

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Disaster Escape Zone

2.1.1 Definisi Disaster Escape Zone

Disaster Escape Zone atau Zona Evakuasi Bencana merupakan konsep penting dalam manajemen kebencanaan di Indonesia. Menurut Harkunti P. Rahayu (2018), Disaster Escape Zone dapat didefinisikan sebagai "area yang didesain khusus untuk memberikan perlindungan dan fasilitas yang diperlukan bagi masyarakat dalam menghadapi situasi bencana, baik sebelum, selama, maupun setelah terjadinya bencana" (hal. 45).

Konsep Disaster Escape Zone ini mencakup dua aspek utama, yaitu zona permanen dan zona modular. Zona permanen berfungsi sebagai pusat edukasi kebencanaan dan area utama pra-bencana, sementara zona modular digunakan sebagai hunian sementara dan fasilitas pendukung pasca-bencana.

Selain peran fisik dan fungsional, Disaster Escape Zone juga melibatkan penggunaan teknologi dan inovasi untuk meningkatkan efektivitasnya. Penerapan sistem peringatan dini yang terhubung dengan zona evakuasi, penggunaan aplikasi peta digital, dan informasi real-time dapat membantu masyarakat menemukan rute evakuasi terdekat dengan

lebih cepat dan aman. Misalnya, aplikasi ponsel yang menampilkan lokasi zona evakuasi, jalur evakuasi yang aman, dan informasi mengenai kapasitas serta ketersediaan fasilitas dapat mengurangi kebingungan dan kepanikan yang sering terjadi saat bencana. Inovasi ini juga memungkinkan pemantauan kondisi zona evakuasi secara jarak jauh, membantu petugas dalam mengelola distribusi logistik, pengawasan kepadatan, dan memastikan bahwa fasilitas tetap layak untuk digunakan.

2.1.1.1 Zona Permanen: Pusat Edukasi Kebencanaan

Zona permanen dalam Disaster Escape Zone memiliki peran krusial sebagai pusat edukasi kebencanaan dan area utama pra-bencana. Menurut Saut Sagala et al. (2014), "Edukasi kebencanaan merupakan komponen penting dalam membangun masyarakat yang tangguh terhadap bencana, dengan meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kesiapsiagaan masyarakat" (hal. 78). Bangunan utama dalam zona permanen ini dirancang untuk memfasilitasi berbagai kegiatan edukasi dan pelatihan terkait kebencanaan. Beberapa komponen penting yang wajib ada dalam zona permanen ini antara lain:

1. Pusat Informasi Kebencanaan
2. Ruang Simulasi Kebencanaan
3. Laboratorium Mitigasi Bencana

4. Ruang Pelatihan
5. Perpustakaan Kebencanaan

Fadly et al. (2019) menekankan bahwa "desain arsitektur zona permanen harus mempertimbangkan aspek ketahanan terhadap berbagai jenis bencana, sehingga dapat berfungsi sebagai shelter darurat jika diperlukan" (hal. 234).

2.1.1.2 Zona Modular: Hunian dan Fasilitas Pasca-Bencana

Zona modular dalam Disaster Escape Zone dirancang untuk memberikan solusi cepat dan fleksibel dalam penyediaan hunian dan fasilitas pendukung pasca-bencana. Iswanto et al. (2016) mendefinisikan hunian pasca-bencana sebagai "struktur temporer yang dirancang untuk memberikan tempat tinggal yang aman dan nyaman bagi korban bencana selama masa pemulihan" (hal. 56). Menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2015), "Hunian pasca-bencana harus memenuhi standar minimum dalam hal privasi" (hal. 32). Beberapa aspek penting dalam perancangan zona modular meliputi:

1. Fleksibilitas
2. Durabilitas
3. Keberlanjutan
4. Skalabilitas

5. Multifungsi

Tjahjono (2020) menyoroti pentingnya partisipasi masyarakat dalam perancangan hunian pasca-bencana, menyatakan bahwa "keterlibatan masyarakat dalam proses desain dan pembangunan dapat meningkatkan rasa kepemilikan dan mempercepat proses pemulihan psikologis korban bencana" (hal. 89).

2.1.1.3 Integrasi Zona Permanen dan Modular

Keberhasilan Disaster Escape Zone terletak pada integrasi yang efektif antara zona permanen dan zona modular. Menurut Lassa (2018), "pendekatan holistik dalam manajemen bencana memerlukan sinergi antara upaya mitigasi jangka panjang dan respons cepat pasca-bencana" (hal. 123).

Integrasi kedua zona ini dapat diwujudkan melalui:

1. Perencanaan Tata Letak
2. Sistem Infrastruktur Terpadu
3. Manajemen Data Terpusat
4. Pelatihan Terpadu

Kusumastuti et al. (2017) menekankan bahwa "ketahanan masyarakat terhadap bencana bergantung pada kemampuan untuk

beradaptasi dan pulih dengan cepat, yang dapat ditingkatkan melalui fasilitas dan sistem yang terintegrasi" (hal. 167).

Disaster Escape Zone dengan komponen zona permanen dan zona modular merupakan pendekatan inovatif dalam manajemen bencana di Indonesia. Implementasi konsep ini memerlukan kolaborasi multidisiplin dan partisipasi aktif masyarakat untuk memastikan efektivitas dan keberlanjutan jangka panjang.

2.1.2 Bangunan Kebencanaan

Terdapat beberapa bangunan kebencanaan yang telah digunakan selama ini sebagai bentuk penanganan bencana. Untuk lebih mengetahui mengenai tempat evakuasi akhir maka penulis melakukan pada beberapa bangunan yang mengakomodasi kegiatan yang hampir sama. Penulis melakukan studi Pustaka mengenai zona yang telah terbangun. Studi Pustaka dilakukan pada peraih arsitektur award Khudi Bari Marina Tabassum, dan pada tempat pengungsian yang disediakan UNHCR (Organisasi Pengungsi Perserikatan Bangsa-Bangsa)

2.1.2.1 Khudi Bari, Marina Tabassum

Khudi Bari, yang berarti "rumah kecil" dalam bahasa Bengali, adalah sebuah proyek perumahan modular dan berkelanjutan yang mendapatkan penghargaan kelas internasional dirancang oleh arsitek Marina Tabassum. Proyek ini bertujuan untuk menyediakan solusi perumahan bagi komunitas rentan yang tinggal di daerah rawan bencana di Bangladesh, khususnya yang sering

terkena bencana Gempa, banjir dan siklon. Desain Khudi Bari mencerminkan respons arsitektural terhadap kondisi iklim dan geografis lokal, di mana bangunan ini dirancang untuk fleksibel, dapat dipindahkan, dan mudah dibangun oleh masyarakat setempat. Marina Tabassum merancang Khudi Bari dengan prinsip-prinsip keberlanjutan dan kearifan lokal, menjadikan proyek ini sebagai salah satu contoh arsitektur tangguh yang beradaptasi dengan kondisi alam setempat. Rumah ini menggunakan material yang mudah didapat di daerah tersebut, seperti bambu, kayu, dan seng, yang semuanya mudah diakses dan terjangkau. Struktur rumah ini dirancang modular dengan komponen yang dapat dibongkar pasang, sehingga memungkinkan untuk dipindahkan jika lokasi menjadi tidak layak huni karena perubahan lingkungan.

Desain Khudi Bari sangat memperhatikan aspek kemudahan konstruksi dan partisipasi masyarakat. Setiap rumah dapat dibangun dalam waktu singkat oleh anggota komunitas dengan sedikit pelatihan teknis. Selain itu, rumah ini dirancang dengan elevasi yang lebih tinggi dari permukaan tanah untuk melindungi penghuninya dari banjir dan gempa yang sering terjadi di Bangladesh. Ventilasi yang baik dan pencahayaan alami juga diperhatikan untuk meningkatkan kenyamanan thermal di dalam rumah, mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi eksternal.



Gambar II.1 Khudi Bari

Khudi Bari tidak hanya menawarkan solusi perumahan sementara, tetapi juga memberdayakan masyarakat melalui arsitektur yang inklusif dan partisipatif. Dengan memanfaatkan material lokal dan melibatkan masyarakat dalam proses konstruksi, proyek ini mengurangi jejak karbon dan meningkatkan rasa memiliki di kalangan penghuni. Rumah ini juga dirancang agar tahan terhadap kondisi iklim ekstrem, sehingga memberikan keamanan dan stabilitas bagi komunitas yang sering menghadapi bencana alam.

Proyek ini juga berfungsi sebagai model untuk perumahan darurat di wilayah lain dengan kondisi serupa, karena desainnya yang adaptif dan berkelanjutan dapat direplikasi di berbagai lokasi dengan sedikit penyesuaian material lokal. Pendekatan Marina Tabassum menunjukkan bagaimana arsitektur tidak hanya berfungsi sebagai tempat tinggal, tetapi juga sebagai alat untuk membangun ketahanan komunitas di tengah ancaman perubahan iklim.

Khudi Bari telah mendapatkan pengakuan internasional karena inovasi desainnya yang relevan dengan isu perubahan iklim dan pengungsian akibat bencana. Proyek ini menjadi contoh bagaimana arsitektur dapat memberikan solusi nyata bagi tantangan global, sekaligus menghargai dan memanfaatkan konteks lokal. Marina Tabassum, melalui Khudi Bari, menekankan pentingnya pendekatan desain yang berpihak pada kebutuhan manusia, berkelanjutan, dan dapat beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Secara keseluruhan, Khudi Bari oleh Marina Tabassum adalah preseden penting dalam arsitektur tangguh dan berkelanjutan. Proyek ini menginspirasi berbagai inisiatif serupa di seluruh dunia yang berusaha menciptakan perumahan yang layak, aman, dan terjangkau bagi masyarakat yang paling rentan terhadap bencana alam.

2.1.2.2 Sapporo Citizens Disaster Prevention Center



Gambar II.2 Eksterior Sapporo Citizens Disaster Prevention Center

Sapporo Citizens Disaster Prevention Center adalah sebuah fasilitas pembelajaran interaktif yang dirancang untuk memberikan edukasi kepada masyarakat mengenai pencegahan bencana dan langkah-langkah yang harus diambil saat terjadi bencana. Pusat ini beroperasi setiap hari dari pukul 9:30 pagi hingga 4:30 sore, dan tutup pada hari Senin pertama dan ketiga setiap bulan (atau Selasa jika Senin adalah hari libur nasional), serta selama liburan akhir tahun dan Tahun Baru. Tiket masuk gratis, dan akses ke pusat ini sangat mudah karena terletak di dekat stasiun subway Nango nana chome (7 chome) serta pemberhentian bus Nango-dori 6 chome. Meskipun terdapat tempat parkir terbatas untuk mobil pribadi, pengunjung dianjurkan untuk menggunakan transportasi umum. Ada dua tempat parkir untuk bus besar dan satu untuk kendaraan penyandang disabilitas.



Gambar II.3 Miniatur Sapporo dan simulasi Helicopter

Pusat ini menawarkan berbagai simulasi dan pengalaman langsung yang memungkinkan pengunjung belajar tentang

pencegahan bencana. Beberapa area simulasi yang tersedia di antaranya adalah Natural Disaster Simulation Corner, di mana pengunjung dapat merasakan bencana alam seperti gempa melalui video 3D realistis. Di Earthquake Simulation Corner, pengunjung dapat merasakan getaran gempa dengan intensitas mulai dari skala 3 hingga 7, yang setara dengan gempa besar di Jepang pada tahun 2011. Selain itu, ada Evacuation Simulation Corner yang memberikan pengalaman evakuasi dari dengan evaluasi tindakan pengunjung melalui sistem pemantauan video.



Gambar II.4 Earthquake Simulation Center di Sapporo Citizens
Disaster Prevention Center



Gambar II.5 Evacuation Simulation Corner di Sapporo Citizens
Disaster Prevention Center

Pusat ini juga menyediakan Emergency Simulation Corner, di mana pengunjung dapat mempraktikkan bantuan pertama seperti

resusitasi kardiopulmoner (CPR) dan pelatihan penggunaan AED dengan menggunakan manekin latihan. Selain itu, ada Disaster Prevention Guides yang menyajikan informasi pencegahan bencana melalui panel pameran yang edukatif, dan Exhibition Corner yang menampilkan peralatan dan pakaian yang digunakan dalam berbagai tugas pemadaman kebakaran dan penyelamatan.



Gambar II.6 Emergency Simulation Corner di Sapporo Citizens

Disaster Prevention Center



Gambar II.7 Natural disaster simulation corner di Sapporo Citizens

Disaster Prevention Center

Fasilitas ini juga memiliki Learning Corner sebagai area pembelajaran interaktif dan Disaster Prevention City Sapporo yang memungkinkan pengunjung mengoperasikan model helikopter untuk "terbang" di atas kota Sapporo, memberikan perspektif tentang upaya pencegahan bencana di area perkotaan. Tersedia juga tur Virtual Reality (VR) yang memungkinkan pengunjung untuk

menjelajahi pusat ini secara virtual, memberikan pengalaman mendalam tentang pencegahan bencana.



Gambar II.8 Learning Corner di Sapporo Citizens
Disaster Prevention Center

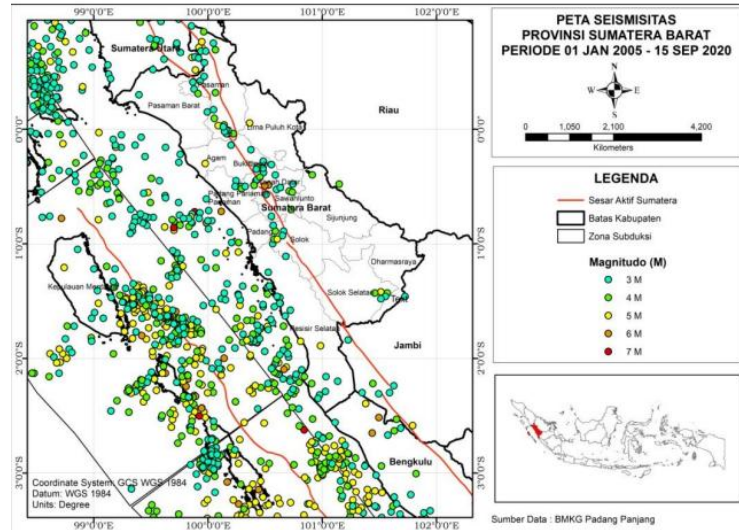
Selain simulasi dan pengalaman langsung, pusat ini menawarkan konsultasi dengan ahli untuk pencegahan bencana, serta dukungan dalam pengembangan Rencana Manajemen Bencana Komunitas. Alamat pusat ini berada di Nango-dori 6-chome Kita, Shiroishi-ku, Sapporo, dan untuk informasi lebih lanjut, masyarakat dapat menghubungi melalui telepon di 011-868-3535 atau mengakses media sosial mereka untuk mengetahui kegiatan dan informasi terbaru.

Secara keseluruhan, Sapporo Citizens Disaster Prevention Center berfungsi sebagai pusat edukasi yang penting dalam mempersiapkan masyarakat menghadapi bencana melalui pembelajaran yang interaktif, simulasi, dan konsultasi profesional.

2.1.3 Gempa Sumatera Barat

Sumatera terletak di dekat pertemuan lempeng aktif India-Australia dan Eurasia, membuat wilayah ini rentan terhadap gempa megathrust dan tsunami di sebelah barat Sumatera. Selain itu, wilayah ini juga memiliki patahan mendatar mengangan yang dikenal sebagai Sumatera Fault Zone (SFZ), yang membentang dari timur laut hingga tenggara, dan berpotensi menyebabkan gempa akibat pergerakan sesar. Gempa megathrust sangat dikhawatirkan karena dapat menimbulkan bencana besar seperti gempa kuat dan tsunami. Setelah Gempa Aceh-Andaman pada tahun 2004, akumulasi strain berpindah ke selatan, terbukti dengan terjadinya Gempa Nias pada tahun 2005. Kekhawatiran berikutnya muncul terkait akumulasi strain di selatan segmen Nias, yang ditandai dengan banyaknya gempa kecil setelah Gempa Nias 2005 di bagian selatannya. Segmen gempa megathrust berikutnya diperkirakan berada di segmen Mentawai (Sieh, 2006). Gempa megathrust di segmen Mentawai pernah terjadi pada tahun 1797 dengan magnitudo Mw 8,4 dan diikuti oleh tsunami. Lokasi segmen Mentawai ditunjukkan pada Gambar 1. Gempa terbaru di segmen ini termasuk yang terjadi pada 16 Agustus 2009 dengan magnitudo Mw 6,7 dan pada 25 Oktober 2010 dengan magnitudo Mw 7,7 (Gempa-gempa tersebut belum menunjukkan kekuatan yang sebanding dengan gempa tahun 1797, sehingga kekhawatiran akan terjadinya gempa besar di masa depan tetap

tinggi. Ancaman ini sangat serius bagi wilayah Sumatera Barat, termasuk Kota Pariaman.



Gambar II.9 Peta Persebaran Gempa Bumi di Sumatera Barat

Kekhawatiran ini harus ditindaklanjuti dengan kesiapan dari semua pihak untuk menghadapi potensi gempa besar tersebut. Beberapa kota dan kabupaten di Sumatera Barat belum mempersiapkan wilayah mereka secara optimal dalam menghadapi risiko gempa dan tsunami. Kota Pariaman, misalnya, masih memiliki kekurangan dalam kesiapan mitigasi bencana, terlihat saat terjadi gempa pada tahun 2009 yang menyebabkan kerusakan pada beberapa rumah penduduk (lihat Gambar 2 dan Gambar 3). Gempa bumi pada 30 September 2009 terjadi dua kali dengan kekuatan 7,6 Skala Richter. Episentrum gempa berada 57 km barat daya Kota Pariaman (00,84 LS 99,65 BT) pada kedalaman 71 km. Gempa pertama terjadi pada patahan Mentawai di bawah laut, sementara gempa kedua terjadi pada patahan

Semangko di daratan. Getaran dari gempa pertama dirasakan kuat di seluruh Sumatera Barat, terutama di wilayah pesisir

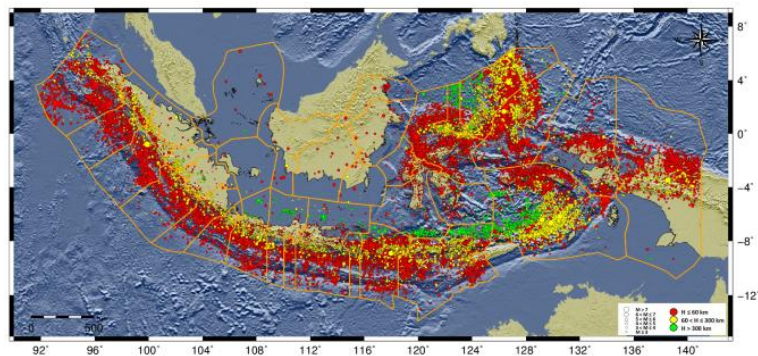
Berdasarkan sejarah gempa dan tsunami yang sering terjadi di Provinsi Sumatera Barat, penataan wilayah rawan gempa dan tsunami menjadi sangat penting. Oleh karena itu, di Kota Pariaman dilakukan upaya penataan wilayah berbasis mitigasi gempa dan tsunami. Penataan ini mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk daerah genangan tsunami, wilayah yang sering tergenang, jumlah penduduk di daerah rawan bencana, dan aksesibilitas wilayah tersebut.

Data gempa tektonik yang digunakan dalam studi ini adalah data hasil pengamatan gempa dari Januari 2009 hingga Desember 2019, yang mencakup 11 tahun periode pengamatan (BMKG). Proses pengunduhan data dilakukan secara bertahap pada beberapa waktu berbeda, antara tahun 2014 hingga 2020, dan tidak dilakukan sekaligus. Untuk menentukan batas wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) dan batas antar provinsi, digunakan referensi peta skala 1:5.000.000 yang dikeluarkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2015 [3], yang telah dimodifikasi, serta peta dari Open Street Map yang khusus untuk wilayah Indonesia.

Proses awal analisis melibatkan digitasi batas peta NKRI dengan skala 1:5.000.000 dan modifikasi peta OSM ke dalam format file .shp untuk

setiap provinsi. Setelah itu, data gempa disortir berdasarkan batas wilayah digital yang telah ditetapkan. Data gempa yang sudah dipisahkan per wilayah provinsi selanjutnya dianalisis secara statistik untuk menghitung jumlah kejadian, rata-rata, dan nilai maksimum. Visualisasi data dalam bentuk grafik dan peta juga dibuat menggunakan software GMT untuk memudahkan pemahaman hasil analisis.

Dari hasil pemilahan dan analisis, tercatat bahwa jumlah total kejadian gempa tektonik di wilayah Indonesia dari tahun 2009 hingga 2019 mencapai 71.628 kejadian (lihat Gambar 1). Rata-rata kejadian gempa tektonik selama 11 tahun tersebut, atau setara dengan 132 bulan dan 4.017 hari (lihat Tabel 1), menunjukkan rata-rata 6.512 kejadian per tahun, 543 kejadian per bulan, dan sekitar 18 kejadian gempa setiap hari (angka telah dibulatkan).



Gambar II.10 Peta hasil pemilahan gempa bumi 11 tahun pengamatan (2009-2019) dengan garis kuning adalah batas wilayah Indonesia dan juga batas provinsi.

Dari hasil pemilahan data gempa yang sudah dilakukan dari 2009 hingga 2019, didapatkan data berikut :

Provinsi	Jumlah gempa dalam 11 tahun	Rata-Rata Per Tahun	Rata-Rata Per Bulan	Statistik Berdasarkan Magnitudo					
				$M < 3$	$3 \leq M < 4$	$4 \leq M < 5$	$5 \leq M < 6$	$6 \leq M < 7$	$M \geq 7$
Sumatera Barat	1914	174	14.5	155	859	771	115	12	7

Tabel II.1 Data Gempa Provinsi Sumatera Barat

Perhitungan statistik gempa bumi tektonik dalam kurun waktu 11 tahun ini juga mengalami perubahan peringkat frekuensi terbanyak kejadian gempa bumi tektonik tiap tahunnya.

2.2 Konsep Resilient Architecture

Resilient Architecture atau Arsitektur Tangguh merupakan pendekatan desain yang bertujuan untuk menciptakan bangunan dan infrastruktur yang mampu bertahan, beradaptasi, dan pulih dari berbagai gangguan serta tantangan. Gangguan tersebut dapat berupa bencana alam, perubahan iklim, perubahan sosial, hingga tantangan ekonomi. Dalam konteks arsitektur, ketangguhan mengacu pada kemampuan sebuah struktur atau sistem untuk mempertahankan fungsi esensialnya meskipun dihadapkan pada tekanan atau perubahan yang signifikan (Widodo et al., 2017). Konsep ini menjadi semakin relevan di era modern, terutama mengingat dampak perubahan iklim dan urbanisasi yang pesat di seluruh dunia, termasuk di negara-negara berkembang seperti Indonesia.

Indonesia, dengan kondisi geografisnya yang unik dan kerentanannya terhadap berbagai jenis bencana alam seperti gempa bumi, menghadapi tantangan besar dalam menciptakan infrastruktur yang tangguh. Oleh karena itu, pendekatan arsitektur yang mempertimbangkan aspek ketangguhan sangat penting untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan mengurangi dampak negatif dari bencana. Pendekatan ini tidak hanya berfokus pada aspek fisik bangunan tetapi juga mencakup dimensi sosial, ekonomi, dan lingkungan yang lebih luas.

Menurut Tanuwidjaja (2015), Resilient Architecture tidak hanya berfokus pada ketahanan fisik bangunan, tetapi juga mencakup aspek lingkungan. Pendekatan holistik ini mengintegrasikan berbagai strategi untuk mengatasi tantangan seperti perubahan, bencana alam. Di Indonesia, penerapan konsep ini menjadi semakin krusial mengingat keragaman geografis dan kerentanan negara ini terhadap berbagai bencana alam.

Pendekatan Resilient Architecture juga menekankan pentingnya keterlibatan masyarakat dalam proses perencanaan dan pembangunan. Melibatkan komunitas dalam perancangan bangunan dan lingkungan dapat meningkatkan kesadaran akan risiko dan membangun kapasitas lokal dalam menghadapi bencana. Selain itu, arsitektur tangguh juga mendorong penggunaan teknologi ramah lingkungan dan bahan bangunan lokal yang berkelanjutan, yang tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga meningkatkan ketahanan struktur terhadap kondisi ekstrim.

Fleksibilitas merupakan salah satu aspek fundamental dari Resilient Architecture. Purwanto dan Takahashi (2015), dalam penelitian mereka mengenai perencanaan spasial di kawasan pemukiman berpenghasilan rendah, menekankan pentingnya fleksibilitas dalam mengakomodasi perubahan kebutuhan penghuni seiring waktu. Mereka menemukan bahwa desain yang fleksibel memungkinkan adaptasi ruang untuk berbagai fungsi, seperti aktivitas ekonomi rumah tangga yang sangat penting bagi ketahanan komunitas.

Contoh penerapan fleksibilitas dalam arsitektur dapat dilihat pada perancangan rumah-rumah tradisional di Indonesia yang dapat beradaptasi terhadap perubahan kondisi lingkungan. Misalnya, rumah panggung di daerah pesisir atau daerah rawan banjir dapat diubah atau disesuaikan dengan mudah. Desain yang memungkinkan penyesuaian ini sangat penting dalam konteks Resilient Architecture karena memberikan penghuni kemampuan untuk beradaptasi dengan cepat terhadap perubahan atau ancaman yang mungkin timbul.

Yuliana et al. (2017) dalam studi mereka tentang adaptabilitas rumah tradisional Indonesia menunjukkan bagaimana prinsip-prinsip desain lokal dapat diintegrasikan dengan teknologi modern untuk menciptakan bangunan yang lebih tangguh. Mereka mengamati bahwa rumah panggung tradisional di berbagai daerah Indonesia, seperti di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi, memiliki fleksibilitas intrinsik yang memungkinkan adaptasi terhadap bencana seperti gempa bumi.

Integrasi prinsip-prinsip arsitektur vernakular dengan teknologi modern, seperti penggunaan material yang lebih tahan lama dan sistem struktur yang lebih efisien, dapat menghasilkan desain bangunan yang tidak hanya memenuhi kebutuhan estetika tetapi juga mampu bertahan dalam jangka panjang. Pendekatan ini juga membantu menjaga identitas budaya dan warisan lokal, yang sering kali menjadi salah satu elemen penting dalam membangun ketangguhan komunitas.

Indonesia, yang terletak di Ring of Fire, menghadapi risiko tinggi terhadap berbagai bencana alam seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, dan tsunami. Arifin et al. (2020) dalam penelitian mereka tentang mitigasi bencana alam pada perancangan lanskap permukiman, menekankan pentingnya integrasi strategi mitigasi bencana dalam perencanaan arsitektur dan lanskap. Strategi mitigasi ini penting dalam Resilient Architecture karena dapat membantu mengurangi dampak bencana dan mempercepat proses pemulihan pasca-bencana.

Dalam konteks ketahanan terhadap gempa, Saputra et al. (2019) meneliti efektivitas sistem struktur tradisional dalam arsitektur vernakular Indonesia. Mereka menemukan bahwa teknik-teknik seperti sistem sambungan fleksibel pada rumah adat di Indonesia memiliki ketahanan intrinsik terhadap guncangan seismik. Struktur ini dirancang untuk dapat bergerak secara fleksibel saat terjadi gempa, sehingga mengurangi risiko keruntuhan.

Pendekatan ini dapat diadaptasi dan ditingkatkan dengan teknologi modern untuk menghasilkan bangunan yang lebih aman dan tahan gempa. Penggunaan

material yang lebih kuat dan teknik konstruksi yang lebih canggih, seperti sistem isolasi dasar atau base isolation, dapat meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa bumi. Penerapan teknologi ini sangat penting di Indonesia, di mana gempa bumi merupakan ancaman yang selalu hadir.

Meskipun Resilient Architecture menawarkan banyak manfaat, implementasinya di Indonesia menghadapi berbagai tantangan, termasuk keterbatasan sumber daya, pengetahuan, dan dukungan kebijakan. Namun, potensi manfaatnya dalam meningkatkan ketahanan masyarakat dan lingkungan sangat signifikan. Oleh karena itu, kolaborasi antara pemerintah, akademisi, praktisi arsitektur, dan masyarakat menjadi kunci dalam mewujudkan arsitektur yang tangguh.

Resilient Architecture tidak hanya mencakup inovasi dalam desain fisik bangunan tetapi juga mencakup inovasi sosial yang melibatkan edukasi masyarakat dan perubahan perilaku. Pendekatan yang komprehensif ini dapat berkontribusi dalam menciptakan lingkungan yang lebih aman dan berkelanjutan, serta meningkatkan kemampuan masyarakat dalam menghadapi tantangan di masa depan.

Penelitian lebih lanjut dan pengembangan solusi yang kontekstual sangat diperlukan untuk memastikan bahwa Resilient Architecture dapat diimplementasikan secara efektif di berbagai wilayah di Indonesia. Dengan dukungan yang tepat, arsitektur tangguh dapat menjadi salah satu pilar penting

dalam pembangunan berkelanjutan yang adaptif terhadap perubahan dan tantangan yang dihadapi bangsa ini.

2.3 Konsep Modular Architecture

Modular Architecture atau Arsitektur Modular adalah pendekatan desain dan konstruksi yang menggunakan komponen-komponen standar atau unit-unit yang dapat diproduksi secara massal, yang kemudian dapat disusun atau digabungkan dengan berbagai cara untuk menciptakan struktur bangunan yang lebih besar. Konsep ini menawarkan fleksibilitas, efisiensi, dan kemampuan adaptasi yang tinggi, yang sangat relevan dalam konteks Indonesia yang memiliki keragaman geografis dan tantangan lingkungan yang beragam.

Dalam konteks Indonesia, yang memiliki risiko bencana alam yang tinggi, terutama gempa bumi, Modular Architecture menawarkan solusi yang menjanjikan. Sebagaimana dijelaskan oleh Widodo et al. (2017), Indonesia berada di pertemuan tiga lempeng tektonik utama, yang menempatkannya pada jalur Ring of Fire. Kondisi ini membuat Indonesia rentan terhadap gempa bumi dan tsunami. Modular Architecture, dengan kemampuannya untuk cepat dibangun dan mudah disesuaikan serta terstruktur, dapat menjadi solusi yang efektif dalam merespons kebutuhan darurat pasca bencana atau dalam membangun infrastruktur yang tahan bencana.

Salah satu keunggulan utama Modular Architecture adalah kemampuannya untuk disesuaikan dengan berbagai kondisi dan kebutuhan. Purwanto dan Takahashi (2015) dalam penelitian mereka tentang fleksibilitas perencanaan spasial di kawasan pemukiman berpenghasilan rendah, menekankan pentingnya desain yang dapat beradaptasi dengan perubahan kebutuhan penghuni. Modular Architecture dapat menjawab tantangan ini dengan menawarkan komponen-komponen yang dapat dengan mudah ditambah, dikurangi, atau dimodifikasi sesuai kebutuhan.

Dalam konteks mitigasi bencana, terutama menghadapi ancaman gempa megathrust di Sumatera Barat, Modular Architecture dapat memainkan peran penting. Sebagaimana diungkapkan oleh Arifin et al. (2020), integrasi strategi mitigasi bencana dalam perencanaan arsitektur dan lanskap sangat penting. Modular Architecture memungkinkan pembangunan zona evakuasi atau shelter darurat yang dapat dengan cepat didirikan dan mudah disesuaikan dengan kondisi geografis yang beragam di Sumatera Barat.

Penerapan Modular Architecture dalam konteks Indonesia juga dapat mengintegrasikan kearifan lokal dan arsitektur tradisional. Yuliana et al. (2017) menunjukkan bagaimana prinsip-prinsip desain lokal dapat diintegrasikan dengan teknologi modern untuk menciptakan bangunan yang lebih tangguh.

Keuntungan lain dari Modular Architecture adalah kecepatan konstruksi. Dalam situasi pasca bencana, di mana kebutuhan akan tempat tinggal dan fasilitas publik sangat mendesak, kemampuan untuk membangun dengan cepat menjadi sangat penting. Modular Architecture memungkinkan sebagian besar proses

konstruksi dilakukan di luar lokasi (off-site), sehingga dapat mengurangi waktu dan gangguan di lokasi pembangunan. Hal ini sangat relevan dengan kondisi di Sumatera Barat yang sering mengalami gempa, di mana pembangunan cepat pasca bencana sangat diperlukan.

Selain itu, Modular Architecture juga mendukung prinsip keberlanjutan. Sudarwanto et al. (2020) dalam penelitian mereka tentang penerapan konsep arsitektur hijau pada bangunan berwawasan lingkungan, menekankan pentingnya efisiensi energi dan penggunaan material ramah lingkungan. Modular Architecture, dengan proses produksi yang terkontrol dan efisien, dapat mengurangi limbah konstruksi dan meningkatkan efisiensi penggunaan material.

Dengan pendekatan yang tepat, Modular Architecture dapat menjadi solusi yang efektif dalam menghadapi tantangan pembangunan di Indonesia, terutama dalam konteks mitigasi bencana dan pembangunan berkelanjutan. Penerapannya dalam perancangan Escape Zone di Sumatera Barat dapat menjadi model untuk pengembangan infrastruktur tangguh di daerah rawan bencana lainnya di Indonesia. Modular Architecture menawarkan potensi besar dalam meningkatkan ketangguhan dan keberlanjutan pembangunan di Indonesia, terutama dalam menghadapi ancaman bencana alam. Dengan kemampuannya untuk disesuaikan, dibangun dengan cepat, dan fleksibel, pendekatan ini sangat relevan untuk perancangan Escape Zone di Sumatera Barat. Integrasi teknologi modern dengan kearifan lokal dalam Modular Architecture dapat menciptakan solusi yang tidak hanya efektif secara teknis, tetapi juga responsif terhadap konteks budaya dan lingkungan lokal.

2.4 Arsitektur Neo-Vernakular Minangkabau

Arsitektur Neo-Vernakular Minangkabau merupakan pendekatan desain yang menggabungkan unsur-unsur tradisional arsitektur Minangkabau dengan teknologi dan kebutuhan modern. Menurut Syamsul Asri (2019), "Arsitektur Neo-Vernakular Minangkabau adalah upaya untuk melestarikan nilai-nilai budaya lokal dalam konteks pembangunan kontemporer, dengan tetap mempertahankan esensi dan filosofi arsitektur tradisional Minangkabau" (hal. 45).

Pendekatan ini tidak hanya mempertahankan estetika visual dari arsitektur Minangkabau, tetapi juga mengadopsi prinsip-prinsip konstruksi dan material yang telah teruji selama berabad-abad. Nasrendra et al. (2020) menegaskan bahwa "Arsitektur Neo-Vernakular Minangkabau bukan sekadar imitasi bentuk, melainkan adaptasi yang cerdas terhadap teknologi modern dan kebutuhan masa kini, sambil tetap menjaga identitas budaya" (hal. 78).

Dalam konteks ini, tiga elemen penting yang menjadi fokus dalam pengembangan Arsitektur Neo-Vernakular Minangkabau adalah Sistem Pasak, Pondasi Umpak, dan penggunaan Bambu Laminasi sebagai material yang mengadaptasi bambu tradisional khas minangkabau.

2.4.1 Sistem Pasak

Sistem Pasak merupakan salah satu ciri khas konstruksi tradisional Minangkabau yang diadaptasi dalam arsitektur neo-vernakular. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Primadona et al. (2020), "Sistem Pasak

dalam arsitektur Minangkabau bukan hanya metode konstruksi, tetapi juga mencerminkan filosofi keseimbangan dan fleksibilitas dalam budaya Minangkabau" (hal. 112).

Sistem ini menggunakan pasak kayu untuk menghubungkan berbagai elemen struktur bangunan, tanpa menggunakan paku atau sekrup metal. Keunggulan sistem ini terletak pada fleksibilitasnya dalam menghadapi pergerakan tanah vertikal dan gempa bumi. Yuliar et al. (2018) menjelaskan bahwa "Sistem Pasak memungkinkan bangunan untuk 'bernapas' dan beradaptasi terhadap guncangan, sehingga meningkatkan ketahanan struktur terhadap gempa" (hal. 56).

Dalam konteks neo-vernakular, Sistem Pasak mengalami modifikasi untuk memenuhi standar keamanan modern. Fitriani dan Suparman (2021) mengungkapkan bahwa "Penggunaan teknologi CNC (Computer Numerical Control) dalam pembuatan pasak kayu meningkatkan presisi dan kekuatan sambungan, sambil tetap mempertahankan prinsip dasar sistem tradisional" (hal. 89).

Rumah Gadang memiliki Tiang penyangga yang menyerupai kapal. Filosofinya adalah kapal yang berlayar di lautan terombang-ambing oleh ombak. Karena daerah Sumatra Barat memiliki gunung berapi yang aktif sehingga akan mungkin terjadi gempa. Kemudian daerah Sumatra Barat yang terletak di pinggiran pesisir pantai, terdapat patahan lempengan yang

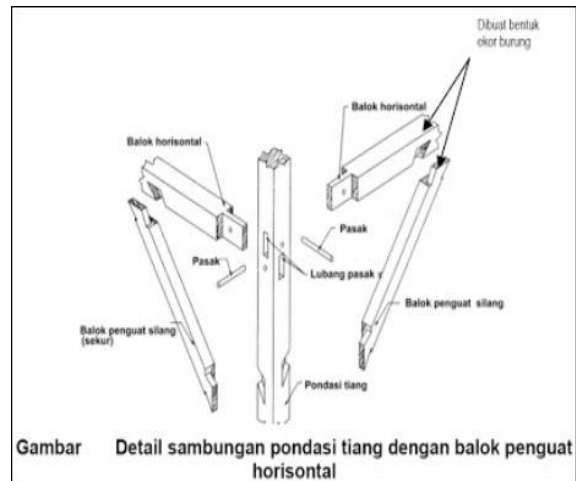
memiliki potensi gempa sangat tinggi. Oleh karena itu, nenek moyang memiliki pemikiran bagaimana membangun rumah yang tahan gempa. Sehingga jika terjadi gempa, prinsip kapal tadi digunakan dalam dasar pembangunan Rumah Gadang. Ketika gempa, Rumah Gadang terasa diayun-ayun seperti dihempas ombak



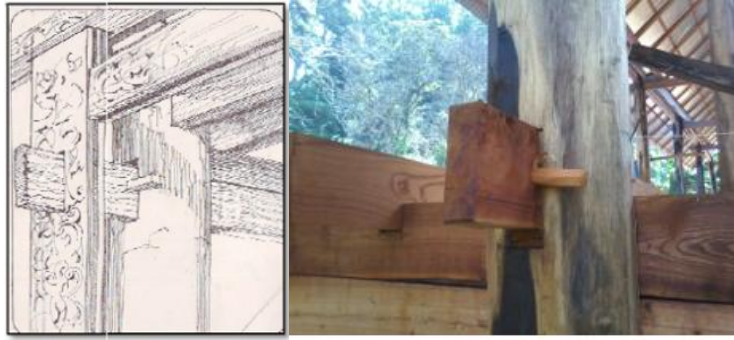
Gambar II.11 Ilustrasi Pasak Rumah Gadang

Pasak dan pin digunakan dalam sistem sambungan balok. Balok Papan dengan arah membujur dan balok Rasuak dengan arah lebar membentuk balok yang mengikat tiang-tiang di bawah lantai. Palang dasar yang membatasi titik support atas disebut Paran. Di atas Paran terdapat struktur atap berbentuk Gonjong dengan nama Turang, Alang Katabang, dan Labah Mangirok di setiap garis lengkungnya. Reng-reng bambu yang diikat dengan tali rotan ditempelkan pada balok-balok Kasau yang melengkung. Penutup atap terbuat dari ijuk yang diikatkan pada reng dengan tali yang terbuat dari ijuk. Gonjong akhirnya dipasang di setiap puncak atap. Berapapun besarnya rumah gadang masing-masing berjumlah 4 buah, mewakili pokok kehidupan nagari, yaitu cupak, adat, undang dan syara.

Area yang tersisa adalah Gonjong Berando yakni Gonjong yang menutupi teras dan Gonjong Jenjang yakni Gonjong memanjang di atas tangga. Selain itu ada Gonjong Peranginan dan Gonjong Mahligai yang hanya ada di bangunan istana (Darini et al, 2023)



Gambar II.12 Detail 1 Sambungan Pasak Pada Rumah Gadang



Gambar II.13 Detail 2 Sambungan Pasak pada Rumah Gadang

Penerapan pasak diatas ditemukan pada semua Rumah Gadang di Minangkabau sehingga pada saat terjadi gempa balok-balok kayu tidak mengalami patah karena dapat bergerak seperti engsel dengan jarak tertentu. Kolom pada rumah gadang biasanya menggunakan kayu keras yang dikenal dengan sebutan kayu “juar”.

2.4.2 Pondasi Umpak

Pondasi Umpak merupakan elemen penting lainnya dalam arsitektur Minangkabau yang diadopsi dalam pendekatan neo-vernakular. Pondasi ini terdiri dari tiang-tiang kayu diatas batu atau tanah keras, dengan balok-balok kayu horizontal yang diletakkan di atasnya sebagai landasan bangunan.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahmi et al. (2019) menunjukkan bahwa "Pondasi Umpak memberikan keunggulan dalam hal drainase dan sirkulasi udara di bawah bangunan, serta memberikan fleksibilitas terhadap pergerakan tanah" (hal. 134). Hal ini sangat relevan dengan kondisi iklim tropis lembab dan potensi gempa di wilayah Sumatera Barat.

Lebih lanjut, Zulfian et al. (2022) menyoroti bahwa "Integrasi teknologi peredam getaran pada Pondasi Umpak neo-vernakular meningkatkan ketahanan bangunan terhadap gempa, sambil tetap mempertahankan estetika tradisional" (hal. 201).

Rumah Gadang adalah rumah tradisional masyarakat Minangkabau yang dibangun dengan memanfaatkan kearifan lokal dan mempertimbangkan perilaku bangunan terhadap gempa berdasarkan pengalaman masa lalu. Bangunan ini didirikan dengan menggunakan pondasi umpak, yaitu sistem pondasi yang menempatkan tiang-tiang kayu di atas batu tanpa tertanam di dalam tanah, memungkinkan struktur untuk beradaptasi terhadap guncangan gempa. Pondasi umpak ini terdiri dari batu dengan diameter 2-3 kali ukuran kolom, yang berfungsi seperti base isolator saat terjadi gempa. Keunikan pondasi umpak terletak pada kemampuannya untuk meminimalkan efek gempa serta meningkatkan nilai estetika bangunan. Ketika gempa terjadi, pondasi ini mampu menyerap dan meredam getaran, meskipun bangunan dapat bergeser beberapa sentimeter dari posisi awalnya.



Gambar II.14 Pondasi Umpak Pada Rumah Gadang

Setiap tiang dalam Rumah Gadang diletakkan dengan menyisakan ruang kemiringan dibawahnya antara 5-14 derajat, memberikan kestabilan struktur dan mengurangi getaran saat gempa. Tiang-tiang ini biasanya memiliki delapan atau dua belas sisi dan terdiri dari beberapa jenis seperti tiang tapi, tiang temban, tiang tengah, tiang dalam, dan tiang saluki. Tiang yang paling besar dan utama disebut tiang tuo atau tonggak tuo, yang pertama kali ditegakkan dalam upacara ‘batagak rumah’ atau mendirikan rumah (Soeroso, 2005). Struktur Rumah Gadang juga menerapkan metode “kolom kuat-balok lemah,” di mana kolom yang kuat menopang balok yang lebih lemah untuk meningkatkan fleksibilitas bangunan selama gempa. Kolom-kolom ini cenderung berukuran besar, dengan diameter 20-30 cm, dan saling menjauh satu sama lain dengan kemiringan 5-14 derajat untuk menghasilkan gaya tarik-menarik yang saling meniadakan, memberikan stabilitas tambahan pada bangunan.

Desain Rumah Gadang yang berbentuk panggung membuat lantainya terangkat 1-2 meter di atas permukaan tanah, sehingga dibutuhkan tangga sebagai akses masuk. Kolong di bawah rumah sering kali dimanfaatkan sebagai tempat untuk banjir tidak tergenang pada bangunan dan penyimpanan alat bercocok tanam atau kayu bakar, dan pada masa lalu digunakan sebagai kandang ternak. Hal ini tidak hanya memanfaatkan ruang dengan efisien tetapi juga melindungi bagian utama rumah dari kelembaban

dan pengaruh cuaca. Struktur ini dibuat dari bahan-bahan ringan seperti kayu, rotan, dan bambu yang diikat dengan teknik sambung ikat atau pasak, memberikan fleksibilitas tinggi terhadap gempa.



Gambar II.15 Pemasangan Pondasi Umpak

Pondasi umpak memiliki keunggulan dalam menghadapi gempa karena tidak ditanam dalam tanah, memungkinkan bangunan untuk bergerak dan meredam energi gempa. Selain itu, penggunaan teknik sambungan seperti pasak dan ikatan rotan meningkatkan elastisitas bangunan, membuatnya mampu bertahan saat terjadi guncangan. Keunggulan sistem ini terlihat saat gempa besar mengguncang Padang pada 30 September 2009 dengan kekuatan 7,6 SR. Meskipun banyak bangunan lain mengalami kerusakan, Rumah Gadang tetap berdiri kokoh, berkat kombinasi pondasi umpak dan struktur kayu yang fleksibel. Berdasarkan Skala Mercalli (MMI), dampak gempa di Kota Padang mencapai intensitas VI-VIII, cukup kuat untuk meruntuhkan bangunan non-rekayasa, tetapi Rumah Gadang mampu bertahan tanpa mengalami keruntuhan, membuktikan efektivitas desain tradisional dalam mitigasi bencana gempa.



Gambar II.16 Rumah Gadang yang menunjukkan pondasi umpak yang utuh di Sumpur, Tanah Datar, 2019

Secara keseluruhan, Rumah Gadang Minangkabau adalah contoh arsitektur tradisional yang mampu mengintegrasikan kearifan lokal dan teknik bangunan untuk menciptakan struktur yang tangguh terhadap gempa. Desain yang memperhatikan elastisitas, kestabilan, dan kekuatan bangunan, serta penggunaan bahan dan teknik konstruksi tradisional, menjadikan Rumah Gadang tidak hanya sebagai warisan budaya tetapi juga sebagai solusi efektif untuk mitigasi bencana alam.

2.4.3 Bambu Laminasi

Penggunaan Bambu Laminasi merupakan inovasi material yang signifikan dalam Arsitektur Neo-Vernakular Minangkabau. Bambu, yang telah lama digunakan dalam konstruksi tradisional minangkabau, kini mengalami transformasi menjadi material high-tech melalui proses laminasi.



Gambar II.17 Bambu Laminasi

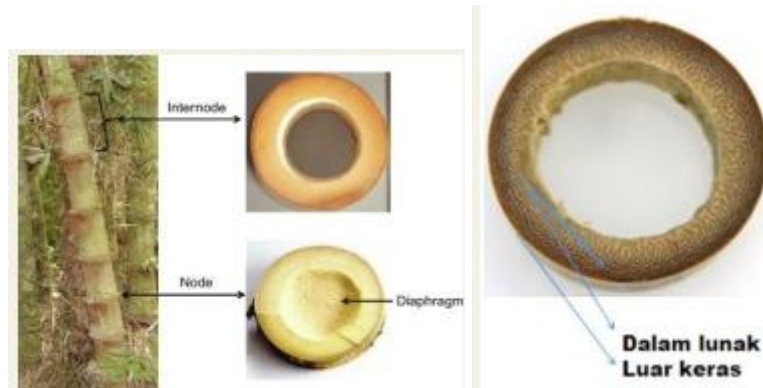
Menurut penelitian Anwar et al. (2020), "Bambu Laminasi menggabungkan kekuatan dan fleksibilitas bambu dengan stabilitas dimensi dan daya tahan yang lebih baik, menjadikannya alternatif yang menjanjikan untuk kayu dalam konstruksi modern" (hal. 156). Penggunaan Bambu Laminasi tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga melestarikan tradisi penggunaan bambu dalam arsitektur Minangkabau.

Widyowijatnoko dan Harisdani (2018) mengungkapkan bahwa "Bambu Laminasi memiliki rasio kekuatan-terhadap-berat yang tinggi, menjadikannya ideal untuk struktur atap gonjong yang merupakan ciri khas arsitektur Minangkabau" (hal. 78). Hal ini memungkinkan penciptaan bentuk-bentuk arsitektural yang lebih berani dan inovatif, sambil tetap mempertahankan esensi visual arsitektur tradisional.

Lebih lanjut, Kusuma et al. (2021) menekankan aspek keberlanjutan dari penggunaan Bambu Laminasi: "Selain memiliki jejak karbon yang rendah, penggunaan Bambu Laminasi dalam arsitektur neo-vernakular juga mendorong ekonomi lokal melalui budidaya dan pengolahan bambu" (hal. 223).

Integrasi ketiga elemen ini - Sistem Pasak, Pondasi Umpak, dan Bambu Laminasi dalam Arsitektur Neo-Vernakular Minangkabau menciptakan pendekatan desain yang tidak hanya estetis dan fungsional, tetapi juga berkelanjutan dan responsif terhadap konteks lokal. Menurut Yusuf et al. (2023), "Sintesis antara teknik tradisional dan teknologi modern dalam arsitektur neo-vernakular Minangkabau menciptakan model pembangunan yang adaptif terhadap perubahan iklim dan tantangan lingkungan kontemporer" (hal. 289)

Penggunaan bambu laminasi sebagai bahan alternatif pengganti kayu dalam konstruksi bangunan, terutama arsitektur tradisional di Indonesia, mengangkat bambu khas Minangkabau sebagai material yang lebih ramah lingkungan. Penurunan kualitas kayu akibat minimnya reboisasi dan peremajaan membuat bambu menjadi pilihan yang lebih mudah diperoleh dan dibudidayakan. Bambu memiliki keunggulan sebagai material konstruksi berkelanjutan dengan siklus pertumbuhan cepat, hanya 3-5 tahun, dibandingkan dengan kayu yang membutuhkan 40-50 tahun (Morisco, 2006). Namun, bentuk alami bambu sering kali tidak sesuai sebagai balok, kolom, atau papan. Untuk mengatasi hal ini, teknologi laminasi dikembangkan sehingga bambu dapat dimanfaatkan lebih optimal sebagai komponen bangunan yang kuat dan tahan lama.



Gambar II.18 Detail Bambu

Proses pembuatan bambu laminasi melibatkan bambu sebagai bahan utama, pengawet seperti Borac-Boric atau Boron, serta perekat Urea Formaldehyde untuk interior dan Polymer Isocyanate untuk eksterior. Bambu yang sudah dipotong dan dibelah menjadi lembaran tipis akan diawetkan, dikeringkan, kemudian direkatkan dan dipress dengan sistem manual atau mesin. Hasil akhir dari proses ini adalah bambu laminasi yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti kolom, balok, partisi, parquet, dan furniture. Di Bali, harga balok bambu laminasi mencapai Rp 8.500.000 per m³, sementara di Ngada sekitar Rp 6.000.000 per m³, dengan harga parquet masing-masing Rp 150.000 per m² dan Rp 100.000 per m².

Penggunaan bambu laminasi telah diterapkan pada berbagai bangunan tradisional di Indonesia, menggantikan kayu di hampir semua komponen kecuali atap. Inovasi ini mendukung program pemerintah seperti Pro-Job, Pro-Poor, Pro-Growth, dan Pro-Environment, serta mendukung pengembangan eco-architecture dan eco-tourism di wilayah permukiman

tradisional. Pengembangan ini bertujuan menciptakan lingkungan permukiman yang sehat, harmonis, dan produktif secara ekonomi.

Pertumbuhan populasi dan meningkatnya kebutuhan kayu untuk perumahan mendorong eksploitasi kayu yang berlebihan, yang berdampak pada kerusakan hutan tropis dan ekosistem. Bambu hadir sebagai solusi karena mudah ditanam, dapat tumbuh di berbagai kondisi lahan, dan memiliki ketahanan yang baik, bahkan di lahan kering atau setelah kebakaran. Bambu memiliki sifat mekanis unggul, seperti kuat tarik yang setara baja, momen kelembaman yang tinggi berkat struktur berongganya, serta kelenturan yang membuatnya cocok untuk bangunan tahan gempa.

Pemanfaatan bambu dalam arsitektur tradisional turut menjaga kelestarian budaya dan keaslian bangunan yang menjadi aset nasional. Walau perkembangan teknologi sering menggeser preferensi bahan bangunan, bambu tetap relevan sebagai material yang mudah dibudidayakan dan diproses. Untuk meningkatkan pemanfaatan bambu, dibutuhkan edukasi, pelatihan, serta pengembangan kurikulum konstruksi bambu di perguruan tinggi. Dengan demikian, masyarakat, praktisi, dan akademisi dapat memanfaatkan bambu secara maksimal dalam mendukung pembangunan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, pengembangan teknologi bambu laminasi tidak hanya mempertahankan kearifan lokal melalui penerapan pada arsitektur

tradisional, tetapi juga mendukung kelestarian lingkungan dan memperkuat potensi ekonomi lokal dalam konteks eco-tourism dan eco-architecture di Indonesia. Bambu sebagai material konstruksi yang ringan, kuat, fleksibel, dan cepat tumbuh menjadi solusi ideal untuk kebutuhan bangunan masa depan yang ramah lingkungan dan efisien.

Indonesia memiliki keragaman jenis bambu dengan 178 spesies dan 15 jenis yang tersebar di berbagai daerah. Dengan iklim tropis, tanah subur, dan curah hujan yang cukup, bambu memiliki produktivitas yang tinggi. Bambu juga menyerap 35% lebih banyak CO₂ daripada kayu, memiliki kuat tarik lebih tinggi dari besi, dan dapat tumbuh 2-4 feet per hari, menciptakan peluang kerja bagi masyarakat. Hal ini menjadikan bambu menarik minat pasar nasional dan internasional, terutama untuk rumah yang unik.

Program pengembangan bambu saat ini menjadi salah satu fokus Direktorat Jenderal Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, dan telah diterapkan oleh arsitek terkemuka Indonesia, Eko Prawoto, dalam proyek affordable rental housing Cendrawasih 3 di Bekasi. Teknologi laminasi memungkinkan bambu untuk digunakan sebagai balok, kolom, dan papan, mendukung upaya pembangunan berkelanjutan sesuai dengan prinsip Pro-Job, Pro-Poor, Pro-Growth, dan Pro-Environment. Arsitektur tradisional yang memanfaatkan bambu laminasi memperkuat kekayaan budaya dan menjadi kebanggaan bangsa Indonesia.

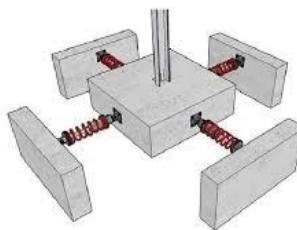


Gambar II.19 Penerapan Bambu Laminasi rancangan arsitek eko prawoto
pada affordable rental housing cendrawasih 3 bekasi

2.4.4 Adaptasi Neo-Vernakular Minangkabau pada Bangunan Tahan Gempa di Jepang

Jepang memiliki tradisi arsitektur tahan gempa yang kaya, tetapi beberapa peneliti telah mengidentifikasi antara teknik modern yang digunakan di Jepang ternyata mengadopsi prinsip-prinsip yang ditemukan dalam arsitektur vernakular Minangkabau.

Widodo (2020) mengamati bahwa beberapa bangunan modern di Jepang mengadopsi prinsip yang mirip dengan pondasi umpak Minangkabau. Sistem ini, yang dikenal sebagai "base isolation" di Jepang, menggunakan bantalan elastomer shockbreaker atau per di dasar bangunan untuk memungkinkan pergerakan terkontrol selama gempa bumi.

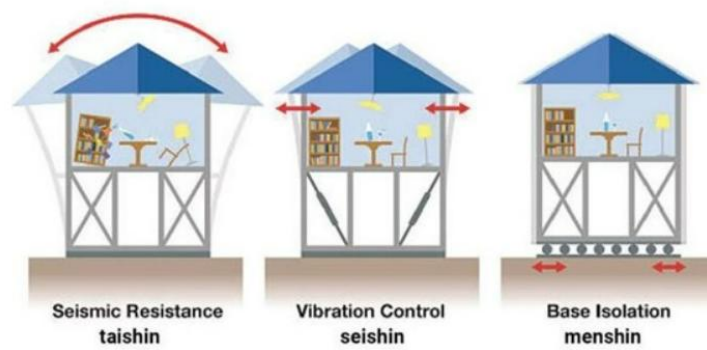


Gambar II.20 Pondasi Bangunan tahan gempa di Jepang

Menurut Sutjipto (2021), ada kesamaan konseptual antara sistem pasak Minangkabau dan beberapa sistem sambungan yang digunakan dalam konstruksi kayu modern di Jepang. Kedua sistem ini memungkinkan fleksibilitas struktural yang terkontrol, yang penting untuk ketahanan gempa. Sistem pasak pada rumah gadang Minangkabau memungkinkan pergerakan mikro pada sambungan, yang mirip dengan konsep sambungan fleksibel yang diterapkan pada beberapa bangunan kayu modern di Jepang.

Kedua sistem ini bertujuan untuk memungkinkan disipasi energi dan mengurangi kerusakan struktural selama gempa. Faisal et al. (2021) menekankan pentingnya mempelajari arsitektur vernakular seperti rumah gadang Minangkabau untuk pengembangan teknologi tahan gempa modern. Mereka berpendapat bahwa prinsip-prinsip yang ditemukan dalam arsitektur tradisional dapat memberikan wawasan berharga untuk inovasi dalam desain tahan gempa.

Studi komparatif antara sistem struktur rumah gadang dan bangunan tahan gempa modern di Jepang menunjukkan bahwa ada prinsip-prinsip dasar yang serupa, terutama dalam hal fleksibilitas struktural dan disipasi energi. Ini menunjukkan bahwa pengetahuan tradisional memiliki relevansi yang signifikan dalam pengembangan teknologi tahan gempa kontemporer.



Gambar II.21 Ilustrasi Bangunan Tahan Gempa di Jepang

Rahayu et al. (2022) menyatakan Diperlukan pendekatan interdisipliner yang menggabungkan pengetahuan tradisional dengan teknologi modern untuk menciptakan solusi arsitektur yang tidak hanya tahan gempa, tetapi juga berkelanjutan dan kontekstual.