LONGSORAN, TSUNAMI, DAN LIKUIFAKSI AKIBAT GEMPA DAN DAMPAKNYA BAGI INDONESIA

SINERGI PENGELOLAAN RISIKO MENUJU PERMUKIMAN TANGGUH BENCANA GEMPA

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

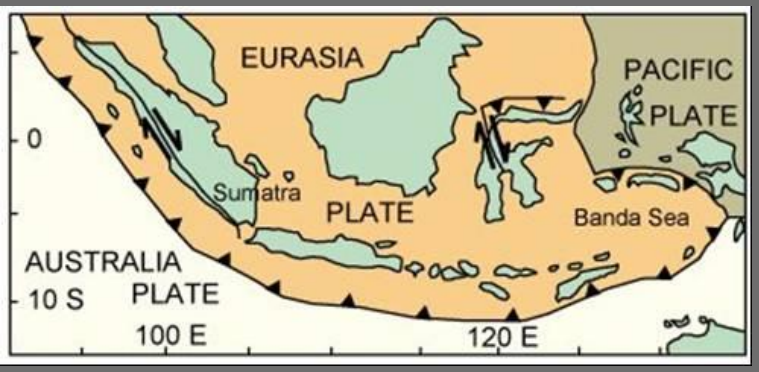
Jakarta, 21 November, 2018

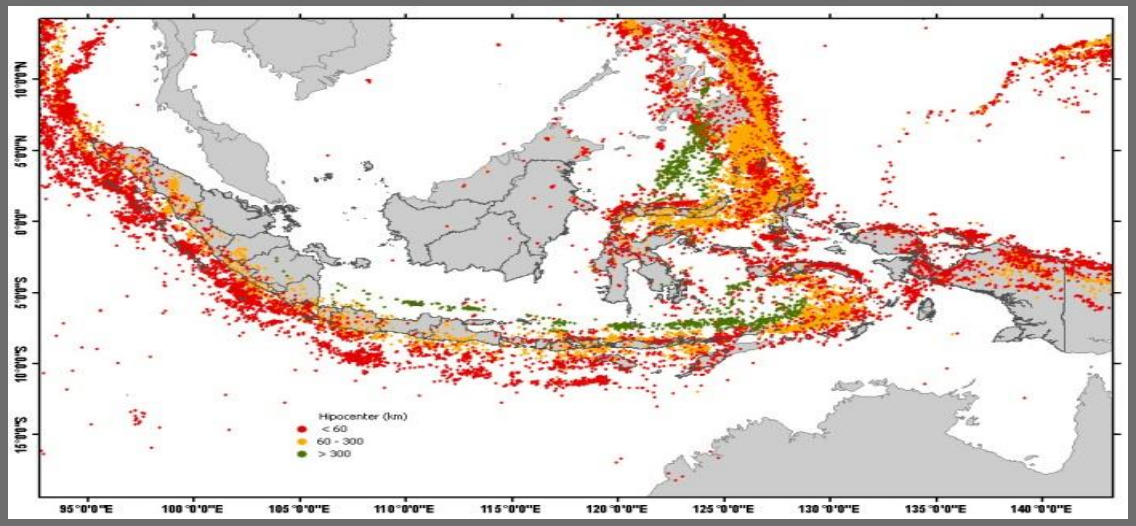
OUTLINE PRESENTASI

1. **Gambaran Umum Hazard dan Risiko Bencana Gempa, Tsunami, Likuifaksi, dan Longsor di Indonesia**
2. **Pentingnya Peta hazard Gempa dalam Perencanaan Pembangunan Permukiman**
3. **Perencanaan dan Mitigasi Bencana dalam Proses Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana dalam Konteks Pembangunan Permukiman.**
4. **Pembelajaran dari Pemulihan Daerah terdampak Bencana**
5. **Beberapa Catatan dan Rekomendasi**

1. Gambaran Umum Hazard dan Risiko Bencana Gempa, Tsunami, Likuifaksi, dan Longsor di Indonesia

Kejadian Gempabumi Sejak 26 tahun terakhir di Indonesia





- Flores, (+Tsunami) Desember 1992 (M=6.8)
- Banyuwangi, (+Tsunami) 1994
- Liwa, Feb. 1994 (M = 6.5)
- Kerinci, 1995
- Jambi, October 1995
- Biak, February 1996
- Mangole, Maluku, 1998 (Mw=7.7)
- Bengkulu, June 4, 2000 (Mw=7.9)
- Banggai, Sulawesi, 2000
- Sukabumi, 2000
- Pandeglang, 2000 dan 2001
- Nabire, 2004; M=6.5
- Karangasem, Bali, 2004
- Nabire, 2004, M=6.5
- Karangasem, Bali, 2004
- Bengkulu, 2004, M=7.4
- Padang Panjang, 2004, M=6.0
- Alor-NTT, Nov 2004, M=6-7
- **Aceh, (+Tsunami) 26 Desember, 2004, Mw=9.2**
- Sulawesi, 19 Februari, 2005, M= 6.5
- Nias, 28 Maret 2005, Mw=8.7
- Padang (Mentawai), 10 April 2005, M=6.7
- Yogyakarta, 27 Mei 2006, Mw=6.3
- Pangandaran, (+Tsunami) 17 Juli 2006, Mw=7.2
- Ujung Kulon, 19 Juli 2006, ML=6.2
- Gorontalo, 23 Juli 2006, ML=6.6
- Sumatra Barat, Maret 2007
- Indramayu, 9 Agustus 2007, Mw=7.5
- Bengkulu, 12 September 2007, Mw=8.4
- West Java, 2 September 2009, Mw=7.0
- WestSumatra, 30 September 2009, Mw=7.6
- Sungai Penuh, 1 Oktober, 2009, M=7.0
- Mentawai, 25 October 2010, Mw=7.2
- Jawa Barat, 15 Desember 2017, Mw=6.9
- Lombok, 29 Juli 2018 Mw 6.4;
- Gempa Jawa Barat, 15 Desember 2017, Mw=6.9
- Lombok, 5 dan 19 Agustus 2018, Mw=7.0
- Palu, 28 September 2018, Mw=7.4

Dua kejadian gempa besar telah terjadi di Indonesia dalam tahun 2018:

(1) Gempa Lombok dengan sumber patahan Flores-Back-Arc (29 Juli 2018 Magnitudo (M)6.4, 5 Agustus M7.0, dan 19 Agustus M7.0), dan

(2) Gempa Sulawesi Tengah dari sumber patahan Palu-Koro 28 September M7.4.

Pengamatan Kerusakan Bangunan Gempa Lombok M7.0, Agustus 2018

Kegagalan Total Bangunan Sekolah

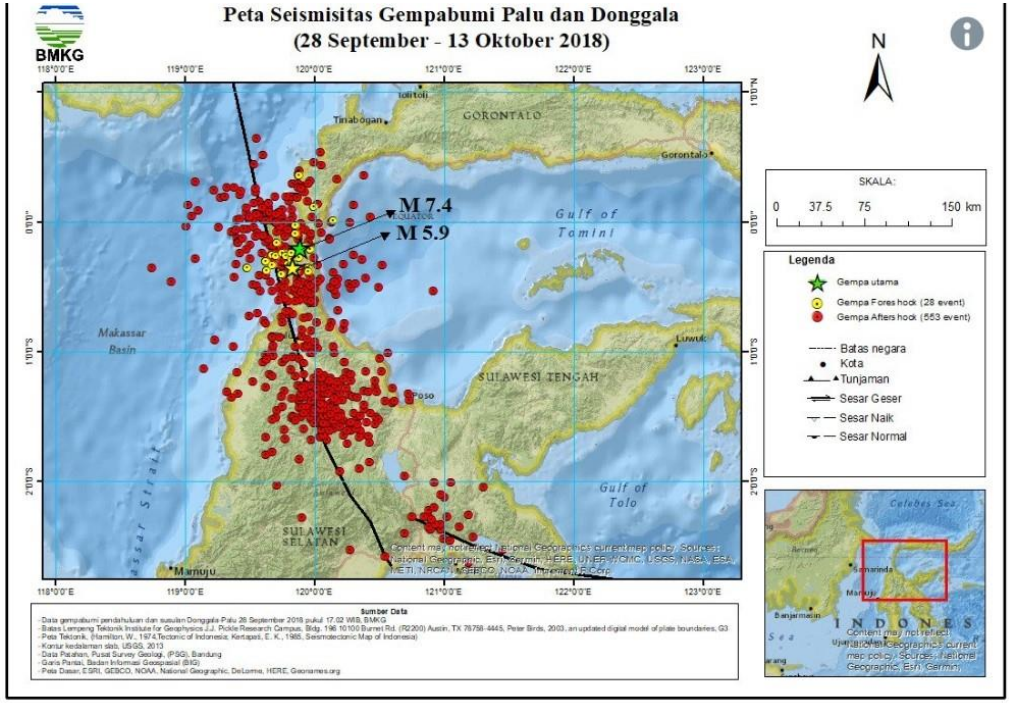
Kerusakan Bangunan Sekolah

Bangunan dengan Kerusakan struktural

Bangunan Sekolah yang hanya rusak ringan

(Sumber: Sengara, IW., Field Survey 2018)

Gempa Palu M 7.4, 28 September 2018; Sumber Patahan Palu-Koro



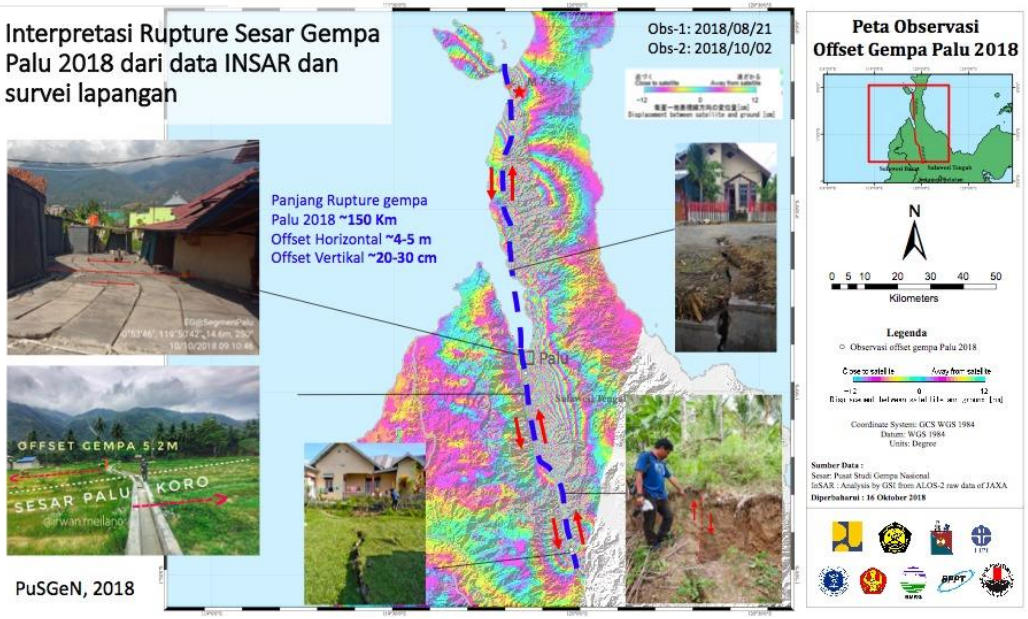
Palu (Lat: -0.89, Long: 119.90)		
Annual Rate of Exceedance	Indonesian hazard Map 2010	Indonesian hazard Map 2017
Return Period (Year)	2500 years	2500 years
PGA	0.86	0.95
Ss	2.20	1.75
S1	0.76	0.79

Mainshock dan Aftershocks gempa Palu M7.4, (28 Sept 2018-13 Oktober 2018). Patahan Palu-Koro (Sumber: BMKG)

Peta Observasi Offset Gempa Palu, M7.4, 28 September 2018.

:Panjang Rupture 150km, Offset Horizontal: 4-5m, Offset Vertical 20-30cm.

(Sumber: PusGen 2018)



Hazard dan Bencana Likuifaksi akibat Gempa Palu

Likuifaksi Balaroa (48Ha)

Likuifaksi Petobo (180Ha)

(Sumber: Sengara, IW., Field Survey 2018)

Hazard dan Bencana Tsunami akibat Gempa Palu

Tsunami di Donggala

Tsunami Teluk Palu

Tsunami Teluk Palu

(Sumber: Sengara, IW., AARGI Field Survey 2018)

Gambaran Kondisi Bangunan akibat Gempa Palu, M7.4 Sept 2018

Bangunan runtuh

Bangunan Rumah Sakit yang Utuh

Bangunan Hotel runtuh di sebelah Gereja yang Utuh

Bangunan yang Utuh

(Sumber: Sengara, IW., AARGI Field Survey 2018)

Beberapa Catatan Tentang Kejadian Gempa dan Kerusakan Bangunan Akibat Gempa di Indonesia (1)
(Hasil Survey Rekonesans Pasca Bencana Gempa)

- Sebagian besar infrastruktur di Indonesia berada pada lokasi yang rawan *hazard* gempa (Surahman dkk., 2008)
- Gempa Aceh 2004, Nias 2005, dan Yogyakarta tahun 2006 mencatat beberapa keruntuhan, kerusakan struktur maupun non-struktur pada bangunan tinggi (*engineered-building*).
- Gempa Sumatra Barat 2009 telah menyebabkan lebih dari 700 bangunan rusak berat dan sekitar 2.000 bangunan mengalami rusak sedang dan ringan (BNPB, 2009).
- Pada gempa Lombok, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mendata 606 bangunan sekolah rusak, 72ribu rumah tinggal rusak, serta beberapa bangunan pemerintah mengalami kerusakan.
- Dalam tahun 2018 ini, dana pemerintah sebesar 7,5 trilyun telah keluar untuk bencana Lombok, dan tidak kurang dari nilai ini perlu dikeluarkan untuk Sulawesi Tengah.

Beberapa Catatan Hasil Survey Kerusakan Bangunan Pasa Gempa

- Dengan kondisi kerentanan yang ada, maka ancaman bencana gempa di Indonesia akan tetap ada di masa depan dan beberapa generasi ke depan.
- Pada setiap bencana gempa di Indonesia dalam kurun 25 tahun terakhir yang diamati melalui survey langsung ke lapangan, selalu ditemukan penyebab keruntuhan dan kerusakan bangunan adalah akibat dari *kurangnya pengetahuan masyarakat terhadap bangunan tahan gempa, yaitu kurangnya pengetahuan para pelaku teknis (Konsultan, Kontraktor, Pengawas, Pemberi Ijin), dan Tukang, serta rendahnya kesadaran masyarakat terhadap pentingnya bangunan tahan gempa.*

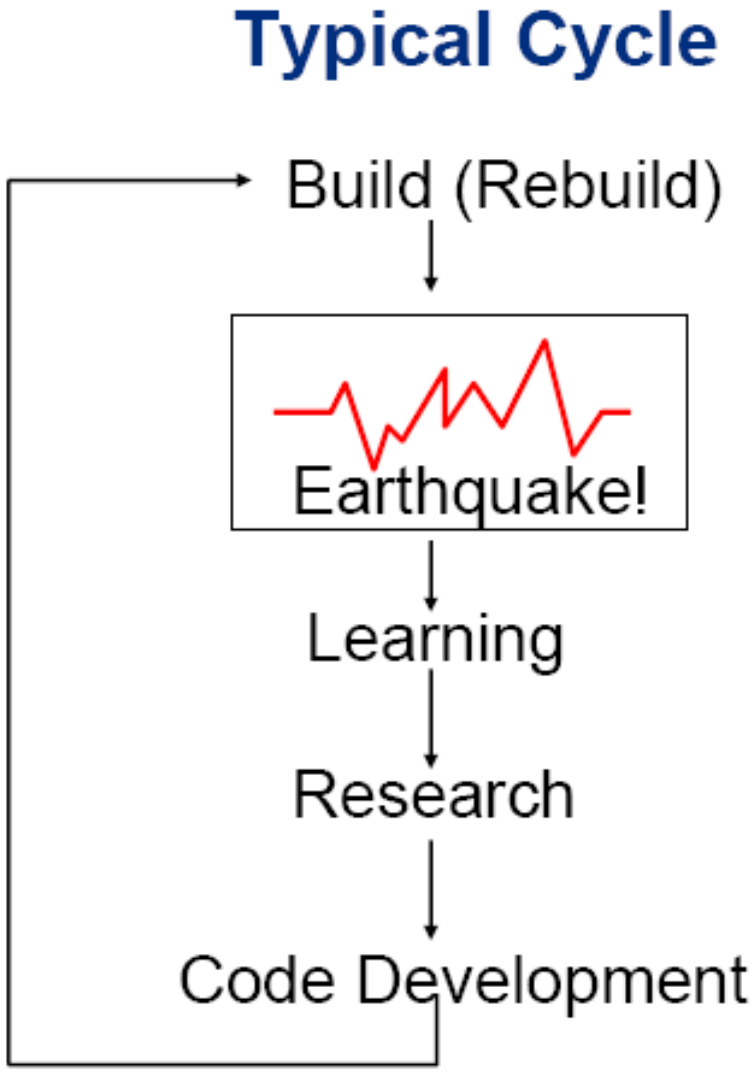
Beberapa Catatan Tentang
Kerusakan Bangunan Akibat Gempa di Indonesia (2)
(Hasil Survey Rekonesans Pasca Bencana Gempa)

Dua Catatan Penting:

- *Dari hasil beberapa survey rekonesans kerusakan bangunan akibat gempa di Indonesia ditunjukkan bahwa secara umum tingkat kerentanan bangunan di Indonesia terhadap gempa relatif tinggi.*
- *Namun demikian, kenyataan menunjukkan cukup banyak bangunan yang dipertimbangkan mengikuti Pedoman dan Peraturan Bangunan Tahan Gempa Indonesia bertahan pada gempa besar.*

2. Pentingnya Peta Hazard Gempa *(dan Potensi Collateralnya)* dalam Perencanaan Pembangunan Permukiman

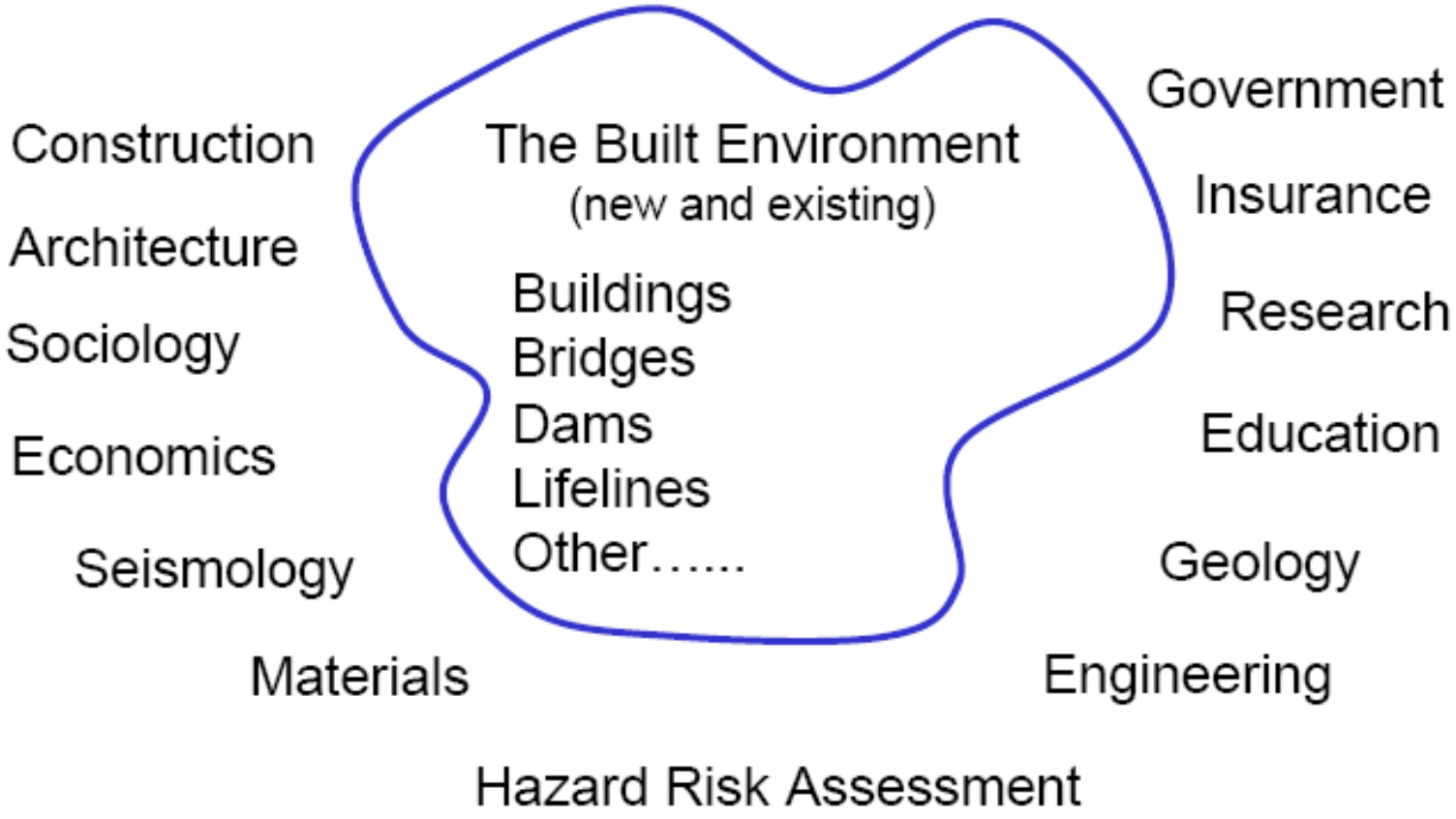
Rantai Risiko Bencana Gempa



Rantai Risiko Bencana Gempa

DRRMP: Disaster Risk Reduction Management Plan

Who Is Involved in Earthquake Hazard Mitigation?

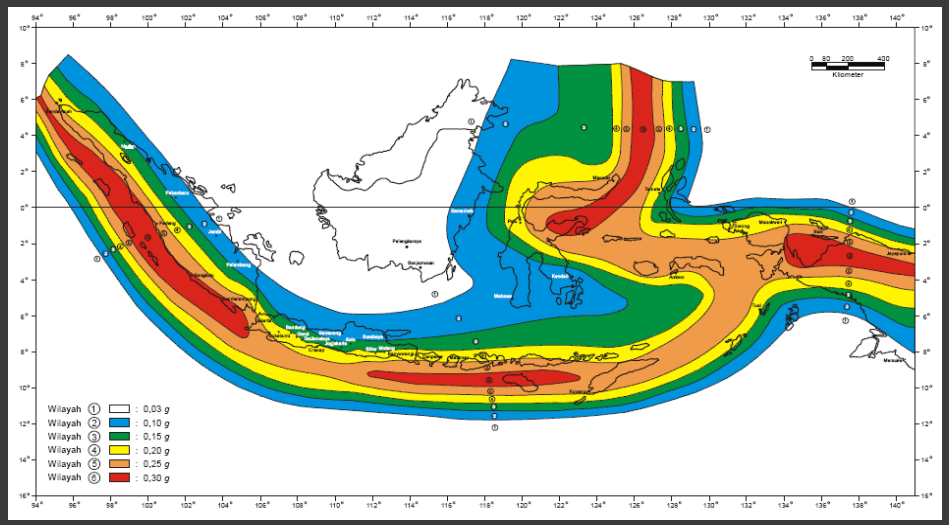


Perlunya Upaya PRB dalam Pembangunan Baru, Rehabilitasi dan Rekonstruksi

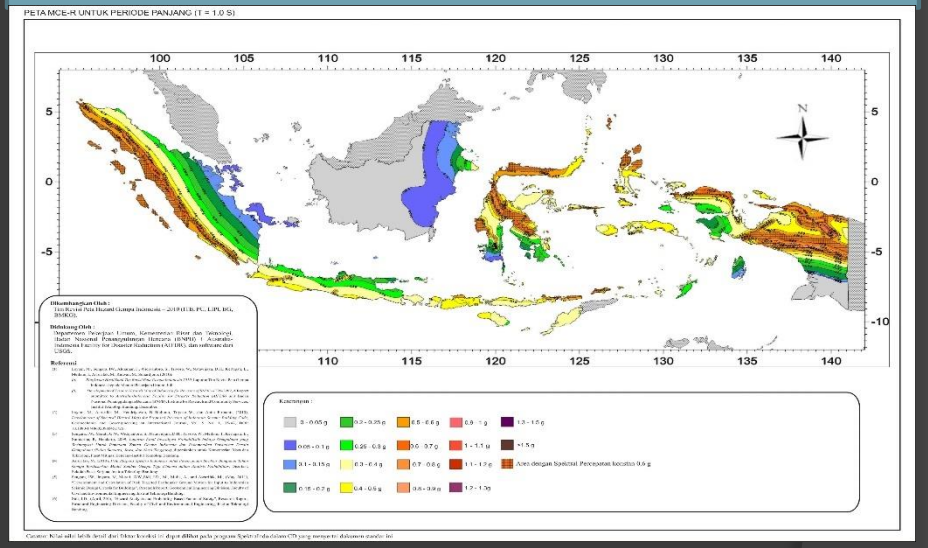
- Tantangan dan tuntutan untuk mewujudkan kualitas bangunan /infrastruktur yang optimum dalam aspek keselamatan *(safety)* dan penghematan biaya *(cost effectiveness)* dalam konstruksi merupakan dua aspek yang selalu perlu diperjuangkan.
- Kondisi ekonomi Indonesia yang masih rendah membatasi terwujudnya konstruksi dengan tingkat kerentanan yang rendah.
- Investasi PRB bukan beban anggaran tapi adalah penghematan anggaran rehabilitasi-rekonstruksi bencana

Update Berkala Peta Hazards dan Collateral Hazards Gempa

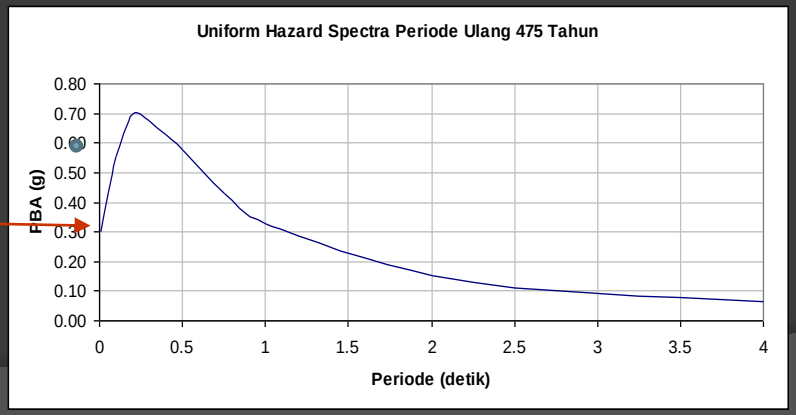
Indonesian Seismic Hazard Map in SNI-03-1726-2002
(10% PE in 50 years, RP=475 years)



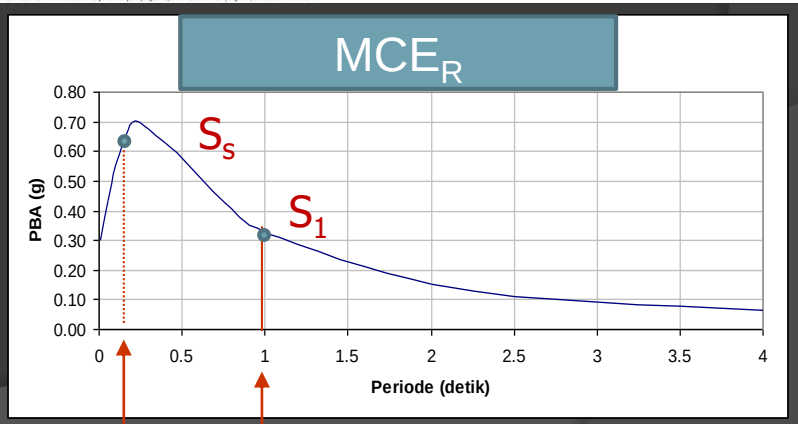
Indonesian Seismic Ground Motions Map in SNI-1726-2012 (1% Probability of Building Collapse in 50 years)



S_{PGA} only



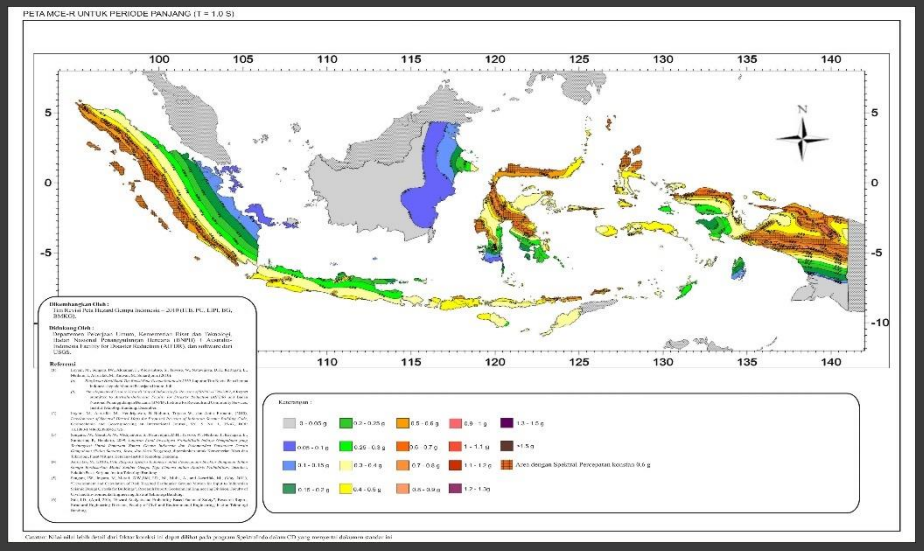
MCE_R



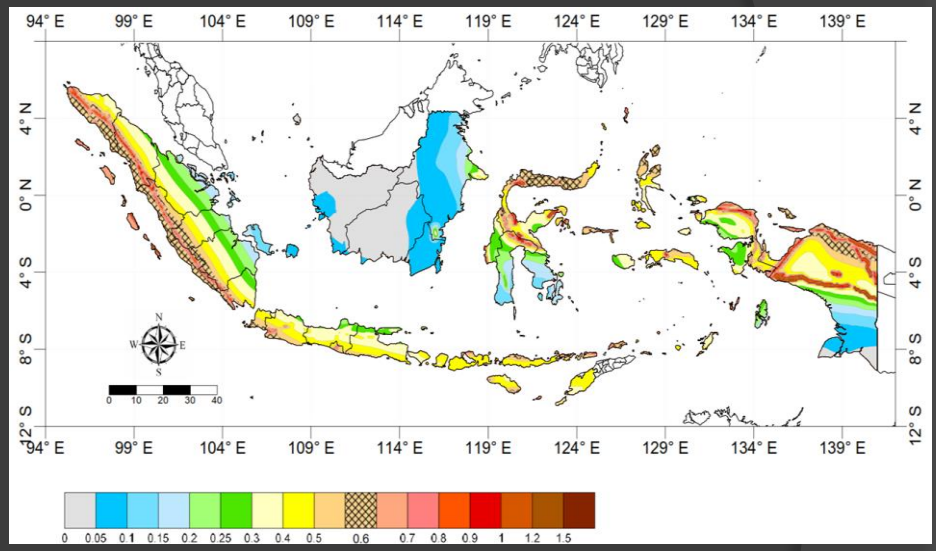
$T_{short\ period}$ T_1 second period

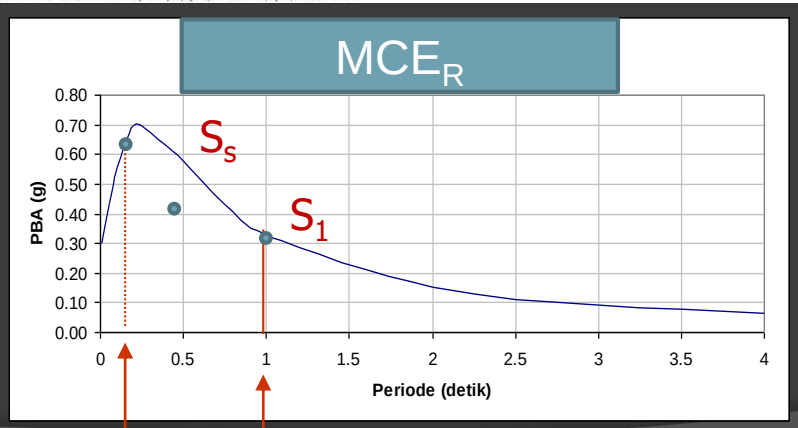
Update Berkala Peta Hazards dan Collateral Hazards Gempa

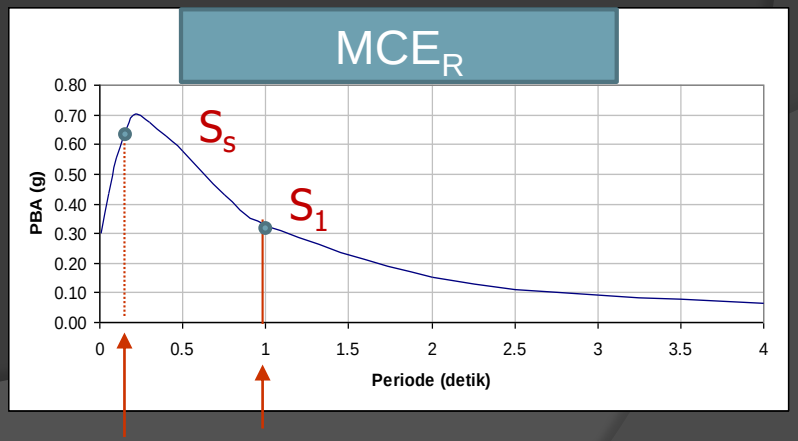
Indonesian Seismic Ground Motions Map in SNI-1726-**2012** (1% Probability of Building Collapse in 50 years)



Indonesian Seismic Ground Motions Map in SNI-1726-**2018** (1% Probability of Building Collapse in 50 years)



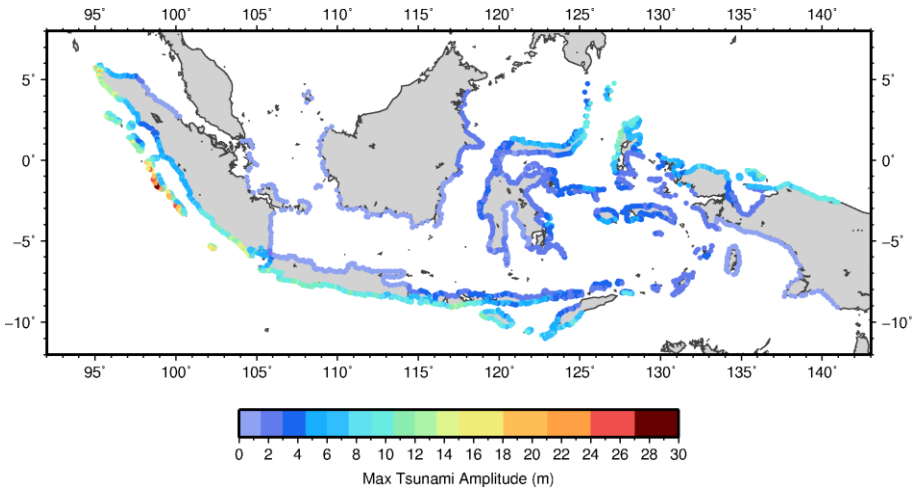




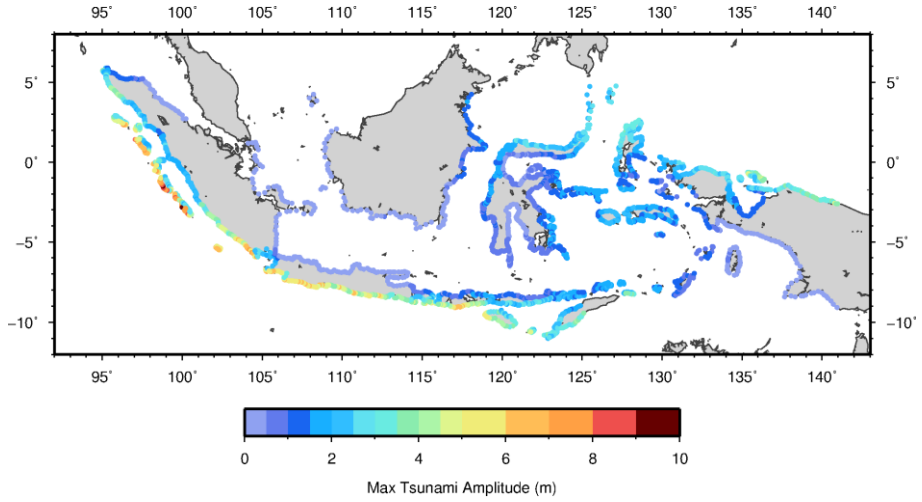
Tsunami Hazard Maps

- Highest hazard along Sunda Arc and North Papua/Sulawesi for short RP's
- Sunda Arc highest hazard for long RP's (Mmax)

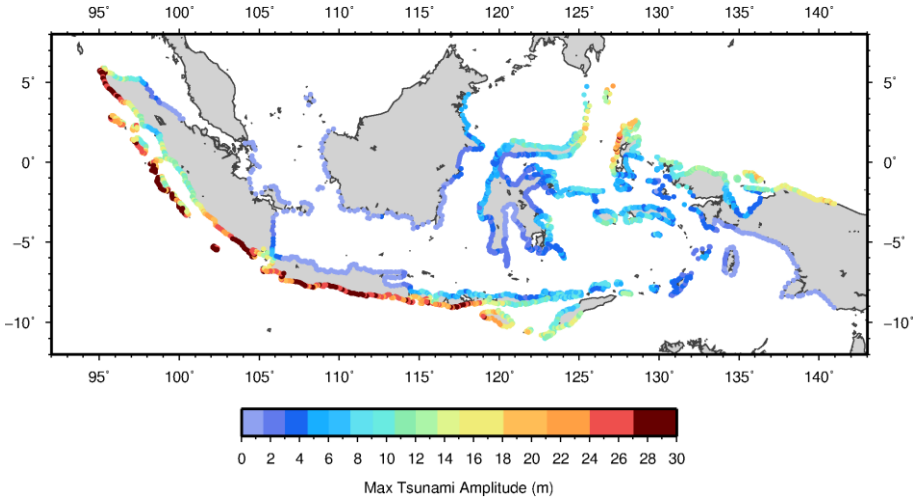
500 year return period



100 year return period



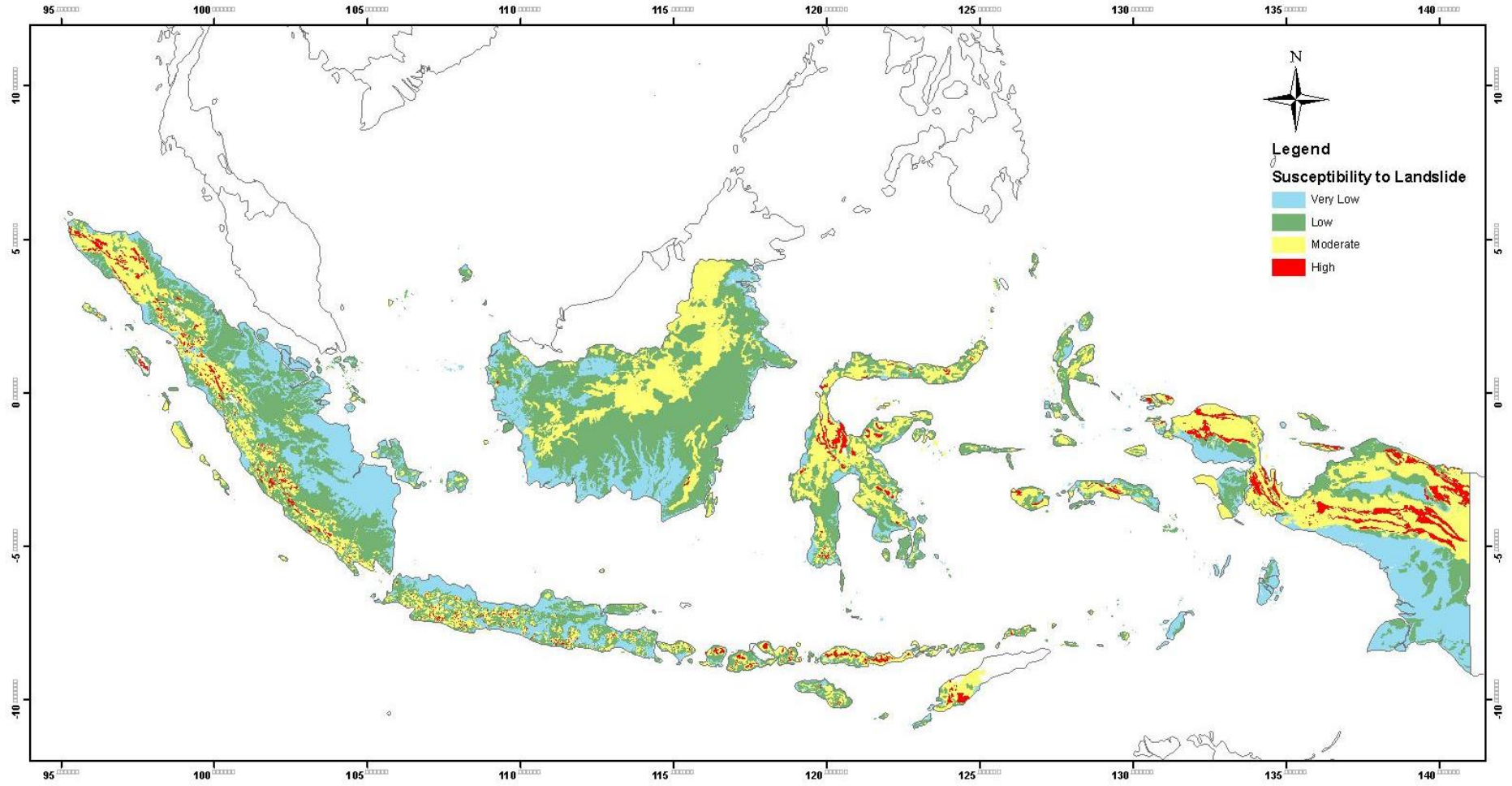
2500 year return period



(Sumber: Latief, H., 2018)

National Tsunami Hazard Assessment for Indonesia – Horspool et al
PIT HAGI Palembang September 2012

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ZONE MAP OF INDONESIA

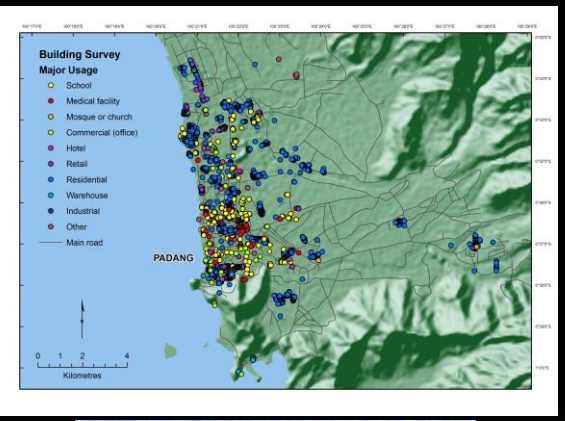


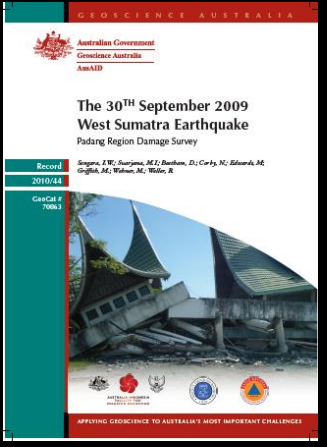
(Djadja and Suparman/CVGHM, 2008)

Perlunya Pengetahuan tentang Kerentanan Bangunan

Post Padang 30S 2009 Earthquake Damage Survey

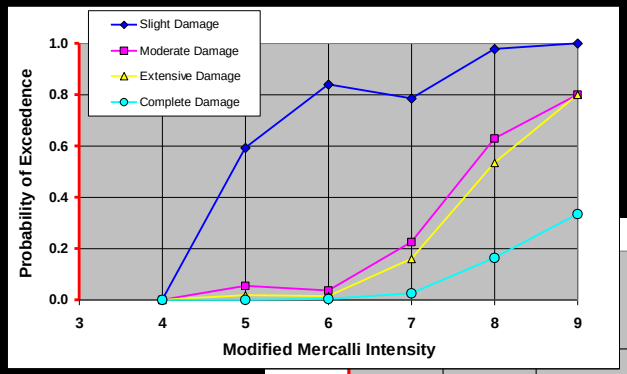
- Partners: ITB, Andalas University, GA
- Post-disaster Survey:
  - 70 Engineers
  - surveyed 4,000 structures
  - covered a broad range of damage and building types

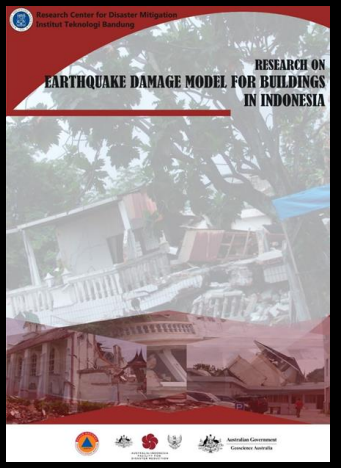




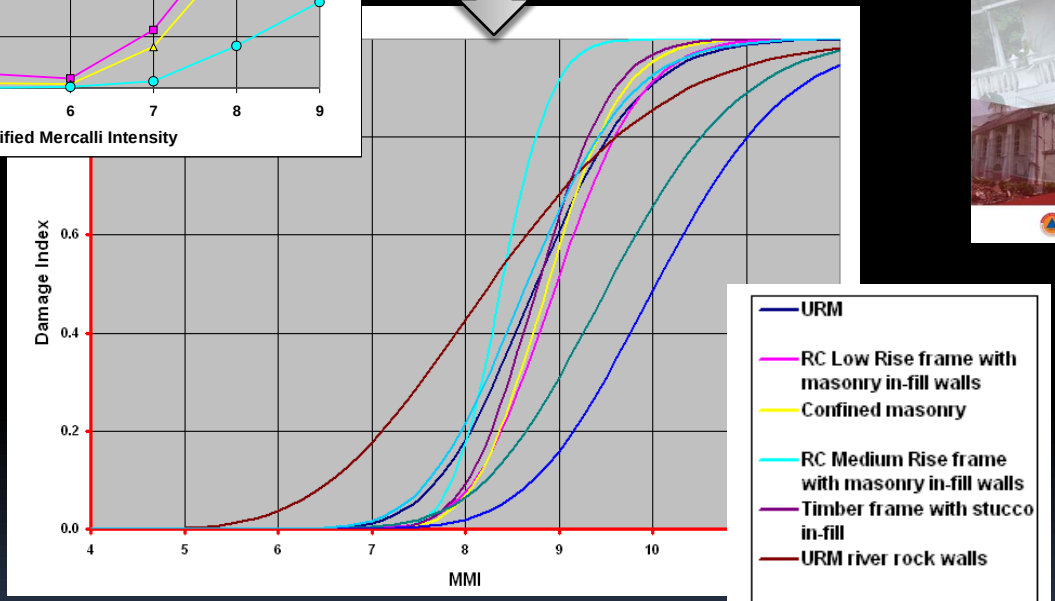
Laporan
Hasil Survey dan Studi Kerentanan Pasca Gempa Padang 2009
(Pusat Mitigasi Bencana ITB-2009-2011)

Results of 2009 Post-Padang Earthquake Survey





Confined Residential Masonry Fragility Curves:



Nine (9) Benchmark Preliminary Building Damage Models Resulted from Padang Survey and Analysis

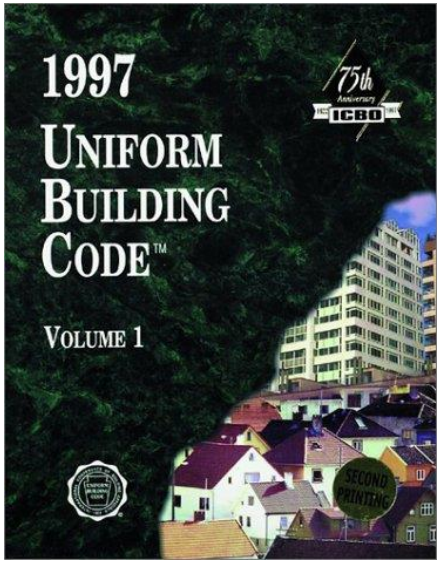
(Sengara et. al., 2010)

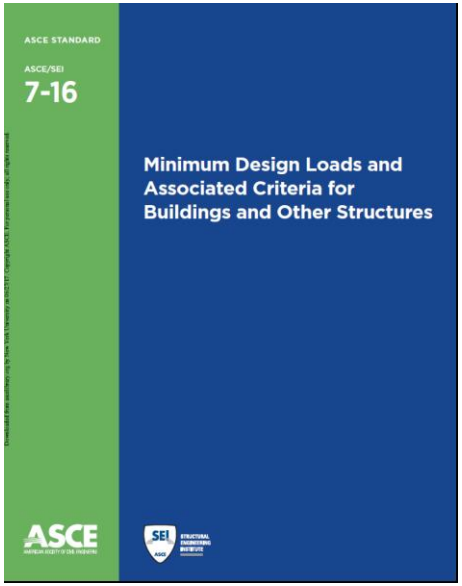
Update Berkala Peraturan Bangunan Tahan Gempa

Transisi

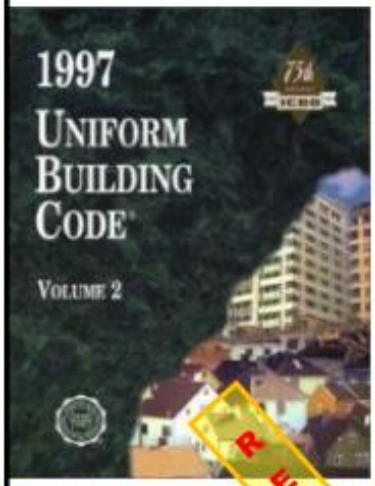
SNI 1726-2002 to SNI 1726-2012 to SNI-1726-2018

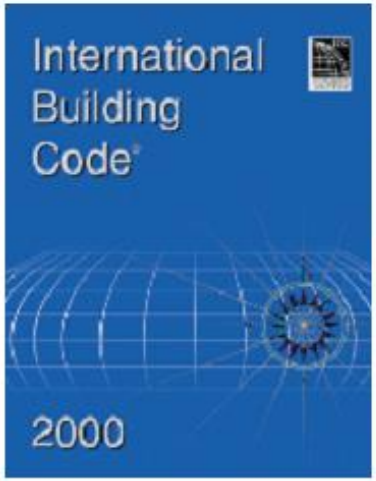
SNI 1726 2002 → SNI 1726 2012 → SNI 1726 **2018**

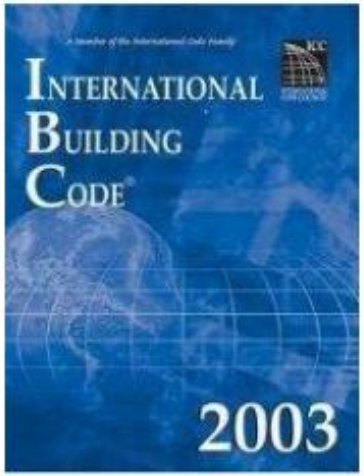


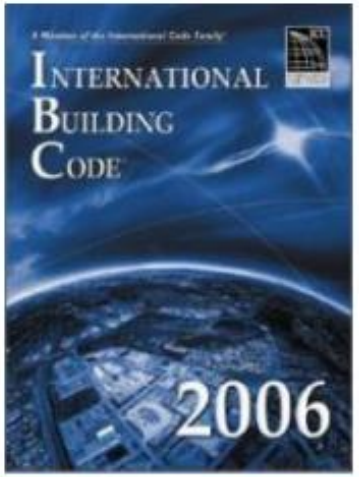


Update Berkala Peraturan Bangunan Tahan Gempa









IBC 2011

1997 2000 2003 2006 2009 2010

REFERENSI

Eartquake Data up to1999

MCE_R, fragility

SNI-1726-2012
SNI-1726-2018

3-D EQ Source Model
NGA, NGA-West2, BC-Hydro

ASCE 7-05
ASCE 7-10
ASCE-7-16

Penyiapan Peraturan Bangunan Tahan Tsunami

Kategori Risiko dan Kriteria Beban Tsunami pada Bangunan perlu disertakan dalam :

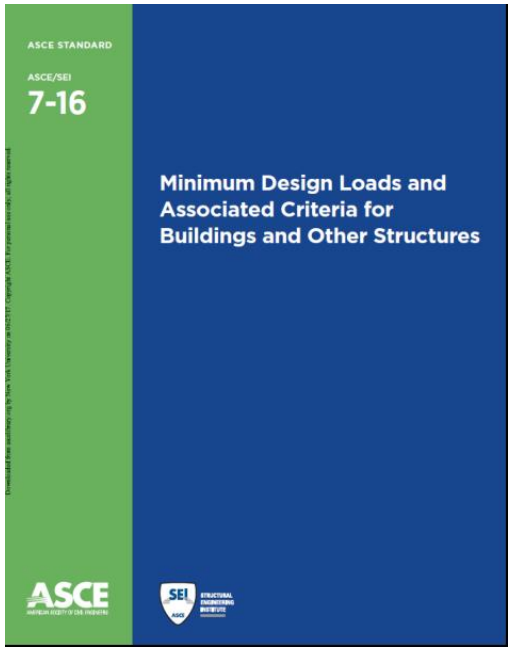
SNI 1726 **2018**

Maximum Considered Tsunami (MCT)

6.1 GENERAL REQUIREMENTS

6.1.1 Scope. The following buildings and other structures located within the Tsunami Design Zone shall be designed for the effects of Maximum Considered Tsunami, including hydrostatic and hydrodynamic forces, waterborne debris accumulation and impact loads, subsidence, and scour effects in accordance with this chapter:

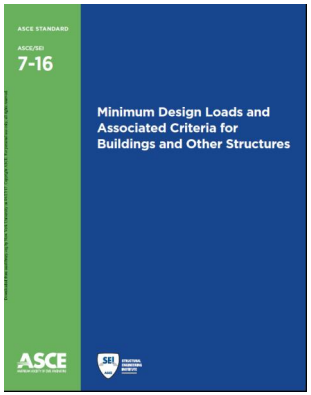
a. Tsunami Risk Category IV buildings and structures;
b. Tsunami Risk Category III buildings and structures with inundation depth greater than 3 ft (0.914 m) at any location within the intended footprint of the structure, and
c. Where required by a state or locally adopted building code statute to include design for tsunami effects, Tsunami Risk Category II buildings with mean height above grade plane greater than the height designated in the statute and having inundation depth greater than 3 ft (0.914 m) at any location within the intended footprint of the structure.



Penyiapan Peraturan Bangunan Tahan Tsunami

Kategori Risiko dan Kriteria Beban Tsunami pada Bangunan perlu disertakan dalam :

SNI 1726 **2018**



6.4 TSUNAMI RISK CATEGORIES

For the purposes of this chapter, Tsunami Risk Categories for buildings and other structures shall be the Risk Categories given in Section 1.5 with the following modifications:

1. Federal, state, local, or tribal governments shall be permitted to include Critical Facilities in Tsunami Risk Category III, such as power-generating stations, water-treatment facilities for potable water, wastewater-treatment facilities, and other public utility facilities not included in Risk Category IV.
2. The following structures need not be included in Tsunami Risk Category IV, and state, local, or tribal governments shall be permitted to designate them as Tsunami Risk Category II or III:
   a. Fire stations, ambulance facilities, and emergency vehicle garages;
   b. Earthquake or hurricane shelters;
   c. Emergency aircraft hangars; and
   d. Police stations that do not have holding cells and that are not uniquely required for postdisaster emergency response as a Critical Facility.
3. Tsunami Vertical Evacuation Refuge Structures shall be included in Tsunami Risk Category IV.

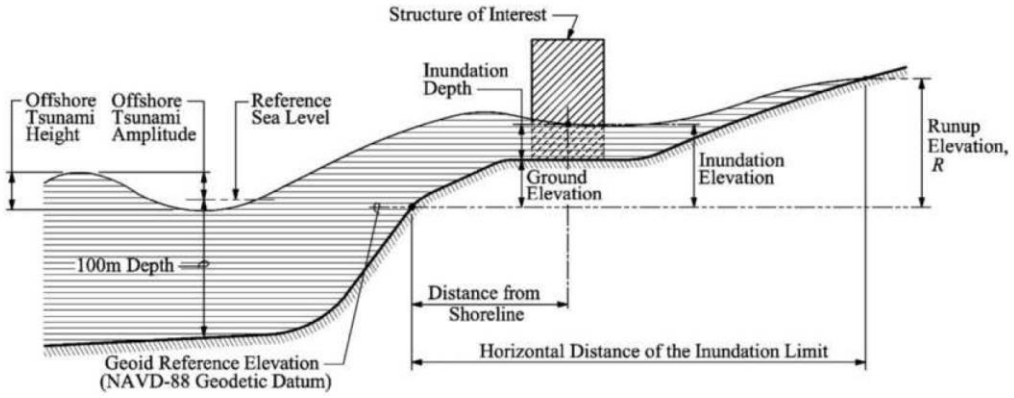


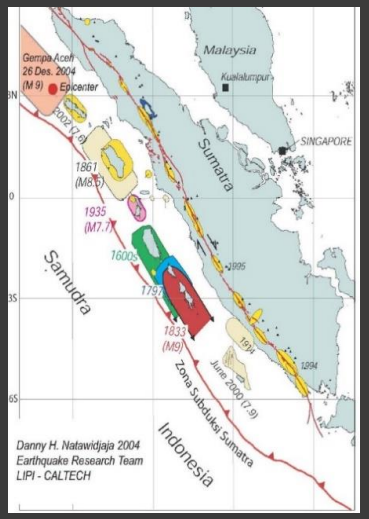
FIGURE 6.2-1 Illustration of Key Definitions along a Flow Transect in a Tsunami Design Zone

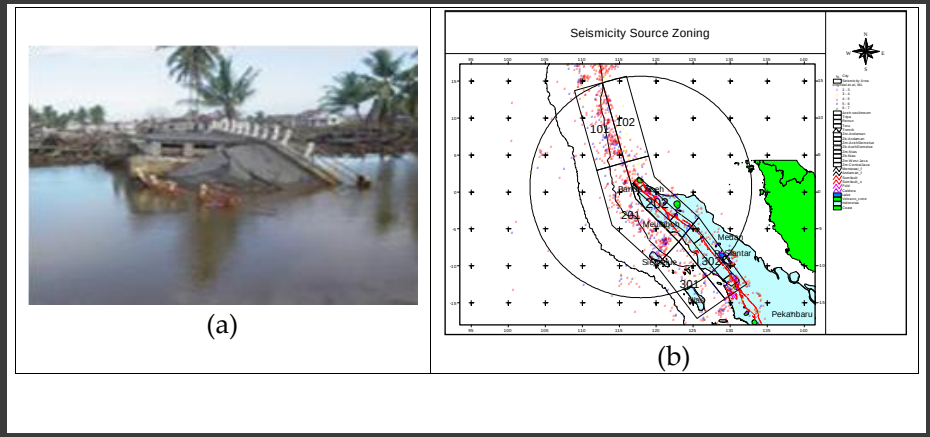
3. Perencanaan dan Mitigasi Bencana dalam Proses Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pasca Bencana dalam Konteks Pembangunan Permukiman

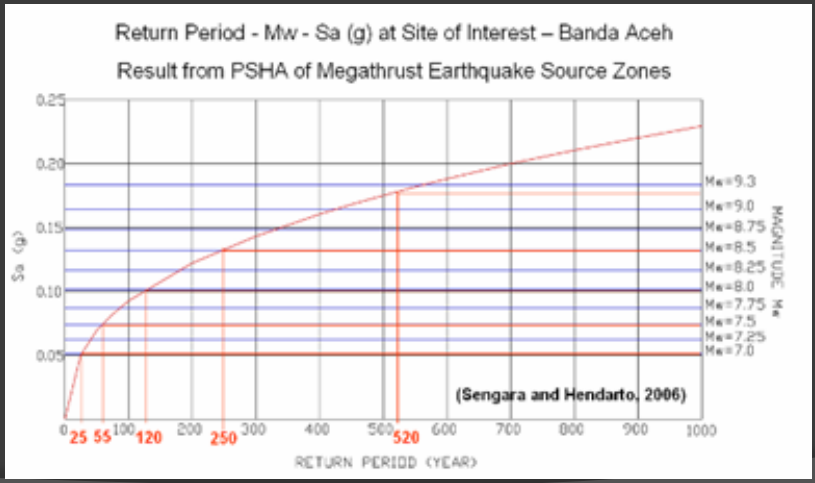
Beberapa catatan penting dalam proses Rehabilitasi-Rekonstruksi

- Ilmu dan teknologi mitigasi bencana gempa dan collateralnya (*tsunami, landslides, dan likuifaksi*) yang saat ini sudah berkembang secara internasional harus cepat diserap dan diaplikasikan dengan penguatan kapasitas pada segala aspek terkait, mulai dari hulu sampai hilir dalam sistem rantai bencana.
- Perhatian perlu ditekankan pada aspek:
  - *Hazard-Based Spatial-Planning,*
  - *Building Codes Compliance and Enforcement,*
  - *Strict Construction Supervision*
- Perlu penyusunan Master-Plan PRB dari suatu Kajian Risiko bencana akibat gempa dan collateral hazards nya, untuk suatu wilayah/kota untuk secara spesifik merumuskan PRB.
- Implementasi Master-Plan secara konsisten

- *Ilustrasi Pengembangan Peta Mikrozonasi Tsunami Kota Banda Aceh melalui PTSHA*
  (Masukan dalam Rehabilitasi dan Rekonstruksi NAD, 2005)





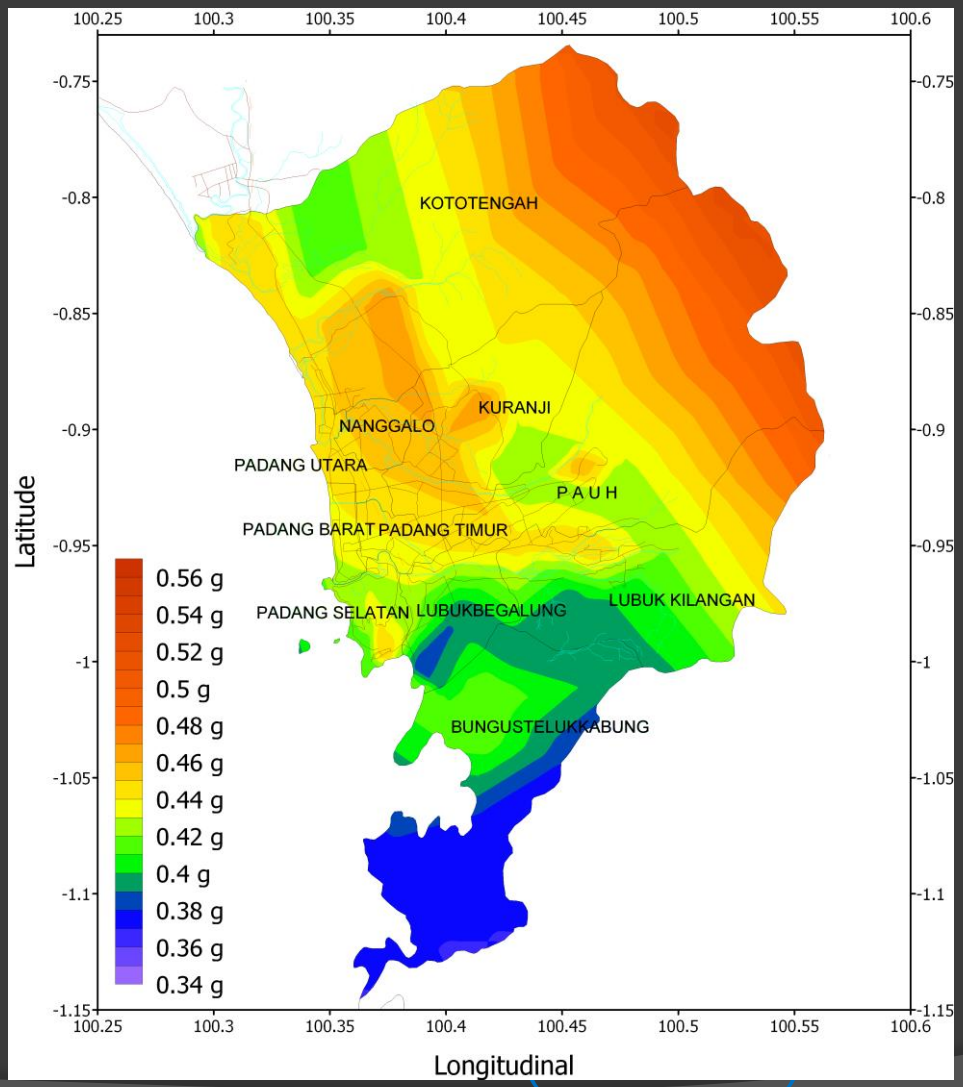


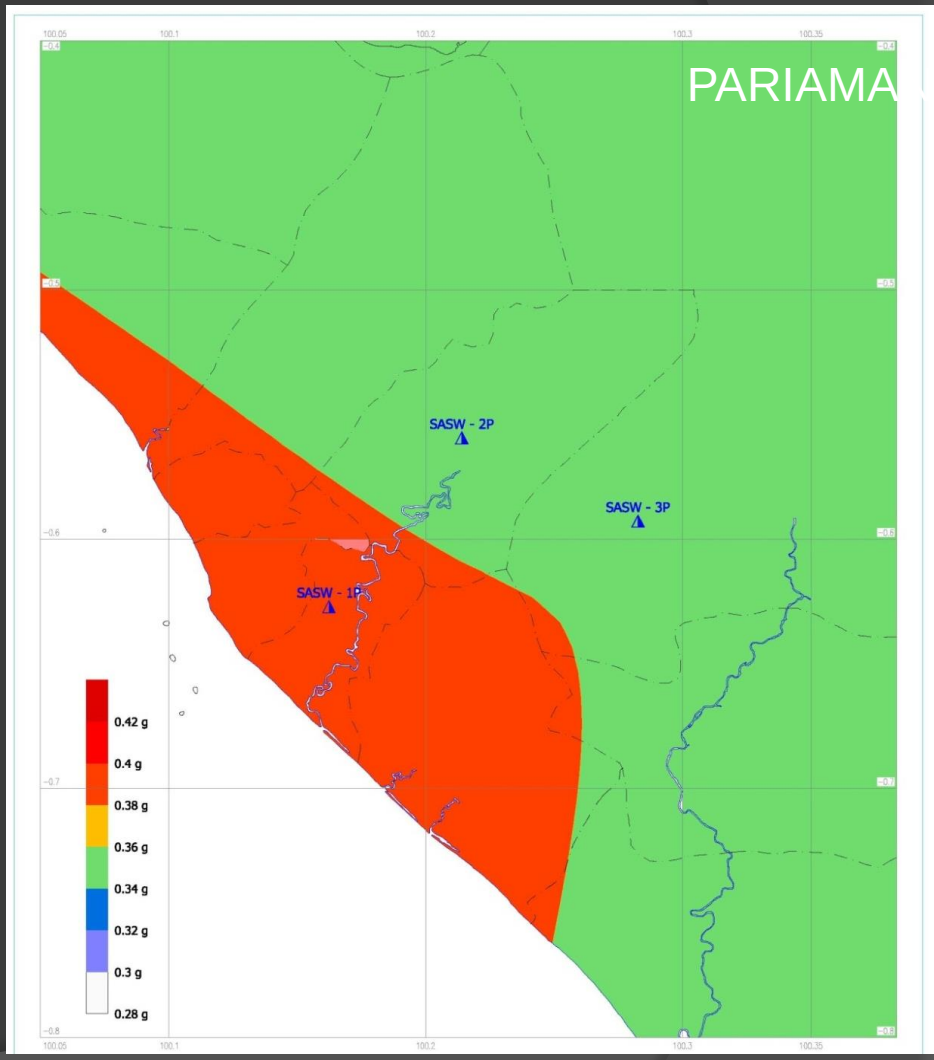
Tabel 1. Summary on results of tsunami wave propagation modeling

Scenario	Moment Magnitude	Return Period (years)	Tsunami Height at Case-Study Site (m)
1	9.3	520	9.2
2	8.5	250	7.2
3	8.0	120	3.4
4	7.5	55	1.5
5	7.0	25	0.5

(Sengara et al., 2005)

Peta Mikrozonasi Kota Padang
Pasca Gempa Sumatra Barat M7.6, 2009





Kontrol Perijinan Bangunan

Mandat UU no. 28 – 2002

Pasal 36

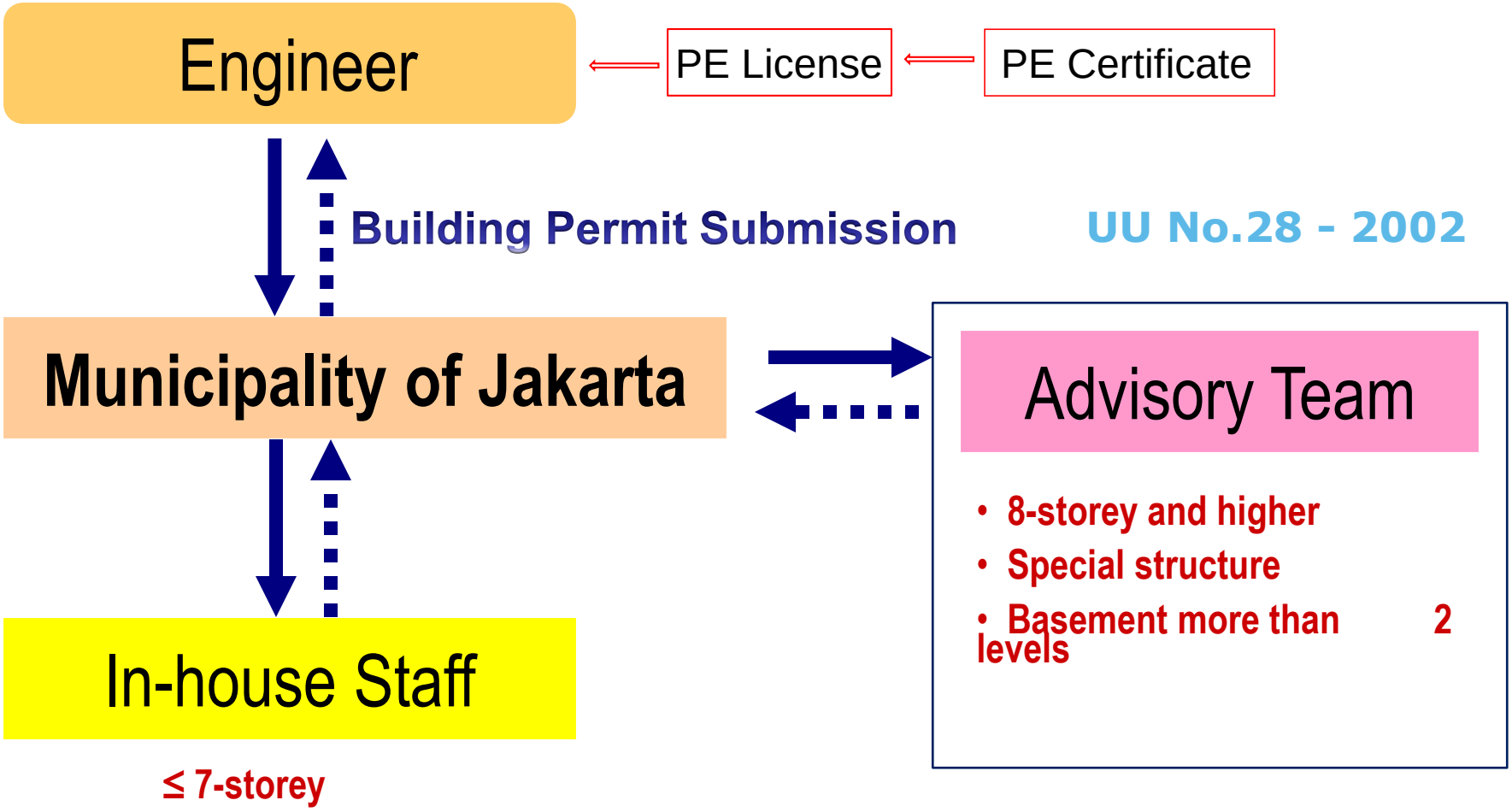
(1) Pengesahan rencana teknis bangunan gedung untuk kepentingan umum ditetapkan oleh Pemerintah Daerah setelah mendapat pertimbangan teknis dari tim ahli.

(2) Pengesahan rencana teknis bangunan gedung fungsi khusus ditetapkan oleh pemerintah setelah mendapat pertimbangan teknis tim ahli.

(3) Keanggotaan tim ahli bangunan gedung sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dan ayat (2) bersifat ad hoc terdiri atas para ahli yang diperlukan sesuai dengan kompleksitas bangunan gedung.

(4) Ketentuan mengenai tata cara pengesahan rencana teknis bangunan gedung sebagaimana dimaksud dalam ayat (1) dan ayat (2) dan keanggotaan tim ahli bangunan gedung sebagaimana dimaksud dalam ayat (3) diatur lebih lanjut dengan Peraturan Pemerintah.

=> Perlunya: Tim Ahli Bangunan Gedung (TABG)


Engineer
PE License
PE Certificate
Building Permit Submission
UU No.28 - 2002
Municipality of Jakarta
Advisory Team
• 8-storey and higher
• Special structure
• Basement more than 2 levels
In-house Staff
≤ 7-storey

4. Pembelajaran dari dan untuk Pemulihan Daerah terdampak Bencana

Lesson-Learned from 2004 Aceh Eq and Tsunami Disaster:

Most single-story buildings or light residential houses within 500-1000m distance from shorelines were completely destroyed by tsunami and erosion and failures of the building foundations occurred:

- *Limit new buildings construction in this corridor*
- *Design tsunami and seismic resistance buildings (with soil improvement to prevent liquefaction potential).*

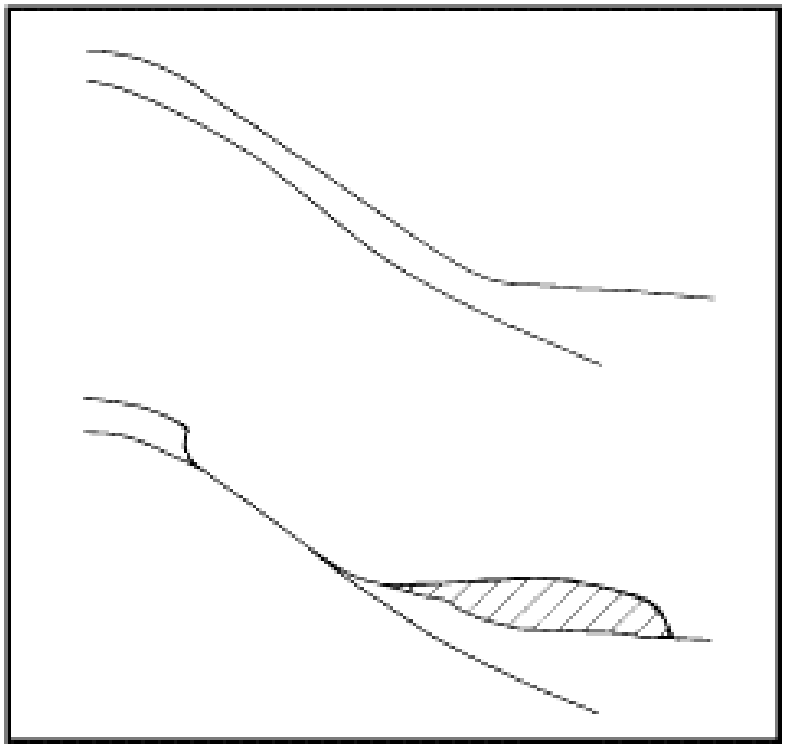
Need of engineering mitigation measures and strategies:

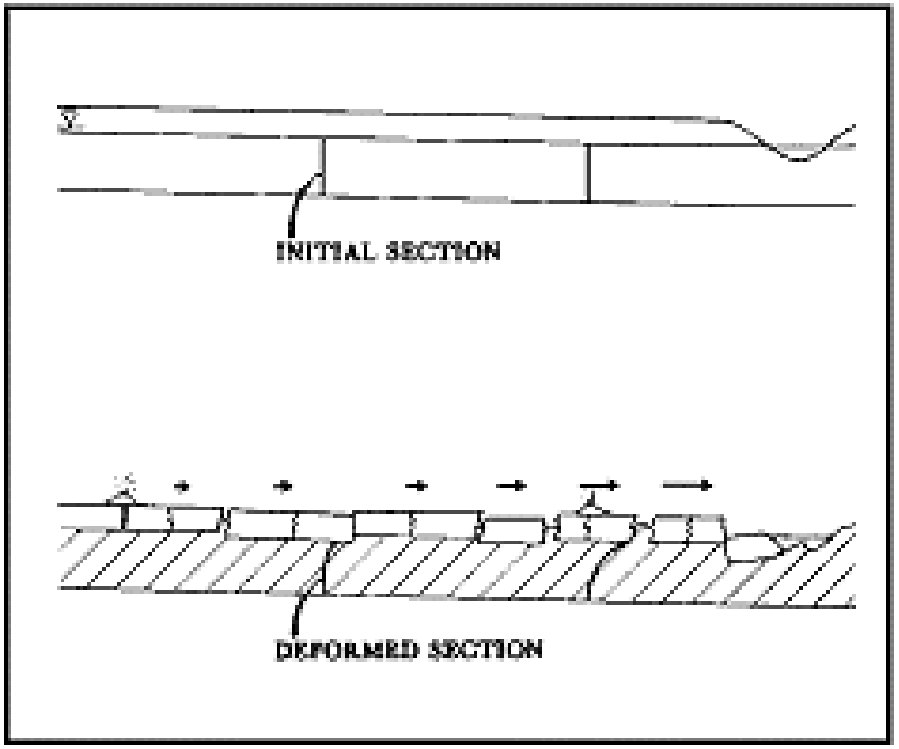
- *Evaluate and Formulate Seismic and Tsunami design Criteria*
- *Prepare and disseminate/trainings some structural and geotechnical seismic design guidelines for reconstruction of the affected area.*
- *Develop seismic microzonation and tsunami inundation map and other hazard maps needed for input to reconstruction, city planning and risk assessment for further formulation of risk mitigation strategies.*

Likuifaksi Akibat Gempa

- Merupakan salah satu topik yang penting, kompleks, dan menarik dalam rekayasa gempa geoteknik.
- Sangat nyata terbukti pada gempa Alaska USA 1964 (M_w=9.2) dan Nigata Jepang(M_s=7.5)
- Dipelajari dan diteliti sejak itu.
- Sesungguhnya di Indonesia terjadi pada hampir setiap gempa besar seperti: Flores 1992, Bengkulu M7.9 (2000), Aceh M9.2 (2004), Nias M8.6 (2015), Yogya M6.3 (2006), Padang M7.5 (2009), Lombok M7.0 (2018), Palu M7.4 (2018).

Mode of Failure





Flow failures – in loose saturated sands or silts on relatively steep slopes

Lateral spreads – involve liquefaction of a subsurface layer and develop on gentle slopes

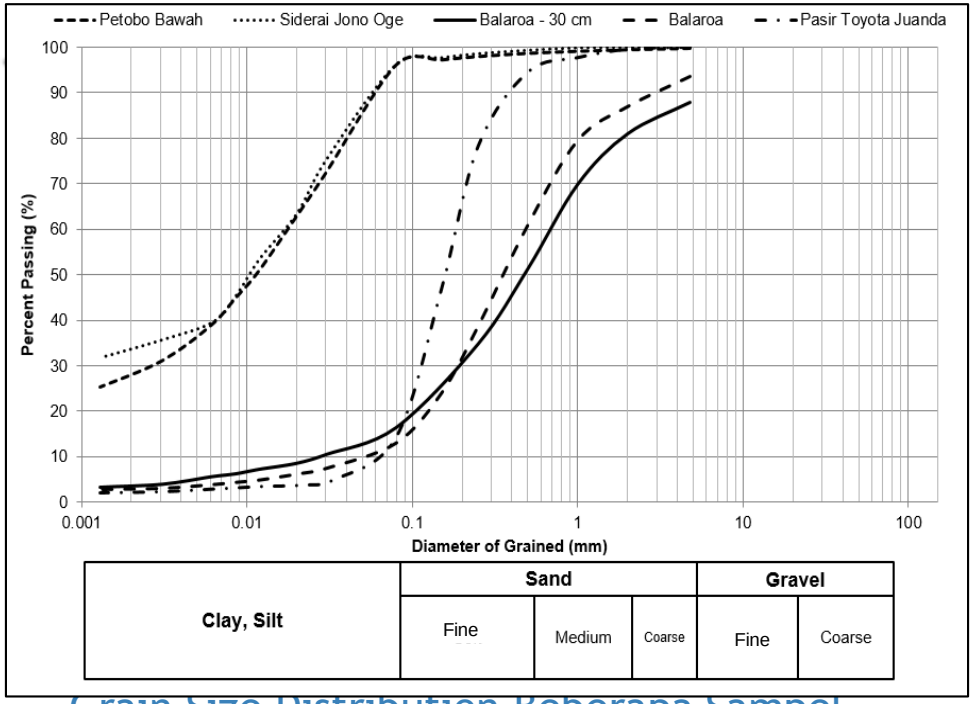
(Sumber: Short Course Liquefaction, Prof. Peter J. Bosscher)

Lesson Learned Likuifaksi Gempa Palu

- Likuifaksi gempa Palu di Petobo, Balaroa, dan JonoOge merupakan kejadian alam yang tidak sepenuhnya terprediksi dengan skala dan luasan yang sangat massive.

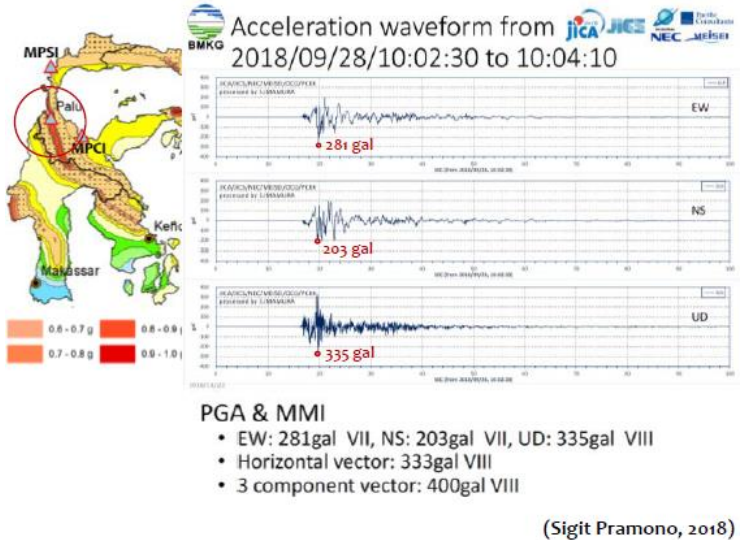
- Likuifaksi Palu merupakan salah satu bencana *collateral* gempabumi terbesar dalam abad ini.
- Kejadian likuifaksi sesungguhnya terjadi pada hampir setiap gempa besar di Indonesia, namun dampaknya relative tidak massive seperti di Palu.
- Mekanisme dan analisis likuifaksi telah dikenal sejak lama dalam ilmu gempa-geoteknik, dan metoda analisis likuifaksi yang berkembang saat ini ada yang sudah cukup advanced untuk memecahkan masalah disain dan konstruksi bangunan teknik sipil pada kawasan potensi likuifaksi.

Analisis Preliminary Likuifaksi Lokasi Petobo



Grain Size Distribution Beberapa Sampel Tanah Pasir Petobo, Balaroa, JonoOge, Kota Palu

(Sumber AARGI Field Survey 2018)



PGA & MMI

- EW: 281gal VII, NS: 203gal VII, UD: 335gal VIII
- Horizontal vector: 333gal VIII
- 3 component vector: 400gal VIII

(Sigit Pramono, 2018)

Hasil Analisis Preliminary Likuifaksi Petobo PGA 0.5g (Empirical Method)

PGA = 0.33

M = 7.4

Calculation of Liquefaction Potential by Idriss & Boulanger (2006)

No	Depth (m)		Width (m)	Material Type	Consistency	N-SPT$_{(Average)}$	γ_{sat}	σ'_{vo}	$\Sigma\sigma'_{vo}$	C_N	FC	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	CRR7.5	MSF	CRRL	rd	CSR	FS	Status
	Top	Bottom				Blows/ft	kN/m^3	kN/m^2	kN/m^2			Blows/ft	Blows/ft							
1	0	1	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	7.19	1.70	0.15	8.50	15.20	0.158	1.027	0.16	0.99	0.213	0.76	L
2	1	2	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	14.38	1.70	0.15	6.80	13.16	0.141	1.027	0.15	0.99	0.213	0.68	L
3	2	3	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	21.57	1.70	0.15	5.44	11.53	0.129	1.027	0.13	0.99	0.213	0.62	L
4	3	4	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	28.76	1.88	0.15	9.38	16.26	0.167	1.027	0.17	0.99	0.213	0.81	L
5	4	5	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	35.95	1.68	0.15	8.39	15.07	0.157	1.027	0.16	0.99	0.213	0.76	L
6	5	6	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	43.14	1.53	0.15	12.26	19.71	0.202	1.027	0.21	0.99	0.213	0.98	L
7	6	7	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	50.33	1.42	0.15	12.06	19.47	0.200	1.027	0.20	0.99	0.213	0.96	L
8	7	8	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	57.52	1.33	0.15	11.28	18.54	0.189	1.027	0.19	0.99	0.213	0.91	L
9	8	9	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	64.71	1.25	0.15	10.64	17.76	0.181	1.027	0.19	0.99	0.213	0.87	L
10	9	10	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	71.90	1.19	0.15	10.09	17.11	0.175	1.027	0.18	0.99	0.213	0.84	L
11	10	11	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	79.09	1.13	0.15	9.62	16.55	0.170	1.027	0.17	0.99	0.213	0.82	L
12	11	12	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	86.28	1.08	0.15	9.21	16.05	0.165	1.027	0.17	0.99	0.213	0.80	L
13	12	13	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	93.47	1.04	0.15	8.85	15.62	0.161	1.027	0.17	0.99	0.213	0.78	L
14	13	14	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	100.66	1.00	0.15	8.53	15.23	0.158	1.027	0.16	0.99	0.213	0.76	L
15	14	15	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	107.85	0.97	0.15	8.24	14.89	0.155	1.027	0.16	0.99	0.213	0.75	L
16	15	End	-	CLAY																

Liquefaction

(Sengara dan Sulaeman, 2018)

Hasil Analisis Preliminary Likuifaksi Petobo PGA 0.5g (Empirical Method)

PGA = 0.5

M = 7.4

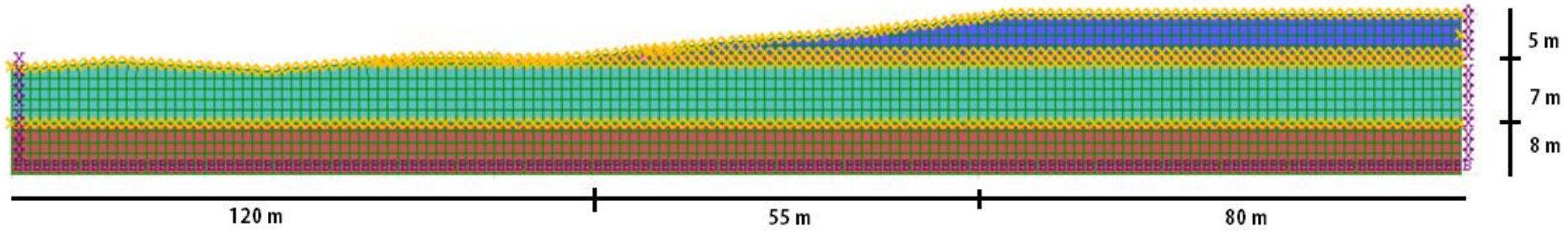
Calculation of Liquefaction Potential by Idriss & Boulanger (2006)

No	Depth (m)		Width (m)	Material Type	Consistency	$N\text{-}SPT_{(Average)}$	γ_{sat}	σ'_{vo}	$\Sigma\sigma'_{vo}$	C_N	FC	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$	CRR7.5	MSF	CRRL	rd	CSR	FS	Status
	Top	Bottom				Blows/ft	kN/m^3	kN/m^2	kN/m^2			Blows/ft	Blows/ft							
1	0	1	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	7.19	1.70	0.15	8.50	15.20	0.158	1.027	0.16	0.99	0.323	0.50	L
2	1	2	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	14.38	1.70	0.15	6.80	13.16	0.141	1.027	0.15	0.99	0.323	0.45	L
3	2	3	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	21.57	1.70	0.15	5.44	11.53	0.129	1.027	0.13	0.99	0.323	0.41	L
4	3	4	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	28.76	1.88	0.15	9.38	16.26	0.167	1.027	0.17	0.99	0.323	0.53	L
5	4	5	1	SAND	LOOSE	5	17	7.19	35.95	1.68	0.15	8.39	15.07	0.157	1.027	0.16	0.99	0.323	0.50	L
6	5	6	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	43.14	1.53	0.15	15.33	23.39	0.256	1.027	0.26	0.99	0.323	0.82	L
7	6	7	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	50.33	1.42	0.15	14.19	22.03	0.233	1.027	0.24	0.99	0.323	0.74	L
8	7	8	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	57.52	1.33	0.15	13.27	20.93	0.218	1.027	0.22	0.99	0.323	0.69	L
9	8	9	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	64.71	1.25	0.15	12.51	20.02	0.206	1.027	0.21	0.99	0.323	0.66	L
10	9	10	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	71.90	1.19	0.15	11.87	19.25	0.197	1.027	0.20	0.99	0.323	0.63	L
11	10	11	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	79.09	1.13	0.15	11.32	18.58	0.190	1.027	0.19	0.99	0.323	0.60	L
12	11	12	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	86.28	1.08	0.15	10.84	18.00	0.184	1.027	0.19	0.99	0.323	0.58	L
13	12	13	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	93.47	1.04	0.15	10.41	17.49	0.179	1.027	0.18	0.99	0.323	0.57	L
14	13	14	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	100.66	1.00	0.15	10.03	17.04	0.174	1.027	0.18	0.99	0.323	0.55	L
15	14	15	1	SAND	MEDIUM	10	17	7.19	107.85	0.97	0.15	9.69	16.63	0.170	1.027	0.18	0.99	0.323	0.54	L
16	15	End	-	CLAY																

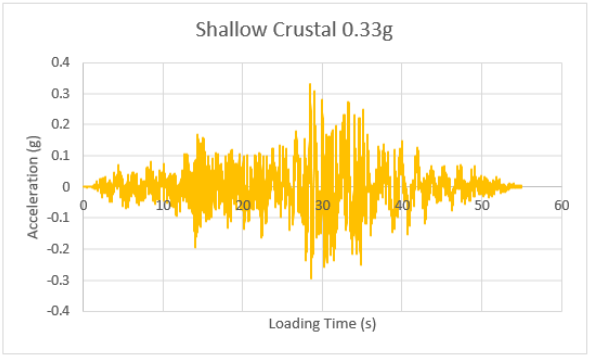
Liquefaction

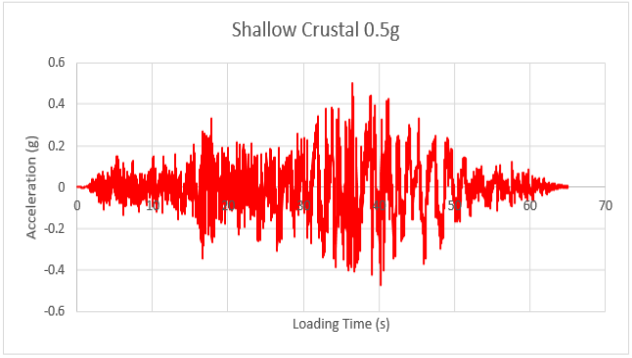
(Sengara dan Sulaeman, 2018)

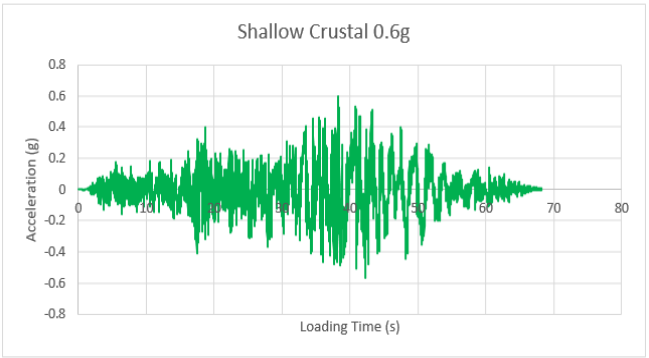
Analisis Preliminary Likuifaksi Lokasi Petobo Dengan Effective Stress Method (program FLAC)



Colour	Material	Relative Density	ρ (kg/m^3)	υ	c (kPa)	ϕ (°)	ψ (°)	G (kPa)	κ (kPa)	k (m/s)
	Sand 1	35%	1700	0.3	-	29	-	561660	121693	0.0001
	Sand 2	50%	1700	0.3	-	33	3	77178	167219	0.0001
	Clay	-	1600	0.3	6	30	-	153772	333172	1.00E-10



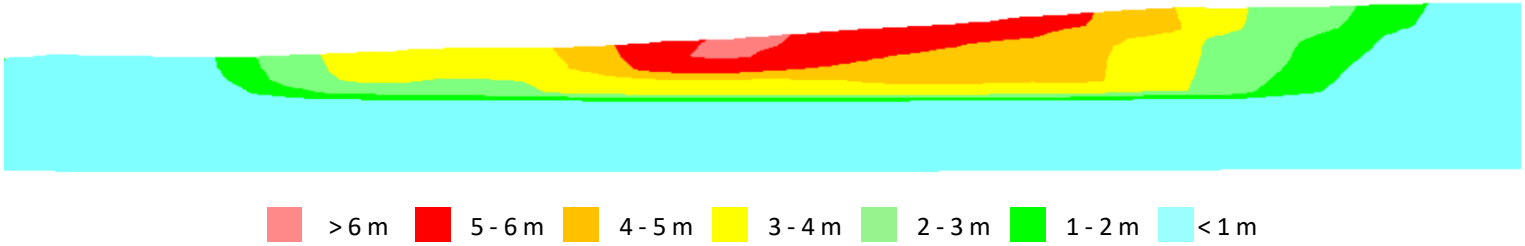




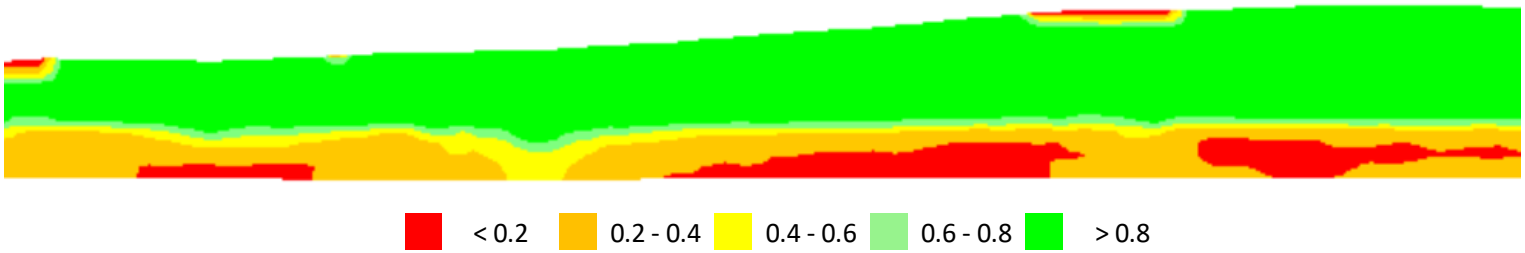
(Sengara dan Sulaeman, 2018)

Hasil Analisis Preliminary Likuifaksi Petobo PGA 0.33g (ESA, FLAC)

Horizontal Deformation Akhir Gempa



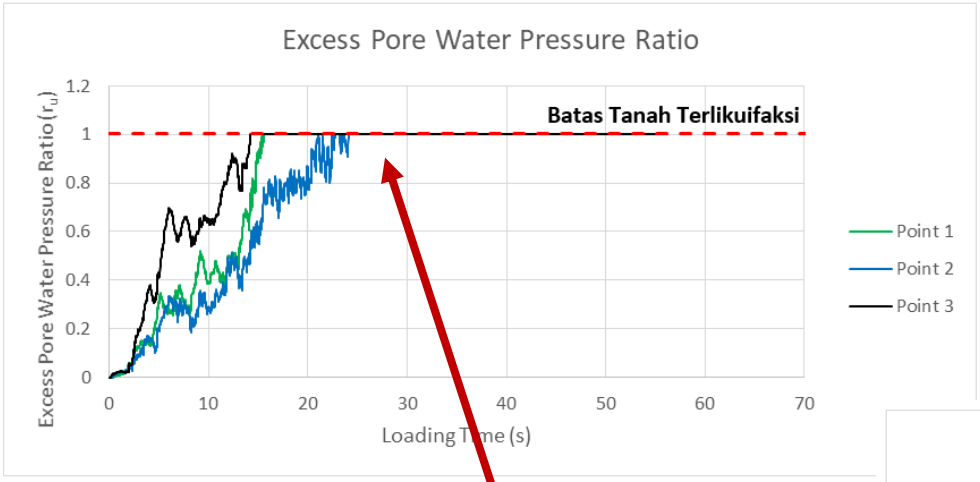
Excess Pore Pressure Maximum ($r_{u\text{-}max}$)

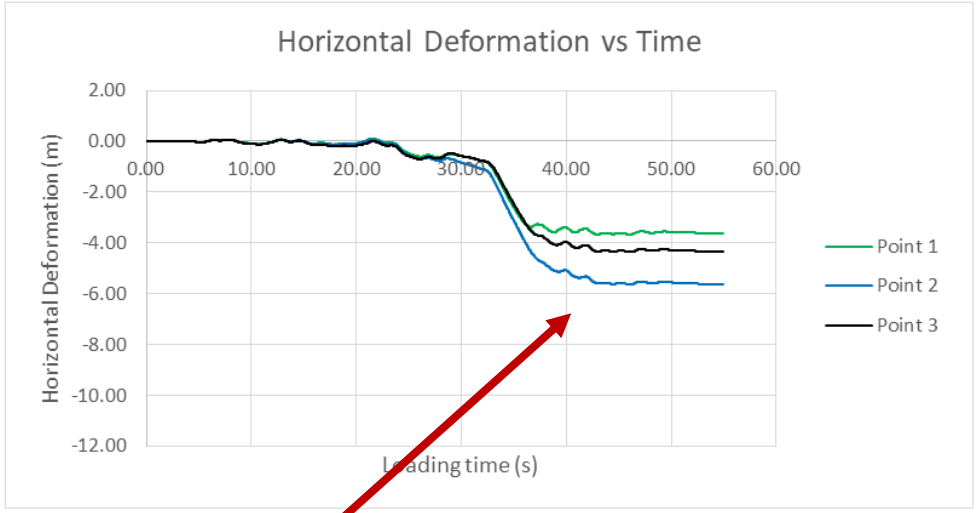


Note: $r_u = 1$ → Liquified

(Sengara dan Sulaeman, 2018)

Hasil Analisis Preliminary Likuifaksi Petobo PGA 0.6g (ESA, FLAC)





Flow liquefaction

(Sengara dan Sulaeman, 2018)

Lesson-Learned Likuifaksi Gempa Palu

- Mempertimbangkan skala intensitas getaran gempa dan juga luasan zona yang berpotensi likuifaksi seperti di Palu, ada tantangan ke depan untuk pengembangan wilayah dan tata-ruang kota dalam kerangka: *hazard-based spatial planning* untuk PRB gempabumi.
- Untuk PRB gempa terhadap bangunan dan infrastruktur pada area yang berpotensi likuifaksi, perlu adanya pedoman dan ketentuan-ketentuan teknis terkait.
- Pengembangan permukiman di kawasan reklamasi perlu dirancang terhadap potensi likuifaksi dan memenuhi ketentuan-ketentuan teknis untuk mitigasi teknisnya, seperti persyaratan pemadatan tanah pasir timbunan, dengan melibatkan ahli-ahli yang berkompeten dan bersertifikasi.
- Pemerintah Daerah perlu melakukan kontrol yang lebih ketat untuk kawasan-kawasan yang berpotensi likuifaksi ini.

5. Beberapa Catatan dan Rekomendasi

- Bencana gempa besar telah melanda Indonesia berkali-kali dalam kurun waktu 25 tahun terakhir, dengan jumlah korban jiwa dan kerugian serta kerusakan bangunan yang sangat tinggi.
- Kejadian beberapa gempabumi di Indonesia telah menyebabkan *Collateral Hazards* dan *Bencana* **Tsunami, Longsor dan Likuifaksi**.
- Hasil penelitian kerentanan bangunan oleh *PMB-ITB (2009-2011) melalui survey dan analisis ribuan bangunan terdampak mengindikasikan bahwa secara kerentanan bangunan di Indonesia terhadap gempa relatif tinggi*.
- Kejadian collateral hazards gempa (*tsunami, longsor dan likuifaksi*) akibat gempa Lombok dan Palu perlu menjadi *lesson-learned* untuk PRB dalam bentuk upaya-upaya meminimalkan kerentanan konstruksi bangunan di masa mendatang.
- Menurunkan kerentanan bangunan permukiman adalah menjadi tugas Pemerintah dan Masyarakat Profesi untuk PRB gempa. PRB gempa ini hendaknya juga menjadi prioritas dalam APBN Indonesia.
- Unifikasi dan Integrasi *Peta Hazard Gempa dan Tsunami* untuk Indonesia perlu disiapkan dalam proses pengurangan kerentanan bangunan akibat tsunami di Indonesia.

5. Beberapa Catatan dan Rekomendasi

- Peraturan Bangunan perlu dilengkapi dengan *Peraturan Bangunan Tahan Tsunami* seperti halnya SNI-1726-2012 (2018), dengan memberikan kriteria MCT dan Kategori Risiko Tsunami Bangunan.
- Peta Rawan *Longsor dan Likuifaksi* Akibat Gempa daerah Permukiman (misalnya dalam bentuk Peta Microzonasi) perlu dikembangkan untuk menjadi acuan pembangunan dan penataaan permukiman di Indonesia (*Hazard-Based Spatial Planning).*
- Rekonstruksi dan konstruksi ke depan mengandung tantangan dan tuntutan untuk mewujudkan kualitas bangunan permukiman yang optimum dalam aspek keselamatan *(safety)* dan penghematan biaya *(cost effectiveness)* dalam konstruksi merupakan dua aspek yang selalu perlu diperjuangkan, secara spesifik:
  - *Hazard-Based Spatial-Planning,*
  - *Building Codes Compliance and Enforcement,*
  - *Strict Construction Supervision*

5. Beberapa Catatan dan Rekomendasi

- Perlu dilakukan investasi dan prioritas PRB dalam aspek: riset dan pengembangan (hazards dan rekayasa gempa, bangunan tahan gempa/tsunami), update standar nasional dan aturan-aturan/pedoman bidang-bidang terkait, pendidikan dan pelatihan, penguatan kapasitas institusional dan hukum dalam pengawasan perijinan bangunan permukiman.
- Sebagai evaluasi dari beberapa bencana gempa terakhir di Indonesia, langkah yang perlu mendapatkan penekanan secara praktis antara lain adalah:
  - *Diseminasi peraturan dan pedoman bangunan tahan gempa,*
  - *Pelatihan disain dan konstruksi bangunan tahan gempa secara masal di seluruh kawasan Indonesia.*
  - *Langkah lain telah direkomendasikan oleh Asosiasi Ahli Rekayasa keGempaan Indonesia (AARGI) dalam resolusinya dapat dibaca pada link: http://aargi.org.*

Terimakasih

“Mari Bersama Menggurangi Risiko Bencana Gempa di Indonesia”