

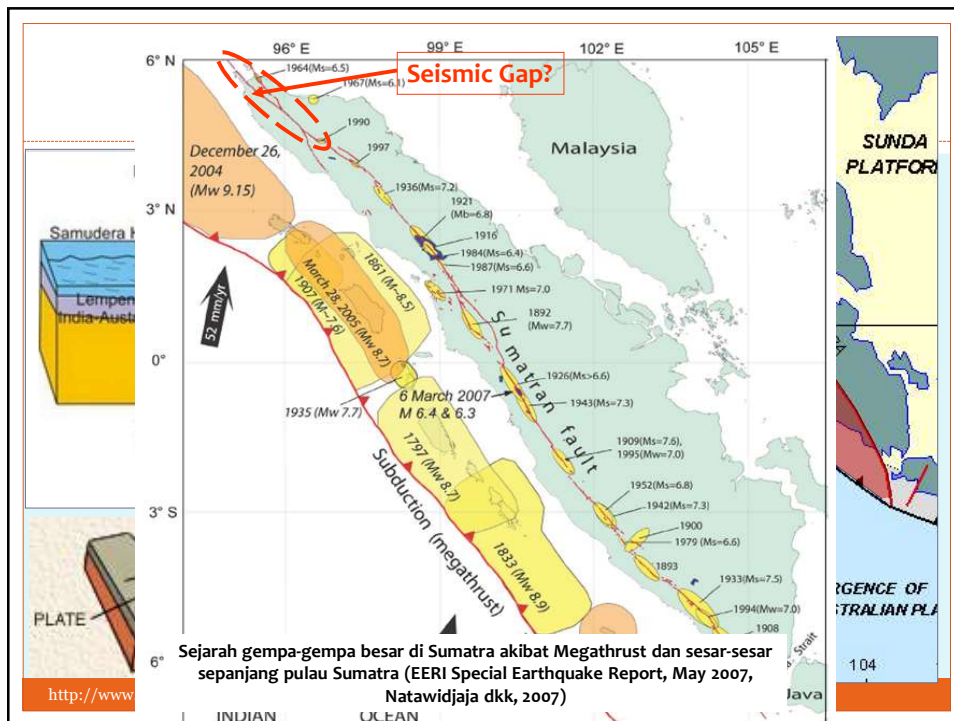
Shallow Crustal Earthquake Models, Damage, and Loss Predictions in Banda Aceh, Indonesia

1

Ibnu Rusydy, Yunita Idris, Mulkal, Umar Muksin, Phil Cummins, Muhammad Nouval Akram, Syamsidik

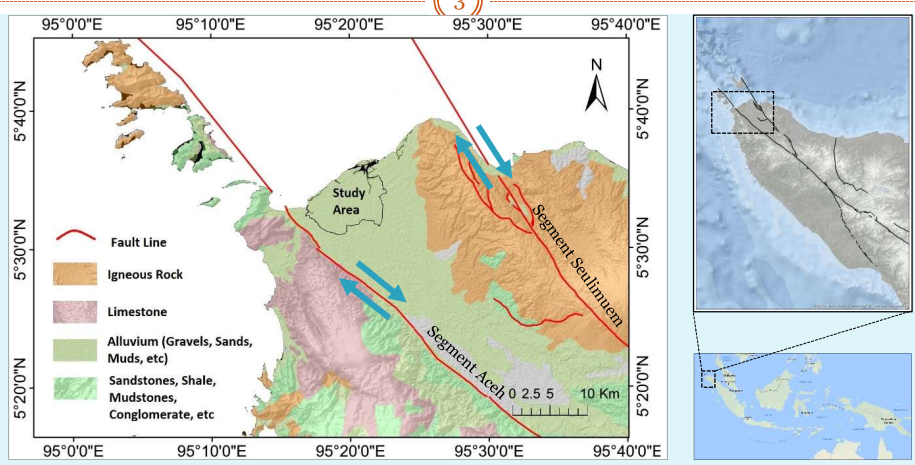


<http://www.ibnurusydy.com>



Bagaimana dengan Banda Aceh?

3

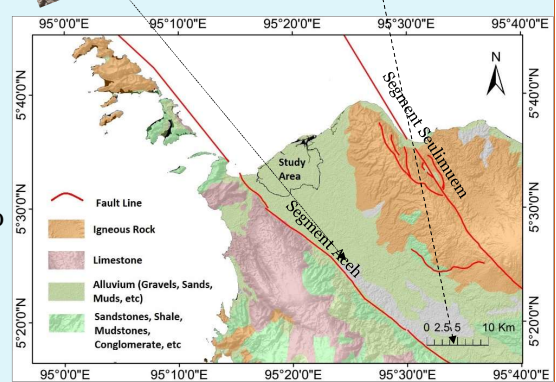


Tatanan Tektonik dan kondisi Geologi sekitar Banda Aceh (Bennet, et al., 1981)

<http://www.ibnurusydy.com>

Bagaimana dengan ... ?

- Segment Aceh tidak memiliki sejarah gempa bumi sejak 170 tahun dan memiliki potensi gempa bumi yang cukup besar (Ito, et al., 2012; Sieh & Natawidjaja, 2000)
- Ito, et al. (2012), memperkirakan segment Aceh dapat menghasilkan gempa bumi sebesar 7 Mw dan mengancam lebih dari 260,000 penduduk kota Banda Aceh.
- Segment Seulimuem memiliki sejarah kejadian gempa bumi sebesar 6 Ms pada tahun 1964 (Sieh & Natawidjaja, 2000)



Tatanan Tektonik dan kondisi Geologi sekitar Banda Aceh (Bennet, et al., 1981)

<http://www.ibnurusydy.com>

Methodology

7

- *Earthquake Loss Prediction* adalah sebuah metode untuk memprediksi jumlah korban jiwa yang disebabkan oleh kerusakan bangunan dengan berbagai scenario gempa bumi. Metode ini diperkenalkan oleh Miura, et al. (2008); Hashemi & Alesheikh (2011); Karimzadeh, et al. (2014) dan Rusydy, et al. (2017; 2018).
- Kerugian ekonomi diperkirakan dari persentasi kerusakan bangunan.
- Berikut tahapan dalam penelitian ini:
 - Membuat model seismic hazard dari patahan aktif.
 - Menghitung nilai amplifikasi akibat kondisi tanah setempat.
 - Memprediksi nilai intensitas dan PGA yang diterima bangunan.
 - Menghitung tingkat kerusakan bangunan menggunakan Fragility curve dengan berbagai scenario gempa bumi
 - Menghitung jumlah korban berdasarkan kerusakan bangunan untuk gempa malam hari dan siang hari.
 - Menghitung kerugian ekonomi berdasarkan kerusakan bangunan

<http://www.ibnurusydy.com>

Methodology

8

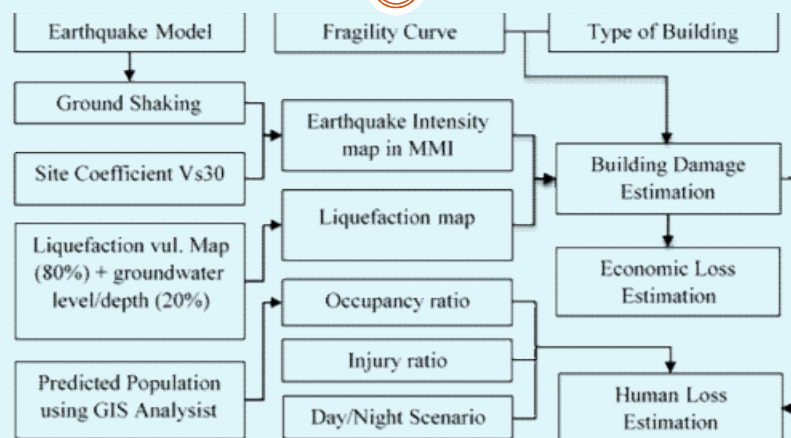


Fig. 2 The Flowchart of Earthquake Lose Prediction in Several Earthquake Scenarios

<http://www.ibnurusydy.com>

Model Gempa Bumi

- **Sumber Gempa:**

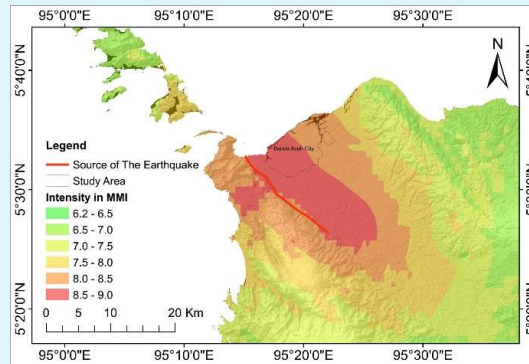
- Patahan Sumatra Segment Aceh
- Patahan Sumatra Segment Seulimuem

- Allen, et.al.,(2012) mengembangkan persamaan shaking attenuation untuk gempa global yang dinamakan Intensity Prediction Equations (IPEs)

- IPEs dikembangkan untuk;
 - Gempa bumi patahan yang dangkal dengan magnitudo antara 5–7.9 Mw
 - Kedalaman Hipocentral kurang dari 20 km

$$I(M, R_{rup}) = c_0 + c_1M + c_2 \ln \sqrt{R_{rup}^2 + [1 + c_3e^{(M-5)}]^2} + S,$$

Persamaa IPEs dengan jarak sumber ke lokasi berupa (R_{rup}),
 Persamaan ini dikembangkan oleh Allen, et.al.,(2012)



Skenario I: Magnitudo M_w 7 from Aceh segment

<http://www.ibnurusydy.com>

Skenario Gempa Bumi

- **Sumber Gempa:**

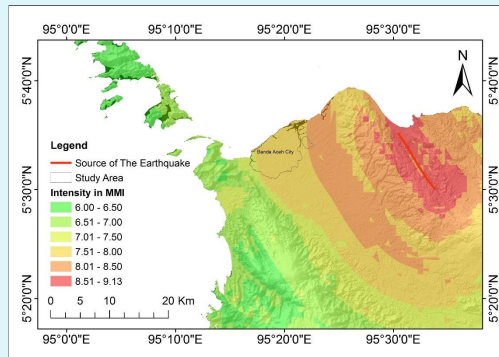
- Patahan Sumatra Segment Aceh
- Patahan Sumatra Segment Seulimuem

- Allen, et.al.,(2012) mengembangkan persamaan shaking attenuation untuk gempa global yang dinamakan Intensity Prediction Equations (IPEs)

- IPEs dikembangkan untuk;
 - Gempa bumi patahan yang dangkal dengan magnitudo antara 5–7.9 Mw
 - Kedalaman Hipocentral kurang dari 20 km

$$I(M, R_{rup}) = c_0 + c_1M + c_2 \ln \sqrt{R_{rup}^2 + [1 + c_3e^{(M-5)}]^2} + S,$$

Persamaa IPEs dengan jarak sumber ke lokasi berupa (R_{rup}),
 Persamaan ini dikembangkan oleh Allen, et.al.,(2012)



Skenario III: Magnitudo M_w 7 from Seulimuem segment

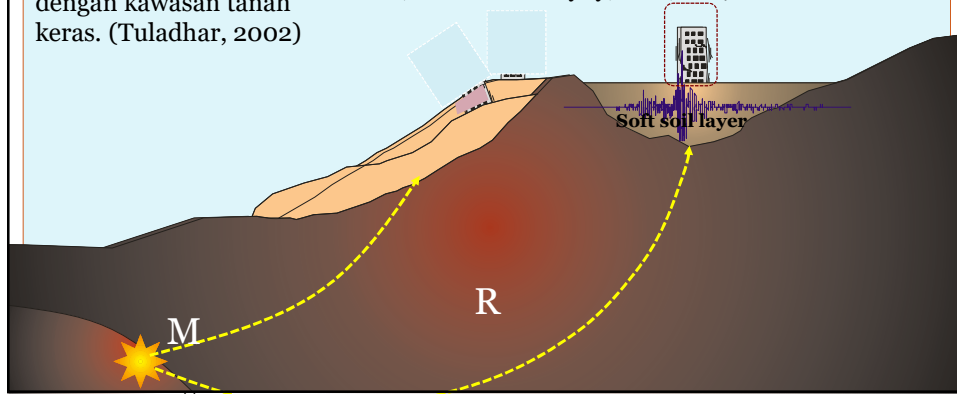
<http://www.ibnurusydy.com>

Kondisi Tanah Setempat

11

Lapisan sediment lunak akan meningkatkan guncangan tanah dan akan menyebabkan kerusakan lebih parah dibandingkan dengan kawasan tanah keras. (Tuladhar, 2002)

Kerusakan akibat gempa bumi lebih parah di kawasan tanah lunak dibandingkan dgn tanah keras. Kejadian ini dikenal dengan istilah faktor amplifikasi. Faktor amplifikasi ini lebih tinggi di kawasan kecepatan gelombang S rendah (Sairan, et.al, 2010 and Rusydy, et al, 2017)



Kondisi Tanah Setempat

12

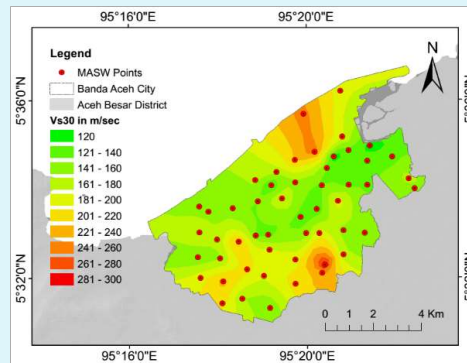
$$I(M, R_{rup}) = c_0 + c_1 M + c_2 \ln \sqrt{R_{rup}^2 + [1 + c_3 e^{(M-5)^2}]^2} + S,$$

- Perhitungan pengaruh lokal geologi:

$$Fv = \left[\frac{1050}{Vs} \right]^{mv}$$

$$S = 3.48 \log(Fv)$$

- Data Vs30 sekitar Banda Aceh diambil dari Muzli, et al., (2014) dan Iqbal, (2016).
- Faktor Amplifikasi (Fv) dihitung menggunakan rumus Borchardt & Eeri (1994)
- Nilai S dihitung menggunakan persamaan Borchardt (1997)



Peta kecepatan gelombang S sampai kedalaman 30 meter (Vs30) yang dimodifikasi dari dari Muzli, et al., 2014 dan Iqbal, 2016

Kondisi Tanah Setempat

13

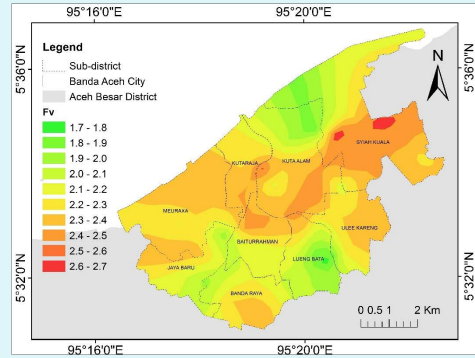
$$I(M, R_{rup}) = c_0 + c_1 M + c_2 \ln \sqrt{R_{rup}^2 + [1 + c_3 e^{(M-5)}]^2} + S,$$

- Perhitungan pengaruh lokal geologi:

$$Fv = \left[\frac{1050}{Vs} \right]^{mv}$$

$$S = 3.48 \log(Fv)$$

- Data Vs30 sekitar Banda Aceh diambil dari Muzli, et al., (2014) dan Iqbal, (2016).
- Faktor Amplifikasi (Fv) dihitung menggunakan rumus Borcherdt & Eeri (1994)
- Nilai S dihitung menggunakan persamaan Borcherdt (1997)

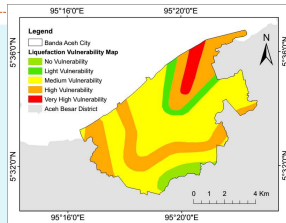


Peta hasil perhitungan faktor amplifikasi di Kota Banda Aceh

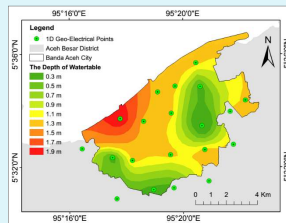
<http://www.ibnurusydy.com>

Kondisi Tanah Setempat + Liquifaksi

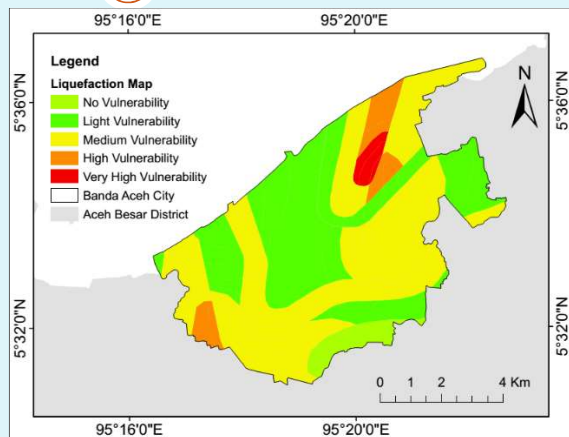
14



Peta mikrozonasi kerentanan penurunan tanah akibat liquifaksi (Tohari, et al, 2015)



Peta kedalaman muka air tanah kota Banda Aceh



Peta kerentanan liquifaksi kota Banda Aceh

<http://www.ibnurusydy.com>

Validasi Model

15

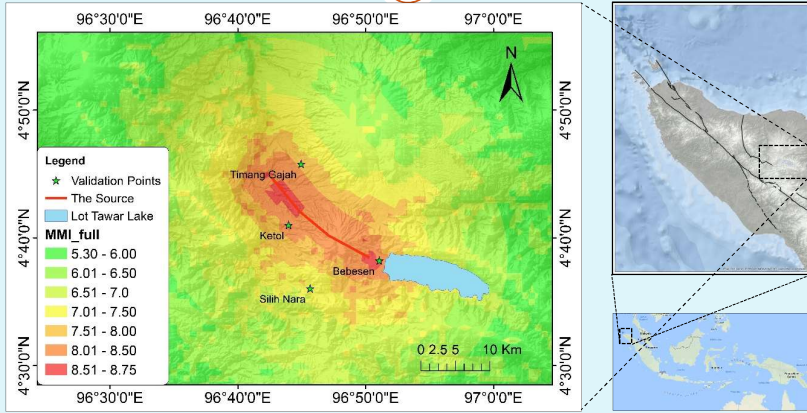


Figure. 11. Rupture zone for the Tanah Gayo earthquake 2013 and intensity map produced using the IPEs and the location of validation points. The rupture zone is set according to Rusydy, et al. (2015) and Daryono and Tohari (2016). Digital elevation model derived from NASA 2007.

<http://www.ibnurusydy.com>

Validasi Model

16

Table 7. The earthquake intensity comparison between the IPEs model and actual intensity from Rusydy et al. (2015)

| Sub-district | Distance to Rupture (R_{rup}) | Intensity at Bedrock (IPEs) | Amplif. (Fv) (Rusydy, et al., 2017) | S | Intensity at Surface In MMI (IPEs) | Actual Intensity at surface |
|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----|------------------------------------|-----------------------------|
| Timang Gajah | 4.5 km | 7.5 | 2.7 | 1.5 | 9.0 | 7 - 9 |
| Ketol | 2.5 km | 7.9 | 2.7 | 1.5 | 9.4 | 8 - 9 |
| Bebesen | 1.5 km | 8.1 | 2.0 | 1.0 | 9.1 | 7 - 9 |
| Silih Nara | 8.0 km | 7.1 | 1.3 | 0.4 | 7.5 | 6 - 7 |

Table 8. The damage comparison between our damage model and actual damage from the 2013 Tanah Gayo earthquake.

| Sub-district | Intensity at Surface In MMI | Actual Intensity at Surface | Damage Validation | | | | | |
|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------|-------|------|---------------|---------|--------|
| | | | Our damage Model | | | Actual damage | | |
| | | | CI-L | URM-L | WI-L | CI-L | URM-L | WI-L |
| Timang Gajah | 9.0 | 7 - 9 | 0.55 | 0.70 | 0.60 | 0.2-0.6 | 0.4-0.8 | 0.4-0. |
| Ketol | 9.4 | 8 - 9 | 0.59 | 0.73 | 0.64 | 0.4-0.6 | 0.6-0.9 | 0.2-0. |
| Bebesen | 9.1 | 7 - 9 | 0.56 | 0.71 | 0.61 | 0.2-0.6 | 0.2-0.8 | - |
| Silih Nara | 7.5 | 6 - 7 | 0.32 | 0.45 | 0.38 | 0.2-0.4 | 0.1-0.4 | 0.0-0. |

<http://www.ibnurusydy.com>

Prediksi Korban Luka

17

- Rasio kerusakan setiap bangunan akan menghasilkan jumlah korban yang berbeda karena orang-orang terjebak dalam bangunan runtuh atau rusak berat (Hashemi & Alesheikh, 2011).
- Penyebab utama jatuhnya korban gempa adalah runtuhnya bangunan, sekitar 75% korban (Coburn & Spence, 2002).
- Jumlah korban setiap bangunan sebenarnya sulit untuk diperkirakan, berbeda antara satu gempa dengan gempa lainnya dan data dokumentasi korban tidak memadai serta data yang ada dalam rentang korban yang luas.
- Ada banyak persamaan yang digunakan untuk menghitung estimasi rasio korban jiwa, dalam penelitian ini digunakan persamaan yang dikemukakan oleh Hashemi & Alesheikh (2011).

$$\text{Injured} = \text{population} \times \text{damage ratio} \times \text{injury ratio} \times \text{Occupancy ratio}$$

<http://www.ibnurusydy.com>

$$\text{Injured} = \text{population} \times \text{damage ratio} \times \text{injury ratio} \times \text{Occupancy ratio}$$

Prediksi Korban Luka

18

- Menghitung jumlah populasi masing-masing bangunan.

$$\text{Pop} = \frac{\text{Pop. each villages}}{\text{Total Area of The Houses}} \times \text{Area of House}$$

- Skenario Gempa bumi:
 - Siang Hari;
 - ✦ occup.rat. Rumah= 0,3
 - ✦ Occup.rat. Kantor dan sekolah= 1
 - ✦ Occup.rat. Asrama= 0,5
 - Malam Hari;
 - ✦ occup. rat. Rumah & Asrama= 1
 - ✦ Occup. rat. kantor dan sekolah= 0

The population of Banda Aceh city each sub-district according to local authority (Souces: Department of Population and Civil Registration of Banda Aceh City, September 2017)

| No | Sub-districts | Population | Number of Villages |
|----|---------------|------------|--------------------|
| 1. | Baiturrahman | 34,721 | 10 |
| 2. | Kuta alam | 46,766 | 11 |
| 3. | Meuraxa | 23,169 | 16 |
| 4. | Syiah kuala | 36,070 | 10 |
| 5. | Lueng bata | 26,172 | 9 |
| 6. | Kuta raja | 14,388 | 6 |
| 7. | Banda raya | 25,492 | 10 |
| 8. | Jaya baru | 27,316 | 9 |
| 9. | Ulee kareng | 26,940 | 9 |

The worse scenario of injury ratio for different type of building proposed by Hashemi & Alesheikh (2011)

| No. | Type of Building | Injury Ratio |
|-----|---|--------------|
| 1. | Masonry Building < 4 stories (URM-L) | 0.5 |
| 2. | RC Building < 4 stories (C1-L dan C1-M) | 0.2 |
| 3. | Timber Frame Building (W1-L) | 0.4 |

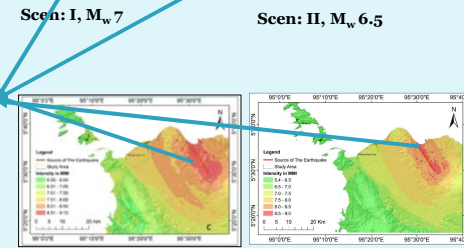
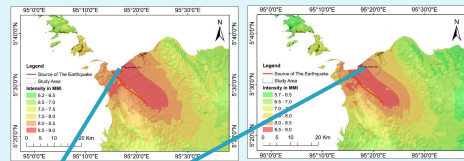
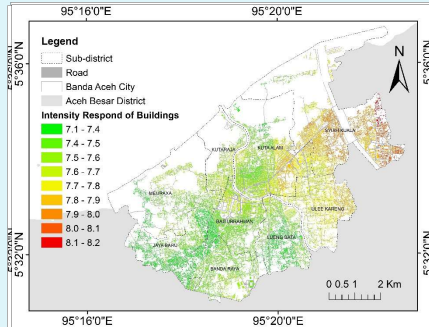
<http://www.ibnurusydy.com>

Hasil → Model Intensitas Gempa Bumi

19

$$I(M, R_{rup}) = c_0 + c_1 M + c_2 \ln \sqrt{R_{rup}^2 + [1 + c_3 e^{(M-5)}]^2} + S,$$

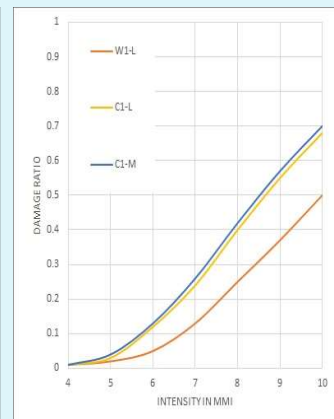
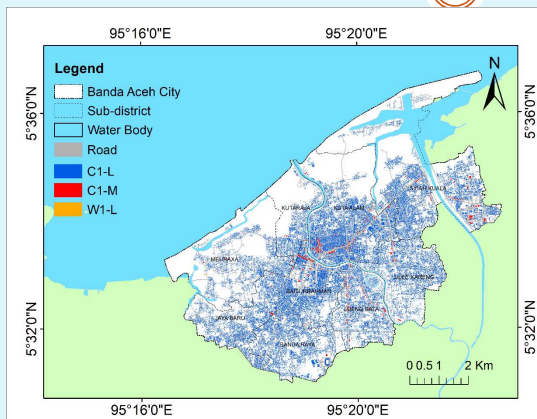
$$S = 3.48 \log(F_a)$$



<http://www.ibnurusydy.com>

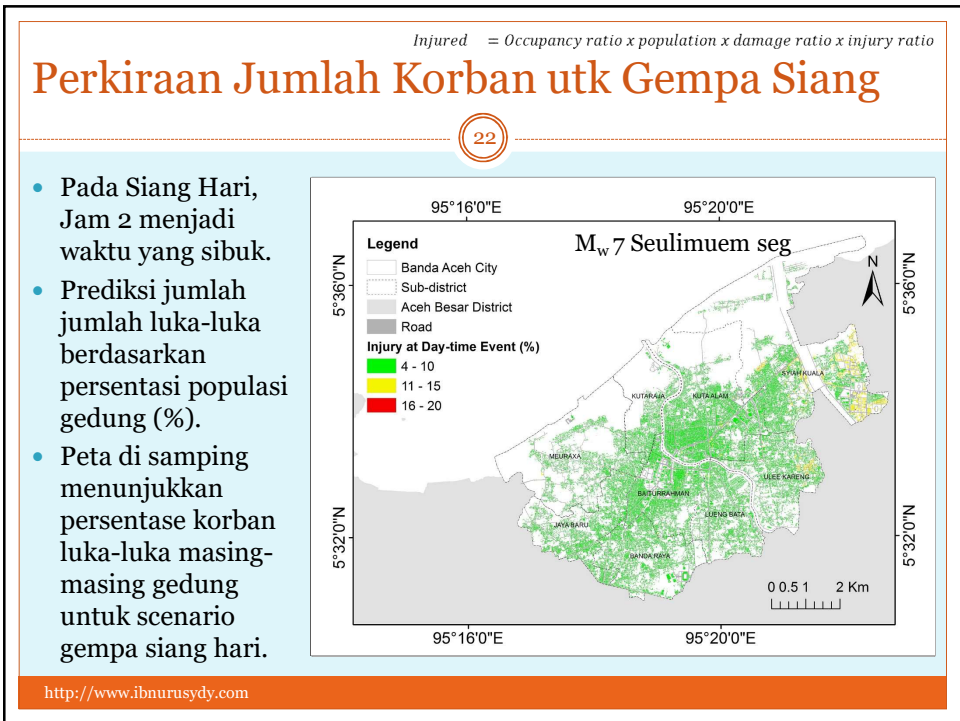
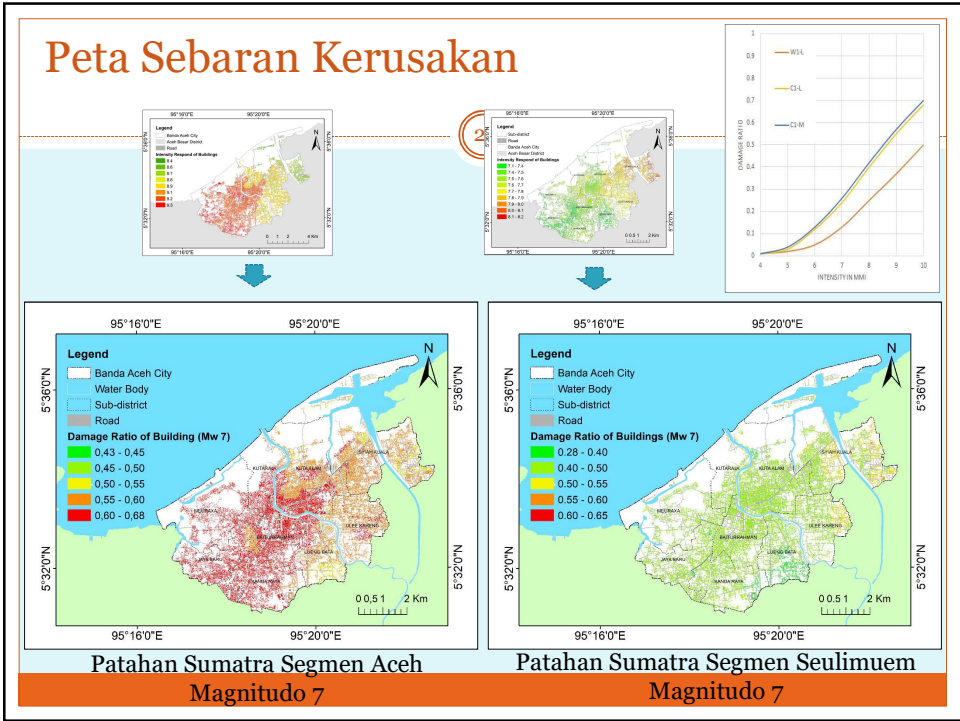
Sebaran Jenis Bangunan di Banda Aceh

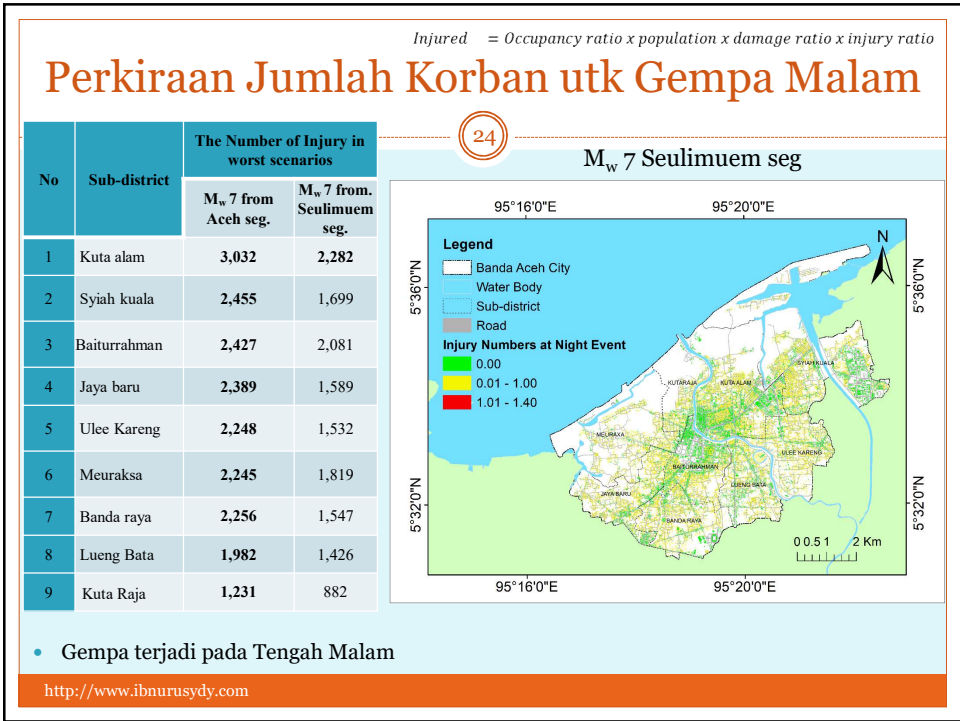
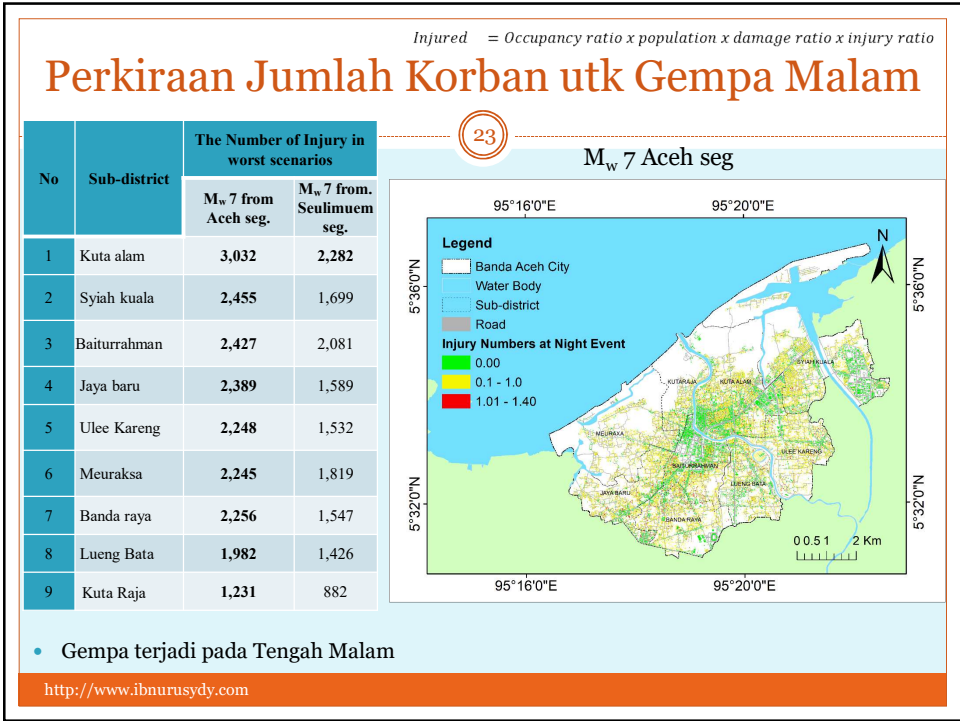
20



Peta Sebaran Jenis bangunan di Kota Banda Aceh, total bangunan 62.761 dan Kurva Kerentanan Bangunan berdasarkan Tingatinga et al. (2013) dan Naguit et al. (2017), Low-Rise Concrete Moment Frame (C1-L), Medium Rise Concrete Moment Frame, dan Low-Rise Light Wood Frame (W1-L)

<http://www.ibnurusydy.com>

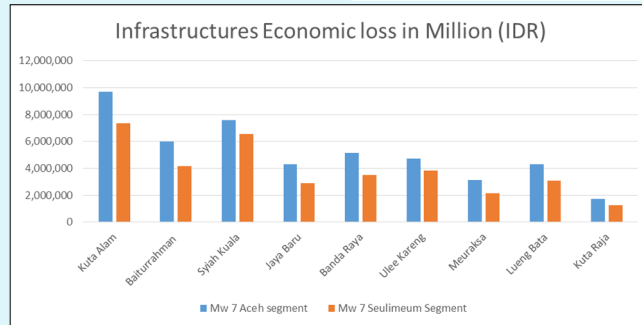




Perkiraan Jumlah Kerugian

- Biaya bangunan per-luas berdasarkan surat keputusan Walikota Bonga Aceh.
- Estimasi ini berdasarkan kerusakan terburuk untuk gempa 7 Mw dari segmen Aceh dan Seulimeum.
- Gempa 7 Mw dari segmen Aceh = 46 T
- Gempa 7 Mw dari segmen Seulimeum = 35 T

| No | Type of Buildings | Standard Price per area | |
|----|---------------------------------------|-------------------------|-----|
| | | IDR | USD |
| 1 | Building A (Special Public Buildings) | 6.080.000 | 433 |
| 2 | Building B (Public Buildings) | 4.770.000 | 340 |
| 3 | Houses type A | 5.870.000 | 418 |
| 4 | Houses type B | 5.850.000 | 416 |
| 5 | Houses type C | 4.420.000 | 314 |



Prediksi kerugian ekonomi akibat kerusakan bangunan dan biaya membangun kembali (Rusydy dkk, 2020)

Kesimpulan dan Rekomendasi

26

- Ancaman potensi gempa bumi masih berpotensi dari patahan Sumatra Segmen Aceh dan Seulimeum.
- Membuat bangunan tahan gempa merupakan sebuah keharusan.
- Studi bawah permukaan terkait kondisi tanah (metode seismic, geolistrik, N-SPT, CPT, dll) harus dilakukan sebelum sebuah tempat dijadikan kawasan pembangunan.
- Survey Bathimetri laut di sekitar Banda Aceh dan Aceh harus dilakukan untuk melihat ada tidaknya potensi longsor yang bias memicu tsunami.

The screenshot shows a web browser window with the URL geoenvironmental-disasters.springeropen.com. The page title is "Best Paper Award 2020". The authors listed are Jagabandhu Roy & Sunil Saha, published on 1 August 2019. The award recipient is the paper titled "Shallow crustal earthquake models, damage, and loss predictions in Banda Aceh, Indonesia" by Rusydy, I., Idris, Y., and Mulkal et al. The award is for No. 8, Vol. 7. The paper is described as well-cited and currently used for ground motion theories to predict potential magnitude of future earthquakes in Banda Aceh. The browser's taskbar shows the date as 9/4/2021 and the time as 9:16 AM. A download bar at the bottom of the browser window shows three files: "download (6).png", "download (5).png", and "Logo-HAGI.jpg".

<http://www.ibnurusydy.com>

The screenshot shows a web browser window with the URL geoenvironmental-disasters.springeropen.com. The page content includes the journal identifier "KN-ICGD-GEDI-0421" and contact information for the EIC: "if you have questions please contact the EIC before submitting to the journal: wangfw@tongji.edu.cn". A central image shows a group of people standing in front of a building with a banner that reads "Best Paper Award 2020 for Geoenvironmental Disasters". The banner also lists the award recipient: "Best Paper Award 2020 For the 'Shallow Crustal Earthquake Models, Damage and Loss Predictions in Banda Aceh, Indonesia' by Rusydy, I., Idris, Y., Mulkal et al.". Below the image is the section "About the Editor-in-Chief". The browser's taskbar shows the date as 9/4/2021 and the time as 9:17 AM. A download bar at the bottom of the browser window shows three files: "download (6).png", "download (5).png", and "Logo-HAGI.jpg".

<http://www.ibnurusydy.com>

