

MITIGASI BENCANA ALAM PADA INFRASTRUKTUR JALAN DAN JEMBATAN

Arie Setiadi Moerwanto

Balai Litbang Bangunan Hidraulik dan
Geoteknik Keairan, Puslitbang SDA
Kementerian Pekerjaan Umum dan
Perumahan Rakyat
ariemoerwanto@yahoo.com

James Zulfan

Balai Litbang Bangunan Hidraulik dan
Geoteknik Keairan, Puslitbang SDA
Kementerian Pekerjaan Umum dan
Perumahan Rakyat

Abstract

Indonesia is considered as one of the disaster-prone countries which located in the equator as well as in Pacific Ring of Fire. It increases the risk of disasters significantly related to hydrometeorology disaster, such as flood, drought, extreme weather, extreme wave and abrasion, and forest fire. Various incidents in the past decades, especially disaster event in Palu, Central Sulawesi Province, have shown an increasing trend of disaster in Indonesia. Damaged infrastructures post earthquake and tsunami have disrupted the activities of the surrounding community. It occurs due to many factors including land use change, climate change, increased rainfall intensity, and increased frequency of earthquake. Road and bridge infrastructures are vulnerable to disasters. Hence, road and bridge administrators are advised to mitigate the infrastructure by considering the safety of the structures against existing disaster parameters such as river morphology, land use condition, climate condition, and earthquake. This paper will discuss aspects that affect the disaster in Indonesia and its mitigation.

Keywords: disaster mitigation, road and bridge infrastructure, infrastructure safety, disaster parameter

Abstrak

Indonesia berada di khatulistiwa dan termasuk kawasan Cincin Api Pasifik. Hal ini menimbulkan potensi yang sangat tinggi untuk berbagai jenis bencana terkait hidrometeorologi, seperti banjir, kekeringan, cuaca ekstrim, gelombang laut ekstrim (tsunami), abrasi laut, serta kebakaran hutan. Berbagai kejadian dalam satu dekade terakhir, terutama kejadian bencana di Kota Palu telah menunjukkan adanya peningkatan tren frekuensi bencana di Indonesia. Kerusakan infrastruktur pascagempa dan tsunami telah mengganggu aktivitas masyarakat di sekitarnya. Hal ini disebabkan karena banyak faktor, seperti perubahan tataguna lahan, perubahan iklim, peningkatan curah hujan, dan peningkatan tren kejadian gempa. Infrastruktur jalan dan jembatan merupakan salah satu bangunan yang rentan terkena dampak kejadian bencana. Oleh karena itu, para pengelola bangunan jalan dan jembatan disarankan untuk melakukan mitigasi bencana dengan mempertimbangkan keselamatan bangunan tersebut terhadap parameter kebencanaan yang ada, seperti perubahan-perubahan morfologi sungai, kondisi tata guna lahan, kondisi iklim, dan peningkatan aktivitas kegempaan. Pada studi ini dibahas aspek-aspek yang memengaruhi terjadinya kebencanaan di Indonesia beserta mitigasinya.

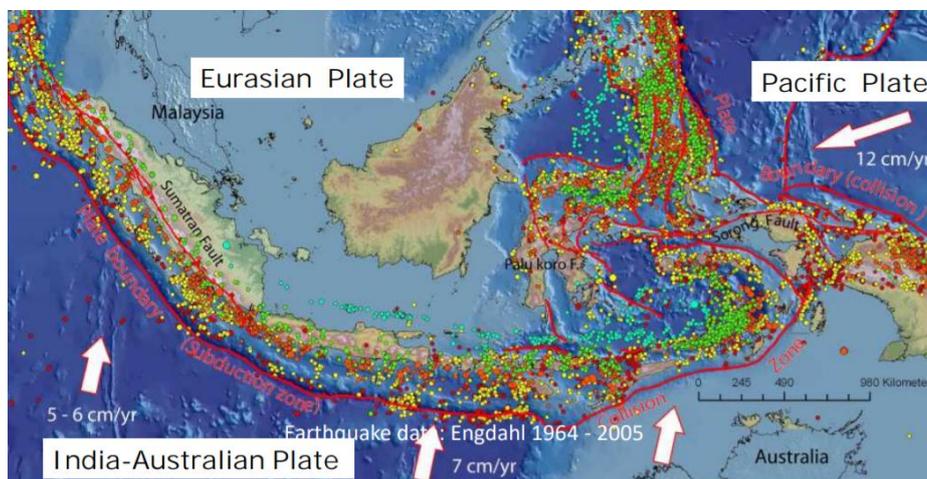
Kata-kata kunci: mitigasi bencana, infrastruktur jalan dan jembatan, keamanan infrastruktur, parameter kebencanaan

PENDAHULUAN

Wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia merupakan daerah rawan bencana. Posisinya yang terletak di garis khatulistiwa dan di kawasan Cincin Api Pasifik menimbulkan potensi tinggi untuk berbagai jenis bencana terkait hidrometeorologi, seperti banjir, kekeringan, cuaca ekstrim, gelombang laut ekstrim atau tsunami, abrasi pantai, serta kebakaran hutan,

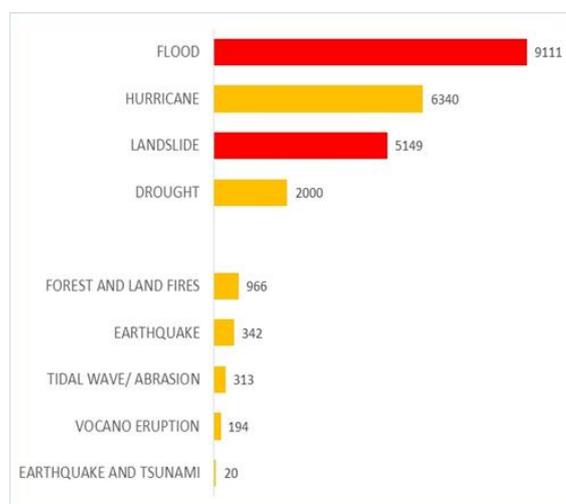
seperti yang terlihat pada Gambar 1. Fenomena perubahan iklim juga semakin meningkatkan ancaman bencana hidrometeorologi.

Berdasarkan Undang-Undang No. 24/2007, Indonesia memiliki 12 tipe kebencanaan yang berisiko tinggi, yaitu gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, gerakan tanah atau tanah longsor, banjir, banjir bandang, kekeringan, cuaca ekstrim atau puting beliung, gelombang ekstrim dan abrasi, kebakaran hutan dan lahan, epidemi dan wabah penyakit, serta gagal teknologi. Dengan kondisi bencana yang dikombinasikan dengan tingginya kondisi kerentanan masyarakat Indonesia, risiko kebencanaan di Indonesia termasuk kategori yang sangat tinggi. Berdasarkan data BNPB, selama periode 1815–2018, tercatat berbagai kejadian bencana alam yang menimbulkan banyak korban jiwa. Kejadian bencana yang paling dominan, secara berurut, adalah banjir, angin puting beliung, longsor, kekeringan, kebakaran hutan, gempa bumi, abrasi pantai, erupsi gunung berapi, dan tsunami, seperti terlihat pada Tabel 1.



Sumber: BNPB (2012)

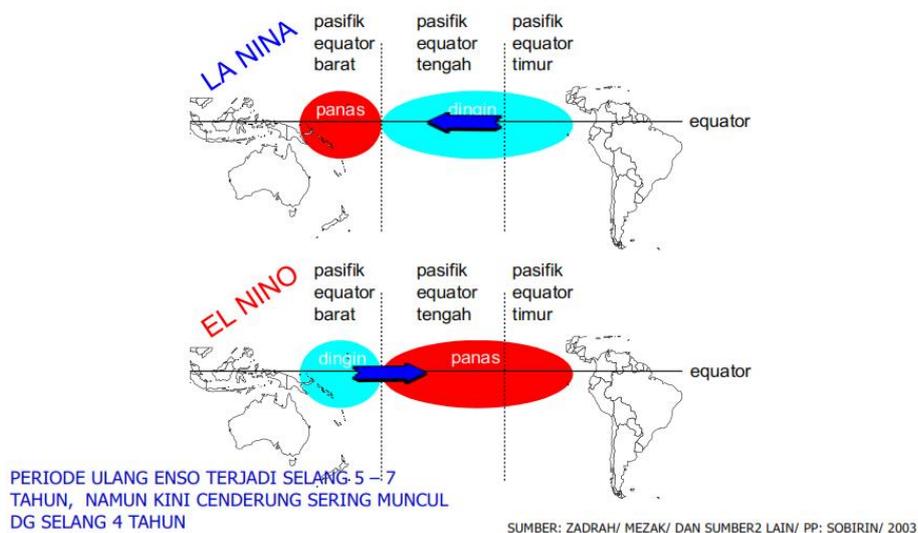
Gambar 1 Peta Sebaran Gunung Api di Indonesia



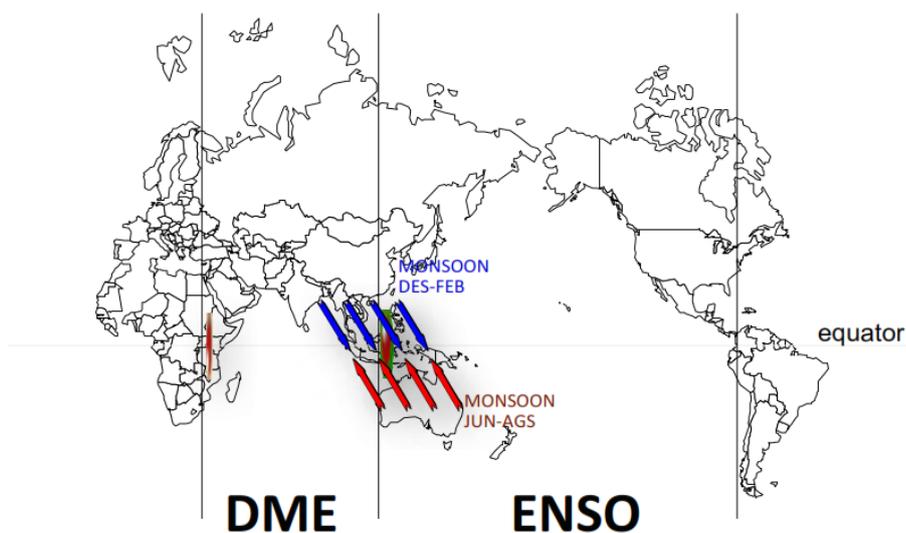
Sumber: BNPB (2015)

Gambar 2 Kejadian Bencana di Indonesia 1815–2018

Di sisi lain, penyimpangan iklim yang terjadi saat ini juga berkontribusi dalam kebencanaan di Indonesia, seperti pemanasan global serta peristiwa El Nino dan La Nina (Gambar 3). El Nino dan La Nina merupakan dinamika atmosfer dan laut yang memengaruhi cuaca di sekitar laut Pasifik. Selain fenomena menghangatnya temperatur permukaan laut, terjadi pula fenomena sebaliknya, yaitu mendinginnya temperatur permukaan laut akibat menguatnya *upwelling*. Ketika El Nino berlangsung, musim kemarau menjadi sangat kering serta permulaan musim hujan yang terlambat. Sedangkan ketika La Nina, musim penghujan akan tiba lebih awal daripada biasanya. Selain dipengaruhi oleh fenomena pemanasan dan pendinginan permukaan laut di Pasifik (*El Nino Southern Oscillation* atau ENSO), kondisi iklim Indonesia juga dipengaruhi oleh *Monsoon* dan *Dipole Mode Events* (DME), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3 El Nino dan La Nina



Gambar 4 Sistem Iklim di Indonesia

Ketika La Nina terjadi bersamaan dengan saat *Monsoon* Desember–Februari (puncak musim hujan), intensitas curah hujan di berbagai wilayah di Indonesia menjadi sangat tinggi. Hal ini dapat menyebabkan banjir dan longsor di wilayah tersebut. Sebaliknya, jika El Nino terjadi saat musim kemarau, wilayah Indonesia akan menjadi sangat kering dan potensi kebakaran hutan sangat tinggi. Data terbaru dari BNPB, seperti terlihat pada Gambar 5, menyebutkan bahwa pada periode bulan Januari tahun 2019 telah terjadi 366 kejadian bencana yang menyebabkan 94 orang meninggal dan hilang, serta lebih dari 88 ribu orang mengungsi dan terdampak. Bencana juga telah mengakibatkan 4.013 rumah mengalami kerusakan. Puting beliung merupakan bencana yang paling banyak terjadi pada bulan Januari. Korban meninggal dan hilang paling banyak disebabkan bencana banjir, sedangkan kerusakan rumah paling banyak disebabkan oleh bencana puting beliung.



Sumber: BNPB (2019)

Gambar 5 Kejadian Bencana di Indonesia pada Bulan Januari 2019

Melihat kerentanan kondisi kebencanaan di Indonesia, diperlukan suatu pemahaman akan fenomena bencana yang terjadi, khususnya dalam sektor konstruksi bidang jalan dan jembatan. Pembangunan yang dilakukan tidak dengan perencanaan, pelaksanaan, pengawasan yang matang, serta tidak dioperasikan dan tidak dipelihara dengan baik dapat menghasilkan infrastruktur yang rentan terhadap bencana. Bila terjadi suatu bencana, hasil produk sektor konstruksi menjadi tidak berfungsi dan menyebabkan terjadinya korban jiwa dan kerusakan infrastruktur, yang tentu saja akan menimbulkan kerugian yang lebih luas. Makalah ini membahas aspek yang memengaruhi terjadinya kebencanaan di Indonesia beserta mitigasinya.

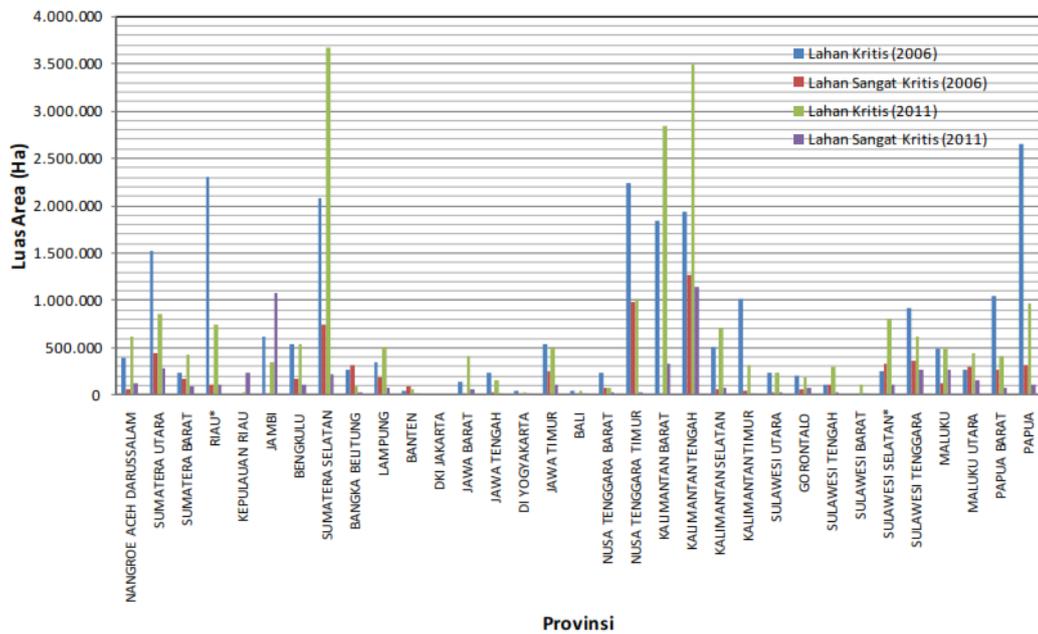
Penulisan makalah ini dilakukan dengan pendekatan kualitatif berdasarkan data yang diperoleh. Data diperoleh dari pihak-pihak dan instansi terkait, seperti Kementerian PUPR, BNPB, akademisi, dan praktisi yang dianggap memiliki kompetensi mengenai topik kebencanaan melalui *focus group discussion*, baik secara internal maupun eksternal. Data sekunder diperoleh dari data literatur, baik dari laporan teknis instansi maupun penelusuran *website online*.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

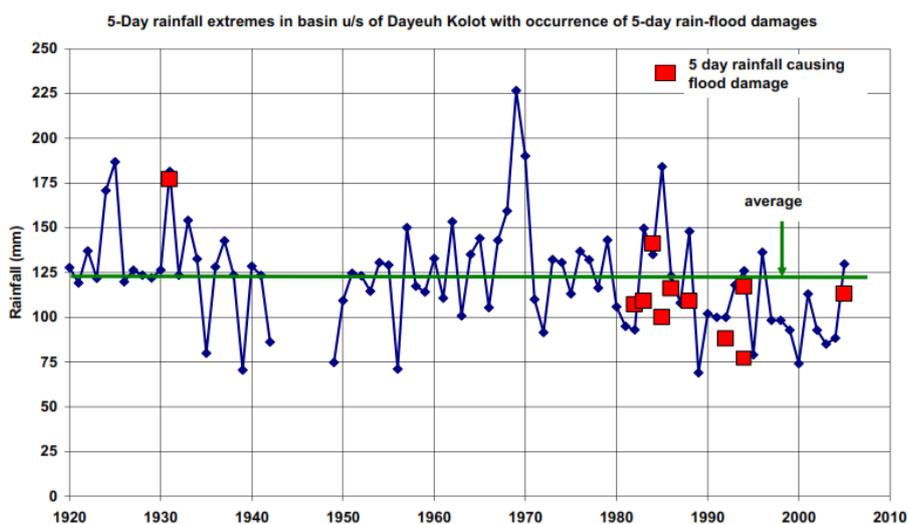
Faktor Penyebab Bencana

Tata guna lahan secara umum bergantung pada kemampuan lahan dan pada lokasi lahan. Perubahan tata guna lahan dalam pelaksanaan pembangunan tidak dapat dihindari

(Ayala et al., 2006; Dikau et al., 1996; Glade, 2003; Karsli et al., 2009). Perubahan tersebut biasanya terjadi karena 2 hal, yaitu: (1) adanya keperluan untuk memenuhi kebutuhan penduduk yang jumlahnya makin meningkat dan (2) berkaitan dengan meningkatnya tuntutan akan industri. Gambar 6 menunjukkan perubahan luas lahan kritis yang terjadi di provinsi yang ada di Indonesia. Perubahan tata guna lahan mempunyai kecenderungan yang meningkat ke arah penggunaan lahan yang karakteristiknya memiliki resapan lebih kecil. Hal ini akan mengakibatkan meningkatnya nilai koefisien pengaliran permukaan atau limpasan dan memicu potensi terjadinya bencana longsor.



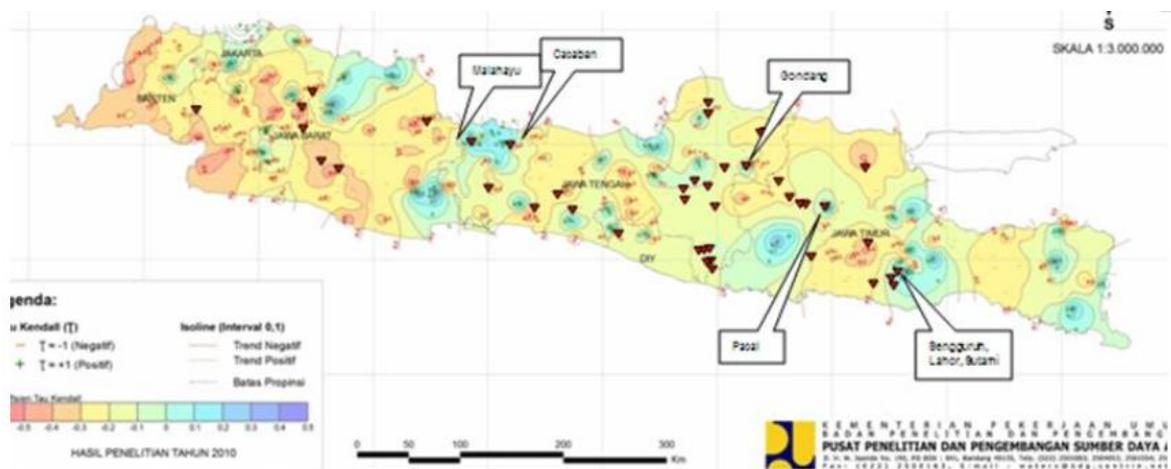
Gambar 6 Peningkatan Luas Lahan Kritis di Indonesia



Gambar 7 Pengaruh Perubahan Tinggi Hujan Harian Maksimum Tahunan

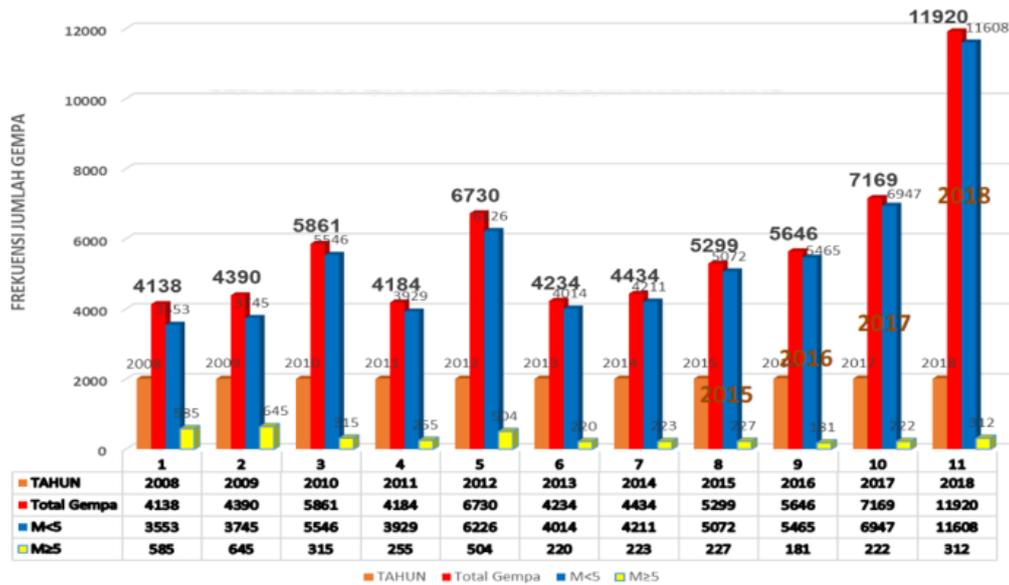
Berdasarkan kajian Puslitbang SDA untuk Sungai Citarum, perubahan iklim diindikasikan mulai terjadi pada tahun 1970-an. Pada tahun 1930, era ketika belum terjadi fenomena perubahan iklim, tinggi hujan ekstrim yang mampu mengakibatkan banjir adalah 175 mm (nilai yang lebih besar daripada rata-rata hujan maksimum tahunan) selama 5 hari. Sedangkan pada saat ini perubahan iklim semakin terasa dampaknya, dengan tinggi hujan di bawah rata-rata hujan maksimum sudah mampu menyebabkan banjir (lihat Gambar 7). Kejadian banjir tersebut dapat diakibatkan oleh peningkatan koefisien *run-off* dan/atau penurunan kapasitas sungai untuk mengalirkan debit akibat akumulasi sedimen yang mengendap di alur-alur sungai. Pasokan sedimen dari daerah tangkapan sungai meningkat akibat hilangnya tutupan lahan dan peningkatan intensitas curah hujan.

Kajian lain tentang fenomena curah hujan di Pulau Jawa menunjukkan bahwa terdapat beberapa wilayah yang memiliki tren perubahan tinggi Hujan Harian Maksimum Tahunan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Wilayah-wilayah yang memiliki tren perubahan kenaikan tinggi Hujan Harian Maksimum Tahunan ditunjukkan dengan warna biru, sedangkan yang memiliki kecenderungan penurunan ditandai dengan warna merah. Peta perubahan tinggi Hujan Harian Maksimum Tahunan ini menunjukkan daerah yang memiliki kecenderungan telah terjadi dampak perubahan iklim (Pusair, 2014). Oleh karena itu, disarankan kepada para pengelola bangunan di wilayah tersebut untuk memeriksa kembali dan menyesuaikan desain struktur hidraulik yang ada. Sebaliknya, kenaikan debit banjir maksimum di luar wilayah dengan warna biru lebih diakibatkan oleh kerusakan atau perubahan tata guna lahan di Daerah Aliran Sungai.



Gambar 8 Pengaruh Perubahan Tinggi Hujan Harian Maksimum Tahunan

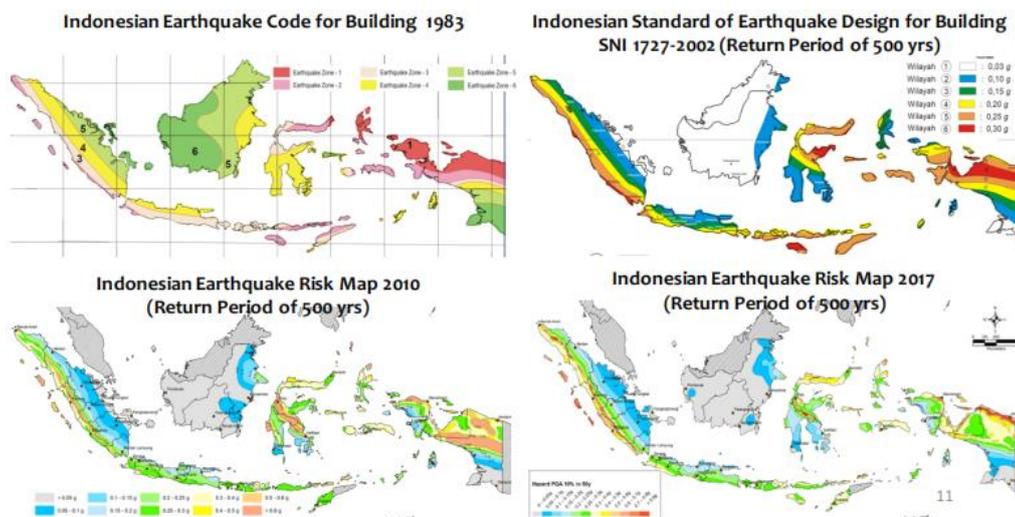
Berdasarkan catatan dan pemantauan BMKG, telah terjadi peningkatan tren aktivitas gempa di Indonesia, seperti dapat dilihat pada Gambar 9. Pola kenaikan frekuensi gempa mulai terlihat sejak tahun 2013, dengan jumlah frekuensi gempa total 4.234 kali dalam setahun, sampai pada tahun 2018, dengan jumlah frekuensi gempa total 11.920 kali dalam setahun.



Sumber: BMKG (2019)

Gambar 9 Tren Peningkatan Aktivitas Gempa di Indonesia

Hal ini tentu akan sangat berpengaruh kepada keamanan infrastruktur yang ada. Oleh karena itu, penting untuk selalu memeriksa keamanan infrastruktur tersebut secara periodik dan memeriksa kondisi infrastruktur setelah kejadian gempa. Dengan semakin berkembangnya ilmu dan teknologi kegempaan, risiko kegempaan terhadap struktur dapat dianalisis secara lebih cermat menggunakan model 3D dengan memperhatikan kemungkinan sumber gempa, sesar aktif, dan kondisi geologi setempat. Peningkatan akurasi peralatan pemantau pergerakan sesar dapat digunakan untuk merekonstruksi potensi sumber-sumber gempa dan jika digabungkan dengan catatan gempa yang telah terjadi, dapat dihitung akumulasi energi akibat pergerakan lempeng-lempeng benua yang “belum lepas”.



Sumber: Pusgen (2017)

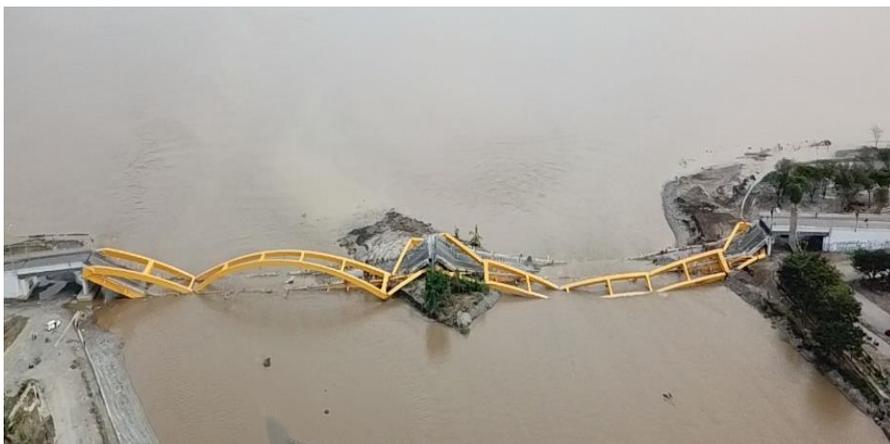
Gambar 10 Peta Gempa di Indonesia

Pedoman perencanaan bangunan terhadap risiko gempa di Indonesia sudah dimulai dengan terbitnya Indonesian Earthquake for Building tahun 1983 yang kemudian diperbaharui pada tahun 2002 (Gambar 10). Pada tahun 2010 diterbitkan peta risiko gempa Indonesia yang disepakati untuk digunakan baik untuk bidang Sumber Daya Air, Bina Marga, dan Cipta Karya. Peta ini kemudian diperbaharui pada tahun 2017 dengan pemutakhiran mengikuti perkembangan terkini ilmu dan teknologi kegempaan. Adanya peta risiko gempa ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam desain dan perencanaan infrastruktur di Indonesia dengan mempertimbangkan parameter gempa yang terkini. Hal yang harus dilakukan adalah memeriksa keamanan infrastruktur yang telah ada dan sebagai dasar perancangan infrastruktur yang akan dibangun.

Kasus-Kasus Kerusakan Infrastruktur Jalan dan Jembatan Akibat Bencana

Jembatan Palu IV, Sulawesi Tengah

Jembatan Palu IV merupakan sebuah jembatan yang terletak di Kota Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia. Jembatan dengan panjang 250 meter dan lebar 7,5 meter ini diresmikan pada tahun 2006. Pada tahun 2018 jembatan ini rusak akibat gempa dan tsunami (Goda et al., 2019). Jembatan ini menghubungkan Kecamatan Palu Timur dan Kecamatan Palu Barat (Gambar 11), yang dirancang dengan menggunakan Peta Gempa tahun 2002, dengan percepatan gempa PGA hanya sekitar 0,2 g. Pada Peta Risiko Gempa 2017, percepatan gempa untuk wilayah Palu sudah diperbaharui dan PGA meningkat menjadi 0,8 g. Saat terjadi gempa 2018, percepatan gempa PGA yang terukur adalah 0,281 arah Timur-Barat, 0,203 arah Utara-Selatan, dan 0,335 arah Vertikal. Karena jembatan ini belum pernah diperkuat sesuai dengan Peta Risiko Gempa yang telah diperbaharui, jembatan ini runtuh saat terjadi gempa pada tahun 2018.



Gambar 11 Kerusakan Jembatan Palu IV

Jembatan Bahodopi, Provinsi Sulawesi Tengah

Jembatan Bahodopi terletak di Sulawesi Tengah dan merupakan salah satu jembatan di Jalur Trans Sulawesi, yang rusak akibat banjir bandang di tahun 2019. Jembatan dibangun

di ruas bagian tengah Sungai Bahodopi dengan kecenderungan morfologi berliku (*meander*). Sungai di hulu jembatan terus berkembang dominan ke arah tikungan luar sehingga aliran sungai menyusur dan menggerus jalan pendekat jembatan. Aliran utama sungai masuk hampir sejajar ke bukaan jembatan (Gambar 12). Kondisi yang tidak baik ini jauh berbeda dengan kondisi saat jembatan dibangun, yang dibiarkan tanpa pemeliharaan. Saat debit aliran sungai diperkirakan sebesar $Q_{25\text{tahun}}$ datang, aliran menggerus jalan pendekat dan mengakibatkan gerusan lokal di sekitar pilar tengah jembatan. Gerusan-gerusan ini mengakibatkan jembatan rusak berat. Pemeliharaan jembatan yang tidak memadai adalah penyebab utama kerusakan. Jika alur sungai di bagian hulu sempit diperbaiki dengan jalan membuat alur pandu (*pilot channel*), diperkirakan jembatan dan jalan pendekat dapat diselamatkan.



Gambar 12 Lokasi Jembatan Bahodopi

Jembatan Dampala, Provinsi Sulawesi Tengah

Jembatan Dampala yang terletak di Jalur Trans Sulawesi di Sulawesi Tengah mengalami nasib yang hampir sama dengan Jembatan Bahodopi. Jembatan dibangun pada ruas sungai yang memiliki kecenderungan berjalin (alur sungai berpindah-pindah sesaat setelah terjadi banjir). Kondisi ini diperburuk oleh aktivitas penambangan di bagian hulu sungai yang mengakibatkan kenaikan dasar sungai (*agradasi*). Saat banjir di akhir tahun 2019, dengan intensitas hujan wilayah $R_{25\text{tahun}}$, bukaan sungai tidak mencukupi dan aliran berpindah menerjang jalan-jalan pendekat di kiri dan di kanan jembatan, akibat bukaan jembatan tersumbat oleh batang-batang kayu (*floating debris*) yang hanyut terbawa aliran sungai. Kerusakan Jembatan Dampala dapat dilihat pada Gambar 13. Karena tipe sungai termasuk tipe berjalin (*braided*), panjang jembatan pengganti seyogyanya cukup didesain dengan memperhatikan lebar alur dan dilengkapi dengan struktur pengiring di udik dan di hilir bangunan. Selanjutnya, karena dasar sungai terus naik (*agradasi*) serta membawa *floa-*

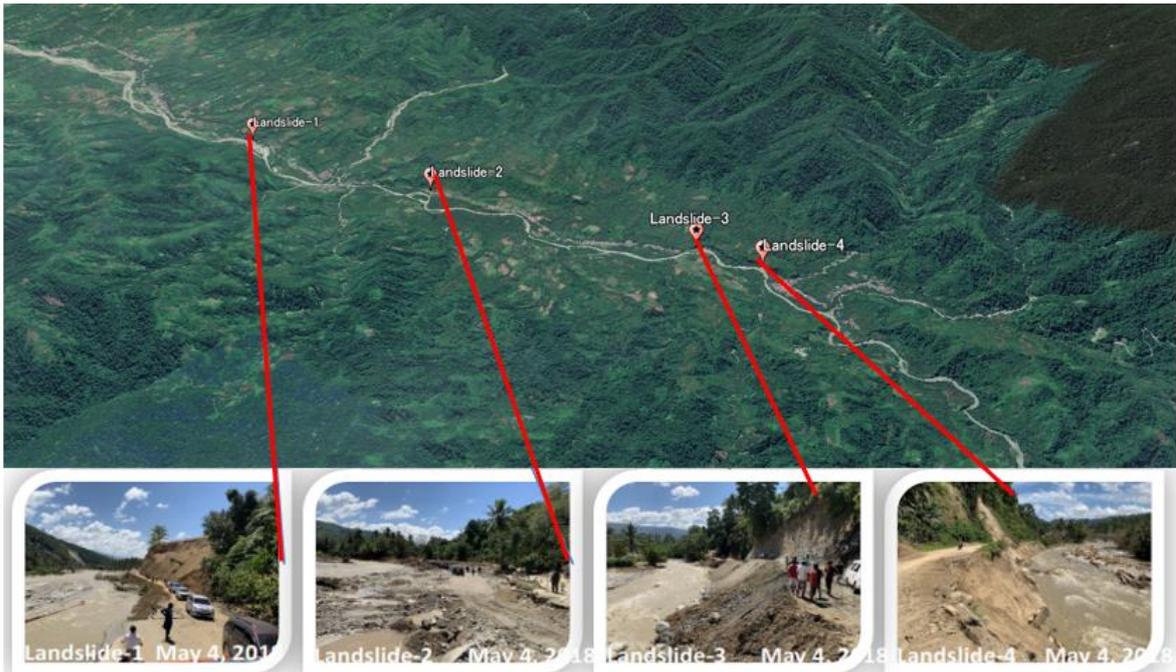
ting debris dan *traffic* makin rendah, pilihan *causeway bridge* dapat menjadi pilihan yang baik sebagai bangunan pengganti. Alternatif lain adalah tipe jembatan biasa, tetapi pada ruas sungai di bagian hulu jembatan harus dibangun bangunan pengendali dasar sungai (*check-dam*).



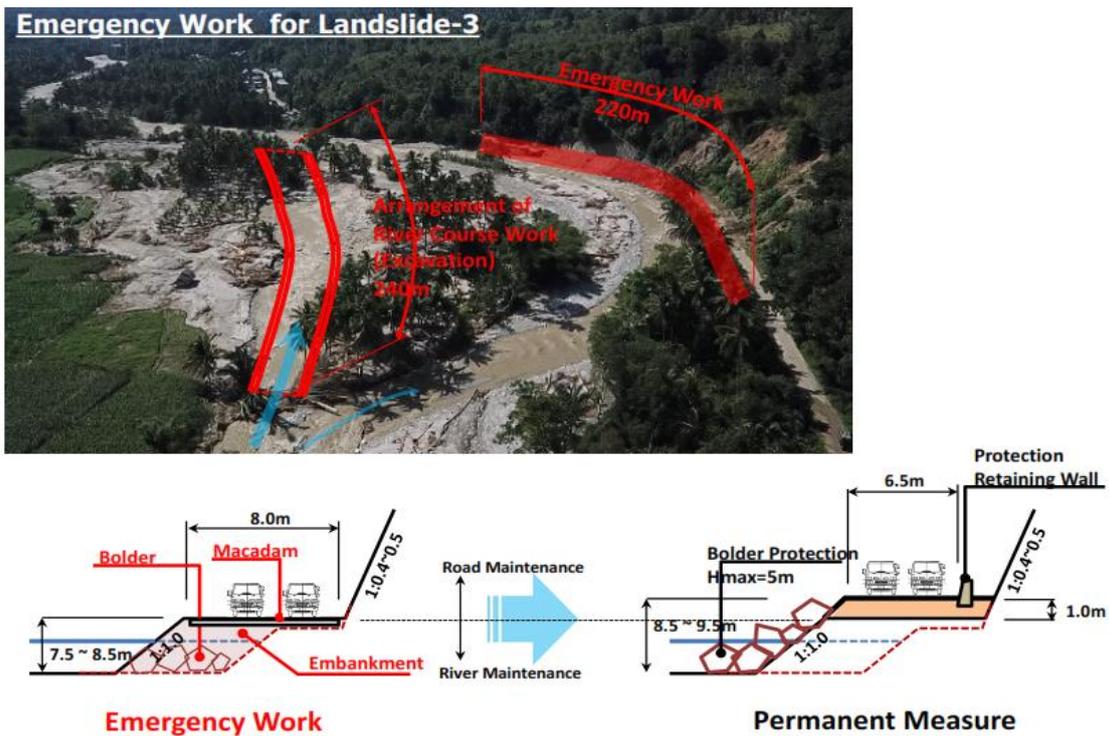
Gambar 13 Lokasi Jembatan Dampala

Longsor dan Gerusan Tebing Sungai Palu di Ruas Jalan Kalawara-Kulawi, Sulawesi Tengah

Pada tahun 2019 banjir dan gerusan tebing Sungai Palu ruas bagian hulu telah mengakibatkan Ruas Jalan Kalawara–Kulawi terputus di beberapa tempat. Hal ini diakibatkan karena karakteristik Sungai Palu yang berliku (*meandering*) dan berjalin (*braiding*). Di sisi lain, Jalan Ruas Kalawara–Kulawi yang dibangun menyusur tebing sungai tersebut tidak dilengkapi dengan perlindungan tebing sungai yang memadai. Gambaran kondisi longsor di lapangan dapat dilihat pada Gambar 14. Gambar 15 menunjukkan rencana penanganan longsor di lapangan dengan menerapkan 2 skenario, yaitu skenario darurat, yaitu pembuatan tanggul sungai dengan penimbunan dan diberi perlindungan batu *boulder*, dan skenario permanen, yaitu pembuatan tanggul sekaligus *retaining wall* dan perlindungan kaki tanggul sungai berupa tumpukan batu *boulder*. Untuk mengurangi daya rusak sungai, alur sungai dialihkan agar tidak menyusur kaki tebing. Hal lain adalah membangun beberapa bangunan pengendali dasar sungai (*check-dam*) untuk mengurangi energi aliran.



Gambar 14 Lokasi Longsoran dan Gerusan Tebing Sungai

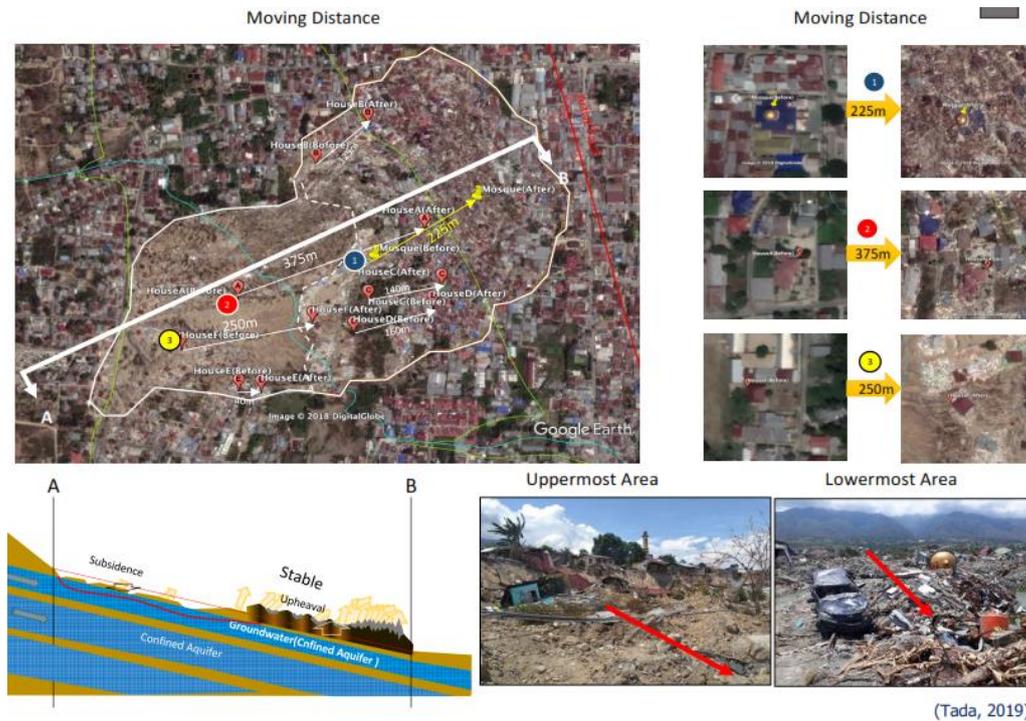


Gambar 15 Tata Letak Rencana Penanganan Longsoran

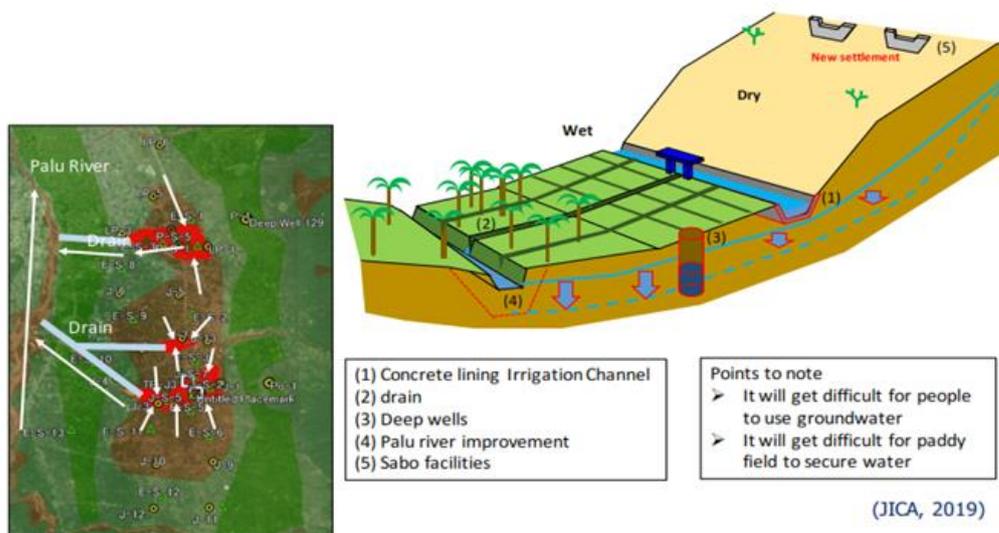
Nalodo (Sliding Liquefaction), Sulawesi Tengah

Sesaat setelah gempa di Sulawesi Tengah pada tahun 2018, beberapa area mengalami Nalodo (*Sliding Liquefaction*). Nalodo merupakan bahasa suku Kaili, penduduk asli

setempat, yang berarti terkubur lumpur atau tanah yang tenggelam atau yang dikenal dengan likuifaksi.



Gambar 16 Gambaran Kondisi dan Proses Likuifaksi di Kota Palu



Gambar 17 Skema Penanganan Lokasi yang Terkena Likuifaksi

Kejadian ini membuat bangunan yang ada di atasnya meluncur hingga jarak sekitar 400 meter dan tenggelam akibat putaran aliran arah vertikal maupun horizontal. Kondisi area yang mengalami Nalodo dicirikan dengan karakteristik teknik sebagai berikut: (1) muka air tanah yang dangkal, (2) terdapat lapisan tipis dengan porositas yang relatif rendah, dan (3)

kemiringan dan kepadatan endapan tanah pasir relatif rendah. Strategi penanganan likuifaksi yang paling realistis untuk dilakukan adalah dengan menurunkan muka air tanah. Penyesuaian kondisi lainnya sangat mahal untuk dilakukan. Gambaran luasan area likuifaksi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 16. Skema rencana penanganan area yang terdampak likuifaksi (Gambar 14) adalah dengan memasang lapisan kedap untuk mengurangi perkolasi di saluran irigasi, pembuatan saluran drainase untuk mengendalikan muka air tanah, pembuatan sumur dalam dan memanfaatkan air tanah dalam, normalisasi dan penurunan dasar sungai, serta pembangunan Sabo dam segera dilakukan.

KESIMPULAN

Mitigasi kebencanaan terkait infrastruktur jalan dan jembatan dapat dilakukan dengan menerapkan hal-hal berikut:

- 1) Konsultasi kepada Pengelola Wilayah Sungai terkait, untuk memeriksa apakah Daerah Aliran Sungai (DAS) lokasi jalan dan jembatan memiliki tren positif terdampak *Climate Change*.
- 2) Perubahan tata guna lahan dan perkembangan morfologi sungai (berliku atau berjalin, agradasi atau degradasi) harus diperhatikan dan segera dilakukan penyesuaian agar tidak membahayakan infrastruktur.
- 3) Pembaharuan Peta Risiko Kegempaan harus diikuti dan dilakukan evaluasi apakah infrastruktur tersebut cukup aman atau perlu diperkuat agar memenuhi persyaratan terbaru.
- 4) Kewaspadaan diperlukan untuk infrastruktur yang berada di atas lapisan dengan parameter geoteknik, seperti terdapat endapan sedimen pasir dengan kepadatan rendah ($N_{spt} < 10$), muka air tanah dangkal, terdapat lapisan tipis dengan porositas relatif rendah, permukaan tanah memiliki kemiringan, dan berada pada wilayah yang memiliki risiko kegempaan tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan makalah ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat khususnya bagi para pengelola jalan dan jembatan, serta akademisi dan masyarakat pada umumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Ayala, I.A., O.E.Chavez, dan J.F. Parrot. 2006. *Landsliding Related to Land-Cover Change: A Diachronic Analysis of Hillslope Instability Distribution in the Sierra Norte, Puebla, Mexico*. *Catena Journal* 65 (2): 152–162.

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2012. *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Nomor 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2015. *Rencana Strategis Badan Nasional Penanggulangan Bencana 2015–2019*. Jakarta.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2019. *Info Bencana Februari 2019*. (Online), (<https://bnpb.go.id//publikasi/info-bencana>, diakses 10 Oktober 2019).
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2019. *Skala Intensitas Gempabumi Menurut BMKG berdasarkan nilai PGA*. Jakarta.
- Dikau, R., D. Brunsten, L. Schrott, dan M. Ibsen. 1996. *Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes*. Chichester, Wiley.
- Glade, T. 2003. *Landslides Occurrence as Aresponse to Land Use Change: A Review of Evidence from New Zealand*. *Catena* 51: 297–314.
- Goda, K., Mori, N., Yasuda, T., Prasetyo, A., Muhammad, A., dan Tsujio, D. 2019. *Cascading Geological Hazards and Risks of the 2018 Sulawesi Indonesia Earthquake and Sensitivity Analysis of Tsunami Inundation Simulations*. *Frontiers in Earth Science*, 7. DOI 10.3389/feart.2019.00261.
- Karsli, F., M. Atasoy, A. Yalcin, S. Reis, O. Demir, dan C. Gokceglu. 2009. *Effect of Land Use Changes on Landslides in Landslideprone Area Turkey*. *Environmental Modelling and Assesment* 156: 241–255.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. 2014. *Peta Risiko Kekeringan dan Banjir Berdasarkan Analisis Rainfall-Runoff*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung.
- Pusat Studi Gempa Nasional. 2017. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.