

**ANALISIS PENERAPAN NEARLY ZERO EMISSION BUILDING DALAM UPAYA
MENGURANGI EMISI KARBON PADA SEKTOR BANGUNAN**
(*Analysis of the Implementation of Nearly Zero Emission Buildings Efforts to Reduce Carbon
Emissions in the Building Sector*)

Chandra Budiman¹; Agung Cahyo Nugroho²; Fadhilah Rusmiati³

^{1,2,3}Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri
Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kec. Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141
chandra.budiman203119@students.unila.ac.id

Abstract

Indonesia's urbanization issue ranks fourth in Southeast Asia. Urbanization correlates with a 1% increase in emissions for every 1% increase in the population. In the building sector, this trend will increase the demand for building construction, impacting building resources such as power plants (energy sector). The energy sector contributes the highest carbon emissions at 94.64%. This rise in carbon emissions can hinder the goal of reducing emissions by 29% by 2030. The Nearly Zero Emission Building (NZEB) approach is proposed as a solution for energy efficiency. The NZEB approach involves steps during the pre-construction phase using passive strategies and post-construction with active strategies through building operations to reduce building energy needs. This research uses a qualitative method based on three standards from three countries with different climates to review the implementation results. The analysis results show three strategies: passive strategies (orientation, natural lighting, and ventilation), active strategies (Building Management Systems (BMS), renewable energy use, and building materials), and alignment with Green Building to maximize this approach. In Indonesia, alignment with the Green Building Council Indonesia (GBCI) is necessary. GBCI has designed Greenship "Net Zero," focusing on assessments such as air quality, natural openings, and carbon emission reduction calculations. This will help quantitatively reduce carbon emissions in the building sector.

Keywords: *urbanization, carbon emission, Nearly Zero Emission, energy efficiency, design strategies*

Abstrak

Persoalan urbanisasi Indonesia berada di tingkat ke – 4 se-Asia Tenggara. Urbanisasi memiliki korelasi dengan penambahan emisi sebanyak 1% setiap 1% populasi baru. Pada sektor bangunan, hal ini akan meningkatkan juga kebutuhan konstruksi bangunan yang berdampak dengan sumber daya bangunan yaitu pembangkit listrik (sektor energi). Sektor energi ini menyumbang emisi karbon tertinggi sebesar 94,64%. Peningkatan emisi karbon ini dapat menurunkan target pada tahun 2030 untuk menurunkan 29% emisi karbon. Pendekatan *Nearly Zero Emission Building* diterapkan sebagai solusi untuk efisiensi energi. Pendekatan ini memiliki tahapan pada pra-konstruksi dengan strategi pasif dan pasca konstruksi dengan strategi aktif melalui operasional gedung untuk menurunkan kebutuhan energi bangunan. Metode penelitian menggunakan jenis kualitatif berdasarkan tiga standar dari tiga negara dan iklim berbeda untuk meninjau hasil penerapan. Hasil analisis menunjukkan adanya tiga strategi melalui strategi pasif (orientasi, pencahayaan, dan penghawaan alami), strategi aktif (BMS, penggunaan energi terbarukan, dan material bangunan), serta koleransi dengan Green Building untuk memaksimalkan pendekatan ini. Diperlukannya koleransi di Indonesia dengan *Green Building Council Indonesia* (GBCI). Hal tersebut telah dirancangkan GBCI melalui *Greenship "Net Zero"* dengan mengambil fokus penilaian seperti pada kondisi udara, bukaan alami dan perhitungan reduksi emisi karbon. Hal ini membantu secara kuantitatif nantinya untuk mengurangi buangan emisi karbon pada sektor bangunan.

Kata kunci: Urbanisasi, emisi karbon, *Nearly Zero Emission*, efisiensi energi, strategi desain

Pendahuluan

“Persoalan Global” dihadapi oleh negara-negara di seluruh dunia, seperti pada aspek sosial yaitu urbanisasi yang signifikan pada suatu kota sehingga menciptakan persoalan kesenjangan ekonomi dan meningkatnya angka pengangguran (Mila, 2015). Hal tersebut juga terjadi di Indonesia. Peningkatan pertumbuhan populasi di Indonesia memiliki nilai pertumbuhan 4,1 % per tahun, dan menduduki peringkat ke-4 nilai pertumbuhan tercepat di Asia Tenggara pada tahun 2017, yaitu memiliki persentase hingga 54,7% (Pusparisa, 2019). Diperkirakan pada tahun 2025, 68% dari penduduk Indonesia akan menghuni wilayah perkotaan. Pada tahun 2010, kepadatan penduduk perkotaan di Indonesia mengalami lonjakan dari 7.400 penduduk/km² menjadi 9.400 penduduk/km² dengan pertumbuhan lahan yang minim yaitu mencapai 40 m² (World Bank, 2016). Permasalahan urbanisasi ini tidak hanya berdampak pada aspek sosial dan ekonomi, tetapi akan berdampak pada perubahan iklim secara global di Indonesia.

Persoalan urbanisasi memiliki keterkaitan dengan perubahan iklim terutama persoalan emisi gas rumah kaca. Berdasarkan perkembangan data statistik, terdapat peningkatan energi hingga 35 kali lipat yang disertai dengan peningkatan emisi karbon sebanyak 20 kali lipat. Peningkatan 1% populasi dapat meningkatkan 1% emisi karbon (Maria, 2021). Melalui peningkatan emisi karbon, hal ini dapat memicu kerusakan iklim berkepanjangan seperti gangguan pada siklus air, perubahan iklim, peningkatan suhu yang menyebabkan fenomena global yaitu pemanasan global.

Menurut data analisis *SRES (Special Report on Emission Scenarios)* yang dikeluarkan oleh *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)* menjabarkan bahwa urbanisasi dan penambahan populasi suatu daerah dapat merubah pola penggunaan lahan dan energi yang menjadi penyebab meningkatkan emisi karbon (Maria, 2021). Hal ini tentunya berkaitan dengan sektor bangunan, baik dari sektor hunian maupun bangunan komersial sebagai lahan pekerjaan. Pada sektor bangunan juga menyumbang emisi karbon

pada saat konstruksi maupun pada saat pasca konstruksi. Secara khusus, sektor bangunan yang menjadi penyumbang emisi karbon terdapat pada penggunaan sumber energi listrik sebagai daya listrik pada bangunan.

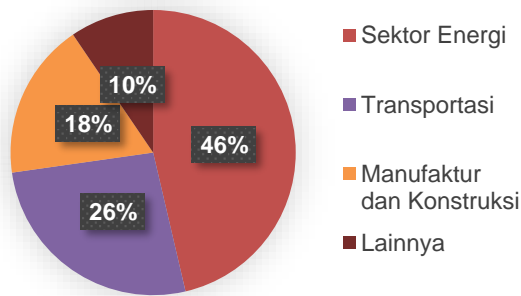
Menurut data Kementerian ESDM pada tahun 2017 (lihat Gambar 2) menyebutkan bahwa sektor energi pada sektor bangunan menjadi kategori yang paling tinggi menyumbang emisi karbon sebesar 46,35% (Kementerian ESDM, 2019). Dengan kategori industri sektor energi terbanyak pada kategori pembangkit listrik sebesar 94,64% (lihat Gambar 1) yang berhubungan dengan konstruksi bangunan sebagai sumber daya listrik setiap bangunan dan sektor produksi material bangunan, yaitu industri manufaktur dan konstruksi yang berada di tingkat dua pada kategori penyumbang emisi karbon terbanyak pada tahun 2017 hingga 2018 dengan kenaikan sebesar 1,57% per tahun (lihat Gambar 2).



Gambar 1: Grafik penyumbang emisi GRK sektor energi tahun 2018
(Sumber: Kementerian ESDM, 2019)

Peningkatan emisi karbon ini tentunya dapat meningkatkan emisi rumah kaca (GRK). Hal ini dapat menurunkan upaya Pemerintah Indonesia untuk menurunkan emisi karbon sesuai dengan *Nationally Determined Contribution (NDC)* yang di dalamnya memiliki target penurunan emisi karbon hingga 29% pada tahun 2030 dengan terus menurunkan sektor – sektor penyumbang emisi karbon terbanyak seperti pada sektor energi. Upaya ini telah terlihat melalui penurunan emisi karbon sebesar 314 juta ton CO₂e (Kementerian ESDM, 2019).

Kontribusi Emisi GRK Tahun 2018



Gambar 2: Grafik penyumbang emisi GRK di sektor energi tahun 2018
(Sumber: Kementerian ESDM, 2019)

Dalam mendukung penurunan indeks emisi karbon pada sektor energi sebagai sektor terbanyak penyumbang karbon ini, maka untuk sektor bangunan dapat dilakukan melalui mekanisme dan pengembangan dalam penerapan teknologi bangunan secara berkelanjutan secara menyeluruh untuk menciptakan konsep desain bangunan yang memiliki efisiensi energi tinggi dan dapat beralih dari ketergantungan energi fosil melalui energi terbarukan (EBT). Indonesia memiliki target penggunaan sumber energi terbarukan (*renewable energy*) pada tahun 2030 sebanyak 54% (Green Building Council Indonesia, 2020). Hal ini melalui target dari pendekatan penerapan dari konsep desain *Nearly Zero Emission Building* atau *Near Zero Energy Bulding*.

Metode

Penelitian ini menerapkan metode penelitian kualitatif deksriptif. Data-data yang diperoleh pada karya ilmiah ini diperoleh melalui studi pustaka atau literatur dengan berupa komparasi dari standarisasi beberapa negara dengan kondisi iklim berbeda untuk melihat penerapan NZEB dari beberapa kondisi untuk melihat persamaan maupun definisi dari pendekatan ini. Penentuan kasus dilakukan secara *purposive*, yaitu negara Cina, London, dan Singapura yang menerapkan konsep *zero carbon building*.

Zero Carbon Building, Hong Kong

Bangunan ini berlokasi di Kowloon Bay, Hong Kong yang berfungsi sebagai pusat pengembangan publik berupa pameran, pendidikan, dan pusat informasi (lihat

Gambar 3). Bangunan dua lantai ini menerapkan konsep *zero carbon building* dengan mendapatkan sertifikat BEAM Plus yaitu sertifikat hasil dari penilaian dari *Hong Kong Green Building Council (HKGBC)* dalam mewujudkan konsep *zero carbon* pada bangunannya.



Gambar 3: Zero carbon building, Hong Kong
(Sumber: Archdaily, 2012)

The Crystal, London

Bangunan ini berlokasi di Royal Victoria Dock, London sebagai bangunan publik berupa pameran, auditorium, dan pusat inovasi teknologi (lihat Gambar 4). The Crystal yang memiliki satu lantai ini diklaim merupakan *Zero Carbon Building* dengan mendapatkan penilaian *green building* yaitu *LEED (Leadership in Energy and Environment Design)* dengan sertifikat platinum.



Gambar 4: The Crystal, London
(Sumber: Archdaily, 2012)

BCA Academy, Singapura

BCA Academy (lihat Gambar 5) merupakan bangunan kampus atau pendidikan dengan memiliki spesifikasi lantai berjumlah tiga lantai yang berlokasi di Braddell Campus, Singapura. Bangunan ini merupakan bangunan pertama yang melakukan pendekatan menuju *Net Zero Energy Building* dengan mengikuti

standarisasi dari penilaian green building dari Singapura yaitu *BCA Green Mark*.



Gambar 5: BCA Academy, Singapore (Sumber: Wittkopf, 2015)

Kajian Pustaka

Nearly Zero Emission Building

Nearly Zero Emission Building (NZEB) merupakan pendekatan yang memiliki prinsip dan tujuan serupa yaitu *Net Zero Energy Building* (Azhar & Wismadi, 2020). NZEB memiliki empat definisi utama sebagai landasan pada konsepnya (lihat Gambar 6), yaitu:

- 1) Suatu lokasi perancangan yang ditetapkan dapat menghasilkan sumber energi terbarukan sebagai sumber energi primer atau utama (*Net Zero Source Energy*);
- 2) Suatu lokasi perancangan memiliki energi terbarukan yang dapat menutup kebutuhan energi dengan nilai setara atau nol (*Net Zero Site Energy*);
- 3) Memiliki pembiayaan kebutuhan energi nol dengan menggunakan energi terbarukan (*Net Zero Energy Costs*); dan
- 4) Menggunakan energi terbarukan yang bebas dari emisi karbon (*Net Zero Emission*) (Abdellah et al., 2017).



Gambar 6: Empat definisi utama NZEB (Sumber: Ilustrasi pribadi, 2024)

Dalam empat definisi di atas dapat disimpulkan bahwa NZEB ini merupakan bagian dari *Net Zero Energy Building* pada

bagian *Net Zero Emission*. Pendekatan *Nearly Zero Emission* ini dapat berupa pendekatan awal dalam menuju *Net Zero Emission* dengan tetap menggunakan prinsip dari pendekatan tersebut.

Pada pendekatan NZEB ini memiliki empat tahapan, dari mulai pra konstruksi yaitu perencanaan hingga operasional yaitu setelah atau pra konstruksi untuk jangka panjang (lihat Gambar 7). Terdapatnya enam parameter desain dalam mewujudkan pendekatan ini dengan melalui beberapa respons iklim sekitar (lihat Tabel 1) (Latief et al., 2017).



Gambar 7: Empat tahapan NZEB (Sumber: Ilustrasi pribadi, 2024)

Tabel 1: Enam Parameter desain

Parameter desain	Sub Parameter
Konstruksi bangunan	Atap
	Pintu utama
	Jendela
PV panel	Dinding eksterior
	Kapasitas panel
Penetrasi	Posisi panel
	<i>External shading</i>
Desain pasif	<i>Glazing</i>
	Orientasi bangunan
Pencahayaannya	Pencahayaannya alami
	Pencahayaannya buatan
Fitur pendukung	<i>BMS</i>
	Faktor ekonomi

(Sumber: Latief et al., 2017)

Dari enam parameter di atas dapat dijabarkan strategi yang dilakukan untuk mencapai *Nearly Zero Emission* atau melalui prinsip NZEB yaitu dibagi menjadi dua yaitu strategi desain aktif dan strategi pasif yang saling terintegrasi atau disebut dengan proses desain terintegrasi (*integrated desain process*). Kedua strategi implementasi tersebut harus terintegrasi dan saling berkolaborasi secara erat agar dapat memaksimalkan setiap aspek untuk efisiensi penggunaannya (lihat Gambar 8).



Gambar 8: Integrated Design Process
(Sumber: Gunawan et al., 2012)

Strategi desain secara pasif

Orientasi dan bentuk bangunan

Pertimbangan orientasi dan bentuk bangunan berdasarkan arah angin dan arah datangnya cahaya. Hal ini menjadi awal untuk pemanfaatan pencahayaan dan penghawaan alami agar lebih maksimal saat memiliki tata letak bangunan yang tepat.

Pencahayaan alami

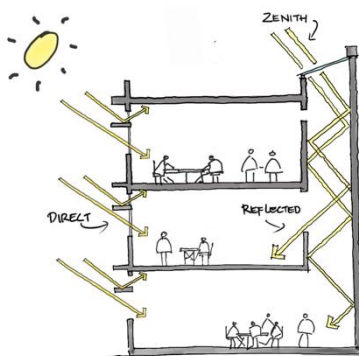
Memiliki beberapa tipe arah datangnya pencahayaan secara alami (lihat Gambar 9) yang dibagi menjadi beberapa hal yaitu (LKH Project, 2022):

1. *Direct light*

Direct light berada di titik jendela dengan mengarah langsung ke arah ruangan secara tegak lurus.

2. *Zenith light*

Zenith light berada di titik atap atau atas dengan mengarah langsung kebawah ruangan untuk memantulkan cahaya secara besar.



Gambar 9: Tipe-tipe natural lighting
(Sumber: LKH Project, 2022)

Penghawaan Alami

Penghawaan alami melalui konsep-konsep alur sirkulasi bangunan seperti

konsep ventilasi silang (lihat Gambar 9) untuk mengalirkan angin dingin (*cold air*) masuk ke dalam bangunan dan angin panas (*hot air*) keluar dari bangunan.



Gambar 10: Konsep ventilasi silang
(Sumber : Hugh, 2022)

Material selubung bangunan

Penggunaan material selubung yang tepat sebagai pelapis terluar berguna untuk menghindari *solar heat gain effect*. Berdasarkan SNI 03-6389-2000 dengan nilai α (absorpsi) semakin kecil maka dapat memiliki penerapan panas lebih kecil (lihat Tabel 2).

Tabel 2: Dinding luar dengan absorpsi cahaya

Bahan dinding luar	α
Beton berat	0,91
Bata merah	0,89
Bituminous felt	0,88
Batu sabak	0,87
Beton ringan	0,86
Aspal jalan setapak	0,82
Kayu permukaan halus	0,78
Beton ekspos	0,61
Ubin putih	0,58
Bata kuning tua	0,56
Atap putih	0,50
Cat aluminium	0,40
Kerikil	0,29
Seng putih	0,26
Bata glazur putih	0,25
Aluminium	0,12
Composite Panel	

(Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2010)

Strategi desain secara aktif

BMS (Building Management System)

BMS ini merupakan bentuk *monitoring* secara *real time* untuk memantau seluruh sistem seperti pencahayaan, penghawaan buatan (HVAC), kualitas udara, hingga perhitungan energi pada bangunan untuk membantu efisiensi energi bangunan dengan mengurangi penggunaan tak terpakai dan dapat menghitung kebutuhan yang dikeluarkan untuk mengurangi pemborosan pemakaian energi pada bangunan.

Sumber energi terbarukan

Sumber energi terbarukan ini merupakan salah satu prinsip utama pada pencapaian NZEB. Sumber energi terbarukan ini dikembalikan pada area atau kawasan perancangan mengenai potensial setiap sumber energi terbarukan yaitu:

1. PLTS (tenaga surya);
2. PLTA (tenaga angin);
3. Biomassa;
4. Geothermal; dan
5. Pemanas air tenaga surya.

Penggunaan material bangunan

Pemilihan material bangunan mengikuti dengan penerapan sertifikat penilain *Green Building* pada setiap negara seperti di Indonesia menggunakan *GreenShip: New Building* yang mengatur:

1. Tidak beracun, sebelum maupun setelah sesudah digunakan;
2. Dalam proses pembuatan tidak memproduksi zat – zat bagi lingkungan;
3. Dapat menghubungkan pengguna dengan alam melalui pemilihan material alami;
4. Material berupa material lokal yang berdekatan untuk mengurangi jejak karbon pada transportasi; serta
5. Bahan mudah terurai.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Studi komparasi prinsip-prinsip dari beberapa negara untuk pendekatan NZEB

Implementasi pendekatan *Nearly Zero Emission* memiliki perbedaan penerapan dikarenakan menyesuaikan dengan iklim maupun standarisasi yang ditetapkan pada

setiap negara. Oleh karena itu, analisis dari beberapa standar atau kriteria penerapan *Nearly Zero Emission* dari beberapa negara dilakukan dengan hasil sebagai berikut.

Negara Cina

Negara Cina dengan empat musim memiliki jenis iklim yang berbeda berdasarkan letak geografisnya, yaitu musim panas, musim gugur, musim dingin, dan musim semi. Pada musim panas dan dingin menjadi musim dengan memerlukan kebutuhan energi yang tinggi untuk pemanasan dan pendingin. Maka dari itu, dua musim ini memiliki respons dalam menerapkan pendekatan *Nearly Zero Emission Building*.

Mengurangi perpindahan panas pada bangunan

Untuk menerapkan pendekatan ini ditemukan bahwa pengurangan perpindahan radiasi panas memengaruhi efisiensi energi di bangunan dalam penggunaan penghawaan buatan. Hal ini dikarenakan diperlukannya konsumsi energi untuk penghawaan buatan pada bangunan hingga 40%. Maka dari itu, dikemukakan bahwa terdapat beberapa cara mengurangi perpindahan panas pada dinding atau atap sebagai lapisan bangunan melalui pengurangan koefisiensi perpindahan panas dinding atau atap dengan memiliki material dengan daya serap panas yang rendah. Dengan memperbesar rasio *window to wall ratio (WWR)* pada bagian utara dan selatan untuk mengurangi sinar matahari secara langsung tetapi tetap dapat mendapatkan pencahayaan alami.

Melakukan respons iklim sekitar

Merancang bangunan yang menyesuaikan dengan hasil respons iklim sekitar dapat dilakukan dengan mempertimbangkan orientasi bangunan. Orientasi bangunan dapat membantu dalam mengurangi radiasi panas pada bangunan yaitu seperti menghadap utara dan selatan. Namun, respons iklim ini sangat beragam menyesuaikan dengan hasil analisis iklim. Hal ini dapat diwujudkan melalui bantuan simulasi *software* atau aplikasi untuk melihat kondisi iklim dan pencapaian desain dalam merespons iklim.

Menggunakan sumber energi terbarukan sebagai sumber energi utama

Dengan respons kondisi pada negara Cina disarankan menggunakan penggunaan sumber energi tenaga surya baik pada panel fotovoltaik (PV) maupun pemanas air panas tenaga surya. Hal ini dikarenakan respons iklim seperti pada musim panas yang memiliki potensial yang cukup dengan adanya penerapan sistem panel surya ini dapat memungkinkan tingkat penghematan energi hingga 61,76% dengan rasio pemakaian pemanfaatan energi terbarukan sebesar 71%. Hal ini dapat menjadi standar dalam pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk pendekatan *Nearly Zero Emission Building*.

Penggunaan material rendah karbon

Penggunaan material bangunan dengan berdasarkan peraturan Green Building seperti di Hong Kong mengikuti ketentuan *Hong Kong Green Building Council (HKGBC)* dengan adanya penilaian tolak ukur bernama *BEAM (Building Environment Assessment Method)* yang di dalamnya meliputi: (1) penggunaan komponen prafabrikasi pada fasad, tangga, area koridor atau struktur; (2) penggunaan kembali material-material bekas bahkan furnitur bekas pada area interior; (3) penggunaan material yang mudah terurai (*non inert waste*) atau ramah lingkungan pada konstruksinya seperti pada kaca, penggunaan kayu bersertifikat *FSC (Forest Steward Council)*, penggunaan logam bekas dan plastik seperti *polycarbonate*.

Negara Inggris

Prinsip yang ditetapkan dalam pendekatan ini dibuat untuk mewujudkan visi dan misi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) hingga 80% pada tahun 2050 serta tatangan atau keraguan dalam implikasi pendekatan ini.

Membatasi kebutuhan energi pada bangunan yang akan dibangun

Hal ini dilakukan dengan menetapkan aturan penghematan yaitu sebesar 50%-90% sebagai variabel dalam pencapaian dalam pendekatan *Nearly Zero Emission Building*.

Melakukan respons iklim melalui perhitungan atau simulasi

Melakukan simulasi perhitungan perpindahan panas pada bangunan yaitu melalui OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) sebagai bentuk respons pada iklim setempat untuk dapat memperhitungkan kebutuhan energi yang diperlukan terutama pada musim yang memerlukan pemanas.

Menetapkan batasan emisi karbon pada bangunan

Menetapkan batasan emisi karbon yaitu sebesar 3 kg CO₂/m². Hal ini sebenarnya merupakan batas pencapaian yang dilakukan pada tahun 2050. Namun, untuk saat ini hanya diperlukannya perhitungan emisi karbon pada setiap sektor seperti sektor energi serta upaya melalui penghematan dari penggunaan sumber daya energi terbarukan.

Penggunaan sumber energi terbarukan

Penggunaan sumber energi terbarukan dapat berupa pembangkit secara primer seperti pembangkit tenaga surya (*photovoltaic*) dengan memiliki spesifikasi yaitu satu sistem PV (*photovoltaic*) sebesar 2 Kw. Sistem pembangkit tenaga surya sangat direkomendasikan karena memiliki faktor emisi karbon sebesar 0 kg/kWh. Dengan pencapaian penghematan yaitu 50%-90 % dari sumber energi terbarukan ini, sumber energi lainnya seperti sumber pemanas atau pendinginan diperlukan adanya upaya penurunan baik menggunakan sumber energi terbarukan seperti pada penggunaan sistem pemanas surya sebagai pemanas dan geothermal dalam mengalirkan aliran pendingin mekanik ke dalam bangunan.

Negara Singapura

Negara Singapura memiliki pendekatan khusus dalam mengurangi emisi karbon pada bangunan melalui adanya istilah *Super Low Energy Building* (lihat Tabel 3) dengan memiliki standar berdasarkan penilaian *Green Building* dari Singapura yaitu Green Mark. Pendekatan SLE (*Super Low Energy Building*) memiliki kesamaan dengan pencapaian dalam *Nearly Zero* hingga menuju *Net Zero Energy Building* di Singapura.

Tabel 3: Kategori SLE di negara Singapura

Kategori	Presentase efisiensi energi	Angka presentase penghasilan energi dari energi
<i>Super Low Energy Zero Energy</i>	Penghematan energi hingga 60% dibanding standarisasi bangunan pada tahun 2005	- Menghasilkan lebih dari 100% energi dari presentase kebutuhan energi

(Sumber: Building and Construction Authority (BCA), 2023)

Definisi *Nearly Zero Emission Building* di Singapura ini berbeda dengan negara lainnya dalam menerapkan NZEB. Singapura tidak menetapkan standar presentase secara kuantitatif dalam pencapaian ini. Namun, hanya berfokus pada integrasi bangunan pada konsep efisiensi energi dalam upaya menurunkan emisi karbon yang dilakukan melalui beberapa prinsip.

Strategi pasif

Strategi pasif yang dilakukan seperti memanfaatkan pencahayaan alami, namun, tetap perlu upaya mengurangi radiasi panas matahari (*solar heat gain effect*) melalui pemberian *sun shading* pada bangunan. Hal ini disesuaikan dengan iklim bangunan yaitu penerapan arsitektur tropis secara pasif. Pemanfaatan penghawaan alami untuk mengalirkan udara ke dalam bangunan bertujuan untuk mengurangi pemakaian penghawaan buatan sehingga menghemat kebutuhan energi pada bangunan dan efek gas rumah kaca pada penghawaan buatan. Penerapan lainnya dapat dibantu dengan penggunaan fasad dinamis (*dynamic façade*). Hal ini adalah salah satu bentuk dari respons terhadap iklim setempat (berupa cahaya dan angin) dalam memaksimalkan dua strategi pasif (pencahayaan dan penghawaan alami). Melalui fasad dinamis ini dapat merespons secara kinetik pada arah cahaya dan arah angin ke bangunan. Hal ini didukung dengan strategi aktif nantinya.

Strategi aktif

Penerapan strategi aktif dengan memiliki pencahayaan dan penghawaan buatan yang memiliki teknologi ramah lingkungan yaitu tidak memiliki efek rumah kaca maupun menimbulkan emisi karbon. Hal ini dapat diterapkan dari pemilihan unit seperti AC ataupun lampu yang memiliki teknologi tersebut. Pada negara Singapura, ini memiliki peraturan bahwa adanya peraturan dalam konsumsi energi pada sektor pendingin sebesar 60%, penghawaan mekanikal sebesar 10%, dan pencahayaan sebesar 15% untuk bangunan komersial. Dengan sisa persentase (25%) diperuntukkan untuk alat elektronik yang ada di dalam bangunan.

Penerapan sistem manajemen energi pada bangunan

Penerapan sistem manajemen energi ini melalui pengaturan pemantauan secara *real time* melalui konsep *smart building* dalam menerapkan sistem *IoT (Internet of Things)*, sensor, dan *big data analytics* untuk dapat memantau dan melakukan improvisasi untuk menurunkan konsumsi energi agar tetap efisiensi pada sektor pencahayaan, sumber daya, penghawaan, pendingin, dan akses sirkulasi vertikal (lift atau eskalator).

Penggunaan sumber energi terbarukan

Potensi sumber energi terbarukan di setiap negara berbeda-beda. Pada negara Singapura memiliki potensi sumber energi terbarukan berupa tenaga surya yaitu *Photovoltaik (PV)*. Singapura diperkirakan dapat menghasilkan 1.636 kWh/m² per tahun dengan memiliki jenis-jenis teknologi panel surya yang memiliki efisiensi energi yang berbeda (lihat Tabel 4).

Tabel 4: Jenis-jenis teknologi panel surya

Jenis teknologi	Presentase efisiensi
<i>High Efficiency - Si</i>	19 – 22
<i>Mono - Si</i>	17 – 19
<i>Multi - Si</i>	16 – 18
<i>Thin film</i>	14 – 16

(Sumber: Building and Construction Authority (BCA), 2023)

Studi komparasi bangunan penerapan NZEB

Zero Carbon Building, Hongkong

Mengurangi radiasi panas pada bangunan (*solar heat gain effect*)

Pada bangunan *Zero Carbon Building* ini melakukan perhitungan simulasi berupa OTTV (*Overall Thermal Transfer Value*) untuk mengukur perpindahan radiasi panas ke bangunan untuk mengurangi penggunaan pendingin buatan. Hasil dari OTTV bangunan ini sebesar kurang dari 15 W/m^2 dengan standar bangunan normal yaitu tidak boleh lebih dari 24 W/m^2 . Upaya yang dilakukan untuk mengurangi hasil dari OTTV diantaranya adalah:

- 1) perhitungan dari optimalisasi WWR (*Window to wall ratio*) dengan rasio hingga 40% (lihat Gambar 12);
- 2) penerapan *overhang* atau *sun shading* pada bagian tenggara dan barat laut dengan besar sudut 45° atau tegak lurus (lihat Gambar 11);
- 3) menggunakan material yang tidak menyerap radiasi panas salah satunya adalah pembuatan *roof garden* pada atap sebesar 15% dan pemanfaatan panel surya 85% dari total luas atap dari bangunan ini (lihat Gambar 13).



Gambar 11: External sun shading
(Sumber: CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park, 2022))



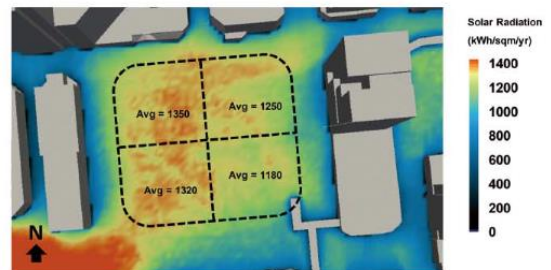
Gambar 12: High performance glazing pada kaca
(Sumber: CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park, 2022))



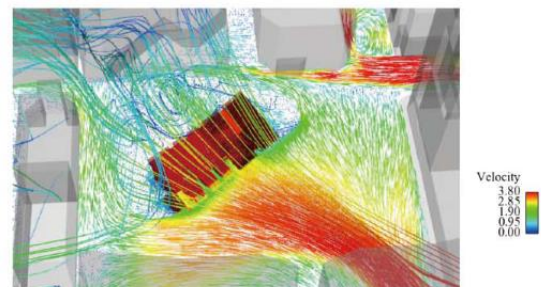
Gambar 13: Lapisan atap pada ZCB
(Sumber: CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park, 2022))

Melakukan respons iklim sekitar

Pertimbangan orientasi bangunan yang matang diperlukan untuk memanfaatkan angin dan cahaya yang lebih potensial di area tapak. Pada bangunan ini memiliki respons dalam menangkap potensi arah cahaya dan arah angin dengan meletakkan bangunan disudut barat laut (lihat Gambar 14) untuk meminimalkan bayangan yang dihasilkan pada bangunan sekitarnya. Hal ini untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan melalui panel surya di area atap (Leung, 2014) (lihat Gambar 15).



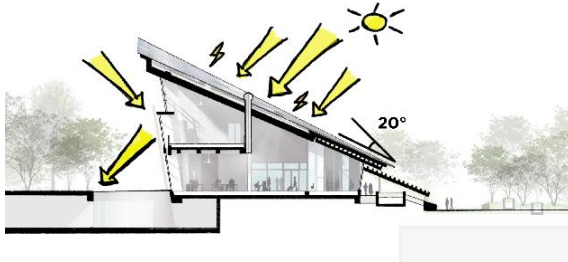
Gambar 14: Hasil analisis mikro iklim tapak
(Sumber: Chow, 2018)



Gambar 15: Respons dari orientasi bangunan
(Sumber: Chow, 2018)

Penerapan bukaan pada iklim tropis diterapkan melalui bentuk memanjang dan meruncing untuk meminimalkan luas kaca

(*window to wall ratio*) pada bagian timur dan barat dengan memiringkan atap untuk peletakan panel surya hingga 20° (lihat Gambar 16).



Gambar 16: Respons kemiringan atap
(Sumber: Ilustrasi pribadi, 2024)

Selain itu, bentuk dari respons iklim sekitar melalui bentuk gubahan yang dapat memaksimalkan penghawaan alami melalui konsep *cross ventilation* dengan aliran berada di dataran rendah atau ketinggian rendah menuju ketinggian tinggi untuk menyalurkan secara merata dan membuang udara panas menuju atas dan mengalirkan udara dingin ke dalam bangunan (lihat Gambar 17).



Gambar 17: Cross ventilation layout
(Sumber: Ilustrasi pribadi, 2024)

Memaksimalkan pencahayaan alami dengan memberikan bukaan besar pada fasad yaitu pada bagian barat laut yang tetap mendapatkan pencahayaan secara alami tanpa sorotan secara langsung. Hal lain juga dengan dibantu dengan adanya *light shelves* pada bagian barat laut dan tenggara (lihat Gambar 18) untuk mendistribusikan cahaya matahari yang jauh dari jendela (Yau, 2014).



Gambar 18: Bukaan dari barat laut dan tenggara
(Sumber: CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park, 2022)

Penggunaan material rendah karbon

Pada pemilihan material ramah lingkungan dan berkelanjutan dilakukan berdasarkan penilaian tolak ukur dari *green building* berupa *Hong Kong Green Building Council (HKGBC)* yaitu meliputi:

- 1) penggunaan kayu dengan bersertifikat *FSC (Forest Stewardship Council)* seperti pada lantai eksterior pada lobi dan aula serta perabotannya (lihat Gambar 19 dan 20);
- 2) penggunaan lantai bambu sebagai material ramah lingkungan serta penggunaan material bekas dan material asli dari alam seperti kayu lokal seperti *gabion wall* dan *eco paver* (Gambar 19 dan 21).



Gambar 19: Material lantai kayu FSC dan bambu
(Sumber: (Berian E., 2014))



Gambar 20: Sustainable and recycled material
(Sumber: CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park, 2022)



Gambar 21: Gabion wall and eco paver
(Sumber: CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park, 2022)

Penggunaan sumber daya energi terbarukan pada bangunan

Penggunaan panel surya *on-site* yaitu dihasilkan semua pada area tapak dengan estimasi dapat menghasilkan hingga 230 MWh/tahun. Dengan memiliki tiga titik lokasi dengan jenis panel yang digunakan adalah *polycrystalline* (lihat Gambar 22) yaitu pada area atap dengan jumlah 606 panel, pada

area atap di area lorong, dan pada area atap di ruang kafe. Dengan keseluruhan titik lokasi dapat menambah estimasi penghasil energi hingga 100 MWh/tahun.



Gambar 22: Jenis-enis panel surya
(Sumber: KW Li et al., 2014))

Terdapat penggunaan energi terbuka lainnya yaitu biodiesel (lihat Gambar 23) yang digunakan sebagai generator dan juga biofuel yang nantinya akan digunakan untuk sistem pendingin berupa *chiller beam*.



Gambar 23: Biodiesel
(Sumber: CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park, 2022))

Penggunaan *BMS (Building Management System)*

Pada sistem penerangan, adanya *task lighting* untuk memberikan sistem penerangan menyesuaikan dengan standar pencahayaan (200 Lux pada sirkulasi dan menyesuaikan penerangan pada ruang kerja dan ruang penting lainnya) dan sensor gerak. Pada sistem penghawaan buatan, terdapatnya bantuan dari *high temperature system* dalam mengolah temperatur ruangan dengan mengolah udara yang lebih sejuk melalui proses dehumidifikasi sehingga udara lebih kering dan tidak lembap. Pada pencahayaan dan penghawaan alami terdapat *skylight* yang dapat aktif memonitor cahaya matahari yang masuk ke bangunan yang akan mengatur penghawaan buatan berupa adanya *high volume low speed fans* untuk menghembuskan angin tambahan ke bangunan.

The Crystal, London

Memberikan penghematan energi sebesar 20%

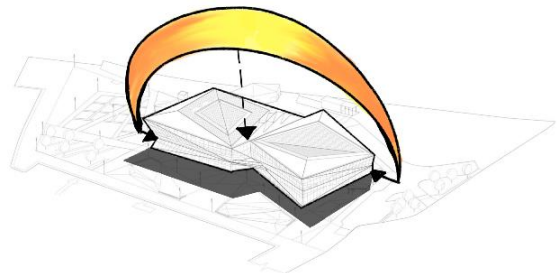
Bangunan ini diakomodasi berdasarkan penggunaan *solar photovoltaic* sebesar 30% efisiensi penggunaan. Penghematan lainnya sebesar 80% didapatkan dari strategi pasif melalui konsep *self – shading facades* pada bangunan melalui membesarkan WWR (*windows to wall ratio*) sebesar 70% dengan penggunaan *glass cladding panel* (lihat Gambar 24) dan penggunaan sistem pencahayaan buatan berupa penggunaan fluorescent lights dan LED.



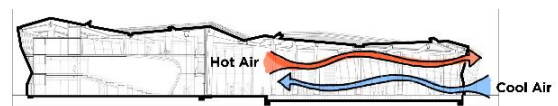
Gambar 24: Glass cladding panel
(Sumber: Gadea, 2018)

Melakukan respons iklim sekitar

Pada bangunan ini melakukan respons iklim melalui bukaan bangunan dengan adanya pembayangan (lihat Gambar 25) untuk menghindari terik matahari pada siang hari. Selain itu juga, adanya *cross ventilation* pada area ruang aula atau *exhibition area* (lihat Gambar 26 dan 27).



Gambar 25: Respons orientasi bangunan dan pembayangan
(Sumber: Ilustrasi pribadi, 2024)



Gambar 26: Alur sirkulasi bangunan
(Sumber: Ilustrasi pribadi, 2024)



Gambar 27: Celah angin
(Sumber: Ravi Chandu Kolusu, 2017)

Membatasi pengeluaran emisi karbon pada bangunan

Membatasi pengeluaran emisi karbon sebesar 70% dibandingkan dengan bangunan-bangunan kantor komersial di UK. Pembatasan emisi karbon ini dibantu oleh *Building Energy Management System* yang mengontrol sistem berupa pendingin dan pemanas ruangan, pencahayaan, penggunaan air hujan (*rainwater harvesting*), *fire alarm* dan jalur evakuasi, dan sistem panel surya (lihat Gambar 28).



Gambar 28: Monitoring system
(Sumber: Gadea, 2018)

Penggunaan sumber energi terbarukan

Penggunaan sumber energi terbarukan berupa penggunaan tenaga surya pada *photovoltaic* (PV) dan pemanas tenaga surya (lihat Gambar 29). Penggunaan pemanas tenaga surya ini yang dipakai sebesar 100% berasal dari sumber energi terbarukan ini. Pada penggunaan *photovoltaic* pada atap ini memiliki luas 1.580 m².



Gambar 29: Panel surya di atap
(Sumber: ArchDaily, 2012)

BCA Academy, Singapore
Strategi pasif

Orientasi fasad bangunan dengan rasio panjang 2:1 yaitu lebih panjang ke arah utara dan selatan dengan dibantu *light shelves* (lihat Gambar 30) dan *reflective ceilings* untuk mengarahkan cahaya lebih dalam ke bangunan. Hal lain ditambahkan dengan panel *photovoltaic semitransparent* dengan dapat menyinari sebesar 100 lux. Sedangkan, pada kaca *electrochromic* sebesar 100 hingga 700 lux. Pemaksimalan juga dilakukan dengan penerapan *vertical light pipes* yang berada di atap dengan ketinggian 8 meter untuk memancarkan cahaya dari atas ke dalam bangunan melalui lubang layaknya lampu. Selain itu, *horizontal light pipes* (lihat Gambar 30) untuk memantulkan cahaya lampu secara horizontal di setiap lantai. Penerapan ini dapat memberikan pasokan pencahayaan alami hingga sebesar 50%.



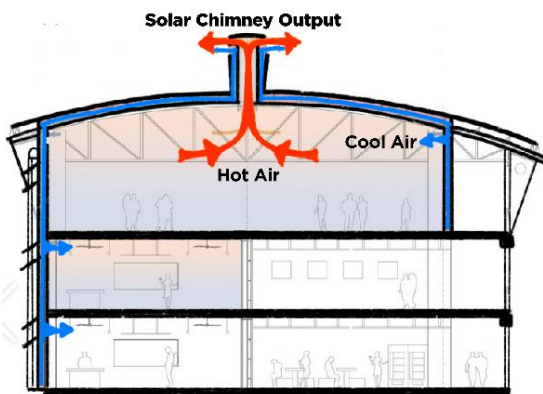
Gambar 30: Light shelves (kiri), horizontal light pipes (tengah), vertikal light pipes (kanan)
(Sumber: Architizer, 2024)

Penghawaan alami pada bangunan ini dimaksimalkan secara mekanik melalui *solar chimney* (lihat Gambar 31). *Solar chimney* ini ditanamkan pada atap yang akan memasok udara ke dalam bangunan melalui sisi jendela dan akan membuang

angin panas melalui langit-langit (lihat Gambar 32).



Gambar 31: Solar chimney
(Sumber: Architizer, 2024)



Gambar 32: Alur sirkulasi solar chimney
(Sumber: Ilustrasi pribadi, 2024)

Strategi pasif lainnya dengan adanya *roof garden* dan *green wall* sebagai salah satu cara untuk menghindari *solar heat gain effect* (lihat Gambar 33) yang terbukti pada material rumput memiliki daya serap panas yang cukup rendah. Hal ini juga diikuti berdasarkan peraturan *Green Mark Building*.



Gambar 33: Penerapan *green wall* dan *green roof*
(Sumber: Architizer, 2024)

Strategi Aktif

Pencahayaan buatan dan penghawaan buatan dibantu melalui penggunaan lampu LED dan lantai difuser yang ditanam pada area lantai untuk memberikan penghawaan pada setiap lantai (lihat Gambar 34).



Gambar 34: Lantai difuser
(Sumber: Architizer, 2024)

Penggunaan *BMS (Building Management System)* pada bangunan

Penggunaan BMS berupa adanya sensor pada pencahayaan dan penghawaan untuk memberikan efisiensi energi pada saat tidak digunakan. Selain itu juga adanya pemantauan kualitas udara untuk menyediakan udara dan ventilasi lebih baik.

Penggunaan sumber energi terbarukan

Penggunaan sumber energi terbarukan terbesar pada bangunan ini adalah penggunaan tenaga surya yang terpasang pada atap dan fasad bangunannya dengan sistem *off-grid* (lihat Gambar 35). Penggunaan panel surya dapat menghasilkan 207 mWh per tahun.



Gambar 35: Panel surya dinding (kiri), panel surya di atap (kanan)
(Sumber: Architizer, 2024)

Hasil komparasi dari penerapan *NZEM*

Melalui analisis penerapan *Nearly Zero Emission Building* dalam menafsirkan

definisi dan cara penerapan NZEB ini. Dapat disimpulkan melalui hasil komparasi pada Tabel 5.

Tabel 5: Hasil variabel penelitian

No.	Variabel	Negara Cina	Negara Inggris	Negara Singapura
1.	Desain pasif pada banunan	Respons orientasi menghadap utara dan selatan untuk memaksimalkan pencahayaan dan mengikuti arah angin untuk memaksimalkan sirkulasi (<i>cross ventilation</i>).	Respons orientasi dan adanya pembayangan dengan menghadap utara dan selatan dengan adanya <i>cross ventilation</i> .	Penerapan desain pasif tropis melalui orientasi 2:1 (utara dan selatan) dan pemberian <i>sun shading</i> atau <i>overstek</i> .
2.	Menghindari <i>solar heat effect</i>	Melakukan simulasi perhitungan OTTV sebagai pembuktian menghindari <i>solar heat gain effect</i> .	Melakukan perhitungan OTTV menyesuaikan dengan iklim lokal untuk mendapatkan perhitungan kebutuhan energi.	Menggunakan desain pasif berupa <i>sun shading</i> dan material pelindung.
3.	Penggunaan sumber energi terbarukan.	Penggunaan sumber energi terbarukan yang paling potensial seperti penggunaan tenaga surya untuk pembangkit dan pemanas.	Penggunaan sumber energi terbarukan paling potensial seperti panel surya, geotermal dan lain-lain.	Penggunaan sumber energi potensial di Singapura yang memiliki jam penyinaran tinggi yaitu dengan penerapan tenaga surya.
4.	Penggunaan material rendah karbon atau ramah lingkungan	Penggunaan material berdasarkan penilaian <i>green building</i> setempat yaitu <i>Hong Kong Green Building Council (HKGBC)</i> mengenai material yang ramah lingkungan.	Penggunaan material berdasarkan penilaian <i>green building</i> lokal LEED sebagai pembuktian sebagai bangunan yang berkelanjutan.	Penggunaan material dengan berdasarkan penilaian <i>green building</i> berupa <i>Green Building Mark</i> .
5.	Perhitungan beban emisi karbon atau energi	Perhitungan beban emisi karbon melalui perhitungan kebutuhan energi dengan besarnya emisi yang dikeluarkan dengan adanya batas emisi karbon pada bangunan sebesar 3 kg/m ² .	Perhitungan kebutuhan energi sebagai meminimalisir penggunaan energi berlebih pada bangunan.	Perhitungan kebutuhan energi sebagai meminimalisir penggunaan energi berlebih pada bangunan atau dengan menghitung kebutuhan sumber energi terbarukan yang dihasilkan.

(Sumber: Analisis pribadi, 2024)

Penutup Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penerapan dan studi preseden pada *Nearly Zero Emission* di setiap kasus, maka dapat dikatakan masing-masing kasus memiliki beberapa penerapan yang sama yaitu adanya strategi desain pasif dan aktif. Namun, ada perbedaan pada strategi pasif dikarenakan berisi dengan respons iklim setempat yang menyesuaikan dengan negaranya yang menjadikan perbedaan. Dengan catatan, pencapaian yang dihasilkan tetap sama. Maka dari itu, terdapat beberapa variabel yang relevan untuk diterapkan di negara Indonesia.

- 1) Strategi pasif yang di dalamnya berupaya untuk menghindari radiasi

panas matahari (*solar heat gain effect*) melalui perhitungan OTTV, pemilihan material yang memiliki penyerapan yang lebih rendah, merespons iklim tropis di Indonesia untuk dapat memaksimalkan pencahayaan dan penghawaan alami secara maksimal di Indonesia;

- 2) Strategi aktif meliputi penerapan *BMS (Building Management System)* berupa sistem *smart building* dan penerapan produk-produk pendingin (HVAC) yang telah bersertifikat ramah lingkungan atau memiliki efek rumah kaca yang kecil atau 0;

- 3) Penggunaan sumber energi terbarukan sebagai potensi utama dalam mengurangi emisi karbon dari sektor energi dengan memikirkan potensi tertinggi di Indonesia yaitu seperti PLTS yang merata di Indonesia.

Pendekatan *Net Zero Energy Building* mulai terus dikembangkan dengan adanya koleransi dengan *Green Building Council Indonesia* melalui “*GreenShip Net Zero*” yang mengambil penilaian dari *GreenShip: New Building* dengan berfokus pada beberapa titik yaitu pada beberapa aspek yaitu: P1 (Kesehatan dan Kenyamanan Udara dan Termal), P2 (Ventilasi dan Penghawaan Alami), dan P3 (Perhitungan Reduksi Emisi Karbon) dengan berfokus pada pereduksian emisi dari berbagai aktivitas dan juga perhitungan konsumsi bangunan terutama pada konsumsi energi.

Daftar Pustaka

- Abdellah, R. H., Nasid Masrom, M. A., Chen, G. K., Mohamed, S., & Omar, R. (2017). The potential of net zero energy buildings (NZEBs) concept at design stage for healthcare buildings towards sustainable development. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271, 012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012021>
- Angelucci, F. (2018). Technological Dimensions of Nearly ZEB Design: Evolving toward a Nearly Zero Energy Oriented Landscape. *Journal of Technology Innovations in Renewable Energy*, 6(3), 80–85. <https://doi.org/10.6000/1929-6002.2017.06.03.1>
- ArchDaily. (2012, September 25). ArchDaily. Retrieved from The Crystal / Wilkinson Eyre Architects: <https://www.archdaily.com/275111/the-crystal-wilkinson-eyre-architects>
- ArchDaily. (2012, October 18). ArchDaily. Retrieved from ZCB Zero Carbon Building / Ronald Lu and Partners: <https://www.archdaily.com/282880/zcb-zero-carbon-building-ronald-lu-and-partners>
- Architizer. (2024). Architizer. Retrieved from Zero Energy Building at BCA Academy: <https://architizer.com/projects/zero-energy-building-at-bca-academy/>
- Attia, S., Kurnitski, J., Kosiński, P., Borodinecs, A., Deme Belafi, Z., István, K., Krstić, H., Moldovan, M., Visa, I., Mihailov, N., Evstatiev, B., Banionis, K., Čekon, M., Vilčeková, S., Struhala, K., Brzoň, R., & Laurent, O. (2022). Overview and future challenges of nearly zero-energy building (nZEB) design in Eastern Europe. *Energy and Buildings*, 267, 112165. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112165>
- Azhar, F. B. T., & Wismadi, A. (2020). KAJIAN MENGENAI IMPLEMENTASI PENDEKATAN NZEB (NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING) SEBAGAI SOLUSI KELANGKAAN ENERGI KONVENSIONAL. *Seminar Karya & Pameran Arsitektur Indonesia 2020, 2020-02-2*, 450–461. <http://hdl.handle.net/123456789/43353>
- Badan Standardisasi Nasional. (2010). Konservasi energi selubung bangunan pada bangunan gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Berian E., S. (2014). Landscape Design Strategies Development for the Zero Carbon Building and Park Project. *Zero Carbon Building Journal*, 1, 51–59.
- Chow, L. (2018). Zero Carbon Buiding - Microclimate (Building Design Considerations and Future Development). Hong Kong: CIC-ZCP.
- CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park. (2022). CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park. Retrieved from Renewable Energy: <https://zcp.cic.hk/eng/renewable-energy>
- CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park. (2022). CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park. Retrieved from Passive Design: <https://zcp.cic.hk/eng/passive-design>
- CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park. (2022). CIC-ZCP (Construction Industry Council & Zero Carbon Park). Retrieved from Low Carbon Construction and Materials: <https://zcp.cic.hk/eng/low-carbon-construction-and-materials>
- Building and Construction Authority (BCA). (2023). *Super Low Energy Building Technology Roadmap*.

- Green Building Council Indonesia. (2020). *Greenship Net Zero* (Green Building Council Indonesia, Ed.). Green Building Council Indonesia.
- Gunawan, B., Budiharjo, S. Juwana, J., Priatman, J., Sujatmitko, W., & Sulisyanto, T. (2012). *Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia* (Kementerian ESDM, Ed.; 1st ed., Vol. 2). Kementerian ESDM.
- Hugh. (2022, Januari). *Cross Ventilation: Best Strategies and Benefits*. Retrieved from [architropics: https://architropics.com/cross-ventilation/](https://architropics.com/cross-ventilation/)
- Kementerian ESDM. (2019). *Inventarisasi Emisi GRK Sektor Energi* (Sunarti, Ed.; 1st ed., Vol. 1). Kementerian ESDM.
- Ke, Z., Liu, X., Zhang, H., Jia, X., Zeng, W., Yan, J., Hu, H., & Hien, W. N. (2023). Energy Consumption and Carbon Emissions of Nearly Zero-Energy Buildings in Hot Summer and Cold Winter Zones of China. *Sustainability*, 15(14), 11453. <https://doi.org/10.3390/su151411453>
- Koesalamwardi, A. B., Eldrian, A., Irene, & Tjahyadi, W. (2020). KELAYAKAN FINANSIAL NEAR ZERO ENERGY BUILDING DENGAN PERATURAN KEMENTERIAN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL NO. 49 TAHUN 2018 MENGENAI INSENTIF ENERGI TERBARUKAN. *Jurnal Infrastruktur*, 6(1), 69–75. <https://doi.org/10.35814/infrastruktur.v6i1.1421>
- Latief, Y., Berawi, M. A., Koesalamwardi, A. B., Sagita, L., & Petroceany, J. S. (2017a). Defining Design Parameters for Housing Development in Tropical Climates Using the Near Zero Energy House (nZEH) Concept. *International Journal of Technology*, 8(6), 1131. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i6.719>
- Latief, Y., Berawi, M. A., Koesalamwardi, A. B., Sagita, L., & Petroceany, J. S. (2017b). Defining Design Parameters for Housing Development in Tropical Climates Using the Near Zero Energy House (nZEH) Concept. *International Journal of Technology*, 8(6), 1131. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v8i6.719>
- Leung, M. K. (2014). Sub Tropical Low/ Zero Carbon Architecture for Eco Efficiency. *Zero Carbon Building Journal*, 1, 16–23.
- LKH Project. (2022). *Natural Lighting in Architecture and its benefits*. Retrieved from [LKH Project: https://www.lkhp.com.sg/natural-lighting-in-architecture/](https://www.lkhp.com.sg/natural-lighting-in-architecture/)
- Maria, I. (2021). Pengaruh Pertumbuhan Penduduk dan Perubahan Iklim terhadap Ketersediaan Air. *Online Journal Unja*, 2(2), 135–140.
- Mila A., Y. (2016). *Sustainable Architecture* (Ade M. Drajat, Ed.). Penerbit Erlangga.
- Pusparisa, Y. (2019, 10 08). *Tingkat Urbanisasi Indonesia dalam Kategori Menengah*. Retrieved from [Databoks: https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/10/08/tingkat-urbanisasi-indonesia-dalam-kategori-menengah](https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/10/08/tingkat-urbanisasi-indonesia-dalam-kategori-menengah)
- Ravi Chandu Kolusu, L. (2017, Maret 23). *slideshare.com. Retrieved from THE CRYSTAL, LONDON: A SUSTAINABLE INTELLIGENT BUILDING: https://www.slideshare.net/slideshow/the-crystal-london-a-sustainable-intelligent-building-casestudy-by-lakshmi-ravi-chandu-kolusu/73525877*
- Wittkopf, S. (2015, Maret 25). *High Performing Buildings*. Retrieved from [Zero Energy Building @ BCA Academy: Singapore: https://www.hpbmagazine.org/zero-energy-building-bca-academy-singapore/](https://www.hpbmagazine.org/zero-energy-building-bca-academy-singapore/)
- Wittkopf, S. (2015). *Tropical Net Zero*.
- Yau, R. (2014). The ZCB - Hong Kong's First Zero Carbon Building and It's key carbon neutrality strategies. *Zero Carbon Building Journal*, 1, 25–29.