

DISAIN TEKNOLOGI SURYA SEBAGAI “*FORM-GIVER*” PADA ARSITEKTUR Implementasi Bangunan Perumahan di Indonesia

Jimmy Priatman

Staf Pengajar Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Arsitektur – Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

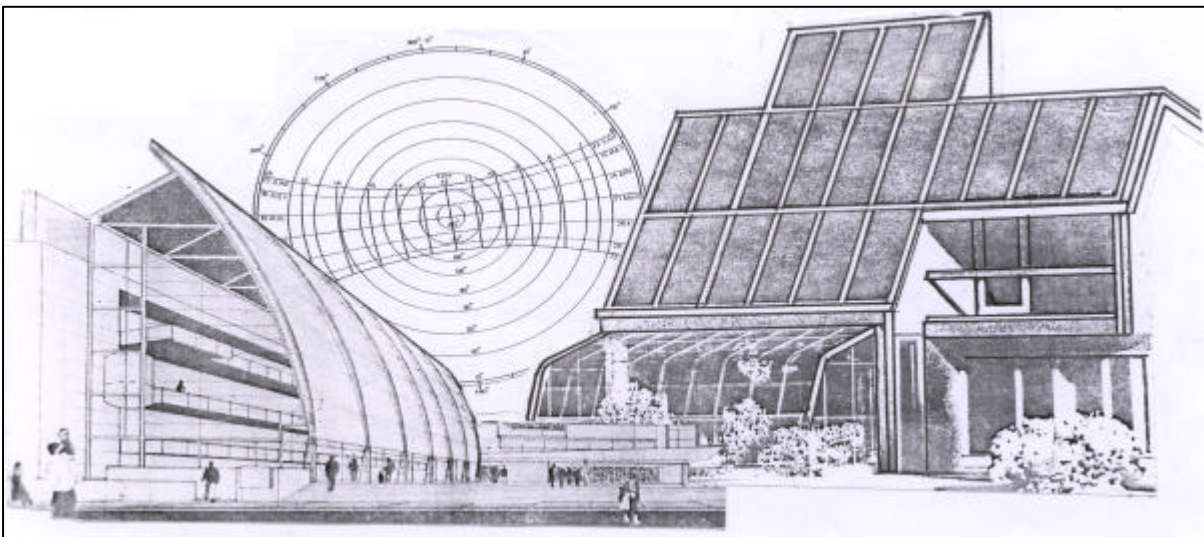
Sebagai suatu negara yang terletak disabuk khatulistiwa, Indonesia menerima radiasi matahari yang melimpah sepanjang tahun. Meskipun iklimnya mempunyai kelembaban tinggi yang disebabkan karena letaknya sebagai negara kepulauan dengan kandungan uap air tinggi di atmosfernya, radiasi langsung maupun diffus yang diterima pada bangunan memungkinkan penggunaannya untuk pendinginan/pemanasan ruang maupun penyediaan air panas domestik. Potensi matahari disini tidak hanya sebagai sumber energi, tetapi juga suatu kesempatan untuk menghadirkan matahari sebagai elemen dominan dalam kehidupan kita. Matahari menyediakan penerangan alami dan energi panas. Bangunan yang dapat merespons keduanya dan memanfaatkannya untuk pendinginan maupun pemanasan ruang dapat menuntun kesuatu generasi bangunan/perumahan yang selaras dengan lingkungan dan penghuninya, dan pada saat yang sama mengakhiri suatu era pemborosan energi. Paper ini mengemukakan faktor faktor penentu disain sistem surya yang mempengaruhi disain arsitektur yang akan membentuk suatu langgam arsitektur baru yang dinamakan “arsitektur surya”.

Kata kunci: Disain Teknologi Surya, Arsitektur Surya.

ABSTRACT

As a country lies within the equatorial belt, Indonesia receives abundant incoming solar radiation (insolation) throughout the year. Although the climate has high humidity due to its existence as archipelago with high vapour content of the atmosphere, the radiation reaching the building (direct or diffuse but strong) enables its widespread use for cooling and heating of the building (in some places) as well as domestic water heating. The potency is not only as a energy source, but also as an opportunity to introduce the sun as a dominant element in our lives. The sun provides sunshine as well as solar energy. Dwellings which are responsive to both with the use of solar energy to cool and heat can lead to a generation of buildings/dwellings in harmony with their environment and their occupants, and at the same time to terminate an era of energy waste. This paper presents solar design determinants influencing architectural design to form a new architectural style called “solar architecture”.

Keywords: Solar Dwelling Design, Solar Architecture.



ASPEK SAINS ENERGI SURYA PADA BANGUNAN

Energi surya mencapai permukaan bumi secara langsung (berkas sinar paralel) maupun secara tidak langsung (radiasi diffus) berupa pantulan dari awan maupun atmosfer. Bangunan menerima radiasi matahari langsung maupun difus ditambah dengan cahaya pantulan dari permukaan tanah maupun dari bangunan sekitarnya.

Fungsi utama dari suatu sistem energi surya adalah konversi radiasi matahari (berupa infra merah dalam spektrum cahaya) yang terpancar dalam bentuk energi termal menjadi energi terpakai. Pada dasarnya terdapat empat cara dimana bangunan dapat memanfaatkan energi surya :

1. Matahari ke Ruang Penerima
2. Matahari ke Massa Bangunan
3. Matahari ke Kolektor Surya - ke Penyimpan Termal - ke Ruang Penerima
4. Matahari ke Sel Surya—ke Penyimpan Listrik—Ke Peralatan mekanikal.

Cara pertama dan kedua disebut **sistem surya pasif** , sedangkan cara ketiga dan keempat disebut **sistem surya aktif**. Khususnya cara ketiga disebut **sistem Thermo-Siphoning** (*thermo-syphoning system*), sedangkan cara keempat dikenal sebagai **sistem Foto Voltaik** (*photo-voltaic system*). Dalam paper ini yang dimaksud dengan "teknologi surya" adalah sistem surya aktif dan khususnya mengacu pada sistem *thermo-syphoning*. Terdapat kemungkinan kombinasi diantara sistem aktif dan pasif yang umumnya disebut **sistem hibrida** (*hybrid system*).

Sistem surya aktif mengumpulkan energi surya untuk menghasilkan air panas dalam temperatur berkisar 30⁰C - 85⁰C dan menggunakan peralatan mekanikal untuk mengirim panas dari lokasi pengumpulan ke lokasi dimana panas akan digunakan langsung maupun disimpan. Sistem surya aktif dapat di aplikasikan baik untuk skala bangunan perumahan maupun bangunan komersial. Pada skala bangunan perumahan, sistem surya aktif akan menjadi sistem utama, sedangkan pada bangunan komersial, sistem surya aktif merupakan penunjang sistem mekanikal lainnya yang lebih besar.

Penggunaan sistem surya aktif dalam bangunan meliputi:

1. Penyediaan air panas (*domestic Water Heating*)
2. Pemanasan dan pendinginan ruang (*space heating and cooling*).

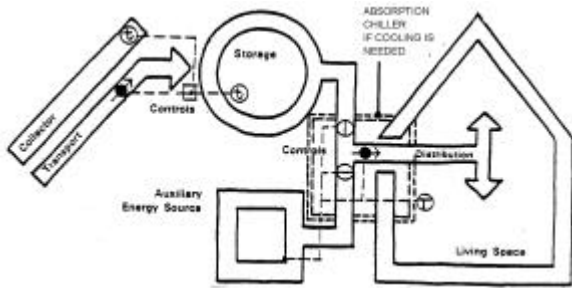
Faktor signifikan yang mempengaruhi sistem surya aktif adalah penentuan temperatur yang dibutuhkan. Pemanasan ruang membutuhkan temperatur lebih rendah dari pemanasan air domestik, sedangkan pendinginan ruang memerlukan temperatur lebih rendah dari proses pemanasan air untuk keperluan industri. Hal ini akan menentukan keputusan keputusan disain dalam skala yang luas, seperti tipe kolektor yang dipakai, luas kolektor yang memadai, jumlah insulasi, volume dan laju aliran air, besarnya reservoir air panas, dan sebagainya.

ASPEK TEKNOLOGI SISTIM SURYA AKTIF

Meliputi beberapa faktor yang menentukan kinerja sistim:

Komponen Sistim Surya Aktif:

1. **Kolektor Surya:** Mengubah radiasi matahari menjadi panas yang terpakai secara penyerapan pada permukaan tertentu.
2. **Penyimpan Panas:** Menyimpan energi panas dalam kapasitas tertentu sebagai cadangan dalam waktu waktu dimana tidak ada matahari (reservoir)
3. **Distribusi:** Menerima energi panas dari penyimpan panas dan menyalurkannya pada ruang dan tempat yang memerlukannya
4. **Transport:** Memindahkan cairan panas dari kolektor ke reservoir dan mengatur laju dan volume aliran dari kolektor ke reservoir
5. **Energi Penunjang:** Menyediakan energi cadangan untuk dipergunakan dalam keadaan kondisi cuaca yang kritis bagi pengumpulan energi surya
6. **Kontrol Elektrik:** Memantau fungsi fungsi komponen yang diperlukan untuk menjamin kelangsungan kinerja sistem melalui suatu metode yang diinginkan.



Sumber: Solar Dwelling Design Concepts, p. 18

Gambar 1. Diagram Sistim Surya Aktif

Kolektor Sistim Surya Aktif

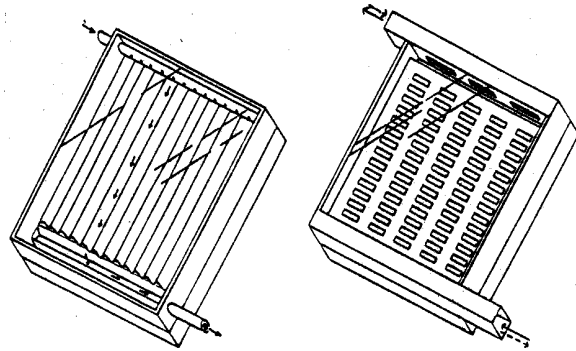
Tipe-tipe kolektor yang digunakan:

1. Kolektor Datar (Non-focusing Collector)

Energi termal yang terserap ditransmisikan melalui suatu media penghantar panas, biasanya gas atau cairan didalam kolektor dan dimanfaatkan. Pada umumnya kolektor menggunakan penutup transparan (kaca/plastik) dengan transmitansi tinggi untuk gelombang pendek dan absorptansi tinggi untuk gelombang panjang sinar matahari. Pada dasar kolektor ditempatkan material penyerap efektif untuk radiasi matahari tetapi bersifat emitansi rendah serta konduktivitas termal yang tinggi untuk menghasilkan panas ke cairan atau gas dan diberi coating berwarna gelap. Kolektor datar pada dasarnya terdapat beberapa tipe, antara lain Open Water Collector, Air-Cooled Collector dan Liquid-Cooled Collector. Untuk meningkatkan kinerja kolektor datar ini dapat dipergunakan Tracking Collector dengan sudut kemiringan yang bisa diatur dan kolektor datar efisiensi tinggi dapat menghasilkan temperatur sampai 121 °C.

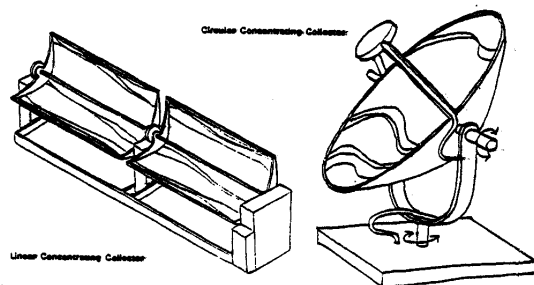
2. Kolektor Fokus (Concentrating Collector)

Kolektor fokus dibedakan antara *Linear Concentrating Collector* dan *Circular Cocentrating Collector* (gambar 2 dan 3). Umumnya kolektor fokus mempunyai kinerja lebih baik dari kolektor datar biasa dan mampu menghasilkan temperatur titik didih atau lebih (> 100 °C).



Sumber: Solar Dwelling Design Concepts, 20

Gambar 2. Tipe-Tipe Kolektor Surya Datar

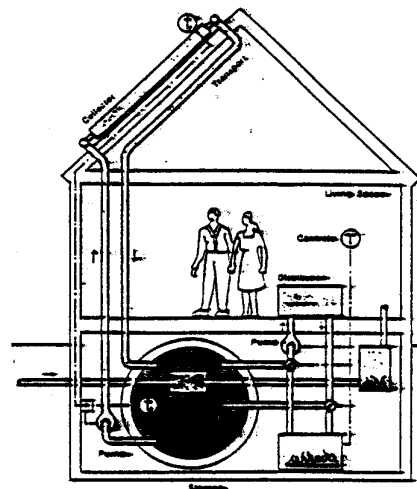


Sumber: Solar Dwelling Design Concepts, 20

Gambar 3. Tipe-Tipe Kolektor Surya Fokus

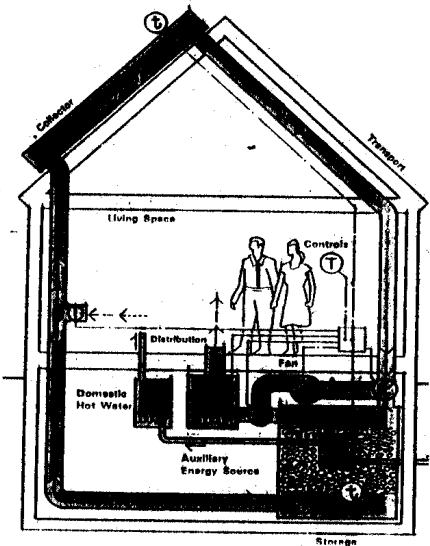
Metode Operasional Sistem Surya Aktif :

1. **Sistem Air Panas Kolektor Datar:** Untuk. Pemanasan Ruang dan Air Panas
2. **Sistem Udara Panas Kolektor Datar:** Untuk. Pemanasan Ruang dan Air Panas.
3. **Sistem Air Panas Kolektor Fokus:** Untuk. Pemanasan Ruang dan Air Panas
4. **Sistem Heat Pump:** Untuk. Pemanasan/ Pendinginan Ruang dan Air Panas
5. **Sistem Absorption:** Untuk. Pendinginan Ruang dan Air Panas



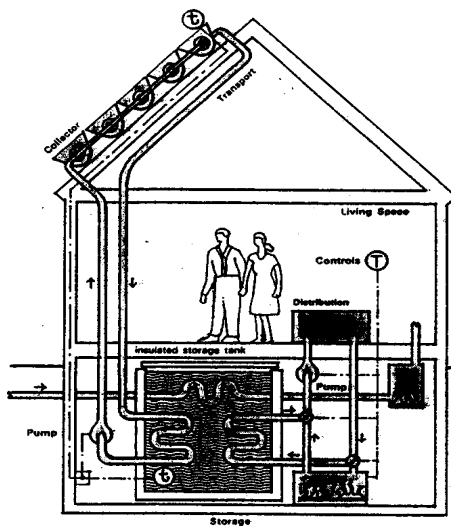
Sumber: Solar Dwelling Design Concepts, p. 33.

Gambar 4. Sistim Air Panas Kolektor Datar



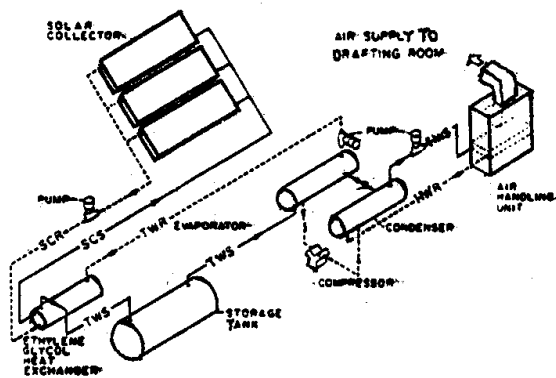
Sumber: Solar Dwelling Design Concepts, p. 34

Gambar 5. Sistem Udara Panas Kolektor Datar



Sumber: Solar Dwelling Design Concepts, p. 35.

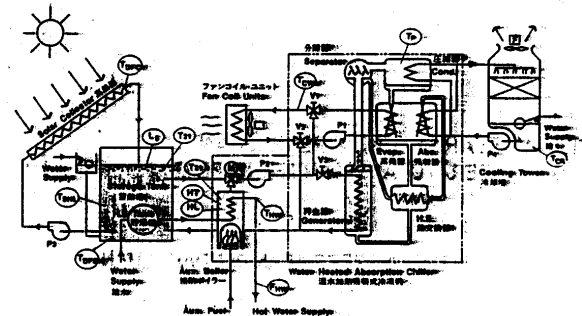
Gambar 6. Sistem Air Panas Kolektor Fokus



Schematic of solar heating with heat pump

Sumber: Architectural Record, 1975 p. 133

Gambar 7. Sistem Heat Pump



Sumber: Process Architecture Vol. 6, 1978, p.170

Gambar 8. Sistem Absorption

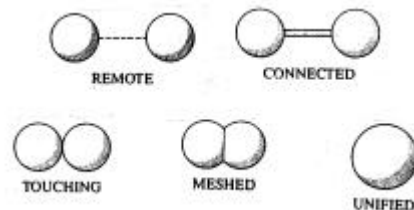
TINGKAT INTEGRASI DALAM BANGUNAN

Sistem sistem pada bangunan dapat dikombinasikan dengan beberapa cara. Lima tahap integrasi berikut ini merupakan suatu jalinan interaksi dan model konseptual untuk memahami bagaimana proses integrasi dapat terjadi.

Tingkat tingkat integrasi diantara sistem sistem pada bangunan adalah:

1. **Remote (berpengaruh):** Sistem sistem secara fisik terpisah satu dengan yang lain namun tetap terkoordinir secara fungsionalnya
2. **Touching (bersentuhan):** Salah satu sistem bertumpu pada sistem lainnya dan tetap dalam keadaan demikian karena gravitasi.
3. **Connected (berhubungan):** Sistem sistem secara fisik berhubungan satu dengan lainnya dengan paku, angker, penggantung maupun adesif (perekat) permanen.
4. **Meshed (bertautan):** Sebagian sistem sistem menempati ruang yang sama namun karakteristik masing masing sistem masih terlihat.
5. **Unified (bersatu):** Sistem sistem melebur menjadi suatu kesatuan sehingga setiap sistem mempunyai karakteristik bentuk fisik dari sistem lainnya dan tiada lagi perbedaan diantara sistem sistem itu.

Dalam konteks integrasi ini sistem surya aktif merupakan sistem mekanikal



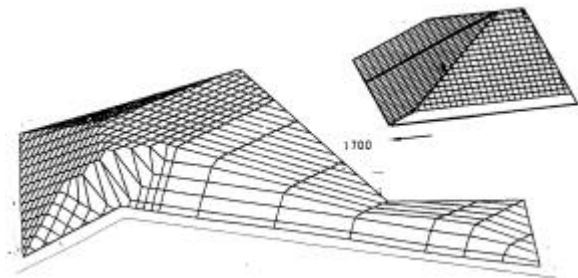
Sumber: The Building Systems Integration Handbook, p.320

Gambar 9. Konsep Tingkat Integrasi

ELEMEN DISAIN ARSITEKTUR DALAM DISAIN TEKNOLOGI SURYA

Elemen disain arsitektur yang mempunyai implikasi langsung dengan disain teknologi surya meliputi beberapa hal :

1. **Akses Matahari dalam Tapak (solar-access):** Pengaturan bangunan dalam perencanaan tapak dalam konteks sistem surya aktif harus menjamin pencapaian sinar matahari kebidang kolektor pada bangunan. Perancangan tapak dengan sasaran menjamin akses surya yang tidak terhalang dan menghindari pembayangan sekitar (overshadowing) mempertimbangkan faktor faktor signifikan yaitu lokasi tapak, karakteristik bentuk tapak dan metabolisme. Metoda dan teknik Solar Envelope yang dikemukakan oleh Prof. Ralph Knowles (Univ. of Southern California) dapat digunakan untuk membentuk batas batas volumetrik imajiner bangunan yang tidak menimbulkan pembayangan disekitarnya pada suatu waktu tertentu dimana solar envelope ini pada hakekatnya merupakan deskripsi sintesa waktu dan ruang bagi tapak tertentu.



Sumber: Sun Rhythm Form, p. 78

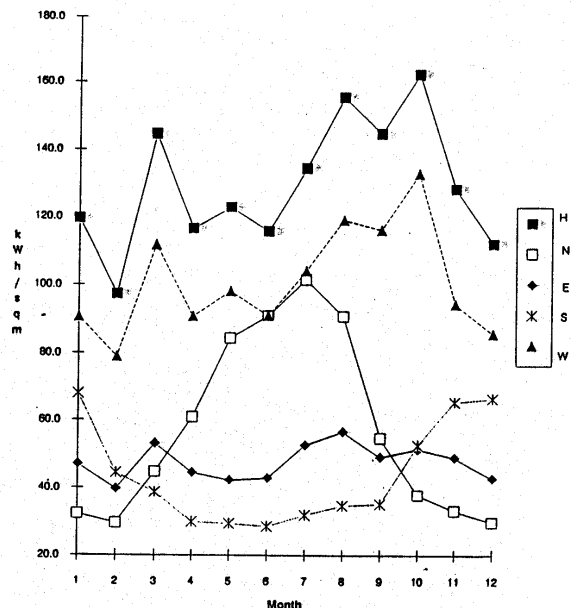
Gambar 10. Solar Envelope untuk Tapak yang Tidak Beraturan.

2. **Lokasi:** Pada dasarnya terdapat tiga lokasi penempatan sistem surya aktif, yaitu penempatan terpisah dari bangunan (tetapi dalam satu tapak), penempatan yang menempel pada bangunan dan penempatan yang terpadu dalam bangunan. Pemilihan penempatan yang tepat tergantung dari beberapa pertimbangan, misalnya tipe dan ukuran kolektor, kondisi tapak dan cuaca, struktur bangunan yang ada dan sebagainya. Dalam paper ini dibahas penempatan yang terpadu dalam bangunan.
3. **Orientasi:** Orientasi kolektor surya atau arah hadap kolektor surya merupakan faktor yang kritis karena harus diusahakan penangkapan sinar matahari yang maksimum untuk mem-

peroleh temperatur akhir air/udara yang sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Kolektor stationer membutuhkan pertimbangan yang seksama mengingat arah lintasan matahari yang berbeda beda menurut waktu (tahun,bulan,hari) maupun tempat (lokasi geografis) dimana kolektor itu digunakan. Sedangkan kolektor jejak (tracking collector) lebih fleksibel karena mampu mengikuti gerakan lintasan matahari setiap saat.

Orientasi kolektor stasioner di Indonesia dalam region tropika dapat mengacu pada besarnya intensitas matahari yang diterima persatuan luas (kwh/M²-solar insolation) untuk arah hadap horisontal-utara-selatan-timur-barat berdasarkan penelitian Prof. DR. Ir. Sugianto untuk lokasi Jakarta.

Di Indonesia (Jakarta, 6° Lintang selatan), urutan arah hadap yang optimum sepanjang tahun adalah arah horisontal-barat-utara-timur-selatan. Dalam hal kolektor surya merupakan elemen atap /dinding, arah hadap yang optimum adalah barat-timur (Priatman, Pusat Riset Energi Surya,UKP 1980).



Sumber: Policy Analysis Process, p.14

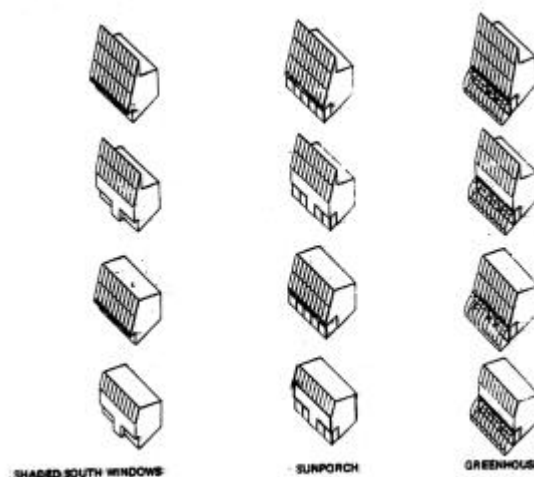
Gambar 11. Total Solar Insolation Jakarta

4. **Volume Massa Bangunan:** Efek bentuk dan komposisi volumetrik massa bangunan terhadap penambahan panas (solar heat gain) maupun kehilangan panas (heat loss) dalam proses pendinginan/pemanasan ruang merupakan fungsi dari eksposur luas permukaan selubung bangunan terhadap temperatur luar, temperatur matah (sol-air temperature)

maupun kondisi aliran udara. Semakin besar luas permukaan selubung bangunan persatuan volume massa, semakin besar pula proses penambahan/kehilangan panas yang terjadi. Dalam penggunaan sistem surya aktif untuk tujuan pendinginan/pemanasan ruang, massa yang kompak (compactness- volume maksimum, luas permukaan minimum) perlu diusahakan untuk mencapai kinerja sistem secara maksimum.

5. **Bentuk Fasade Bangunan :** Dalam konteks integrasi sistem surya aktif dalam arsitektur, fasade bangunan (selubung bangunan) merupakan elemen arsitektur yang paling potensif bagi penempatan kolektor surya baik pada bidang atap maupun bidang dinding. Penempatan kolektor surya sebagai bidang atap sangat dipengaruhi oleh tipe kolektor surya, luas bidang kolektor, sudut kemiringan bidang kolektor, sedang penempatan kolektor sebagai bidang dinding hanya ditentukan oleh tipe kolektor surya dan luas bidang kolektor. Luas bidang kolektor tergantung dari tujuan kebutuhan penggunaan maupun efisiensi kolektor dalam mengubah panas yang diterima menjadi panas yang terpakai. Studi yang dilakukan Donald Watson untuk American Timber Homes , menunjukkan kebutuhan luas kolektor surya (kolektor datar) untuk penyediaan air panas domestik maupun pemanasan ruang berkisar antara 20%-60% luas ruang yang dilayani. Sedangkan penelitian Frank Bridgers dan Prof. Stanley Gilman (Penn State University) mengindikasikan bahwa luas bidang kolektor untuk pendinginan ruang adalah tiga kali lipat luas kolektor untuk pemanasan ruang dengan luas yang sama.

Sudut kemiringan kolektor dimaksudkan untuk mencari sudut penerimaan matahari yang optimum bagi kolektor datar stasioner. Apabila kolektor surya berfungsi sebagai atap, maka selain sudut penerimaan matahari, juga diperlukan sudut kemiringan minimum bagi atap didaerah tropis lembab dengan curah hujan yang tinggi , dimana penggunaan atap datar (dibawah atau sama dengan 10^0) tidak dianjurkan. Untuk di Indonesia sudut kemiringan kolektor sebagai atap dengan orientasi barat-timur kurang lebih adalah 30^0 (Priatman, Pusat Riset Energi Surya, UKP 1980).

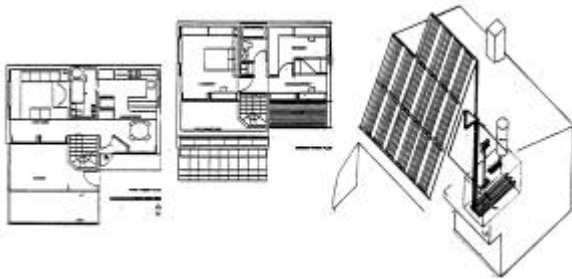


Sumber: Process Architecture Vol. 21 .p. 92

Gambar 12. Packaged Solar House

6. **Komponen Bangunan Lain:** Meliputi komponen bangunan lain diluar bidang dinding external dan atap. Komponen komponen bangunan ini dapat merupakan media pengumpul panas secara teknik pasif. Termasuk dalam lingkup ini adalah basemen, lantai, *attic*, *green house/conservatory*, dinding dalam (*thrombe-wall*), langit langit (*roof pond*), jendela kaca (*window to floor ratio*, *window to wall ratio*), aksesori bangunan (aquarium, kolam, patio), penangkal matahari (*sun-shading*) dan sebagainya.
7. **Denah Bangunan:** Ruang ruang privat dalam rumah tinggal dipengaruhi oleh kondisi lingkungan luar menurut orientasi dan eksposur (arah hadap)nya, fungsi ruang dan pola hidup penghuni, sumber panas, pertukaran panas diantara ruang ruang, dan karakteristik peralatan pendingin/pemanas. Termasuk dalam lingkup ini pula adalah bentuk geometris ruang, *window to floor area ratio*, *thermal zoning* dimana kebutuhan disain akan kenyamanan penghuni memerlukan perhatian yang seksama.
8. **Ketinggian Bangunan/Tingkat Bangunan/Banyaknya Lantai:** Elemen sistem surya aktif yang menentukan ketinggian bangunan adalah tipe kolektor surya dalam hubungannya untuk menghindari pembayangan dari bangunan tetangga lainnya. Faktor lainnya adalah luas bidang kolektor yang memerlukan luas bidang dinding dan atap yang memadai, ukuran tanki reservoir yang dipersyaratkan sedekat mungkin dengan bidang kolektor, tipe dan metode distribusi air panas atau udara dingin yang memanfaatkan shaft vertikal berdasarkan gravitasi maupun kemungkinan

penggunaan cerobong surya untuk mendorong laju ventilasi vertikal dan meningkatkan penerangan alami bagi ruang dalam.



Sumber: Solar Energy and Housing Design, p. 75

Gambar 13. Denah dan Ketinggian Bangunan

INTEGRASI SISTEM SURYA AKTIF DALAM DISAIN ARSITEKTUR

Integrasi sistem surya aktif (teknologi surya) dalam arsitektur merupakan kriteria utama dalam membentuk arsitektur surya, dimana pada hakekatnya sistem surya aktif ini berperan sebagai *“form-giver/form generator”* bagi tipologi arsitektur ini. Implikasi komponen dominan sistem surya aktif dalam disain arsitektur ini meliputi kolektor surya, reservoir termal (penyimpan panas) dan distribusi. Berikut ini adalah matrik yang me representasikan inter relasi antar sistem surya aktif dengan elemen arsitektur dengan tingkat integrasi yang dimungkinkan (tabel 1).

Tabel 1. Matriks Integrasi Sistem Surya Aktif dengan Elemen Arsitektur

KOMPONEN SISTEM SURYA AKTIF		TINGKAT INTEGRASI	ELEMEN ARSITEKTUR
KOLEKTOR SURYA	Tipe tipe Kolektor	R-C-T-M-U	Site Planning (solar access)
	Luas Kolektor		Lokasi pada Tapak
	Kemiringan Kolektor		Lokasi pada Bangunan
RESERVOIR TERMAL	Tipe-tipe Reservoir		Orientasi Atap Bangunan
	Ukuran Reservoir		Orientasi Dinding Bangunan
SISTEM DISTRIBUSI	Tipe-tipe Distribusi		Bentuk Massa Bangunan (V)
	Ukuran Sistem Distribusi		Bentuk Fasade Bangunan (S)
	Metode Distribusi		Komponen Bangunan Lain
			Tinggi Bangunan

ARSITEKTUR SURYA SEBAGAI MANIFESTO DISAIN SADAR ENERGI

Para pelopor dalam disain sadar energi (energy-conscious design) mungkin mengalami bahwa sebagian besar para perancang lainnya mengingatkan mereka untuk menghentikan proses *“trial and error”* untuk mendapatkan bangunan yang hemat energi, meskipun demikian paradigma baru selalu akan muncul menggantikan pemikiran pemikiran lama. Setiap disain sadar energi ibaratnya dimulai dengan suatu sentuhan ringan pada sakelar dari jaringan syaraf otak yang merubah posisi netral menjadi *“on”*. Dan itu akan terus menyala sampai para perancang terbiasa dengan teknologi, dan memang, kenyamanan adalah asimilasi dari suatu instrumen sampai ia larut dalam pemakaian yang rutin.

Energi bukanlah hanya ekspresi samar samar tentang kehidupan, ia adalah kenyataan hidup, seperti halnya dengan gravitasi maupun friksi. Arsitektur merupakan ekspresi dari kehidupan. Energi diarahkan dan dikendalikan dengan pengaturan bangunan bangunan buatan, seperti angin melalui sebuah seruling. Suatu bangunan seharusnya tidak dimulai dengan disain sadar energi, atau berakhir disana. Kesadaran penggunaan energi secara tepat sebenarnya merupakan suatu jembatan selagi merancang bangunan. Titik awal suatu bangunan adalah *“tempat bernaung (shelter)”*, dan destinasinya adalah suatu inspirasi tentang tempat dengan fungsi tertentu. Adalah cara menggunakan bangunan yang selaras dengan alam yang nantinya akan menghasilkan bentuk yang original.

Konservasi energi adalah sebagian dari fungsi bangunan dan ia mempengaruhi bentuk bangunan. Teknologi energi tidak berupaya menemukan suatu tempat dalam arsitektur, sebaliknya, arsitektur harus berupaya merengkuhnya. Vokabulari bangunan formal tidak banyak berkurang ketika ia bertambah dengan masukan masukan baru. Konfigurasi atap gergaji sebagai perletakkan kolektor, dinding termal masif (thrombe wall), sistem insulasi material baru, strategi penerangan alami dan komposisi kolektor kolektor surya sebagai elemen elemen arsitektur merupakan suatu pemikiran baru. Sekalipun demikian vokabulari bukanlah satu satunya pembentuk kalimat. Pekerjaan yang dilakukan dalam satu kalimat belumlah selesai sampai kalimat tersebut menyatakan suatu idea. Tatanan elemen arsitektur dengan penempatan

tertentu tidak saja menurut kepentingan fungsi ruang konvensional, tetapi juga dengan kapasitas baru sebagai fungsi penyimpan termal dan pembangkit lingkungan penerangan alami (luminous environment). Suatu situs baru perlu dipersiapkan bagi lahan energi didalam dunia arsitektur dengan label arsitektur surya.

Masih banyak terdapat bangunan bangunan maupun karya arsitektur yang memboroskan energi minyak yang tidak dapat diperbarui. Masih banyak pula para perancang yang bersikap apatis dan mengabaikan kehadiran disain hemat energi dan memandangnya sebagai suatu tren mode yang segera berlalu. Bagi mereka dunia baru masihlah tetap rata, dan mereka perlu berhati hati agar jangan sampai pada saatnya nanti mereka tergelincir dipinggir dunianya !

DAFTAR PUSTAKA

- The AIA Research Corporation, *Solar Dwelling Design Concepts*, The US Dept. of Housing and Urban Development, Office of Policy Dev. And Research, 1976.
- Behling, Sophia and Stefan, *Sol Power: The Evolution of Solar Architecture*, Prestel-Verlag, Munich 1996.
- Daniels, Klaus, *The Technology of Ecological Building*, Birkhauser-Verlag, Berlin 1997.
- Knowles, Ralph L., *Sun Rhythm Form*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1981.
- Lebens, Ralph M., *Passive Solar Architecture in Europe*, The Architectural Press, London, 1981.
- Moore, Fuller, *Environmental Control Systems*, McGraw-Hill, Inc. 1993.
- Oppenheim, David, *Small Solar Buildings*, The Architectural Press Ltd, London, 1981.
- Pijawka, K. David and Shetter, Kim, *The Environment Comes Home*, The University of Arizona Press, 1995.
- Prentis, John, *Energy Book 2*, Running Press, 1977.
- Priatman, Jimmy, *Pusat Riset Energi Surya di Surabaya*, Proyek Akhir Arsitektur Fakultas Teknik Arsitektur Universitas Kristen Petra, Surabaya 1981.
- Process Architecture* Vol. 6, Solar Architecture, Process Architecture Publishing Co., 1978
- Process Architecture* Vol. 21, *Solar and Underground Houses*, Process Architecture Publishing Co., Ltd. 1981.
- Process Architecture* Vol. 98, *Passive and Low Energy Architecture*, Process Architecture Publishing Co., Ltd. 1991.
- Rush, Richard D., *The Building Systems Integration Handbook*, Butterworth-Heinemann, 1986.
- Strong, Steven J. and Scheller, William G., *The Solar Electric House*, Sustainability Press, 1993.
- Szokolay, S.V., *World Solar Architecture*, The Architectural Press Ltd, London, 1980.
- Watson, Donald, *The Energy Design Handbook*, The AIA Press, Washington, 1993.