

TENAGA SURYA DAN ARSITEKTUR: SUATU ANALISIS LINGKUNGAN DAN PERANCANGAN

Tri Harso Karyono

Staf Direktorat Teknologi Lingkungan BPP Teknologi dan

Staf Pengajar Arsitektur di Jakarta

E-mail: tkaryono@telkom.net

ABSTRAK

Isue mengenai pemanasan bumi yang diakibatkan oleh produksi gas karbon dioksida sebagai akibat pembakaran bahan bakar minyak (minyak bumi, batu bara, gas alam) memaksa ilmuwan, pakar energi, ahli lingkungan, serta pihak-pihak lain yang terkait untuk ikut memikirkan penggunaan energi alternatif yang aman. Tenaga nuklir yang tidak menghasilkan gas buang semacam karbon dioksida, ternyata bukan merupakan solusi energi alternatif yang baik karena meninggalkan sampah radioaktif yang belum ada solusi pembuangan yang dianggap aman untuk masa yang akan datang. Tenaga surya, yang umumnya sudah digunakan secara tradisional sejak ratusan abad yang silam, perlu mendapat perhatian. Pemanfaatan tenaga surya baik secara pasif maupun aktif bagi bangunan perlu mendapat perhatian dari para arsitek. Pemanfaatan tenaga surya secara aktif, dimana tenaga surya dikonversikan terlebih dahulu menjadi tenaga listrik dengan solar sel, seyogyanya tidak berdiri sendiri, perlu diintegrasikan dengan aplikasi perancangan secara pasif. Perancangan secara aktif bertujuan untuk mengurangi beban listrik yang berasal dari minyak bumi - secara langsung mengurangi jumlah gas karbon dioksida yang dibuang ke udara, sedangkan perancangan pasif bertujuan untuk mengurangi beban penggunaan energi listrik - yang berasal dari sumber listrik apapun - di dalam bangunan. Makalah ini membahas isue yang diutarakan diatas, dimana pada akhirnya memberikan contoh dari suatu karya arsitektur yang dianggap berhasil dalam mengaplikasikan strategi perancangan secara aktif (menggunakan solar sel) serta tidak meninggalkan strategi perancangan secara pasif.

Kata kunci: bangunan, karbon dioksida, minyak bumi, pemanasan bumi, photovoltaic (solar sel), rancangan aktif, rancangan pasif, tenaga surya

ABSTRACT

This paper discusses the potential use of solar energy in building as an alternative solution of energy resources to reduce the negative impact in burning fossil fuels to the environment. It highlights the positive aspects in environment by generating solar energy and also discusses the aesthetical values in employing solar panels on buildings.

Keywords: active system, building, carbon dioxide, fossil fuels, global warming, photovoltaic, passive system, solar energy

PEMANASAN BUMI: KONSEKUENSI PENGGUNAAN MINYAK BUMI?

Sekitar tahun 1820-an ahli matematik Perancis, Baron Jean Baptiste Fourier [1] mencetuskan teori bahwa atmosfer bumi yang terbentuk dari berbagai komposisi gas (karbon dioksida, uap air dan methane) berperilaku semacam kaca transparan yang menyelimuti bumi. Selimut atau selubung transparan (bening) ini berfungsi sebagaimana sebuah rumah kaca yang memungkinkan panas serta cahaya matahari menembus permukaan bumi. Sebagai rumah kaca, selimut ini tidak membiarkan

seluruh panas yang sudah diterima oleh bumi kemudian kembali ke angkasa luar. Dengan selimut transparan ini, sejumlah panas yang cukup ideal bagi kelangsungan hidup makhluk bumi dan tumbuhan, terperangkap diantara permukaan bumi dan lapisan atmosfer. Seandainya gas-gas pembentuk atmosfer bumi yang berperan seperti selimut ini tidak ada, maka seluruh panas dari matahari akan dilepas kembali ke angkasa luar mengakibatkan bumi beku. Contoh klasik mengenai peran karbon dioksida dalam pengaturan suhu atmosfer planet adalah yang terjadi pada Venus, dimana dengan konsentrasi karbon dioksida yang sangat tinggi pada atmosfer planet ini, suhu Venus sangat

tinggi. Sementara itu phenomena sebaliknya terjadi pada Mars. Konsentrasi karbon dioksida di sekitar planet ini sangat rendah sehingga hampir seluruh panas matahari yang jatuh ke planet dikembalikan ke angkasa luar, membuat suhu udara Mars sangat rendah yang tidak memungkinkan suatu kehidupan berlangsung.

Sejak Revolusi Industri abad 18 hingga kehidupan modern saat ini, penggunaan bahan bakar minyak bagi keperluan kehidupan dan peradaban manusia melonjak demikian cepatnya. Bahan bakar seperti halnya minyak bumi, batu bara dan gas bumi yang digunakan bagi keperluan hidup manusia mengemisikan gas buangan diantaranya yang terpenting adalah karbon dioksida ke atmosfer dalam jumlah yang sangat besar dalam satuan waktu tertentu mengakibatkan penebalan selimut bumi tersebut. Bukan hanya sekedar itu, berkurangnya jumlah vegetasi persatuan luas tertentu pada permukaan bumi akibat pembangunan kota, perumahan, pembukaan lahan pertanian sangat mengurangi jumlah karbon dioksida yang diserap tumbuhan mengakibatkan kenaikan konsentrasi karbon dioksida pada atmosfer bumi. Situasi ini memunculkan fenomena alam yang disebut Pemanasan Bumi (*global warming*), dimana terjadi peningkatan suhu udara rata-rata pada permukaan bumi, yang diperkirakan dapat mengganggu kestabilan ekosistem bumi serta kestabilan kehidupan makhluk hidup di muka bumi. Woodwell [2], ahli biologi dan lingkungan, cenderung menyangkal teori bahwa karbon dioksida hasil pembakaran minyak bumi merupakan faktor utama pemanasan bumi. Perusakan hutan tropis merupakan faktor penting lain yang menyebabkan terjadinya pemanasan bumi, karena kemampuan penyerapan karbon dioksida di udara menjadi sangat berkurang dengan berkurangnya jumlah area hutan tropis. Kemampuan vegetasi menyerap karbon dioksida di udara dibuktikan oleh Charles Keeling [2] di Lembaga Penelitian di Hawaii, bahwa konsentrasi karbon dioksida di wilayah beriklim empat musim akan mencapai titik maksimum pada akhir musim dingin (dimana pohon kehilangan seluruh daunnya), serta mencapai titik minimum pada akhir musim panas (dimana pohon memiliki kelebatan daun yang tinggi). Variasi tahunan perubahan konsentrasi karbon dioksida di udara ini tidak terjadi pada kawasan Tropis, karena sepanjang tahun vegetasi pada kawasan ini tidak mengalami proses perontokan daun seperti halnya yang terjadi pada musim Dingin di wilayah Sub Tropis.

TENAGA SURYA: SOLUSI PEMANASAN BUMI?

Lalu bagaimana caranya agar fenomena pemanasan bumi ini dapat dicegah?. Jenis sumber energi apa yang cukup aman digunakan bagi pembangkit listrik. Tabel 1 memperlihatkan klasifikasi sumber energi [3] dilihat apakah energi tersebut dapat habis (tidak terbarukan) atau tidak dapat habis (terbarukan). Dari klasifikasi ini, jenis energi minyak bumi - selain tergolong tidak terbarukan, juga efek dari pemakaiannya akan menghasilkan karbon dioksida, sementara batu bara, selain karbon dioksida juga akan mengeluarkan polutan lain seperti sulfur dioksida (penyebab hujan asam) dan natrium dioksida.

Tabel 1. Klasifikasi sumber energi [3]

| Klasifikasi Energi | Jenis Energi | Sumber/ Bentuk Energi |
|---|--------------------------------|---|
| FINITE (NON RENEWABLE) TIDAK TERBARUKAN | Fossil Fuels (Minyak Bumi) | Batu Bara Minyak Bumi (bensin, bensol, aerosol, solar, minyak tanah) Gas Alam |
| | Energi Nuklir | Uranium |
| TERBARUKAN (RENEWABLE) | Energi Matahari (Tenaga Surya) | Panas Matahari Photovoltaic Angin, Ombak Biomassa Perbedaan Panas Air Laut Pembangkit Tenaga air |
| TIDAK TERKLASIFIKASI | | Panas Bumi |

Sumber energi lain diluar minyak bumi yang digunakan sebagai pembangkit listrik adalah energi nuklir. Sumber energi ini sebetulnya relatif bersih dengan harga yang cukup bersaing setelah digunakan beberapa waktu, namun yang menjadi kendala adalah sampah radioaktif yang dihasilkan dari reaksi fusi Uranium (U^{235} dan U^{238}) pada reaktor pembangkit. Teknologi pembuangan limbah radioaktif ini (yang umumnya ditanam dalam tanah hingga kedalaman 600 meter) masih menjadi perdebatan para ilmuwan, politisi dan wakil rakyat di banyak negara, karena limbah buangan ini diperkirakan tetap akan bersifat radioaktif selamanya. Alternatif pembuangan di dasar laut bahkan di ruang angkasa kiranya masih sulit diterima oleh berbagai kalangan karena tetap akan membahayakan kelangsungan hidup manusia.

Alternatif ketiga dan yang dianggap paling aman adalah energi matahari atau tenaga surya. Yang dimaksud dengan tenaga (energi) surya adalah tenaga yang *berasal langsung* dari radiasi matahari, seperti halnya panas matahari, energi listrik yang dibangkitkan photovoltaic, serta jenis

tenaga yang terbentuk sebagai *akibat (efek) langsung atau tidak langsung dalam jangka yang relatif pendek* dari radiasi matahari, seperti halnya angin. Konversi dari tenaga surya menjadi tenaga listrik tidak akan menghasilkan polutan ataupun limbah. Tabel 1 memperlihatkan bentuk-bentuk tenaga surya. Dari tabel tersebut terlihat bahwa tenaga surya dapat berwujud panas matahari, angin, photovoltaic dan sebagainya.

Tenaga surya dapat dimanfaatkan secara pasif dan aktif. Dalam pemanfaatan tenaga surya secara aktif, dimana dilakukan konversi menjadi tenaga listrik, dikenal beberapa teknologi konversi. Secara teori teknologi konversi yang dapat digunakan untuk merubah tenaga surya menjadi tenaga listrik diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Pembangkit listrik tenaga surya - secara teori panas matahari digunakan untuk memanaskan benda cair yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin pembangkit listrik. Meskipun pada kenyataannya hal ini sangat sulit dilakukan mengingat jumlah panas yang diterima relatif sangat sedikit, efisiensi mesin rendah, serta banyaknya panas yang terbuang dalam proses.
2. Satelit pembangkit listrik tenaga matahari - dengan menggunakan satelit ruang angkasa (di luar atmosphere bumi) yang berupa panel solar sel raksasa dengan dimensi sekitar 10 km² untuk menangkap dan mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik yang kemudian ditransmisikan - setelah dirubah dahulu dengan konverter menjadi energi gelombang pendek - ke stasiun penerima di bumi yang berupa panel seluas 10 x 15 km [4]. Sistem ini diperkirakan akan menghasilkan sekitar 5 giga watt atau setara dengan lima stasiun pembangkit listrik raksasa di bumi.
3. Solar-sel (photovoltaic) yang ditempatkan di luar bangunan sebagai alat konversi gelombang radiasi matahari menjadi arus listrik.
4. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (wind-power), dimana tenaga angin digunakan untuk menggerakkan turbin pembangkit tenaga listrik.
5. Pembangkit Listrik Tenaga Air (hydro-power), umumnya digunakan pada bendungan atau air terjun, dimana tenaga gerak air digunakan sebagai pemutar turbin pembangkit listrik

Yang menjadi pertanyaan kemudian adalah, meskipun tergolong terbarukan dan tidak

menghasilkan polutan serta tidak berdampak negatif terhadap lingkungan maupun manusia, penggunaan energi surya cenderung terbatas pada keperluan sederhana sehari-hari secara tradisional, seperti halnya mengeringkan makanan dan pakaian. Salah satu alasan mengenai keterbatasan pemanfaatan energi ini sebagai penunjang aktifitas modern manusia - yang umumnya didominasi oleh peralatan listrik, dalam banyak hal disebabkan oleh mahalnya komponen untuk mengkonversikannya menjadi tenaga listrik.

Pada kasus photovoltaic misalnya, tingginya biaya untuk mengkonversikan energi surya menjadi energi listrik yang disebabkan oleh rendahnya efisiensi konverter tersebut (photovoltaic), mengakibatkan harga listrik persatuan unit (watt-jam) relatif tinggi dibanding harga photovoltaic yang terpasang. Secara teori, efisiensi photovoltaic untuk merubah energi surya menjadi listrik tidak akan lebih dari 21% [4]. Hal ini disebabkan karena tidak seluruh gelombang cahaya matahari dapat mengaktifkan elektron pada solar sel menjadi arus listrik. Hanya ada satu frekuensi cahaya matahari - cahaya infra merah (gelombang tidak tampak) yang jumlahnya sekitar 21% dari seluruh jenis gelombang (tampak dan tidak tampak) yang dipancarkan matahari ke bumi, yang mampu merubah elektron disekitar silikon menjadi arus listrik. Dengan efisinesi yang rendah menyebabkan harga per-satuan unit listrik tinggi, sehingga photovoltaic sulit bersaing dengan energi listrik yang bersumber dari bahan bakar konvensional (minyak bumi, batu bara dan gas).

Seandainya pada saat ini photovoltaic digunakan, umumnya hal tersebut disebabkan oleh: pertama, alasan lingkungan bagi mereka yang umumnya tinggal di negara maju, kedua, karena tidak tersedianya sumber energi listrik di suatu tempat tertentu di negara berkembang. Kemungkinan photovoltaic akan banyak digunakan dikemudian hari adalah saat cadangan minyak bumi menipis dan harga listrik konvensional ini melambung tinggi. Hal ini akan menyebabkan jenis energi ini sulit dijangkau oleh penduduk dunia. Atau, suhu udara bumi pada saatnya meningkat secara signifikan dimana asumsi bahwa minyak bumi sebagai sumber pemanasan bumi terbukti, maka alternatif penggunaan photovoltaic tidak dapat dihindarkan lagi.

Dari sekian kemungkinan pemanfaatan tenaga surya secara aktif (dikonversikan ke energi listrik), teknologi photovoltaic merupakan

yang paling populer digunakan dalam arsitektur. Tidak sedikit bangunan terutama di Eropa Barat yang memanfaatkan photovoltaic bagi kebutuhan - seluruh atau sebagian - energi listrik dalam bangunannya. Salah satu yang populer adalah Pavilion Inggris pada Expo tahun 1992 di kota Seville, Spanyol (akan dibicarakan kemudian pada bagian akhir dari makala ini). Sementara itu, di Indonesia, penggunaan photovoltaic bagi suplai energi listrik masih sangat sedikit. Penggunaannya terbatas pada daerah yang letaknya terpencil dan belum mendapat aliran listrik dari PLN. Salah satu institusi pemerintah yang pernah mencobakan teknologi ini adalah BPPT, dimana photovoltaic digunakan bagi kebutuhan penerangan di kawasan terpencil di Jawa Barat.

PEMANFAATAN TENAGA SURYA DALAM KAITANNYA DENGAN RANCANGAN ARSITEKTUR

Dari sekian banyak sasaran yang perlu dicapai oleh suatu karya arsitektur, dua diantaranya adalah, pertama, karya arsitektur harus mampu memenuhi kebutuhan kenyamanan, kedua karya arsitektur harus memiliki nilai estetika. Dalam pemenuhan kebutuhan terhadap kenyamanan, terlibat didalamnya beberapa aspek kenyamanan - spatial, visual, audial, dan termal. Kenyamanan spatial (ruang) berhubungan dengan persoalan antropometri tubuh manusia, ergonomi, organisasi ruang, sementara kenyamanan visual berkaitan dengan jumlah intensitas cahaya yang diperlukan manusia pada suatu tempat atau ruang bagi penunjang aktifitas tertentu, sedangkan kenyamanan audial berhubungan dengan intensitas suara yang diperlukan manusia agar tidak terlalu keras atau lunak atau menimbulkan cacat akustik. Sementara itu, kenyamanan thermal berhubungan dengan kebutuhan manusia akan lingkungan termal (kombinasi dari suhu udara, radiasi, aliran udara dan kelembaban udara) yang nyaman agar produktifitas kerja manusia optimal.

Sebagaimana telah diutarakan sebelumnya pemanfaatan tenaga surya dalam arsitektur dapat dilakukan dengan dua cara: pasif dan aktif. Pemanfaatan secara pasif dilakukan apabila tenaga surya tersebut tidak perlu dikonversikan terlebih dahulu menjadi tenaga listrik. Dalam pemanfaatan secara pasif ini termasuk juga didalamnya pemanasan ruang (memanfaatkan efek rumah kaca) bagi wilayah bersuhu udara

rendah, serta pemanasan air. Juga teknik-teknik untuk mencegah pemanasan udara dalam ruang pada bangunan di kawasan Tropis termasuk kedalam jenis pemanfaatan secara pasif, dimana komponen sinar matahari yang terdiri dari: cahaya dan panas, hanya dimanfaatkan pada komponen 'cahaya' nya - bagi kebutuhan penerangan alami dalam bangunan.

Strategi perancangan secara pasif ini akan sangat berbeda antara bangunan yang berada pada iklim Tropis dan iklim Sub Tropis/dingin. Pada iklim Tropis, radiasi langsung dari matahari cenderung dihindari oleh bangunan agar perolehan panas (*heat gain*) dalam bangunan menjadi rendah, sehingga peningkatan suhu udara dalam bangunan dapat dicegah. Sementara pada iklim Sub Tropis, strategi perancangan pasif merupakan langkah sebaliknya dari strategi pada iklim Tropis, dimana perolehan panas dari matahari cenderung dimaksimalkan (kecuali pada musim panas), melalui radiasi matahari langsung yang jatuh pada bangunan sehingga terjadi peningkatan suhu dalam bangunan, mengingat suhu udara di sekitarnya yang rendah.

Dalam memanfaatkan tenaga surya secara aktif dengan menggunakan photovoltaic, seharusnya secara simultan arsitek juga menerapkan strategi perancangan secara pasif. Tanpa penerapan strategi perancangan pasif, penggunaan energi dalam bangunan kemungkinan besar akan tetap tinggi apabila tingkat kenyamanan termal dan visual harus dicapai. Dalam situasi semacam ini, tenaga listrik yang berasal dari konversi tenaga surya oleh solar sel menjadi tidak terlalu banyak artinya. Dengan dimensi panel solar sel yang besar kebutuhan listrik bagi pencapaian kenyamanan termal dan visual pada bangunan sulit dipenuhi. Masih diperlukan energi listrik bagi mesin pendingin udara dengan kapasitas besar, karena suhu udara dalam bangunan yang tinggi, juga diperlukan energi listrik untuk lampu-lampu penerang dalam ruang bangunan yang gelap ketika strategi perancangan pasif yang mengarah pada penghematan energi tidak diterapkan. Peran tenaga surya untuk menggantikan tenaga listrik yang diperlukan bangunan guna mencapai kenyamanan (visual dan termal) akhirnya gagal karena bangunan tidak dirancang sedemikian rupa agar kenyamanan dicapai tanpa mengkonsumsi banyak energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh photovoltaic kemungkinan besar tidak akan memadai untuk mendinginkan dan menerangi bangunan. Dengan kata lain pertimbangan perancangan secara pasif untuk menekan penggunaan energi dalam bangunan dalam hal ini tidak dapat diabaikan.

Dalam perancangan pasif, sasaran karya arsitektur yang hendak dicapai - yaitu nyaman dan estetis, umumnya dilakukan secara integral. Setiap langkah dalam penyusunan komponen untuk membentuk selubung bangunan, secara simultan akan berakibat pada pencapaian kenyamanan dan estetika bangunan. Tidak demikian halnya pada perancangan aktif dimana panel-panel solar sel dapat disusun secara terpisah dengan penyusunan komponen selubung bangunan. Dengan kata lain, pencapaian estetika bangunan dalam perancangan aktif dapat dilakukan secara lebih fleksibel dan terpisah dengan strategi pencapaian kenyamanan, meskipun sebetulnya arsitek juga dituntut untuk berpikir komprehensif untuk mengintegrasikan kebutuhan kenyamanan dengan estetika - antara kebutuhan menggunakan panel solar sel dengan menempatkannya secara terintegrasi pada selubung bangunan agar panel-panel tersebut sekaligus dapat merupakan elemen estetika bangunan.

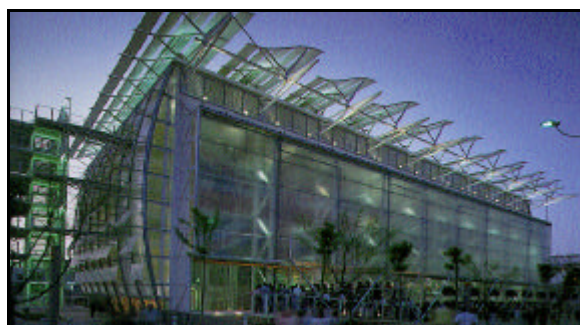
PENERAPAN PHOTOVOLTAIC PADA BANGUNAN

Bangunan Pavilion Inggris ini dirancang oleh arsitek Nicholas Grimshaw & partner pada kompleks Expo 1992 di kota Seville di Spanyol, sebagai perwujudan hasil sayembara tahun 1989 yang dimenangkan oleh arsitek tersebut.

Bangunan ini dirancang dengan pertimbangan iklim setempat dimana suhu udara musim panas saat dilangsungkan Expo ini dapat mencapai 45°C. Beberapa strategi rancangan yang digunakan untuk mengantisipasi kondisi udara ini adalah, pertama, menggunakan tabir air pada dinding timur yang berfungsi sebagai filter radiasi matahari pagi tanpa menghilangkan sama sekali penerangan yang diberikan oleh sinar pagi tersebut, disamping berfungsi sebagai pendingin bangunan. Tabir air yang dijatuhkan dari dinding bagian atas bangunan mengalir diseluruh dinding kaca sepanjang 65m ke kolam di dasar bangunan. Aliran air sebagai tabir dinding kaca ini berfungsi untuk pendinginan permukaan kaca itu sendiri serta menurunkan suhu lingkungan disekitar bangunan secara evaporatif (kelembaban udara pada kawasan ini relatif rendah sekitar 50 hingga 70%). Dinding kaca ini terbuat dari bahan yang 20% nya merupakan komponen keramik yang berfungsi untuk mengurangi panas matahari tanpa harus mengorbankan cahaya yang masuk dalam bangunan. Penggunaan tabir air pada dinding Timur ini mampu menurunkan

suhu di dalamnya hingga sekitar 10 derajat Celcius.

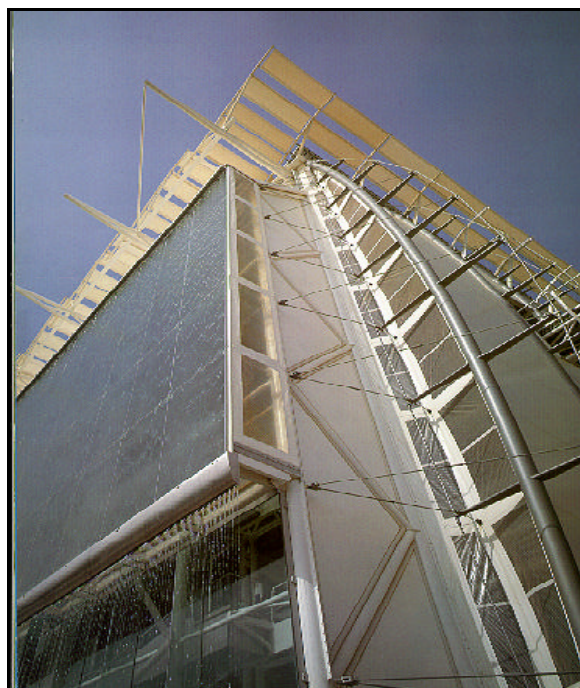
Pavilion Inggris pada Expo 1992 di Seville, Spanyol [5,6,7]



Gambar 1. Pavilion Inggris pada Expo 1992 di Seville, Spanyol

Dinding muka (Timur) diselubungi oleh tabir air, sementara panel-panel photovoltaic di atap diarahkan pada sisi Selatan-arah dimana radaisi matahari jatuh.

Pada dinding Selatan ini selimut termal diletakkan, untuk menahan radiasi matahari langsung.



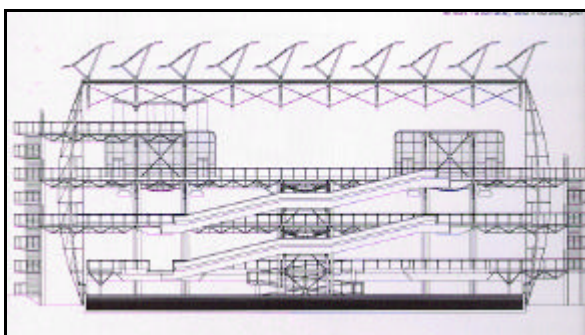
Gambar 2. Sisi Bagian Timur yang Diberi Tabir Air pada Dinding Kaca Mampu Menurunkan Suhu di dalamnya Hingga Sekitar 10° C

Sisi Barat dari dinding bangunan ini dilapis dengan kontainer-kontainer berisi air yang berfungsi sebagai penyerap panas matahari sore.

Panas yang diserap oleh kontainer berisi air ini akan menurunkan suhu udara pada siang dan sore hari, kemudian menghangatkan udara pada malam hari (dimana suhu udara luar pada malam hari cenderung rendah di bawah batas nyaman). Air panas atau hangat dalam kontainer ini juga dimanfaatkan bagi kebutuhan air panas di dalam bangunan.

Dinding bangunan pada sisi Selatan diberi lembaran yang semi transparan yang diperkuat dengan konstruksi baja, yang selain secara estetika ingin memberikan gambaran sebagai kapal (simbol kejayaan Inggris di laut), juga berfungsi untuk mengurangi radiasi panas dari sisi selatan, meskipun tetap memungkinkan cahaya matahari masuk kedalam bangunan. Sementara itu untuk perimbangan estetika, sisi utara yang tidak mendapat radiasi matahari langsung juga diselesaikan dengan bentuk yang serupa, meskipun detail konstruksinya berbeda karena pada sisi ini sangat sedikit menerima radiasi langsung matahari.

Sejumlah 1.040 panel solar sel yang menghasilkan 46kW daya listrik dan digunakan bagi keperluan pompa air diletakkan pada bagian atap bangunan membentuk semacam deretan layar kapal. Konstruksi panel solar sel ini diletakkan sedemikian rupa sehingga berfungsi sebagai pelindung (*shading*) atap dari radiasi matahari yang jatuh dari sisi Selatan. Bangunan pavilion Inggris ini menggunakan energi listrik sekitar 24% lebih rendah dari energi yang seharusnya digunakan pada bangunan berpendingin udara umumnya yang dirancang secara konvensional.



Gambar 3. Potongan Memanjang Bangunan. Sejumlah 1.040 Panel Solar Sel Diletakkan Pada Bagian Atap Bangunan Menghasilkan 46kW Listrik Turut Menyumbang Penghematan Energi Dalam Bangunan Sekitar 24%

DAFTAR PUSTAKA

- Smyth, A and Wheater, C, *Here's Health The Green Guide*, Argus Book, England, 1990.
- Woodwell, GM, *The Carbon Dioxide Question, in Energy and Environment*, WH Freeman and Co, USA, 1978.
- Karyono, TH (1989), *Solar Energy and Architecture: A Study of Passive Solar Design for Hospital Wards in Indonesia*, MA Thesis, Univ. of York, UK, based on Kreider, F. and Kreith, F. (1982), *Solar Heating and Cooling: Active and Passive Design*, Hemisphere Publishing Corp., 2nd ed, USA.
- Ramage, J, *Energy A Guidebook*, Oxford University Press, UK, 1989.
- Leslie, R (1992), *Expo '92 Secrets of Seville, Roofing Magazine*, UK, June, 1992.
- Bid to bring UK pavilion home, *Architects' Journal*, UK, 24 June 1992, p.5.
- Meyhofer, D, *Contemporary European Architects 2*, Taschen, Hamburg, 1995.