

## Pendekatan Biomimikri - Ilham Alam Semula Jadi dalam Reka Bentuk Seni Bina (Biomimicry Approach – Nature’s Inspiration in Architectural Design)

Toh Lai Fun, Shahril Ezral Shahril Izuan, Zabidi Hamzah\*, Noraziah Mohammad & Mazlan Mohd Tahir

Jabatan Seni Bina dan Alam Bina,  
 Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

\*Corresponding author: [zabidi@ukm.edu.my](mailto:zabidi@ukm.edu.my)

Received 13 March 2023, Received in revised form 25 June 2023  
 Accepted 7 July 2023, Available online 31 October 2023

### ABSTRAK

*Biomimikri adalah bidang penyelidikan yang semakin berkembang dalam seni bina dan kejuruteraan. Ia disifatkan sebagai flora, fauna atau keseluruhan ekosistem yang dicontohi sebagai asas reka bentuk kerana potensi untuk mewujudkan persekitaran binaan yang lebih mampan atau regeneratif. Namun, satu halangan yang perlu diperhatikan dalam aplikasi biomimikri iaitu dari segi kekurangan definisi yang jelas tentang pelbagai pendekatan biomimikri yang boleh digunakan oleh pereka. Objektif kajian termasuklah menganalisa biomimikri dan kaedah integrasinya dalam reka bentuk seni bina serta mengenalpasti pelbagai pendekatan biomimikri dalam reka bentuk seni bina. Melalui kajian pustaka, kertas kajian ini menghuraikan pendekatan berbeza untuk reka bentuk biomimikri. Perbandingan biomimikri dan ekomimikri telah diketengahkan untuk membincangkan perbezaan ciri-ciri yang membantu dalam reka bentuk. Pendekatan yang pelbagai ini boleh membawa kepada hasil yang berbeza dari segi kemampan keseluruhan. Seterusnya, pendekatan biomimikri dalam reka bentuk seni bina yang menggabungkan pemahaman ekosistem semestinya boleh menjadi tunjang utama untuk mewujudkan persekitaran binaan dalam integrasi serta penjanaan semula ekosistem semula jadi. Daripada kajian, ia menjadi semakin jelas bahawa anjakan dalam pendekatan persekitaran binaan yang direka mesti dibuat Meniru kehidupan, termasuk interaksi kompleks antara organisma hidup yang membentuk ekosistem adalah contoh yang mudah didapati dan dipelajari Pendekatan ini memberi keuntungan bersama antara manusia dan alam semula jadi dan patut menjadi agenda masa hadapan.*

*Kata kunci: Biomimikri; reka bentuk seni bina; ekomimikri*

### ABSTRACT

*Biomimicry is a growing field of research in architecture and engineering. It is characterized as a flora, fauna or entire ecosystem that is modeled as the basis of design because of its potential to create a more sustainable or regenerative built environment. However, one obstacle that needs to be noted in the application of biomimicry is in terms of the lack of a clear definition of the various biomimicry approaches that can be used by designers. The objectives of the study include analyzing biomimicry and its integration methods in architectural design as well as identifying various biomimicry approaches in architectural design. Through a literature review, this research paper describes different approaches to biomimicry design. A comparison of biomimicry and ecomimicry has been highlighted to discuss the differences in features that aid in design. These diverse approaches can lead to different outcomes in terms of overall sustainability. Next, the biomimicry approach in architectural design that combines the understanding of ecosystems can necessarily be the main pillar to create a built environment in the integration and regeneration of natural ecosystems. From the research, it becomes increasingly clear that a shift in the approach to the designed built environment must be made Imitating life, including the complex interactions between living organisms that make up ecosystems are examples that are easy to find and learn. This approach provides mutual benefits between humans and nature and should be a future agenda.*

*Keywords: Biomimicry; architectural design; ecomimicry*

## PENGENALAN

Sejak kebelakangan ini, terdapat percubaan untuk reka bentuk bio-inspirasi, ataupun lebih dikenali sebagai reka bentuk yang diilhamkan oleh alam semula jadi. Percubaan ini telah bermula dari bidang yang dipanggil bionik, melalui bidang yang dipanggil biomimetik kepada penjelmaan terbaru yang dikenali sebagai biomimikri seterusnya ekomimikri yang menggunakan biomimikri tetapi memperbaharui dengan semangat pemuliharaan alam sekitar serta penyertaan masyarakat.

‘Dari perspektif pereka saya, saya bertanya: Mengapa saya tidak boleh mereka bentuk bangunan seperti pokok? Bangunan yang membuat, membetulkan nitrogen, mengasingkan karbon, menyuling air, membina tanah, mengakru tenaga suria sebagai tenaga suria sebagai bahan api, membuat gula dan makanan yang kompleks, mencipta iklim mikro, menukar warna mengikut musim dan mereplikasi sendiri. Ini menggunakan alam semula jadi sebagai model dan mentor, bukan sebagai ketidakelesaian. Ia merupakan prospek yang menggembirakan... ‘ (McDonough 1998).

Walaupun pelbagai bentuk biomimikri atau reka bentuk bio-inspirasi dibincangkan oleh penyelidik dan profesional dalam bidang seni bina lestari (Reed, 2006; Berkebile, 2007), pendekatan biomimikri yang meluas dan praktikal sebagai kaedah reka bentuk seni bina sebahagian besarnya masih tidak dapat direalisasikan, seperti yang ditunjukkan dalam kajian kes binaan kecil (Faludi 2005). Biomimikri masih di peringkat awal dalam bidang alam bina (Rajiv 2019). Satu halangan yang perlu diperhatikan ialah kekurangan pendekatan yang jelas untuk biomimikri yang boleh digunakan oleh pereka seni bina pada mulanya (Perricone et al. 2020). Pendekatan yang berbeza untuk reka bentuk biomimetik wujud, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan. Pendekatan yang pelbagai ini membawa hasil yang berbeza dari segi kemampuan keseluruhan (Ruano 2019).

## MATLAMAT & OBJEKTIF

Matlamat kajian adalah untuk mengenalpasti pendekatan biomimikri yang sesuai untuk reka bentuk seni bina. Manakala objektif kajian adalah seperti berikut:

1. Menganalisa biomimikri dan kaedah integrasinya dalam reka bentuk seni bina.
2. Menjalankan pelbagai pendekatan biomimikri dalam reka bentuk seni bina.

## METODOLOGI

Proses kajian adalah melalui kaedah kajian analisa dokumen atau analisa konten. Kaedah ini melibatkan penyelidikan, penelitian, dan penafsiran maklumat dalam dokumen atau kandungan. Ia melibatkan pemilihan dokumen yang relevan, pengkategorian, pengkodan data, analisis, dan interpretasi. Proses ini membolehkan pemahaman mendalam mengenai topik yang dikaji. Kaedah ini juga melibatkan validasi dan kebolehpercayaan temuan melalui metodologi penyelidikan yang sesuai. Rujukan pustaka seperti jurnal, buku dan prosiding berkaitan biomimikri dan ekomimikri dikaji bagi mengukuhkan dapatan kajian.

## KAJIAN PUSTAKA

### KRONOLOGI REKA BENTUK BIO-INSPIRASI

Menurut Marshall (2007), bionik ialah istilah yang dicipta oleh Jack Steele dari Tentera Udara Amerika Syarikat pada tahun 1960 untuk menerangkan bidang prospektif yang melibatkan penyalinan, meniru dan belajar daripada alam semula jadi. Sejak itu, istilah dalam bahasa Inggeris bertumpu dalam meniru tisu dan organ manusia untuk tujuan bioperubatan. Biomimetik ialah istilah yang dicipta oleh Otto Schmitt yang merangkumi semua aspek reka bentuk bio-inspirasi (Haidamous, 2017) tetapi cara diaplikasikan masih cenderung dalam sains perkakasan (Perricone et al. 2020) seperti biokejuruteraan dan biobahan. Ia juga digunakan oleh pelbagai pereka bio yang merangkumi bionik, robotik, animatronik dan pengkomputeran bio-inspirasi. Biomimikri ialah frasa lengkap yang dicipta oleh Janine Benyus pada 1990an yang merangkumi istilah biomimetik dan bionik. Ekomimikri ialah amalan mereka bentuk teknologi responsif sosial dan bertanggungjawab terhadap alam sekitar untuk kawasan tertentu berdasarkan ciri haiwan, tumbuhan dan ekosistem sesuatu kawasan

### ALAM SEMULA JADI MEMPENGARUHI SENI BINA

Penggunaan sistem ataupun organisma yang terdapat di dalam alam semula jadi ini telah banyak mempengaruhi dalam pembinaan reka bentuk mahupun sistem struktur. Inspirasi daripada sistem ataupun organisma pada alam semula jadi ini, dapat menghasilkan reka bentuk yang unik dan juga sistem struktur yang baik (Kim et al. 2018).

Berdasarkan Kiesler (1930) iaitu seorang arkitek, pakar teori dan artis, struktur yang terdapat pada sistem badan alam semula jadi ini berfungsi secara sempurna pada setiap bahagian. Oleh itu, sistem struktur ini boleh digunakan di dalam seni bina dalam menghasilkan seni bina yang lebih baik dan sistem struktur yang terbaik.

## PERINGKAT PENDEKATAN BIOMIMIKRI DALAM SENI BINA

Menurut Maibritt (2017), melalui analisa terhadap teknologi biomimetik sedia ada, ternyata terdapat tiga peringkat mimikri, organisma, tingkah laku dan ekosistem.

JADUAL 1. menunjukkan tiga peringkat pendekatan biomimikri dalam seni bina (Benyoucef et al. 2018)

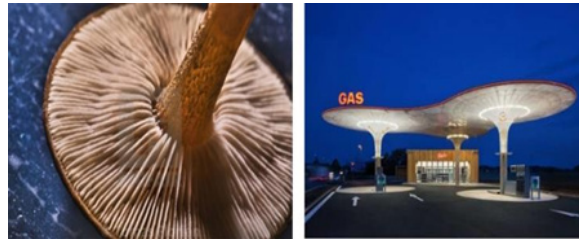
Peringkat Biomimikri	Pendekatan	Penerangan
Tahap organisma	Formal	Merujuk kepada organisma tertentu seperti tumbuhan atau haiwan dan mungkin melibatkan meniru sebahagian atau keseluruhan organisma.
Tahap tingkah laku	Fungsional	Merujuk kepada meniru tingkah laku, dan mungkin termasuk menterjemahkan aspek bagaimana organisma berkelakuan, atau berkaitan dengan konteks yang lebih besar.
Tahap ekosistem	Ekosistemik	Meniru keseluruhan ekosistem dan prinsip umum yang membolehkannya berfungsi dengan jayanya.

### TAHAP ORGANISMA

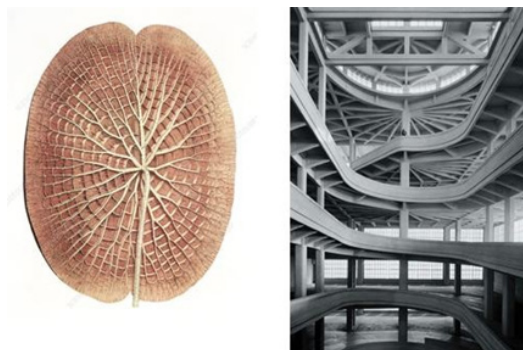
#### STRUKTUR INSPIRASIKAN DARIPADA TUMBUH-TUMBUHAN

Sistem struktur yang diinspirasi daripada tumbuh-tumbuhan ini ialah cendawan dan ia dikenali sebagai struktur papak cendawan (mushroom slab). Kaedah sistem struktur ini merupakan pembinaan papak cendawan terdiri

daripada tetulang tanpa rasuk, pembinaan lantai konkrit dan bumbung yang disokong oleh tiang dengan satah melebar luas yang mempunyai gelang tetulang mendatar untuk menyokong papak lantai dan bumbung. Sebagai contoh, merujuk kepada Rajah 1. Penggunaan sistem ini terdapat pada bangunan The Gas Station, Galanta, Slovakia yang direka oleh Atelier SAD. Merujuk kepada Rajah 2, penggunaan sistem struktur rasuk ada lantai konkrit pada bangunan Fiat Factory, Turin, Itali diinspirasi daripada sistem struktur yang terdapat daripada daun teratai.



RAJAH 1. Reka bentuk The Gas Station, Galanta, Slovakia menggunakan kaedah sistem struktur papak cendawan (Niemi 2017).



RAJAH 2. Reka bentuk Fiat Factory, Turin, Itali diinspirasi daripada sistem struktur yang terdapat daripada daun teratai (Niemi 2017).

KERANGKA KUBAH INSPIRASIKAN DARIPADA CENGERANG KURA-KURA

Sistem dan organisma daripada cengkerang kura-kura boleh digunakan sebagai struktur rupa bentuk konkrit tetulang dalam reka bentuk bangunan yang memerlukan


sistem bumbung yang besar seperti dewan serbaguna atau pusat konvensyen (Kim et al. 2018). Rajah 3 menunjukkan reka bentuk kubah yang terdapat pada bangunan Dewan Tammany mengambil idea sistem dan rupa bentuk daripada cengkerang kura-kura dengan mengimplementasikan kepada sistem struktur kerangka besi pada kubah.



RAJAH 3. Reka bentuk kubah yang terdapat pada bangunan Dewan Tammany mengambil sistem dan rupa bentuk daripada cengkerang kura-kura (Kim et al. 2018).

Struktur melengkung dapat mengurangkan beban melentur dalam struktur pembinaan. Dengan penambahan struktur jenis cengkerang ini dapat menambahkan lagi kekuatan pada struktur melengkung. Oleh kerana, geometrik struktur cengkerang ini terdiri daripada persimpangan daripada paraboloid hiperbolik. Struktur melengkung dengan menggunakan sistem cengkerang

selalunya digunakan pada struktur bumbung. Pada tahun 1960 hingga 1970, kaedah ini dibuat secara struktur kerangka besar dengan menggunakan konkrit. Tapi kini, sistem bumbung dengan menggunakan kerangka paip keluli dan kabel. Dengan kaedah ini, berat beban pada bumbung dapat dikurangkan secara optimum (Kim et al. 2018).

kerangka (truss)	cengkerang konkrit (concrete shell)	kerangka kekuda (space frame/truss)
1960 	1970  Los Manantiales Restaurant / Félix Candela	1980  heydar aliyev center/ Zaha Hadid
kabel cable/membrane)	kabel tegang (tensegrity)	hibrid (hybrid)
	1990 	2000  Tokyo olympic stadium/ kengo kuma

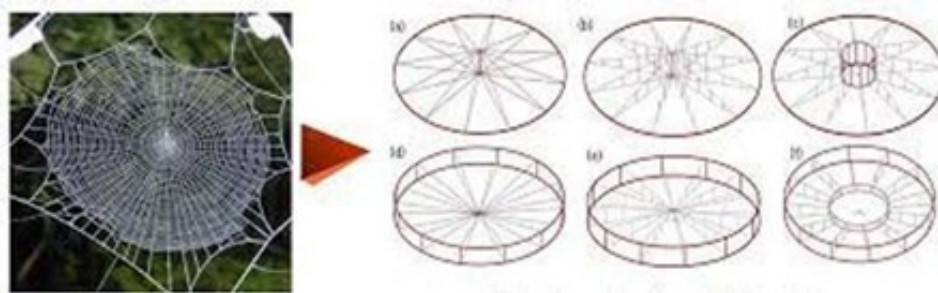
RAJAH 4. Revolusi penggunaan struktur cengkerang dan jenis-jenis kerangka yang diinspirasi daripada kulit cengkerang (Kim et al. 2018)



## STRUKTUR INSPIRASIKAN DARIPADA SARANG LABAH-LABAH

Merujuk Rajah 5, struktur tegangan (tensile structure) diinspirasi daripada sarang labah-labah. Secara semula jadinya, sarang labah-labah mempunyai struktur analogi dengan kabel jejari (*radial*) walaupun struktur jaringan sarang labah ini tidak sama dari segi jarak dan bentuk. Konsep reka bentuk struktur ini, membolehkan arkitek mereka bentuk secara kreatif dan kompleks sesuatu reka

bentuk bangunan dengan menggunakan sistem struktur ini. Kebiasaan kaedah struktur tegangan ini (*tensile*) ini digunakan di dalam reka bentuk kompleks sukan, stadium, gelanggang tenis yang memerlukan keluasan bukaan ruang yang besar (Kim et al. 2018). Merujuk Rajah 6, stadium yang menggunakan kaedah struktur ini ialah Olympic Munich Stadium, German. Reka bentuk stadium ini mengikut keadaan tapak kerana reka bentuk bumbung stadium ini diinsprasikan oleh Gunung Apls.



RAJAH 5. Struktur tegangan diinspirasi daripada sarang labah-labah (Kim et al. 2018)



RAJAH 6. Stadium Olympic Munich menggunakan struktur tegangan diinspirasi daripada sarang labah-labah (Kim et al. 2018)

## TAHAP TINGKAH LAKU

### THE EAST GATE CENTRE: INSPIRASI DARIPADA BUSUT ANAI-ANAI

The East Gate Centre adalah sebuah pusat membeli belah dan bangunan pejabat yang terletak di bandar Harare, Zimbabwe. Bangunan ini telah dibina pada tahun 1996 seluas 55,000 m<sup>2</sup> (Costesia, 2013). Oleh disebabkan

keadaan iklim tropikal di Harare ini, antara strategi yang dilakukan oleh arkitek Mick Pearce, menggunakan pengudaraan semula jadi dengan menginspirasi daripada sistem pengudaraan daripada busut anai-anai (Eastgate, 1997). Selain itu, reka bentuk bangunan ini respon terhadap persekitaran yang berkonsepkan seni bina tradisional purba Zimbabwe dan budaya setempat (Rajiv, 2019). Antara strategi kelestarian yang terdapat pada bangunan ini adalah:



RAJAH 7. The East Gate Centre, Harare, Zimbabwe yang direka oleh arkitek Mick Pearce (Pearce, 2016)

### 1. Sistem bahan binaan

Bahan binaan yang diperbuat oleh konkrit dan agregat granit diinspirasi oleh landskap liar di Zimbabwe.

Rangka konkrit bangunan disalut dengan bata tanah liat dan konkrit pratuang, yang mempunyai kapasiti tinggi untuk menyimpan haba sebelum ia masuk ke ruang dalam bangunan (Maglic, 2014).



RAJAH 8. Penggunaan bahan tanah liat dan konkrit untuk mengurangkan haba masuk ke dalam bangunan (Costesia 2013)

### 2. Sistem pengudaraan

Strategi menggunakan sistem pengudaraan semula jadi daripada busut anai-anai dengan memahami sistem pengudaraan daripada busut anai-anai. Berdasarkan Cortes (2014), Costesia (2013) dan Maglic (2014), busut anai-anai ini perlu mengekalkan suhu 87 darjah Fahrenheit, busut ini mempunyai sistem pengudaraan sendiri dan dapat mengawal suhu di dalam. Dengan mereka bentuk tiga puluh dua 32 pengudaraan vertikal pada bangunan ini dengan membenarkan pengudaraan masuk dan keluar. Tambahan lagi, reka bentuk cerobong yang besar pada bahagian bumbung membenarkan udara panas keluar daripada ruang dalam bangunan seterusnya menghasilkan sistem stack effect sama seperti kaedah yang

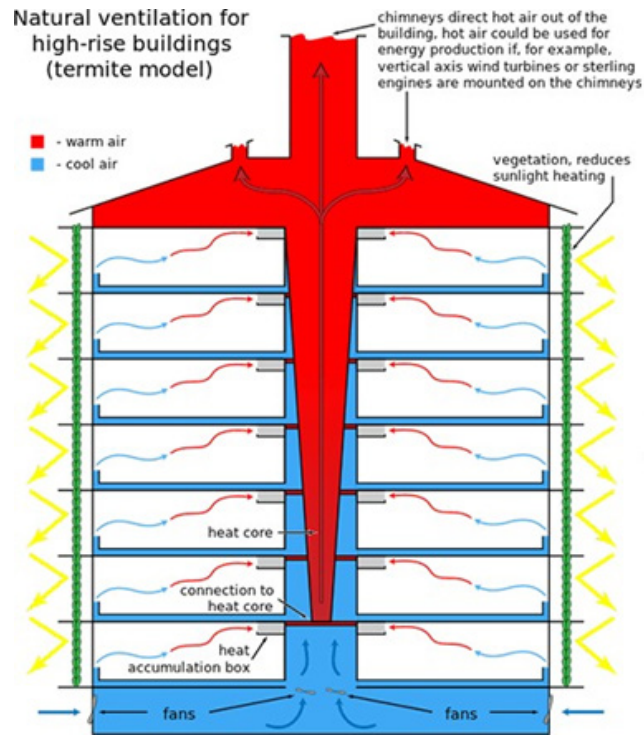
terdapat pada busut anai-anai. Oleh itu, bangunan ini dapat mengurangkan penggunaan sistem pengudaraan mekanikal (Costesia, 2013; Turner, 2008).

### 3. Bukaian tingkap yang kecil

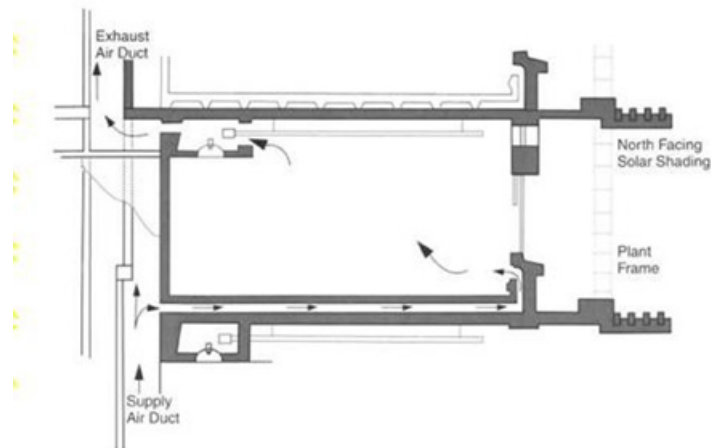
Oleh disebabkan bangunan The East Gate ini berada dalam iklim tropikal, arkitek Mick Pearce telah mereka bentuk bangunan ini dengan mengurangkan saiz tingkap. Dengan strategi ini, haba daripada cahaya matahari dapat dikurangkan. Selain itu, reka bentuk unjuran melintang dan ruang landskap pada balkoni luaran ini sebagai sistem teduhan daripada cahaya matahari masuk ke dalam ruang bangunan. Seterusnya dapat mengekalkan suhu yang baik pada ruang dalam bangunan (Eastgate, 1997).



RAJAH 9. Sistem pengudaraan di dalam busut anai- anai (Turner et al. 2008).

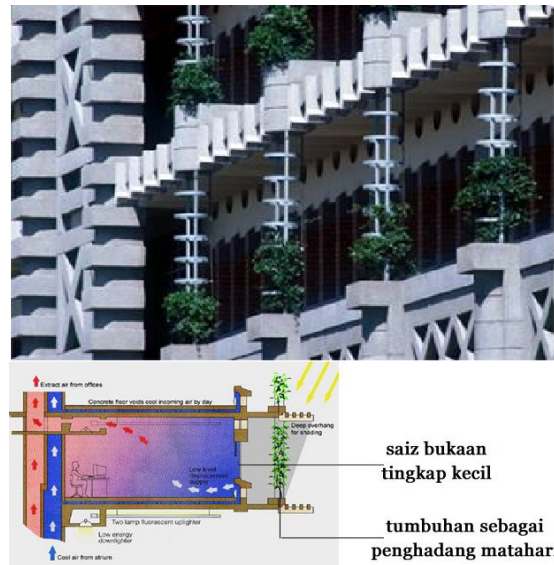


RAJAH 10. Keratan bangunan The East Gate yang menunjukkan sistem pengudaraan stack effect (Turner et al. 2008).



RAJAH 11. Perincian sistem pengudaraan stack effect (Turner et al. 2008).





RAJAH 12. Penggunaan bukaan tingkap yang kecil dan tumbuhan dan unjuran melintang untuk mengurangkan haba masuk ke dalam bangunan (Turner et al. 2008)

### TAHAP EKOSISTEM

#### MELBOURNE CITY COUNCIL HOUSE (CH): INSPIRASI DARIPADA EKOSISTEM ALAM SEMULA JADI

Melbourne City Council House (CH), Australia yang direka bentuk oleh DesignInc merupakan salah satu contoh

bangunan lestari yang menggunakan tenaga semula jadi secara optimum pada ruang dalam bangunan (Maibritt, 2017). Bangunan ini berkonsepkan ekosistem yang terdapat pada alam semula jadi yang mengintegrasikan persekitaran yang harmoni dari segi haba, sejuk, air dan tenaga (Zandieh et al. 2015; DesignInc). Antara strategi kelestarian pada bangunan ini adalah:



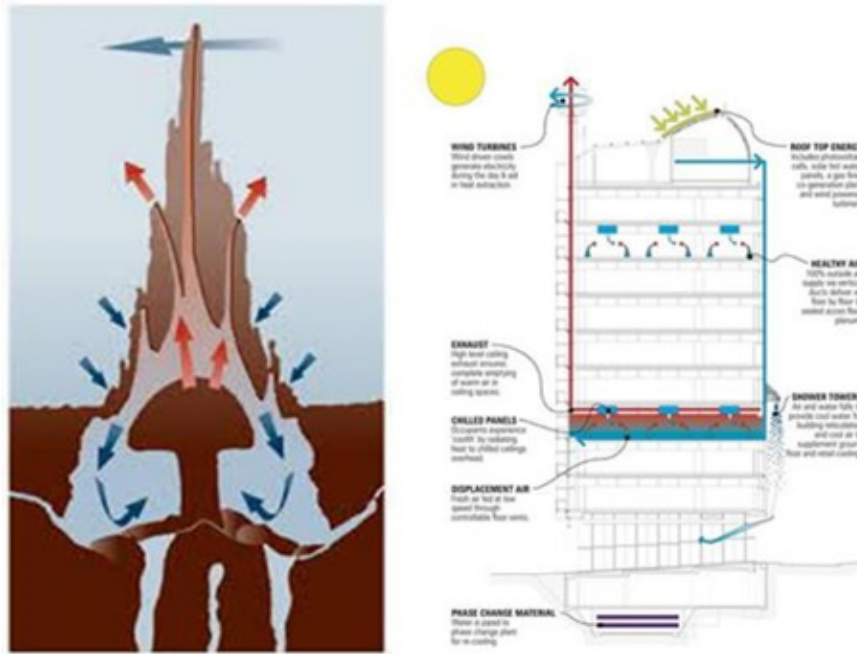
RAJAH 13. Reka bentuk bangunan Melbourne City Council House (CH) yang berkonsepkan ekosistem semula jadi (DesignInc).

#### 1. Sistem pengudaraan

Sistem pengudaraan yang diinspirasi dari busut anai-anai sama seperti bangunan The East Gate di Zimbabwe. DesignInc menggunakan sistem pengudaraan yang terdapat pada busut anai-anai ini pada bangunan ini.

Dengan mereka bentuk satu ruang udara secara vertikal untuk mengeluarkan udara panas dalam bangunan. Selain itu, pengudaraan yang silang juga memberikan kualiti persekitaran yang baik di ruang dalam bangunan (DesignInc).

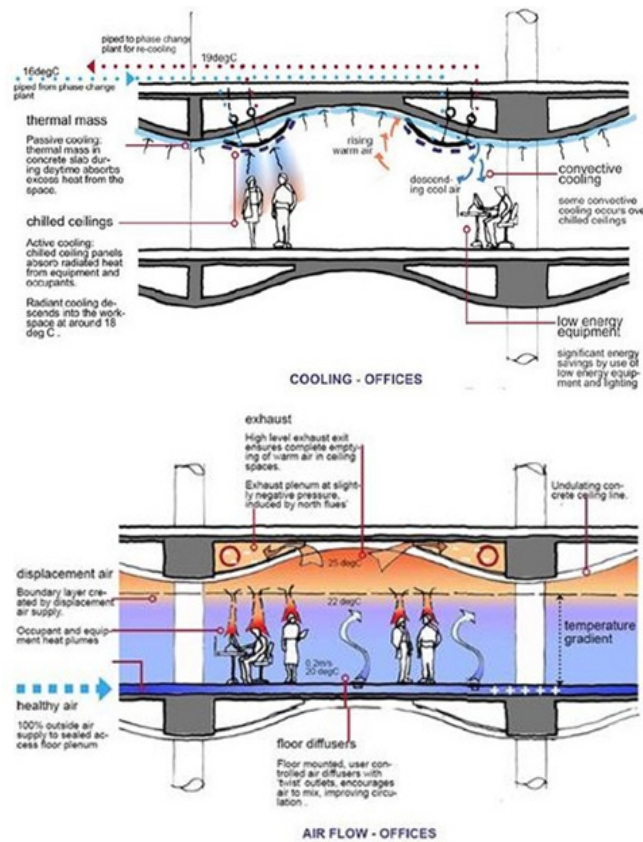




RAJAH 14. Sistem pengudaraan yang diinspirasi dari busut anai-anai (DesignInc).

Siling pada ruang dalam bangunan ini mempunyai ruang-ruang yang membenarkan udara masuk dan keluar untuk mengurangkan haba pada ruang dalam bangunan

ini. Strategi ini mampu memberikan keselesaan pada pengguna sepanjang waktu siang (Pearce 2016).

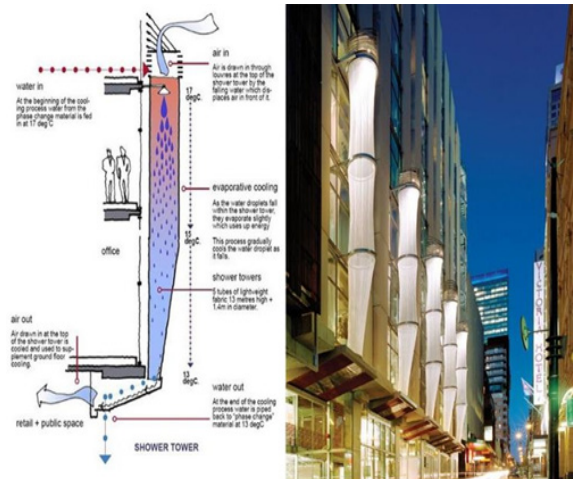


RAJAH 15. Sistem pengudaraan ruang (DesignInc).

2. Penggunaan elemen sebagai penyejuk bangunan

Antara strategi lain pada bangunan ini adalah mereka bentuk satu vertikal lohong (*shower tower*) seperti Rajah 16 yang membenarkan air masuk untuk dijadikan sebagai

sistem penyejuk pada ruang dalam bangunan. Seterusnya, air yang berlebihan ini akan disalurkan pada tempat simpanan di bawah tanah pada waktu malam dan disejukkan untuk digunakan sebagai pengudaraan pada waktu siang (Pearce, 2016).



RAJAH 16. Sistem penyejukan daripada elemen air pada ruang dalam bangunan (Pearce 2016)

3. Perbincangan

Meniru organisma sahaja tanpa meniru bagaimana ia mengambil bahagian dan menyumbang kepada konteks ekosistem yang lebih besar di dalamnya, berpotensi untuk menghasilkan reka bentuk yang kekal konvensional atau bahkan di bawah purata dari segi kesan alam sekitar (Reap et al. 2005).

Peniruan tahap tingkah laku memerlukan keputusan etika dibuat tentang kemampuan perkara yang ditiru untuk

konteks manusia. Tidak semua organisma mempamerkan tingkah laku yang sesuai untuk ditiru oleh manusia.

Kelebihan mereka bentuk pada tahap biomimikri (ekosistem) ini ialah ia boleh digunakan bersama dengan tahap biomimikri (organisma dan tingkah laku) yang lain. Walau bagaimanapun, pendekatan yang paling penting adalah potensi kesan positif ke atas keseluruhan prestasi alam sekitar tanpa mengabaikan penglibatan sosial seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.

JADUAL 2. menunjukkan ciri-ciri biomimikri dan ekomimikri (Ryn et al. 2007; Goker, 2017; Woo, 2017; Abaeian et al. 2016):

	Biomimikri	Ekomimikri
Sumber tenaga	Biasanya tidak boleh diperbaharui, tempatan, desentralisasi dan skala kecil.	Sentiasa boleh diperbaharui, disetempatan, desentralisasi dan skala kecil
Bahan yang digunakan	Mungkin toksik dan bersumber dari jauh.	Tidak pernah toksik dan sentiasa bersumberkan tempatan
Pencemaran	Mungkin minimum atau mungkin meluas	Sentiasa boleh degradasi
Kemampuan	Mungkin tanggungjawab terhadap alam sekitar tetapi lebih cenderung kepada alam sekitar berbahaya atau berisiko.	Hanya termasuk inovasi yang menyumbang kepada kebajikan persekitaran.
Kriteria reka bentuk	Kefungsian dalam lingkungan semasa Kejuruteraan dan sistem komersial adalah keutamaan	Menyumbang kepada perlindungan alam sekitar, penambahbaikan atau berhampiran jejak ekologi sifar.

bersambung ...

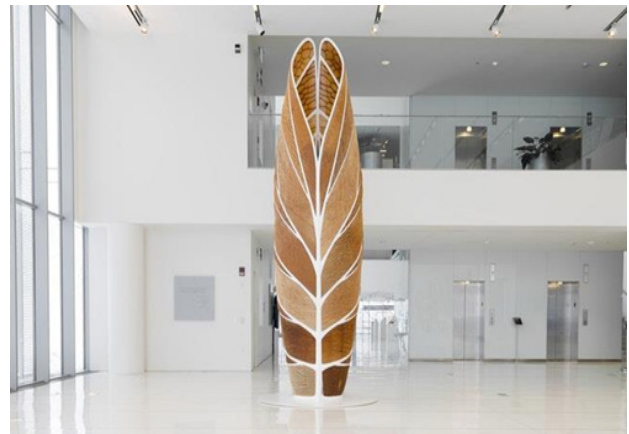
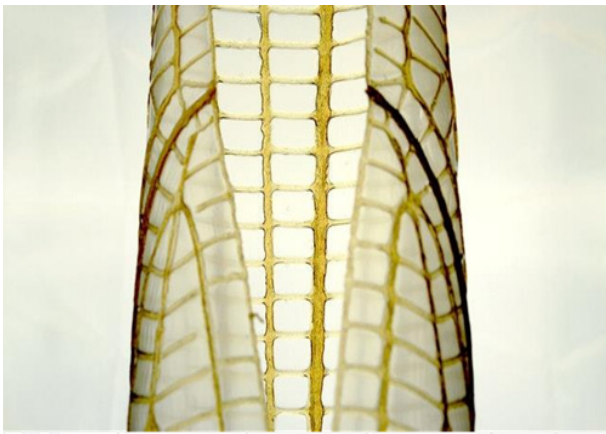
... sambungan

Ekologi sensitiviti	Reka bentuk biomimik mungkin atau mungkin tidak sensitif secara ekologi	Sentiasa sensitif dari segi ekologi.
Kepekaan sosial	Berdasarkan sistem sosial semasa yang termasuk kurang prihatin kebanyakan komuniti tempatan.	Tanggungjawab sosial dan sedar tentang perlu melindungi dan menggalakkan komuniti tempatan dalam sistem global.
Menghargai alam	Menghargai alam sebagai suatu sumber intelek.	Menghargai alam sebagai koleksi makhluk yang penting secara intrinsik dan bentuk kehidupan.
Penyertaan sivik	Bergantung pada pakar dari sains, reka bentuk dan kejuruteraan dan projek pengurusan yang diiktiraf.	Teknologi dan keputusan adalah lebih adil, inovasi dan keputusan tekno datang dari dari bawah ke atas
Peranan daripada kerajaan	Memberi wang pembayar cukai kepada perbadanan besar dan sektor kerajaan melalui subsidi, geran R&D yang besar atau insentif cukai; peraturan dan mengenakan penyelesaian seragam berpusat.	Membolehkan komuniti untuk menyusun masa depan teknologi mereka sendiri dengan membiayai projek berskala kecil, tidak mengenakan penyelesaian berpusat.
Pembiayaan	Industri pertahanan berskala besar bersama dengan pelbagai syarikat besar.	Berasaskan komuniti (dengan pembiayaan sendiri skim dan penggunaan pembiayaan berpusat).
Kuasa politik	Mengumpul di tempat-tempat tradisional (kerajaan, syarikat dan elit profesional), dengan itu menggalakkan ketidakadilan.	Sebarkan kepada masyarakat, individu, kumpulan kreatif, isi rumah dan kejiranan.

## REKA BENTUK BERASASKAN BAHAN

Salah satu pendekatan baharu dalam seni bina dan reka bentuk ialah reka bentuk berasaskan bahan yang dibangunkan dan dicadangkan sebagai satu set strategi untuk menyokong integrasi bentuk, bahan dan struktur dengan menggabungkan strategi mencari bentuk fizikal

dengan analisis dan fabrikasi digital. Dalam pendekatan ini, bahan mendahului bentuk, dan ia adalah penstrukturan sifat bahan sebagai fungsi prestasi struktur dan persekitaran yang menjana bentuk. Satu pendekatan unik, iaitu para arkitek atau pereka kini dapat mewujudkan hubungan parametrik antara ciri, kaedah dan fungsi dengan cara yang menyokong proses reka bentuk alam semula jadi (Oxman, 2010). Kajian lanjutan diperlukan bagi menganalisa ekologi dari segi bahan



RAJAH 17. AGUAHOJA, berasal dari laut dan kembali ke tanah, menggunakan pereputan sebagai ciri reka bentuk (Oxman 2010).

## RUMUSAN

Peningkatan persekitaran binaan buatan manusia dipertanggungjawabkan untuk masalah alam sekitar dan sosial global dengan kadar besar sisa, bahan dan penggunaan tenaga serta pelepasan rumah hijau yang dikaitkan dengan habitat yang dicipta oleh manusia (Mazria, 2003; Doughty et al. 2004). Dari kajian yang dibuat, ia menjadi semakin jelas bahawa anjakan dalam pendekatan persekitaran binaan yang direka mesti dibuat. Meniru kehidupan, termasuk interaksi kompleks antara organisma hidup yang membentuk ekosistem adalah contoh yang mudah didapati dan dipelajari. Pendekatan ini memberi keuntungan bersama antara manusia dan alam semulajadi dan patut menjadi agenda masa hadapan.

## RUJUKAN

- Abaeian, H., Madani, R and Bahramian A. 2016. Ecosystem Biomimicry: A way to achieve thermal comfort in architecture. *Int. J. Hum. Capital Urban Manage* 1(4): 267-278, Autumn 2016 DOI: 10.22034/ijhcum.2016.04.004
- Benyoucef, Y. M., Razin, A. 2018. Biomimicry architecture, from the inspiration by nature to the innovation of the saharan architecture. 10.23968/2500-0055- 2018-3-4-3-12.
- Berkebile, B. 2007. Master Speaker Address. Cortes W.A. 2014. Living Future Conference, Seattle, WA. Biomimetic Architecture. SB07 New Zealand. Paper No: 033
- Costesia 2013. The termite mound: A not quite true popular bioinspiration story.
- DesignInc, 2023 <https://www.designinc.com.au/> (25 June 2023)
- Doughty, M. and Hammond, G. 2004. Sustainability and the built environment and beyond the city scale. *Building and Environment* 39: 1223-1233.
- Eastgate, H. 1997. Architecture SA. 23–27. Eastgate, Pearce M. 2006. *Architecture Boogazine* 5: 142–143
- Faludi, J. 2005. Biomimicry for green design (A how to). World Changing Team. [www.worldchanging.co/archives/003680.html](http://www.worldchanging.co/archives/003680.html). (21 June 2023)
- Göker, F. P. and Tuna, S. A., 2017. The eco-mimicry approach towards cityscape design and examples in the world. In 2th International Conference on Civil and Environment Engineering. May (pp. 8-10).
- Haidamous, T. 2017. Rethinking the role of design within the technological advancements in biomimetics and synbio. *The Design Journal* 20:sup1: S4009- S4018, DOI: 10.1080/14606925.2017.1352903.
- Kim, J. and Park, K. 2018. The design characteristics of nature-inspired buildings. *Civil Engineering and Architecture* 6(2): 88-107.
- Maglic, M. J. 2014. *Biomimicry: Using Nature as a Model For Design*. University of Massachusetts Amherst.
- Maibritt, P. Z. 2017. Biomimetic urban design: Ecosystem service provision of water and energy.
- Marshall, A. 2007. The Theory and Practice of Ecomimicry. ISSN 1834-6278.
- Mazria, E. 2003. It's the Architecture, Stupid! *Solar Today*. May/June.
- McDonough, W. and Braunngard, M. 1998. The Next Industrial Revolution. The Atlantic, October.
- Niemi, S. 2017. Biomimicry in Architecture.
- Oxman, N. 2010. Material-based design computation. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology.
- Pearce, M. 2016. Melbourne City Council House (CH).
- Perricone, V., Grun, T.B., Marmo, F., Langella, C. and Carnevali, M.D.C., 2020. Constructional design of echinoid endoskeleton: main structural components and their potential for biomimetic applications. *Bioinspiration & Biomimetics*, 16(1): p.011001.
- Woo, L. C. Ecomimesis: A model for sustainable Design.
- Rajiv, G. P. V. 2019. To study biomimicry in architecture.
- Reap, J., Baumeister, D. and Bras, B. 2005. Holism, biomimicry and sustainable engineering. ASME International Mechanical Engineering Conference and Exposition. Orlando, FL, USA.
- Reed, B. 2006. Shifting our mental model- 'sustainability' to regeneration. rethinking sustainable construction 2006: Next Generation Green Buildings, Sarasota, Florida.
- Ruano, D. S. 2019. Nature-Centered Design. Exploring the path to design as Nature, *The Design Journal*, 22:sup1, 2225-2229, DOI: 10.1080/14606925.2019.1595016.
- Ryn, S. V. D. and Cowan, S. 2017. *Ecological Design*. Island Press: Washington, DC.
- Turner, J. S. and Soar, R. C. 2008. Beyond biomimicry: What termites can tell us about realizing the living building. In First International Conference on Industrialized, Intelligent Construction (13CON) (pp.1–18).
- Zandieh, M. and Nikkhah, A., 2015. Architecture of buildings using renewable energies in harmony with sustainable development. *J. UMP. Soc. Sci. Technol. Manage* 3(2): 27-33.