
STRATEGI KELESTARIAN DALAM BANGUNAN TINGGI

¹Nor Afifah Husen, ¹Ismar MS. Usman, ¹Mohd Khairul Azhar Mat Sulaiman, ²M.F. Bukhori

¹ Program Senibina

Pusat Senibina dan Alam Bina Inovatif SErAMBI,
Fakulti Kejuruteraan dan Senibina,

² Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan dan Senibina,

Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 Bangi, Selangor, Malaysia.

ABSTRAK

Penulisan ini akan memfokuskan perbincangan berkenaan strategi yang perlu diambil kira dalam merekabentuk sebuah bangunan pencakar langit yang berpandukan senibina lestari. Ini menunjukkan bagaimana perpindahan teknologi di dalam area pembinaan telah diguna pakai dalam sistem bangunan pencakar langit untuk mencapai prestasi terbaik. Ini kerana proses merekabentuk bangunan tinggi melibatkan pelbagai bidang termasuklah komponen senibina, struktur, dan sistem HVAC (heat, ventilation and air conditioning). Beberapa contoh bangunan generasi baru yang menitikberatkan kelestarian dalam bangunan dijadikan sebagai rujukan kajian kes. Kajian ini telah menyimpulkan bahawa bangunan tinggi akan menggunakan tenaga yang tinggi, golongan pereka pada generasi akan datang akan beralih kepada strategi rekabentuk "tenaga sifar" secara berperingkat. Dalam pendekatan ini, iklim setempat menjadi salah satu daripada kelebihan untuk rekabentuk bangunan yang menjadikan bangunan itu sendiri sebagai sumber tenaga. Tidak mustahil pada satu masa nanti, bangunan tinggi akan menghasilkan tenaga tambahan yang boleh dijual kepada pusat janakuasa bandar.

Kata kunci: *Senibina lestari, bangunan tinggi*

PENGENALAN

Bangunan pencakar langit merupakan bangunan yang mempunyai tapak perletakkan yang kecil, keluasan bumbung yang kecil, dan mempunyai fasad yang tinggi. Ianya memerlukan sistem kejuruteraan yang istimewa kesan daripada ketinggian (Scoot, 1998). Pencakar langit merupakan produk daripada revolusi masa dan penyelesaian sementara untuk permasalahan yang dihadapi di sesuatu kawasan (Ibrahim, 2007). Masa kini, negara membangun telah menjadi pusat perkembangan untuk pertumbuhan bangunan pencakar langit. Sebagai contoh Negara Jepun yang mempunyai permasalahan dalam penggunaan tanah yang terhad dan memerlukan penyelesaian dalam menampung keperluan keselesaan rakyatnya (Ibrahim, 2007).

Bangunan lestari pula boleh didefinisikan sebagai tindak balas kepada rekabentuk, pelaksanaan, operasi dan membina semula bangunan berdasarkan keadaan persekitaran, batas ekonomi, aspek sosial dan kecekapan tenaga. Ianya adalah kesedaran persekitaran, penjimatan tenaga memanfaatkan bahan-bahan yang bersifat responsive dan boleh diguna semula (Newman,2001). Dalam konteks Malaysia, Malaysia Green Building Confederation (MGBC) telah

menyusun beberapa langkah pelaksanaan kelestarian bangunan yang dikenali sebagai GBI (Green Building Indeks) yang memainkan peranan sebagai sistem perkadaran (rating system). Untuk mencapai pengiktirafan sijil platinum, emas dan perak, bangunan yang dibina haruslah mencapai minimum markah bagi setiap peringkat. Kesedaran dalam pelestarian bangunan bergantung bermula apabila pengguna mula sedar akan kepentingan kelestarian sesebuah bangunan. Seorang profesor falsafah dari Universiti Kopenhagen, Denmark, JJA Worsaae pada abad ke-19 mengatakan, "bangsa yang hebat adalah bangsa yang bukan hanya melihat masa kini dan masa mendatang, tetapi yang mahu berpaling ke masa lampau untuk merenung semula perjalanan yang dilaluinya. Ini turut diperkatakan oleh ahli falsafah Aguste Comte dalam prinsipnya " *Savoir Pour Prevoir*", yang bermaksud mempelajari masa lalu, melihat masa kini, untuk menentukan masa depan. Manakala menurut buku "Bruntland Commission, Our Common Future (1987)", pembangunan lestari adalah pembangunan semasa yang memenuhi kehendak masa hadapan tanpa membawa keburukan serta masalah kepada generasi akan datang.

OBJEKTIF KAJIAN

Objektif penulisan ini adalah untuk mengenalpasti strategi pelestarian bangunan tinggi. Metodologi kajian ini adalah berdasarkan pembacaan dan rujukan dari kajian-kajian sebelumnya yang berkaitan dengan kelestarian terutama bagi bangunan tinggi. Dari segi aspek pengajaran dan pembelajaran pula, kajian ini dapat membantu dalam mengaitkan teori, konsep dan keperluan asas bangunan tinggi serta teknikal rekabentuknya dalam menghasilkan rekabentuk bangunan tinggi yang lestari. Bangunan tinggi adalah penyumbang terbesar dalam penggunaan tenaga. Di dalam konteks urban, bangunan tinggi adalah elemen dominan berdasarkan skala dan kepenggunaannya dan antara yang paling kritikal memerlukan perundingan kelestarian bangunan. Antara strategi prinsip rekabentuk yang penting untuk mencapai bangunan tinggi yang efektif adalah konteks tapak, persekitaran, struktur dan penggunaan bahan binaan, penggunaan tenaga, penggunaan air, keseimbangan ekologi, pembangunan komuniti dan banyak lagi. Aspek-aspek tersebut akan mempengaruhi pelaksanaan pembinaan bangunan tinggi ini dan akan ianya akan secara tidak langsung menjadi semakin kompleks dan akan digerakkan bersama bidang lain dalam masa yang sama.

METODOLOGI

Kajian ini menggunakan pendekatan pemerhatian dan pembacaan literatur. Terdapat beberapa langkah dalam menjalankan kajian ini. Pertama, dokumen dan kajian terdahulu dianalisa untuk menghasilkan satu rangka kerja teoritikal. Dan langkah kedua pula melibatkan pemerhatian ke beberapa buah bangunan tinggi di sekitar Kuala Lumpur untuk mendapat gambaran sebenar di tapak kajian.

PERANCANGAN TAPAK DAN PENGURUSAN

Pembangunan lestari mempunyai banyak komponen. Antaranya adalah kesediaan tanah, penginapan alternatif dan kebajikan buruh binaan, kos tanah yang mempengaruhi kos pembinaan, bekalan tenaga, kualiti pembangunan kawasan sekitar. Komponen lain pula adalah lokasi pemilihan terhadap isu persekitaran yang membawa kesan terhadap kualiti tanah, biodiversiti, pengangkutan ke kawasan tapak, penggunaan bahan, kepadatan penghuni dan pengunjung, pertembungan dari segi trafik dan pergerakan manusia, kualiti udara serta punca dapatan tenaga. Selain itu, komponen terakhir adalah impak terhadap isu sosial yang melibatkan kesihatan dan keselamatan, kualiti dalaman alam sekitar, tahap kawalan ke atas persekitaran dalaman, kesan ke atas negara-negara jiran serta kesan kepada masyarakat.

Di dalam senarai penilaian GBI yang dikeluarkan, perancangan tapak merupakan salah satu daripada penilaian yang penting. Ianya menyumbang kepada 16 mata dari keseluruhan 100 mata dalam penilaian yang dipecahkan kepada 4 bahagian dan kemudiannya disusuli dengan beberapa lagi pecahan kriteria kecil. Antaranya adalah pemilihan tapak. Penggunaan tanah berkaitan tanah dan hutan yang diwartakan oleh Negara dan kawasan tertentu serta Pelan Rancangan Struktur dan kawasan belum dibangunkan adalah dilarang untuk mendirikan pembangunan. Ini adalah sebagai langkah menjaga serta memelihara dasar polisi Negara dalam memelihara kepentingan aset hijau Negara. Seterusnya adalah pembangunan semula tapak binaan dengan cara mengurangkan tekanan di tapak binaan, menyediakan tips pengurusan tapak dan mengurangkan potensi tapak bermasalah di tapak binaan. Kriteria ke tiga pula adalah isipadu pembangunan dan interaksi komuniti bagi menjaga keseimbangan pembangunan dan komuniti, penilaian GBI telah menetapkan nisbah kepadatan komuniti dengan skala pembangunan serta infrastruktur yang terdapat di kawasan tapak pembinaan. Kriteria keempat adalah berkenaan pemeliharaan kawasan semulajadi sediaada dan memulihara kawasan yang rosak untuk menyediakan habitat biodiversiti untuk kawasan tersebut.

Bagi pengurusan pembinaan pula, pengawalan pembinaan terutama yang melibatkan pencemaran tapak binaan. Untuk mengelakkan hakisan tanah, pencemaran udara, bunyi dan banjir kilat, perancangan awal harus dijalankan memandangkan masalah tersebut merupakan perkara wajib yang akan berlaku di tapak. Selain itu, kemudahan pekerja juga harus diambil kira di kawasan tapak. Ini untuk mengelakkan daripada terjadi masalah pembuangan sisa pepejal yang tidak terurus, pembakaran terbuka serta pengawalan tahap kebersihan dan kesihatan pekerja di tapak binaan.

Selain itu, kriteria pengangkutan juga penting kerana pada zaman ini, pengangkutan meringankan serta membantu beban kerja seharian melebihi 50 peratus. Pemilihan tapak haruslah mempunyai akses bagi pengangkutan awam untuk mengurangkan pencemaran dan impak pembangunan kawasan dari penggunaan automobil.

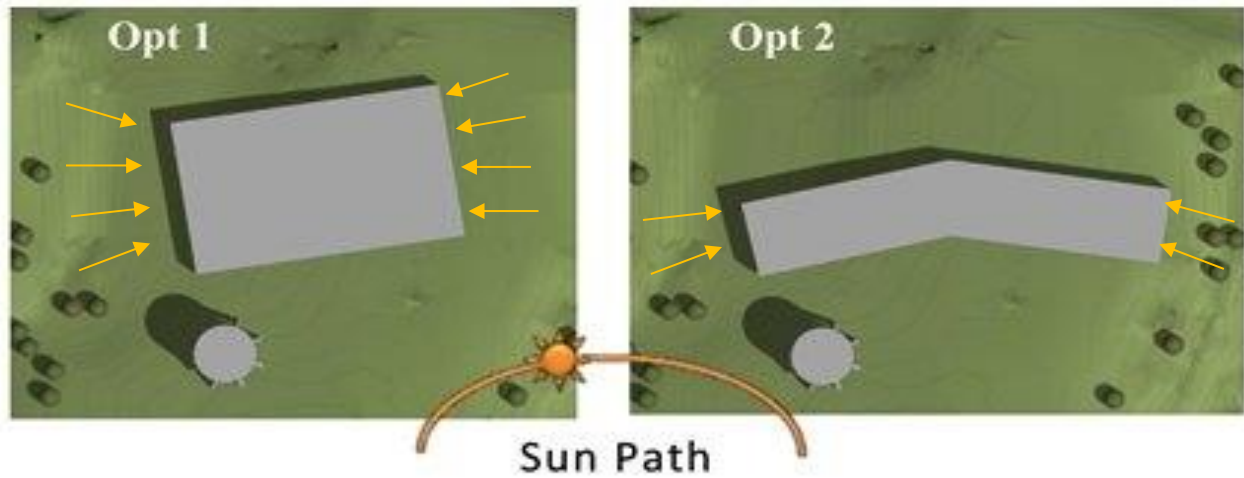
Untuk pengurusan rekabentuk di tapak binaan pula, perancangan dalam menghadkan gangguan hidrologi semulajadi dengan penutup kedap, meningkatkan kadar penapisan di tapak dan larian air hujan bergantung kepada kawasan tapak. Bagi kawasan hijau dan bumbung, melaksanakan strategi untuk mengurangkan kesan pulau haba dilakukan untuk mengurangkan impak terhadap iklim dan habitat ekologi di kawasan tapak pembangunan.

ORIENTASI BANGUNAN

Bangunan yang tinggi mempunyai kurang kekangan dari segi keluasan dan geometri tapak berbanding bangunan rendah. Ini kerana pembahagian ruang yang terhad daripada penggunaan melintang akan digunakan secara menegak (M. Ali, J. Armstrong, 2008). Menurut Deshmukh, 1992), orientasi bangunan berhubungkait dengan kedudukan matahari di langit dan mendatangkan impak terhadap keselesaan termal sesuatu bangunan. Hasilnya, pencahayaan semulajadi pada waktu siang akan dicapai sehingga ke tahap maksima dan meninggalkan impak yang lebih nyata kepada bangunan tinggi dari segi suhu luaran, angin dan sinar matahari bergantung kepada perletakkan ruangan dan kesesuaian aktiviti di dalam bangunan pencakar langit.

Selain itu, orientasi sesuatu bangunan adalah asas kepada prestasi tenaga bangunan. Untuk negara beriklim tropikal yang mempunyai pengudaraan yang lembap, orientasi bangunan juga berkaitan dengan peningkatan tenaga solar, yang akan mempengaruhi pemanasan dan penyejukan bangunan, pencahayaan serta pengudaraan (Hong Na, Park, 2009). Ini secara tidak langsung akan mempengaruhi purata penggunaan tenaga. Sekiranya kelebaran bangunan tinggi ini direka untuk menghala ke utara dan selatan, penggunaan tenaga akan berada pada tahap yang minimum (Farzad, 2015). Hong Na dan Park (2009) menyatakan pendekatan rekabentuk ini bertujuan untuk meminimumkan penerimaan cahaya matahari secara terus ke kawasan sisi bangunan yang mempunyai permukaan besar.

Perletakkan tingkap akan diminimumkan pada fasad pendek berbanding perletakan tingkap maksimum pada fasad yang panjang. Ini kerana pencahayaan semulajadi pada fasad yang panjang merupakan *diffuse light* dan bukan sinaran terus dari cahaya matahari. *Diffuse light* mempunyai impak termal yang lebih rendah dari sinaran matahari secara langsung. Dari situ, sesebuah bangunan mampu mencapai keselesaan termal yang maksima (Ng & Akasah, 2011).



Pergerakan matahari

Gambarajah 1: Matahari akan bergerak dari timur ke barat. Oleh itu cahaya matahari terik akan memancar terus ke sisi timur dan barat bagi sesebuah bangunan. Kelestarian dalam penggunaan tenaga boleh dicapai dengan cara pemilihan orientasi bangunan yang betul. Meminimumkan fasad terbuka di sisi timur dan barat bangunan merupakan salah satu daripada alternatif untuk mencapainya. Oleh itu, orientasi perletakan bagi bangunan 2 adalah paling ideal berbanding bangunan 1 kerana sisi timur dan barat bagi fasad bangunan 2 adalah yang paling minimum.

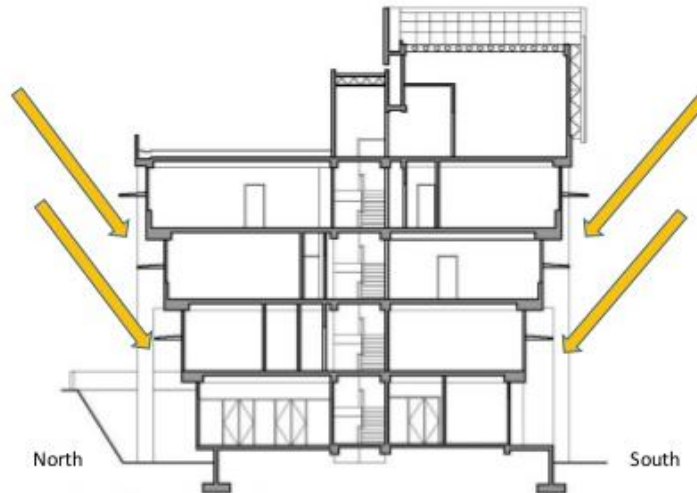
Sumber: <https://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/building-massing-orientation>

KONFIGURASI BANGUNAN

Konfigurasi bangunan merupakan salah satu daripada pendekatan rekabentuk pasih yang jarang diterapkan dalam bangunan tinggi terutamanya. Penggunaan struktur bangunan sendiri seharusnya dimanfaatkan sepenuhnya dalam mengurangkan penggunaan tenaga bagi sesebuah bangunan. Antara rekabentuk konfigurasi yang kerap digunakan adalah rekabentuk “*step-in*”. rekabentuk ini membolehkan sesuatu bangunan mewujudkan sistem teduhan dari struktur dan konfigurasi bangunan itu sendiri.

Sebagai contoh dapat dilihat dengan jelas melalui bangunan Pusat Tenaga Malaysia. Rekabentuk bangunan jenis “*step-in*” membolehkan bahagian bawah bangunan bagi setiap aras diteduhi oleh lantai dari aras atas seperti yang kita dapat lihat pada Rajah 2. Kelebaran bangunan akan meningkat sepanjang menaiki bangunan. Ini adalah untuk mengawal kemasukan cahaya silau dan panas dari sinaran matahari terus ke bangunan.

Selain itu, penggunaan *overhang* dan lebih unjuran dinding (*extended wall*) turut menghasilkan sistem teduhan melintang dan menegak secara pasif. Ini dapat membantu dalam mengawal cahaya silau yang masuk ke dalam bangunan. Kaedah ini bukan sahaja membantu dalam mengurangkan suhu terma di dalam bangunan, tetapi juga turut menampilkan rekabentuk fasad “egg-crated” yang unik dan berguna.



Gambarajah 2 Keratan rentas bangunan Pusat Tenaga Malaysia

Sumber: <https://www.slideshare.net>

FASAD DAN TEKNOLOGI BUKAAN

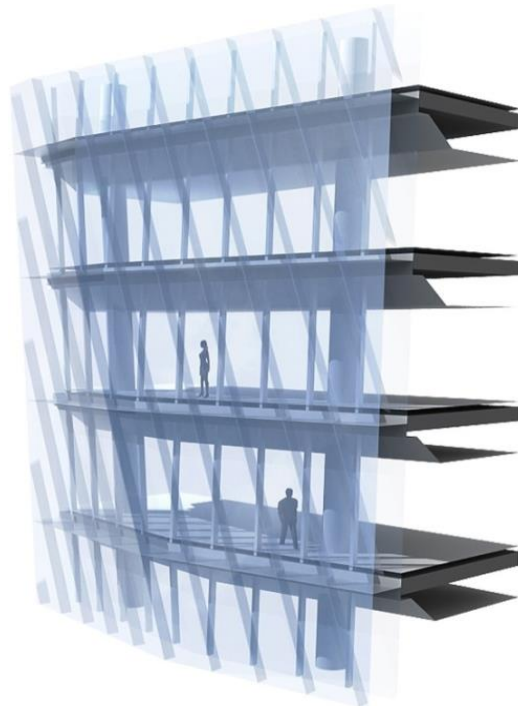
Pencahayaan dan kawasan teduhan pada kebiasaannya merupakan kunci kepada rekabentuk fasad untuk bangunan yang mendapat gelaran bangunan hijau. Fasad bangunan akan menutupi lebih 90 ke 95 peratus permukaan luar bangunan tinggi. Oleh itu, peningkatan atau pengurangan tenaga yang digunakan dalam bangunan tinggi sangat bergantung kepada penggunaan bahan dan penerapan teknologi untuk rawatan fasad. Menurut M. Ali dan P. J. Armstrong (2008), fasad sesuatu bangunan terutama bangunan pencakar langit bukan sahaja memberikan kualiti estetik dan untuk meninggalkan ekspresi rekabentuk sesuatu binaan, namun juga berperanan untuk mengawal keadaan dan keselesaan ruang dalam bangunan itu sendiri.

Membina bukaan ke arah orientasi utara-selatan adalah lebih efektif, melainkan terdapat pemandangan yang lebih baik di sisi lain bagi bangunan tersebut menurut Farzad (2015). Ini bertujuan untuk mengurangkan cahaya matahari masuk secara terus ke dalam bangunan tanpa menggunakan rawatan fasad di permukaan bangunan. Penggunaan *overhang* yang mencukupi merupakan salah satu langkah pasif untuk mengelakkan daripada penerimaan cahaya matahari terus ke ruangan dalaman bangunan.

Orientasi yang digabungkan dengan faktor keluasan bukaan dan jenis kaca yang digunakan akan turut mempengaruhi jumlah cahaya yang akan memasuki ruangan. Ikutan terkini dalam dunia

pembinaan bangunan pencakar langit adalah penggunaan “*double screen*” dan malahan “*triple skin*”, fasad dengan sistem pengudaraan (Behr, 2001). Untuk meningkatkan nilai-U, “*double glazing*” dengan rongga yang dipenuhi argon, “*triple-glazing*” dan selaput kaca boleh diaplikasikan dalam bahan binaan fasad (Pank et al., 2002)

Kajian kes bangunan pencakar langit, Mode Gakuen Spiral Tower yang terletak di Nagoya, Aichi, Jepun merupakan sebuah bangunan 38 tingkat yang menempatkan 3 buah sekolah vokasional. Fasad untuk bangunan ini telah siap dibina pada tahun 2008, menggunakan dua lapis fasad kaca yang meminimumkan penggunaan tenaga untuk sistem HVAC dengan menyediakan insulator udara semulajadi dan pengudaraan melalui bukaan-bukaan udara ruang dalaman dan luaran. Memandangkan cuaca di Negara Jepun pada masa tertentu memerlukan cahaya matahari untuk membantu dalam penghasilan keselesaan terma di ruangan dalam bangunan, bangunan tersebut turut diletakkan mengikut orientasi yang sesuai dengan matlamatnya.



Gambarajah 3 Dua lapisan fasad, lapisan pertama menggunakan kaca “*double glazing*” dan lapisan kedua menggunakan struktur keluli yang juga berperanan sebagai struktur sokongan bagi bangunan tersebut.

Sumber: <http://www.unstudio.com/research/imp/story-of-the-double-skin-facade>



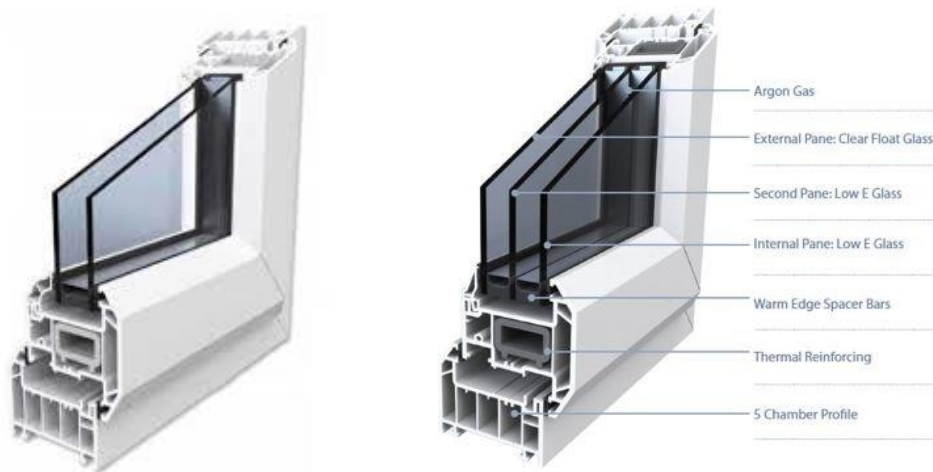
Gambarajah 5 Mode Gakuen Spiral Tower

(Sumber: Council on Tall Building and Urban Habitat)



Gambarajah 6 Salah satu daripada pintu masuk utama Mode Gakuen Spiral Tower. "Double Façade" dapat dilihat dengan jelas pada pintu masuk utama bangunan ini.

(Sumber: Council on Tall Building and Urban Habitat)



Gambarajah 7 Tingkap "Double glazing" dan "triple glazing"

(Sumber: greendesignwindows.co.uk)

PENJIMATAN TENAGA DALAM BANGUNAN

1. Pencahayaan

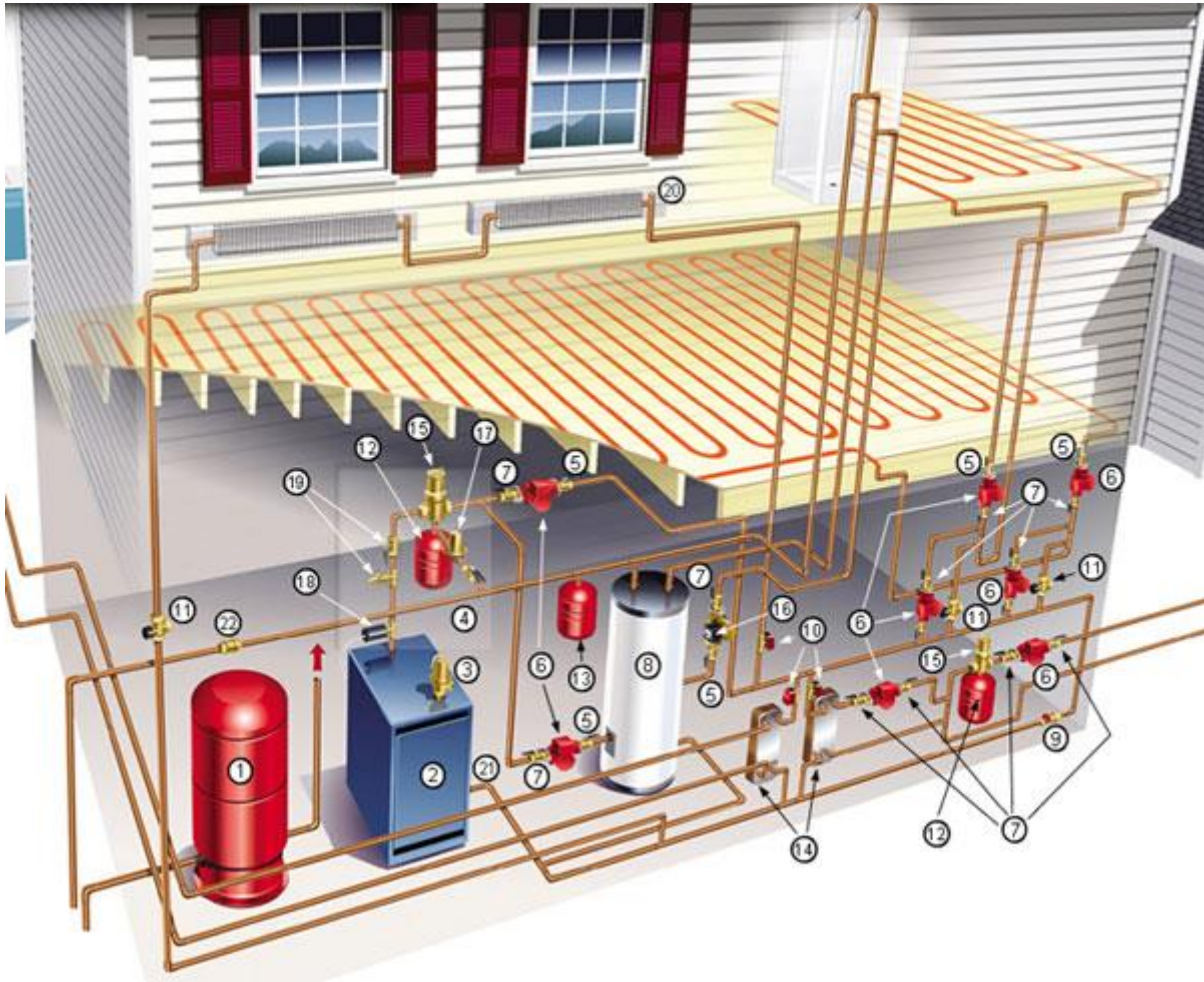
Selain daripada strategi orientasi bangunan, konfigurasi bangunan dan bukaan fasad, penjimatan tenaga dari aspek pencahayaan juga boleh diperolehi dari teknologi pencahayaan bangunan itu sendiri. Sebagai contoh, penggunaan sistem *light-sensor* boleh menjimatkan sehingga 22 peratus tenaga (Sarkisian, 2016). Namun bukan semua ruangan sesuai untuk menggunakan sistem ini. Antara ruangan yang sesuai adalah koridor, tandas, bilik stor, ruangan mesyuarat dan sebagainya yang menggunakan ruangan tersebut secara minimal. Lampu akan menyala secara automatik apabila sebarang pergerakan dikenalpasti dan akan tertutup semula sekiranya tiada pergerakan dikenalpasti selama lebih dari 3 minit bergantung kepada sistem pengeluaran dari kilang.

Selain itu, penggunaan lampu LED juga dapat mengurangkan lebih dari 90 peratus pengambilan tenaga berbanding lampu *fluorescent*. Ianya juga mampu bertahan lebih lama. Lampu LED tidak mengeluarkan haba yang menjadi salah satu daripada faktor penggunaan tenaga elektrik yang banyak. Ini turut menjamin keselamatan pengguna dan mengelakkan risiko kebakaran dan penghasilan api. Selain itu, lampu jenis ini tidak mengandungi bahan toksik berbahaya kepada alam sekitar seperti merkuri yang terdapat pada lampu *fluorescent*.

2. Sistem penyejuk udara

Menurut Olgyay (1963), zon keselesaan terma boleh didefinisikan sebagai kebolehan sesuatu sistem untuk memberikan keselesaan terhadap penggunaannya sehingga sampai satu tahap di mana haba di dalam badan pengguna berada dalam keadaan seimbang dengan persekitaran.

Selain daripada kaedah penyejukan biasa menggunakan penyaman udara *split-system* dan *centralized*, terdapat sistem yang semakin popular digunakan dalam bangunan lestari iaitu *radiant cooling (underfloor cooling)* di mana lantai bangunan memainkan peranan sebagai medium untuk memindahkan suhu. *Cross-linked polyethylene pipes (PEX)* ditanamkan di dalam slab lantai konkrit. Sistem *radiant cooling* dan penyimpanan ais akan dicaj pada waktu malam dan suhu akan diagihkan dan disimpan pada slab lantai dan tangki penyimpanan ais secara sama rata. Pada waktu pagi pula, suhu yang disimpan tadi akan diagihkan oleh sistem kawalan bangunan kepada *radiant cooling* dan sistem pemanasan udara secara sama rata. Suhu sekeliling dan penyejukan pada waktu malam akan menyejukkan air untuk kegunaan keesokan harinya.



Gambarajah 8 Ringkasan sistem *radiant cooling*

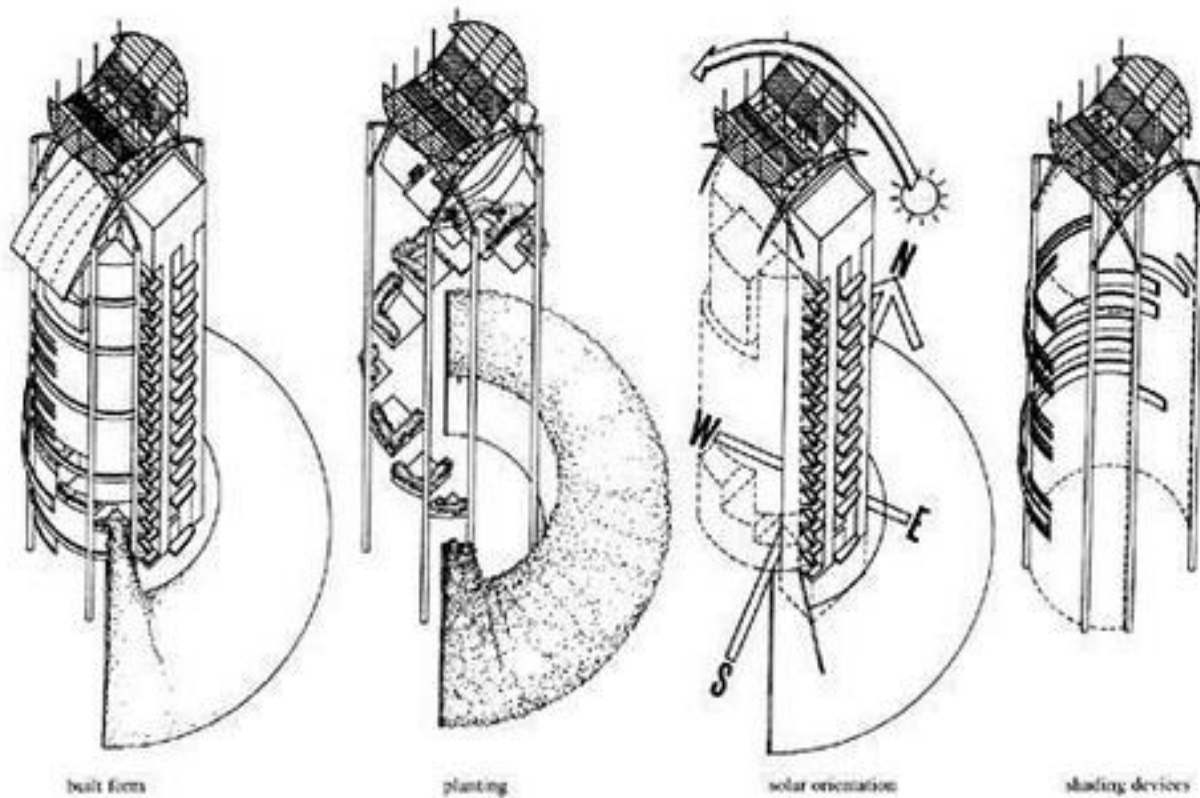
(Sumber: <http://www.howardsplumbinginc.com>)

SUSUN ATUR PELAN LANTAI

Pelan lantai dalaman haruslah disesuaikan dengan iklim dan orientasi bangunan. Ini untuk memastikan bilik atau sesuatu ruangan dengan fungsi tersendiri ditempatkan di lokasi yang betul sejajar dengan fasad bangunan (Xu, F. Zhang (2006). Pemilihan ruang juga haruslah mengikut keutamaan dan kepentingan sesuatu ruang. Sebagai contoh perletakkan ruangan mesyuarat bagi bangunan pentadbiran haruslah dibina di kawasan yang dengan gangguan bunyi paling minimum (Hong Na & Park, 2009).

Untuk bahagian ruangan servis, stor dan laluan pergerakan vertikal, ianya boleh ditempatkan di kawasan yang paling banyak menerima cahaya matahari terik. Ini sebagai salah satu strategi untuk mengurangkan haba yang panas sampai ke bahagian ruangan berkapasiti tinggi. Kawasan ini akan menjadi kawasan transisi bagi haba panas sebelum masuk ke kawasan ruangan lain yang lebih penting tanpa menghalang kemasukan cahaya (Hong Na & Park, 2009). Sebagai

contoh Menara Mesiniaga yang direka oleh arkitek Malaysia terkenal, Ken Yeang. Perletakkan laluan services menghadap timur yang menerima sinaran matahari yang terik.



Gambarajah 9 Kedudukan serkulasi utama dan servis diletakkan di luar menghadap arah Timur.

(Sumber: <http://www.jetsongreen.com>)

BEKALAN TENAGA BOLEH DIPERBAHARUI

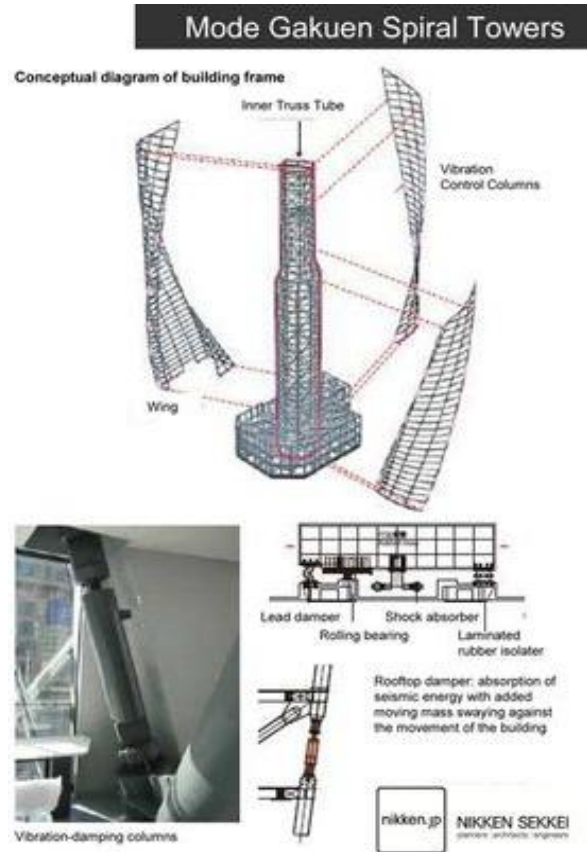
Matahari adalah sumber utama tenaga yang boleh diperbaharui. Selain daripada memberikan sumber tenaga terus dari matahari, ianya menyebabkan putaran bumi yang mempengaruhi cuaca dan memberi peluang dalam penghasilan tenaga angin, ombak, air pasang (bersama putaran bulan) dan tempat untuk punca biological. (Smith, 2005). Ianya amat sesuai sebagai sumber tenaga untuk bangunan terutama bangunan tinggi. Tenaga solar merangkumi dua iaitu rekabentuk solar pasif dan aktif.

Rekabentuk solar pasif bermaksud semua elemen binaan seperti tingkap, lantai, bumbung, dinding dan banyak lagi berperanan sebagai platform untuk memerangkap haba dan mendapatkan pencahayaan secara terus dari matahari (Thomas, 2015). Rekabentuk ini tidak melibatkan sebarang mekanisma atau sumber elektrik. Dalam konteks Negara Malaysia, keperluan terhadap tenaga haba adalah tidak diperlukan. Manakala sumber cahaya pasif merupakan aspek yang paling penting dan dikaitkan dengan rekabentuk solar pasif. Tenaga solar

pasif telah lama digunakan, terutama untuk bangunan vernacular. Tetapi, beberapa kemajuan dalam teknologi telah dibuat (Smith, 2005) dan dijangkakan yang rekabentuk solar pasif akan menjadi watak utama dalam mengurangkan gas carbon dioksida kepada 3.5 million ton setiap tahun menjelang tahun 2025 (DTI, 2003).

Rekabentuk solar pasif juga merupakan salah satu daripada kaedah paling efektif dalam mengurangkan penggunaan tenaga dalam bangunan. Kebiasaannya ianya diterapkan dalam rekabentuk bangunan dan orientasi bangunan terutama bangunan tinggi untuk memberikan cahaya dan pengudaraan yang baik. Antara komponen yang perlu diambilkira dalam rekabentuk solar pasif adalah iklim setempat, iaitu cuaca Malaysia yang panas dan lembap. Selain itu, rekabentuk haruslah mengambilkira kelembapan persekitaran memerlukan strategi pasif yang lain daripada bangunan di negara beriklim kering. Perletakan orientasi bangunan dari timur ke barat harus dititikberatkan kerana pancaran matahari yang terik boleh menjejaskan prestasi hidupan di dalam bangunan. Saiz dan rekabentuk tingkap dan bukaan haruslah sesuai dengan perletakkan bangunan yang mana bahagian yang kurang terdedah kepada cahaya matahari haruslah memaksimumkan bukaan dan penggunaan tingkap kaca untuk membenarkan aliran udara masuk dan pencahayaan semulajadi di dalam bangunan. Penggunaan bahan binaan untuk dinding luar yang mempunyai ciri-ciri penebat termal yang efisien.

Rekabentuk solar aktif pula bermaksud teknologi yang menggunakan bantuan peralatan untuk menukarkan tenaga solar kepada tenaga elektrik atau memanaskan air untuk kegunaan proses atau domestic dalam sesuatu bangunan. Teknologi ini semakin menjadi permintaan dan keberkesanan serta kecekapannya semakin meningkat secara mendadak. Antara komponen yang perlu diambilkira adalah merekabentuk bumbung yang luas atau kawasan tanah yang luas untuk kesesuaian perletakkan panel fotovoltik dan tidak dilindungi oleh bangunan sekitar yang lain. Pemasangan panel fotovoltik haruslah dengan sudut yang betul untuk memaksimumkan penyerapan tenaga solar.



Gambarajah 10 Fasad bangunan Made Gakuen Spiral Tower yang menggunakan fasad kaca dua lapisan untuk mengurangkan penggunaan tenaga untuk sistem HVAC dengan cara menyediakan penebat udara semulajadi dan pengudaraan semulajadi melalui laluan udara dalaman dan luaran diantara dua lapisan.

(Sumber: www.pinterest.com)

PANEL FOTOVOLTIK (PV PANEL)

Haris (2008) dalam kajian beliau menyatakan bahawa PV terkenal sebagai salah satu kaedah menjana tenaga elektrik dengan menggunakan sel solar untuk menukarkan tenaga dari matahari kepada tenaga elektrik. Teknologi ini merupakan alternative bagi bekalan tenaga yang boleh diperbaharui yang selamat dari sebarang pancaran berbahaya dan mendapat perhatian dari pengguna Malaysia kerana keadaan iklim yang sesuai dengan kepenggunaannya. Penerapan panel fotovoltaik yang diintegrasikan pada fasad dan juga bumbung bangunan merupakan salah satu daripada inisiatif untuk menjana tenaga mandiri bagi sesebuah bangunan. Walaupun penghasilan tenaga tidak terlalu optimum bagi bangunan kecil, namun penggunaan fotovoltaik mampu menjana tenaga untuk kegunaan kecil seperti pencahayaan koridor, penggunaan elektrik untuk landskap dan banyak lagi.

Namun sedikit berbeza bagi bangunan tinggi, keluasan fasad dan bumbung dapat menjana tenaga yang banyak. Selain itu, kawasan panel fotovoltaik yang ditempatkan di atas bumbung juga boleh diintegrasikan dengan teknologi lain seperti sistem penyejuk bangunan yang

diterapkan di dalam bangunan Pusat Tenaga Malaysia yang mendapat gelaran *Zero Energy Office Building (ZEO Building)*). Sistem fotovoltik yang digunakan diintegrasikan dengan pelbagai kegunaan lain. Pada waktu siang, bumbung bangunan digunakan sebagai tempat penghasilan tenaga dari panel fotovoltik untuk kegunaan bangunan tersebut. Manakala pada waktu malam pula, panel fotovoltik dijadikan sebagai menara penyejuk (*cooling tower*) untuk *chiller*. Pada waktu malam, bumbung akan dilitupi dengan film air yang nipis, yang kemudiannya akan mengeluarkan haba dari chiller ke udara melalui radiasi dan udara malam yang dingin melalui penyejatan dan penolakan.

Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi keberkesanan penghasilan tenaga dari panel PV ini. Antaranya adalah kedudukan perletakkan dan orientasi panel yang seharusnya diletakkan menghadap arah selatan kerana ianya akan terdedah dengan sinaran matahari lebih lama (Rizwan, Tarmizi, 2014). Selain itu, rekabentuk bumbung juga harus diambil kira berkenaan bumbung condong ataupun rata. Rekabentuk paling berkesan adalah bumbung yang bersifat tiding terlindung kerana darjah kecondong yang menghadap sinaran matahari merupakan faktor penting dalam mengukur keberkesanan sistem tersebut. Kecondong antara 20-60-darjah adalah yang terbaik (Sopian, 2005). Pemilihan jenis panel juga penting untuk memastikan kecekapan penukaran tenaga ke tenaga elektrik. Perihal penyelenggaraan haruslah diambil kira dalam menggunakan teknologi ini kerana bahan buatan setiap panel adalah sangat sensitive dengan bahan penyebab karat dan kebanyakannya datang dengan jaminan waranti selama 20-25 tahun dari kilang pengeluar (Sopian, 2005).



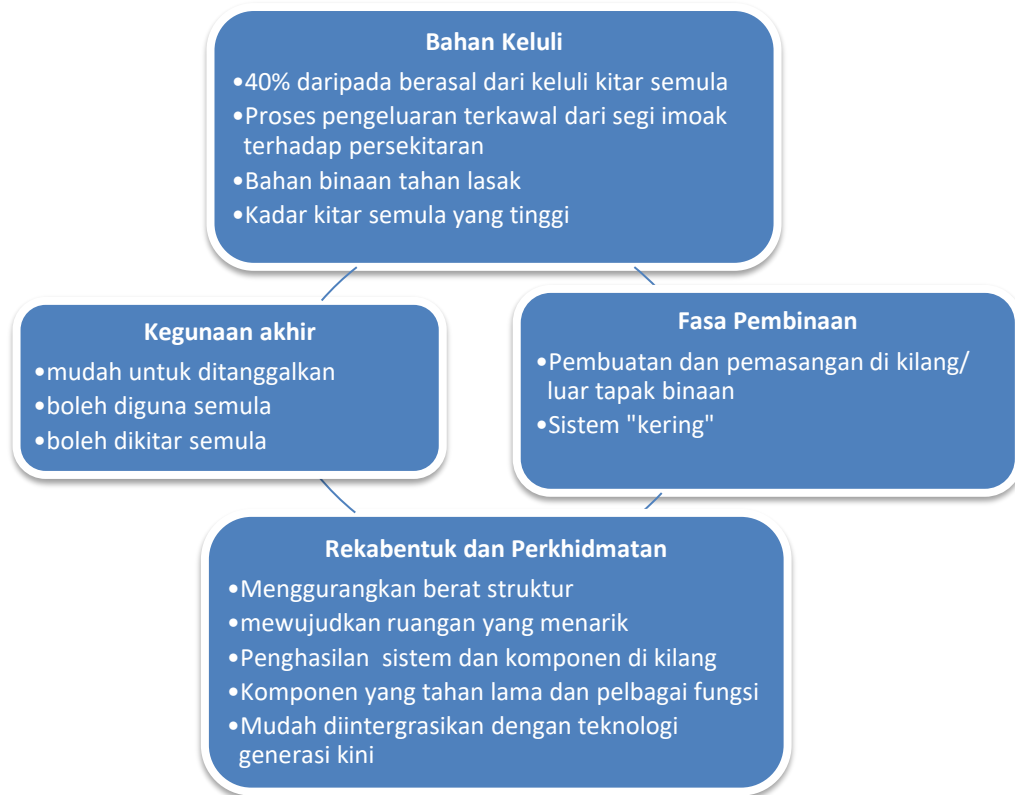
Gambarajah 11 Penggunaan panel PV yang berbeza pada lokasi berbeza mengikut kesesuaian dan kegunaan ruangan dibawahnya.

(Sumber : www.researchgate.net)

PEMILIHAN BAHAN BINAAN

Pada kebiasaannya, penggunaan bahan tempatan atau bahan yang boleh diguna semula daripada pembekal tempatan lebih menjurus kepada kelestarian dalam bangunan (William, 2007). Selain daripada menjimatkan kos penghasilan bahan baru, bahan yang diguna semula dapat menjimatkan kos pembinaan dan mengurangkan pencemaran dalam proses penghasilan barang baru. Antara bahan binaan yang menjadi signifikan dengan pembinaan bangunan terutama pencakar langit adalah besi, konkrit dan kaca.

Untuk penggunaan keluli sebagai bahan binaan dari aspek kelestarian, peranan keluli dalam pembangunan lestari telah diiktiraf dan dikenali, hasil daripada kajian yang menunjukkan kelebihan seperti penghasilannya dibuat di kilang dan mengurangkan sisa buangan di kawasan tapak, mudah diselenggara dan dipasang, kadar guna semula yang tinggi dan banyak lagi. Pada masa kini, industri pembinaan berasaskan keluli telah diberikan lebih perhatian berdasarkan perkaitan dengan kos guna semula bahan, ekologi, ketahanan, dan kelestarian produk berasaskan keluli dan komponennya (Landolfo *et al.* 2011). Sebagai kajian kes, Hearst Tower merupakan bangunan pencakar langit 46 tingkat di New York, dengan ketinggian 856 000 kaki persegi telah dianugerahkan sebagai penerima pengiktirafan emas untuk binaan LEED pada tahun 2006. Ianya menggunakan kira-kira 10000 tan keluli, dan 90% adalah barangan yang boleh dikitar semula (Rahimian dan Eilon, 2008).



Carta 1 Kelebihan penggunaan bahan keluli kepada pembinaan dan alam sekitar

(Sumber: <http://arcelormittal.com>)

KONSEP *NET-ZERO*

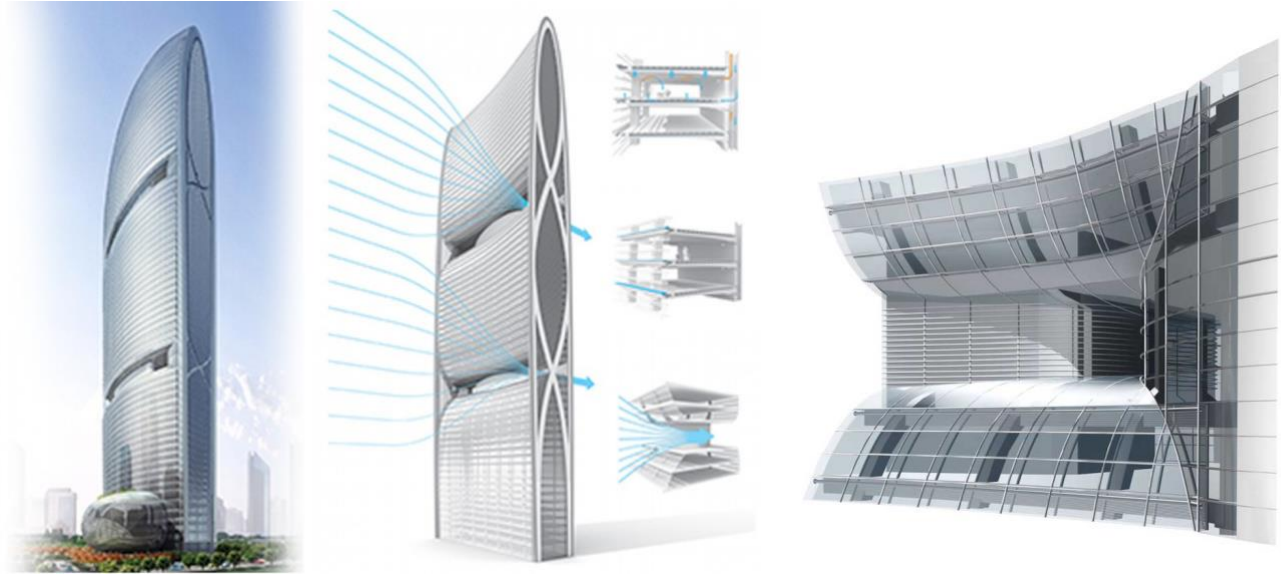
Pencapaian utama dalam mengejar gelaran rekabentuk bangunan lestari adalah bangunan tenaga “net-zero” menggunakan bekalan tenaga boleh diperbaharui (RES) yang diertikan sebagai bangunan yang menghasilkan tenaga harian mengikut keperluan bangunan tersebut. Ini dicapai bukan sahaja melalui penggunaan pelbagai tenaga boleh diperbaharui tetapi juga fasad yang boleh peningkatan pengumpulan tenaga dengan cara mengaplikasikan bahan binaan hijau dan rekabentuk yang cekap (Gil, 2008).



Gambarajah 12 Pearl River Tower

(Sumber: http://www.som.com/projects/pearl_river_tower)

Mengambil bangunan ikonik 71 tingkat, Pearl River Tower siap dibina pada tahun 2013 di Guangzhou. Strategi rekabentuk bangunan ini adalah untuk menghasilkan tenaganya sendiri melalui kombinasi optimum antara bekalan tenaga boleh diperbaharui termasuklah turbin angin yang diletakkan di dua tingkat yang berbeza, turbin mikro, dan jisim geothermal. Strateginya adalah untuk mengurangkan dan menyerap tenaga melalui rekabentuk solar pasif (Frechette & Gilchrist, 2008). Namun, dalam pembinaan sebenar bangunan ini, turbin mikro tidak dipasang untuk alasan ekonomi. Ini mengakibatkan bangunan itu hanya mampu menghasilkan hanya lebih kurang 60% tenaga yang bangunan ini perlukan.



Gambarajah 13 Konsep diagram pergerakan angin melalui corong laluan angin

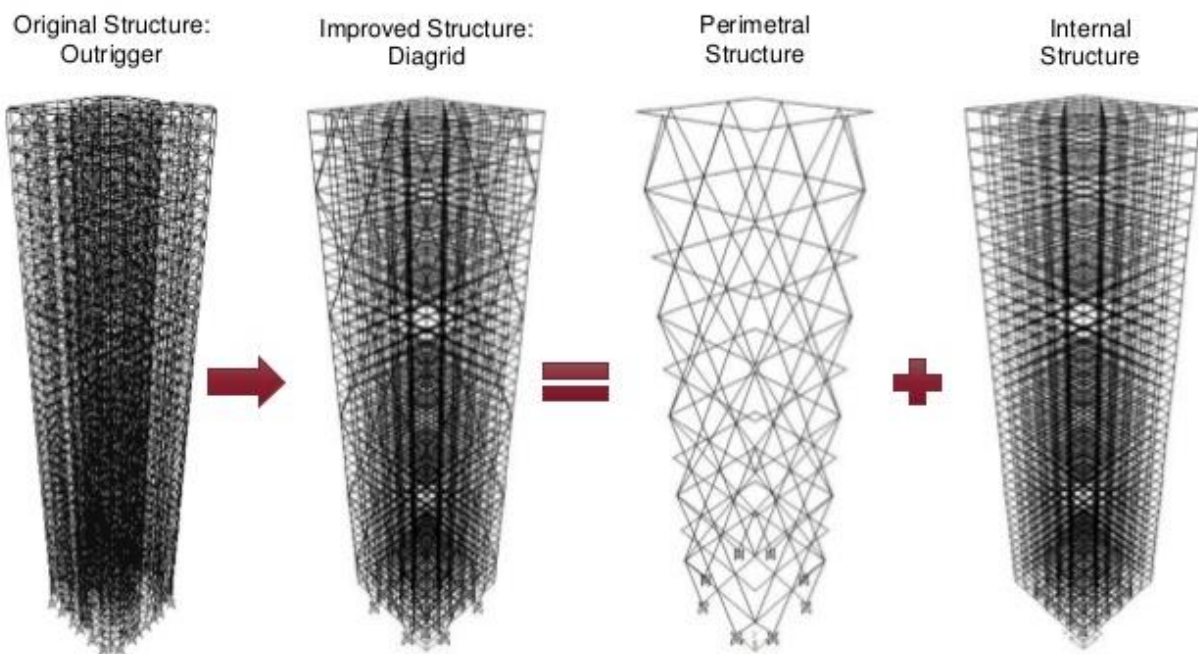
(Sumber: www.pinterest.com)

SISTEM STRUKTUR

Sebagai tanggapan awal, agak sukar untuk melihat perkaitan antara kelestarian dan sistem struktur bangunan bagi bangunan pencakar langit. Namun ianya adalah aspek yang sama penting untuk mencapai tahap kelestarian yang tinggi. Terutama bagi bangunan tinggi yang mempunyai rangka struktur yang besar. Sebagai contoh, menurut Beedle (2007), teras sesuatu bangunan tinggi menyediakan kestabilan dalam strukturnya dan kedudukannya adalah sangat penting untuk menilai kelestaria bangunan tersebut. Semakin tinggi sesuatu bangunan, rangka strukturnya juga akan menjadi semakin berat. Walaupun bangunan perumahan boleh dibina melebihi 60 tingkat, keluli dan konkrit campur masih menjadi bahan alternatif. Tenaga yang tersembunyi dalam bahan binaan ini akan digunakan dalam sistem struktur bagi bangunan tinggi adalah lebih besar daripada bangunan rendah yang kebiasaannya menggunakan kayu, batu bata, batu dan banyak lagi.

Salah satu daripada penyelesaian rekabentuk yang elegen untuk bangunan tinggi yang turut mengambilkira kelestarian bangunan adalah bangunan yang disokong oleh skema struktur diagrid (grid diagonal). Diagrid adalah konfigurasi struktur perimeter yang bercirikan anggota pepenjur (*diagonal member*) dengan grid yang kecil dan terlibat dalam tekanan graviti dan rintangan beban sisi. Oleh kerana kema struktur ini memerlukan struktur keluli kurang daripada rangka keluli konvensional, ianya menjadi struktur yang lebih mampan. Sistem diagrid bukanlah ciptaan yang baharu dalam dunia binaan bangunan. Contoh paling awal penggunaan sistem struktur ini adalah pada bangunan 13 tingkat IBM Building di Pittsburg pada tahun 1963. Namun kekangan pada masa itu adalah kos pembinaan menggunakan teknik itu. Pada masa kini, kos binaan untuk sistem ini lebih rasional (Leonard, 2004).

Perbedaan antara struktur rangka berpendakap luar dan sistem struktur diagrid kini adalah bagi struktur diagrid, hampir kesemua tiang menegak konvensional dihapuskan. Ini adalah tidak mustahil kerana anggota pepenjuru dalam sistem struktur diagrid boleh menampung beban tarikan graviti dan juga bertindak sebagai daya sisi kerana konfigurasi segitiganya yang berada dalam keadaan agihan seimbang dan seragam. Dibandingkan dengan struktur rangka tubular konvensional tanpa pepenjuru yang mengagihkan beban secara seragam dan bertara, struktur sistem diagrid adalah lebih efektif dalam meminimumkan perubahan bentuk ricih kerana ianya membawa ricihan dengan cara tindakan secara perkasi kepada anggota pepenjuru, manakala struktur tubular konvensional pula menampung ricihan dengan lenturan tiang menegak dan sesiku melintang. (Ali, Moon, 2007). Penggunaannya semakin mendapat sambutan kerana strukturnya yang efisien dan juga menjadi salah satu daripada cadangan yang sesuai dalam senibina moden terutama bagi bangunan pencakar langit.



Gambarajah 14 Pecahan struktur binaan bagi sistem struktur binaan diagrid.

(Sumber : https://www.slideshare.net/franco_bontempi_org_didattica/cm-sustainability-of-tall-buildings-issues-and-structural-design)



Hearst Tower, New York

CCTV, China

Libskind Freedom Tower, Legos

Gambarajah 15 Contoh bangunan yang menggunakan sistem struktur binaan Diagrid.

(Sumber : <https://www.slideshare.net/jagmohangarg90/diagrid-systems-future-of-tall-buildings-technical-paper-by-jagmohan-garg-at-nit-kurukshetra>)

KESIMPULAN

Ternyata bermula dari proses rekabentuk, pembinaan, dan operasi pengurusan, pembangunan bangunan tinggi meninggalkan impak yang besar pada persekitaran. Perancangan yang teliti dari awal perkembangan idea pembinaan bangunan harus dibuat untuk mengelakkan daripada berlakunya sebarang masalah berkaitan pengurusan pembinaan. Senarai semak kriteria dalam penilaian GBI merupakan satu langkah yang baik dalam menentukan kelestarian bagi sesebuah bangunan. Ianya berperanan sebagai pembimbing dalam pelaksanaan pelan pembangunan bagi sesuatu kawasan. Melalui kriteria penilaian ini juga, strategi pelestarian bangunan samada secara pasif atau aktif dapat diuji. Sebagai elemen utama dalam pembinaan bangunan tinggi, strategi pelestarian bangunan ini ternyata boleh diaplikasikan dalam semua perancangan pembangunan. Sebagai bukti, banyak projek melibatkan pembangunan berskala besar disenaraikan dalam senarai pemegang sijil penilaian GBI.

RUJUKAN

- [1] Alison Crompton. 2010. Sustainable Tall Buildings – Fact or Fiction?
- [2] M. H. Rafiei. H. Adeli. 2016. Sustainability in high rise building design and construction. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*.
- [3] Mir M. Ali. P.J Armstrong. 2008. Overview of Sustainability Design Factors in High Rise Buildings. *CTBUH 2008 8th World Congress, Dubai*
- [4] Mir M. Ali. P.J Armstrong. 2008. Green design of Residential High-Rise Buildings in Livable Cities. *IBS/NAHB Symposium, Orlandi, FL, Feb 13-16, 2008*
- [5] P. Lotfabadi. 2014. The Evaluation of High-Rise Buildings in Terms of Solar Energy Use.
- [6] S. Y. Mousavi. 2015. Sustainable High-Rise Building (Case Study: Three Examples of Sustainable High-Rise Building in Iran). *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*.
- [7] Tam, W.Y.V.; Tam, C.M.; Zeng, S.X. 2007. Towards adoption of prefabrication in construction. *Building Environment*.
- [8]<http://www.ctbuh.org/TallBuildings/FeaturedTallBuildings/Archive2009/ModeGakuenSpiralTowersNagoyashi/tabid/4235/language/en-US/Default.aspx>