

# Arsitektur Vernakular Tanggap Bencana Indonesia

## *Indonesian Disaster Responsive Vernacular Architecture*

Zuber Angkasa Wazir

Departemen Arsitektur, Universitas Muhammadiyah Palembang, Jalan Jenderal Ahmad Yani 13 Ulu  
Seberang Ulu II, Kec. Plaju, Sumatera Selatan 30116

[zuberpalembani@gmail.com](mailto:zuberpalembani@gmail.com)

(Diterima; 19/4/2019, Disetujui 2/7/2019, Diterbitkan ; 2/8/2019)

---

---

### Abstrak

Kekayaan tipe hunian vernakuler di Indonesia menunjukkan adanya potensi pemanfaatan arsitektur vernakuler untuk desain hunian tanggap bencana sembari melestarikan warisan budaya masyarakat yang semakin luntur di masa kini. Sayangnya, desain rumah tahan bencana saat ini belum sepenuhnya mengeksplorasi kemungkinan ini dan belum pula merumuskan kapasitas dari kearifan lokal arsitektur saat ini untuk mengatasi masalah desain rumah tahan bencana di Indonesia. Untuk menjawab kebutuhan ini, kami meninjau literatur hasil penelitian mengenai karakteristik tahan bencana dari rumah-rumah tradisional di Indonesia. Sebagaimana diduga, banyak hunian vernakuler di Indonesia memiliki karakteristik tanggap bencana yang baik dan dapat digeneralisasi untuk konteks nasional. Sebagai hasilnya, kami mengajukan panduan rumah tahan bencana yang mampu merespon pada empat jenis bencana dengan frekuensi dan intensitas tinggi di Indonesia yaitu puting beliung, banjir, gempa bumi, dan tsunami.

**Kata kunci:** rumah vernakuler, ketahanan bencana, puting beliung, rumah non rekayasa

### Abstract

*The wealth of vernacular house types in Indonesia shows the potential use of vernacular architecture for the design of disaster response housing while preserving the increasingly ignored cultural heritage of the today society. Unfortunately, the current design of disaster-resistant homes is not fully explored this possibility nor formulated capacity from architectural local wisdom to address the problem of disaster-resistant home design in Indonesia. To answer this need, we review the literature on the results of research on disaster-resistant characteristics of traditional houses in Indonesia. As predicted, many vernacular houses in Indonesia has emergency response characteristics that can be generalized for the national context. In response, we discussed a disaster-resistant home *guidance* that responds to the types of disasters with high frequency and intensity in Indonesia, namely whirlwinds, floods, earthquakes and tsunamis.*

**Keywords:** vernacular house, disaster resilience, whirlwind, non-engineered building

---

---

©Jurnal Arsitektur Arsir Universitas Muhammadiyah Palembang  
p-ISSN 2580-1155  
e-ISSN 2614-4034

### Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan frekuensi dan intensitas bencana yang tinggi di dunia. Sepanjang 2009-2018, bencana alam telah mengakibatkan sepuluh juta jiwa lebih terdampak, termasuk diantaranya hampir lima ribu orang menjadi korban meninggal atau hilang. Bencana sepanjang 10 tahun tersebut juga mengakibatkan dampak pada lebih dari setengah juta bangunan, baik rusak berat, sedang, maupun ringan (BNPB, 2019). Jika dirata-ratakan dengan total jumlah kejadian bencana sepanjang dekade terakhir, rata-rata satu kejadian bencana mengakibatkan sekitar empat ribu korban dan dua ratus bangunan terdampak. Bencana dengan dampak terburuk secara kuantitas pada bangunan adalah gempa bumi disertai tsunami, gempa bumi, dan tsunami (lihat Tabel 1).

**Tabel 1. Statistik Bencana Alam 2009-2018**

<b>Bencana</b>	<b>Jumlah Kejadian</b>	<b>Jumlah Bangunan Terdampak</b>	<b>Rata-Rata Bangunan Terdampak per Kejadian</b>
Puting beliung	804	15.991	20
Banjir	679	233.088	343
Tanah longsor	474	2.125	4
Kebakaran hutan dan lahan	370	2	0
Kekeringan	130	0	0
Letusan gunung api	58	0	0
Gelombang pasang/abrasi	34	26.693	785
Gempa bumi	23	227.821	9.905
Gempa bumi disertai tsunami	1	69.065	69.065
Tsunami	1	2.752	2.752
<i>Total</i>	<i>2.574</i>	<i>577.537</i>	

(Sumber: BNPB, 2019)

Sebagai bangsa yang sejak lama hidup dalam bencana, semestinya masyarakat tradisional telah memiliki solusi berbasis vernakular. Hal ini wajar karena hunian vernakuler mencerminkan respon masyarakat terhadap faktor lingkungan, termasuk diantaranya adalah potensi bencana. Sebagai contoh respon ini adalah bagaimana hunian tradisional Minahasa merespon bencana. Sebelum kejadian gempa di abad ke-19, rumah-rumah Minahasa dibangun dengan panggung tinggi. Bangunan panggung tinggi rentan gempa dan terbukti dengan banyaknya kerusakan pada kejadian gempa di abad ke-19. Setelah kejadian tersebut, rumah-rumah Minahasa dibangun dengan panggung rendah yang lebih tahan terhadap gempa.

Respon vernakular terhadap gempa juga dapat ditemukan pada arsitektur Jepang yang menggunakan dinding kertas. Pemakaian dinding kertas meminimalisir kerusakan yang dapat terjadi pada bangunan dan risiko cedera yang dapat diperoleh penghuni. Walau demikian, pemakaian dinding kertas ini telah mengorbankan privasi pada rumah-rumah tradisional Jepang.

Respon hunian vernakular terhadap bencana seperti contoh di atas semestinya dapat dijadikan pelajaran bagi hunian modern. Hunian modern memang dibangun dengan bahan yang lebih baik dari segi kualitas. Namun hal ini hanya berlaku pada situasi normal. Pada situasi bencana, kualitas tersebut justru dapat menjadi sumber bahaya ketika tidak didesain sedemikian rupa. Bangunan berat dapat menampung banyak orang tetapi tanpa pondasi yang kuat, akan mengakibatkan keruntuhan yang dapat mengubur penghuni yang ada di dalamnya.

Keanekaragaman etnis, topografi, dan ekosistem yang ada di Indonesia berdampak pada keanekaragaman tipe hunian vernakuler. Kekayaan arsitektur vernakuler ini semestinya dapat memberikan kontribusi pada upaya Indonesia untuk mereduksi bencana. Kita dapat meyakini bahwa setidaknya beberapa tipe hunian akan memiliki respon bencana yang baik, setidaknya pada bencana-bencana dengan frekuensi tinggi seperti puting beliung dan banjir, atau bencana-bencana dengan intensitas (daya rusak) yang besar seperti gempa bumi dan tsunami.

Secara teori, hunian vernakuler yang ada sekarang dapat bertahan hingga saat ini karena empat kemungkinan: selamat dari bencana karena desain yang baik, berubah secara dramatis karena bencana alam, telah pernah hancur karena bencana dan dibangun kembali, atau tidak pernah mengalami bencana sama sekali. Pengamatan menunjukkan bahwa pada lokasi-lokasi dengan frekuensi bencana yang tinggi, hunian-hunian vernakuler yang ada relatif responsif terhadap bencana atau setidaknya, mengandung mekanisme dan teknologi lokal tertentu yang memungkinkan pembangunan ulang dengan cepat (Silva, 2012). Di sisi lain, ketiadaan kembali tipe hunian vernakuler tertentu salah satunya dapat disebabkan oleh kemusnahan akibat bencana alam. Pada situasi hunian vernakular yang bertahan tetapi bukan karena desain yang tahan dan tanggap bencana, ada risiko laten bahwa suatu saat, ketika bencana terjadi, hunian-hunian ini akan hancur dan masyarakat etnik kehilangan warisan yang tersisa dari masa lampau mereka.

Walau demikian, saat ini, teknik dan desain maupun bahan tahan bencana berbasis vernakuler telah sebagian besar ditinggalkan akibat homogenitas kultural global dan urbanisasi (Petal, Green, Kelman, Shaw, & Dixit, 2008). Imperialisme kultural ini ditandai dengan promosi superioritas bahan konstruksi modern barat seperti beton dan bahan bangunan lainnya sembari menganggap remeh desain dan bahan tradisional. Padahal bahan dan desain seperti bambu, kayu, atau bata jemuran dapat saja memiliki keunggulan ekonomi, lingkungan, iklim, maupun estetika yang lebih baik (Petal et al, 2008).

Metode tertentu dalam desain yang sekedar memberikan modifikasi minimum pada praktik yang sudah berlangsung juga dapat meningkatkan ketahanan bencana secara signifikan dengan tetap dapat terjangkau dan diterima secara kultural (Arya, Boen, & Ishiyama, 2014; Silva, 2012). Modifikasi ini dapat berupa misalnya perbaikan pondasi, peningkatan ketahanan tiang kayu, atau desain rangka atap (Silva, 2012). Secara konseptual, hal ini diistilahkan sebagai bangunan non rekayasa (Jigyasu, 2002). Bangunan non rekayasa adalah “bangunan yang dibuat secara spontan dan informal di berbagai tempat di dunia dengan cara tradisional tanpa intervensi atau hanya sedikit intervensi oleh arsitek dan insinyur berkualifikasi dalam desainnya” (Arya et al, 2014).

Berbagai penelitian sebelumnya telah dilakukan di dalam negeri untuk mengkaji respon hunian vernakuler dari kelompok etnik tertentu terhadap bencana tertentu. Hematang, Setyowati, & Hardiman (2014) mengidentifikasi desain tahan bencana pada rumah tradisional suku Ibeiya di Papua dalam merespon bencana gempa lewat konstruksi hauwa. Penelitian Rinaldi, Purwantiasning, & Nur’aini (2015) mengidentifikasi karakter tahan gempa dari rumah tradisional Basemah, Sumatera Selatan. Sementara itu, kajian Asti (2012) mengidentifikasi karakter tahan banjir dari rumah tradisional Bugis di Danau Tempe. Studi karakteristik hunian tahan banjir juga dilakukan pada rumah vernakular Kutai (Hidayati & Octavia, 2013). Berbagai penelitian sebelumnya ini dapat berkontribusi secara umum pada mitigasi struktural berbasis vernakuler di Indonesia, terutama jika diinventarisir dan digeneralisasi dengan baik.

Dalam makalah ini, penulis meninjau sejumlah literatur mengenai respon bencana alam dari sejumlah hunian vernakuler di Indonesia dengan sorotan utama pada bencana-bencana dengan frekuensi tinggi dan intensitas tinggi. Artikel ini akan melakukan sintesis yang diharapkan mampu menghasilkan teori konstruksi rumah yang tahan bencana yang berasal dari rumah-rumah tradisional di Indonesia. Diharapkan, penelitian ini dapat memberikan langkah mitigasi struktural yang diharapkan guna menyumbang pada upaya mitigasi bencana yang lebih umum pada masyarakat etnik di Indonesia.

### **Metode Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif eksplanatoris menggunakan pendekatan studi literatur. Penulis mengumpulkan literatur hasil penelitian mengenai hunian vernakuler di Indonesia kemudian membaca dan saling membandingkan aspek-aspek hunian tersebut yang berhubungan dengan ketahanan bencana.

Penelitian diawali dengan menggunakan [www.scholar.google.com](http://www.scholar.google.com) yang memungkinkan pencarian awal sumber-sumber yang memenuhi tujuan penelitian ini. Kata kunci yang digunakan adalah “rumah adat”, “rumah tradisional”, dan “vernakuler”, yang masing-masing disandingkan dengan kata kunci “bencana”, “banjir”, “gempa”, “tsunami”, dan “angin”. Artikel ini diunduh pada 10 halaman pertama hasil pencarian. Selanjutnya, artikel-artikel dikelompokkan berdasarkan jenis bencana yaitu puting beliung, banjir, gempa, dan tsunami. Setiap artikel dibaca dan informasi yang diperoleh dikelompokkan menjadi bagian-bagian bangunan yaitu atap, badan, dan kaki. Selain itu, rangkuman-rangkuman yang disajikan dalam topik pencarian lainnya yang berhubungan dengan ketahanan bencana juga dilakukan seperti dengan kata kunci “disaster resistant”. Banyak dari artikel ini dapat ditemukan dalam versi digital pada situs pencarian ilmiah di atas.

### **Hasil dan Pembahasan**

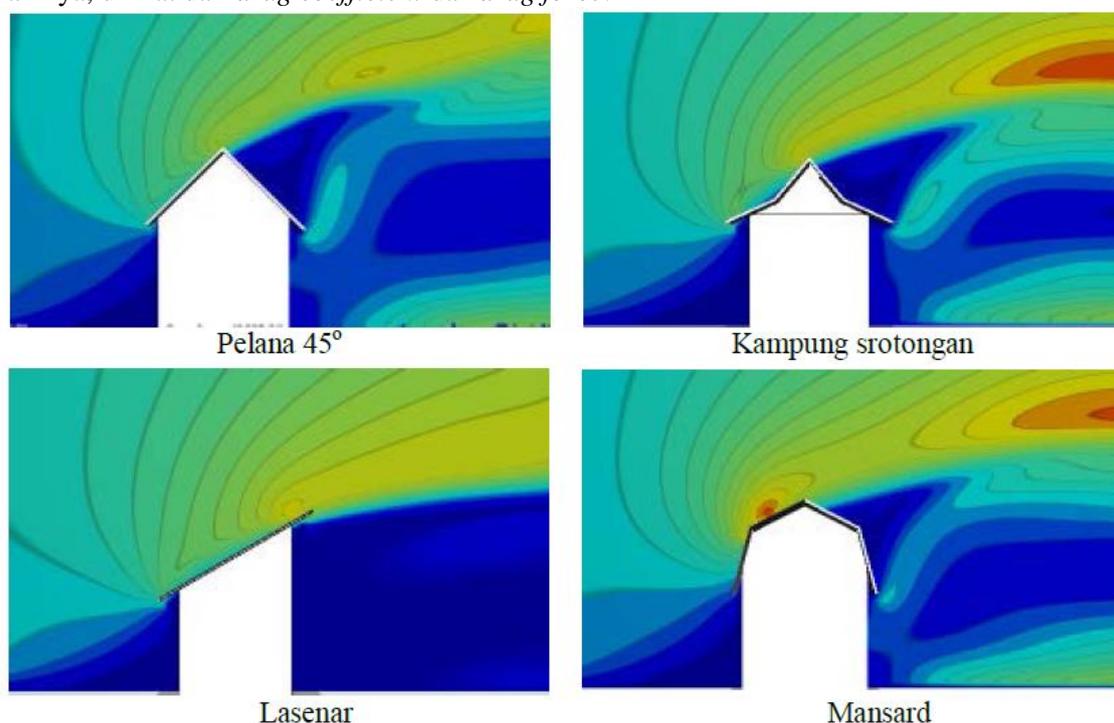
#### ***Desain Tahan Puting Beliung***

Puting beliung merupakan angin kencang yang muncul secara tiba-tiba, bergerak melingkar seperti spiral hingga menyentuh permukaan bumi, dan mempunyai pusat (Fitriani, 2016). Puting beliung merupakan bencana alam paling sering terjadi di Indonesia dan semakin meningkat intensitasnya akibat pemanasan global. Salah satu faktor utama dari kejadian puting beliung adalah cuaca ekstrim yang ditimbulkan oleh pemanasan global. Kejadian puting beliung umum

terjadi pada saat hujan intensitas tinggi. Puting beliung bersifat lokal dengan cakupan wilayah 5-10 km dan durasi singkat sekitar 3-5 menit. Pada umumnya, puting beliung memberikan dampak pada atap rumah sehingga mengakibatkan kerusakan dengan melepaskan bagian atap dari rumah.

Desain tahan puting beliung pada umumnya diarahkan dengan memastikan struktur bangunan kuat agar dapat tahan terhadap gaya angin, desain yang memerhitungkan beban angin, penempatan bangunan pada lokasi yang terlindung, dan penghijauan sebagai peredam gaya angin (Triana, Hadi, & Husain, 2017).

Desain vernakular di Indonesia relatif aman terhadap puting beliung. Hal ini disebabkan karena secara umum, atap rumah tradisional di Indonesia mengambil bentuk segitiga setidaknya pada sisi depan dan belakang (Zain, 2012). Bentuk segitiga lebih tahan terhadap angin puting beliung karena dapat mengurai angin dengan baik. Kajian yang lebih lengkap dilakukan oleh Amri, Ode, Syukur, & Amsyar (2017) pada empat tipe atap rumah yang umum ditemukan di Indonesia yaitu tipe pelana 45 derajat, tipe kampung srotongan, tipe lasenar, dan tipe mansard (Gambar 1). Atap tipe mansard merupakan atap segitiga dengan sudut landai dengan luasan bidang landai lebih kecil dan membentuk lekukan. Dari hasil simulasi, diketahui bahwa atap tipe mansard merupakan atap dengan kemampuan paling baik dalam menghadapi angin dibandingkan ketiga jenis atap lainnya, dilihat dari *drag coefficient* dan *drag force*.



**Gambar 1.** Visualisasi kecepatan angin pada empat tipe atap segitiga (Amri et al, 2017)

Bentuk atap tipe mansard merupakan bentuk yang jarang ditemukan pada hunian vernakuler di Indonesia. Rumah jengki merupakan rumah yang diidentifikasi dengan bentuk atap mansard. Hal ini karena atap mansard merupakan atap yang dimodifikasi dari rumah tradisional Belanda, bukannya atap asli Indonesia. Tipe atap mansard mulai muncul pada abad ke-17 ketika Belanda mulai membangun hunian dengan karakteristik budaya mereka di Indonesia (Madiasworo, 2009). Pada era modern, rumah-rumah dengan atap mansard dapat ditemukan di kawasan-kawasan yang memiliki rumah model kolonial seperti kawasan Kampung Melayu di Semarang.



**Gambar 2.** Contoh rumah dengan atap mansard (Madiasworo, 2009)

Sungguh demikian, padanan dari rumah jengki masih dapat ditemukan pada bentuk atap rumah Sasak dari Nusa Tenggara Barat. Rumah tradisional Sasak memiliki desain atap yang lebih tumpul dari atap mansard dan ditutupi oleh daun. Kesamaan rumah Sasak dan rumah Jengki dapat disebabkan karena kesamaan geografi. Baik Belanda maupun Sasak berada pada lingkungan pesisir yang berangin kuat dan karenanya, bentuk adaptasi yang dimunculkan baik di Belanda maupun di Sasak dapat sama.



**Gambar 3.** Contoh rumah tradisional Sasak (Pawitro, 2011)

Keunggulan hunian Sasak selain memiliki desain atap paling aerodinamis di Indonesia terletak pula pada tata ruang hunian. Pola hunian Sasak bersifat tidak rapat sehingga membantu pergerakan angin sebagai ventilasi alami (Sukawi & Zulfikri, 2010). Hal ini relatif umum pada hunian di lingkungan tropis di Indonesia sama umumnya dengan bentuk panggung yang memungkinkan angin untuk masuk ke dalam kolong bangunan dan mengurai kemungkinan terjadinya puting beliung.

Dari paparan di atas, dapat disimpulkan dua karakteristik penting hunian vernakuler Indonesia yang tahap bencana angin puting beliung yaitu bentuk atap mansard khas Sasak dan

bentuk panggung. Sementara bentuk panggung adalah bentuk yang sangat umum ditemukan di Indonesia, bentuk atap mansard tergolong sangat langka. Kalaupun ada, rumah dengan tipe mansard tidak menggunakan bentuk panggung. Hal ini menimbulkan pertanyaan mengapa kedua hal ini tidak berjalan seiringan. Kenapa rumah panggung umumnya menggunakan tipe pelana sementara rumah dengan atap mansard umumnya tidak menggunakan panggung. Hal ini berkaitan dengan kondisi lingkungan di masa lalu. Rumah panggung umumnya dibangun dengan tujuan bukan untuk mitigasi angin tetapi lebih pada mitigasi banjir. Akibatnya perhatian lebih diarahkan pada bagian bawah, bukannya atap bangunan. Hal ini sesuai dengan adaptasi pada lingkungan rawa pada masyarakat di Sumatera dan Kalimantan. Risiko angin puting beliung kurang dilakukan karena lingkungan luar rumah telah menjalankan fungsi ini. Ekosistem rawa merupakan ekosistem yang kaya dengan pohon besar yang berfungsi sebagai pengurai angin. Pepohonan yang berada di sekitar rumah panggung membantu mengurai angin yang berpotensi merusak atap rumah. Sementara itu, rumah dapat menggunakan tipe pelana untuk memfasilitasi curahan air hujan sehingga tidak membebani atap. Di sisi lain, rumah-rumah Belanda beradaptasi dengan lahan di Jawa yang rentan gempa, sehingga tidak menggunakan dasar panggung. Angin menjadi ancaman karena lingkungan yang relatif lebih gersang di kawasan perkotaan. Akibatnya, rumah Belanda menggunakan atap mansard tetapi tidak berbentuk panggung.

Dari tinjauan di atas, dapat disimpulkan bahwa kapasitas kearifan lokal masyarakat tradisional di Indonesia telah cukup adaptif untuk memenuhi kebutuhan masa kini di wilayahnya masing-masing. Masa kini yang dimaksud disini adalah masa ketika rumah-rumah tersebut dibangun dan dihuni secara luas. Walau begitu, kapasitas kearifan lokal masyarakat masih belum mengantisipasi perubahan di masa datang, misalnya ketika pepohonan telah tidak ada lagi atau kehidupan masyarakat bergeser dari kawasan rawa menjadi pantai terbuka. Solusi antisipatif memang tidak dapat diambil karena walaubagaimanapun, ada masalah yang akan timbul jika solusi antisipatif seperti atap mansard diterapkan pada lingkungan lokal yang berawa dan penuh dengan pohon besar. Dengan cara ini, maka sebenarnya kapasitas kearifan lokal masyarakat khususnya di Sumatera, Kalimantan, dan Lombok, telah sangat besar.

Walaupun arsitektur Sasak memiliki kemampuan yang baik dalam merespon angin puting beliung, kawasan Sasak merupakan kawasan rawan gempa. Tampak bahwa masyarakat Sasak lebih memilih untuk beradaptasi pada lingkungan angin ketimbang gempa dengan memilih rumah dengan atap mansard dan bentuk panggung. Bentuk panggung dalam hal ini merupakan sebuah bentuk yang sangat berisiko pada gempa, tetapi di sisi lain, sangat tahan terhadap bencana angin. Akibatnya, pilihan antara bentuk panggung dan bentuk menempel harus memperhatikan risiko bencana lokal. Jika kawasan tersebut rentan gempa, maka bentuk panggung tidak dapat dipilih. Sebaliknya, jika kawasan tersebut rentan angin puting beliung, bentuk panggung lebih dapat dipilih. Bagaimana kemudian jika kedua risiko tersebut muncul beriringan? Menariknya, masyarakat vernakuler memiliki solusi alternatif, yaitu menggunakan pondasi fleksibel. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada bagian desain tahan gempa.

### ***Desain Tahan Banjir***

Banjir merupakan peristiwa dimana luaran air melebihi suatu ambang batas yang dianggap normal dalam kehidupan sehari-hari (Bradley & Potter, 1992). Efek banjir pada bangunan dapat berupa perendaman yang pada gilirannya melemahkan struktur baik secara biologis, fisik, ataupun kimia, mengakibatkan kerusakan struktur, atau jika struktur pondasi jauh lebih lemah dari struktur badan bangunan, membuat bangunan menjadi hanyut.

Desain tahan banjir sangat bervariasi mulai dari peninggian pondasi, peningkatan rumah, penggunaan bahan kedap air, penyediaan tanggul, penempatan drainase, penguatan pondasi, dan sebagainya (Triana et al, 2017). Pada prinsipnya, desain tahan banjir berusaha mencegah air masuk ke dalam rumah atau membiarkan air masuk tetapi tidak menetap di dalam bangunan dan tidak memberikan efek pada bangunan secara keseluruhan.

Hunian vernakuler di Indonesia mengadaptasi situasi banjir dengan berbagai cara. Rumah tradisional Bugis di Danau Tempe mengadaptasi banjir dengan sepenuhnya menghilangkan pondasi yang menancap ke tanah (Asti, 2012). Sebagai gantinya, bagian bawah rumah berbentuk rakit dari bambu. Dengan cara ini, ketika terjadi banjir, hunian dapat mengapung dengan mudah dan tidak

merusak isi rumah. Alternatifnya, sebagian penduduk Bugis membangun hunian dengan bentuk panggung. Tinggi dari panggung disesuaikan dengan tinggi kenaikan muka air ketika terjadi banjir. Dengan cara ini, air tidak dapat mencapai bagian rumah. Sebagai antisipasi lebih lanjut, barang-barang disimpan di bagian kepala (atas) rumah, yang disebut sebagai *rakkeang*. Dibandingkan dengan rumah apung, rumah panggung merupakan bentuk yang lebih umum ditemukan di Indonesia, terlebih karena sifat panggung yang multifungsi. Selain menjauhkan rumah dari banjir dan memungkinkan penguraian puting beliung, kolong panggung menyediakan pendingin alami bagi rumah dan mencegah ancaman hewan liar. Sementara itu, konstruksi apung hanya terbatas pada WC yang diapungkan di permukaan sungai dan dipisah dari rumah utama. Hal ini umum ditemukan pada hunian-hunian tradisional di tepi sungai besar di Kalimantan.

Sementara itu, rumah vernakular Kutai menggunakan pendekatan yang lebih lengkap lagi (Hidayati dan Octavia, 2013). Selain menggunakan model panggung, rumah juga dibarikade pada sisi tertentu atau seluruh sisi rumah. Barikade ini merupakan sebuah pagar dari kayu yang tersusun vertikal dan rapat (lihat Gambar 4). Barikade ini ditujukan untuk mencegah masuknya sedimentasi ke dalam rumah ketika banjir surut. Air masih dapat masuk dan lolos karena struktur kolong tetapi endapan seperti tanah, pasir, atau batu yang terbawa banjir tertahan pada barikade di sekitar rumah. Hal ini menyediakan solusi yang lebih baik dari sekedar panggung biasa karena pada bentuk biasa, walaupun air dapat lewat dan tidak menyentuh rumah, sampah dan bahan lain yang terbawa air dapat menetap dan menjadi sampah di bawah kolong.



**Gambar 4.** Konstruksi barikade pada rumah Kutai (Hidayati dan Octavia, 2013)

Masih banyak bentuk adaptasi lain yang ditunjukkan oleh rumah Kutai terhadap banjir. Bagian dinding yang berpotensi terkena hampasan air disusun secara horizontal sehingga tidak langsung rubuh ketika terkena banjir. Bahan kayu yang digunakan, sayangnya, adalah kayu ulin yang saat ini sudah langka dan dilindungi. Kayu ulin dikenal memiliki kemampuan tahan air yang sangat kuat, yang membuatnya dianggap sangat bernilai dalam konstruksi di kawasan basah dan lembab. Bentuk-bentuk adaptasi lain yang ditemukan mencakup pemancangan kayu dengan tumbukan yang sama di setiap titik kolom, konstruksi kalang sunduk sebagai pondasi, dan penambahan balok suai (balok diagonal antar tiang panggung). Tiga bentuk adaptasi ini diarahkan untuk menjaga keseimbangan dan kekokohan bangunan panggung ketika terkena banjir.



**Gambar 5.** Konstruksi kalang sunduk (kiri) dan balok suai (kanan) pada rumah Kutai (Hidayati dan Octavia, 2013)

Berbagai desain di atas merupakan respon masyarakat lokal dengan menerapkan kearifan guna meningkatkan pengalaman hidup yang tenang di dalam hunian mereka. Kearifan lokal di Kalimantan dan Sulawesi khususnya, menggunakan prinsip-prinsip anti banjir yang bijak. Perlu dipertimbangkan apakah prinsip-prinsip konstruksi rumah di daerah-daerah rawan banjir di Indonesia saat ini perlu dimodifikasi atau digantikan dengan kearifan lokal dari masyarakat tradisional di daerah bersangkutan atau meminjam dari daerah lain.

### **Desain Tahan Gempa**

Gempa merupakan gerakan tanah yang terjadi dalam skala besar. Ia merupakan gerakan kerak bumi yang durasinya terjadi dalam satuan detik dan terjadi dalam wujud sobekan tanah atau pengelupasan energi yang tersimpan di dalam magma dari bagian lemah bumi (Aydın & Coskun, 2010). Gempa dicirikan oleh getaran dan ayunan tanah. Getaran, gerakan, dan ayunan ini dapat disebabkan oleh faktor tektonik, vulkanik, atau longsor.

Desain tahan gempa yang baik menekankan prinsip kekuatan yang cukup, duktilitas yang tinggi, serta tetap sebagai satu kesatuan integral ketika berhadapan pada gempa (Arya et al, 2014). Duktilitas adalah rasio perpindahan bangunan sebelum perpindahan puncak atau keruntuhan terhadap perpindahan pada kerusakan pertama. Lawan dari duktilitas adalah kerapuhan. Artinya, duktilitas rendah tidak lain merupakan bahan dengan kerapuhan tinggi. Bahan dengan kerapuhan tinggi dapat dibuat memiliki duktilitas tinggi dengan menambahkan bahan duktilitas tinggi. Contoh bahan duktilitas tinggi adalah baja dan kayu, sementara bahan dengan duktilitas rendah adalah besi tempa, batu, bata, dan semen. Ciri-ciri bahan rapuh adalah dapat patah secara mendadak, berbeda dengan bahan duktilitas tinggi yang patah secara perlahan-lahan.

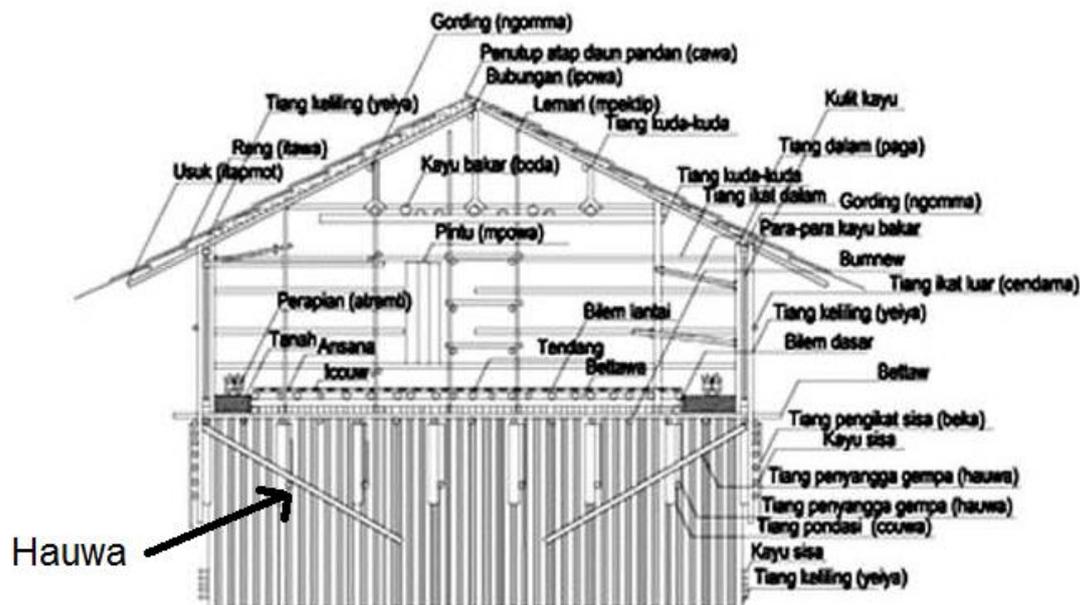
Pada rumah, bagian atap merupakan bagian yang paling bertanggungjawab terhadap kerusakan (Amri et al, 2017). Atas alasan ini, sangat penting kalau bagian atap bangunan memiliki material yang ringan dan berat material semakin tinggi ke arah tanah. Sedapat mungkin material atap tidak berbeda jauh dari material bagian tengah dan tiang sehingga robekan dapat berjalan secara berkelanjutan dari pondasi ke atap tanpa terhalang oleh perubahan bahan (Arya et al, 2014).

Sepanjang 2009-2018, di Indonesia telah terjadi sebanyak 23 kali gempa dan satu kali gempa disertai tsunami, dengan rata-rata korban 25 orang hilang dan meninggal untuk setiap gempa dan rata-rata 3.475 orang hilang untuk setiap gempa bumi disertai tsunami (BNPB, 2019). Rata-rata sekali gempa merusak 9.905 bangunan sementara rata-rata setiap gempa disertai tsunami merusak 2.752 bangunan. Bentuk-bentuk kerusakan bangunan yang disebabkan oleh gempa mencakup terlepasnya tutupan atap, terlepasnya atap dari penopangnya, tersobeknya dinding, retak dinding secara diagonal, kegagalan sudut dinding, keruntuhan dinding, pelemahan sambungan (dinding ke dinding, atap ke dinding, dan dinding ke pondasi), rusaknya bagian yang tidak simetris dari

bangunan, kegagalan sudut bukaan, tubrukan antar bangunan, kegagalan pada titik perubahan massa atau kekakuan, serta kerusakan kualitas konstruksi (Boen, 2001).

Di Indonesia saat ini telah terdapat panduan untuk konstruksi bangunan tahan gempa. Panduan ini disediakan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) lewat SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (BSNI, 2012) yang merupakan revisi dari SNI-1726-2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (Kementerian Pekerjaan Umum, 2002). SNI 1726:2012 menentukan apakah suatu komponen desain tergolong diizinkan atau tidak diizinkan dengan merujuk pada koefisien modifikasi respons, faktor kuat-lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, serta batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur. Sementara itu, Idham (2011) telah berhasil merumuskan pula metode pengamatan cepat untuk mengidentifikasi apakah suatu rumah rentan gempa atau tahan gempa berdasarkan hanya pada ketidakberaturan struktur utama dan atap serta penampakan bahan dan konstruksi.

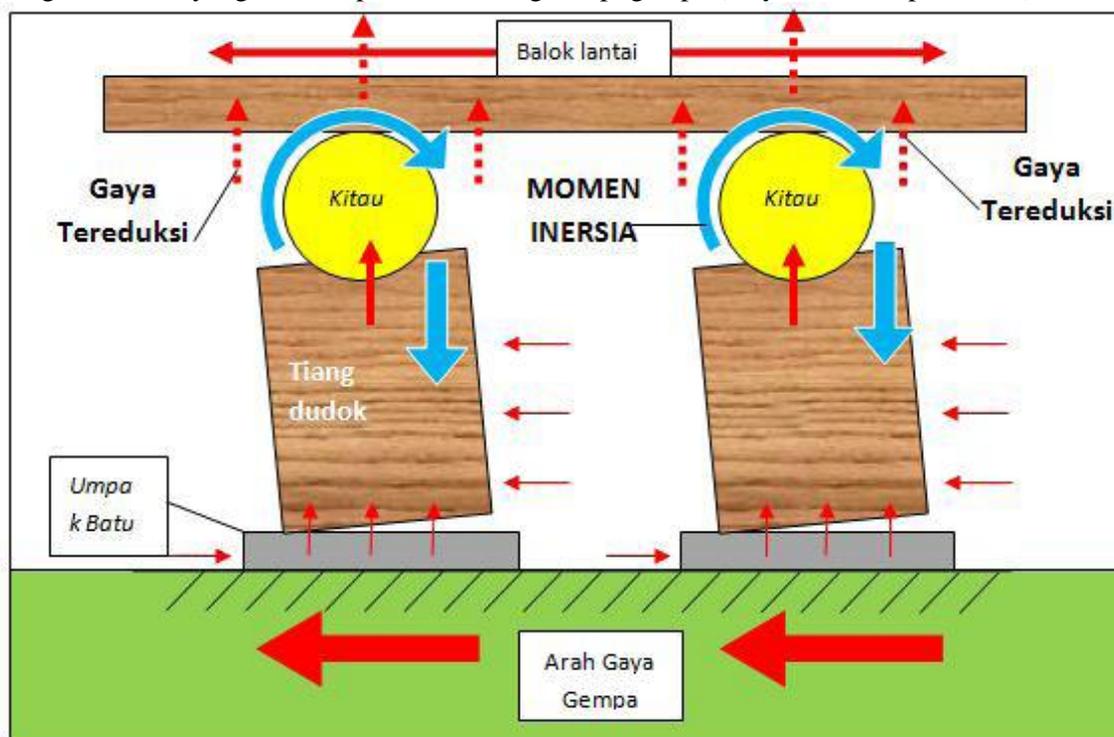
Sejumlah masyarakat tradisional di Indonesia telah menghasilkan kearifan lokal yang mengandung elemen-elemen tahan gempa sebagai bentuk adaptasi kehidupan di daerah rawan gempa. Rumah tradisional Ibeiya dari Papua Barat diketahui memiliki konstruksi balok suai yang disebut sebagai *hauwa*. Karena berada di pegunungan, konstruksi ini tidak ditujukan untuk menahan banjir tetapi secara khusus untuk mencegah agar tiang panggung rumah tidak bergeser dan patah karena gempa (Hematang et al, 2014).



Gambar 6. Konstruksi hauwa pada rumah Ibeiya (Hematang et al, 2014)

Rumah joglo di Jawa juga diketahui memiliki ketahanan terhadap gempa sedang karena menggunakan struktur kayu rong-rongan dengan sistem tumpuan bersifat sendi dan atau rol, sistem sambungan lidah alur, pola konfigurasi khas soko-soko emper terhadap soko guru, dan kekakuan soko guru oleh tumpang sari/brunjung (Prihatmaji, 2007). Lebih lanjut, kajian pada rumah Aceh juga menunjukkan ketahanan gempa karena struktur yang saling kunci dan kaku (Widosari, 2010). Kajian lain di rumah Nias menunjukkan kalau rumah ini stabil dan terbukti pada kejadian gempa Nias (Pudjisuryadi, Lumantarna, & Lase, 2007). Arsitektur lain di kawasan Papua yang diketahui tahan gempa adalah arsitektur Nabire (Purwanto & Gayatri, 2007). Sementara itu, penelitian pada rumah Besemah di Kota Pagaralam, Sumatera Selatan, menunjukkan pula kalau rumah ini tahan terhadap gempa karena struktur atas yang lebih ringan dari struktur tengah dan lebih ringan lagi dibandingkan struktur bawah dan struktur bawah yang dicirikan oleh *umpak batu* dan *kitau*. Umpak batu adalah pondasi menggunakan batu pecah atau batu bulat yang disusun dan sedikit dibenamkan di dalam tanah. *Kitau* merupakan sebuah tumpuan rol yang mereduksi gaya gempa karena meningkatkan elastisitas pondasi. Lebih dari itu, sistem sambungan bersifat jepit, ketimbang menggunakan pasak, sehingga ketika terjadi gempa, masing-masing sambungan saling jepit,

menjadikan bangunan menjadi satu kesatuan yang tegar (Rinaldi et al, 2015). Rumah tradisional Rurukan dan Tonsealama dari Minahasa juga diketahui memiliki ketahanan gempa yang baik lewat bentuk yang simetris, struktur bangunan yang tegar, sistem sambungan ikat dengan bahan kayu dengan dimensi yang relatif tepat dalam menghadapi gempa (Triyadi & Harapan, 2011).



**Gambar 7.** Cara kerja umpak batu dan kitau dalam merespon gempa (Rinaldi et al, 2015)

Gambaran dari berbagai studi di atas menunjukkan bahwa secara umum, masyarakat di daerah rawan gempa dari Sumatera, Jawa, Sulawesi, dan Papua telah menghasilkan kearifan lokal arsitektur yang adaptif terhadap gempa. Bahkan pada rumah panggung yang tergolong rentan rubuh saat gempa, masyarakat telah memiliki kearifan lokal yang memungkinkan desain panggung dipertahankan tetapi tetap mampu merespon gempa dengan baik.

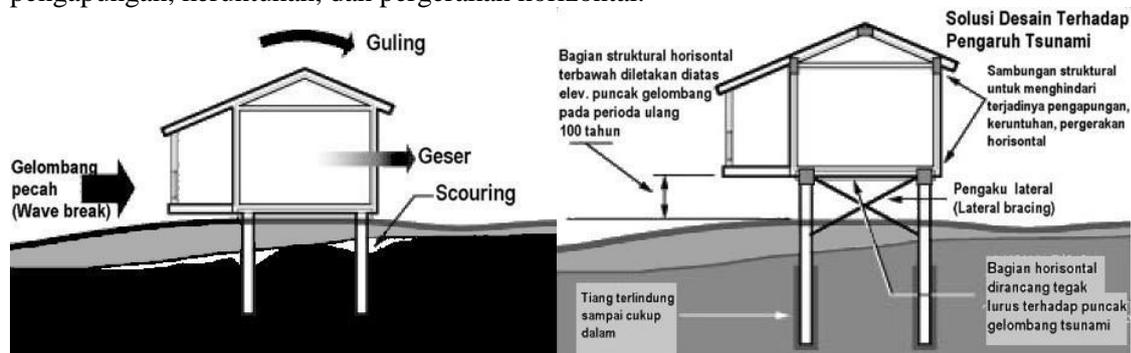
### **Desain Tahan Tsunami**

Tsunami merupakan gelombang laut yang terjadi akibat deformasi dasar laut secara tiba-tiba, baik karena gempa, letusan gunung api, atau longsoran dasar laut (Permen PU No 6 2009 tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami). Terdapat tiga hal penting dari gelombang tsunami yang perlu diperhatikan dalam kaitannya dengan desain vertikal tahan tsunami. Pertama, elevasi air pada garis pantai. Hal ini menandai seberapa tinggi capaian tsunami pada garis pantai atau setidaknya, titik posisi permukiman paling dekat ke laut. Panggung permukiman pada posisi ini harus lebih tinggi dari elevasi air. Kedua, elevasi air maksimum, yaitu capaian tertinggi air secara keseluruhan. Ketiga, tinggi rayapan, yaitu seberapa jauh tsunami dapat masuk ke dalam daratan (Permen PU No 6 2009).

Desain tahan tsunami yang paling ideal tentunya adalah desain dimana rumah tidak terjangkau oleh tinggi rayapan. Tetapi sering kali hal ini tidak dimungkinkan karena banyak sekali rumah dan bangunan didirikan pada wilayah antara bibir pantai dan batas rayapan. Lagi pula, batas rayapan berbeda-beda untuk setiap tsunami, tergantung dari kekuatan tsunami yang terjadi. Pada satu tsunami, mungkin satu rumah dapat lolos karena tidak terjangkau tinggi rayapan. Tetapi pada tsunami selanjutnya yang lebih besar, gelombang dapat merayap lebih tinggi dan menjangkaunya.

Akibatnya, bangunan yang berada di zona gelombang harus menerapkan sejumlah solusi desain khusus untuk menghadapi gelombang tsunami. Ada empat kekuatan yang muncul dari gelombang tsunami yang dapat menyerang suatu bangunan: gelombang pecah, gaya guling gelombang, gaya geser gelombang, dan gaya gosok pada pondasi (Gambar 8). Solusi yang

direkomendasikan oleh Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No . 6 Tahun 2009 antara lain penaikan bagian struktural horizontal terbawah setiap 100 tahun berdasarkan elevasi puncak gelombang, penanaman pondasi sedalam mungkin untuk melindungi tiang pancang, desain tegak lurus bagian horizontal bangunan relatif terhadap puncak gelombang tsunami, pemasangan pengaku lateral (balok suai), dan desain sambungan struktural yang mampu menghindari pengapungan, keruntuhan, dan pergerakan horizontal.



**Gambar 8.** Gaya pada bangunan akibat tsunami (kiri) dan solusi desain terhadap tsunami (kanan) (Menteri Pekerjaan Umum, 2009)

Karena tsunami dalam bentuk tenangnya memiliki karakter mirip banjir, maka mitigasi tradisional yang dirancang oleh kearifan lokal untuk mitigasi banjir dapat berlaku pula pada mitigasi tsunami. Kajian oleh Siddiq (2008) pada kasus-kasus keruntuhan rumah tradisional akibat gempa dan tsunami di sejumlah tempat di Indonesia menunjukkan sejumlah fakta penting. Pada kasus Gempa Liwa, 16 Februari 1994, rumah-rumah tradisional yang runtuh disebabkan oleh massa besar terpusat di lantai atas, struktur rangka bawah lemah dan tidak kaku, tidak ada ikatan antara kaki kolom dan pondasi umpak, serta sistem sambungan kolom dan balok tidak kaku dan lemah. Akibatnya, direkomendasikan agar rumah-rumah ini mengakukan kolom-kolom di tingkat bawah dengan memasang balok suai (batang pengaku silang), memperbaiki teknik sambungan kolom bawah dengan kolom atas, menggunakan kayu yang tidak mudah lapuk untuk struktur vertikal dengan berat jenis minimal 0,55, memperbaiki hubungan kaki kolom dengan pondasi, mengikat kaki kaki kolom dua arah, dan memperbaiki hubungan kaki kolom dengan pondasi umpak dengan memasang pelat baja disertai baut sebagai jangkar pengikat. Secara umum, disimpulkan bahwa rumah-rumah tradisional yang lemah terhadap gempa dan tsunami adalah karena mutu kayu yang rendah (lunak, tua, lapuk), lemahnya sistem sambungan antar batang-komponen, dan salah konfigurasi dinding struktural seperti besarnya luas bukaan dan jendela melebihi 50% luas dinding.

Dari tinjauan di atas, dapat dipahami bahwa sebagian besar hunian tradisional, khususnya rumah-rumah Jawa dan Sumatera, memiliki desain yang rawan tsunami. Struktur panggung dapat mudah dihanyutkan tsunami. Pemakaian kayu sebagai bahan utama harus sangat selektif karena pelemahan pada kualitas kayu dapat berakibat fatal bagi rumah ketika diterjang tsunami. Sistem tanpa pasak juga lemah menghadapi tsunami, walau mungkin tidak untuk gempa. Ketika gempa, gaya yang terjadi adalah gaya ayunan yang mendorong sambungan-sambungan untuk saling kunci. Sementara itu, tsunami memberikan gaya satu arah dan dapat mencabut dengan mudah sambungan yang lemah karena tidak dipaku. Begitu pula, rumah-rumah di daerah tropis umumnya memiliki bukaan yang besar untuk menangkap angin dan memaksimalkan ventilasi yang dapat mendinginkan bagian dalam rumah. Walau dari segi kesehatan hal ini sangat baik, tapi dari segi mitigasi bencana tsunami, hal ini justru menjadi malapetaka karena melemahkan struktur dan memudahkan rumah untuk hancur.

Jika dibandingkan dengan tipe bencana lainnya, masyarakat tradisional paling kurang memiliki kearifan lokal untuk menghadapi bencana tsunami. Hal ini wajar karena tsunami adalah peristiwa yang lebih langka dibandingkan angin puting, gempa, dan banjir. Cakupan dari tsunami juga lebih sempit, hanya pada hunian-hunian di kawasan pesisir. Malahan, ketimbang melakukan rekayasa arsitektur, masyarakat menimbulkan kearifan lokal yang berbentuk perilaku, seperti mengidentifikasi tanda-tanda tsunami dan mengungsi ke dataran tinggi. Solusi ini dapat dipandang sebagai solusi yang lebih arif, mengingat upaya membangun ketahanan terhadap tsunami dapat mereduksi ketahanan terhadap bencana lainnya seperti gempa. Hal ini sebenarnya dapat dibantu

dengan arsitektur seperti pembuatan menara pengungsian di daerah pesisir. Sayangnya, hal ini tidak ditemukan, pada masyarakat di Indonesia.

### ***Teori Konstruksi Rumah Tahan Bencana***

Tinjauan di atas menunjukkan bahwa suatu rumah tahan bencana tidak dapat dibuat secara universal. Sejumlah solusi ketahanan pada satu jenis bencana, dapat menjadi sumber masalah ketika dihadapkan pada bencana lainnya. Tabel berikut menunjukkan apa saja keunggulan serta kelemahan dari masing-masing solusi terhadap jenis bencana tertentu. Sebagai akibat dari solusi parsial ini, pembangunan rumah tahan bencana harus difokuskan pada satu bencana tertentu saja. Agar optimal, setiap daerah harus disurvei mengenai apa saja potensi bencana yang dapat terjadi dan desain diarahkan pada bencana dengan potensi terbesar. Jika potensi dari semua bencana besar, solusi dari rumah-rumah tradisional tidak dapat diterapkan dan harus menggunakan solusi yang lebih modern.

**Tabel 2. Solusi Vernakular terhadap bencana**

<b>Bencana</b>	<b>Solusi</b>	<b>Kelemahan</b>	<b>Prototipe</b>
Puting beliung	Atap tipe mansard	Belum teridentifikasi	Rumah Sasak, Lombok
	Desain panggung	Rentan rubuh karena gempa dan tsunami (kecuali menggunakan balok suai)	Rumah-rumah di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi
Banjir	Desain panggung	Rentan rubuh karena gempa dan tsunami (kecuali menggunakan balok suai)	Rumah-rumah di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi
	Rumah apung	Bangunan tidak terkendali ketika terjadi gempa atau tsunami karena mudah hanyut dan menabrak bangunan lain	Rumah Bugis, Danau Tempe
	Barikade	Pelemahan barikade dapat berakibat longsor kecuali dilakukan pembersihan segera pasca banjir	Rumah Kutai, Tenggarong
	WC apung	WC tidak terkendali ketika terjadi gempa atau tsunami karena mudah hanyut dan menabrak bangunan lain	Rumah-rumah tradisional di tepi sungai besar
	Susunan kayu horizontal pada dinding	Kualitas kayu harus sangat diperhatikan	Umum ditemukan pada rumah-rumah kayu tradisional
	Pancangan dengan tumbukan sama pada setiap kolom	Kualitas kayu harus sangat diperhatikan	Umum ditemukan pada rumah-rumah kayu tradisional
	Penggunaan kayu tahan air	Sudah semakin langka ditemukan	Umum ditemukan pada rumah-rumah kayu tradisional yang ideal
	Konstruksi kalang sunduk	Belum diketahui	Rumah Kutai, Tenggarong
	Balok suai	Belum diketahui	Rumah Kuta, Tenggarong; Ibeiya, Pegunungan Arfak;
Gempa	Massa bagian atas paling ringan	Risiko tertiuip angin jika terlalu ringan	Rumah Basemah, Pagaralam
	Balok suai	Belum diketahui	Rumah Kutai, Tenggarong; Ibeiya, Pegunungan Arfak;
	Sistem tumpuan rol	Kualitas kayu harus sangat diperhatikan	Rumah Joglo, Jawa; Rumah Basemah, Pagaralam
	Sambungan lidah alur,	Belum diketahui	Rumah Joglo, Jawa
	Konfigurasi soko-soko emper terhadap soko	Kontroversial; Siddiq (2008) menganggap ini justru sebagai	Rumah Joglo, Jawa

Bencana	Solusi	Kelemahan	Prototipe
	guru	kelemahan	
	Tumpang sari/brunjung	Belum diketahui	Rumah Joglo, Jawa
	Umpak batu	Belum diketahui	Rumah Basemah, Pagaram
	Sambungan tanpa paku	Rentan hanyut karena tsunami, banjir besar	Umum ditemukan pada rumah-rumah tradisional
	Simetri	Risiko tsunami dari satu arah	Umum ditemukan pada rumah-rumah tradisional
Tsunami	Balok suai	Belum diketahui	Rumah Kutai, Tenggarong; Ibeiya, Pegunungan Arfak;

Berdasarkan gambaran di atas, dapat dibuat sebuah panduan tentang bagaimana seharusnya mitigasi bencana berbasis struktural dilakukan dengan menerapkan pengetahuan lokal. Panduan ini ditunjukkan pada Tabel berikut. Rumah tahan bencana dengan model ini mungkin memiliki kinerja yang lebih rendah atau justru lebih baik dari rumah tahan bencana modern berbasis beton. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut menggunakan simulasi untuk memeriksa kemampuan dari panduan rumah tahan bencana tradisional ini dibandingkan dengan model rumah tahan bencana modern.

**Tabel 3.** Panduan mitigasi bencana berbasis struktural dengan penerapan pengetahuan lokal

Struktur	Solusi	Modifikasi pada bangunan lokal	Ketahanan Bencana
Atap	Atap tipe mansard	Pelandaian kemiringan atap dan pemanjangan sisi bawah atap	Puting beliung
	Massa bagian atas paling ringan	Redistribusi massa bangunan	Gempa
Tengah	Susunan kayu horizontal pada dinding	Redesain pola penyusunan kayu dinding dan penggantian kayu dengan kayu tahan air	Banjir
	Sambungan tanpa paku tetapi diikat dengan rotan	Tidak perlu desain ulang jika rumah sudah menggunakan pasak tetapi kekuatan pasak harus diperiksa ulang	Gempa
	Simetri	Periksa desain keseluruhan rumah dan lakukan modifikasi dengan penambahan atau penghilangan atau reduksi pada bagian-bagian yang merusak simetri	Gempa
Bawah	Desain panggung dikombinasi dengan balok suai	Pemasangan balok suai pada tiang panggung	Banjir, puting beliung, gempa, tsunami
	Rumah apung	Pemasangan struktur rakit bambu di bawah rumah yang bertindak sebagai semacam perahu penyelamat ketika struktur panggung gagal menahan air	Banjir, tsunami
	Barikade	Pemasangan barikade di sekitar rumah	Banjir
	Pancang dengan tumbukan sama pada setiap kolom	Uji kekuatan dan penyesuaian	Banjir
	Konstruksi kalang sunduk, umpak batu, dan sistem tumpuan rol	Pemasangan ulang tiang panggung dengan meningkatkan kualitas kayu	Banjir, gempa, tsunami

## Simpulan

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi kecil namun signifikan pada teori konstruksi rumah tahan bencana dengan menggunakan prinsip vernakuler secara kritis dan mengkonversinya menjadi panduan tentang bagaimana seharusnya mencapai tujuan mitigasi bencana. Penelitian ini menambah teori konstruksi rumah tahan bencana dengan mengintegrasikan kearifan lokal, yang jarang dicakup dalam desain rumah tahan bencana, dengan

mempertimbangkan aspek multi-bencana. Penelitian ini juga memberikan panduan yang komprehensif, diperkuat dengan sejumlah indikator, untuk memandu desain rumah tahan bencana berbasis lokal. Penerapan model ini secara empiris mengisi gap dalam pemikiran desain masa kini di Indonesia mengenai bagaimana tujuan desain dapat tercapai dengan memanfaatkan sumber daya dan kearifan lokal. Dengan menerapkan kearifan lokal yang telah ada, desain dapat dibuat dengan biaya minimal namun dengan penerimaan kultural yang kuat. Secara khusus, hal ini akan melestarikan pula desain rumah vernakuler yang terancam punah dengan sedikit modifikasi.

#### Daftar Pustaka

- Amri, S. B., Syukur, L. O. A., & Amsyar, S. (2017). Identifikasi Pola Angin dan Gaya Hambat pada Atap Miring. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (pp. 1–2).
- Arya, A. S., Boen, T., & Ishiyama, Y. (2014). *Guidelines for Earthquake Resistant Non-Engineered Construction*. Paris: UNESCO.
- Asti, A. F. (2012). Bencana Alam dan Budaya Lokal: Respons Masyarakat Lokal terhadap Banjir Tahunan Danau Tempe di Kabupaten Wajo, Propinsi Sulawesi Selatan. In *Annual International Conference on Islamic Studies XIII* (pp. 1429–1445).
- Aydın, F., & Coskun, M. (2010). Observation of the students' " earthquake " perceptions by means of phenomenographic analysis ( primary education 7th grade – Turkey ). *International Journal of the Physical Sciences*, 5(8), 1324–1330.
- BNPB. (2019). Data Informasi Bencana Indonesia. Retrieved February 16, 2019, from <http://bnpb.cloud/dibi/laporan4>
- Boen, T. (2001). Earthquake Resistant Design of Non-Engineered Buildings In Indonesia. In *EQTAP Workshop IV*. Kamakura.
- Bradley, A. A., & Potter, K. W. (1992). Flood Frequency Analysis of Simulated Flows. *Water Resources Research*, 28(9), 2375–2385.
- BSNI. SNI 1726:2012 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (2012). Indonesia.
- Fitriani, F. (2016). Pengelompokan Data Angin Puting Beliung dengan Menggunakan LVQ. *Wahana*, 66(1), 49–53.
- Hematang, Y. I. P., Setyowati, E., & Hardiman, G. (2014). Kearifan lokal Ibeiya dan Konservasi Arsitektur Vernakular Papua Barat. *Indonesian Journal of Conservation*, 3(1), 16–25.
- Hidayati, Z., & Octavia, C. (2013). Studi Adaptasi Rumah Vernakular Kutai terhadap Lingkungan Rawan Banjir di Tenggarong. *Dimensi: Journal of Architecture and Built Environment*, 40(2), 89–98. <https://doi.org/10.9744/dimensi.40.1.89-98>
- Idham, N. C. (2011). *Seismic Vulnerability Assessment In Vernacular Houses : The Rapid Visual Screening Procedure for Non Engineered Building with Application to Java Indonesia*. Eastern Mediterranean University.
- Jigyasu, R. (2002). *Reducing Disaster Vulnerability through Local Knowledge and Capacity: The Case of Earthquake Prone Rural Communities in India and Nepal*. Norwegian University of Science and Technology.
- Kementerian Pekerjaan Umum. SNI - 1726 - 2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung (2002).
- Madiasworo, T. (2009). Revitalisasi Nilai-Nilai Kearifan Lokal Kampung Melayu Semarang dalam Pembangunan Berkelanjutan. *Local Wisdom*, 1(1), 10–18.
- Menteri Pekerjaan Umum. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No . 06 / PRT / M / 2009 tentang Pedoman Perencanaan Umum Pembangunan Infrastruktur di Kawasan Rawan Tsunami (2009).
- Pawitro, U. (2011). Prinsip-Prinsip Kearifan Lokal dan Kemandirian Berhuni pada Arsitektur Rumah Tinggal Suku Sasak di Lombok Barat. In *Symposium Nasional RAPI X FT UMS* (pp. 1–9).
- Petal, M., Green, R., Kelman, I., Shaw, R., & Dixit, A. (2008). Community-based construction for disaster risk reduction. In *Hazards and the built environment: Attaining built-in resilience* (pp. 191–217).

- Prihatmaji, Y. P. (2007). Perilaku Rumah Tradisional Jawa “Joglo” terhadap Gempa. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 35(1), 1–12.
- Pudjisuryadi, P., Lumantarna, B., & Lase, Y. (2007). Base Isolation in Traditional Building: Lesson Learned from Nias March 28, 2005 Earthquake. In *EACEF-The 1st Int Conference of European Asian Civil Engineering Forum* (pp. 242–247). Jakarta: Universitas Pelita Harapan.
- Purwanto, L. M. F., & Gayatri, C. S. (2007). Arsitektur Vernakular Nabire dan Kondisi Nabire Pasca Gempa. *Dimensi Teknik Arsitektur*, 35(1), 13–22.
- Rinaldi, Z., Purwantiasning, A. W., & Nur’aini, R. D. (2015). Analisa Konstruksi Tahan Gempa Rumah Tradisional Suku Basemah di Kota Pagaralam Sumatera Selatan. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi* (pp. 1–10). Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Siddiq, S. (2008). Bangunan tahan gempa berbasis standar nasional indonesia. *Jurnal Standarisasi*, 8(2), 80–97.
- Silva, K. D. (2012). Resettlement Housing Design: Moving Beyond the Vernacular Imagery. *South Asia Journal for Culture*, 5&6, 117–135.
- Sukawi, & Zulfikri. (2010). Adaptasi Arsitektur Sasak terhadap Kondisi Iklim Lingkungan Tropis. *Berkala Teknik*, 1(6), 339–346.
- Triana, D., Hadi, T. S., & Husain, M. K. (2017). Mitigasi Bencana Melalui Pendekatan Kultural Dan Struktural. In *Prosiding Seminar Nasional XII “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi”* (pp. 379–384).
- Triyadi, S., & Harapan, A. (2011). Lesson learnt from vernacular houses of Rurukan and Tonsealama at Minahasa to cope the earthquake. *Asian Transactions on Science & Technology*, 1(5), 14–21.
- Widosari. (2010). Mempertahankan Kearifan Lokal Rumoh Aceh dalam Dinamika Kehidupan Masyarakat Pasca Gempa dan Tsunami. *Local Wisdom*, 2(2), 27–36.
- Zain, Z. (2012). Analisis Bentuk dan Ruang pada Rumah Melayu Tradisional di Kota Sambas. *NALARs*, 11(1), 39–62.