

## KAJIAN MENGENAI IMPLEMENTASI PENDEKATAN NZEB (NEARLY ZERO-ENERGY BUILDING) SEBAGAI SOLUSI KELANGKAAN ENERGI KONVENSIONAL

Fariz Bayu Taufik Azhar<sup>1</sup> Arif Wismadi<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Jurusan Arsitektur, Universitas Islam Indonesia  
<sup>2</sup>Surel: [935120101@uii.ac.id](mailto:935120101@uii.ac.id)

**ABSTRAK:** Perubahan iklim dunia yang semakin tidak terkendali berjalan searah dengan kemajuan teknologi yang semakin canggih. Jumlah populasi manusia pun juga meningkat dengan perubahan gaya hidup yang serba cepat. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan energi semakin besar, khususnya bangunan. Semakin berkurang dan terbatasnya lahan di area perkotaan menjadi beban bagi lingkungan hidup. Sektor bangunan menghabiskan 40% dari sumber energi dunia, di Indonesia bahkan mencapai 50% dari total energi, serta lebih dari 70% konsumsi listrik secara keseluruhan. Konsumsi energi yang besar-besaran ini berdampak pada keberlangsungan sumber daya alam tak terbarukan yang lama kelamaan akan semakin habis. Merespon isu tersebut diperlukan sebuah pendekatan yang menuntut bangunan dapat menghidupi kebutuhannya sendiri atau setidaknya tidak memberatkan lingkungan disekitarnya. Pendekatan NZEB (Nearly Zero-Energy Building) merupakan sebuah solusi yang dapat di implementasikan. Pendekatan ini mencakup beberapa konsep perancangan seperti *Conserving Energy, Working with Climate, Respond of Site, Respect for User, dan Limiting New Resources*. Namun pendekatan ini masih memiliki beberapa kontradiksi salah satunya adalah *indoor pollution*. Untuk menyelesaikan kontradiksi tersebut digunakanlah metode TRIZ (*Theory of Inventive Problem Solving*). Hasilnya terdapat 4 solusi yang ditawarkan yaitu *Prior Action; Extraction, Separation, Removal, Segregation; Convert harm into benefit, "Blessing in disguise"; dan Thermal Expansion*.

**Kata kunci:** Nearly Zero-Energy Building, Energi tak Terbarukan, Perubahan Iklim, Konservasi Energi

### PENDAHULUAN Latar Belakang

Isu mengenai akan habisnya energi konvensional sudah menjadi masalah global. (Solaun & Cerdá, 2019) mengatakan sumber daya alam yang berasal dari fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam telah di prediksi akan habis beberapa tahun mendatang. Perubahan kebiasaan dan kebutuhan manusia zaman sekarang pun akan mempercepat lenyapnya sumber energi tersebut. Banyak percobaan dan eksperimen dari berbagai dunia yang mencoba mencari sumber energi alternatif agar dapat menggantikan energi yang akan habis suatu saat nanti.

Sumber energi tak terbarukan yang saat ini dipakai manusia untuk memenuhi kebutuhan hidup memiliki banyak dampak negatif seperti rusaknya alam dan lingkungan karena aktivitas penambangan, berkurangnya keanekaragaman hayati, dan hilangnya habitat flora dan fauna. Itu baru dampak negatif yang terjadi ketika pencarian sumber daya alam, belum yang disebabkan oleh distribusinya, penggunaannya, dan limbah yang dihasilkan. Energi yang dihasilkan dari bahan bakar fosil menyebabkan polusi berupa karbondioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>2</sub>), dan sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) yang menyebabkan pencemaran udara (hujan asam, smog dan pemanasan global). Hal inilah yang menyebabkan energi fosil dikatakan tidak ramah lingkungan karena berdampak bagi lingkungan serta berdampak juga pada penurunan tingkat kesehatan makhluk hidup disekitarnya (Hanif, 2018).

Manusia sebagai makhluk yang bertanggung jawab atas isu tersebut terus bergerak mencari solusi. Salah satu solusinya adalah pendekatan dalam arsitektur dalam merancang

bangunan ramah lingkungan, NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*) (Feng et al., 2019). NZEB merupakan sebuah pendekatan dalam merancang bangunan yang meminimalkan penggunaan energi fosil dengan memanfaatkan potensi-potensi alam seperti angin, matahari, serta air. Selain itu NZEB juga menghasilkan energi terbarukan demi menggantikan peran energi konvensional (Attia et al., 2017).

Namun pendekatan NZEB masih memiliki beberapa kontradiksi atau kelemahan dalam implementasinya. Pertama adalah biaya untuk menerapkan pendekatan ini masih relatif mahal, hal ini lah yang membuat masyarakat dunia enggan menerapkannya. Kedua adalah ketersediaan material yang langka dan terbatas. Material-material yang digunakan rata-rata belum dijual belikan secara umum, pembeli biasanya memesan secara custom dari jauh-jauh hari. Ketiga adalah Penerapan *Nearly Zero-Energy Building* tidak bisa disamaratakan di semua lokasi/daerah. Masing-masing lokasi mempunyai konteks yang berbeda mulai dari iklim, topografi, sosial budaya hingga peraturan yang berlaku. Keempat ada beberapa kasus setelah pengimplementasian pendekatan ini bangunan mereka mengalami indoor pollution (Cucuzzella, 2019).

### **Rumusan Masalah**

1. Bagaimana dampak penerapan pendekatan NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*) pada bangunan sebagai respon perubahan iklim ?
2. Apakah pendekatan NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*) bisa diterapkan di berbagai iklim khususnya Indonesia yang beriklim tropis ?

### **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian arsitektur ini mengacu pada rumusan masalah terkait

1. Mengetahui apakah pendekatan NZEB dapat menjadi alternatif konsep untuk bangunan di masa mendatang.
  2. Mengetahui apa saja aspek-aspek yang berpengaruh pada pendekatan NZEB.
- Lingkup Penelitian

### **Lingkup Penelitian**

Lingkup studi pada penelitian ini mencari informasi tentang topik terkait yang bersifat substansial maupun spatial. Penekanan studi juga memberikan batasan mengenai dasar tinjauan yang dilakukan dalam analisis masalah.

### **Sasaran Penelitian**

Sasaran dari kajian implementasi teori NZEB ini adalah :

1. Untuk mengetahui apakah teori ini dapat diterapkan sebagai solusi dari kelangkaan energi
2. Untuk bangunan ruang publik atau pemerintahan yang menggunakan banyak energi untuk operasionalnya.
3. Untuk mengetahui bagaimana cara menerapkan teori NZEB agar dapat mengonservasi energi secara efektif dan sesuai dengan konteks lokasi.

### **Manfaat Penelitian**

- Manfaat Akademis

Penelitian diharapkan dapat memberikan wawasan terkait penerapan pendekatan NZEB dalam merespon perubahan iklim dunia yang menyebabkan kelangkaan sumber energi tak terbarukan.

- Manfaat Psikologis

Penelitian ini diharapkan dapat membuka pikiran masyarakat bahwa pentingnya memulai membuat bangunan yang ramah lingkungan di zaman sekarang.

## **STUDI PUSTAKA**

### **Defenisi Iklim**

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Iklim adalah rata-rata cuaca dimana cuaca merupakan keadaan atmosfer pada suatu saat di waktu tertentu. Iklim diartikan sebagai ukuran atau nilai rata-rata dari beberapa aspek tertentu seperti temperatur, kecepatan angin, dan curah hujan yang terjadi pada suatu wilayah pada suatu waktu yang biasanya dimulai dari bulan tertentu yang berlangsung selama bulanan, tahunan, bahkan jutaan. Iklim dunia dari awal hingga sekarang selalu mengalami perubahan.

### **Perubahan Iklim**

Konvensi Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) yang membahas tentang Kerangka Kerja Perubahan Iklim (United Nations Framework Convention on Climate Change/UNFCCC) mengartikan perubahan iklim sebagai berubahnya komposisi atmosfer dunia/global dan konsistensi iklim alami pada beberapa periode waktu tertentu yang dapat di komparasikan, hal ini disebabkan baik secara langsung maupun tidak langsung kegiatan atau aktivitas yang dilakukan manusia. Komposisi atmosfer yang dimaksud yaitu berupa gas rumah kaca seperti, nitrogen, metana, karbondioksida, dan lainnya.

### **Defenisi Sumber Daya Alam**

Sumber daya alam secara umum memiliki defenisi segala hal/sesuatu yang berasal dari alam yang dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk pemenuhan kebutuhan hidupnya dan keberlangsungannya. Ada juga yang mengatakan bahwa sumber daya alam adalah semua hal yang terkandung di alam seperti hutan, berbagai mineral, udara, air serta lahan yang subur yang dapat di gunakan manusia untuk kepentingan hidup dan ekonomi.

### **Jenis Sumber Daya Alam**

- a. Sumber Daya Alam berdasarkan sifatnya
  - Sumber Daya Alam yang dapat diperbaharui

Sumber daya ini merupakan sumber daya yang tidak akan pernah habis selama ekosistem dan siklus berjalan dengan baik dan tidak terganggu oleh hal lainnya. Contohnya : tumbuhan, hewan, air, angin, sinar matahari dan panas bumi
  - Sumber Daya Alam yang tidak dapat diperbaharui

Sumber daya ini memiliki jumlah dan kapasitas yang terbatas. Hal ini dikarenakan untuk membentuk dan memproses sumber daya ini sangat lama. Serta penggunaannya yang banyak dan terus menerus membuatnya menjadi tidak seimbang antara pembentukannya dan penggunaannya.

## **METODE PENELITIAN**

### **Studi Literatur**

Pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur untuk mendapatkan referensi melalui jurnal maupun artikel yang relevan terkait dengan pendekatan NZEB. Pencarian literatur ini juga berguna untuk mencari kasus yang sejenis sebagai pengganti observasi lapangan secara langsung.

### ***Theory of Inventive Problem Solving***

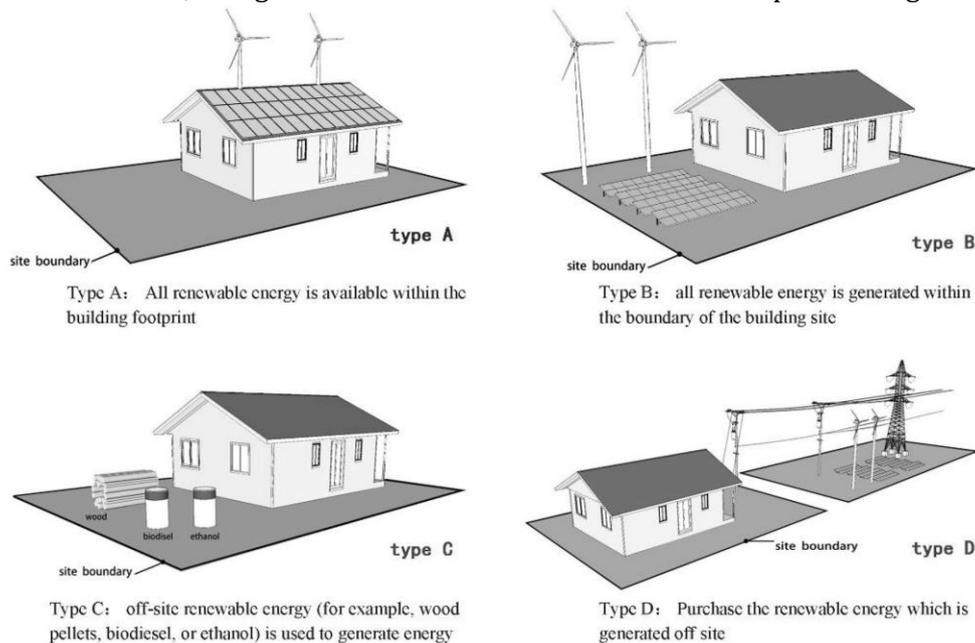
TRIZ (*Theory of Inventive Problem Solving*) adalah metode yang berasal dari Rusia (*Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac*) yang diciptakan pada tahun 1946 oleh Genrich Saulovich Altshuller. Metode ini sangat bermanfaat untuk memperoleh ide-ide teknik dan sains yang bersumber dari proses menemukan alternatif dan solusi. TRIZ adalah salah satu metode pemecahan masalah berdasarkan logika dan data, yang mempercepat kemampuan

tim dalam memecahkan masalah secara kreatif. Seperti definisinya, tujuan TRIZ adalah menciptakan masalah secara kreatif.

Konsep dasarnya sendiri terdiri dari kontradiksi, idealistis, dan level of inventation. Kontradiksi berarti pertentangan. Hal ini biasanya muncul ketika kita melakukan peningkatan pada salah satu parameter, namun menyebabkan parameter yang lain menjadi turun. Kontradiksi sendiri terbagi menjadi 2, yaitu kontradiksi teknis dan kontradiksi fisik. Kontradiksi teknis adalah kontradiksi yang membahas mengenai proses dari suatu sistem. Kontradiksi fisik adalah kontradiksi yang membahas mengenai bentuk suatu elemen dari sistem. Idealistis berarti, hasil akhir ideal tercapai setelah kontradiksi terselesaikan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Definisi Nearly Zero-Energy Building sebenarnya masih belum ada yang pasti, meskipun banyak upaya telah dilakukan untuk membangun pemahaman yang disepakati secara internasional tentang NZEB, dan untuk mengevaluasi NZEB berdasarkan pada metodologi umum, belum ada definisi terpadu dari NZEB. (Delia D'Agostino et al.) membandingkan definisi NZEB di EU dan US, dan juga menawarkan proposal untuk mengklarifikasi makna *near zero*, *zero*, dan *plus energy building*. (Zhang et al.) mengkaji dan membandingkan definisi NZEB di kawasan dunia terkemuka, dan menunjukkan dua perbedaan utama dalam definisi. Salah satunya adalah apakah beban energi pada penggunaan akhir harus dihitung, dan yang lainnya adalah apakah energi terbarukan di luar lokasi site dapat dihitung. Jika peraturan dan kebijakan hanya menargetkan konstruksi bangunan itu sendiri, energi terbarukan di luar lokasi tidak boleh dipertimbangkan.



**Gambar 1.1** Empat tipe model bangunan NZEB

Sumber : (Feng et al., 2019)

Memberikan terlalu banyak kredit untuk pembangkit energi terbarukan di luar lokasi dapat mengurangi upaya gedung untuk memasukkan efisiensi energi dan pembangkit energi terbarukan di bangunan secara langsung. Hal ini karena sulit untuk menyatukan standar secara global, *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) mengusulkan beragam definisi "*Nearly Zero Energy*" dan mendorong para arsitek, pengembang dan pemangku kepentingan untuk memilih indikator yang paling sesuai dengan proyek mereka. Upaya ini memberikan arahan untuk definisi NZEB yang sistematis daripada hanya definisi tunggal. Dalam studi ini, definisi NZEB mengikuti definisi *U.S.*

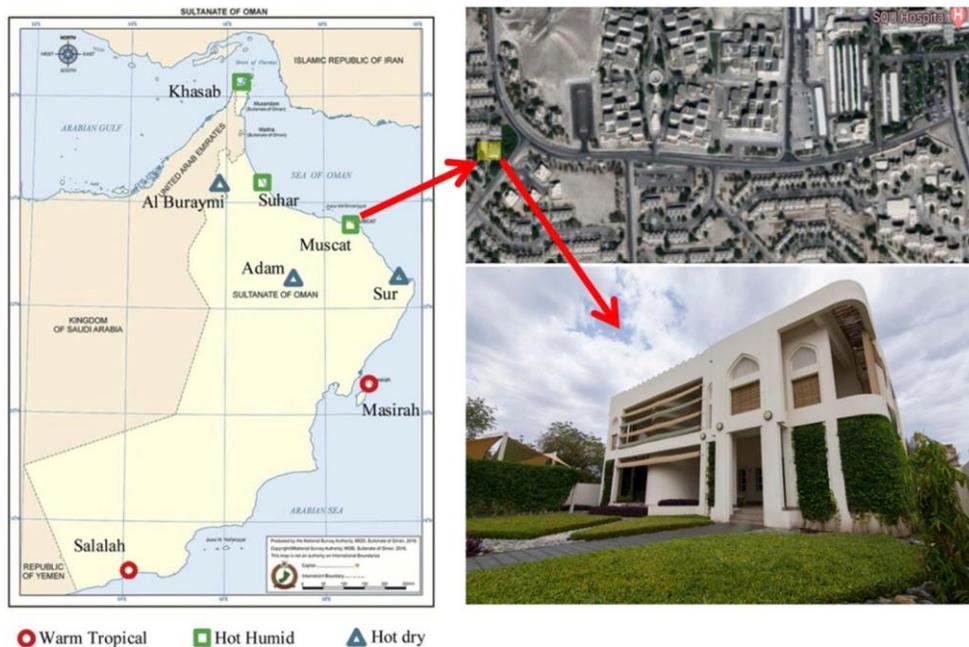
Department of Energy (DOE) tentang NZEB sebagai “an energy-efficient building where, “on a source energy basis, the actual annual delivered energy is less than or equal to the on-site renewable exported energy”.

### Indoor Pollution

*Indoor pollution* sendiri adalah polusi udara yang terjadi didalam ruangan ketika polutan dari benda-benda seperti gas dan partikel mencemari udara dalam ruangan. Biasanya sumber polusi yang menyebabkan *indoor pollution* ini adalah jamur, asap tembakau, produk rumah tangga, pestisida, gas seperti radon dan karbon monoksida, serta bahan-bahan yang digunakan dalam bangunan seperti asbes, formaldehid, dan timbal. (Spiru & Simona, 2017)

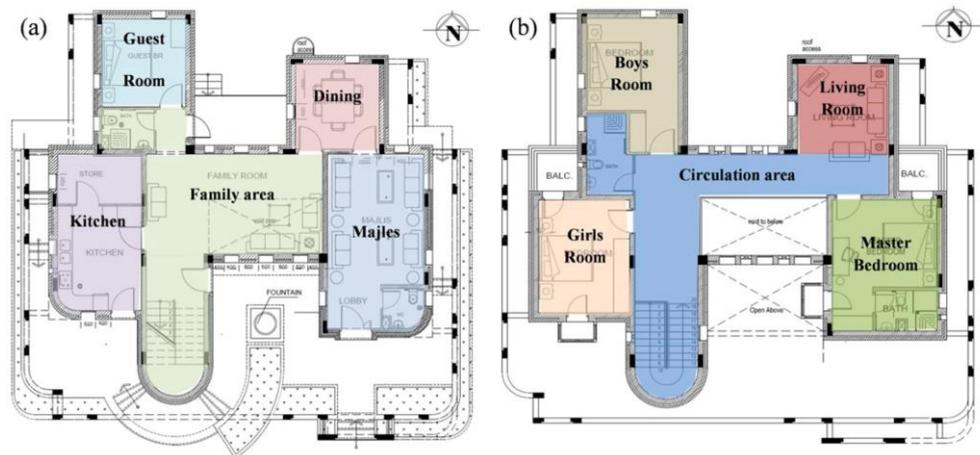
*Indoor pollution* adalah hal yang sangat nyata dan berbahaya karena udara dalam ruangan jauh lebih terkonsentrasi dengan polutan daripada udara luar. Diperkirakan 2,2 juta kematian setiap tahun disebabkan oleh indoor pollution (dibandingkan dengan 500.000 kematian akibat polusi udara luar ruangan). Ada banyak sumber *indoor pollution*, tetapi mereka berbeda antara negara maju dan berkembang. Disini akan dibahas indoor pollution di negara-negara berkembang untuk melihat bagaimana udara dalam ruangan tercemar di lokasi-lokasi ini.

### Kasus di Iklim Sub Tropis : Ecohouse, Muscat, Oman



**Gambar 1.2** Lokasi dari Ecohouse di SQU's Campus in Muscat, Oman  
Sumber : (Al-Saadi & Shaaban, 2019)

Bangunan NZEB ini dirancang dengan merekayasa dan mengoptimalkan energi alami. Bangunan ini bernama Ecohouse, berfungsi sebagai tempat untuk menginap para tamu yang mengunjungi universitas ini. Ecohouse memiliki 2 lantai dengan lantai dasar sebesar 147.81 m<sup>2</sup>, dan lantai dua sebesar 131.51 m<sup>2</sup>, yang mana totalnya adalah 279.32 m<sup>2</sup>. Lantai dasar terdiri dari Majlis (yaitu, ruang berkumpul untuk tamu pria), ruang makan, ruang keluarga, kamar tidur tamu, dua kamar mandi, seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 1.3** Denah Ecohouse lantai dasar dan lantai dua  
Sumber : (Al-Saadi & Shaaban, 2019)

Ecohouse dibangun dengan mentransformasi bentukan rumah hunian tradisional Oman. Dengan berbagai ruangan yang menjorok keluar membentuk huruf H. Halaman rumah di bagian utara dan selatan dihubungkan oleh ruang keluarga seperti yang bisa dilihat di gambar 1.3. Halaman utara menggunakan panel PV yang ada di atap kantilever. Halaman selatan menjadi ruang keluarga outdoor yang memiliki air mancur ditengahnya sebagai pengatur termal sehingga angin yang berasal dari selatan dapat menjadi uap-uap air yang mendinginkan ruang keluarga.

### Kasus di Iklim Tropis : Reunion Island, France



**Gambar 1.4** Lokasi Reunion Island



**Gambar 1.5** Topografi Reunion Island

Sumber : (Praene, David, Sinama, Morau, & Marc, 2012).

Selama dua dekade terakhir, pembangunan ekonomi di *Reunion Island* telah menyebabkan perubahan yang besar. Terakhir telah ditandai oleh peningkatan permintaan jumlah energi per orang. Permintaan ini sebagian besar terjadi karena pertumbuhan populasi yang tinggi (1,55% per tahun). *Reunion Island* saat ini memiliki 833.000 jiwa. Populasi akan meningkat menjadi 1 juta pada tahun 2030.

*Reunion Island* memiliki banyak jenis RES (*Renewable Energy Source*) seperti matahari, angin, panas bumi, energi laut, dan tenaga air; inilah mengapa pulau ini ditentukan untuk menjadi contoh dari *Energy Self-Sufficient*. Ketersediaan RES telah membuat *Reunion Island* menjadi laboratorium skala kecil yang bereksperimen dengan teknologi terbarukan Perancis.

Seperti kebanyakan wilayah *ultrapерipheral* Uni Eropa, Reunion sangat bergantung pada bahan bakar fosil yang diimpor untuk produksi energinya. Total konsumsi energi primer sebesar 1352 ktep pada tahun 2009 dan 87,1% adalah energi yang diimpor. Pengembangan berbagai energi terbarukan seperti energi matahari, biomassa, energi laut, dan lain-lain.

**Tabel 1.1** Sumber Energi menurut jenisnya

Energy supply according to resource.								
Item	2000		2005		2008		2009	
	ktep	%	ktep	%	ktep	%	ktep	%
<b>Imported resources</b>								
Petrol	140.4	13.7	137.1	11.8	120.4	9.4	119.7	8.9
Fuel oil	490.5	47.9	540.3	46.6	554.3	43.0	638.2	47.2
Butane	30.9	3.0	28.6	2.5	26.1	2.0	25.5	1.9
Coal	207.1	20.2	303.4	26.2	419.7	32.6	402.8	29.8
<b>Local resources</b>								
Sugarcane bagasse	104.5	10.2	94.6	8.2	94.4	7.3	99.4	7.4
Hydropower	48.1	4.7	43.9	3.8	54.4	4.2	45.7	3
Thermal solar	2.2	0.2	8.5	0.7	13.2	1.0	14.4	1.1
Waste oil	1.9	0.2	2	0.2	1.8	0.1	1.6	0.1
Other RES			0.05	-	2.2	0.2	4.8	0.4

Sumber : (Praene, David, Sinama, Morau, & Marc, 2012).

Hal ini menjadi perhatian utama pemerintah *Reunion Island* agar dapat menjadi daerah yang mandiri di bidang. Sama seperti wilayah *peripheral* Prancis lainnya, kebijakan *Reunion Island* telah banyak berinvestasi di Sumber Energi Terbarukan (RES) sejak tahun 2000.

Menurut Tabel 1.2, emisi CO<sub>2</sub> di *Reunion Island* lebih rendah daripada di Prancis. Nilai ini dapat dijelaskan oleh situasi ekonomi Pulau Reunion.

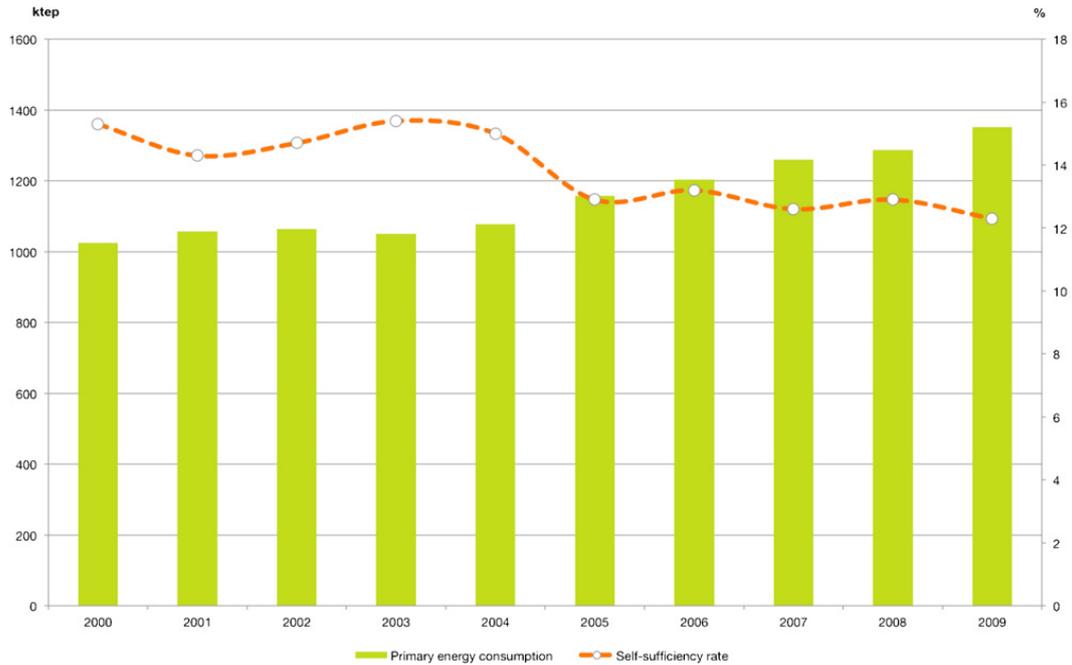
**Tabel 1.2** Produksi Emisi CO<sub>2</sub> hasil energi fosil

CO <sub>2</sub> emissions produced by combustion of fossil resources, [14].	
	tCO <sub>2</sub> /capita
World	4.39
OECD	10.61
France	5.74
Reunion	4.87
China	4.92

Sumber : (Praene, David, Sinama, Morau, & Marc, 2012).

Namun, dapat diamati bahwa tidak seperti Prancis, rasio CO<sub>2</sub> meningkat dari 4 tCO<sub>2</sub> /pop pada tahun 2004 menjadi 4,87 tCO<sub>2</sub> /pop pada 2010. Pada periode yang sama, Prancis mengalami penurunan 1,86 tCO<sub>2</sub> /pop (7,6 menjadi 5,74), yang sangat mengkhawatirkan adalah Reunion Island sedang menjalani transisi demografis dan ekonomi. Dengan demikian, dalam semua kemungkinan, kenaikan emisi CO<sub>2</sub> akan terus berlanjut jika tidak ada yang dilakukan untuk mengimplementasikan pengembangan berkelanjutan dari teknologi RES untuk memenuhi permintaan di masa depan.

Melalui ulasan status energi Reunion Island, dapat disimpulkan bahwa pengembangan teknologi energi terbarukan menjadi sangat penting dalam tujuan pembangunan ekonomi berkelanjutan. Pengembangan RES meningkat pada tingkat yang lebih lambat daripada demografi, yang telah menyebabkan penurunan kecil dalam tingkat efisiensi diri selama 4 tahun terakhir. *Self-Sufficient* energi Reunion Island diperkirakan akan meningkat dari 12% pada tahun 2009 menjadi 50% pada tahun 2020.



**Gambar 1.6** Perbandingan energi konsumsi dengan energi yang diproduksi  
Sumber : (Praene, David, Sinama, Morau, & Marc, 2012).

Hari ini Reunion Island adalah wilayah dengan ekonomi skala kecil, namun dihadapkan dengan efek globalisasi. Pemerintah Prancis harus mengintegrasikan lingkungan Uni Eropa dan Samudra Hindia. Konteks sosialnya sangat kompleks karena 30% dari populasi menganggur. Dengan demikian, penyebaran proyek apa pun di bidang energi harus mempertimbangkan aspek ekonomi, teknologi, dan sosial agar terbukti berkelanjutan.

Dalam konteks ini, Reunion Island tampaknya menjadi tempat pengujian sempurna untuk solusi energi terbarukan dan manajemen energi, masalah yang akan dihadapi planet kita pada skala yang jauh lebih luas. Sebagaimana dinyatakan oleh Menteri Lingkungan Hidup Prancis: "Keberhasilan Pulau Reunion harus memberi pertanda keberhasilan Prancis, Eropa dan Dunia dalam perang melawan pemanasan global dan transisi energi yang dibutuhkan" (Praene et al., 2012).

### Penentuan Faktor yang Berpengaruh

Tahap awal yang dilakukan adalah menentukan *improving feature* dan *worsening feature* nya. Teori NZEB merupakan sebuah teori yang dapat diterapkan pada bangunan agar memiliki performa atau kinerja yang tinggi dalam pengaturan energi. Energi yang digunakan dijaga agar selalu seimbang atau sedikit lebih tinggi dari energi yang di produksi dan di cegah. Energi harus dicakup sampai tingkat yang signifikan oleh energi-energi terbarukan, termasuk energi yang di produksi di lokasi bangunan atau sekitarnya.

Pada pembahasan kali ini kita berfokus di kelemahan terakhir yaitu terjadinya *indoor pollution*. Kemudian kita cocokan dengan *Contradiction Matrix* yang dimiliki oleh TRIZ, hasilnya :

- *Improving effect: Use Energy by Stationary Object (20)*

Teori NZEB ini merupakan teori yang sifatnya menghemat energi sebesar mungkin dan memproduksi energi sebanyak mungkin maka 'Use Energy by Stationary Object' sudah tepat karena efek yang dihasilkan berasal dari objek-objek yang diam atau tidak bergerak

- *Worsening effect: Object affected harmful factor (30)*

Namun di beberapa kasus penggunaan teori ini mengalami yang namanya indoor pollution. 'Object affected harmful factor' sudah tepat karena objek dalam hal ini adalah bangunan yang diterapkan teori NZEB terkena efek yang merugikan atau berbahaya.

**Tabel 1.3** Tabel Contradiction Matrix setelah memasukan *improving* dan *worsening feature*

Worsening Feature Improving Feature	....	(27) Reliability	(28) Measurement Accuracy	(29) Manufacturing Precision	(30) Object affected harmful factors
....	....				
(17) Temperature		19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2
(18) Illumination Intensity			11, 15, 32	3, 32	15, 19
(19) Use Energy by Moving Object		19, 21 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27
(20) Use Energy by Stationary Object		10, 36, 23			10, 2, 22, 37

Sumber : *Dokumen Pribadi*

**(10) Prior Action**

Melakukan beberapa atau semua tindakan yang dibutuhkan untuk mencegah hal yang tidak diinginkan terjadi

1. Sedari awal sudah mencari material apa yang menyebabkan *indoor pollution*. Atau mungkin hal tersebut bisa terjadi ketika ada dua material yang bertemu sehingga *indoor pollution* terjadi, sehingga jika hanya menganalisis satu material masih belum cukup.
2. Desain awal sudah dipikirkan bagaimana membuat efek *indoor pollution* itu hilang misal, penggunaan penyaring udara yang otomatis hidup ketika kondisi udara tidak baik atau menggunakan pelindung matahari yang terintegrasi dengan sel fotovoltaik

**(2) Extraction, Separation, Removal, Segregation**

Ekstrak, separasi, menghapus, dan memisahkan bagian atau sesuatu 'yang mengganggu' dari suatu objek atau hanya mengambil dari bagian yang diperlukan.

1. Pisahkan area yang dirasa merupakan penyebab indoor pollution dengan cara mengisolasi dinding dan langit-langit sehingga efek yang dihasilkan tidak menyebar keruangan lain
2. Rancang ruangan secara terpisah yang digunakan untuk fungsi yang menyebabkan indoor pollution

**(22) Convert harm into benefit, "Blessing in disguise"**

Menggunakan faktor-faktor berbahaya (khususnya, efek berbahaya dari lingkungan dan sekitarnya) untuk mencapai efek positif

1. *Indoor Pollution* yang dihasilkan diubah menjadi oksigen (O<sub>2</sub>) dengan cara meletakkan tanaman yang optimal dalam mengubah karbon monoksida dan karbon dioksida menjadi oksigen, misal: palem kuning (*Dypsis lutescens*), bunga krisan (*Chrysanthemum*), lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*).
2. Menggunakan sel fotovoltaik untuk menghasilkan listrik yang berasal dari radiasi dan panas matahari yang mengarah ke selubung bangunan.

### **(37) Thermal Expansion**

Menggunakan perubahan termal (atau kontraksi) material.

1. Menggunakan double-shell dalam berbagai selubung bangunan, misal dinding yang memiliki *cavity* sehingga radiasi dapat dicegah sebelum masuk ke dalam
2. Menggunakan material yang memiliki koefisien ekspansi termal yang berbeda.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **Kesimpulan**

NZEB (*Nearly Zero-Energy Building*) merupakan NZEB merupakan sebuah pendekatan dalam merancang bangunan yang meminimalkan penggunaan energi fosil dengan memanfaatkan potensi-potensi alam seperti angin, matahari, serta air. Selain itu NZEB juga menghasilkan energi terbarukan demi menggantikan peran energi konvensional

Menggarisbawahi temuan penelitian, kontribusi penelitian, dan rekomendasi untuk penelitian berikutnya.

Teori NZEB adalah sebuah teori yang dapat diterapkan pada bangunan agar memiliki performa atau kinerja yang tinggi dalam pengaturan energi. Energi yang digunakan dijaga agar selalu seimbang atau sedikit lebih tinggi dari energi yang di produksi dan di cegah. Energi harus dicakup sampai tingkat yang signifikan oleh energi-energi terbarukan, termasuk energi yang di produksi di lokasi bangunan atau sekitarnya.

Teori NZEB adalah sebuah teori yang dapat diterapkan pada bangunan agar memiliki performa atau kinerja yang tinggi dalam pengaturan energi. Energi yang digunakan dijaga agar selalu seimbang atau sedikit lebih tinggi dari energi yang di produksi dan di cegah. Energi harus dicakup sampai tingkat yang signifikan oleh energi-energi terbarukan, termasuk energi yang di produksi di lokasi bangunan atau sekitarnya.

### **Saran**

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data, pembahasan, serta kesimpulan diatas, peneliti memberikan saran terhadap permasalahan yang ditemukan dalam penerapan teori NZEB karena masih ada beberapa kontradiksi negatif yang masih menjadi permasalahan.

Saran tersebut antara lain sebagai berikut :

1. Penggunaan material berongga atau *cavity*, hal ini ini diharapkan agar radiasi dan panas yang datang menuju bangunan dapat ditahan sehingga mencegah material yang berpotensi mengalami *indoor pollution* tidak terjadi.
2. Ruangan-ruangan yang terjadi *indoor pollution* dimanfaatkan sebagai benefit untuk mengubah karbon monoksida menjadi oksigen (O<sub>2</sub>) dengan cara meletakkan tanaman yang optimal dalam mengubah karbon monoksida dan karbon dioksida menjadi oksigen, misal : palem kuning (*Dypsis lutescens*), bunga krisan (*Chrysanthemum*), lidah mertua (*Sansevieria trifasciata*). Metode diatas dapat diterapkan dengan berbagai cara seperti vertical garden, penanaman vegetasi pada tapak secara konvensional, atau hidroponik atau aquaponik.

### **DAFTAR PUSTAKA**

Al-Saadi, S. N., & Shaaban, A. K. (2019). Zero energy building (ZEB) in a cooling dominated climate of Oman: Design and energy performance analysis. *Renewable and*

- Sustainable Energy Reviews*, 112(May), 299–316.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.049>
- Amoatey, P., Omidvarborna, H., Baawain, M. S., & Al-mamun, A. (2018). Indoor air pollution and exposure assessment of the gulf cooperation council countries : A critical review. *Environment International*, 121(August), 491–506.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.043>
- Asdrubali, F., Ballarini, I., Corrado, V., Evangelisti, L., Grazieschi, G., & Guattari, C. (2019). Energy and environmental payback times for an NZEB retrofit. *Building and Environment*, 147(August 2018), 461–472.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.047>
- Asyraf, M. R. M., Ishak, M. R., Sapuan, S. M., & Yidris, N. (2019). Conceptual design of creep testing rig for full-scale cross arm using TRIZ-Morphological chart-analytic network process technique. *Journal of Materials Research and Technology*, (x x), 1–12.  
<https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.033>
- Attia, S., Eleftheriou, P., Xenii, F., Morlot, R., Ménézo, C., Kostopoulos, V., ... Hidalgo-Betanzos, J. M. (2017). Overview and future challenges of nearly zero energy buildings (nZEB) design in Southern Europe. *Energy and Buildings*, 155(2017), 439–458. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.043>
- Charisi, S. (2017). The Role of the Building Envelope in Achieving Nearly-zero Energy Buildings (nZEBs). *Procedia Environmental Sciences*, 38, 115–120.  
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2017.03.092>
- Cucuzzella, C. (2019). The normative turn in environmental architecture. *Journal of Cleaner Production*, 219, 552–565. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.084>
- Erhorn, H., & Erhorn-Kluttig, H. (2014). *Selected examples of Nearly Zero- Energy Buildings*. (September), 74. Retrieved from [http://www.rehva.eu/fileadmin/news/CT5\\_Report\\_Selected\\_examples\\_of\\_NZEBs-final.pdf](http://www.rehva.eu/fileadmin/news/CT5_Report_Selected_examples_of_NZEBs-final.pdf)
- Feng, W., Zhang, Q., Ji, H., Wang, R., Zhou, N., Ye, Q., ... Lau, S. S. Y. (2019). A review of net zero energy buildings in hot and humid climates: Experience learned from 34 case study buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114(August), 109303. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109303>
- Hanif, I. (2018). Impact of fossil fuels energy consumption, energy policies, and urban sprawl on carbon emissions in East Asia and the Pacific: A panel investigation. *Energy Strategy Reviews*, 21(November 2017), 16–24.  
<https://doi.org/10.1016/j.esr.2018.04.006>
- Nasional, R. A., & Iklim, A. P. (2013). *Kementerian PPN/Bappenas 2013*.
- Nevens, F., Frantzeskaki, N., Gorissen, L., & Loorbach, D. (2013). Urban Transition Labs: Co-creating transformative action for sustainable cities. *Journal of Cleaner Production*, 50, 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.001>
- Praene, J. P., David, M., Sinama, F., Morau, D., & Marc, O. (2012). Renewable energy: Progressing towards a net zero energy island, the case of Reunion Island. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 426–442.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.007>
- Sodiq, A., Baloch, A. A. B., Khan, S. A., Sezer, N., Mahmoud, S., Jama, M., & Abdelaal, A. (2019). Towards modern sustainable cities: Review of sustainability principles and trends. *Journal of Cleaner Production*, 227, 972–1001.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.106>
- Solaun, K., & Cerdá, E. (2019). Climate change impacts on renewable energy generation. A review of quantitative projections. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109415. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109415>
- Spiru, P., & Simona, P. L. (2017). ScienceDirect ScienceDirect A review on interactions between energy performance of the buildings , outdoor air pollution and the indoor

air quality. *Energy Procedia*, 128, 179–186.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.039>  
World Bank. (2010). Adaptasi terhadap Perubahan Iklim. *Policy Brief*, 1–4. Retrieved from  
<http://siteresources.worldbank.org/INTINDONESIA/Resources/Publication/280016-1235115695188/5847179-1258084722370/Adaptasi.terhadap.Perubahan.Iklim.pdf>