

Implementasi Prinsip Net Zero Energy Building (NZEB) pada Bangunan Tinggi di Iklim Tropis: Studi Kasus TechnoPark Tower, Hanoi

Suci Lestari ^{1*}, Ayu Komalasari Dewi ², Tiya Suryadi Putri ³ dan Moh. Faisal Faris ⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Kota Bandar Lampung, Indonesia

*Email: Lestarisuci09@gmail.com

ABSTRACT

The need to reduce the impact of climate change has pushed the development of buildings that use less energy, including the idea of Net Zero Energy Building (NZEB). NZEB means a building can produce as much energy as it uses in a year, usually from renewable sources. This study looks at how NZEB is applied in TechnoPark Tower, Hanoi, as an example of a tall building in a tropical climate. The method used is descriptive-analytical, based on literature review, observation of design strategies, and evaluation of the building's energy performance. The results show that the biggest challenge in tropical high-rise buildings is the high need for cooling, because of strong sunlight and high humidity. To deal with this, the building uses passive design strategies such as proper orientation, double-layer façades, and shading elements to reduce heat from the sun. These are supported by active systems like efficient air conditioning, smart energy control, and the use of renewable energy such as solar panels. Because the roof area is limited, additional solar systems are also used outside the main building area. In conclusion, applying NZEB in high-rise buildings needs a good mix between design and technology. TechnoPark Tower shows that even in tropical conditions, energy efficiency can still be achieved, and it can be a useful example for future building design.

Keywords: *Net Zero Energy Building (NZEB), high-rise building, tropical climate, energy efficiency, sustainable design, renewable energy, building performance.*

Pendahuluan

Desakan global terhadap penanggulangan perubahan iklim telah memasuki fase kritis yang tidak dapat lagi ditoleransi kelambanannya, khususnya pascadisepakatinya *Paris Agreement* yang secara imperatif mengamanatkan reduksi emisi karbon secara masif dan terstruktur di seluruh lapisan sektor industri. Dalam hierarki kontributor emisi global, sektor bangunan dan konstruksi menempati posisi yang secara statistik tidak dapat diabaikan, mengingat sektor ini diidentifikasi bertanggung jawab atas hampir 40% dari total emisi *greenhouse gas* berbasis energi serta sekitar 36% dari keseluruhan konsumsi energi final secara global

(UNEP, 2022). Fakta empiris tersebut secara langsung mengakselerasi terjadinya pergeseran paradigma fundamental dalam disiplin arsitektur, yakni transisi dari pendekatan desain yang sekadar berorientasi pada prinsip *sustainable* menuju sebuah konstruksi konseptual yang jauh lebih ambisius dan terukur, yaitu *Net Zero Energy Building* (NZEB). Secara teoretis, NZEB didefinisikan sebagai tipologi bangunan dengan kinerja efisiensi energi yang sangat tinggi, di mana akumulasi kebutuhan energi tahunannya secara keseluruhan dapat dipenuhi melalui produksi energi terbarukan yang dihasilkan secara mandiri oleh bangunan itu sendiri

(*on-site renewable energy generation*) (Torcellini et al., 2006).

Kendati demikian, implementasi konsep NZEB tidak terlepas dari kompleksitas tantangan, baik pada tataran teoretis maupun praksis, terutama manakala diperhadapkan secara langsung dengan karakteristik *humid tropical climate*. Kondisi iklim tropis yang dicirikan oleh intensitas radiasi matahari yang tinggi secara konsisten serta tingkat kelembapan yang ekstrem menjadikan *cooling load* sebagai variabel konsumsi energi yang paling dominan dan determinan. Apabila tidak direspons melalui pendekatan perancangan *building envelope* yang presisi dan berbasis kalkulasi termal yang komprehensif, dimensi efisiensi energi akan senantiasa terkompromi secara signifikan. Persoalan ini mengalami eskalasi kompleksitas yang lebih jauh ketika diproyeksikan pada tipologi *high-rise building* di kawasan *urban* yang padat. Secara geometris, bangunan bertingkat tinggi memiliki limitasi struktural yang inherent, yakni rasio luas atap (*roof-to-floor area ratio*) yang sangat tidak proporsional terhadap keseluruhan luas lantai yang harus dilayani secara energetik, sehingga strategi *conventional solar energy harvesting* seringkali terbukti tidak memadai untuk mencapai kondisi *energy balance* yang dipersyaratkan dalam definisi NZEB.

Absennya integrasi teknologi cerdas dan inovasi energi terbarukan pada bangunan bertingkat tinggi menjadikan sejumlah besar gedung perkantoran di kawasan Asia Tenggara secara fungsional beroperasi sebagai *energy parasite* yang sepenuhnya bergantung pada pasokan jaringan listrik kota. Kondisi tersebut secara logis menuntut perumusan sebuah model integrasi yang tidak semata-mata bertumpu pada strategi desain pasif (*passive design strategy*), melainkan juga mampu mensinergikan sistem manajemen energi cerdas berbasis *Internet of Things*

(IoT) dengan diversifikasi sumber energi yang melampaui batas tapak bangunan (*off-footprint energy diversification*) secara simultan dan terkoordinasi.

Dalam kerangka argumentasi tersebut, TechnoPark Tower di Hanoi, Vietnam, mengemuka sebagai objek studi yang secara akademis krusial dan relevan. Bangunan ini secara empiris telah membuktikan pencapaian sertifikasi *LEED Platinum v4* di tengah tekanan kondisi iklim tropis yang memiliki kemiripan karakteristik signifikan dengan konteks Indonesia. Melalui optimalisasi sistem *floating solar panel* dan integrasi ribuan *smart sensor* secara komprehensif, gedung ini menawarkan bukti konkret bahwa keterbatasan lahan *urban* dan tekanan *thermal load* yang tinggi merupakan permasalahan yang secara teknis dapat diatasi melalui pendekatan inovatif yang terstruktur.

Penelitian ini secara sistematis bertujuan untuk mengkaji secara mendalam penerapan prinsip-prinsip NZEB pada TechnoPark Tower, guna merumuskan sebuah kerangka acuan (*framework*) yang aplikatif bagi pengembangan arsitektur komersial di kawasan tropis pada trajektori masa mendatang. Pemahaman yang komprehensif dan analitis mengenai korelasi antara efisiensi *facade*, sistem *automatic control*, dan inovasi energi terbarukan pada objek studi ini diorientasikan untuk menghasilkan rekomendasi desain yang secara substansial mampu berkontribusi pada penurunan emisi karbon bangunan di Indonesia secara terukur dan signifikan.



Gambar 1. TechnoPark Hanoi
Sumber : CBRE,2021

Tinjauan Pustaka

Net Zero Energy Building (NZEB)

Secara terminologi, *Net Zero Energy Building* (NZEB) didefinisikan sebagai tipologi bangunan yang memiliki kinerja efisiensi energi sangat tinggi, di mana akumulasi energi yang dikonsumsi dalam basis tahunan secara kuantitatif kurang lebih setara dengan jumlah energi terbarukan yang diproduksi secara mandiri di lokasi tersebut (Torcellini et al., 2006). Definisi ini mengandung implikasi konseptual yang mendasar, yakni bahwa pencapaian status *net zero* bukan semata-mata persoalan kapasitas produksi energi, melainkan merupakan hasil dari keseimbangan dinamis antara reduksi beban energi (*energy load reduction*) dan kemampuan generasi energi terbarukan (*renewable energy generation*).

Dalam kerangka hierarki strategis, fokus utama NZEB terletak pada reduksi beban energi melalui optimalisasi strategi desain pasif (*passive design strategy*) sebagai intervensi primer, sebelum mengintegrasikan sistem aktif (*active system*) sebagai lapisan sekunder. Pendekatan ini secara konseptual sejalan dengan prinsip *energy efficiency first* yang diadopsi oleh berbagai kebijakan energi internasional, termasuk *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) yang dikeluarkan oleh Uni Eropa. Tujuan akhir dari prinsip ini adalah tercapainya kondisi keseimbangan antara konsumsi energi dan produksi energi

bersih (*net energy balance*), sehingga ketergantungan bangunan terhadap jaringan listrik konvensional yang berbasis bahan bakar fosil dapat diminimalkan secara substansial.

Perkembangan konseptual NZEB tidak bersifat statis. Marszal et al. (2011) mengklasifikasikan definisi NZEB ke dalam empat hierarki berdasarkan metrik keseimbangan yang digunakan, yakni *site energy*, *source energy*, *energy cost*, dan *energy emission*. Klasifikasi ini memiliki implikasi metodologis yang signifikan, mengingat pilihan metrik akan menentukan strategi desain dan teknologi yang diprioritaskan. Lebih jauh, Sartori et al. (2012) mempertegas bahwa batas ambang (*threshold*) antara bangunan *net zero* dan bangunan *net positive* bergantung pada efisiensi sistem jaringan energi (*grid*) yang menjadi acuan perhitungan, sehingga konteks geografis dan infrastruktur energi lokal menjadi variabel yang tidak dapat diabaikan dalam evaluasi kinerja NZEB.

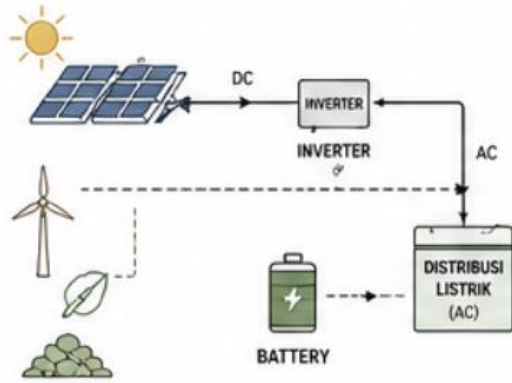
Pilar Implementasi NZEB

Berdasarkan sintesis komprehensif dari *Net Zero Energy Building Handbook* (Putra dkk., 2024) serta integrasi kajian literatur dari berbagai sumber akademis mutakhir, terdapat enam pilar utama yang secara kolektif membentuk kerangka evaluasi holistik terhadap keberhasilan implementasi sebuah bangunan impas energi. Keenam pilar tersebut bukan merupakan elemen yang berdiri sendiri secara independen, melainkan membentuk sebuah sistem yang saling bergantung dan saling memperkuat (*interdependent system*).

Pilar 1: Pemanfaatan Energi Terbarukan (*Renewable Energy Utilization*)

Pilar pertama mencakup integrasi sistematis berbagai sumber energi bersih sebagai fondasi pasokan energi bangunan. Sumber energi primer yang paling relevan dalam konteks tropis adalah energi surya melalui teknologi *photovoltaic* (PV),

mengingat intensitas radiasi matahari yang tinggi dan konsisten sepanjang tahun. Selain energi surya, diversifikasi sumber dapat mencakup energi angin, mikrohidro, hingga biomassa, bergantung pada ketersediaan sumber daya di lokasi spesifik (*site-specific resource availability*).



Gambar 2. Penerapan Energi Terbarukan
Sumber : Ilustrasi Penulis Menggunakan AI
Pilar 2: Efisiensi Energi (Energy Efficiency)

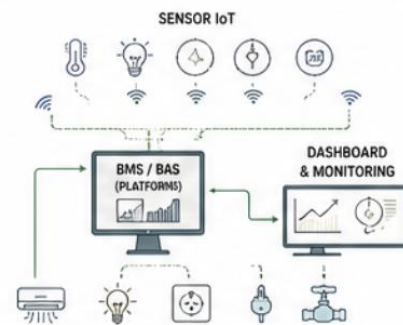
Pilar kedua merupakan fondasi hierarkis yang secara konseptual harus didahulukan sebelum pertimbangan produksi energi, sesuai dengan prinsip *energy efficiency first*. Strategi desain pasif yang komprehensif mencakup beberapa elemen kritis yang saling berinteraksi. Orientasi bangunan (*building orientation*) yang optimal terhadap lintasan matahari dan arah angin dominan merupakan keputusan desain yang berdampak jangka panjang dan tidak dapat direvisi setelah konstruksi selesai. Pemilihan material kaca dengan nilai SHGC yang rendah, dikombinasikan dengan *Low-Emissivity (Low-E) coating*, terbukti secara empiris mampu mereduksi transmisi panas radiasi matahari secara signifikan tanpa mengorbankan kualitas pencahayaan alami (*daylighting quality*).



Gambar 3. Penerapan Efisiensi Energi
Sumber : Ilustrasi Penulis Menggunakan AI

Pilar 3: Manajemen Energi Pintar (Smart Energy Management)

Pilar ketiga merepresentasikan konvergensi antara teknologi informasi dan sistem mekanikal-elektrikal bangunan sebagai sebuah ekosistem terintegrasi. Pemanfaatan teknologi *Internet of Things (IoT)* dalam konteks *smart building* memungkinkan pengumpulan data operasional bangunan secara *real-time* melalui jaringan sensor yang terdistribusi secara masif di seluruh zona bangunan. Data tersebut kemudian diolah oleh *Building Management System (BMS)* atau *Building Automation System (BAS)* yang canggih untuk menghasilkan keputusan kontrol yang adaptif dan presisi.



Gambar 4. Ilustrasi Sistem IoT
Sumber : Ilustrasi Penulis Menggunakan AI
Pilar 4: Penggunaan Bahan Ramah Lingkungan (Sustainable Material Utilization)

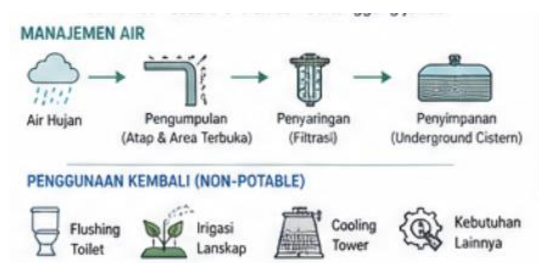
Pilar keempat memperluas cakupan evaluasi kinerja lingkungan bangunan melampaui dimensi energi operasional, merambah ke dalam domain energi terkandung (*embodied energy*) dan dampak

siklus hidup material (*lifecycle environmental impact*). Pemilihan material bangunan dengan *embodied energy* yang rendah secara langsung berkontribusi pada reduksi total emisi karbon bangunan sepanjang siklus hidupnya, yang dalam perspektif *whole life carbon assessment* merupakan metrik yang semakin krusial.



Gambar 5. Ilustrasi Bahan Ramah Lingkungan
Sumber : Ilustrasi Penulis Menggunakan AI
Pilar 5: Pengelolaan Limbah dan Air
(Waste and Water Management)

Pilar kelima mengintegrasikan prinsip sirkularitas ekologis ke dalam manajemen sumber daya bangunan, dengan air sebagai fokus utama. Sistem *rainwater harvesting* (RWH) mengumpulkan, menyaring, dan menyimpan air hujan untuk dimanfaatkan dalam aplikasi *non-potable* seperti irigasi lanskap, *flushing* toilet, dan sistem pendingin menara (*cooling tower*). Dalam konteks iklim tropis dengan curah hujan tinggi, potensi pemanenan air hujan sangat signifikan dan dapat mereduksi konsumsi air bersih dari jaringan kota secara substansial.



Gambar 6. Ilustrasi Pengolahan Limbah
Sumber : Ilustrasi Penulis Menggunakan AI

Pilar 6: Sertifikasi dan Standar (Certification and Standards)

Pilar keenam berfungsi sebagai kerangka akuntabilitas dan verifikasi eksternal yang memastikan klaim kinerja bangunan dapat dipertanggungjawabkan secara kuantitatif dan transparan. Sistem sertifikasi internasional seperti *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) yang dikembangkan oleh *U.S. Green Building Council* (USGBC), *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM) dari Inggris, serta *Green Star* dari Australia, menyediakan kerangka evaluasi multidimensional yang mencakup berbagai aspek kinerja lingkungan bangunan secara komprehensif.

Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan studi kasus (*case study*). Objek penelitian difokuskan pada bangunan *TechnoPark Tower* di Hanoi, Vietnam. Pemilihan objek dilakukan secara *purposive sampling* dengan pertimbangan bahwa bangunan tersebut merepresentasikan tipologi gedung perkantoran tinggi (*high-rise*) di kawasan beriklim tropis yang telah berhasil mencapai standar efisiensi tertinggi melalui sertifikasi LEED Platinum v4.

Pengumpulan data dalam penelitian ini sepenuhnya mengandalkan data sekunder. Instrumen pengumpulan data meliputi studi literatur terhadap laporan teknis spesifikasi bangunan, dokumen penilaian sertifikasi keberlanjutan dari *U.S. Green Building Council* (USGBC), serta referensi akademis terkait *Net Zero Energy Building* (NZEB) dan pedoman arsitektur tropis.

Proses analisis data dilakukan secara komparatif dan evaluatif berdasarkan enam pilar utama NZEB. Keenam parameter tersebut meliputi: (1) pemanfaatan energi terbarukan, (2)

efisiensi energi fasad dan pencahayaan, (3) manajemen energi pintar berbasis *Internet of Things* (IoT), (4) penggunaan material ramah lingkungan, (5) pengelolaan sirkularitas air dan limbah, serta (6) pemenuhan standar bangunan hijau. Data teknis yang diekstraksi dari objek studi dikategorikan ke dalam enam parameter tersebut untuk kemudian disintesis menjadi sebuah model rekomendasi desain yang aplikatif bagi konteks arsitektur komersial di Indonesia.

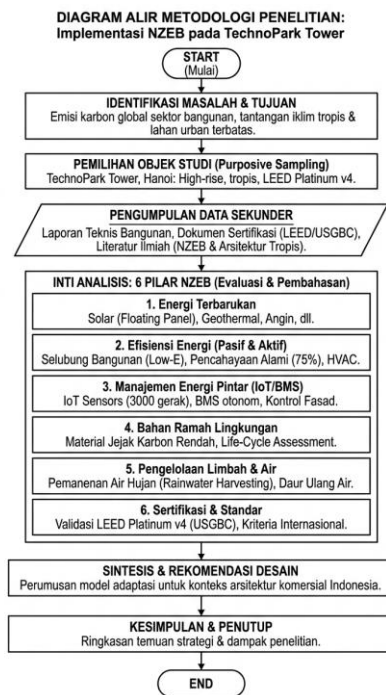


Diagram 1. Diagram Alir Penelitian
Sumber : Penulis

Hasil dan Pembahasan

TechnoPark Tower di Hanoi, Vietnam, dianalisis sebagai representasi empiris penerapan konsep NZEB pada tipologi *high-rise building* komersial di kawasan *urban* beriklim tropis lembap. Analisis dilakukan secara sistematis berdasarkan enam pilar implementasi NZEB yang telah dirumuskan dalam kerangka teoritis, guna menghasilkan penilaian yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan secara akademis.

Pemanfaatan Energi Terbarukan (*Renewable Energy Utilization*)

Limitasi geometris *high-rise building* berupa *roof-to-floor area ratio* yang tidak proporsional merupakan kendala struktural yang paling kritis dalam pencapaian neraca energi NZEB. TechnoPark Tower merespons tantangan ini melalui strategi *off-footprint energy*, yakni instalasi sistem *floating photovoltaic* (FPV) seluas 3.000 m² berkapasitas 600 kWp di atas danau buatan di kawasan sekitar tapak. Secara teknis, FPV menawarkan keunggulan komparatif berupa efek pendinginan alami permukaan air yang mempertahankan efisiensi konversi modul pada level optimal, mengingat kenaikan suhu modul sebesar 1°C di atas suhu referensi standar mengakibatkan degradasi efisiensi sebesar 0,4–0,5% (Cazzaniga et al., 2018). Strategi ini sekaligus mengeliminasi kompetisi penggunaan lahan *urban* yang bernilai tinggi, menjadikan FPV sebagai solusi *off-footprint* yang paling rasional dan terreplikasi dalam konteks kawasan perkotaan padat di wilayah tropis.



Gambar 6. *Floating photovoltaic*
Sumber: Bellini, 2021

Efisiensi Energi (*Energy Efficiency*)

Sejalan dengan prinsip hierarkis *energy efficiency first*, TechnoPark Tower menempatkan optimalisasi *building envelope* sebagai intervensi desain yang paling fundamental. Implementasi kaca insulasi ganda *Low-Emissivity* (Low-E) setebal 26 mm pada keseluruhan fasad

bangunan secara mekanis mereduksi transmisi panas radiasi matahari melalui mekanisme refleksi selektif gelombang inframerah panjang, tanpa mengorbankan transmisi cahaya tampak yang mendukung strategi *daylighting*. Hasilnya, lebih dari 75% area kerja menerima pencahayaan alami pada intensitas 300–3.000 lux sesuai standar ergonomi visual internasional, sehingga secara substansial mereduksi konsumsi energi pencahayaan buatan pada jam operasional.

Kombinasi sinergis antara pengendalian *heat gain* melalui *building envelope* dan optimalisasi *daylighting* ini menghasilkan penghematan konsumsi energi tahunan sebesar **17,4%** dibandingkan standar bangunan komersial konvensional, sebuah capaian yang secara langsung mengurangi beban yang harus dikompensasi oleh sistem produksi energi terbarukan.



Gambar 7. *Low E Glass*

Sumber: Maison Office, 2021

Manajemen Energi Pintar (*Smart Energy Management*)

Pilar ini secara empiris menunjukkan kontribusi efisiensi yang paling dramatis pada TechnoPark Tower. Arsitektur sistem manajemen energi dibangun di atas jaringan hampir 3.000 unit *motion sensor* yang terdistribusi di seluruh zona bangunan, terintegrasi dengan *Building Management System* (BMS) berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem ini beroperasi berdasarkan logika kontrol adaptif *real-time*: deteksi kondisi zona tidak berpenghuni (*unoccupied*) secara otomatis mengeksekusi pemadaman pencahayaan dan penghentian suplai

HVAC secara terkoordinasi, mengeliminasi pemborosan energi pada ruang kosong yang menjadi inefisiensi kronis pada bangunan komersial konvensional.

Dampak kuantitatif paling signifikan teridentifikasi pada sistem pencahayaan fasad eksterior, dengan capaian penghematan energi sebesar **73,7%** melalui kontrol presisi berbasis algoritma. Angka ini secara jelas mendemonstrasikan superioritas paradigma *data-driven energy management* dibandingkan pendekatan kontrol statis konvensional (Shaikh et al., 2014).

Penggunaan Bahan Ramah Lingkungan (*Sustainable Material Utilization*)

Evaluasi dimensi material TechnoPark Tower melampaui kontribusi termal operasional, mencakup perspektif *whole life carbon assessment* yang mengintegrasikan kalkulasi *embodied carbon* sebagai variabel kritis. Pemilihan kaca *Low-E* insulasi ganda sebagai elemen dominan fasad mencerminkan pengambilan keputusan berbasis *life-cycle assessment* (LCA), meskipun material ini memiliki *embodied energy* yang lebih tinggi dibandingkan kaca konvensional dalam proses manufaktur, penghematan energi operasional kumulatif jangka panjang secara kuantitatif melampaui selisih *embodied energy* tersebut, menghasilkan *net carbon benefit* yang positif secara substansial. Seluruh proses pemilihan material tunduk pada kerangka verifikasi *Environmental Product Declaration* (EPD) sebagaimana dipersyaratkan oleh standar LEED v4, memastikan akuntabilitas kuantitatif terhadap dampak lingkungan setiap keputusan material.



Gambar 8. *TechnoPark Hanoi Building*
Sumber: CBRE, 2021

Pengelolaan Limbah dan Air (*Waste and Water Management*)

Strategi konservasi air TechnoPark Tower beroperasi pada dua lapisan yang saling komplementer. Pada lapisan primer, sistem *rainwater harvesting* (RWH) berskala besar dengan infrastruktur *underground cistern* memanfaatkan potensi curah hujan tinggi iklim tropis Hanoi untuk menyuplai kebutuhan aplikasi *non-potable*, mencakup irigasi lanskap, *flushing* sanitasi, dan operasional *cooling tower*. Pada lapisan sekunder, implementasi *low-flow fixture* di seluruh perangkat sanitasi secara mekanis membatasi konsumsi air tanpa mengorbankan fungsionalitas. Dimensi ekologis yang distingtif adalah alokasi 25% area tapak untuk ruang hijau yang ditanami spesies endemik toleran kekeringan (*drought-tolerant endemic species*), yang secara simultan meminimalkan kebutuhan irigasi tambahan dan berkontribusi pada mitigasi efek *Urban Heat Island* (UHI) di skala mikro, sehingga secara tidak langsung mendukung kinerja energi operasional bangunan.



Gambar 9. *TechnoPark Hanoi Rooftop*
Sumber: CBRE 2021

Sertifikasi dan Standar (*Certification and Standards*)

Pencapaian sertifikasi *LEED Platinum v4* dari *U.S. Green Building Council* (USGBC) merepresentasikan validasi independen tertinggi terhadap kinerja lingkungan TechnoPark Tower secara menyeluruh. Relevansi sertifikasi ini melampaui dimensi seremonial: metodologi evaluasi *LEED* yang terstandarisasi secara global memungkinkan komparasi kinerja yang valid (*apple-to-apple*) dengan objek bangunan lain yang telah tersertifikasi, sekaligus menjadikan TechnoPark Tower sebagai *benchmark* yang dapat dioperasionalkan dalam pengembangan kebijakan desain NZEB di kawasan tropis.

Secara ekonomi, berbagai studi empiris mengkonfirmasi korelasi positif antara sertifikasi *green building* level tertinggi dengan peningkatan nilai aset, *rental premium*, dan *occupancy rate* bangunan (Miller et al., 2008), menegaskan bahwa investasi pencapaian standar NZEB merupakan keputusan yang dapat dipertanggungjawabkan secara finansial dalam jangka menengah hingga panjang.

1000141621, HA NOI
TechnoPark Tower
LEED BD+C: Core and Shell (v4)

SUSTAINABLE SITES		AWARDED: 11 / 11
Points	Construction activity pollution prevention	0/10
Credit	Site assessment	1/1
Credit	Site development - protect or restore habitat	2/2
Credit	Open space	1/1
Credit	Rainwater Mgmt	1/1
Credit	Heat island reduction	2/2
Credit	Light pollution reduction	1/1
Credit	Tenant design and construction guidelines	1/1

WATER EFFICIENCY		AWARDED: 10 / 11
Points	Outdoor water use reduction	0/10
Points	Indoor water use reduction	0/10
Points	Building level water metering	0/10
Credit	Cooling tower water use	2/2
Credit	Water metering	1/1
Credit	Outdoor water use reduction	2/2
Credit	Indoor water use reduction	5/6

ENERGY & ATMOSPHERE		AWARDED: 21 / 89
Points	Fundamental commissioning and verification	0/10
Points	Minimum energy performance	0/10
Points	Building level energy metering	0/10
Points	Fundamental refrigerant Mgmt	0/10
Points	Minimum Energy Performance (2024 Update)	0/10
Credit	Enhanced commissioning	0/16
Credit	Advanced energy metering	1/1
Credit	Demand response	0/2
Credit	Renewable energy production	1/1
Credit	Enhanced refrigerant Mgmt	1/1
Credit	Green power and carbon offsets	0/2
Credit	Optimize Energy Performance (2024 Update)	0/20
Credit	Optimize energy performance	10/18
Points	Energy performance metering path	REQUIRED
Points	District Energy	REQUIRED

MATERIAL & RESOURCES		AWARDED: 6 / 14
Points	Storage and collection of recyclables	0/10
Points	Construction and demolition waste Mgmt planning	0/10
Credit	Building life-cycle impact reduction	1/16
Credit	Building product disclosure and optimization - environmental product d.	0/2
Credit	Building product disclosure and optimization - sourcing of raw materials	1/2
Credit	Building product disclosure and optimization - material ingredients	0/2
Credit	Construction and demolition waste Mgmt	2/2

PLATINUM, AWARDED NOV 2021

INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY		AWARDED: 7 / 10
Points	Minimum IAQ performance	0/10
Points	Environmental tobacco smoke control	0/10
Credit	Enhanced IAQ strategies	3/2
Credit	Low-emitting materials	2/2
Credit	Construction IAQ Mgmt plan	1/1
Credit	Daylight	2/3
Credit	Quality views	1/1

INNOVATION		AWARDED: 6 / 6
Credit	Innovation	5/5
Credit	LEED Accredited Professional	1/1

REGIONAL PRIORITY CREDITS		AWARDED: 4 / 4
Credit	Optimize energy performance	1/1
Credit	Enhanced IAQ strategies	0/1
Credit	Site development - protect or restore habitat	0/1
Credit	Rainwater Mgmt	1/1
Credit	Outdoor water use reduction	1/1
Credit	Indoor water use reduction	1/1

LOCATION & TRANSPORTATION		AWARDED: 18 / 20
Points	LEED for Neighborhood Development location	0/20
Credit	Sensitive land protection	2/2
Credit	High-priority site	3/3
Credit	Surrounding density and diverse uses	6/6
Credit	Access to quality transit	4/6
Credit	Bicycle facilities	1/1
Credit	Reduced parking footprint	1/1
Credit	Green vehicles	2/2

INTEGRATIVE PROCESS CREDITS		AWARDED: 1 / 1
Credit	Integrative process	1/1

TOTAL		84 / 110
46-49 Points	CERTIFIED	
50-59 Points	SILVER	
60-79 Points	GOLD	
80+ Points	PLATINUM	

Gambar 10. Sertifikat LEED v4
 Sumber: Usgbc, 2021

Analisis keenam pilar secara kolektif mendemonstrasikan bahwa pencapaian NZEB pada *high-rise building* di kawasan *urban* tropis bukan merupakan aspirasi utopis, melainkan target yang dapat direalisasikan melalui integrasi sistematis antara inovasi teknologi *off-footprint*, presisi desain *building envelope*,

dan kecerdasan BMS berbasis IoT. Kesamaan profil iklim antara Hanoi dan kota-kota besar Indonesia — khususnya dalam hal intensitas radiasi matahari, kelembapan, dan beban pendinginan — menjadikan model integrasi TechnoPark Tower sebagai *reference framework* yang secara teknis relevan dan dapat diadaptasi untuk konteks pengembangan bangunan komersial perkotaan di Indonesia, dengan penyesuaian terhadap regulasi lokal dan karakteristik infrastruktur energi yang spesifik.

Kesimpulan

Penelitian ini secara empiris membuktikan bahwa implementasi NZEB pada tipologi *high-rise building* komersial di kawasan *urban* beriklim tropis lembap merupakan target yang dapat direalisasikan secara teknis, sebagaimana didemonstrasikan oleh TechnoPark Tower melalui pencapaian sertifikasi *LEED Platinum v4*. Tiga temuan utama yang paling determinan teridentifikasi dari analisis ini.

Pertama, keterbatasan geometris *roof-to-floor area ratio* pada bangunan tinggi dapat diatasi secara efektif melalui strategi *off-footprint renewable energy* berupa instalasi *floating photovoltaic* (FPV) 600 kWp, yang memvalidasi bahwa batas tapak fisik bukan lagi batas absolut dalam neraca energi NZEB. Kedua, optimalisasi *building envelope* melalui kaca *Low-Emissivity* insulasi ganda terbukti sebagai intervensi paling fundamental dalam konteks tropis, menghasilkan penghematan energi tahunan sebesar 17,4% dan menegaskan validitas prinsip *energy efficiency first*. Ketiga, sistem BMS berbasis IoT dengan jaringan 3.000 sensor adaptif menghasilkan penghematan energi pencahayaan eksterior hingga 73,7%, mendemonstrasikan superioritas paradigma *data-driven energy management* dibandingkan pendekatan konvensional.

Secara keseluruhan, kesamaan profil iklim antara Vietnam dan Indonesia menjadikan model integrasi TechnoPark Tower sebagai *reference framework* yang relevan dan dapat diadaptasi untuk pengembangan arsitektur komersial berkelanjutan di Indonesia, dengan rekomendasi prioritas pada adopsi strategi *off-footprint renewable energy, high-performance building envelope*, dan integrasi BMS berbasis IoT sebagai tiga pilar intervensi utama dalam regulasi bangunan hijau nasional.

Daftar Pustaka

- Bellini, E. (2021). *Floating solar array powering recreational park in Vietnam*. PV Magazine. Diakses 29 April 2026, dari <https://www.pv-magazine.com/2021/12/21/floating-solar-array-powering-recreational-park-in-vietnam/>
- Cazzaniga R, Cicu M, Rosa-Clot M, Rosa-Clot P, Tina GM, Ventura C. Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018; 81(2): 1730-41.
- CBRE Vietnam. (n.d.). *Techno Park office for lease in Gia Lam District, Hanoi*. Retrieved from (<https://www.cbrevietnam.com/properities/office-for-lease/ha-noi/gia-lam-district/techno-park>)
- Kubota T, Ahmad S. Urban heat island and urban morphology in tropical Asian cities. *Urban Climate*. 2007; 3(1): 45-62.
- Marszal AJ, Heiselberg P, Bourrelle JS, Musall E, Voss K, Sartori I, dkk. Zero energy building — A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*. 2011; 43(4): 971-9.
- Maison Office. (n.d.). *Techno Park Tower – Office for lease in Gia Lam, Hanoi*. Diakses 29 April 2026, dari <https://maisonoffice.vn/en/ha-noi/gia-lam/techno-park-tower/>
- Miller N, Spivey J, Florance A. Does green pay off? *Journal of Real Estate Portfolio Management*. 2008; 14(4): 385-99.
- Putra AS, Wibowo R, Santoso D. *Net Zero Energy Building Handbook: Panduan Implementasi Bangunan Impas Energi di Kawasan Tropis*. Jakarta: UI Press; 2024.
- Ritzen MJ, Vroon ZAEP, Rovers R, Geurts CPW. Comparative performance assessment of a non-ventilated and ventilated BIPV rooftop configurations in the Netherlands. *Solar Energy*. 2017; 146: 389-400.
- Sartori I, Napolitano A, Voss K. Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*. 2012; 48: 220-32.
- Shaikh PH, Nor NBM, Nallagownden P, Elamvazuthi I, Ibrahim T. A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014; 34: 409-29.
- Torcellini P, Pless S, Deru M, Crawley D. *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. Golden: National Renewable Energy Laboratory (NREL); 2006.
- United Nations Environment Programme. 2022 Global Status Report for Buildings and Construction. Nairobi: UNEP; 2022.
- U.S. Green Building Council. (n.d.). *TechnoPark Tower*.