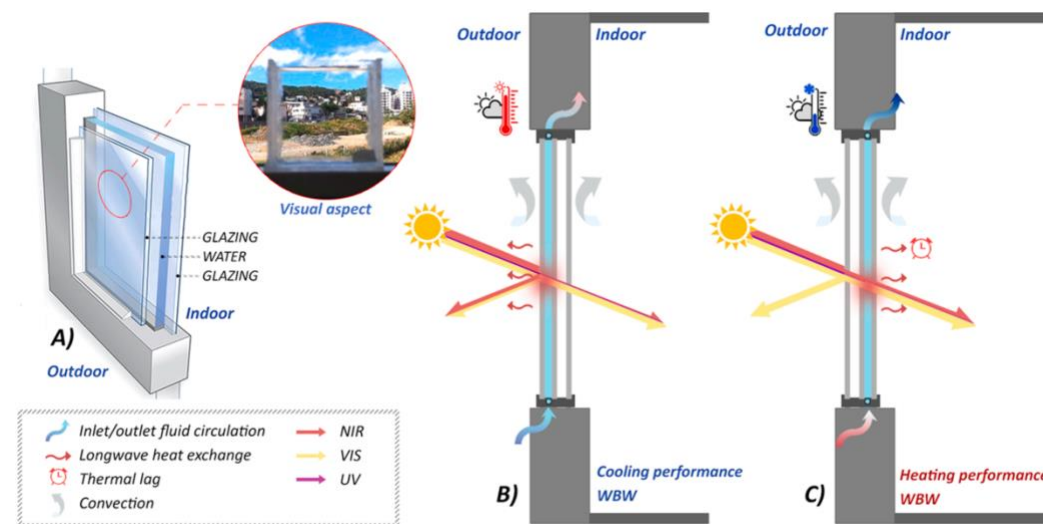


2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penerapan Air (*Water Based Window* dan *Water Flow Window*)

Menurut Piffer et al (2021) jendela berbasis air / *water based liquids* memiliki beberapa tipe. Penggunaan air dapat dibedakan menjadi *water based window* (WBW) dan *water flow window* (WFW), keduanya merupakan sistem kontrol surya/*solar* yang memanfaatkan *visual transmittance* berupa material air yang mengalir ataupun diam / statis (Gambar 2.1) serta mampu berperilaku sebagai penyimpanan panas karena efek cairan selektif spektral / *spectrally selective* di jendela. *Direct solar gain* di lingkungan dalam ruangan dikendalikan oleh *property material* dari WBW dan WFW melalui perbedaan transmisi cahaya dan panas matahari. Pelapis jendela atau substrat dapat dikategorikan sebagai selektif spektral ketika mereka mampu menolak atau menyerap energi radiasi gelombang pendek yang terkandung dalam *near-infrared* (NIR) atau *ultraviolet* (UV) spektrum, sambil meneruskan *visible light* yang lebih tinggi (VIS) *transmittance* (Alvarez et al., 2005; Lee, 1998). Fenomena ini adalah intrinsik untuk setiap bahan pelapis atau substrat yang diterapkan pada jendela.



Gambar 2. 1 (A) Ilustrasi WBW berlapis ganda tanpa pertukaran cairan dan foto prototipe WBW yang menunjukkan aspek visualnya dengan transparansi dan tanpa distorsi warna. Ilustrasi dua profil hipotesis WBW berlapis tiga untuk mengatasi kinerja pendinginan (B) dan pemanasan (C).

Sumber: (Piffer et al., 2021)

Menurut Hale & Querry (1973); Rubin (1985) air adalah contoh cairan selektif spektral dengan perolehan kapasitas termal yang cukup tinggi. Hal tersebut dikarenakan radiasi sinar matahari tampak (*Visual Transmittance / VIS*) hampir seluruhnya masuk ketika melewati bagian air sementara sebagian besar panas matahari diserap oleh *near-infrared/ NIR* yang selanjutnya diubah menjadi panas dan disimpan dalam massa air. Karena kapasitas termal yang tinggi, suhu air lebih lama untuk berubah dibandingkan dengan bahan lain di bawah termal yang sama. Massa jenis air adalah 997 kg/m³ dan kapasitas kalornya adalah 4,18 kJ/kg°C, massa jenis kaca adalah 2530 kg/m³ dengan massa jenis 0,84 kJ/kg°C kapasitas panas (Çengel & Ghajar, 2012). Berdasarkan penjelasan beberapa ahli diatas, maka didapati bahwa kapasitas termal air adalah dua kali lebih tinggi dari bahan kaca lainnya sehingga akan lebih susah untuk menaikkan temperatur di permukaan material air tersebut.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, inovasi pada *Water Based Window* (WBW) dan *Water Flowing Window* (WFW) telah berkembang dan mampu mengurangi solar radiasi, *temperature/suhu*, *solar heat gain* dan meningkatkan performa pendinginan/ *cooling load*. Pada Gambar 2.2, terlihat adanya berbagai macam inovasi yang variatif dari pemanfaatan air pada jendela/fasad. Sehingga manfaat yang didapat dari penerapan air ini adalah mengurangi biaya operasi energi bangunan, meningkatkan tingkat suhu udara dalam ruangan dan siang hari, mengurangi *Urban Heat Island*, dan memanfaatkan air hujan (Qahtan et al., 2011; 2014).



Gambar 2. 2 Ilustrasi berbagai macam inovasi penerapan air pada fasad

Sumber: (Piffer et al., 2021)

Tabel 2. 1 Variasi penerapan air terhadap fasad/jendela mengacu pada Gambar 2.2

Render abbreviation	Visual aspect of WBW and WFW	Comments
(A)	Colorless with water movement aspect.	Possible glare effect
(B)	Colorless and transparent.	-
(C)	Colored and transparent or opaque.	Specific dye concentration can block light transmission completely.
(D)	Translucid tubes.	Uses fiberglass structure.
(E)	Transparent with external shade.	-
(F)	Capillary structure.	Fluid circulates inside thin transparent tubes.
Profile abbreviation	Constructive characteristics	Type of drawing
(i)	Water flowing down external glazing surface.	Section
(ii)	WBW with convective baffles or gelling agent and trap material.	Section
(iii)	Liquid-filled double glazing.	Section
(iv)	Liquid-filled double glazing with acrylic sheets.	Section
(v)	Thin WBW.	Section
(vi)	Triple glazing with internal fluid-gap and external air/gas insulation.	Section
(vii)	Quadruple glazing with double fluid-gap and central insulation gap.	Section
(viii)	Triple glazing with external fluid-gap and internal air/gas insulation.	Section
(ix)	Quintuple glazing with double fluid and insulation gaps.	Section
(x)	Double-glazed WBW with convective baffle panels and exterior shade.	Section
(xi)	Double-glazed WBW with thin capillary fluid tubes.	Plan

Sumber: (Piffer et al., 2021)

2.1.1 Faktor yang Mempengaruhi Solar Radiasi dan Cooling Loads pada Sistem Water Based Window dan Water Flow Window

Menurut penelitian Piffer et al., (2021) mereka mengakui ada beberapa macam penelitian desain operasional dengan penerapan air seperti penggunaan *cavity* sebagai *liquid-gap* yang dapat di isi dan tidak memerlukan penggantian air (*Water based window*). Adapula yang mengisi dan melepaskan air (*Water flow window*) sesuai musim atau air dapat bersirkulasi di dalam fasad melalui pertukaran cairan. Dalam kasus pertukaran cairan/air, matahari dapat menghasilkan air panas dapat digunakan kembali untuk fasilitas gedung. Tidak hanya air, tetapi cairan lain dengan sifat selektif spektral dan kapasitas termal tinggi memenuhi syarat untuk mengisi celah air dalam WBW dan WFW, seperti air yang berwarna dan cairan anti beku (Tabel 2.1).

Berdasarkan penelitian Piffer et al., (2021) Terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi performa dari penggunaan air (WBW dan WFW) yaitu:

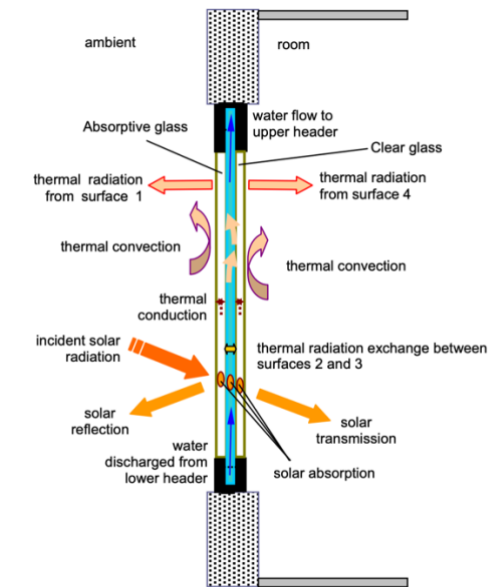
- *Optical (Transmittance, Reflectance, dan Absorptance)*

- Thermal (heat exchange by conduction, convection and longwave radiation, and fluid mass exchange)
- Ketebalan jendela
- Komposisi layer jendela
- Kombinasi air dengan udara
- Warna air atau kaca
- Laju kecepatan air

2.1.2 Integrasi Sistem Water Flow Glazing pada Jendela

Menurut penelitian Claros-Marfil et al (2022) penerapan elemen air pada jendela yang diteliti menggunakan base jendela model *single pane* konvensional (Chow & Lin, 2011) yang menimbulkan beberapa faktor dan parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik termal dan solar radiasi yang masuk. Gambar 2.3 merupakan rincian detail dan konfigurasi yang dipilih untuk diintegrasikan dengan model fasad *double skin* yang nanti akan dimodifikasi dan disimulasikan untuk meneliti perbandingan gabungan fasad ganda dengan sistem air. Adanya beberapa variabel yang dapat dirubah untuk melihat efektivitasnya pada kondisi tertentu, seperti ukuran dan dimensi dari sistem *water flow glazing* yang akan disesuaikan dengan kondisi bangunan yang eksisting. Berdasarkan hasil penelitian tersebut ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi *heat gain* ruang / karakteristik termal dan solar radiasi yang masuk:

- Laju kecepatan air
- Komposisi layer jendela



Gambar 2. 3 Ilustrasi pemakaian air WFG pada jendela

Sumber: (Chow & Lin, 2011)

Menurut Claros-Marfil et al (2022) adanya beberapa parameter *water flow glazing* pada sistem yang diusulkan seperti pada Tabel 2.2. Parameter dari komposisi *water flow glazing* akan dipakai untuk penerapan dalam fasad *double skin* sebagai komparasi dengan kaca konvensional. Konfigurasi *water flow window* yang akan dipakai adalah 6/12/6, dimana kaca 6 mm merupakan kaca dari *Planilux Saint Gobain Clear*. Properti yang material tersebut sudah dirangkum pada tabel dibawah ini, seperti 12 mm *central chamber* yang di isi dengan aliran air sebesar 0.67 liter/min yang terdapat pada penelitian sebelumnya (Chow & Lin, 2011).

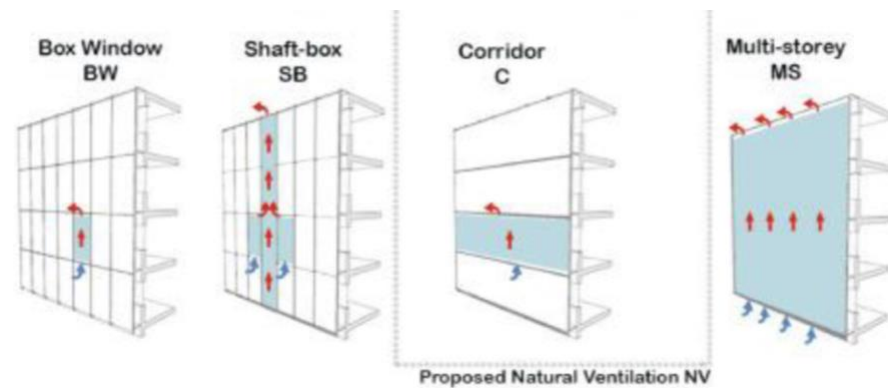
Tabel 2. 2 Properties of WFG

Properties	WFG (Water Flow Glazing)
Thickness (mm)	6/12/6 (24)
Flow Rate (liter /min)	0.67
U (W/m ² K)	3
SHGC	0.23
Solar transmittance (Tsol)	0.209
Solar reflectance (front) (Rfsol)	0.322
Solar reflectance (back) (Rbsol)	0.344
Visible reflectance (front) (Rfvis)	0.454
Visible reflectance (back) (Rbvis)	0.524
Visible transmittance (Tvis)	0.299
Emissivity front (ϵ_f)	0.84
Emissivity back (ϵ_b)	0.84

Sumber: (Claros-Marfil et al., 2022)

2.2 Sistem Fasad Ganda (*Double Skin Façade*)

Menurut Jankovic, A., & Goia, F. (2021) *double skin facade* (DSF) terdiri dari struktur berlapis-lapis / *multi layered structure*, yang cenderung transparan, mempunyai sisi luar dan dalam (*External* dan *internal layer*) serta memiliki ruang ventilasi *buffer* diantara 2 sisi tersebut. terkadang diberikan perangkat atau sebuah material yang mampu mengatur *solar* dan *visual gain control*. Menurut Khairdzir, N., & Taib, N. (2020) DSF dibangun dengan dua lapisan yang terdiri dari lapisan luar dan dalam yang berisi celah udara yang digunakan untuk mengontrol pergerakan udara dan perlindungan terhadap panas matahari. Singkatnya, gaya DSF dapat dikombinasikan dengan gaya ventilasi alami dan mekanis serta prinsip aliran udara (Haase & Amato, 2011). Sedangkan menurut Barbosa, S., & Ip, K. (2014) DSF terdiri dari fasad konvensional/normal, rongga udara (*Air Cavity*), dan kulit luar tambahan yang biasanya terbuat dari kaca. Hal tersebut merupakan inovasi umum untuk menerapkan sistem *shading* yang terdapat rongga antara dua lapis fasad.

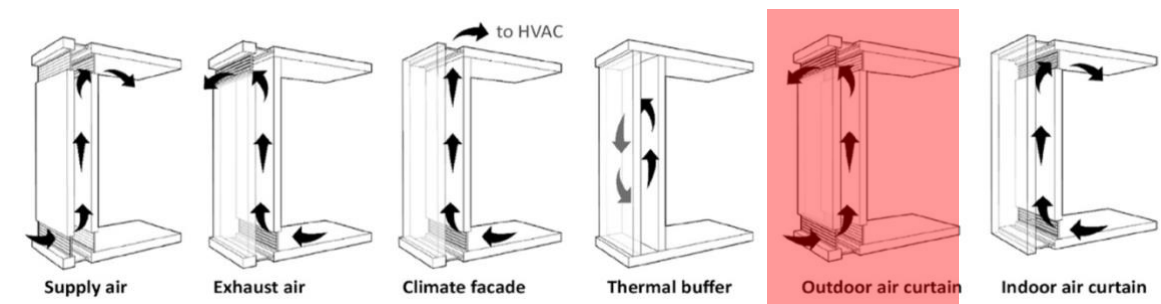


Gambar 2. 4 Konfigurasi *Double Skin Façade*

Sumber: (Khairdzir, N., & Taib, N., 2020)

Berdasarkan beberapa pernyataan dari penelitian sebelumnya, *double skin façade* (DSF) dapat diasumsikan dengan berbagai penampilan dan dapat direalisasikan di berbagai layout eksterior bangunan, karena yang terdapat konfigurasi *Box Window*, *Shaft-Box*, *Corridor DSF* dan *Multi-Storey DSF* (Gambar 2.4). Konfigurasi tersebut dapat dipilih berdasarkan pertimbangan dari tampilan serta tujuannya dalam memasukkan angin / *airflow* secara natural. Ada beberapa teori yang mengungkap bahwa DSF merupakan sistem yang berkelanjutan/maju dalam mengatur interaksi antara *outdoor* dengan *indoor / internal spaces* akibat dari fleksibilitasnya. Adanya beberapa tipe *airflow* alternatif yang dapat dijadikan pilihan sesuai kebutuhan dalam mengatasi *thermal* dan *airflow performance* (Gambar 2.5). Tetapi kebanyakan dari mereka cenderung menggunakan *thermal buffer* atau *outdoor air curtain* pada beberapa studi kasus di

perkantoran akibat jendela yang jarang dibuka / jendela mati (Khairdzir, N., & Taib, N., 2020). Sehingga peneliti lebih memilih untuk menggunakan *outdoor air curtain* sebagai pilihan dalam konfigurasi model fasad *double skin*.



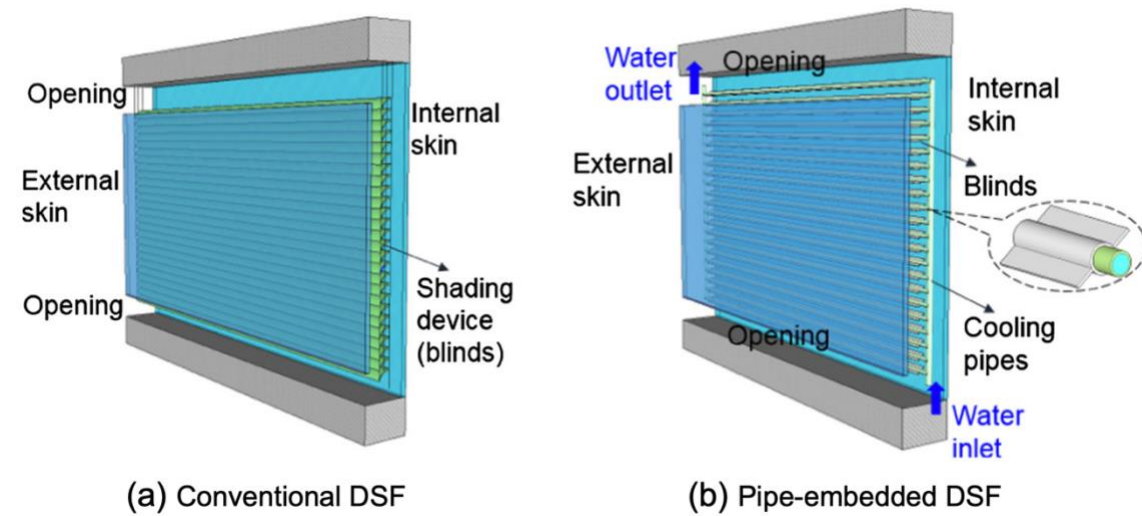
Gambar 2. 5 *Air-Movement Strategies*

Sumber: (Jankovic, A., & Goia, F., 2021)

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, fungsi DSF ini selain mampu mengurangi dan mencapai *thermal performance*, *cooling load* dan *daylight*, juga dapat membawa perhatian secara visual dan mampu dijadikan insulasi suara dari luar. Manfaat DSF untuk kualitas lingkungan dalam ruangan sangat menarik bagi komunitas profesional dan ilmiah, sementara interaksi DSF dengan lingkungan luar kota kurang topik yang dieksplorasi. Sifat permukaan radiasi DSF, di mana kulit luar seringkali hampir seluruhnya kaca/reflektif, dapat mempengaruhi keseluruhan keseimbangan energi di lingkungan perkotaan, berpotensi mengarah pada apa yang ada dikenal sebagai efek pulau panas perkotaan (*Urban Heat Island*).

2.2.1 Faktor yang Mempengaruhi Solar Radiasi dan *Cooling Loads* pada *Double Skin Façade*

Dalam penelitian Shen & Li (2016) penerapan pipa air pada system *double skin façade* (PDSF) yang diteliti menggunakan base model konvensional yang pernah dibahas pada penelitian sebelumnya (Iyi et al., 2014). Model pada fasad *double skin* ini akan dipilih sebagai base model karena bagian kaca dalamnya dibuat seperti jendela mati yang biasanya sering terdapat pada bangunan kantor (Gambar 2.6). Namun berdasarkan sebuah artikel penelitian yang mereview tentang DSF ini, model ini sering digunakan oleh penelitian lain sebagai *base model* untuk mengembangkan DSF ini sesuai tempat, kebutuhan dan tujuannya masing-masing (Barbosa and Ip, 2014).



Gambar 2. 6 Konfigurasi DSF konvensional dan pipa air.

Sumber: Shen & Li (2016)

Berdasarkan penelitian Barbosa & Ip (2014) ; Khairdzir & Taib (2020) Kinerja dari *Double Skin Façade* (DSF) ini ditentukan oleh beberapa faktor seperti (Tabel 2.3):

- Posisi dan ukuran bukaan / *Openings*
- Tipe, posisi, kemiringan, material pada jalusi / *Shading devices*
- Jenis dan karakteristik material eksterior kaca / *Outer skin*
- Jenis dan karakteristik material interior kaca / *Inner skin*
- Tinggi dan Lebar rongga udara serta jumlah lantai / *Depth of cavity*
- Struktur / konfigurasi *Double Skin Façade* (Gambar 2.7)
- Orientasi dan *Solar Irradiance* (Dipengaruhi oleh kondisi eksisting)
- *Wind speed* dan Orientasi (Dipengaruhi oleh kondisi eksisting)

Tabel 2. 3 Penelitian sebelumnya pada *Double Skin Façade*

Parameter	Location	Variation	Type of ventilation	Major findings/Observations
Cavity depth	Johor Bahru, Malaysia.	30, 50, 100 and 150 cm	Air conditioned	Increasing the cavity size up to one meter reduces solar heat gains in the building, but for larger cavities, the DSF has its efficiency reduced.
	Al-Ain city, UAE.	50, 70, 100, 120, 150 cm	Air conditioned	-Heat transfer rates decrease when the cavity depth is reduced due to the higher ventilation rates.

				-Cavity size between 0.7 and 1.2 m can give a balance between solar gain and heat transmission.
	Barcelona, Spain.	40, 60, 80, 100 cm	Air conditioned	Narrow cavity with no horizontal partitions may demands less energy consumption due to accentuated stack effect occurring in the cavity.
	Uccle, Belgium.	30, 60 120, 240 cm	Air conditioned	Temperature in deeper cavities is slightly lower than temperature in lower depth DSF.
Shading device	Uccle, Belgium.	position in cavity: close to the inner layer, to the outer layer and in the middle	Air conditioned	When blinds placed in the middle of the cavity the movement of thermo-circulation is well established and the cooling consumption is decreased.
	Torino, Italy.	slat angle: 0,45°,90°	Air conditioned	-The surface heat transfer coefficient for the angle = 90° (totally vertical) is lower than angle 45° and 0°(totally horizontal) cases. -The inner position lead to a high temperature on the inner glass surface, reducing the heat transfer from the indoors.
	Lab experiment	position of the blind in the cavity: outer, middle, inner, no blind	-	-The presence of venetian blinds not only offers the shading function but also enhances the natural ventilation of the façade cavity. -The shading device has lead up to 35% enhancement in natural ventilation flow for the façade cavity and 75% reduction in heat loads for the internal environment.
	Hong Kong, China.	Roller blind colour: black, white	Air conditioned	The black roller blind is largely responsible for high gap temperatures. A white coloured roller blind reduces gap temperatures by 11 °C.
	Singapore	Shading coefficient	Air conditioned	With the SC regulated from 0.3 to 0.7, the envelope thermal transfer values climb

		(SC): 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7		from a low value of 18 W/m ² to a high of 59.6 W/m ² .
Outer skin glazing properties	Duebendorf, Switzerland.	Glazing thermal properties (emissivity, thermal conductivity)	-	-The solar energy absorbed in the DSF is removed efficiently due to the mechanical ventilation. -A further decrease in total solar energy transmission would be possible, e.g. by increasing the outside solar reflectance of the shading screen.
	Barcelona, Spain.	Glazing transmissivity (from 35 to 78%) and emissivity (from 0.05 to 0.89)	Air conditioned	-Replacing the internal glazing for a low-emissivity glass can duplicate the reduction on solar load gain. -A reduction of external glazing transmissivity in 55% can lead to a 40% enhancement on the reduction in solar load gain.
	Not specified	Gazing properties and combinations	-	Highest mass airflow rate was obtained when the outer layer presents reflectance: 0.2; transmittance: 0.4 and absorptance: 0.4 and the inner layer has reflectance: 0.1; transmittance: 0.1 and absorptance: 0.8.
	Uccle, Belgium.	Material: reflective, clear, absorbing	Air conditioned	-Null wind speed. Clear glazing transmits most of the solar radiation (62%) and the reflective glazing returns 51% of it. -If the inner skin is absorbing glazing, most of the solar radiation (68%) which strikes the glazing is absorbed.
	Cold and warm climates.	Single and double glazing	Air conditioned	In warm climates double glazing minimises both the convective and the radiative components of heat transfer across the façade, leading to a smaller heat gain from the exterior ambient into the room connected to the façade.
	Hong Kong, China.	Glazing positions:	Air conditioned	Inner layer made of single clear glass + outer layer made of low transmissivity double

		single and double		glazing can give decrease the heat gain and the building cooling energy.
Structure	Barcelona, Spain.	corridor and multi-storey types	Air conditioned	-Due to cavity height, there is a sharper temperature gradient occurring along it. -The stack effect of multi-story and shaft types will be more accentuated, increasing its ventilation rate.
	Seoul, South Korea	Box, corridor, multi-storey and shaft types	Air conditioned	-The multi-storey type had the lowest energy consumption. -The natural ventilation created was able to prevent the rise in temperature due to the solar heat gains.
Openings	Not specified	Length of the inlet and outlet openings	Mechanical ventilated cavity	-Only the cavity was modelled. -The air path does not have influence on the air velocity in the cavity, while the openings areas are important factors to be considered
	Barcelona, Spain.	Top and bottom cavity dimensions: 5, 10, 15%	Air conditioned	Larger openings help to extract warm air from the cavity as higher air flow rates occur.
	Uccle, Belgium.	Top and bottom cavity dimensions: 2.5, 5, 7.5, 10cm	Air conditioned	Cavity temperature decrease does not vary in a linear way with the size of the openings.
Inner skin materials	Istanbul, Turkey	Single and double skin	Naturally ventilated	The inner glazing had higher temperature when compared to a transparent window of a single skin model.
	Munich, Germany	Concrete applied to the blind, to the inner and to outer layer	Cavity naturally and mechanically ventilated	The application of the thermal mass on the shading device presented 27% of energy saving compared to the conventional case in which the blinds were made of aluminium.
	Al-Ain city, UAE	Material: single, double, triple glazing	Air conditioned	The optical properties of the layers are the most effective way to reduce cooling loads, with a particular influence the direct gain and stack effects.

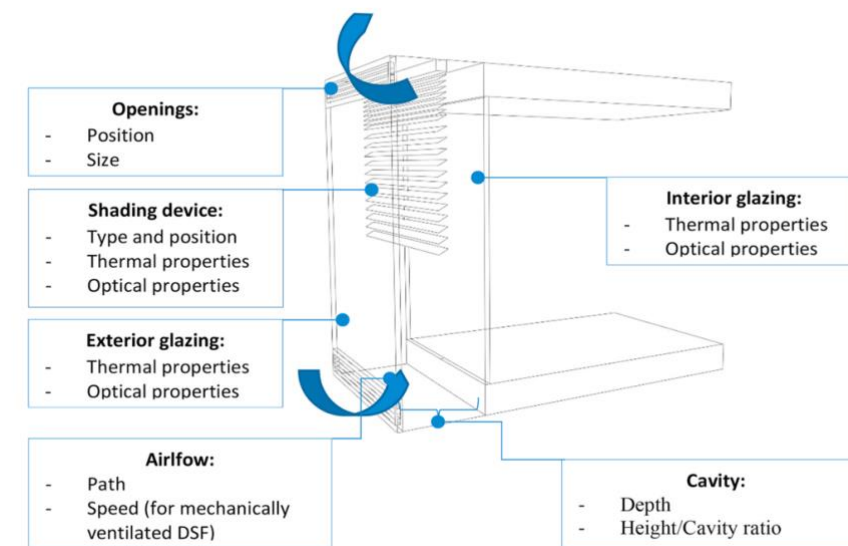
Wall-window ratio and openings	Hong Kong, China	63, 91, 32	Air conditioned. Mechanically ventilated cavity	The WWR and glazing type have the greater influence on annual cooling load. DSF system with large internal window area (WWR = 0.91) has the same annual cooling load as the single skin façade system with small window area (WWR = 0.32).
	Tokyo, Japan	Opening area of the inner layer: 1, 2 and 4 m ²	Naturally ventilated model	Opening areas of 2m ² between the occupant space and the cavity was considered reasonable to obtain preferable ventilation performance.
	Singapore	30, 50, 70, 90	Air conditioned	For WWR = 50% and 70%, a reduction in the thermal transfer through the façade was observed. But for a WWR = 90%, the thermal transfer increased.
	Duebendorf Switzerland	Opening at the top and bottom of the inner layer	Mechanically ventilated cavity	The opening at the bottom of the inner layer leads to a low solar heat gain in the user room.
Height of the cavity/ Number of floors	Brussels, Belgium	3.0 m (one story) and 15.0 m (five stories)	-	A taller cavity will produce a stronger buoyancy force, creating a greater airflow rate.
	Al-Ain city, UAE	Monitoring points: 2.2, 6.2, 10.2 m	Air conditioned	A small variation of temperature occurs at different heights, especially in the afternoon where the outside temperature is high. This increase is due to the higher rate of air flow into the cavity from each floor.
	Tokyo, Japan	Height of the chimney above the cavity: 3.75, 7.5, 11.25m	Naturally ventilated	The ACH rate does not change radically with the height of the chimney above the cavity. Recommendation: the solar chimney above the cavity should be more than two-floor high.

Sumber: (Barbosa, S., & Ip, K., 2014)

Berdasarkan penelitian Jankovic, A., & Goia, F. (2021) faktor yang dapat mempengaruhi pada *heat transfer / thermal dan air flow* adalah (Gambar 2.7):

- *geometric features:*

- *dimensions of the cavity;*
- *airflow path;*
- *openings geometry;*
- *shading position (and for venetian blinds, slat angle);*
- *material properties:*
 - *glazing properties;*
 - *radiative surface properties of the shading system;*
 - *thermal properties of the shading system;*
- *airflow rate (driven by the fan, only valid for mechanically ventilated DSF).*



Gambar 2. 7 Representasi skematis dari fitur konstruksi yang diselidiki dalam penelitian ini (dicontohkan untuk kasus DSF tirai udara luar ruangan)

Sumber: (Jankovic, A., & Goia, F., 2021)

Pada efeknya terhadap solar radiasi dan *cooling performance*, terdapat beberapa penelitian yang mengungkap bahwa pengaruh dari rongga udara /*cavity depth*, jalusi /*shading device*, material kaca bagian dalam /*inner skin*, *Wall Window Ratio* (WWR), dan material layer terluar/ *outer layer glazing* (Barbosa, S., & Ip, K., 2014). Berdasarkan hasil analisa, faktor-faktor tersebut akan menjadi parameter dalam mengurangi solar radiasi dan meningkatkan *cooling performance*. Akan tetapi, menurut Barbosa, S., & Ip, K. (2014) lapisan terluar atau *external skin* memiliki efek yang paling signifikan dalam mengurangi solar radiasi karena lapisan tersebut mampu memantulkan, menyerap atau meneruskan solar radiasi yang masuk. Solar radiasi yang melewati kaca luar diserap oleh lapisan dalam yang mengakibatkan suhu meningkat

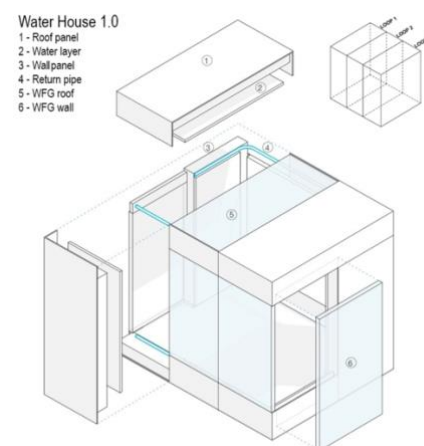
Transmissivity-SW (%)	65	-
Absorptivity-SW (%)	17	-
Reflectivity-SW (%)	18	-
Refractive index	-	1.5
Emissivity	-	0.84

Sumber: Shen & Li (2016) ; Iyi et al. (2014)

2.4 Review Bangunan

2.4.1 Water House 1.0, Hungaria

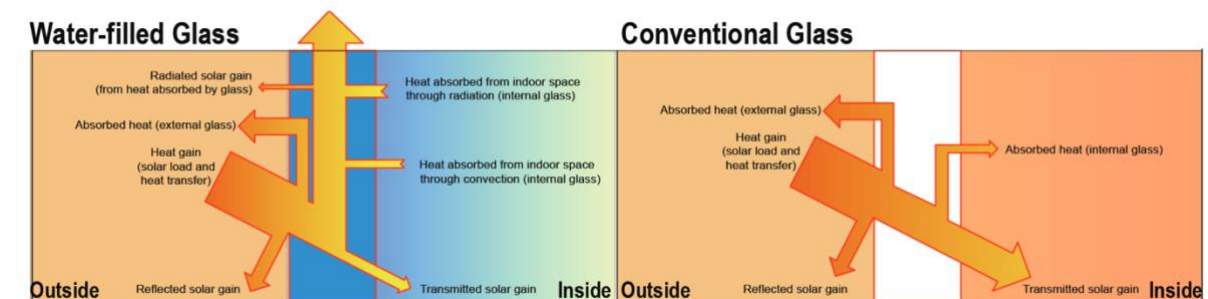
Terdapat sebuah penelitian yang memperkenalkan dan mengembangkan struktur fasad berisi air yang telah di evaluasi dari penelitian terdahulu untuk di lihat secara langsung manfaat sistem tersebut sebagai material yang mampu meningkatkan performa energi pada bangunan (Gutai et al., 2020). Kaca berisi air (WFG) telah diteliti di masa lalu dan disajikan sebagai elemen jendela yang independen dari bangunan konvensional, di mana penghematan energi dicapai dengan menggunakan penyerapan lapisan air untuk manajemen energi selubung bangunan. Hasilnya menunjukkan bahwa efisiensi WFG dapat ditingkatkan lebih lanjut jika sistem dirakit sebagai selubung bangunan terpadu di mana fluida dapat mengalir di antara panel dan bagian bangunan (Gutai & Kheybari, 2020). Pada Gambar 2.10 dijelaskan secara rinci dan detail tahapan konstruksi WFG yang dapat dijadikan jendela individu atau dapat sebagai selubung pada bangunan.



Gambar 2. 10 Diagram aksonometri water house (kiri) dan water house yang sudah selesai (kanan)

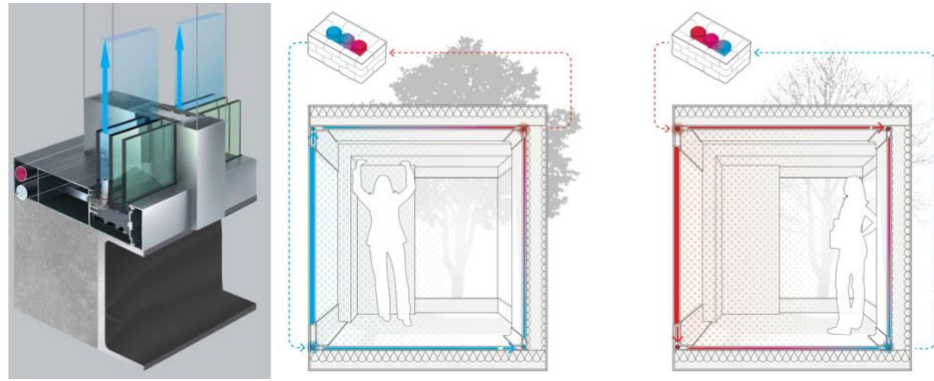
Sumber: Gutai et al. (2020)

Pada Gambar 2.11 terlihat adanya keuntungan tersendiri dari pemanfaatan WFG pada sisi absorpsi panas dan sebagai *cooling load* pada saat musim tertentu. Solusi ini digambarkan sebagai "*fluid-glass*" atau "*water-glass*" dan beroperasi dengan pompa dan aliran yang stabil. Pada Gambar 2.12 terlihat adanya panel-panel yang terhubung dalam lingkaran tertutup, yang biasanya dibentuk oleh dua permukaan dinding yang berlawanan dan panel lantai dan plafon/atap sehingga terus berputar. Kedua aliran air tersebut menyerap panas yang dapat dipindahkan ke unit penyimpanan termal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12. Sebuah pompa membutuhkan lebih sedikit energi daripada mendinginkan atau memanaskan ruangan, sehingga mengarah pada penghematan energi secara langsung dengan memakai WFG tersebut. Selain itu, konstruksi rumah air dapat mendistribusikan energi di dalam selubung, sehingga dapat meningkatkan penghematan energi lebih lanjut dengan menukar energi antara area bangunan yang terlalu panas dan dingin. Misalnya perletakkan WFG pada fasad utara-selatan karena jalur matahari tersebut berada pada paling banyak di bagian selatan dan bagian bangunan bawah-atas (Gambar 2.13). Sehingga fasad tersebut dapat berperan ganda sebagai pendingin dan pemanas dalam bangunan.



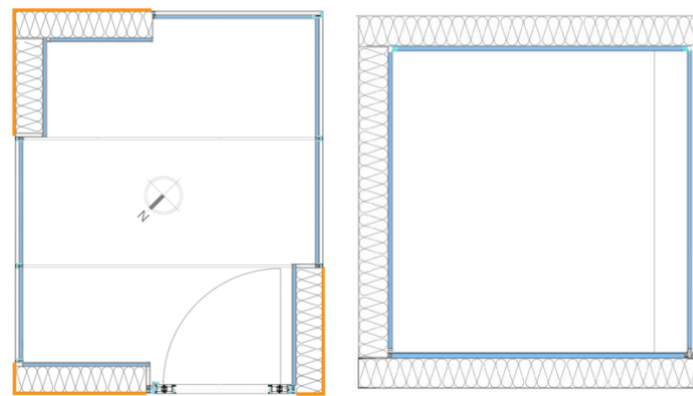
Gambar 2. 11 Diagram yang menunjukkan kinerja *solar gain* dari WFG (kiri) dan kaca konvensional (kanan). Perbedaan yang paling penting adalah penyerapan lapisan air yang menurunkan permintaan pendinginan di dalam ruangan dan juga mentransfer energi yang ditangkap ke bagian lain dari bangunan atau ke unit penyimpanan panas untuk digunakan nanti.

Sumber: Gutai et al. (2020)



Gambar 2. 12 Layout dan detail dari WFG (kiri) dan energy balance pada water house di musim tertentu (kanan)

Sumber: Gutai et al. (2020)



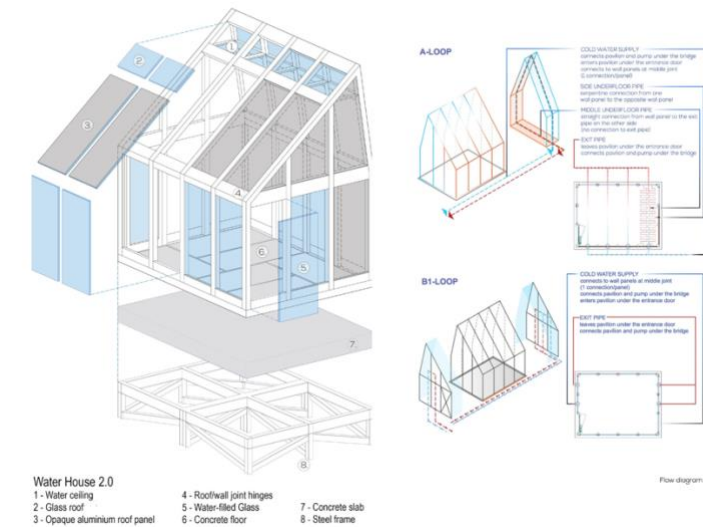
Gambar 2. 13 Denah water house (kiri) dan potongan (kanan) yang menunjukkan struktur, rangka dan pengisi. Steel frame (WFS) disorot dengan garis oranye.

Sumber: Gutai et al. (2020)

2.4.2 Water House 2.0, Taiwan

Water house 2.0 dibangun di Taichung, Taiwan untuk iklim tropis lembab. Karena heating performance tidak terlalu diperlukan maka panel WFG dibangun dengan kaca ganda dan lapisan air tanpa insulasi eksternal. Ini merupakan perbedaan besar dibandingkan dengan water house di daerah sebelumnya, karena pada bangunan water house 1.0 seluruh selubung bangunan dapat dimanfaatkan untuk menyerap beban panas eksternal. Selain itu, absorption-based energy model juga lebih efektif untuk iklim tersebut karena beban utama pendinginan adalah akibat radiasi karena perbedaan suhu, antara suhu dalam ruangan dan suhu sekitar yang relatif rendah (Gutai et al., 2020). Gambar 2.14 (kiri) menunjukkan sistem konstruksi bangunan, yaitu rangka baja dan panel pengisi. Serupa dengan bangunan sebelumnya, panel-panel tersebut dihubungkan dalam loop. Dengan adanya beban matahari dan suhu sekitar, aliran air bisa

otomatis atau ditingkatkan dengan pompa. Gambar 2.14 (kanan) menunjukkan susunan loop. Loop terdiri dari dua dinding (utara dan selatan) dan panel lantai serta atap.



Gambar 2. 14 Aksonometri sistem struktur dan konstruksi (kiri) dan diagram aliran air yang loop (kanan).

Sumber: Gutai et al. (2020)

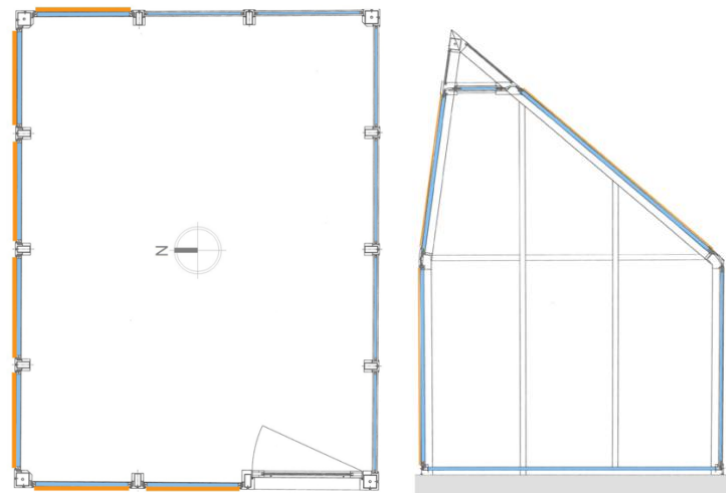
Pendinginan berbasis penyerapan ini semakin ditingkatkan dengan desain; atap utara tidak memiliki keuntungan matahari langsung karena sudut dan orientasi paviliunnya. Karena insulasi di Taichung relatif tinggi di setiap musim, geometri ini mendukung aliran air otomatis/pompa antara kedua sisi dan memberikan efek pendinginan karena dinding/atap utara memancarkan panas ke arah luar. Sisi selatan dirancang dengan panel kaca menuju danau tanpa naungan yang tidak konvensional untuk iklim ini (Gambar 2.15).



Gambar 2. 15 Water house 2.0

Sumber: Gutai et al. (2020)

Struktur paviliun menggunakan sistem *curtain wall*, yang terdiri dari struktur panel WFG/WFS “*frame and infill*”, rangka baja struktural dibuat dan dirakit di lokasi serta panel pengisi air yang dipasang setelah bingkai selesai. Fasad kaca diperbaiki, dan ventilasi alami melalui bukaan ventilasi di bawah panel kaca dan di bagian atas (melalui langit-langit) seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Denah dan orientasi *water house 2.0* (kiri) dan potongan bangunan (kanan) warna oranye merupakan indikator terhadap *steel frame* WFS.

Sumber: Gutai et al. (2020)

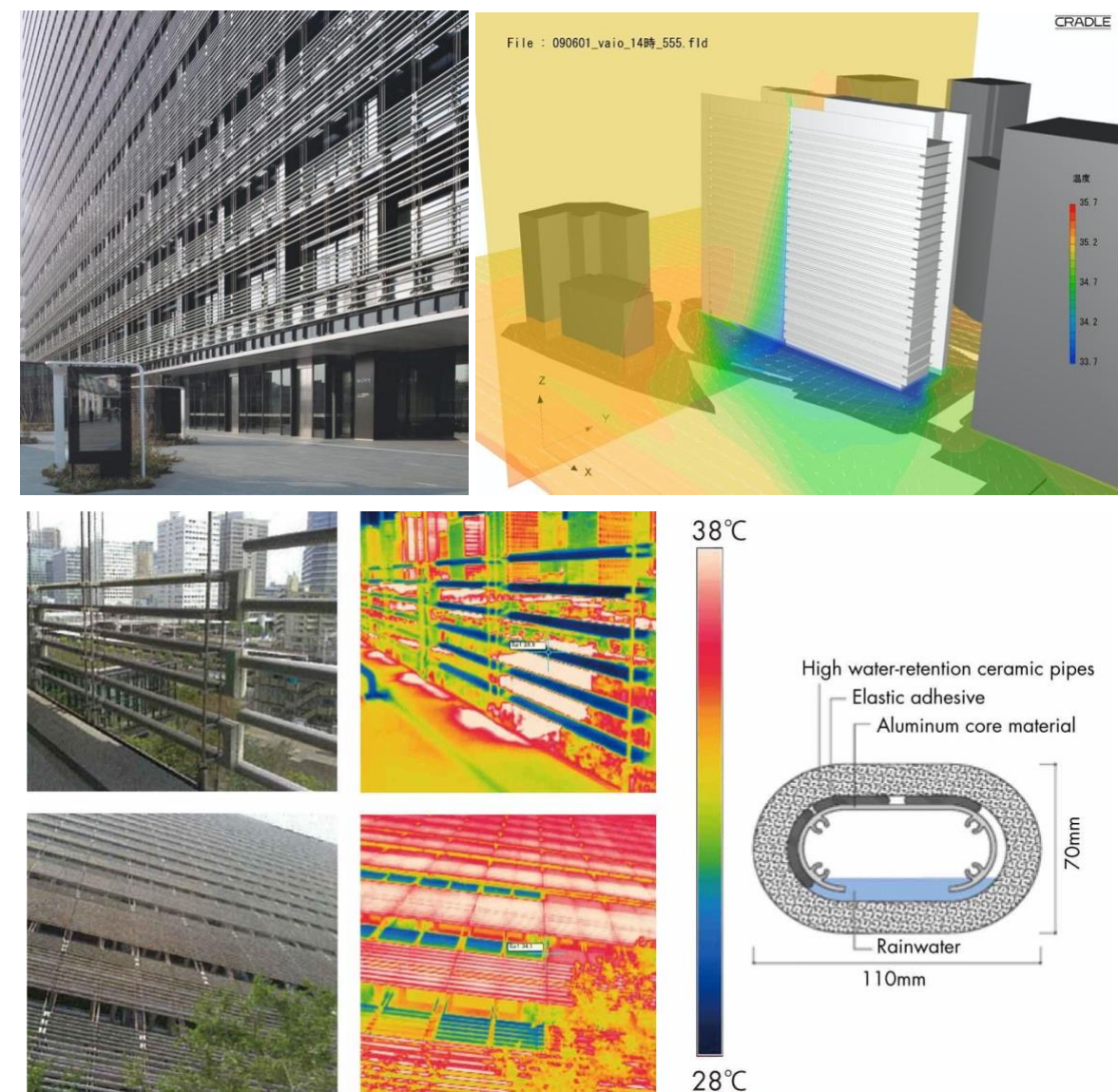
2.4.3 NBF Osaki Building Tokyo, Jepang

Berdasarkan makalah NIKKEN SEKKEI LTD (2022), terdapat bangunan yang menggunakan system *BioSkin* yang terinspirasi dari teknik tradisional Jepang untuk mendinginkan udara seperti tirai bambu, yang disebut *sudare*, dan teknik penyemprotan air yang disebut *uchimizu* (Gambar 2.17). Fasad ini mampu menarik panas dari bangunan saat air menguap di sekitarnya, sehingga menyebabkan udara disekitarnya menjadi dingin. Sistem ini terdiri dari kisi-kisi keramik khusus yang menyalurkan air hujan melalui sistem fasad *double skin*. Akibatnya, sistem bertindak sebagai pendingin yang sangat besar untuk mengurangi panas di lingkungan gedung.

BioSkin tubes terbuat dari *extruded aluminium cores*, dengan *highly water-retentive terracotta shell* yang melekat pada inti melalui *elastic adhesive*. Ketika air hujan terkumpul di atap, ia mengalir ke tangki penyimpanan bawah permukaan di mana air disaring dan disterilkan. Air kemudian dipompa dan disirkulasikan melalui pipa-pipa, yang dimasukkan ke dalam pagar balkon dan *horizontal screen*. Air hujan menembus keluar melalui *ceramic cores*, menguap dari permukaan pipa dan mendinginkan udara.

Kelebihan air dialirkan ke tanah di sekitar bangunan, membantu mengisi ulang siklus air tanah dan mengurangi beban pada sistem *drainase*.

Berdasarkan pengujian dan eksperimen, terbukti bahwa saat air menguap, suhu pipa keramik dan udara di sekitarnya turun sekitar 2 derajat *celcius*. Di fasad selatan bangunan, panel surya yang menonjol dipasang di fasad. Seperti sistem *BioSkin*, panel surya berfungsi ganda sebagai perangkat peneduh, menghasilkan energi sekaligus membantu menjaga interior bangunan tetap dingin. Menurut arsitek tersebut, bangunan itu dirancang sebagai perangkat pendingin besar yang bekerja dengan cara yang sama seperti hutan alam.



Gambar 2. 17 NBF Osaki Building Tokyo, Japan

Sumber: https://www.nikken.co.jp/ja/expertise/mep_engineering/cool_city.html

2.5 Hipotesis

Dari hasil tinjauan pustaka dan beberapa review bangunan, sistem *water flow glazing* memiliki potensi untuk menjadi material alternatif pada fasad ganda sebagai selubung bangunan, sehingga solar radiasi yang masuk dapat berkurang secara efektif. Material air sendiri mempunyai potensi sebagai pengganti kaca *low-e* yang alami dengan harga yang lebih murah dan terbarukan serta berkelanjutan (akibat iklim tropis lembab, curah hujan yang tinggi). Adanya penelitian yang menggunakan iklim tropis lembab namun memberikan hasil yang cukup baik memperkuat dugaan bahwa sistem *water flow glazing* dapat menjadi potensi yang bagus apabila diterapkan pada *double skin façade*.