumus berikut:

$$U_{period} = \frac{\sum_{k=1}^m (1.315I_{G,k}^{0.121} + 0.940)(\theta_{o,k} - \theta_{i,k})}{\sum_{k=1}^m (\theta_{o,k} - \theta_{i,k})} = 3.45 \dots\dots(9)$$

dan nilai SC didapatkan sebagai berikut:

$$SC_{period} = \frac{\sum_{k=1}^m (0.732I_{G,k}^{-0.389} + 0.098)I_{G,k}}{\sum_{k=1}^m I_{G,k}} = 0.20 \dots\dots\dots(10)$$

Setelah u-value dan SC ditentukan, selanjutnya adalah penghitungan beban panas pada selubung. Pada bagian ini, perbandingan dilakukan atas 3 model selubung yakni sebagaimana dapat dilihat pada tabel berikut untuk mengetahui efektifitas fasad selubung ganda dalam mengurangi beban panas pada dinding bangunan. Beban panas pada bangunan dihitung dengan menggunakan perangkat lunak MicroHASP/TES.

Tabel 2. u-value dan SC model selubung

Jenis selubung	U-value [W/(m ² ·K)]	SC [-]
Kaca tunggal 8mm	3.6	0.52
Kaca ganda 6mm	2.19	0.52
Fasade selubung ganda	3.45	0.20

Setting temperatur ruangan 25°C, kelembaban relatif 50% dan volume udara segar sebanyak 30m³/jam/orang. Ketika kasus tersebut pada tabel 2 di atas dianggap memiliki kesamaan kondisi indoor.

Selanjutnya, perolehan panas internal bersumber pada aktivitas yang terjadi di dalam ruangan dalam hal ini digunakan aktivitas "*seated light work and typing*" dengan kepadatan pengguna sebesar 0.15 orang/m² dengan jumlah beban sensibel dan laten masing-masing sebesar 75Watt. Panas dari lampu sebesar 10 W/m² dan *OA machine* sebesar 21 W/m².

Jadwal aktifitas kegiatan dimulai dari jam 08:00. Pada jam 12:00-13:00 diasumsikan 50% pengguna beristirahat untuk makan siang dan shalat serta melakukan aktivitas lain diluar ruangan sehingga penggunaan lampu dan *OA machine* lainnya berkurang hingga 70%. Aktivitas berakhir pada pukul 18:00. Pada hari Sabtu dan Minggu di asumsikan tidak ada aktivitas di dalam bangunan.

Sistem pengkondisian udara dijadwalkan mulai satu jam lebih awal dari jadwal kegiatan kantor untuk mengkondisikan udara di dalam ruangan sebagaimana yang telah ditentukan. Diharapkan bahwa temperatur di dalam ruangan akan mencapai 25°C saat pukul 08:00 ketika jam kantor dimulai. Sistem pengkondisian udara akan berhenti beroperasi saat jam kantor berakhir pada pukul 16:00.

Simulasi dilakukan dengan asumsi durasi selama setahun operasional. Simulasi tersebut menghasilkan *room load* dan *fresh air load* dari masing-masing zona perimeter dan zona interior.

Bangunan yang disimulasikan berlokasi dipusat kota Makassar dengan fungsi utama kantor sewa dengan 23 lantai.



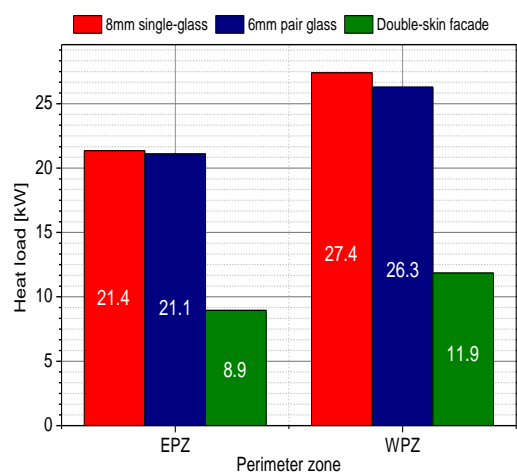
Gambar 6. Model bangunan

Analisis dan Interpretasi

Berdasarkan hasil simulasi dengan MicroHASP/TES didapatkan besaran beban panas pada dinding barat dan timur. Pada dinding barat, besaran beban panas untuk fasad tipe selubung tunggal dengan kaca tunggal tebal

8mm sebesar 27.4 kW, selubung tunggal dengan kaca ganda tebal 6mm sebesar 26.3 kW dan fasad selubung ganda sebesar 11.8kW. Pada sisi dinding timur, besaran beban panas pada selubung dengan kaca tunggal tebal 8mm sebesar 21.4kW, selubung tunggal dengan kaca ganda tebal 6mm sebesar 21.1kW, dan fasad selubung ganda sebesar 8.9kW.

Jika diasumsikan bahwa fasad selubung tunggal dengan kaca tunggal setebal 8mm sebagai baseline, maka penggunaan fasad selubung ganda mampu mereduksi beban panas sebesar 12.5kW atau sekitar 58%. Sedangkan bila dibandingkan dengan fasad selubung tunggal dengan kaca ganda 6mm, fasad selubung ganda mampu mereduksi beban panas sebesar 57%. Secara keseluruhan, jika dibandingkan dengan kedua tipe fasad tersebut maka fasad selubung ganda mampu mengurangi beban panas pada dinding luar bangunan sebesar 57.7%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fasad selubung ganda efektif dalam mengurangi beban panas pada dinding bangunan.

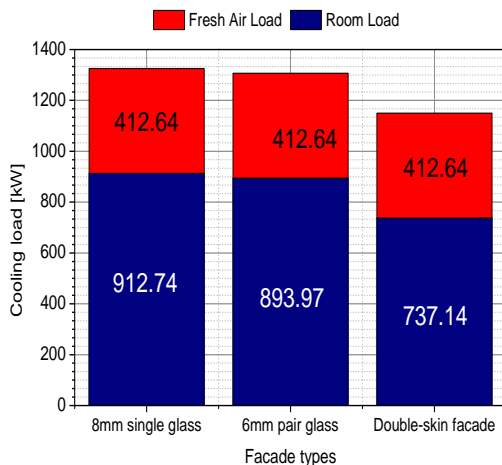


Gambar 5. Beban puncak pada zona perimeter

Pada perhitungan *room load* dan *fresh air load* pada zona perimeter didapatkan besaran *cooling load* pada fasad selubung tunggal dengan kaca ganda sebesar 1325.38kW terbagi atas *fresh air load* sebesar 412.64kW dan *room load* sebesar 912.74. Total *cooling load* untuk fasad selubung tunggal dengan kaca ganda tebal 6mm adalah sebesar 1306.61kW terdiri atas *fresh air load* sebesar 412.64kW dan *room load* sebesar

893.97kW. Pada fasad selubung ganda, besaran *fresh air load* adalah 412.64kW dan *room load* sebesar 737.14kW dengan total *cooling load* sebesar 1149.78kW. Perbedaan besaran *room load* disebabkan oleh perbedaan jenis fasad.

Sebagaimana terlihat pada gambar 6, jika dibandingkan antara *room load* dari fasad selubung ganda dengan kedua fasad jenis lainnya, sekitar 19% *room load* dapat direduksi jika dibandingkan dengan 8mm fasad kaca tunggal dan sekitar 16% *room load* dapat direduksi jika dibandingkan dengan fasad kaca ganda. Secara total, sebanyak 11% dari total *load* dapat direduksi jika dibandingkan dengan 8mm fasad kaca tunggal dan 10% dari total *load* dapat dikurangi jika dibandingkan dengan 6mm fasad kaca ganda.



Gambar 5. Beban puncak pada zona perimeter

Analisis tersebut di atas menunjukkan bahwa fasade selubung ganda efektif dalam mengurangi pengaruh eksternal seperti radiasi panas matahari dan temperatur udara luar terhadap besaran jumlah panas yang masuk ke dalam bangunan melalui dinding luar. Efektifitas fasad selubung ganda tersebut disebabkan oleh adanya dua lapis dinding yang mampu menahan laju perpindahan panas dari luar ke dalam bangunan serta adanya bukaan untuk ventilasi (*in-let* dan *out-let*).

Bukaan *in-let* dan *out-let* tersebut menjadi kunci efisiensi dari fasad selubung ganda tersebut oleh karena dengan keberadaannya yang

berfungsi untuk mengalirkan udara dari luar ke dalam selubung dan selanjutnya mengalirkannya dari dalam selubung ke udara luar menyebabkan udara panas yang terdapat di dalam selubung menjadi tersirkulasi dengan baik. Di bagian ini, prinsip *stack-effect* berfungsi dengan baik sehingga akumulasi panas yang terdapat di dalam selubung tersirkulasi melalui bukaan *out-let*.

Kesimpulan

Telah disampaikan pada bagian analisis dan interpretasi bahwa berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan membuktikan bahwa fasad selubung ganda efektif dalam mengurangi panas yang masuk ke dalam bangunan melalui dinding luar jika dibandingkan dengan fasad tunggal dengan dinding kaca tebal 8mm dan fasad selubung tunggal dengan dinding kaca ganda tebal 6mm. Hasil perhitungan besaran beban panas dengan MicroHASP/TES menunjukkan bahwa lebih dari 57.7% dari beban panas pada zona perimeter di waktu puncak dapat direduksi pada selubung barat dan timur. Sebanyak 11% dari total load dapat direduksi jika dibandingkan dengan 8mm fasad kaca tunggal dan 10% dari total load dapat dikurangi jika dibandingkan dengan 6mm fasad kaca ganda.

Daftar Pustaka

- Gunawan, B., Budiharjo, Juwana, J. S., Priatman, J., Sujatmiko, W., & Sulistianto, T. (2012). *Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Disain Bangunan Gedung di Indonesia*. Jakarta: Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia-Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Mulyadi, R. (2012). *Study on Naturally Ventilated Double-skin Facade in Hot and Humid Climate (Dissertation)*. Nagoya: Department of Environmental Engineering and Architectural Design Graduate School of Environmental Studies Nagoya University.