

IMPLEMENTASI PRINSIP ARSITEKTUR RESILIENSI PADA SEED BANK BUILDINGS SEBAGAI PENCEGAHAN KRISIS PANGAN

**Dyli Tiara Jatra¹, Fiky Nur Fadhila Rohmah¹, Happy Faradita Z. A¹, Moch. Hanif
Maulana¹, Anas Hidayat¹**

¹Program Studi Arsitektur, UPN “Veteran” Jawa Timur, Jl. Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya
[*22051010114@student.upnjatim.ac.id](mailto:22051010114@student.upnjatim.ac.id)

ABSTRAK

Krisis pangan telah muncul sebagai tantangan besar di beberapa kawasan dan dapat menyebar luas, terutama dengan ketidakpastian perubahan iklim, fluktuasi ekonomi, dan pertumbuhan penduduk yang cepat. Dalam menghadapi tantangan ini, konsep ketahanan muncul sebagai pendekatan untuk memperkuat ketahanan sistem pangan dan desain arsitektur berperan, di mana bangunan Bank Benih berfungsi sebagai sarana untuk menyimpan benih tanaman yang berharga untuk memulihkan ekosistem dan keanekaragaman hayati. Penelitian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana prinsip arsitektur ketahanan diterapkan dalam berbagai desain Bank Benih di seluruh Eropa, yaitu Svalbard Global Seed Bank dan Millennium Seed Bank. Studi ini menggunakan pendekatan penelitian *Dynamic Mixed Methods*, memanfaatkan *Paired Comparison Rating Scale* untuk membandingkan berbagai elemen/komponen bangunan dan spasial yang memenuhi kriteria indikator yang ditetapkan. Hasil penelitian menunjukkan bagaimana prinsip arsitektur ketahanan diterapkan secara holistik dalam desain Bangunan Bank Benih, yang mencakup aspek-aspek seperti efisiensi dan efektivitas, eco-tech dan keberlanjutan, daya tahan, dan fleksibilitas. Studi ini dapat memberikan arahan dan perbandingan yang berharga untuk membangun Bank Benih yang aman, efisien, dan berkelanjutan di Indonesia untuk mengatasi krisis pangan yang mungkin terjadi di Indonesia di masa mendatang.

Kata kunci: krisis pangan, resiliensi arsitektur, seed bank building

IMPLEMENTATION OF RESILIENCE ARCHITECTURE PRINCIPLES IN SEED BANK BUILDINGS AS A MEANS OF FOOD CRISIS PREVENTION

ABSTRACT

The food crisis has emerged as a major challenge in several regions and can spread widely, especially with the uncertainty of climate change, economic fluctuations and rapid population growth. In facing this challenge, the concept of resilience emerged as an approach to strengthen the resilience of the food system and architectural design played a role, where Seed Bank buildings functioned as a means to store valuable plant seeds to restore ecosystems and biodiversity. This research aims to assess the extent to which resilience architectural principles are applied in various Seed Bank designs across Europe., namely the Svalbard Global Seed Bank and the Millennium Seed Bank. This study employs the Dynamic Mixed Methods research approach, utilizing a Paired Comparison Rating Scale to compare various building and spatial elements/components that meet the established indicator criteria. The research findings will demonstrate how resilience architecture principles are holistically applied in the design of Seed Bank Buildings, encompassing aspects such as Efficiency and Effectiveness, Eco-tech and Sustainability, Durability, and Flexibility. This study can provide valuable guidance and comparisons for building a safe, efficient, and sustainable Seed Bank in Indonesia to overcome the food crisis that may occur in Indonesia in the future.

Keywords: food crisis, resilience architecture, seed bank building

PENDAHULUAN

Salah satu masalah terbesar yang dihadapi dunia saat ini adalah krisis pangan. Krisis pangan terjadi ketika tingkat kelaparan meningkat secara drastis dan tiba-tiba, sering kali disebabkan oleh konflik, bencana alam, atau gangguan ekonomi yang besar yang mengakibatkan populasi tertentu kehilangan akses terhadap makanan (WFP, 2020). Tantangan ini diprediksi akan semakin parah dengan adanya perubahan iklim yang tidak menentu, fluktuasi ekonomi global, dan pertumbuhan populasi yang cepat. Faktor-faktor ini dapat mengganggu produksi dan distribusi pangan, serta memperburuk ketahanan pangan di dunia. Perubahan iklim yang menyebabkan kekeringan, panas ekstrem, dan banjir telah menempatkan ketahanan pangan di banyak negara di seluruh dunia dalam bahaya (IPCC, 2023). Kondisi ini memerlukan solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk menjaga ketahanan pangan.

Dalam konteks ketahanan pangan, konsep resiliensi sangat penting karena merujuk pada kemampuan sistem pangan untuk bertahan, beradaptasi, dan pulih dari gangguan yang terjadi. Resiliensi menekankan pada kombinasi ketahanan dan adaptasi terhadap situasi yang berubah-ubah (Istiadji, Hardiman, & Satwiko, 2018). Penerapan prinsip-prinsip arsitektur resiliensi pada bangunan *seed bank* merupakan salah satu upaya strategis untuk memperkuat ketahanan pangan. *Seed Bank* berfungsi sebagai tempat penyimpanan benih yang berharga dan dapat digunakan untuk memulihkan dan melestarikan keanekaragaman hayati yang terdampak krisis pangan.

Bangunan *seed bank* yang dirancang dengan prinsip arsitektur resiliensi diharapkan mampu menghadapi berbagai masalah lingkungan dan sosial sekaligus berkontribusi dalam pencegahan krisis pangan. Beberapa *seed bank* di dunia, seperti *Svalbard Global Seed Vault* di Norwegia dan *Millennium Seed Bank* di Inggris, telah menerapkan arsitektur resiliensi dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana prinsip-prinsip arsitektur resiliensi diterapkan pada desain kedua *seed bank* tersebut. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan panduan yang komprehensif dalam pembangunan *seed bank* yang aman, efisien, dan berkelanjutan di Indonesia sehingga lebih siap dalam mencegah krisis pangan.

Kajian Teori

Seed Bank

Seed bank adalah tempat benih disimpan untuk melestarikan keanekaragaman genetik yang dianggap penting untuk ketahanan pangan, penelitian, dan proyek restorasi (FAO, 2014). *Seed bank* juga berfungsi sebagai pemelihara benih untuk rehabilitasi dan pemulihan lahan yang terdegradasi atau rusak, membantu memulihkan ekosistem dan meningkatkan biodiversitas (Hawkes et al., 2000)

Pembangunan *seed bank* biasanya didesain dengan mempertimbangkan efisiensi konstruksi dan operasional, termasuk pengendalian suhu dan kelembaban yang ketat, penggunaan material bangunan yang tahan lama, serta sistem keamanan yang kuat (Rajanaidu & Rao, 2002)

Parameter *Seed Bank*

Terdapat parameter yang perlu diperhatikan pada sebuah *seed bank* agar efektif dan berkelanjutan. Berikut adalah parameter-parameter tersebut:

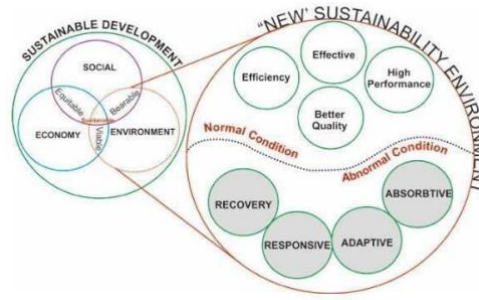
1. Konservasi genetik: parameter utama sebuah *seed bank* adalah kemampuannya untuk mengawetkan dan memelihara keanekaragaman genetik tanaman. Ini melibatkan pemilihan benih yang representatif dari berbagai spesies dan varietas, serta teknik penyimpanan yang tepat seperti suhu dan kelembaban yang terkontrol (Jui Ray & Sanjoy Kumar Bordolui, 2021)
2. Keamanan: *seed bank* harus dilengkapi dengan sistem keamanan yang kuat untuk melindungi koleksi benih dari ancaman pencurian, kerusakan, atau bencana alam (Fowler & Moeller, 2010).
3. Ketahanan lingkungan: desain *seed bank* harus mempertimbangkan dampak lingkungan dari operasinya, termasuk penggunaan energi, pengelolaan limbah, dan penekanan pada teknik konstruksi ramah lingkungan (Rajanaidu & Rao, 2002)
4. Kenyamanan operasional: fasilitas *seed bank* perlu dirancang untuk memudahkan operasional sehari-hari, seperti aksesibilitas benih, pemeliharaan peralatan, dan pengelolaan data (Rao et al., 2017).
5. Fleksibilitas: *seed bank* harus memiliki fleksibilitas dalam hal kapasitas penyimpanan, sehingga dapat menyesuaikan diri dengan perubahan kebutuhan konservasi tanaman di masa depan (Baibarac & Petrescu, 2019)
6. Keterlibatan masyarakat: partisipasi dan dukungan masyarakat lokal juga merupakan parameter penting, karena hal ini dapat memperkuat keterhubungan antara *seed bank* dengan komunitas yang terlibat (Istiadji et al., 2018).

Resilience Architecture

Resiliensi arsitektur dapat diartikan sebagai kemampuan sistem urban untuk mempertahankan fungsi, struktur, dan identitas dalam menghadapi tantangan dan ketidakpastian yang terus berkembang. Hal ini mencakup perencanaan dan desain yang adaptif, penggunaan teknologi yang canggih, serta partisipasi komunitas dalam perencanaan dan pemulihan (meerow et al., 2016)

Baibarac dan Petrescu (2019) menekankan bahwa desain arsitektur resiliensi *seed bank* harus mempertimbangkan beberapa aspek kunci, seperti:

1. Keamanan bangunan: bangunan *seed bank* harus dirancang untuk mengurangi risiko kerusakan akibat bencana alam atau ancaman eksternal lainnya.
2. Infrastruktur tangguh: struktur bangunan *seed bank* harus dirancang dengan redundansi dan kekuatan yang memadai untuk mengatasi tekanan eksternal dan internal.
3. Adaptasi terhadap perubahan iklim: desain harus mampu beradaptasi dengan kondisi iklim yang berubah untuk memastikan keberlanjutan fungsi *seed bank* dalam jangka panjang.
4. Menghindari risiko keruntuhan: desain harus menghindari kelemahan yang dapat menyebabkan keruntuhan atau kegagalan fungsi *seed bank*.



Gambar 1. Kerangka konseptual *resilience architecture*
(Sumber: Istiadji et al., 2017)

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif (Groat et al., 2013). Dengan menggunakan desain penelitian metode campuran yang dinamis, penelitian ini menggabungkan data kualitatif dan kuantitatif (Creswell, 2009). Penelitian ini dilakukan dengan mengeksplorasi penerapan prinsip-prinsip arsitektur ketahanan di bank benih internasional. Data dikumpulkan melalui tinjauan literatur untuk mengeksplorasi karakteristik dari dua lokasi bank benih, serta meninjau berbagai aspek variabel yang berasal dari teori Fowler & Moeller, 2010, L. Groat et al., 2013, dan Rao dkk. (2017). Selain itu, data kualitatif dan kuantitatif dibandingkan dengan menggunakan metode analisis Paired Comparison Rating Scale, yang mengukur dan membandingkan sampel yang berbeda dengan jumlah indikator yang digunakan (Saiko, 2009).

Indikator dalam penelitian ini didasarkan pada teori bank benih dan arsitektur ketahanan dari berbagai sumber termasuk Baibarac & Petrescu (2019) dan Istiadji et al (2017). Setiap lokasi akan dinilai berdasarkan skor indikator yang dipenuhi dan kemudian dibandingkan dengan skor lokasi lainnya. Berikut adalah proses penalaran yang digunakan untuk menentukan variabel dan indikator penelitian.

Tabel 1: Variabel dan indikator *seed bank*

Variabel	Indikator	Jumlah Butir
<i>Efficiency and Effectivity</i>	Sistem konstruksi	4
	Tata ruang	
	Redundansi sistem	
	Sistem keamanan benih	
<i>Eco-tech and Sustainability</i>	Penggunaan teknologi hemat energi	5
	<i>Non-pollutant solution</i>	
	Pengelolaan air dan limbah	
	Pencahayaan alami	
	Material ramah lingkungan	
<i>Durability</i>	Daya tahan struktural	4
	Ketahanan terhadap lingkungan ekstrem dan bencana alam	
	Penggunaan material tahan lama	
	Kemudahan perawatan dan pemeliharaan	

(Sumber: Penulis,2024)

Sistem penilaian dikembangkan untuk variabel - variabel dalam penelitian ini, dengan memberikan skor untuk setiap aspek variabel dan indikator pada *seed bank*. Jumlah skor menunjukkan tingkat kepatuhan desain *seed bank* terhadap aspek - aspek indikator yang telah ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Luas lahan yang ideal untuk bank benih konservasi biasanya berkisar antara 1 hingga 2 hektar, tergantung pada spesies yang disimpan dan fasilitas pendukung yang diperlukan untuk penelitian dan pengelolaan (Dudley, 2008). Bangunan *seed bank* harus mampu menampung berbagai jenis benih dalam berbagai kondisi iklim, serta menjaga kelestarian, integritas genetik, dan kualitas benih. Berikut merupakan *seed bank* yang diterapkan di dua lokasi. Terdapat 2 contoh Seed Bank yang memenuhi kriteria Efficiency and Effectivity, Eco-tech and Sustainability, Durability dan Flexibility. Selain itu, pemilihan volume penyimpanan Seed Bank juga mempengaruhi perbandingan Efisiensi dan keefektifan proses pelestarian seed bank.

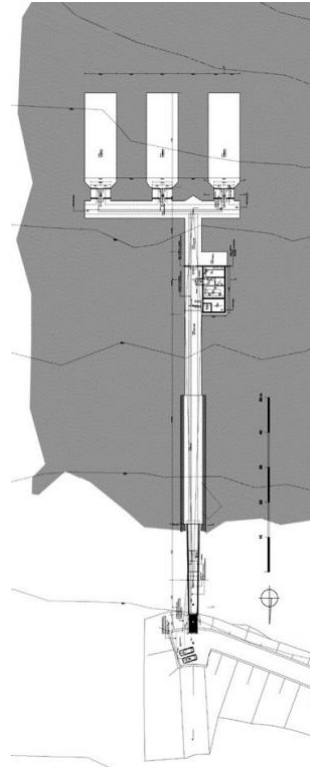
Svalbard Global Seed Vault



Gambar 2. *Svalbard Global Seed Vault*

(Sumber: <https://www.smithsonianmag.com>, 2023)

Svalbard Global Seed Vault terletak di Svalbard, Norwegia. Dirancang oleh arsitek ternama Peter W. Sødernan, *vault* ini merupakan benteng ketahanan pangan global yang dirancang dengan cermat dan teliti. Berfungsi sebagai gudang benih global yang tahan lama dan aman, melestarikan duplikat benih dari berbagai jenis tanaman pangan dari seluruh dunia. Dibangun 130 meter di bawah tanah, *vault* ini didesain untuk tahan terhadap bencana alam, termasuk gempa bumi, banjir, dan kebakaran.



Gambar 3. Layout plan *Svalbard Global Seed Vault*

(Sumber: <https://architectuul.com/architecture/svalbard-global-seed-vault>, 2015)

Tabel 2. Karakteristik *Svalbard Global Seed Vault*

<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Efficiency and Effectivity</i> 	
Sistem konstruksi	Konstruksi dibangun 130 m diatas permukaan laut dengan dinding beton bertulang setebal 1 meter. Gunung batuan dan struktur beton bertulang mampu melindungi dari gempa bumi, nuklir, dan bencana alam lainnya.
Tata ruang	<p>Pintu masuk berada di luar, sementara bagian ruang yang lain berada di bawah gunung bebatuan.</p> <p>Ruang bawah tanah terdiri dari:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Terowongan untuk sirkulasi dan perlindungan dari erosi dan perubahan iklim ● Kantor dan laboratorium ● Ruang pengontrol sistem ● Tiga ruang penyimpanan

Redundansi sistem	<ul style="list-style-type: none"> ● Kondisi bebatuan permafrost yang menjadikan suhu pada gudang penyimpanan tetap stabil antara -6°C sampai -4°C ● Memiliki kompresor pendingin yang menjaga temperatur di gudang penyimpanan tetap bersuhu antara -18°C sampai -20°C ● Terdapat sensor yang memonitor suhu, metana, dan CO2 tetap stabil
Sistem keamanan benih	Gudang penyimpanan benih memiliki dua pintu keamanan (<i>airlock doors</i>) yang memerlukan beberapa kunci dan dilengkapi kartu akses sehingga hanya yang berwenang yang dapat mengaksesnya. Sistem penyimpanan benih dengan benih dimasukkan ke dalam kantong aluminium foil khusus dan ditempatkan dalam kotak tertutup.
<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Eco-tech and Sustainability</i> 	
Penggunaan teknologi hemat energi	Desain <i>vault</i> mengurangi kebutuhan energi untuk pendinginan dengan memanfaatkan suhu alami permafrost.
<i>Non-pollutant solution</i>	Material konstruksi tidak mengandung zat berbahaya.
Pengelolaan air dan limbah	Sistem pengelolaan air minimal karena kebutuhan air sangat rendah.
Material ramah lingkungan	Penggunaan material batuan lokal untuk mengurangi jejak karbon.
<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Durability</i> 	
Daya tahan struktural	Struktur beton bertulang dirancang untuk menahan beban dari tekanan batuan sekitarnya dan memiliki ketahanan seismik.
Ketahanan terhadap lingkungan ekstrem dan bencana Alam	Material beton bertulang dan desain strukturalnya dapat bertahan dari suhu ekstrem dan cuaca Arktik.
Penggunaan material tahan lama	Penggunaan beton bertulang yang memiliki umur pakai yang sangat panjang dan mampu bertahan terhadap lingkungan ekstrem.
Kemudahan perawatan dan pemeliharaan	Material yang digunakan dalam konstruksi yaitu beton bertulang dan baja tahan karat sehingga hanya memerlukan perawatan yang minimal.

● <i>Flexibility</i>	
Tata ruang adaptif	Rak penyimpanan dapat diatur ulang untuk menampung berbagai jenis benih, sesuai dengan kebutuhan penyimpanan yang berubah-ubah.
Keterlibatan komunitas	<ul style="list-style-type: none">● Bank Gen Nasional dan Internasional: Institusi yang mengelola koleksi benih dari berbagai negara dan wilayah, seperti <i>United States Department of Agriculture (USDA)</i>, <i>International Rice Research Institute (IRRI)</i>, dan <i>Royal Botanic Gardens, Kew</i>.● <i>Crop Trust</i>: Organisasi internasional yang bekerja untuk memastikan keberlanjutan jangka panjang dari bank benih dunia dan mendukung operasi <i>Svalbard Global Seed Vault</i>.● <i>Food and Agriculture Organization (FAO)</i>: Organisasi PBB yang melestarikan dan memanfaatkan keanekaragaman genetik tanaman.● Lembaga Penelitian dan Universitas: Institusi akademik yang terlibat dalam penelitian pertanian, bioteknologi, dan pelestarian keanekaragaman hayati.● Organisasi Non-Pemerintah (NGO), seperti : <i>Bioversity International Global</i>, <i>Crop Diversity Trust</i>, <i>World Wildlife Fund (WWF)</i>● Masyarakat dan Komunitas Lokal: Penduduk lokal di Svalbard dan pemerintah Norwegia terlibat dalam dukungan logistik dan operasional harian.
Sarana edukasi publik	Menyediakan tur virtual yang memungkinkan orang untuk melihat fasilitas tersebut secara <i>online</i> . Tur ini memberikan informasi mendalam tentang cara kerja <i>seed bank</i> , teknologi yang digunakan, dan pentingnya pelestarian benih.

(Sumber: Penulis, 2024)

Millennium Seed Bank

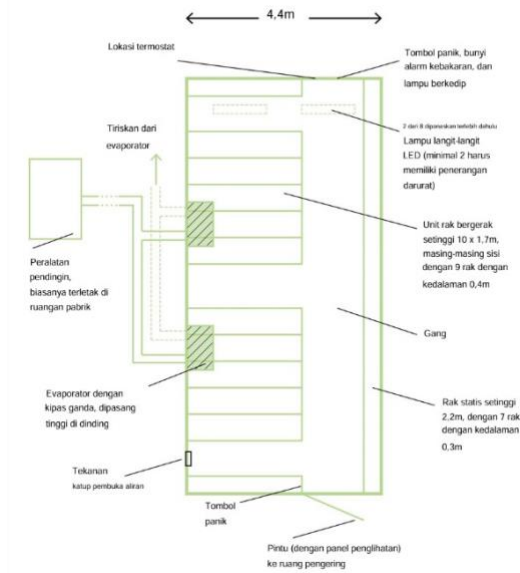


Gambar 4. *Millennium Seed Bank*

(Sumber: <https://www.kew.org>,)

Millennium Seed Bank, sebuah proyek yang dikembangkan oleh *Royal Botanic*

Gardens, Kew, terletak di Wakehurst, Inggris, *Millennium Seed Bank* bertujuan untuk melestarikan keanekaragaman hayati tumbuhan global dan berfungsi sebagai pusat penelitian dan edukasi, memfasilitasi studi mengenai konservasi tanaman dan menawarkan program pendidikan bagi masyarakat dan pelajar. *Millennium Seed Bank* telah menyimpan lebih dari 2,4 miliar benih dari lebih dari 40.000 spesies tumbuhan sejak peluncurannya pada tahun 2000.



Gambar 5. Tata letak umum salah satu ruangan pendingin di Bank Benih Millennium (Sumber: <https://brahmsonline.kew.org>)

Tabel 3. Karakteristik *Millennium Seed Bank*

● <i>Efficiency and Effectivity</i>	
Sistem konstruksi	Dinding penahan beban terbuat dari beton bertulang setebal 1 meter dan atap setebal 2 meter, memberikan perlindungan yang kuat terhadap fluktuasi suhu eksternal dan radiasi. dinding dibuat dari panel <i>Styrofoam</i> pra-fabrikasi setebal 100-200 mm.
Tata ruang	Lantai 1 digunakan sebagai sarana edukasi dan area kantor penelitian. Penyimpanan benih berada di bawah tanah, unit pendingin ditempatkan di lokasi yang terpisah dari ruang dingin dan dihubungkan ke evaporator dengan pipa. Kondensor ditempatkan di luar gedung bank benih.

Redundansi sistem	Menyediakan ruang dingin dengan suhu -20°C untuk penyimpanan skala besar dan nitrogen cair pada suhu -196°C atau freezer -80°C untuk spesies benih tertentu.
Sistem keamanan benih	Pintu ruangan yang dingin dapat dibuka dari dalam, meskipun terkunci. Dinding memiliki katup pelepas tekanan sehingga saat tekanan negatif timbul di dalam ruangan seiring penurunan suhu, tidak akan mempersulit pembukaan pintu dan merusak ruangan dingin.
● <i>Eco-tech and Sustainability</i>	
Penggunaan teknologi hemat energi	Penggunaan ruang dingin lebih hemat energi dibandingkan freezer dengan dinding, langit-langit menggunakan panel insulasi dan pintu masuk dengan baja kedap udara dan air, lantai dari isolasi panel atasnya dengan kayu lapis dan pelat baja anti selip.
Pencahayaan alami	Pencahayaan alami digunakan pada area kantor dengan penggunaan kaca lebar sedangkan tempat penyimpanan benih memanfaatkan lampu neon.
Pengelolaan air dan limbah	Sistem pengelolaan air minim karena kebutuhan air sangat rendah.
● <i>Durability</i>	
Daya tahan struktural	Struktur dirancang untuk menahan beban dari tekanan batuan sekitarnya dan memiliki ketahanan seismik
Ketahanan terhadap lingkungan ekstrem dan bencana alam	penggunaan material panel insulasi untuk dinding dapat menjaga suhu ruangan.
Penggunaan material tahan lama	Penggunaan beton bertulang, kaca, pelat baja anti selip, dinding panel insulin memiliki umur pakai yang panjang dan mampu bertahan terhadap lingkungan ekstrem.
Kemudahan perawatan dan pemeliharaan	Material bangunan yang digunakan tidak terlalu membutuhkan perhatian khusus, hanya saja pada penggunaan kaca perlu pembersihan secara intensif.
● <i>Flexibility</i>	
Tata ruang	Rak penyimpanan dapat diatur ulang untuk menampung berbagai jenis benih, sesuai dengan kebutuhan penyimpanan yang berubah-ubah.

Keterlibatan komunitas	<ul style="list-style-type: none"> ● <i>Kew Gardens</i>: Lembaga botani Inggris yang memimpin inisiatif <i>Millennium Seed Bank</i>. ● <i>Global Partnership for Plant Conservation (GSPC)</i>: Konsorsium organisasi internasional yang arahan strategis untuk <i>Millennium Seed Bank</i>. ● <i>Bioversity International</i>: <i>Bioversity International</i> bermitra dengan <i>Millennium Seed Bank</i> dalam penelitian dan pengembangan teknik penyimpanan benih. ● <i>The National Farmers Union</i>: Asosiasi petani terbesar di Inggris. Menyumbang benih varietas lokal dan pengetahuan tradisional tentang penyimpanan benih kepada <i>Millennium Seed Bank</i>.
Sarana edukasi	Menyediakan area yang digunakan sebagai tempat pembelajaran untuk pihak sekolah maupun umum dan terdapat area yang digunakan untuk penelitian.

Analisis Keunggulan *Seed Bank Buildings* dengan Prinsip *Resilience Architecture*

Hasil perbandingan dua objek studi berdasarkan analisis variabel pada aspek *Efficiency and Effectivity, Ecotech and Sustainability, Durability, and Flexibility* menunjukkan bahwa desain yang menerapkan prinsip arsitektur resiliensi dapat dipahami melalui tabel berikut:

Tabel 4. Perbandingan materi uji aspek *efficiency and effectivity*

<i>Efficiency and Effectivity</i>	Kuantitas Variabel Indikator	Materi Uji	
		A	B
Terpenuhi	4	4	4
Tidak terpenuhi		-	-
Total		4	4

(Sumber: Penulis, 2024)

Dalam tabel 4, terlihat jika kedua materi uji memiliki keunggulan yang sama dalam aspek *Efficiency and Effectivity* karena dapat memenuhi empat indikator, seperti:

1. Terdapat sistem redundansi sebagai upaya pencadangan
2. Sistem keamanan dipertimbangkan dengan pemilihan material dan sistem pintu
3. Sistem konstruksi dan tata ruang yang telah diadaptasi sesuai dengan kondisi lingkungan setiap materi uji.

Tabel 5. Perbandingan materi uji aspek *Eco-tech and sustainability*

<i>Ecotech and Sustainability</i>	Kuantitas Variabel Indikator	Materi Uji	
		A	B
Terpenuhi	5	4	3
Tidak terpenuhi		-	-
Total		4	3

(Sumber: Penulis, 2024)

Dalam tabel 5, terlihat jika aspek *Ecotech and sustainability pada Millennium Seed Bank* kurang dalam penerapannya, dimana metode ini merupakan aspek penting dalam arsitektur resiliensi. Pada materi uji A lebih memenuhi keseluruhan capaian indikator, seperti:

1. Penggunaan teknologi hemat energi.
2. *Non-pollutant solution*.
3. Pengelolaan air dan limbah.
4. Material ramah lingkungan.

Hanya saja kedua sampel tidak ada yang memenuhi indikator pencahayaan alami, karena dalam penyimpanan benih lebih memerlukan suhu yang dingin daripada hangat.

Tabel 6. Perbandingan Materi uji aspek *durability*

<i>Durability</i>	Kuantitas Variabel Indikator	Materi Uji	
		A	B
Terpenuhi	4	4	4
Tidak terpenuhi		-	-
Total		4	4

(Sumber: Penulis, 2024)

Dalam tabel 6, terlihat jika kedua materi uji sudah memenuhi empat indikator pada aspek *durability*, seperti:

1. Daya tahan struktural karena kedua sampel menggunakan beton bertulang yang dianggap sebagai struktur umum yang kuat.
2. Material tahan lama dan mudah perawatannya.
3. Ketahanan terhadap lingkungan ekstrem dan bencana alam diterapkan pada *Svalbard Global Seed Vault* dengan menyediakan kompresor dingin sebagai pengontrol suhu dalam terhadap pengaruh suhu luar sedangkan pada *Millennium Seed Bank* mengandalkan dinding panel insulasi untuk menjaga suhu dalam ruangan.

Tabel 7. Perbandingan materi uji aspek *flexibility*

<i>flexibility</i>	Kuantitas Variabel Indikator	Materi Uji	
		A	B
Terpenuhi	3	3	3
Tidak terpenuhi		-	-
Total		3	3

(Sumber: Penulis, 2024)

Dalam tabel 7, terlihat jika kedua materi uji telah menerapkan aspek *flexibility*. Kedua materi uji menggunakan rak yang dinamis sehingga dapat diubah peletakannya seiring bertambahnya jenis benih yang akan disimpan di masa depan. Kedua materi uji juga bermitra dengan banyak pihak, tidak hanya dengan pihak internasional namun juga bekerja sama dengan pihak setempat, hal ini akan berguna untuk keberlanjutan *seed bank*. Selain itu pada kedua materi uji tidak hanya berfungsi sebagai bank benih tapi juga dapat menjadi sarana penelitian dan edukasi walaupun pada *Svalbard Global Seed Vault* hanya menyediakan *virtual tour* sedangkan pada *Millennium Seed Bank* menyediakan area khusus sebagai sarana edukasi yang dapat dikunjungi oleh sekolah dan umum.

Analisis Tantangan pada Studi Objek *Seed Bank*

Dua fasilitas *seed bank* yang dibahas dalam kasus ini dianalisis sesuai karakteristiknya dan hasilnya menunjukkan bahwa kedua materi uji menggunakan sistem konstruksi dengan beton bertulang dan didesain tahan terhadap bencana. Namun, terdapat beberapa tantangan yang belum sepenuhnya teratasi, seperti:

1. material dan konstruksi keduanya perlu memperhatikan kekuatan dan ketahanan material dalam menghadapi bencana alam atau buatan manusia, serta memastikan keberlanjutan penggunaan kembali fasilitas setelah bencana.
2. Sistem utilitas dan kesejahteraan perlu dipertimbangkan sistem utilitas yang memadai dan ramah lingkungan, seperti pengolahan limbah, ventilasi yang baik, dan penggunaan sumber energi terbarukan.
3. Sistem saluran air patut mendapat perhatian lebih serius. Informasi mengenai sistem drainase pada *seed bank* masih terbatas. Kurangnya informasi ini menimbulkan kekhawatiran tentang kesiapan *seed bank* untuk menghadapi situasi darurat.
4. Perhatian terhadap masalah *Eco Technology* juga penting, karena ketergantungan pada energi listrik untuk pendinginan di kedua *seed bank*, terutama jika tidak berasal dari sumber terbarukan, dapat meningkatkan jejak karbon dan biaya operasional.
5. Aspek *Sustainable* yang masih kurang diperhatikan adalah penggunaan energi,

kedua *seed bank* menggunakan energi dalam jumlah besar untuk menjaga suhu penyimpanan benih yang optimal. Hal ini bisa berpengaruh pada emisi gas rumah kaca dan konsumsi sumber daya alam.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan menunjukkan bahwa penerapan prinsip arsitektur resiliensi pada bangunan *seed bank* berfokus pada aspek ketahanan dan adaptasi lingkungan. Berdasarkan hasil analisis pada dua objek *seed bank*, aspek *efficiency and effectivity*, *eco-tech and sustainability*, *durability*, dan *flexibility* telah berhasil diimplementasikan dengan baik. Keduanya menunjukkan ketahanan struktural yang baik terhadap bencana, penggunaan material tahan lama, serta fleksibilitas tata ruang yang memungkinkan penyesuaian sesuai kebutuhan penyimpanan benih. Namun, aspek *eco-tech and sustainability* belum mencapai tingkat yang optimal. Kedua *seed bank* berfokus pada ketepatan konstruksi dan ketahanan terhadap lingkungan sekitar tanpa memperhatikan sepenuhnya terkait keberlanjutan.

Penyebab tidak optimalnya penerapan prinsip arsitektur resiliensi karena prinsip ini tergolong relatif baru dalam gerakan keberlanjutan. Prinsip ini perlu diterapkan lebih lanjut pada bangunan *seed bank* untuk mendukung ketahanan pangan global yang lebih ideal, memastikan keseimbangan antara kelestarian lingkungan dan keberlanjutan komunitas melalui desain arsitektur yang adaptif dan responsif terhadap perubahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, tauhid, dan hidayah-nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan artikel berjudul “Implementasi Prinsip Arsitektur Resiliensi pada *Seed Bank Buildings* sebagai Pencegahan Krisis Pangan”. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Anas Hidayat selaku dosen pembimbing atas bimbingan dan dukungannya yang selama proses penulisan artikel ini. Penulis menyadari artikel ini masih jauh dari sempurna, mengingat penulis masih dalam tahap pembelajaran. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga artikel ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif bagi kita semua.

DAFTAR PUSTAKA

- Baibarac, C., & Petrescu, D. (2019). Co-design and urban resilience: Visioning tools for commoning resilience practices. *CoDesign*, 15(2), 91–109. <https://doi.org/10.1080/15710882.2017.1399145>
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (3rd ed). Sage Publications.
- Dudley, N. (2008). *Guidelines for applying protected area management categories*. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.en>
- FAO. (2014). *Genebank Standards for Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Fowler, C., & Moeller, N. I. (2010). Seed bank security: Protecting collections from theft, damage, and natural disasters. In *Plant Genetic Resources* (pp. 123-145). Cambridge University Press.
- Groat, L., Wang, D., & Groat, L. N. (2013). *Architectural research methods* (2. ed. [updated and expanded]). Wiley.
- Hawkes, J. G., Maxted, N., & Ford-Lloyd, B. V. (2000). The plant genetic resources Conservation movement. In J. G. Hawkes, N. Maxted, & B. V. Ford-Lloyd (Eds.), *The Ex Situ Conservation of Plant Genetic Resources* (pp. 32–42). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4136-9_3
- IPCC. (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Istiadji, L., Rahman, I., & Putri, R. (2018). Community involvement in the management of plant genetic resources. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 31(5), 605-620. <https://doi.org/10.1007/s10806-018-9740-5>
- Jui Ray & Sanjoy Kumar Bordolui. (2021). Role of Seed Banks in the Conservation of Plant Diversity and Ecological Restoration. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.4922618>
- Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>
- Rajanaidu, N., & Rao, V. R. (2002). Managing plant genetic resources and the role of private and public sectors: Oil palm as a model. *Managing Plant Genetic Diversity. Proceedings of an International Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 12-16 June 2000*, 425–436. <https://doi.org/10.1079/9780851995229.0425>
- Rao, N. K., Hanson, J., Dulloo, M. E., Ghosh, K., Nowell, D., & Larinde, M. (2017). *Manual of Seed Handling in Genebanks*. Bioversity International.
- Saiko, V. (2009). Specific Characteristics of Applying the Paired Comparison Method for Parameterization of Consumer Wants.
- WFP. (2020, April 20). *Global Report on Food Crises*. <https://www.wfp.org/publications/2020-global-report-food-crises>