



PERAN MATEMATIKA, SAINS, DAN TEKNOLOGI DALAM KEBENCANAAN

Editor

*Diki

*Sri Utami

*Yuni Tri Hewindati

*Elin Herlinawati



UNIVERSITAS TERBUKA

PERAN MATEMATIKA, SAINS, DAN TEKNOLOGI DALAM KEBENCANAAN

Editor

*Diki *Sri Utami *Yuni Tri Hewindati *Elin Herlinawati

Peran Matematika, Sains, dan Teknologi dalam Kebencanaan

Penulis:

1) Deddy Ahmad Suhardi, S.Si., M.M., 2) Diki, S.Si., M.Ed., Ph.D., 3) Dra. Sri Kurniati Handayani, M.Si., 4) Dr. Yuni Tri Hewindati, 5) Dr. Ir. Nurmala Pangaribuan, M.S., 6) Dr. Lina Warlina, M.Ed., 7) Dr. Budi Prasetyo, M.Si., 8) Erman Arif, S.Kom., MMSI., 9) Elin Herlinawati, M.Si.

ISBN: 978-602-392-721-0

e-ISBN: 978-602-392-720-3

Penelaah Materi: 1) Drs. Timbul Pardede, M.Si., 2) Ir. Isfarudi, M.Pd., 3) Dr. Yuni Tri Hewindati, 4) Dra. Subekti Nurmawati, M.Si., 5) Dr. Ernik Yuliana, S.Pi., M.T., 6) Dra. Susi Sulistiana, M.Si. 7) Dr. Nurul Huda, M.A., 8) Ir. Ludivica Endang Setijorini, M.Si., 9) Dr. Bambang Deliyanto, M.Si., 10) Dra. Tutisiana Silawati, M.Ed., 11) Dr. Hurip Pratomo, M.Si., 12) Dra. Dyah Paminta Rahayu, M.Si., 13) Wahyu Noviani Purwanti, S.Si., M.Si., 14) Dr. Fatia Fatimah, S.Si., M.Pd., 15) Drs. Warsito, M.Pd., 16) Fawzi Rahmadiyan Zuhairi, S.Si., M.Sc., 17) Deddy Ahmad Suhardi, S.Si., M.M., 18) Dr. Lina Warlina, M.Ed., 19) Dra. Dwi Astuti Aprijani, M.Kom., 20) Dra. Lintang Patria, M.Kom., 21) Unggul Utan Sufandi, S.Kom., M.Si.

Editor:

1) Diki, S.Si., M.Ed., Ph.D., 2) Sri Utami, S.ST., M.Kes., 3) Dr. Yuni Tri Hewindati, 4) Elin Herlinawati, M.Si.

Perancang cover dan ilustrasi: Sunarti, S.Des.

Penata letak: Nono Suwarno

Penerbit:

Universitas Terbuka

Jalan Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan - 15418

Banten – Indonesia

Telp.: (021) 7490941 (hunting); Fax.: (021) 7490147

Laman: www.ut.ac.id.

Edisi kesatu

Cetakan pertama Oktober 2019

©2019 oleh Universitas Terbuka



*Buku ini dibawah lisensi *Creative Commons* Atribusi Nonkomersial Tanpa turunan 4.0 Internasional oleh Universitas Terbuka, Indonesia. Kondisi lisensi dapat dilihat pada [Http: //creativecommons.or.id/](http://creativecommons.or.id/)*

Universitas Terbuka: Katalog Dalam Terbitan (Versi RDA)

Nama: Deddy Ahmad Suhardi

Judul: Peran Matematika, Sains, dan Teknologi dalam Kebencanaan (BNBB) / penulis,

Deddy Ahmad Suhardi, S.Si., M.M., Diki, S.Si., M.Ed., Ph.D., Dra. Sri Kurniati Handayani, M.Si., Dr. Yuni Tri Hewindati, Dr. Ir. Nurmala Pangaribuan, M.S., Dr. Lina Warlina, M.Ed., Dr. Budi Prasetyo, M.Si., Erman Arif, S.Kom., MMSI., Elin Herlinawati, M.Si.; penelaah materi, Drs. Timbul Pardede, M.Si., Ir. Isfarudi, M.Pd., Dr. Yuni Tri Hewindati, Dra. Subekti Nurmawati, M.Si., Dr. Ernik Yuliana, S.Pi., M.T., Dra. Susi Sulistiana, M.Si., Dr. Nurul Huda, M.A., Ir. Ludivica Endang Setijorini, M.Si., Dr. Bambang Deliyanto, M.Si., Dra. Tutisiana Silawati, M.Ed., Dr. Hurip Pratomo, M.Si., Dra. Dyah Paminta Rahayu, M.Si., Wahyu Noviani Purwanti, S.Si., M.Si., Dr. Fatia Fatimah, S.Si., M.Pd., Drs. Warsito, M.Pd., Fawzi Rahmadiyan Zuhairi, S.Si., M.Sc., Deddy Ahmad Suhardi, S.Si., M.M., Dr. Lina Warlina, M.Ed., Dra. Dwi Astuti Aprijani, M.Kom., Dra. Lintang Patria, M.Kom., Unggul Utan Sufandi, S.Kom., M.Si.; editor, Diki, S.Si., M.Ed., Ph.D., Sri Utami, S.ST., M.Kes., Dr. Yuni Tri Hewindati, Elin Herlinawati, M.Si. perancang cover dan ilustrasi, Sunarti, S.Des. ; penata letak, Nono Suwarno.

Edisi: 1 | Cetakan: 1

Deskripsi: Tangerang Selatan: Universitas Terbuka, 2019 | 209 halaman; 21cm (termasuk daftar referensi)

ISBN: 978-602-392-721-0

e-ISBN: 978-602-392-720-3

Subyek: 1. Teknologi dalam Kebencanaan (Matematika)

2. Teknologi dalam Kebencanaan (Sains)

Nomor klasifikasi: 510 [23]

201900168

PENGANTAR DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Dengan mengucapkan puji dan syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa dan Maha Kuasa, serta atas ijinNya pula maka Buku Seminar Nasional Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Terbuka (FST-UT) 2019 ini dapat terbit. Buku ini merupakan salah satu sumbangan para dosen di FST-UT dalam menghadapi peristiwa bencana yang sering terjadi di tanah air kita. Selain sebagai bagian dari Seminar Nasional (semnas) FST UT, buku ini juga ikut melengkapai Dies Natalis ke 35 UT. Sejalan dengan tema semnas FST UT, buku ini mengangkat tema **Peran Matematika, Sains, dan Teknologi dalam Kebencanaan**.

Kita menyadari bahwa negara kita merupakan negara bahari yang terdiri atas lebih dari 17.000 pulau dengan garis pantai yang membentang sepanjang lebih dari 99.000 km. Secara geologi Indonesia memiliki banyak patahan gempa karena dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik yang pertemuannya berada di laut. Di samping itu, wilayah Indonesia termasuk ke dalam cincin api pasifik (*ring of fire*) yang sering mengalami letusan gunung berapi dan gempa bumi. Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia sering mengalami berbagai jenis bencana, khususnya bencana alam, seperti gempa, tsunami, banjir, dan letusan gunung berapi. Terjadinya bencana tidak dapat dicegah, bahkan tidak semua dapat diprediksi. Oleh karena itu kegiatan mitigasi menjadi bagian penting dalam manajemen bencana.

Dewasa ini, ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan salah satu pendorong dalam manajemen bencana agar risiko kerusakan akibat bencana dapat diminimalkan. Ilmu pengetahuan dan teknologi juga dapat berperan dalam memberi peringatan dini bila terjadi bencana. Adanya sistem peringatan dini membantu masyarakat dan pemerintah dalam melakukan penyelamatan.

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Terbuka berusaha untuk menjadi bagian dalam upaya nasional untuk meningkatkan manajemen bencana di tanah air. Masing-masing jurusan dan program studi di FST UT memberikan sumbangan pikiran yang didasarkan pada perkembangan terkini. Tulisan dalam buku ini dibagi menjadi beberapa bidang dalam manajemen bencana, termasuk tipologi bencana di berbagai daerah dan mitigasi sebagai upaya untuk mengurangi risiko bencana.

Buku ini merupakan salah satu sarana diseminasi ilmu pengetahuan dan teknologi bagi sejawat di seluruh tanah air. Melalui buku ini, kita dapat saling menyampaikan gagasan dalam bidang pengelolaan bencana dan sekaligus menjadi sarana membangun jejaring di antara sesama dosen di bidang serumpun, di kalangan peneliti, maupun kalangan praktisi. Selain itu juga sebagai pemicu produktivitas publikasi dosen FST UT.

Terakhir, saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penulisan buku ini. Para penulis, para penelaah, dan para editor buku ini telah menyiapkan naskah sehingga dapat dipertanggungjawabkan dari segi isi maupun keterbacaan. Pihak *layouter* dan *illustrator* dari P2M2 UT juga telah menyiapkan tata letak sehingga buku ini tampil dengan wujud yang menarik. Semoga penulisan buku ini membawa manfaat bagi kita semua.

Tangerang Selatan, 03 Oktober 2019

Dekan FST UT



Dr. Agus Santoso, M.Si.

196402171993031001

DAFTAR ISI

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| PENGANTAR DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI | i |
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR | vii |
| PERANAN MATEMATIKA, SAINS, DAN TEKNOLOGI DALAM MANAJEMEN BENCANA..... | xi |
| Tipologi Provinsi Berdasarkan Kejadian Bencana Alam (Analisis Data Informasi Bencana Indonesia 2010-2019) <i>Deddy Ahmad Suhardi</i> | 1 |
| Konservasi Biodiversitas dalam Menghadapi Kerusakan Akibat Bencana <i>Diki</i> | 25 |
| Peran Hutan Mangrove dalam Mitigasi Bencana <i>Sri Kurniati Handayani dan Yuni Tri Hewindati</i> | 45 |
| Restorasi Lahan Gambut untuk Mencegah Bencana Ekosistem Global <i>Nurmala Pangaribuan</i> | 69 |
| Pengelolaan Sampah Plastik untuk Mitigasi Bencana Lingkungan <i>Lina Warlina</i> | 89 |
| Kearifan Lokal sebagai Basis Mitigasi Bencana <i>Budi Prasetyo</i> | 111 |
| Perancangan Sistem Informasi Manajemen Kebencanaan di Indonesia Berbasis Portal Berita Digital <i>Erman Arif dan Yuni Tri Hewindati</i> | 131 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Model Perambatan Gelombang Tsunami dan Antisipasi Bencana Letusan Gunung Anak Krakatau <i>Elin Herlinawati</i> | 151 |
| RIWAYAT HIDUP PENULIS | 179 |

DAFTAR TABEL

Tipologi Provinsi Berdasarkan Kejadian Bencana Alam
(Analisis Data Informasi Bencana Indonesia 2010-2019)

Deddy Ahmad Suhardi

| | | |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. | Jumlah Kejadian Bencana Alam Nasional Tahun 2010-2019 | 4 |
| Tabel 2. | Eigenvalue dan Persentase Variansi Dimensi Kejadian Bencana Alam | 7 |
| Tabel 3. | Kontribusi Jenis Bencana terhadap Dimensi Kejadian Bencana Alam | 12 |
| Tabel 4. | Kontribusi Tahun Kejadian terhadap Dimensi Kejadian Bencana Alam | 12 |
| Tabel 5. | Kontribusi Provinsi Kejadian Terhadap Dimensi Tingkat Kejadian Bencana Alam | 12 |
| Tabel 6. | Deskripsi Kelompok Provinsi Menurut Kejadian Bencana Alam | 13 |

Peran Hutan Mangrove dalam Mitigasi Bencana

Sri Kurniati Handayani dan Yuni Tri Hewindati

| | | |
|-----------------|----------------------------------------------|----|
| Tabel 1. | Distribusi Hutan Mangrove di Indonesia | 48 |
|-----------------|----------------------------------------------|----|

Perancangan Sistem Informasi Manajemen Kebencanaan di Indonesia Berbasis Portal Berita Digital

Erman Arif dan Yuni Tri Hewindati

| | | |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 1. | Definisi dan Jenis Bencana Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 | 134 |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|

Model Perambatan Gelombang Tsunami dan Antisipasi Bencana Letusan Gunung Anak Krakatau

Elin Herlinawati

| | | |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 1. | Waktu Perambatan Gelombang | 160 |
| Tabel 2. | Waktu Kedatangan Gelombang Berdasarkan Pengukur Pasang Surut Dibeberapa Titik | 166 |
| Tabel 3. | Waktu Perambatan dan Tinggi Maksimum Gelombang Tsunami | 169 |

DAFTAR GAMBAR

Tipologi Provinsi Berdasarkan Kejadian Bencana Alam
(Analisis Data Informasi Bencana Indonesia 2010-2019)

Deddy Ahmad Suhardi

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Jumlah Kejadian Bencana Alam Nasional Tahun 2010-2019..... | 5 |
| Gambar 2. Dendogram Pengelompokan Provinsi Menurut Delapan Dimensi Utama Kejadian Bencana Alam..... | 8 |
| Gambar 3. Proyeksi Skor Faktor Provinsi ke dalam Dimensi 1 dan Dimensi 2..... | 10 |

Konservasi Biodiversitas dalam Menghadapi Kerusakan Akibat Bencana

Diki

| | |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Sebaran Endemisitas Fauna Indonesia..... | 26 |
|-----------------------------------------------------------|----|

Peran Hutan Mangrove dalam Mitigasi Bencana

Sri Kurniati Handayani dan Yuni Tri Hewindati

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Segmentasi Megathrust Peta Gempa Nasional Tahun 2017 | 51 |
| Gambar 2. Berbagai Bentuk Akar Napas: a). Akar Lutut; b). Akar Tongkat; c). Akar Papan; dan d). Akar Cakar Ayam..... | 55 |

Restorasi Lahan Gambut untuk Mencegah Bencana Ekosistem Global

Nurmala Pangaribuan

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. 1). Pengkalan di Lahan Gambut; 2). Bahan Organik Penyusun Gambut..... | 72 |
| Gambar 2. Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut Riau..... | 73 |
| Gambar 3. Budidaya Nenas di lahan Gambut Kabupaten Ogan Komering Ilir..... | 76 |
| Gambar 4. Budidaya Buah Naga di Lahan Gambut Kalimantan Tengah | 77 |

Pengelolaan Sampah Plastik untuk Mitigasi Bencana Lingkungan

Lina Warlina

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 1. Urutan Negara Penghasil Sampah Plastik yang Masuk ke Wilayah Laut | 91 |
| Gambar 2. Polimerisasi Vinil Klorida Menjadi Poly Vinil Klorida (PVC) | 93 |
| Gambar 3. Kategori Plastik | 94 |
| Gambar 4. Tujuh Tipe Plastik..... | 94 |
| Gambar 5. Tipe Plastik Polyethylene Terephthalate | 95 |
| Gambar 6. Tipe Plastik High Density Polyethylene..... | 96 |
| Gambar 7. Tipe Plastik Polyvinyl Chloride | 96 |
| Gambar 8. Tipe Plastik Low Density Polyethylene | 97 |
| Gambar 9. Tipe Plastik Polypropylene..... | 98 |
| Gambar 10. Tipe Plastik Polystyrene..... | 98 |
| Gambar 11. Produksi Lingkaran Plastik | 102 |

Perancangan Sistem Informasi Manajemen Kebencanaan di Indonesia Berbasis Portal Berita Digital

Erman Arif dan Yuni Tri Hewindati

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 1. Ranking Platform Sosial Media di Indonesia pada Januari 2019 | 140 |
| Gambar 2. Rancangan Struktur Aplikasi Portal Berita Kebencanaan Berbasis Website | 145 |
| Gambar 3. Tampilan Rancangan Halaman Utama pada Web Portal Berita Kebencanaan | 147 |
| Gambar 4. Tampilan Rancangan Halaman Dashboard Setup pada Web Portal Berita Kebencanaan | 148 |

Model Perambatan Gelombang Tsunami dan Antisipasi Bencana Letusan Gunung Anak Krakatau

Elin Herlinawati

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 1. Letusan Gunung Krakatau Tahun 1883 | 155 |
| Gambar 2. Gunung Anak Krakatau (Februari 2008)..... | 156 |
| Gambar 3. Perambatan Gelombang Tsunami $t = 50$ detik (kiri) dan $t = 500$ detik (kanan)..... | 161 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4. Perambatan Gelombang Tsunami $t = 1000$ detik (kiri) dan $t = 1500$ detik (kanan) | 161 |
| Gambar 5. Perambatan Gelombang Tsunami $t = 2000$ detik (kiri) dan $t = 2500$ detik (kanan) | 162 |
| Gambar 6. Perambatan Gelombang Tsunami $t = 3000$ detik (kiri) dan $t = 3500$ detik (kanan) | 162 |
| Gambar 7. Longsor Erupsi Gunung Anak Krakatau | 164 |
| Gambar 8. Lokasi Runtuhan bagian Gunung Anak Krakatau | 165 |
| Gambar 9. Ilustrasi Gelombang yang Tercipta dari Erupsi Hasil Letusan Gunung Berapi..... | 166 |
| Gambar 10. Elevasi Pasang Surut di Stasiun Marina Jambu | 167 |
| Gambar 11. Simulasi Hasil Waktu Kedatangan Gelombang Tsunami..... | 168 |
| Gambar 12. Perkiraan Lokasi Kedatangan Gelombang Tsunami | 169 |
| Gambar 13. Seismograf Gunung Anak Krakatau pada 22 Desember 2018 pukul 09.03 | 171 |
| Gambar 14. Kegempaan Harian Gunung Anak Krakatau Tiga Bulan Terakhir Sebelum Tsunami (25 September – 18 Desember 2018) | 171 |
| Gambar 15. Diagram Alur Antisipasi Bencana | 173 |

PERANAN MATEMATIKA, SAINS, DAN TEKNOLOGI DALAM MANAJEMEN BENCANA

Tim Editor

Bencana merupakan peristiwa yang tidak dapat dihindari, baik itu bencana yang terjadi secara alami maupun yang disebabkan karena faktor manusia. Bencana alam dapat terjadi karena faktor geografis dan geologis, seperti gempa bumi, tsunami, dan gunung meletus. Sedangkan bencana yang disebabkan karena faktor manusia, contohnya adalah kekeringan, badai, penyakit akibat bahan pencemar yang terpapar ke lingkungan, tanah longsor, kecelakaan, dan perang (WHO/EHA, 2002; World Bank 2018). Apapun bentuk dan penyebabnya, dampak dari bencana sangat merugikan umat manusia. Dampak suatu bencana dapat meliputi rusaknya harta benda, hilangnya nyawa, atau rusaknya infrastruktur. Di negara kita, bencana alam seperti gempa dan tsunami seperti yang terjadi di Lombok, Palu dan Banten pada tahun 2018 mengakibatkan kerusakan dan korban jiwa yang sangat banyak. Bahkan, bencana tsunami yang terjadi di Aceh pada tahun 2004 menyebabkan sekitar 170.000 orang meninggal dunia (Pratama, A.N., 2018). Kerugian suatu bencana dapat diperburuk oleh dampak tidak langsung dari bencana. Di negara berkembang, kerugian akibat dampak tidak langsung suatu bencana lebih besar dari kerusakan utama, bahkan dapat mencapai 20 kali lipat berdasarkan GDP (World Bank, 2018).

Untuk mengurangi dampak dari bencana, serangkaian upaya dapat dilakukan, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Upaya yang disebut dengan mitigasi tersebut tercantum di dalam Pasal 1 ayat 6 PP No 21 tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana. Melihat kondisi dan seringnya peristiwa bencana di Indonesia, mitigasi bencana merupakan hal yang perlu menjadi prioritas dan mendapatkan dukungan penuh dari seluruh pihak. Peranan ilmu pengetahuan dan teknologi pada berbagai bidang ilmu seperti matematika, sains, dan teknologi dapat memberikan kontribusi terhadap mitigasi bencana. Berbagai kajian bidang ilmu dalam mitigasi bencana tersebut terangkum dalam buku ini.

Salah satu hal dasar yang mendukung mitigasi bencana adalah ketersediaan informasi untuk tiap jenis bencana. Data tentang terjadinya bencana, dampak terhadap masyarakat, dan kerugian biaya yang ditimbulkannya adalah bahan penting dalam menganalisis kecenderungan waktu dan lokasi bencana. Adanya basis data yang akurat, termasuk data tipologi bencana di setiap wilayah akan membantu dalam pengurangan risiko (Nair, Gupta, & Roder, 2013). Selain itu, keberadaan data bencana juga diperlukan untuk membuat keputusan yang membantu pemangku kepentingan (WHO/EHA, 2002; World Bank, 2018).

Di bidang sains, mitigasi bencana pada buku ini menekankan pada pengelolaan lingkungan hidup secara bijaksana. Sebagai negara yang sering mengalami bencana, kekayaan biodiversitas terutama hewan langka dan endemik di Indonesia dapat terancam punah. Oleh karena itu pengelolaan kawasan konservasi perlu mempertimbangkan adanya risiko bencana alam (Nishida, Yokoyama, Wagstaff, & Callomon, 2017), termasuk juga wilayah di luar kawasan konservasi, seperti daerah pertanian, perkotaan, dan industri (Rosenzweig, 2003). Salah satu wilayah konservasi sumberdaya alam yang perlu mendapat perhatian adalah hutan mangrove. Indonesia memiliki hutan mangrove terluas di dunia, dan berkontribusi sebesar 23% terhadap hutan mangrove di dunia (Kuswandono, 2017). Morfologi dan struktur anatomi vegetasi mangrove yang khas pada akar dan daun, sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan yang ekstrim, mampu mengurangi berbagai bencana yang terjadi di wilayah pesisir. Berbagai bencana yang dapat dikurangi dengan keberadaan mangrove adalah badai, tsunami, abrasi, dan intrusi air laut ke wilayah daratan. Selain hutan mangrove, pengelolaan lahan gambut juga perlu mendapat perhatian. Lahan gambut merupakan penyimpan gas penyebab efek rumah kaca. Dengan tetap menjaga kelestarian lahan gambut, gas penyebab efek rumah kaca tidak terlepas ke atmosfer. Oleh karena itu perlu ada restorasi lahan gambut agar kesuburan dan kelestariannya tetap terjaga.

Pengelolaan lingkungan hidup lainnya untuk mitigasi bencana adalah dalam hal pengelolaan sampah plastik. Indonesia adalah negara penghasil sampah plastik nomor dua di dunia yang berkontribusi atas 3,2 juta ton sampah di lautan setiap tahunnya (World Bank, 2018). Plastik merupakan produk yang banyak digunakan untuk berbagai macam kebutuhan manusia.

Limbah plastik yang tidak terkontrol akan berdampak terhadap kesehatan dan lingkungan yang akhirnya dapat menimbulkan bencana, seperti emisi gas rumah kaca ke atmosfer serta banjir. Oleh karena itu pengelolaan sampah menjadi sangat penting untuk mencegah terjadinya bencana pencemaran akibat pembuangan sampah plastik.

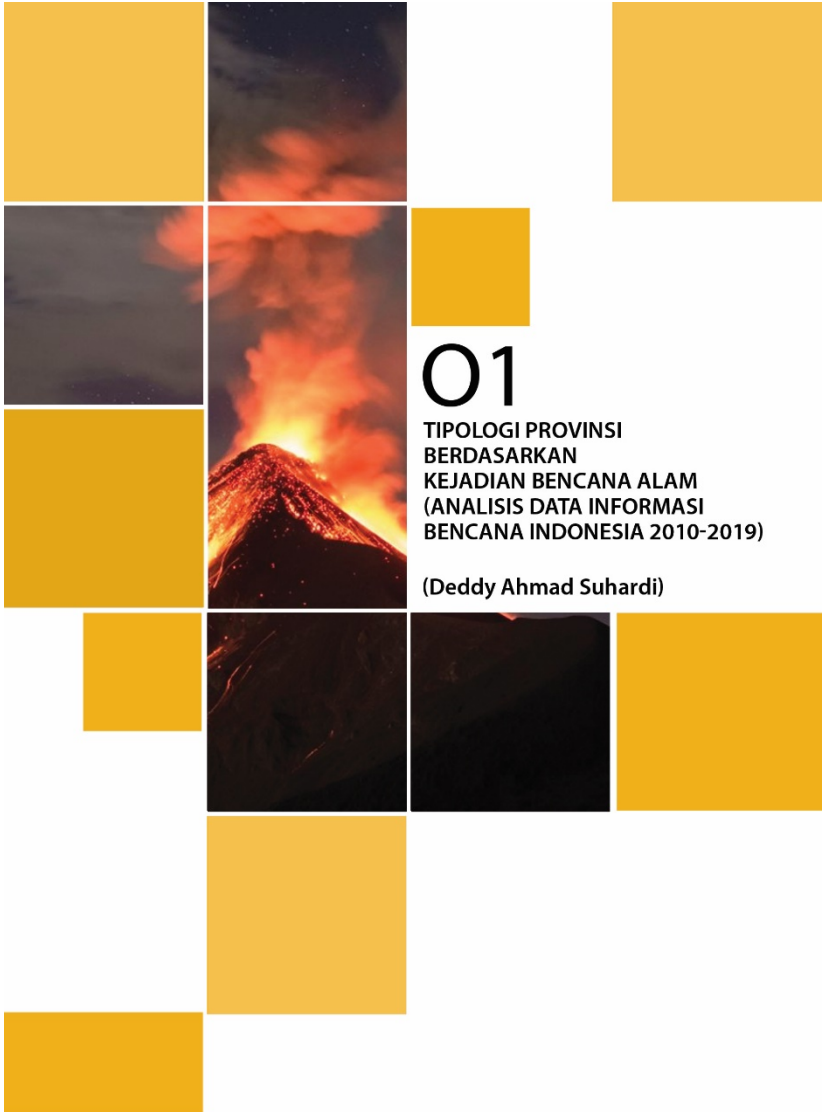
Selain beberapa hal di atas, pengelolaan lingkungan hidup sebagai langkah dalam mitigasi bencana, juga dicerminkan melalui peran serta masyarakat dalam menjaga nilai-nilai budaya dan kearifan lokal. Masyarakat tradisional memiliki nilai atau kepercayaan dan berbagai kearifan lokal yang diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Melalui kearifan lokal tersebut, pengelolaan lingkungan hidup secara bijaksana akan dapat terus terjaga.

Di bidang matematika, mitigasi bencana dikaitkan dengan pendeteksian bencana melalui permodelan matematika. Model matematika dapat digunakan untuk simulasi perambatan gelombang tsunami. Model ini disusun dari persamaan Navier-Stokes dan digital elevation model. Metode ini dapat memperhitungkan kecepatan dan menentukan titik evakuasi serta akses ke lokasi bencana (Urrutia, Bautista, & Baccay, 2014). Sedangkan di bidang teknologi, kegiatan mitigasi diberikan melalui pemanfaatan sistem informasi untuk memberikan peringatan dini atau *early warning* bila terjadi suatu bencana. Pemanfaatan sistem informasi ini salah satunya diberikan melalui portal berita digital. Teknologi ini memudahkan penyebaran informasi bencana yang dikembangkan dengan metode *system development life cycle*. Melalui sistem informasi peringatan dini ini maka pihak terkait mampu memberikan penanganan yang tepat dan dapat mengurangi kerugian akibat bencana (WHO/EHA, 2017; World Bank, 2018).

Berbagai ulasan kegiatan mitigasi bencana dalam buku ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi peningkatan kesadaran dan kesiapan dalam menghadapi risiko bencana. Bagi para pengambil kebijakan, buku ini berguna sebagai acuan dalam penerapan ilmu pengetahuan terkini untuk mitigasi bencana. Bagi masyarakat, buku ini dapat menjadi bahan dalam meningkatkan kesadaran akan pentingnya upaya mitigasi untuk menghadapi risiko bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2008). *PPRI nomor 21 tahun 2008 tentang penyelenggaraan penanggulangan bencana*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Kuswandono, A. (2017). Role of coordinating ministry of maritime affairs in sustainable management of Indonesian mangrove and its ecosystem. *International Conference on Mangrove Ecosystems*, Bali, 18 April 2017.
- Nair, S. J., Gupta, A. K., & Roder, K. (2013). *Databases and statistics for disaster risk management*. New Delhi, India: National Institute of Disaster Management, Ministry of Home Affairs (NIDM).
- Nishida, H., Yokoyama, Y., Wagstaff, S. J. & Callomon, P. (2017). Disaster and biodiversity. *International Union of Biological Sciences, Special Issue 36*.
- Pratama, A.N. (2018). *26 Desember 2004, gempa dan tsunami Aceh menimbulkan duka Indonesia*. Diakses pada September 2019, dari <https://nasional.kompas.com/read/2018/12/26/11213301/26-desember-2004-gempa-dan-tsunami-aceh-menimbulkan-duka-indonesia?page=all>
- Rosenzweig, M (2003). *Win-win ecology, how the earth's species can survive in the midst of human enterprise*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Urrutia, J. D., Bautista, L. A. & Baccay, E. B. (2014). Mathematical models for estimating earthquake casualties and damage cost through regression analysis using matrices. *Journal of Physics: Conference Series*, 495.
- WHO/EHA. (2002). *Disaster & emergency definitions: Training package*. Addis Ababa: Panafrican Emergency Training Centre.
- World Bank (2018). *Global facility for disaster reduction and recovery: annual report*. USA: ACP Secretariat, European Union, UNISDR, World Bank.



01

TIPOLOGI PROVINSI
BERDASARKAN
KEJADIAN BENCANA ALAM
(ANALISIS DATA INFORMASI
BENCANA INDONESIA 2010-2019)

(Deddy Ahmad Suhardi)

TIPOLOGI PROVINSI BERDASARKAN KEJADIAN BENCANA ALAM (ANALISIS DATA INFORMASI BENCANA INDONESIA 2010-2019)

Deddy Ahmad Suhardi
(deddy_as@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

Sesuai dengan keadaan geografisnya, ada sembilan jenis bencana alam di Indonesia, yaitu: banjir, badai angin puting beliung, tanah longsor, kebakaran lahan dan hutan, kekeringan, gempa bumi, gelombang pasang, letusan gunung api, dan tsunami. Data bencana alam pada tingkat provinsi tahun 2010-2019 dianalisis untuk menggambarkan tipologi kelompok provinsi menurut kejadian dan jenis bencana alamnya dalam sepuluh tahun terakhir menggunakan metode *Multiple Factor Analysis* (MFA) dan *Hierarchical Cluster Principal Component* (HCPC). Berdasarkan delapan dimensi yang mewakili variansi tingkat kejadian bencana alam di Indonesia (71.2%), dapat diringkas empat kelompok provinsi-provinsi dengan tipikal tingkat dominasi kejadian bencana alam hidrometeorologi atau geologi, sebagai berikut: (1) Provinsi-provinsi dengan tingkat kejadian yang tinggi pada bencana hidrometeorologi maupun geologi: banjir, puting beliung, kekeringan, tanah longsor, tsunami, atau letusan gunung api, (2) Provinsi-provinsi dengan tipikal kejadian utama bencana geologi: gempa bumi, tsunami, atau letusan gunung api, (3) Provinsi-provinsi dengan tipikal kejadian utama kebakaran lahan/ hutan, dan, (4) Provinsi-provinsi selainnya, dengan tipikal bencana alam hidrometeorologi maupun geologi tetapi dengan kejadian yang lebih sedikit. Keadaan tipologi ini menggambarkan tingkat kejadian bencana alam dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir yang terjadi di wilayah provinsi-provinsi di Indonesia.

Kata Kunci : tipologi kejadian bencana alam, dimensi kejadian bencana alam, MFA, HCPC

PENDAHULUAN

Salah satu isu penting yang berhubungan dengan lingkungan dan penjaminan keberlanjutan kehidupan manusia di bumi adalah kebencanaan alam, termasuk didalamnya adalah isu perubahan iklim dan pemanasan global. Pada dekade ini, banyaknya fenomena perubahan iklim yang ekstrem atau anomali iklim (ekstrem tinggi maupun rendah), misalnya: badai, kekeringan, banjir, longsor dan fenomena turunannya, telah mengakibatkan kerugian ekonomi dalam jangka panjang pada beberapa wilayah. Indonesia sebagai salah satu negara yang paling rentan terhadap kejadian bencana alam dan mengalami dampak negatif yang luas dari perubahan iklim ekstrim maupun bencana geologis (Alisjahbana, 2014). Dampak negatif yang luas tersebut, telah menggerakkan berbagai pihak untuk lebih serius lagi memperhatikan masalah manajemen bencana pada tingkat nasional.

Pengenalan terhadap perkembangan frekuensi, waktu dan tempat kejadian sangat diperlukan untuk mengungkap ciri atau pengelompokan bencana alam menurut wilayah lokasi provinsi. Upaya penyederhanaan atau reduksi data yang mewakili lokasi-lokasi dalam suatu kelompok dapat digunakan sebagai pelapisan atau stratifikasi dalam penarikan kebijakan dan/atau strategi dalam masalah penanganan dampak maupun antisipasi kejadian bencana alam. Hal yang paling penting dalam bencana adalah penanganan dan antisipasi kepada korban bencana (Ar Rifqiy, 2019). Diantara penanganan dan antisipasi bencana tersebut adalah latihan/simulasi prosedur khusus menghadapi kejadian bencana, penguatan infrastruktur mitigasi, sistem peringatan dini, dan koordinasi pasca bencana. Selain itu, juga diperlukan pendataan menyeluruh dan *update* data terkini yang tepat waktu, relevan, dan berkualitas terkait kejadian bencana.

Secara substantif, artikel ini bertujuan menerapkan analisis *multiple factor analysis* (MFA) dan *hierarchical cluster principal component* (HCPC) untuk membantu mengidentifikasi pola dari tahun ke tahun kejadian bencana pada provinsi-provinsi. Hal tersebut dilakukan dengan menentukan dimensi-dimensi utama yang dipandang cukup mewakili variansi data kejadian bencana, kemudian menentukan posisi masing-masing provinsi menurut dimensi-dimensi tersebut. Letak posisi satu provinsi dengan

lainnya akan menunjukkan kelompok-kelompok provinsi dengan tipikal tertentu dari kejadian-kejadian bencana alamnya.

METODE

Data diambil dari catatan kejadian bencana alam nasional yang dikeluarkan oleh Pusat Data dan Informasi Bencana Indonesia (Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB], 2019). Data sembilan jenis bencana alam dan banyaknya kejadian pada tingkat provinsi-provinsi dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir (2010-2019) digunakan dalam analisis ini. BNPB mencatat sembilan jenis bencana alam di Indonesia, yaitu: banjir, badai angin puting beliung, tanah longsor, kebakaran lahan dan hutan, kekeringan, gempa bumi, gelombang pasang/abrasi pantai, letusan gunung api, dan tsunami.

Data dianalisis pada masing-masing jenis bencana dari tahun ke tahun dari masing-masing provinsi (34 provinsi). Unit analisisnya adalah jumlah kejadian bencana pada suatu provinsi. Proses ini dilakukan dengan menggunakan teknik analisis faktor berganda (MFA) (Pagès, 2014; Abdi, Williams, & Valentin, 2013), dengan menggunakan *software* R paket **FactoMineR** (Lê, Josse, & Husson, 2008; Husson, Josse, Lê, & Mazet, 2017). Dengan teknik MFA akan dihasilkan dimensi-dimensi utama yang merupakan *konsensus* pola kejadian antar jenis bencana dari tahun ke tahun pada provinsi-provinsi. Selanjutnya, dengan menggunakan beberapa dimensi utama yang mewakili variansi data (variansi kumulatif mencapai 70% atau lebih), dilakukan analisis kluster hierarki sehingga diperoleh kelompok-kelompok provinsi menurut tipikal kejadian bencana alamnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Kejadian Bencana Alam Nasional

Total kejadian bencana alam nasional selama sepuluh tahun terakhir (disajikan pada Tabel 1) adalah 21.384 kejadian. Menurut tabel tersebut, banjir, badai puting beliung, dan tanah longsor merupakan tiga jenis bencana alam yang seringkali terjadi di tanah air. Bencana alam yang paling banyak terjadi adalah banjir tercatat 7.363 kejadian, frekuensi kejadiannya

rata-rata 736 kejadian pertahun atau 21,6 kejadian per tahun per provinsi. Badai angin puting beliung tercatat 6.466 kali terjadi (19 kejadian per tahun per provinsi), dan tanah longsor 5.012 kejadian (14,7 kejadian per tahun per provinsi). Ketiga jenis bencana ini terjadi pada semua provinsi di Indonesia. Pada Lampiran 1, tercatat bahwa frekuensi tertinggi kejadian ketiga jenis bencana ini terutama di provinsi padat populasi yaitu Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat.

Bencana kebakaran hutan dan lahan (karhutla) tercatat 1.153 kejadian (4,3 kejadian per tahun per provinsi kejadian) dan bencana kekeringan 754 kejadian (3,3 kejadian per tahun per provinsi kejadian). Kedua jenis bencana ini memiliki frekuensi lebih dari dua kali dalam setahun pada sebagian besar provinsi-provinsi. Pada Lampiran 1 ditunjukkan bahwa kejadian karhutla umumnya terjadi di provinsi-provinsi di Kalimantan, sebagian besar Sumatera dan Sulawesi. Sementara itu, bencana gempa bumi dan bencana gelombang pasang (abrasi pantai) memang tidak sering terjadi, tetapi frekuensi total kejadiannya cukup tinggi (masing-masing 259 dan 213 kejadian). Secara rata-rata, angkanya kurang dari satu kali dalam setahun per provinsi (masing-masing 1,0 dan 0,8 kejadian per tahun per provinsi kejadian), tetapi angka rata-rata tersebut juga menunjukkan kejadian lebih dari sekali dalam *dua tahun* pada sebagian besar provinsi-provinsi. Bencana banjir dan gempa ini memiliki resiko masing-masing yang sangat berbeda satu dengan lainnya dari segi frekuensi kejadian dan dampaknya (Oktarina *et al*, 2011). Banjir memiliki frekuensi kejadian tinggi tetapi dampaknya sedang, sedangkan gempa bumi meskipun frekuensinya jarang terjadi tetapi mempunyai dampak kerugian yang tinggi.

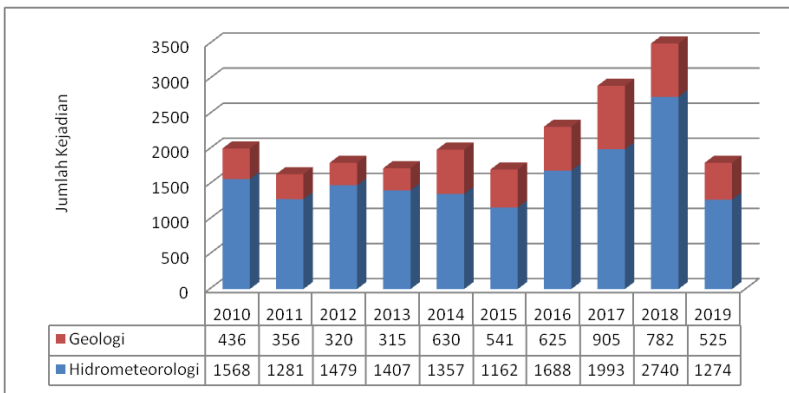
Tabel 1.
Jumlah Kejadian Bencana Alam Nasional Tahun 2010-2019

| No. | Kode | Jenis Bencana | Kejadian | #Provinsi ^[a] | #Tahun ^[b] | Rata-rata ^[c] |
|-----|------|---------------------------|----------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | B1 | BANJIR | 7.363 | 34 | 10 | 21,7 |
| 2 | B2 | PUTING BELIUNG | 6.466 | 34 | 10 | 19,0 |
| 3 | B3 | TANAH LONGSOR | 5.012 | 34 | 10 | 14,7 |
| 4 | B4 | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | 1.153 | 27 | 10 | 4,3 |
| 5 | B5 | KEKERINGAN | 754 | 29 | 8 | 3,3 |
| 6 | B6 | GEMPA BUMI | 259 | 26 | 10 | 1,0 |

| No. | Kode | Jenis Bencana | Kejadian | #Provinsi ^[a] | #Tahun ^[b] | Rata-rata ^[c] |
|-------|------|---------------------------|----------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 7 | B7 | GELOMBANG PASANG / ABRASI | 213 | 27 | 10 | 0,8 |
| 8 | B8 | LETUSAN GUNUNG API | 139 | 13 | 10 | 1,1 |
| 9 | B9 | TSUNAMI | 25 | 9 | 5 | 0,6 |
| Total | | | 21.384 | - | - | - |

Keterangan: ^[a]Banyaknya provinsi kejadian; ^[b]Banyaknya tahun kejadian; ^[c]Kejadian per tahun per provinsi kejadian. Sumber: Daftar Bencana (BNPB, 2019), diolah.

Jenis bencana alam lainnya adalah bencana letusan gunung api dan bencana tsunami. Pada sepuluh tahun terakhir ini, kejadian letusan gunung api tercatat 139 kali di 13 provinsi dan tsunami 25 kali di 9 provinsi. Pada Lampiran 1 dapat ditunjukkan bahwa ada 70 dari 139 kejadian letusan gunung api paling banyak terjadi pada tahun 2017 dan 2018 di Bali, Sumatera Utara, Jawa Tengah, dan Yogyakarta. Sementara itu, bencana tsunami tercatat 25 kejadian, yaitu di Aceh (8 kejadian tahun 2012), Lampung (5 kejadian tahun 2018), Sulawesi Tengah (4 kejadian tahun 2018), dan Banten (2 kejadian tahun 2018); dan, tercatat terjadi di Sumatera Barat (tahun 2010 dan 2012), Jawa Timur (tahun 2014), Sulawesi Barat (tahun 2018), Maluku Utara (tahun 2014), dan Papua (tahun 2011) dengan masing-masing satu kali kejadian.



Sumber: Daftar Bencana (BNPB, 2019), diolah.

Gambar 1.
Jumlah Kejadian Bencana Alam Nasional Tahun 2010-2019

Berdasarkan data pada Tabel 1 juga dapat dihitung total kejadian bencana jenis hidrometeorologi berupa kejadian bencana banjir, gelombang ekstrem, kebakaran lahan dan hutan, kekeringan, dan cuaca ekstrem sebanyak 15.949 (74,6%); dan, untuk jenis bencana geologi (gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, dan tanah longsor) sebanyak 5.435 (25,4%). Jumlah kejadian dari tahun ke tahun untuk masing-masing bencana hidrometeorologi dan geologi disajikan pada Gambar 1. Grafik pada Gambar 1 tersebut menunjukkan bahwa kejadian bencana geologi maupun hidrometeorologi semakin sering terjadi dari tahun ke tahun pada periode lima tahun terakhir (kecuali tahun 2019, data tercatat baru sampai pertengahan tahun). Menurut sajian grafik sejenis untuk data pada periode sepuluh tahun dari 2005-2015 oleh Amri *et al* (2016, hal. 30), juga tampak ada *trend* kejadian yang meningkat dengan komposisi rata-rata 78% bencana hidrometeorologi, dan 22% bencana geologi. Dengan perbandingan tersebut, dapat dikatakan bahwa selama 15 tahun terakhir kejadian bencana hidrometeorologi maupun geologi umumnya semakin sering terjadi, meskipun dengan perubahan komposisi dari 78 : 22 menjadi sekitar 75 : 25 persen. Perubahan komposisi ini (meningkatnya bencana geologi) lebih banyak disebabkan oleh peningkatan kejadian tanah longsor pada lima tahun terakhir, di samping gempa, letusan gunung api, dan tsunami yang juga cukup banyak terjadi.

Peningkatan kejadian bencana alam terbesar terjadi pada tahun 2018 menjadi 3.522 kejadian dari 2.898 kejadian pada tahun sebelumnya. Data yang dirilis pada awal bulan Oktober 2018, jumlah kejadian masih sekitar 1.999 kejadian (Farisa, 2018), tetapi dalam waktu tiga bulan berikutnya, sampai pada akhir tahun tercatat peningkatan lebih dari 75%. Bahkan, bencana tahun 2018 tidak saja jumlahnya yang lebih banyak dari tahun sebelumnya, tetapi juga mempunyai dampak dan kerugian yang lebih besar (Andreas, 2018).

Dimensi Utama Kejadian Bencana Alam

Sebanyak 83 variabel kejadian-tahun bencana alam, yaitu sembilan kejadian bencana alam yang masing-masing dicatat setiap tahun dalam sepuluh tahun terakhir untuk setiap provinsi, kecuali bencana kekeringan (tercatat delapan tahun) dan tsunami (tercatat lima tahun), dianalisis

dengan metode MFA menghasilkan 33 dimensi utama pertama yang mencapai 100 persen dari variansi data. Nilai akar ciri (*Eigenvalue*) dan persentase dari masing-masing dimensi disajikan pada Tabel 2. Dimensi pertama (Dim 1) mewakili 25,8 persen dari variansi data, kemudian ditambah dengan dimensi kedua (Dim 2) 8,86 persen dari variansi data sehingga sampai dengan dua dimensi pertama telah dicapai 34,67 persen dari variansi data. Selanjutnya, sampai dengan delapan dimensi pertama dicapai 71,18 persen dari variansi data. Tingkat penggambaran yang lebih baik (80% atau lebih dari variansi data) memerlukan tambahan tiga dimensi berikutnya untuk dianalisis (sampai dengan Dim 11).

Tabel 2.

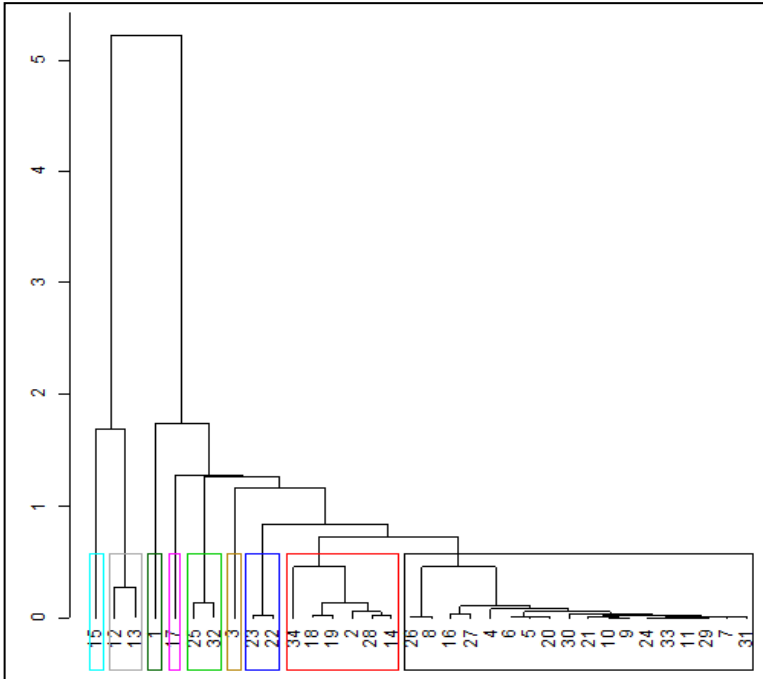
Eigenvalue dan Persentase Variansi Dimensi Kejadian Bencana Alam

| | Dim 1 | Dim 2 | Dim 3 | Dim 4 | Dim 5 | Dim 6 | Dim 7 | Dim 8 | Dim 9 | Dim 10 | Dim 11 |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------|
| Eigenvalue | 5,761 | 1,978 | 1,778 | 1,572 | 1,418 | 1,276 | 1,128 | 0,978 | 0,911 | 0,805 | 0,700 |
| % Variansi | 25,81 | 8,86 | 7,97 | 7,04 | 6,35 | 5,71 | 5,05 | 4,38 | 4,08 | 3,60 | 3,14 |
| % Variansi kumulatif | 25,81 | 34,67 | 42,64 | 49,68 | 56,03 | 61,74 | 66,80 | <u>71,18</u> | 75,26 | 78,86 | 82,00 |
| | Dim 12 | Dim 13 | Dim 14 | Dim 15 | Dim 16 | Dim 17 | Dim 18 | Dim 19 | Dim 20 | Dim 21 | Dim 22 |
| Eigenvalue | 0,581 | 0,526 | 0,477 | 0,356 | 0,342 | 0,301 | 0,256 | 0,244 | 0,211 | 0,175 | 0,103 |
| % Variansi | 2,60 | 2,36 | 2,14 | 1,60 | 1,53 | 1,35 | 1,15 | 1,09 | 0,95 | 0,79 | 0,46 |
| % Variansi kumulatif | 84,60 | 86,96 | 89,10 | 90,69 | 92,22 | 93,57 | 94,72 | 95,81 | 96,75 | 97,54 | 98,00 |
| | Dim 23 | Dim 24 | Dim 25 | Dim 26 | Dim 27 | Dim 28 | Dim 29 | Dim 30 | Dim 31 | Dim 32 | Dim 33 |
| Eigenvalue | 0,095 | 0,091 | 0,078 | 0,046 | 0,040 | 0,030 | 0,027 | 0,016 | 0,013 | 0,007 | 0,003 |
| % Variansi | 0,43 | 0,41 | 0,35 | 0,21 | 0,18 | 0,14 | 0,12 | 0,07 | 0,06 | 0,03 | 0,01 |
| % Variansi kumulatif | 98,43 | 98,84 | 99,18 | 99,39 | 99,57 | 99,71 | 99,83 | 99,90 | 99,95 | 99,99 | 100 |

Keterangan: Dim 1, Dimensi pertama; Dim 2, Dimensi kedua; dan seterusnya.

Cukup banyaknya (delapan) dimensi yang harus dianalisis (untuk dapat menggambarkan 70% variansi data) menunjukkan adanya pola yang tidak sederhana. Atau dengan kata lain, tingkat kejadian bencana alam dari tahun ke tahun dalam maupun antar bencana dan provinsi sangat sulit digambarkan dalam suatu pola yang sederhana. Oleh karena itu, digunakan analisis kluster sebagai suatu upaya untuk menghasilkan pola kejadian yang relatif lebih sederhana (dalam bentuk pengelompokkan provinsi-provinsi) dari delapan variabel dimensi utama tersebut. Nilai-nilai setiap provinsi untuk masing-masing delapan variabel dimensi utama (skor faktor) disajikan pada Lampiran 2. Pada Lampiran 2 tersebut, setiap variabel (dimensi) mempunyai rata-rata nol dan variansi sama dengan *Eigenvalue* pada Tabel

2 di atas. Proses analisis kluster dan teknik pengelompokannya dilakukan (*perform*) dengan paket FaktomineR.



Gambar 2.
Dendrogram Pengelompokan Provinsi Menurut
Delapan Dimensi Utama Kejadian Bencana Alam

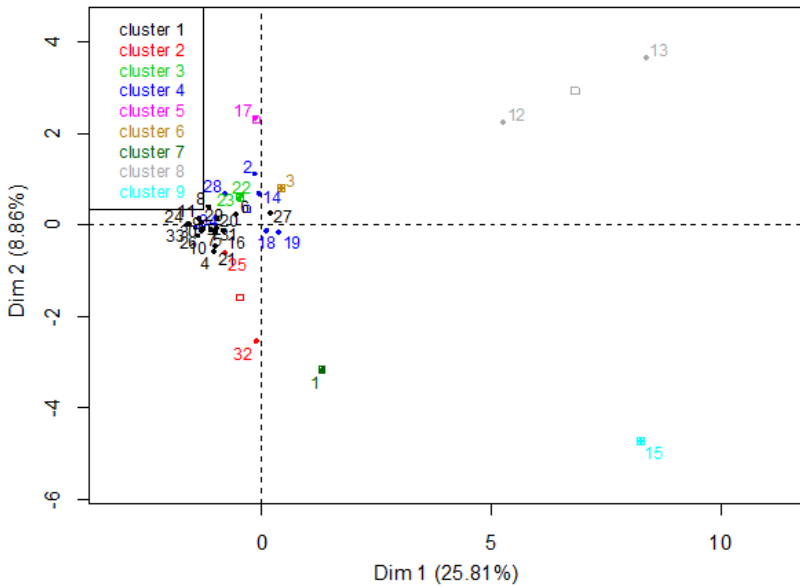
Tipologi Kejadian Bencana Alam Provinsi

Berdasarkan analisis kluster terhadap provinsi-provinsi menurut delapan variabel dimensi utama kejadian bencana alam (pada Lampiran 2) diperoleh hasil pengelompokan dalam bentuk suatu *dendogram* sebagaimana yang disajikan pada Gambar 2. Skala vertikal pada dendogram tersebut menunjukkan tingkat perbedaan (jarak) suatu kelompok dengan kelompok lainnya. Pada Gambar 2 tersebut ditunjukkan warna kotak yang berbeda untuk masing-masing kelompok yang terbentuk.

Hasil kelompok yang terbentuk pada dendogram, dari kiri ke kanan, adalah sebagai berikut: (1) Kelompok 1, provinsi: Jawa Timur [15]; (2) Kelompok 2, provinsi: Jawa Barat [12], Jawa Tengah [13]; (3) Kelompok 3, provinsi: Aceh [1]; Kelompok 4, provinsi: Bali [17]; Kelompok 5, provinsi: Sulawesi Utara [25], Maluku Utara [32]; Kelompok 6, provinsi: Sumatera Barat [3]; Kelompok 7, provinsi: Kalimantan Timur [23], Kalimantan Selatan [22]; Kelompok 8, sebanyak 6 provinsi: Papua [34], Nusa Tenggara Barat (NTB) [18], Nusa Tenggara Timur (NTT) [19], Sumatera Utara [2], Sulawesi Tenggara [28], Yogyakarta [14]; dan Kelompok 9 ada sebanyak 18 provinsi lainnya.

Hasil pengelompokan ini memisahkan empat provinsi, masing-masing dengan tipikal sendiri-sendiri yang sangat berbeda dengan provinsi lainnya, yaitu: Jawa Timur, Aceh, Bali, dan Sumatera Barat. Selain provinsi tipikal “1-anggota” tersebut, juga terdapat enam provinsi yang masing-masing mempunyai tipikal “2-anggota”, yaitu: Jawa Barat - Jawa Tengah, Sulawesi Utara - Maluku Utara, dan Kalimantan Timur - Kalimantan Selatan. Sementara itu, provinsi selainnya terkelompok ke dalam dua kelompok besar, yaitu kelompok enam provinsi (Kelompok 8), dan kelompok 18 provinsi (Kelompok 9). Tingkat perbedaan jarak antar kelompok satu dengan lainnya sekurang-kurangnya berjarak 0,5, dan jarak antar provinsi satu dengan lainnya dalam kelompok kurang dari 0,5. Berdasarkan dendogram di atas, jika jarak antar kelompok ditentukan sebesar 1, maka akan terbentuk tujuh kelompok, dimana kelompok besar provinsi-provinsi (Kelompok 8 dan 9 menjadi satu kelompok dengan kelompok provinsi tipikal “2-anggota” Kalimantan Timur - Kalimantan Selatan (Kelompok 7).

Analisis yang paling sederhana biasanya cukup menggunakan dua dimensi pertama (yaitu Dim 1 dan Dim 2), yang pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa hasil analisis dari kedua dimensi pertama ini menggambarkan 35% keragaman data. Interpretasi kedua dimensi pertama dapat dilihat dengan membuat proyeksi skor faktor provinsi-provinsi ke dalam bentuk plot bidang datar (*b-plot*) dimensi pertama versus dimensi kedua, disajikan pada Gambar 3. Pada gambar tersebut, selain ditampilkan posisi provinsi-provinsi dalam dimensi 1 dan dimensi 2, juga ditampilkan klaster atau kelompok-kelompok provinsi berdasarkan delapan dimensi utama sebagaimana pada Gambar 2.



Gambar 3.

Proyeksi Skor Faktor Provinsi ke dalam Dimensi 1 dan Dimensi 2

Pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa Dim 1 memisahkan dengan sangat jelas posisi tiga provinsi dari provinsi-provinsi lainnya (Jawa Timur [15], Jawa Tengah [13], dan Jawa Barat [12]). Sementara itu, Dim 2 memisahkan posisi provinsi-provinsi [15], [1], dan [32] pada satu sisi (bawah) dengan provinsi-provinsi [13], [12], dan [17] pada sisi lain yang berlawanan. Provinsi-provinsi tipikal “1-anggota” (kecuali Sumatera Barat [3]) tampak posisinya berada terpisah cukup jauh dengan provinsi-provinsi lainnya. Demikian juga dengan provinsi-provinsi tipikal “2-anggota” Jawa Barat [12] - Jawa Tengah [13] dan Sulawesi Utara [25] - Maluku Utara [32], posisinya juga terpisah dari provinsi lainnya. Satu kelompok tipikal “2-anggota” lainnya, Kalimantan Timur [23] - Kalimantan Selatan [22], posisinya berada berdekatan dengan kelompok sebagian besar provinsi lainnya.

Menurut posisi pada Gambar 3, Jawa Timur [15] mempunyai tingkat Dim 1 yang tinggi dan Dim 2 yang sangat rendah; Aceh mempunyai tingkat Dim 2 rendah; Bali mempunyai tingkat Dim 2 yang tinggi. Jawa Barat - Jawa

Tengah mempunyai tingkat yang tinggi pada Dim 1 maupun Dim 2; dan sebaliknya, Sulawesi Utara - Maluku Utara mempunyai tingkat yang rendah pada Dim 1 maupun Dim 2. Mengenai posisi tiga provinsi di Jawa (Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat), menurut informasi dari pembahasan sebelumnya pada Tabel 1 dan Lampiran 1, ketiga provinsi tersebut memiliki tingkat frekuensi tahunan kejadian banjir, puting beliung, dan tanah longsor yang paling tinggi dibandingkan dengan provinsi-provinsi lainnya. Jika tingginya frekuensi kejadian ketiga jenis bencana ini diindikasikan berhubungan dengan Dim 1 maka dimensi pertama ini merupakan dimensi yang mengandung muatan tingkat frekuensi kejadian ketiga bencana ini. Dengankata lain, Dim 1 berhubungan dengan tingkat kejadian banjir, puting beliung, dan tanah longsor.

Pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5, masing-masing disajikan persen kontribusi jenis bencana, tahun kejadian, dan individu provinsi terhadap variansi delapan dimensi utama. Sebagai contoh, pada Tabel 3, kontribusi bencana banjir terhadap variansi Dim 1 adalah 16,0 persen; kontribusi bencana tsunami terhadap Dim 2 adalah 25,3 persen. Menurut ketiga tabel kontribusi tersebut, sekitar 61% Dim 1 ditentukan oleh kejadian bencana banjir, puting beliung, kekeringan, dan tanah longsor (Tabel 3), sekitar 70% Dim 1 ditentukan oleh kejadian pada banyak tahun antara tahun 2013-2018 (Tabel 4), serta 85% Dim 1 ditentukan oleh kejadian bencana yang di Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat (Tabel 5). Hal ini menguatkan indikasi bahwa *Dim 1* merujuk kepada banyaknya *kejadian hidrometeorologi* banjir, puting beliung, kekeringan, dan *tanah longsor*. Pada Gambar 3 terlihat tidak ada posisi ekstrim kiri pada Dim 1, menunjukkan bahwa tingkat kejadian banjir, puting beliung, kekeringan, dan tanah longsor, juga umumnya terjadi di provinsi-provinsi lainnya tetapi dengan frekuensi tidak setinggi di Jawa.

Tabel 3.

Kontribusi Jenis Bencana terhadap Dimensi Kejadian Bencana Alam

| Kode | Jenis Bencana | Dim 1 | Dim 2 | Dim 3 | Dim 4 | Dim 5 | Dim 6 | Dim 7 | Dim 8 |
|------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| B1 | BANJIR | 16,0 | 1,2 | 2,3 | 0,8 | 0,8 | 0,3 | 0,1 | 0,5 |
| B2 | PUTING BELIUNG | 16,0 | 2,7 | 0,4 | 1,2 | 0,2 | 0,4 | 0,2 | 0,1 |
| B3 | TANAH LONGSOR | 13,4 | 8,5 | 0,5 | 2,4 | 0,2 | 0,6 | 0,9 | 0,2 |
| B4 | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | 9,0 | 9,7 | 5,4 | 11,4 | 36,9 | 7,9 | 18,1 | 1,5 |
| B5 | KEKERINGAN | 15,9 | 2,2 | 3,0 | 1,9 | 3,1 | 0,7 | 3,6 | 0,8 |
| B6 | GEMPA BUMI | 9,6 | 14,1 | 24,8 | 16,5 | 8,8 | 16,6 | 6,6 | 2,7 |
| B7 | GELOMBANG PASANG / ABRASI | 9,8 | 17,0 | 6,0 | 24,9 | 17,9 | 14,7 | 22,9 | 8,1 |
| B8 | LETUSAN GUNUNG API | 6,8 | 19,3 | 10,9 | 32,3 | 29,9 | 8,7 | 22,9 | 3,4 |
| B9 | TSUNAMI | 3,4 | 25,3 | 46,7 | 8,6 | 2,1 | 50,2 | 24,6 | 82,7 |

Keterangan: Dim 1, Dimensi pertama; Dim 2, Dimensi kedua; dan seterusnya.

Tabel 4.

Kontribusi Tahun Kejadian terhadap Dimensi Kejadian Bencana Alam

| Tahun | Dim 1 | Dim 2 | Dim 3 | Dim 4 | Dim 5 | Dim 6 | Dim 7 | Dim 8 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2010 | 6,7 | 5,6 | 14,8 | 5,0 | 9,8 | 51,2 | 12,4 | 3,4 |
| 2011 | 8,4 | 2,4 | 5,7 | 17,4 | 9,0 | 7,6 | 13,3 | 54,2 |
| 2012 | 7,9 | 14,4 | 45,8 | 15,1 | 13,0 | 9,9 | 10,8 | 1,8 |
| 2013 | 11,5 | 3,2 | 3,5 | 2,2 | 9,7 | 5,5 | 6,7 | 1,2 |
| 2014 | 14,3 | 26,2 | 11,9 | 5,6 | 4,5 | 2,0 | 5,9 | 1,5 |
| 2015 | 13,2 | 11,7 | 6,5 | 1,1 | 7,7 | 0,4 | 3,2 | 3,5 |
| 2016 | 9,4 | 9,9 | 3,3 | 1,8 | 15,7 | 3,8 | 8,5 | 0,8 |
| 2017 | 9,4 | 12,2 | 2,2 | 14,1 | 13,5 | 4,2 | 10,3 | 2,6 |
| 2018 | 12,6 | 6,0 | 2,2 | 22,5 | 6,8 | 1,7 | 25,2 | 29,1 |
| 2019 | 6,5 | 8,4 | 4,1 | 14,9 | 10,4 | 13,7 | 3,7 | 1,9 |

Keterangan: Dim 1, Dimensi pertama; Dim 2, Dimensi kedua; dan seterusnya.

Tabel 5.

Kontribusi Provinsi Kejadian Terhadap Dimensi Tingkat Kejadian Bencana Alam

| No. | Provinsi | Dim 1 | Dim 2 | Dim 3 | Dim 4 | Dim 5 | Dim 6 | Dim 7 | Dim 8 | No. | Provinsi | Dim 1 | Dim 2 | Dim 3 | Dim 4 | Dim 5 | Dim 6 | Dim 7 | Dim 8 |
|-----|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | ACEH | 0,9 | 15,0 | 62,5 | 2,1 | 0,3 | 10,8 | 0,0 | 0,1 | 18 | NUSA TENGGARA BARAT | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 3,4 | 5,5 | 5,3 | 0,6 |
| 2 | SUMATERA UTARA | 0,0 | 1,8 | 0,1 | 1,8 | 2,0 | 1,0 | 0,6 | 0,4 | 19 | NUSA TENGGARA TIMUR | 0,1 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 5,7 | 0,2 | 5,3 | 1,1 |
| 3 | SUMATERA BARAT | 0,1 | 0,9 | 7,2 | 1,4 | 0,3 | 66,3 | 7,0 | 2,8 | 20 | KALIMANTAN BARAT | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 1,1 | 0,5 | 0,7 | 0,2 |
| 4 | RIAU | 0,6 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,0 | 1,5 | 0,2 | 21 | KALIMANTAN TENGAH | 0,5 | 0,6 | 0,0 | 0,1 | 1,6 | 0,0 | 0,2 | 0,1 |
| 5 | JAMBI | 0,5 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,0 | 1,5 | 0,2 | 22 | KALIMANTAN SELATAN | 0,1 | 0,6 | 0,1 | 5,5 | 14,2 | 0,5 | 6,0 | 0,2 |
| 6 | SUMATERA SELATAN | 0,2 | 0,1 | 0,0 | 0,8 | 0,6 | 0,0 | 0,2 | 0,0 | 23 | KALIMANTAN TIMUR | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 1,2 | 17,8 | 1,0 | 11,6 | 0,9 |
| 7 | BENGLULU | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 24 | KALIMANTAN UTARA | 1,3 | 0,0 | 0,1 | 0,5 | 0,1 | 0,0 | 0,1 | 0,2 |
| 8 | LAMPUNG | 0,7 | 0,2 | 0,2 | 4,7 | 0,4 | 0,1 | 9,6 | 13,3 | 25 | SULAWESI UTARA | 0,3 | 0,6 | 4,4 | 0,0 | 23,2 | 6,2 | 19,0 | 2,5 |
| 9 | KEP. BANGKA BELITUNG | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,4 | 0,1 | 0,0 | 0,2 | 26 | SULAWESI TENGAH | 0,9 | 0,0 | 0,1 | 2,7 | 0,3 | 0,1 | 7,6 | 12,3 |
| 10 | KEPULAUAN RIAU | 1,0 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 27 | SULAWESI SELATAN | 0,0 | 0,1 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| 11 | DKI JAKARTA | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 28 | SULAWESI TENGGAH | 0,3 | 0,7 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,7 | 0,4 | 0,1 |
| 12 | JAWA BARAT | 14,1 | 7,4 | 4,6 | 3,4 | 1,5 | 0,1 | 1,7 | 1,2 | 29 | GORONTALO | 0,9 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |
| 13 | JAWA TENGAH | 35,7 | 19,5 | 0,1 | 4,5 | 0,0 | 2,8 | 0,2 | 0,9 | 30 | SULAWESI BARAT | 0,9 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 1,1 |
| 14 | DI YOGYAKARTA | 0,0 | 0,6 | 0,0 | 0,1 | 0,9 | 0,0 | 2,0 | 0,9 | 31 | MALUKU | 0,5 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 |
| 15 | JAWA TIMUR | 36,7 | 33,3 | 10,7 | 2,2 | 3,8 | 2,2 | 2,3 | 0,0 | 32 | MALUKU UTARA | 0,0 | 9,7 | 6,1 | 0,3 | 12,0 | 0,0 | 9,3 | 0,2 |
| 16 | BANTEN | 0,4 | 0,0 | 0,4 | 1,9 | 0,2 | 0,0 | 3,3 | 2,3 | 33 | PAPUA BARAT | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |
| 17 | BALI | 0,0 | 7,9 | 1,7 | 60,9 | 1,2 | 1,8 | 4,1 | 1,1 | 34 | PAPUA | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,6 | 0,7 | 0,2 | 1,5 | 56,2 |

Keterangan: Dim 1, Dimensi pertama; Dim 2, Dimensi kedua; dan seterusnya.

Pada Gambar 3, Dim 2 mempunyai nilai tertinggi untuk Jawa Tengah, Bali, dan Jawa Barat, serta nilai terendah untuk Jawa Timur, Aceh, dan Maluku Utara. Dimensi ini tampak mempertentangkan kondisi (yang sangat berbeda) antara Jawa Tengah dengan Jawa Timur dan antara Bali dengan Maluku Utara. Menurut level pada Dim 2 ini, Jawa Tengah berbeda dengan Jawa Timur, bahkan kondisinya berlawanan; demikian juga dengan Bali dan Maluku Utara. Menurut tabel kontribusi (Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5), Dim 2 ini banyak ditentukan oleh kejadian bencana tsunami, letusan gunung api, gelombang pasang, dan/atau gempa bumi, yang terjadi di Jawa Tengah, Bali, Aceh, Maluku Utara, dan Jawa Timur. Dengan memperhatikan kembali data dasar pada Lampiran 1, perbedaan diantara kelima provinsi tersebut adalah dalam hal kejadian tsunami (di Aceh, Maluku Utara, Jawa Timur) dan letusan gunung api (Jawa Tengah dan Bali). Dengan demikian, *Dim 2* merujuk kepada perbedaan banyaknya *kejadian bencana geologi* letusan gunung api dengan kejadian tsunami.

Dimensi-dimensi lainnya juga dapat diidentifikasi dengan melihat kontribusi jenis, tahun, dan provinsi tempat kejadian pada ketiga tabel kontribusi di atas. Berdasarkan ketiga tabel tersebut, Dim 3 merujuk kepada banyaknya kejadian gempa dan tsunami (Aceh). Dim 4 merujuk kepada banyaknya kejadian letusan gunung api (Bali), Dim 5 merujuk kepada banyaknya kejadian kebakaran lahan dan hutan (Riau, Kalimantan Selatan, dan Kalimantan Timur), Dim 6 merujuk kepada banyaknya gempa bumi (Sumatera Barat dan NTB), Dim 7 merujuk kepada kejadian letusan gunung api di Sulawesi Utara dan Maluku Utara, dan, Dim 8 merujuk kepada kejadian tsunami di Papua, Sulawesi Tengah, dan Lampung.

Tabel 6.
Deskripsi Kelompok Provinsi Menurut Kejadian Bencana Alam

| Klaster* | Provinsi-provinsi | Deskripsi Ciri Utama Kejadian Bencana |
|------------------|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Cluster 9</i> | Jawa Timur [15] | Kejadian tinggi banjir, puting beliung, dan kekeringan, serta tanah longsor. Terdapat kejadian tsunami. |

| Klaster* | Provinsi-provinsi | Deskripsi Ciri Utama Kejadian Bencana |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Cluster 8</i> | Jawa Barat [12], Jawa Tengah [13] | Kejadian tinggi banjir, puting beliung, dan kekeringan, serta tanah longsor. Terdapat kejadian letusan gunung api. |
| <i>Cluster 7</i> | Aceh [1] | Kejadian gempa bumi dan tsunami. |
| <i>Cluster 6</i> | Sumatera Barat [3] | Kejadian gempa bumi. |
| <i>Cluster 5</i> | Bali [17] | Kejadian letusan gunung api |
| <i>Cluster 4</i> | Sumatera Utara [2], Yogyakarta [14], NTB [18], NTT [19], Sulawesi Tenggara [28], Papua [34] | Kejadian letusan gunung api, gempa bumi, atau tsunami, serta abrasi pantai. |
| <i>Cluster 3</i> | Kalimantan Selatan [22], Kalimantan Timur [23] | Kejadian kebakaran lahan dan hutan |
| <i>Cluster 2</i> | Sulawesi Utara [25], Maluku Utara [32] | Kejadian letusan gunung api |
| <i>Cluster 1</i> | 18 provinsi lainnya: (4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 16; 20; 21; 24; 26; 27; 29; 30; 31; 33) | Kejadian bencana-bencana alam, tetapi dengan frekuensi lebih jarang dibandingkan dengan provinsi lainnya |

Keterangan: *Klaster-klaster pada Gambar 3.

Pendekatan interpretasi tersebut terutama menurut peta kontribusi-kontribusi pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 dimensi-dimensi struktur korelasi kejadian antar bencana dari tahun ke tahun. Selanjutnya, pada Tabel 6 disusun suatu deskripsi masing-masing kluster provinsi (9 klaster) menurut kejadian-kejadian utama bencana alam yang dialaminya. Berdasarkan identifikasi dimensi-dimensi dan deskripsi klaster-klaster tersebut, klaster-klaster tipologi kejadian bencana alam provinsi di atas dapat diringkas menurut tingkat dominasi jenis bencana hidrometeorologi atau geologi, sebagai berikut.

1. Provinsi-provinsi dengan kejadian utama bencana hidrometeorologi (banjir, puting beliung, kekeringan dan geologi (tanah longsor, letusan

gunung api, dan tsunami). Provinsi-provinsi ini adalah Jawa Timur, Jawa Barat, dan Jawa Tengah.

2. Provinsi-provinsi yang sering mengalami kejadian utama bencana geologi. Misalnya: Aceh (gempa bumi dan tsunami), Sumatera Barat (gempa bumi), Nusa Tenggara Barat (gempa bumi), Bali (letusan gunung api), Sulawesi Utara (letusan gunung api), dan, Maluku Utara (letusan gunung api).
3. Provinsi-provinsi dengan kejadian utama kebakaran lahan/hutan dan bencana geologi rendah. Misalnya: Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur.
4. Provinsi-provinsi selainnya, yang mengalami bencana hidrometeorologi atau geologi, namun kejadiannya tidak sesering provinsi-provinsi pada kelompok lainnya.

Keadaan tipologi tersebut sebagai suatu gambaran tingkat kejadian bencana alam dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir yang terjadi di wilayah provinsi-provinsi di Indonesia. Jika data yang digunakan berasal dari periode yang lebih lama, misalnya 15 atau 20 tahun terakhir, maka pengelompokan dapat memberikan hasil yang sangat mungkin berbeda. Namun demikian, hasil analisis di atas, sekurang-kurangnya terdapat 10 provinsi di Indonesia yang merupakan wilayah tipikal kejadian bencana alam berbeda-beda di Indonesia, yaitu: Aceh, Sumatera Barat, Jawa Timur, dan Bali, serta Jawa Barat-Jawa Tengah, Kalimantan Selatan-Kalimantan Timur, dan Sulawesi Utara-Maluku Utara.

PENUTUP

Hasil analisis menunjukkan terdapat delapan dimensi utama yang mewakili tingkat kejadian bencana alam di Indonesia, berturut-turut secara kumulatif, adalah: tingkat kejadian banjir, puting beliung, kekeringan, dan tanah longsor (25,8%), perbedaan banyaknya kejadian letusan gunung api dengan tsunami (34,7%), kejadian gempa dan tsunami (42,6%), kejadian letusan gunung api (49,7%), kejadian kebakaran lahan dan hutan (56,0%), kejadian gempa bumi (61,7%), kejadian letusan gunung api (66,8%), dan tingkat kejadian tsunami (71,2%).

Berdasarkan delapan dimensi tersebut diperoleh empat kelompok tipologi provinsi-provinsi dengan tipikal tingkat dominasi kejadian bencana alam hidrometeorologi atau geologi, sebagai berikut: (1) Provinsi-provinsi dengan tingkat kejadian yang tinggi pada bencana hidrometeorologi maupun geologi: banjir, puting beliung, kekeringan, tanah longsor, tsunami, atau letusan gunung api. Provinsi-provinsi tersebut adalah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur; (2) Provinsi-provinsi dengan tipikal kejadian utama bencana geologi: gempa bumi, tsunami, atau letusan gunung api (Aceh, Sumatera Barat, Bali, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Utara, Maluku Utara; (3) Provinsi-provinsi dengan tipikal kejadian utama kebakaran lahan/ hutan (Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur); dan, (4) Provinsi-provinsi selainnya, dengan tipikal bencana alam hidrometeorologi maupun geologi tetapi dengan kejadian yang lebih sedikit. Keadaan tipologi ini menggambarkan tingkat kejadian bencana alam dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir yang terjadi di wilayah provinsi-provinsi di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, H., Williams, L. J., & Valentin, D. (2013). Multiple factor analysis: principal component analysis for multitable and multiblock data sets. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 5(2), 149-179.
- Alisjahbana, A. S. (2014). *Rencana aksi nasional adaptasi perubahan iklim*. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Amri, M. R., Yulianti, G., Yunus, R., Wiguna, S., Adi, A. W., Ichwana, A., N., Randongkir, R. E., & Septian, R. T. (2016). *Risiko bencana Indonesia* (Radity Jati dan Moch. Robi Amri, eds.). Jakarta: BNPB.
- Andreas, D. (2018). *BNPB: Dibanding 2017, dampak bencana pada 2018 jauh lebih besar*. Diakses pada 19 Desember 2018, dari <https://tirto.id/bnpb-dibanding-2017-dampak-bencana-pada-2018-jauh-lebih-besar-dciw>
- Ar Rifqiy, I. (2019). *Disaster statistics dan mitigasi bencana*. Diakses pada 4 Januari 2019, dari <https://news.detik.com/kolom/d-4370816/disaster-statistics-dan-mitigasi-bencana>
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB] (2019). *Data dan informasi bencana Indonesia* (DIBI). Diakses pada 15 Juni 2019, dari <http://dibi.bnpb.go.id/>
- Farisa, F. C. (2018). *BNPB: Selama 2018, ada 1.999 kejadian bencana* (Sabrina Asril, ed.). Diakses pada 25 Oktober 2018, dari <https://nasional.kompas.com/read/2018/10/25/22572321/bnpb-selama-2018-ada-1999-kejadian-bencana>
- Husson, F., Josse, J., Lê, S., & Mazet, J. (2017). *FactoMineR: Multivariate exploratory data analysis and data mining with R*. R Package Version 1.35.

Husson, F., Lê, S., Pagès, J. (2017). *Exploratory multivariate analysis by example using R*. Boca Raton, FL : CRC Press.

Lê, S., Josse, J., & Husson, F. (2008). FactoMineR: An R Package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18.

Oktarina, R., Bahagia, S., N., Diawati, L., Pribadi, K., S. (2011). Peta penelitian logistik tanggap darurat bencana dan peluang penelitiannya di Indonesia. *The 6th National industrial Engineering Conference (NIEC-6)*. Surabaya. Prosiding: 225-232.

Pagès, J. (2014). *Multiple factor analysis by example using R*. Boca Raton, IL: CRC Press.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kejadian Bencana Alam Tahun 2010-2019 Menurut Provinsi

| No. | Provinsi | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Total | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| 1 | ACEH | 63 | 46 | 86 | 70 | 58 | 90 | 85 | 91 | 220 | 49 | 858 | |
| | BANJIR | 40 | 26 | 38 | 41 | 37 | 63 | 36 | 53 | 92 | 15 | 441 | |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | 1 | | | | 2 | | 3 | 1 | 3 | | 10 | |
| | GEMPA BUMI | 10 | 2 | 8 | 4 | | 2 | 3 | 2 | 1 | | 32 | |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | 1 | 2 | | 9 | 6 | 58 | 15 | 91 | |
| | KEKERINGAN | 4 | 11 | 14 | 4 | | | | | | | 33 | |
| | PUTING BELIUNG | 5 | 6 | 15 | 15 | 12 | 15 | 30 | 27 | 61 | 17 | 203 | |
| | TANAH LONGSOR | 3 | 1 | 3 | 5 | 5 | 10 | 4 | 2 | 5 | 2 | 40 | |
| | TSUNAMI | | | 8 | | | | | | | | 8 | |
| | SUMATERA UTARA | 39 | 45 | 64 | 66 | 52 | 63 | 73 | 81 | 94 | 16 | 593 | |
| | BANJIR | 26 | 31 | 43 | 32 | 20 | 29 | 22 | 45 | 32 | 5 | 285 | |
| GELOMBANG PASANG / ABRASI | 1 | | 1 | | | | | | 1 | | 3 | | |
| GEMPA BUMI | 1 | 4 | | | | | | 2 | | | 7 | | |
| KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | 1 | 4 | | 5 | | 3 | 1 | 14 | | |
| KEKERINGAN | | 2 | 3 | | | | | | | | 6 | | |
| LETUSAN GUNUNG API | 2 | | | 2 | 1 | 1 | 1 | 4 | 16 | | 27 | | |
| PUTING BELIUNG | 4 | 4 | 11 | 26 | 16 | 25 | 40 | 25 | 34 | 6 | 191 | | |
| TANAH LONGSOR | 5 | 4 | 6 | 5 | 11 | 8 | 5 | 5 | 7 | 4 | 60 | | |
| 3 | SUMATERA BARAT | 60 | 46 | 91 | 52 | 60 | 89 | 70 | 62 | 96 | 38 | 664 | |
| | BANJIR | 40 | 15 | 38 | 22 | 16 | 26 | 27 | 27 | 50 | 8 | 269 | |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | 1 | | 4 | 3 | 1 | | 2 | | 2 | | 13 | |
| | GEMPA BUMI | | | | | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 13 | |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | 5 | 4 | | 1 | | 3 | | 1 | | 14 | |
| | KEKERINGAN | 1 | 12 | 2 | 1 | | | | | | | 16 | |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | | | | | | 2 | | 2 | |
| | PUTING BELIUNG | 2 | 8 | 13 | 14 | 18 | 18 | 26 | 24 | 25 | 21 | 169 | |
| | TANAH LONGSOR | 15 | 6 | 29 | 12 | 22 | 44 | 10 | 8 | 14 | 6 | 166 | |
| | TSUNAMI | 1 | | 1 | | | | | | | | 2 | |
| | 4 | RIAU | 12 | 13 | 11 | 37 | 29 | 18 | 25 | 37 | 54 | 25 | 261 |
| BANJIR | | 9 | 7 | 2 | 14 | 12 | 9 | 10 | 17 | 15 | 1 | 96 | |
| GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | | 4 | |
| KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | 1 | 11 | 3 | 1 | 2 | 4 | 27 | 24 | 73 | |
| KEKERINGAN | | | 5 | | 3 | | | | | | | 8 | |
| PUTING BELIUNG | | 3 | 1 | 8 | 8 | 10 | 6 | 9 | 12 | 6 | | 63 | |
| TANAH LONGSOR | | | | | 1 | 3 | 1 | 3 | 4 | 5 | | 17 | |
| 5 | | JAMBI | 33 | 33 | 57 | 30 | 60 | 14 | 38 | 29 | 28 | 13 | 335 |
| | | BANJIR | 27 | 12 | 21 | 18 | 17 | 9 | 24 | 18 | 7 | 10 | 163 |
| | | GEMPA BUMI | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| | | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | 1 | 7 | | 29 | 1 | 1 | 2 | 11 | | 52 |
| | KEKERINGAN | 2 | 14 | 14 | | | | | | | | 30 | |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | | | | 1 | | | | 1 | |
| | PUTING BELIUNG | 2 | 6 | 13 | 7 | 11 | 2 | 6 | 6 | 6 | 3 | 62 | |
| | TANAH LONGSOR | 2 | | 2 | 5 | 3 | 2 | 5 | 3 | 4 | | 26 | |
| | 6 | SUMATERA SELATAN | 52 | 37 | 83 | 67 | 64 | 45 | 61 | 61 | 77 | 44 | 591 |
| | | BANJIR | 36 | 6 | 34 | 32 | 32 | 26 | 47 | 24 | 33 | 21 | 291 |
| | | GEMPA BUMI | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | 2 | 1 | | | 1 | | 6 | 14 | 6 | 30 | |
| KEKERINGAN | | 1 | 7 | 6 | | | | | | 1 | | 15 | |
| PUTING BELIUNG | | 12 | 16 | 32 | 22 | 23 | 6 | 9 | 26 | 23 | 9 | 178 | |
| TANAH LONGSOR | | 3 | 6 | 10 | 13 | 8 | 12 | 5 | 5 | 6 | 8 | 76 | |
| 7 | | BENGKULU | 3 | 11 | 11 | 15 | 15 | 31 | 19 | 11 | 11 | 4 | 131 |
| | | BANJIR | 3 | 4 | 7 | 8 | 9 | 12 | 5 | 5 | 8 | 3 | 64 |
| | | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| | | GEMPA BUMI | | 1 | 1 | | 1 | 1 | 2 | 2 | | | 8 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | 1 | 1 | | | | | 2 | |
| | KEKERINGAN | | 6 | 1 | | | | | | | | 7 | |
| | PUTING BELIUNG | | | 1 | 2 | 1 | 3 | 5 | 3 | | | 15 | |
| | TANAH LONGSOR | | | 1 | 4 | 3 | 14 | 7 | 1 | 3 | 1 | 34 | |

| No. | Provinsi | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Total |
|-----------|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| 8 | LAMPUNG | 43 | 25 | 38 | 32 | 32 | 20 | 18 | 9 | 37 | 14 | 268 |
| | BANJIR | 33 | 5 | 19 | 19 | 18 | 12 | 3 | 5 | 17 | 7 | 138 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | 1 | | | | | | 1 | | 2 |
| | KEKERINGAN | 1 | 13 | 14 | 2 | 1 | | | | 4 | | 35 |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | PUTING BELIUNG | 6 | 7 | 4 | 10 | 12 | 7 | 14 | 4 | 5 | 4 | 73 |
| | TANAH LONGSOR | 3 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | | 4 | 3 | 14 |
| | TSUNAMI | | | | | | | | | 5 | | 5 |
| 9 | KEPULAUAN BANGKA BELITUNG | | 1 | | 15 | 13 | 12 | 18 | 8 | 117 | 9 | 193 |
| | BANJIR | | | | 8 | 1 | 2 | 11 | 3 | 13 | 8 | 46 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | | | | | 95 | | 95 |
| | PUTING BELIUNG | | 1 | | 4 | 11 | 9 | 7 | 5 | 9 | 1 | 47 |
| | TANAH LONGSOR | | | | 3 | 1 | 1 | | | | | 5 |
| 10 | KEPULAUAN RIAU | | 4 | 12 | 35 | 38 | 5 | 16 | 5 | 9 | 2 | 126 |
| | BANJIR | | 3 | 5 | 7 | 4 | 1 | 3 | | 4 | | 27 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | 1 | 4 | | | | | | 5 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | 2 | 21 | 1 | 1 | | | | 25 |
| | PUTING BELIUNG | | 1 | 6 | 24 | 8 | 3 | 11 | 5 | 5 | 2 | 65 |
| | TANAH LONGSOR | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | | | | 4 |
| 11 | DKI JAKARTA | 16 | 9 | 11 | 37 | 30 | 11 | 43 | 15 | 35 | 4 | 211 |
| | BANJIR | 14 | 8 | 8 | 34 | 25 | 11 | 36 | 14 | 16 | | 166 |
| | GEMPA BUMI | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | PUTING BELIUNG | 2 | 1 | 3 | 2 | 5 | | 4 | | 10 | 2 | 29 |
| | TANAH LONGSOR | | | | 1 | | | 3 | 1 | 8 | 2 | 15 |
| 12 | JAWA BARAT | 358 | 187 | 240 | 278 | 553 | 217 | 306 | 328 | 386 | 399 | 3252 |
| | BANJIR | 187 | 45 | 46 | 94 | 124 | 36 | 117 | 77 | 79 | 81 | 886 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | 3 | | | | 1 | 2 | 3 | 1 | 10 |
| | GEMPA BUMI | 4 | 1 | 3 | 3 | 5 | | 1 | 11 | 5 | 3 | 36 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | 1 | 4 | | 5 | 12 | | 22 |
| | KEKERINGAN | | | 36 | 26 | 11 | | | 5 | 29 | | 107 |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | 1 | | 1 | | | | | 2 |
| | PUTING BELIUNG | 63 | 52 | 95 | 70 | 152 | 69 | 62 | 103 | 119 | 133 | 918 |
| | TANAH LONGSOR | 104 | 53 | 67 | 99 | 271 | 107 | 125 | 125 | 139 | 181 | 1271 |
| 13 | JAWA TENGAH | 456 | 468 | 344 | 188 | 343 | 390 | 600 | 1081 | 604 | 546 | 5020 |
| | BANJIR | 160 | 142 | 80 | 52 | 74 | 59 | 136 | 192 | 85 | 99 | 1079 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 1 | 2 | 4 | | | 2 | | 5 | 1 | 15 |
| | GEMPA BUMI | 2 | 1 | | 2 | 4 | 1 | | 9 | 1 | | 20 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | 4 | | 1 | 1 | 10 | 1 | 1 | 70 | | 88 |
| | KEKERINGAN | | 19 | 63 | 12 | 3 | 2 | | 3 | 30 | | 132 |
| | LETUSAN GUNUNG API | 4 | 1 | | 1 | 2 | | | 1 | 8 | | 17 |
| | PUTING BELIUNG | 138 | 126 | 118 | 66 | 120 | 151 | 211 | 386 | 244 | 222 | 1782 |
| | TANAH LONGSOR | 152 | 174 | 81 | 50 | 139 | 167 | 250 | 489 | 161 | 224 | 1887 |
| 14 | D.I. YOGYAKARTA | 21 | 24 | 69 | 39 | 24 | 29 | 38 | 26 | 124 | 20 | 414 |
| | BANJIR | 5 | 9 | 8 | 9 | 1 | 3 | 5 | 3 | 4 | 6 | 53 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | 5 | | | 2 | | 6 | | 13 |
| | GEMPA BUMI | 2 | | | | 1 | | | 2 | | | 5 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | | | | | 1 | | 1 |
| | KEKERINGAN | 4 | 3 | 1 | 2 | 1 | | | 1 | 3 | | 15 |
| | LETUSAN GUNUNG API | 1 | | | 1 | | | | | 8 | | 10 |
| | PUTING BELIUNG | 7 | 8 | 36 | 9 | 11 | 15 | 19 | 6 | 90 | 10 | 211 |
| | TANAH LONGSOR | 2 | 4 | 24 | 13 | 10 | 11 | 12 | 14 | 12 | 4 | 106 |
| 15 | JAWA TIMUR | 290 | 279 | 167 | 236 | 242 | 305 | 407 | 434 | 473 | 264 | 3097 |
| | BANJIR | 161 | 100 | 44 | 117 | 76 | 87 | 148 | 130 | 87 | 93 | 1043 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 3 | 1 | 4 | 2 | 1 | 7 | | 7 | | 25 |
| | GEMPA BUMI | | 2 | | 3 | 2 | 3 | 3 | | 5 | 1 | 19 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | 2 | | 8 | 13 | 7 | 46 | 110 | | 186 |
| | KEKERINGAN | | 26 | 61 | 16 | 1 | 2 | 1 | 1 | 20 | | 127 |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | | 6 | 5 | | | | | 11 |
| | PUTING BELIUNG | 71 | 103 | 47 | 68 | 91 | 133 | 134 | 134 | 145 | 135 | 1061 |
| | TANAH LONGSOR | 58 | 45 | 12 | 28 | 55 | 61 | 108 | 123 | 99 | 35 | 624 |
| | TSUNAMI | | | | | 1 | | | | | | 1 |

| No. | Provinsi | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Total |
|-----------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|------------|
| 16 | BANTEN | 34 | 28 | 38 | 32 | 39 | 63 | 31 | 39 | 75 | 13 | 392 |
| | BANJIR | 16 | 11 | 14 | 17 | 16 | 25 | 18 | 21 | 18 | 6 | 162 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| | GEMPA BUMI | | 1 | | | | 2 | | | 4 | | 7 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | 1 | | | | 1 | | 2 |
| | KEKERINGAN | | 7 | 9 | 1 | | 1 | | | | | 8 |
| | PUTING BELIUNG | 14 | 5 | 13 | 8 | 12 | 24 | 6 | 16 | 34 | 7 | 139 |
| | TANAH LONGSOR | 4 | 4 | 2 | 6 | 10 | 10 | 7 | 2 | 8 | | 53 |
| | TSUNAMI | | | | | | | | | 2 | | 2 |
| 17 | BALI | 16 | 37 | 53 | 28 | 18 | 6 | 19 | 37 | 154 | 24 | 392 |
| | BANJIR | 6 | 8 | 6 | 5 | 4 | | 9 | 7 | 29 | 3 | 77 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | 1 | 3 | 4 | 2 | 2 | | | | 4 | 1 | 17 |
| | GEMPA BUMI | | 6 | | | | | | 1 | 21 | | 28 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | 9 | | | | | 2 | 3 | | 14 |
| | KEKERINGAN | | | 8 | | | | | | | | 8 |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | | | | | 9 | 24 | 3 | 36 |
| | PUTING BELIUNG | 3 | 14 | 13 | 10 | 5 | 3 | 6 | 9 | 18 | 8 | 89 |
| | TANAH LONGSOR | 6 | 6 | 13 | 11 | 7 | 3 | 4 | 9 | 55 | 9 | 123 |
| 18 | NUSA TENGGARA BARAT | 27 | 26 | 35 | 53 | 18 | 17 | 27 | 71 | 88 | 28 | 390 |
| | BANJIR | 6 | 17 | 21 | 22 | 4 | 10 | 18 | 41 | 39 | 15 | 193 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | 2 | | | 9 | | | | | 2 | | 13 |
| | GEMPA BUMI | | | | 1 | | | 2 | | 16 | 2 | 21 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | 2 | | | 1 | | | 3 |
| | KEKERINGAN | 8 | 4 | 7 | 2 | | | | 9 | 9 | | 39 |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | | 1 | 2 | | | | | 3 |
| | PUTING BELIUNG | 9 | 3 | 5 | 16 | 10 | 4 | 4 | 14 | 16 | 11 | 92 |
| | TANAH LONGSOR | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 6 | 6 | | 26 |
| 19 | NUSA TENGGARA TIMUR | 39 | 39 | 26 | 78 | 41 | 27 | 19 | 13 | 185 | 9 | 476 |
| | BANJIR | 15 | 23 | 5 | 27 | 10 | 7 | 8 | 3 | 28 | 1 | 127 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | 2 | 1 | | 4 | 2 | | 1 | | 8 | | 18 |
| | GEMPA BUMI | 1 | 1 | 2 | | | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | | 1 | | 1 | | | 2 |
| | KEKERINGAN | 6 | 5 | 1 | 1 | 1 | | | | 22 | | 36 |
| | LETUSAN GUNUNG API | | | | 3 | | | 1 | | | | 4 |
| | PUTING BELIUNG | 7 | 7 | 18 | 42 | 26 | 14 | 6 | 6 | 93 | 4 | 223 |
| | TANAH LONGSOR | 8 | 2 | | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 33 | 3 | 55 |
| 20 | KALIMANTAN BARAT | 24 | 15 | 8 | 9 | 15 | 19 | 22 | 27 | 132 | 12 | 283 |
| | BANJIR | 15 | 3 | 6 | 8 | 3 | 9 | 16 | 16 | 50 | 7 | 133 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | 8 | 1 | | 4 | 1 | | 3 | 44 | 1 | 62 |
| | KEKERINGAN | 1 | | | | | | | | | | 1 |
| | PUTING BELIUNG | 7 | 4 | 1 | 1 | 5 | 7 | 5 | 7 | 26 | 2 | 65 |
| | TANAH LONGSOR | 1 | | | | 3 | 2 | | 1 | 12 | 2 | 21 |
| 21 | KALIMANTAN TENGAH | 21 | 10 | 8 | 17 | 11 | 8 | 15 | 50 | 59 | 37 | 236 |
| | BANJIR | 20 | 3 | 8 | 11 | 7 | 4 | 9 | 39 | 25 | 23 | 149 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | | 3 | 1 | | | 1 | | 5 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | 2 | | 2 | | 1 | 4 | 7 | 24 | 5 | 45 |
| | KEKERINGAN | 1 | 3 | | 2 | | | | | | | 6 |
| | PUTING BELIUNG | | | | 2 | | 1 | 2 | 1 | 5 | 9 | 20 |
| | TANAH LONGSOR | | 2 | | | 1 | 1 | | 3 | 4 | | 11 |
| 22 | KALIMANTAN SELATAN | 46 | 32 | 66 | 73 | 13 | 12 | 21 | 63 | 100 | 64 | 490 |
| | BANJIR | 43 | 8 | 16 | 18 | 7 | 3 | 13 | 35 | 15 | 15 | 173 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 2 | 4 | | | | 1 | | | | 8 |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | 1 | 16 | 20 | | | 1 | 11 | 53 | 12 | 114 |
| | KEKERINGAN | | 3 | 3 | | | | | | | | 6 |
| | PUTING BELIUNG | 3 | 16 | 25 | 32 | 5 | 8 | 6 | 11 | 26 | 32 | 164 |
| | TANAH LONGSOR | | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | | 6 | 6 | 4 | 25 |

| No. | Provinsi | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Total | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| 23 | KALIMANTAN TIMUR | 44 | 21 | 46 | 51 | 57 | 60 | 189 | 39 | 32 | 11 | 550 | |
| | BANJIR | 31 | 13 | 21 | 34 | 15 | 25 | 24 | 29 | 14 | 1 | 207 | |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 1 | 1 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | 6 | |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | 4 | 1 | 7 | 1 | 17 | 5 | 129 | 1 | 8 | 9 | 182 | |
| | KEKERINGAN | | 3 | 4 | | | | | | | | 7 | |
| | PUTING BELIUNG | 6 | 2 | 4 | 7 | 7 | 8 | 8 | 2 | 6 | | 50 | |
| | TANAH LONGSOR | 3 | 1 | 9 | 8 | 18 | 22 | 27 | 7 | 3 | | 98 | |
| | KALIMANTAN UTARA | 2 | | 4 | 5 | 3 | 7 | 15 | 2 | 1 | 4 | 43 | |
| | BANJIR | | | 1 | 2 | 2 | 6 | | 1 | 1 | 1 | 14 | |
| | GEMPA BUMI | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | 2 | 1 | | | 14 | | | 2 | 19 | |
| PUTING BELIUNG | | | 3 | | | | | 1 | | | | 4 | |
| TANAH LONGSOR | 2 | | | 1 | | | | | 1 | | 1 | 5 | |
| 25 | SULAWESI UTARA | 11 | 21 | 14 | 11 | 23 | 18 | 16 | 38 | 25 | 10 | 187 | |
| | BANJIR | 3 | 9 | 3 | 8 | 13 | 7 | 7 | 18 | 10 | 5 | 83 | |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 2 | | | 1 | | | 3 | | | 6 | |
| | GEMPA BUMI | | | | | 1 | 2 | | | | | 3 | |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| | KEKERINGAN | 3 | | | | | | | | | | 3 | |
| | LETUSAN GUNUNG API | 1 | 2 | 6 | | | 2 | 2 | | 3 | 1 | 17 | |
| | PUTING BELIUNG | | 3 | 2 | 1 | 4 | 2 | 2 | 12 | 4 | 1 | 31 | |
| | TANAH LONGSOR | 4 | 5 | 3 | 2 | 4 | 4 | 5 | 5 | 8 | 3 | 43 | |
| | 26 | SULAWESI TENGAH | 33 | 14 | 12 | 17 | 31 | 13 | 12 | 21 | 13 | 7 | 173 |
| BANJIR | | 27 | 12 | 10 | 12 | 24 | 11 | 10 | 17 | 7 | 5 | 135 | |
| GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | 1 | | | 1 | 1 | | | 1 | | 4 | |
| GEMPA BUMI | | 1 | | 1 | | | | | 2 | | 1 | 5 | |
| TSUNAMI | | | | | | | | | | 4 | | 4 | |
| KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | | | | 1 | | | | 1 | |
| KEKERINGAN | | 1 | | | 2 | | | | | | | 3 | |
| PUTING BELIUNG | | 3 | 1 | | 2 | 3 | | 1 | 1 | 1 | | 12 | |
| TANAH LONGSOR | | 1 | | 1 | 1 | 3 | 1 | | 1 | | | 1 | 9 |
| 27 | | SULAWESI SELATAN | 113 | 78 | 48 | 55 | 54 | 47 | 56 | 71 | 187 | 81 | 790 |
| | BANJIR | 75 | 19 | 17 | 29 | 18 | 14 | 29 | 32 | 39 | 25 | 297 | |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | | 1 | 1 | | 1 | 5 | 1 | 9 | |
| | GEMPA BUMI | | | | | | | | | 2 | | 2 | |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | 6 | 2 | | | 1 | 2 | 11 | |
| | KEKERINGAN | 7 | 34 | 10 | 4 | | | | | 3 | | 58 | |
| | PUTING BELIUNG | 22 | 24 | 16 | 16 | 26 | 23 | 17 | 27 | 110 | 43 | 324 | |
| | TANAH LONGSOR | 9 | 1 | 5 | 6 | 3 | 7 | 10 | 11 | 27 | 10 | 89 | |
| | 28 | SULAWESI TENGGARA | 89 | 13 | 99 | 29 | 14 | 8 | 13 | 28 | 26 | 7 | 326 |
| | | BANJIR | 65 | 4 | 37 | 18 | 5 | 3 | 6 | 21 | 17 | 2 | 178 |
| GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 4 | | 4 | | | | | | | | 8 | |
| GEMPA BUMI | | | 2 | | | | | | | | | 2 | |
| KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | 1 | | | 1 | | | | | 2 | |
| KEKERINGAN | | | 1 | 12 | 2 | | 1 | | | | | 16 | |
| PUTING BELIUNG | | 15 | 6 | 35 | 8 | 6 | 3 | 7 | 4 | 4 | 2 | 90 | |
| TANAH LONGSOR | | 5 | | 10 | 1 | 3 | | | 3 | 5 | 3 | 30 | |
| 29 | | GORONTALO | 20 | 17 | 17 | 18 | 8 | 19 | 11 | 29 | 17 | 4 | 160 |
| | | BANJIR | 17 | 13 | 16 | 13 | 6 | 13 | 9 | 26 | 14 | 2 | 129 |
| | GEMPA BUMI | | | | | | 1 | | 1 | | | 2 | |
| | KEBAKARAN HUTAN DAN LAHAN | | | | | | 2 | | | | | 2 | |
| | KEKERINGAN | 3 | | | | | | | | | | 3 | |
| | PUTING BELIUNG | | 4 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | | 1 | 2 | 14 | |
| | TANAH LONGSOR | | | | 3 | 1 | 2 | | 2 | 2 | | 10 | |
| | 30 | SULAWESI BARAT | 18 | 19 | 8 | 13 | 7 | 6 | 9 | 12 | 13 | 6 | 111 |
| | | BANJIR | 13 | 3 | 4 | 9 | 3 | 2 | 6 | 8 | 5 | 5 | 58 |
| | | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 2 | | 1 | | | | 2 | | | 5 |
| GEMPA BUMI | | 1 | | | | | 1 | | | 2 | | 4 | |
| TSUNAMI | | | | | | | | | | 1 | | 1 | |
| KEKERINGAN | | | 5 | 3 | | | | | | | | 8 | |
| PUTING BELIUNG | | 2 | 8 | | 2 | 4 | 3 | 3 | 2 | 4 | 1 | 29 | |
| TANAH LONGSOR | | 2 | 1 | 1 | 1 | | | | | 1 | | 6 | |

| No. | Provinsi | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | Total |
|-----------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 31 | MALUKU | 9 | 19 | 14 | 13 | 9 | 18 | 5 | 21 | 9 | 13 | 130 |
| | BANJIR | 3 | 9 | 5 | 5 | 4 | 2 | 4 | 14 | 5 | 7 | 58 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | 1 | 3 | 1 | | 1 | | | | | 6 |
| | GEMPA BUMI | | | 1 | | 1 | 3 | 1 | 1 | | 1 | 8 |
| | KEKERINGAN | | | 1 | | | | | | | | 1 |
| | PUTING BELIUNG | | 3 | 2 | 5 | 2 | 7 | | 2 | 2 | 4 | 27 |
| | TANAH LONGSOR | 6 | 6 | 2 | 2 | 2 | 5 | | 4 | 2 | 1 | 30 |
| 32 | MALUKU UTARA | 5 | 8 | 4 | 3 | 4 | 7 | 7 | 32 | 20 | 4 | 94 |
| | BANJIR | 2 | 6 | 2 | 2 | | 1 | 2 | 20 | 12 | 3 | 50 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | | | | | | 2 | | | 2 |
| | GEMPA BUMI | 1 | | | | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 | 11 |
| | KEKERINGAN | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| | LETUSAN GUNUNG API | | 1 | 1 | | 1 | 2 | 2 | | 1 | | 8 |
| | PUTING BELIUNG | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 4 | 4 | | 14 |
| | TANAH LONGSOR | 1 | | | | | | 1 | 3 | 2 | | 7 |
| | TSUNAMI | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| 33 | PAPUA BARAT | 1 | 3 | 3 | 4 | 1 | 1 | 4 | 7 | 7 | 7 | 38 |
| | BANJIR | 1 | 2 | | 2 | 1 | | 3 | 5 | 6 | 7 | 27 |
| | GEMPA BUMI | | | 1 | | | 1 | | | 1 | | 3 |
| | PUTING BELIUNG | | | 2 | 1 | | | | | | | 3 |
| | TANAH LONGSOR | | 1 | | 1 | | | 1 | 2 | | | 5 |
| 34 | PAPUA | 6 | 9 | 12 | 16 | 8 | 8 | 5 | 20 | 14 | 11 | 109 |
| | BANJIR | 2 | 2 | 8 | 12 | 2 | 4 | 4 | 14 | 8 | 10 | 66 |
| | GELOMBANG PASANG / ABRASI | | | 1 | | | | | | 2 | | 3 |
| | GEMPA BUMI | 1 | 1 | | | | 2 | 1 | 1 | 2 | | 8 |
| | KEKERINGAN | | | | 1 | | | | | | | 1 |
| | PUTING BELIUNG | 1 | 2 | 2 | | | | | 3 | 1 | | 9 |
| | TANAH LONGSOR | 2 | 3 | 1 | 3 | 6 | 2 | | 2 | 1 | 1 | 21 |
| | TSUNAMI | | 1 | | | | | | | | | 1 |
| # | NASIONAL | 2.004 | 1.637 | 1.799 | 1.722 | 1.987 | 1.703 | 2.313 | 2.898 | 3.522 | 1.799 | 21.384 |

Sumber: Daftar Bencana (BNPB, 2019), <http://dibi.bnpb.go.id/>, diunduh [15 Juni 2019], diolah.

Lampiran 2. Skor Faktor Masing-Masing Provinsi pada Delapan Dimensi Utama

| No. | Provinsi | Dim 1 | Dim 2 | Dim 3 | Dim 4 | Dim 5 | Dim 6 | Dim 7 | Dim 8 |
|-----|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | ACEH | 1,319 | -3,175 | 6,149 | 1,055 | 0,403 | 2,166 | 0,024 | 0,194 |
| 2 | SUMATERA UTARA | -0,142 | 1,097 | -0,293 | 0,985 | 0,993 | 0,645 | -0,463 | -0,348 |
| 3 | SUMATERA BARAT | 0,422 | 0,798 | 2,091 | 0,873 | 0,366 | -5,279 | 1,642 | 0,967 |
| 4 | RIAU | -1,049 | -0,589 | 0,177 | -0,075 | -1,723 | 0,583 | 0,284 | 0,091 |
| 5 | JAMBI | -0,991 | -0,089 | -0,299 | -0,223 | -0,622 | 0,019 | 0,749 | -0,235 |
| 6 | SUMATERA SELATAN | -0,557 | 0,219 | 0,071 | -0,650 | -0,544 | 0,007 | 0,267 | -0,126 |
| 7 | BENGKULU | -1,109 | -0,095 | 0,092 | -0,476 | 0,184 | -0,142 | -0,002 | -0,288 |
| 8 | LAMPUNG | -1,157 | 0,375 | -0,384 | -1,586 | -0,411 | 0,184 | -1,917 | 2,105 |
| 9 | KEP. BANGKA BELITUNG | -1,263 | -0,119 | -0,173 | -0,514 | -0,449 | 0,161 | 0,059 | -0,275 |
| 10 | KEPULAUAN RIAU | -1,389 | -0,253 | -0,151 | -0,054 | -0,510 | 0,083 | 0,003 | -0,145 |
| 11 | DKI JAKARTA | -1,367 | 0,127 | -0,158 | -0,573 | -0,126 | 0,037 | -0,016 | -0,181 |
| 12 | JAWA BARAT | 5,262 | 2,224 | 1,673 | -1,348 | 0,849 | 0,198 | 0,796 | 0,620 |
| 13 | JAWA TENGAH | 8,363 | 3,621 | -0,280 | -1,553 | 0,055 | 1,093 | 0,280 | -0,539 |
| 14 | DI YOGYAKARTA | -0,058 | 0,655 | 0,148 | -0,193 | 0,645 | -0,117 | -0,880 | -0,541 |
| 15 | JAWA TIMUR | 8,247 | -4,729 | -2,541 | 1,092 | -1,354 | -0,971 | -0,949 | -0,114 |
| 16 | BANTEN | -0,835 | -0,147 | -0,488 | -1,004 | -0,297 | 0,129 | -1,130 | 0,853 |
| 17 | BALI | -0,135 | 2,300 | -1,004 | 5,704 | 0,757 | 0,874 | -1,254 | 0,599 |
| 18 | NUSA TENGGARA BARAT | 0,108 | -0,144 | 0,257 | 0,468 | 1,281 | -1,544 | -1,429 | -0,438 |
| 19 | NUSA TENGGARA TIMUR | 0,370 | -0,151 | 0,492 | 0,476 | 1,662 | -0,320 | -1,424 | -0,599 |
| 20 | KALIMANTAN BARAT | -0,984 | 0,129 | 0,013 | -0,525 | -0,732 | -0,452 | 0,517 | -0,250 |
| 21 | KALIMANTAN TENGAH | -1,021 | -0,492 | -0,086 | -0,235 | -0,821 | 0,065 | -0,251 | 0,145 |
| 22 | KALIMANTAN SELATAN | -0,433 | 0,633 | -0,252 | 1,709 | -2,612 | 0,448 | 1,515 | 0,236 |
| 23 | KALIMANTAN TIMUR | -0,500 | 0,562 | -0,281 | 0,800 | -2,933 | 0,674 | 2,112 | -0,544 |
| 24 | KALIMANTAN UTARA | -1,623 | 0,007 | -0,185 | -0,494 | -0,236 | 0,100 | 0,156 | -0,273 |
| 25 | SULAWESI UTARA | -0,811 | -0,633 | -1,638 | 0,131 | 3,351 | 1,634 | 2,702 | 0,915 |
| 26 | SULAWESI TENGAH | -1,308 | -0,143 | -0,297 | -1,203 | -0,407 | 0,174 | -1,709 | 2,026 |
| 27 | SULAWESI SELATAN | 0,186 | 0,232 | 0,060 | -0,409 | -0,386 | 0,416 | -0,321 | 0,257 |
| 28 | SULAWESI TENGGARA | -0,799 | 0,668 | 0,113 | 0,493 | 0,130 | -0,552 | -0,382 | -0,211 |
| 29 | GORONTALO | -1,303 | 0,028 | -0,134 | -0,609 | 0,010 | 0,022 | -0,035 | -0,262 |
| 30 | SULAWESI BARAT | -1,291 | -0,115 | -0,443 | -0,401 | 0,434 | 0,417 | 0,041 | 0,597 |
| 31 | MALUKU | -1,002 | -0,167 | -0,200 | -0,178 | 0,044 | -0,448 | -0,094 | 0,079 |
| 32 | MALUKU UTARA | -0,128 | -2,555 | -1,919 | -0,383 | 2,406 | -0,085 | 1,890 | 0,250 |
| 33 | PAPUA BARAT | -1,582 | -0,001 | -0,121 | -0,531 | 0,022 | 0,061 | -0,023 | -0,241 |
| 34 | PAPUA | -1,442 | -0,079 | -0,011 | -0,567 | 0,572 | -0,280 | -0,758 | -4,324 |

Keterangan: Dim 1, Dimensi pertama; Dim 2, Dimensi kedua; dan seterusnya.
 Sumber: Daftar Bencana (BNPB, 2019), <http://dibi.bnpb.go.id/>,
 diunduh [15 Juni 2019]. Metode: MFA (Abdi, Williams & Valentin, 2013;
 Pagès; 2014) dengan menggunakan perangkat R paket FactoMineR
 versi 1.35 (Husson *et al*, 2017).



02

**KONSERVASI BIODIVERSITAS
DALAM MENGHADAPI
KERUSAKAN AKIBAT BENCANA**

(Diki)

KONSERVASI BIODIVERSITAS DALAM MENGHADAPI KERUSAKAN AKIBAT BENCANA

Diki
(dikinian@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

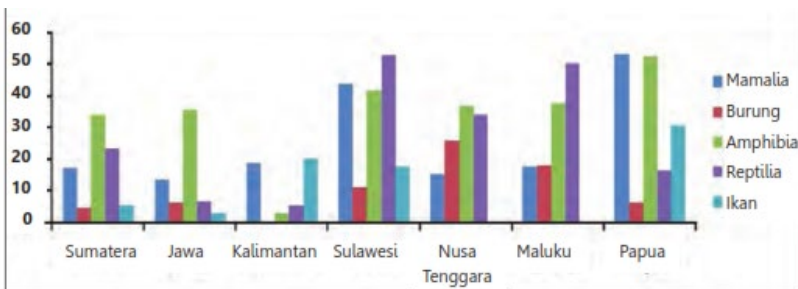
Biodiversitas merupakan kelimpahan berbagai makhluk hidup dan keragaman ekosistemnya. Negara kita memiliki tingkat biodiversitas yang tinggi sehingga dikenal sebagai *megabiodiversity*. Namun negara kita juga terkenal memiliki potensi akan berbagai bencana alam. Kerusakan biodiversitas akan lebih besar pada ekosistem pulau, seperti Indonesia yang sebagian besar wilayahnya merupakan kepulauan. Untuk menjaga biodiversitas dapat diterapkan konsep ekologi rekonsiliasi, yaitu upaya konservasi biodiversitas di daerah yang sudah dipengaruhi manusia, misalnya lahan pertanian, perkotaan, maupun industri. Konsep ini berbeda dengan upaya konservasi pada umumnya yang menitik beratkan pada wilayah konservasi, seperti wilayah yang merupakan hutan alam. Untuk itu dalam tulisan ini dijelaskan berbagai contoh penerapan konservasi biodiversitas di berbagai bentuk wilayah. Walaupun demikian, tetap diperlukan adanya konservasi di lahan yang merupakan kawasan yang belum dipengaruhi manusia. Secara lebih rinci tulisan ini membahas pentingnya upaya menjaga biodiversitas dari kerusakan akibat bencana, baik bencana alam maupun bencana buatan manusia.

Kata kunci: biodiversitas, ekologi rekonsiliasi, bencana

PENDAHULUAN

Biodiversitas diartikan sebagai banyaknya dan kelimpahan jenis (spesies) makhluk hidup, variasi genetik dalam suatu spesies, serta keragaman habitat dan ekosistem (Roe, D., *et al.*, 2018). Keuntungan adanya biodiversitas adalah tingginya ketahanan menghadapi perubahan lingkungan (Fergusson *et al.*, 2012). Indonesia merupakan salah satu pusat biodiversitas di dunia (von Rintelen *et al.*, 2017). Hal ini karena Indonesia memiliki kekayaan spesies tumbuhan dan hewan yang sangat berlimpah. Data statistik Kementerian Lingkungan Hidup tahun 2015, menyatakan bahwa Indonesia memiliki 4.300 jenis satwa termasuk 1.501 adalah spesies endemik dan 38.000 spesies tumbuhan termasuk sekitar 25.000 spesies endemik (Kemen LH, 2015). Untuk tumbuhan hutan berkayu, Kalimantan merupakan pusat biodiversitas tumbuhan Dipterokarpa. Lima puluh persen spesies Dipterokarpa yang ada di dunia dapat ditemukan di Kalimantan (MacKinnon *et al.*, 1996).

Tingkat endemisitas sangat tinggi karena kekhasan ekosistem di masing-masing wilayah. Di berbagai pulau kecuali pulau Sumatera, jumlah spesies tumbuhan endemik mencapai 40 – 50 % dari seluruh spesies tumbuhan di pulau tersebut. Indonesia memiliki 270 spesies mamalia, 386 spesies burung, 328 spesies reptil, 204 spesies amfibi, dan 240 spesies ikan yang bersifat endemis (Darajati, 2016). Contoh kekayaan spesies endemis Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: Darajati (2016)

Gambar 1.
Sebaran Endemisitas Fauna Indonesia

Kekayaan ekosistem laut di Indonesia juga termasuk yang sangat tinggi. Indonesia memiliki 590 spesies karang keras, 210 spesies karang lunak, dan 350 spesies karang gorgonian. Beberapa wilayah laut Indonesia juga memiliki kekayaan spesies terumbu karang yang sangat tinggi. Kepulauan Raja Ampat di Papua Barat memiliki 574 spesies terumbu karang dan 553 spesies ikan karang. Dengan demikian, kawasan Raja Ampat merupakan kawasan laut terkaya di dunia (Turak & Souhuka, 2003).

Tingginya biodiversitas Indonesia juga berguna untuk masyarakat luas, salah satunya dalam hal kekayaan tanaman obat tradisional. Menurut von Rintelen *et al.* (2017), Indonesia memiliki kekayaan tanaman obat tradisional kedua di dunia setelah wilayah Amazon di Brazil. Kekayaan tanaman obat dapat berguna bagi pengembangan ilmu farmasi dan bioteknologi.

Saat ini, tingkat biodiversitas sedang mengalami penurunan di berbagai belahan dunia (Roe *et al.*, 2018). Morin *et al.* (2001) menunjukkan adanya penurunan biodiversitas jenis padi di Filipina antara tahun 1996-1998. Penyebab terjadinya penurunan biodiversitas padi ini adalah kekeringan akibat El Nino pada tahun 1997 dan banjir yang disebabkan oleh badai pada tahun 1998. Banjir juga merupakan penyebab penurunan biodiversitas menurut Fergusson *et al.* (2012). Upaya melakukan konservasi merupakan aktivitas penting dalam menjaga biodiversitas. Upaya tersebut berguna dalam menjaga adanya berbagai jenis hewan dan tumbuhan agar kerusakan akibat bencana tidak mengakibatkan menurunnya keanekaragaman makhluk hidup. Hal yang juga penting untuk mempertahankan biodiversitas adalah adanya perlindungan secara hukum terhadap suatu kawasan, termasuk usaha konservasi di kawasan yang sudah dipengaruhi dan digunakan untuk aktivitas manusia. Manusia sebagai unsur utama yang menggunakan sumberdaya alam berpotensi besar untuk menimbulkan perubahan di dalam ekosistem dan akan mempengaruhi kelestarian sumberdaya alam termasuk biodiversitas yang ada di dalamnya. Salah satu upaya dalam menjaga biodiversitas adalah dengan konservasi rekonsiliasi. Rosenzweig (2003) mengartikan konservasi rekonsiliasi sebagai suatu ilmu untuk menemukan, menciptakan, dan mempertahankan habitat baru dalam rangka melestarikan keanekaragaman spesies di tempat yang dihuni dan

dipengaruhi manusia. Konservasi rekonsiliasi berfokus pada kelestarian biodiversitas di daerah yang memang mendapat pengaruh manusia.

Artikel yang merupakan kajian berdasarkan pustaka ini membahas tentang kerusakan biodiversitas akibat bencana, kemampuan makhluk hidup untuk mempertahankan biodiversitas, serta upaya untuk mengatasi kerusakan atau hilangnya biodiversitas akibat bencana.

BENCANA DAN DAMPAKNYA

Bencana berdampak besar bagi manusia dan lingkungannya. Bencana menyebabkan terhentinya fungsi sebuah komunitas atau masyarakat. Kerusakan yang diakibatkan bencana adalah di luar kemampuan komunitas itu untuk melakukan perbaikan atas dampak bencana tersebut. Bencana dapat berupa bencana alam dan berupa bencana akibat manusia (Bello, 2014; UNEP, 2008). Menurut Bello (2014), bencana alam dapat disebabkan karena 1). proses dinamik di perut bumi, seperti gempa, tsunami, dan letusan gunung berapi, 2). bencana karena proses dinamik di permukaan bumi, seperti tanah longsor atau tanah ambles, 3). bencana karena proses hidrometeorologi, seperti banjir, kekeringan, dan angin topan, serta 4). bencana karena proses biologi, seperti wabah penyakit atau serangan hama pertanian. Berbeda dengan bencana alam, bencana buatan manusia atau bencana yang disebabkan ulah manusia, seperti kebakaran, kecelakaan lalu lintas, atau pencemaran limbah industri merupakan peristiwa yang mendadak atau yang berlanjut, sehingga kemudian menyebabkan perubahan pola hidup manusia. Perubahan tersebut mengganggu struktur sosial dan menyebabkan kerusakan pada aspek ekonomi (Steiner, 2008).

Keberadaan dan intensitas jenis bencana berbeda-beda pada setiap wilayah. Indonesia dikenal memiliki daerah yang rawan bencana gempa, tsunami, dan letusan gunung berapi. Van Niekerk, *et al.* (2017) menyatakan bahwa banyak negara di Afrika bagian timur dan selatan memiliki jenis bencana alam yang datang secara lambat seperti kekeringan dan bencana alam yang datang secara mendadak seperti banjir. Kedua jenis bencana itu sering diperburuk dengan krisis ekonomi dan ketidakstabilan politik. UNEP (2008) juga menjelaskan adanya degradasi lingkungan sebagai salah satu akibat dari bencana. Lingkungan yang terdegradasi akibat bencana akan

berkurang fungsi sosial dan ekologi, terutama biodiversitas. Bello (2017) mencontohkan bahwa badai Felix di Honduras pada tahun 2008 berdampak pada kematian sejumlah individu dari 25 spesies mamalia dan 215 spesies burung. Sebagian mamalia tersebut merupakan jenis yang dilindungi, seperti tapir, jaguar, dan puma. Demikian pula dengan sebagian jenis burung terdampak yang juga merupakan jenis dilindungi, misalnya burung elang Harpy.

Saat ini fokus utama dalam persiapan menghadapi bencana adalah mitigasi. Mitigasi adalah upaya mengurangi dampak bencana (UNEP, 2008). Adapun menurut Steiner (2008). Mitigasi berarti upaya mengurangi dampak bencana dan mengurangi kerawanan bila terjadi bencana. Karena itu, untuk mengurangi dampak akibat bencana, perlu ada tindakan pengurangan risiko bencana. Upaya ini penting karena tidak semua bencana dapat dicegah.

Untuk mencegah berkurang atau hilangnya biodiversitas, ada beberapa hal yang dapat dilakukan, seperti yang dinyatakan di dalam Steiner (2008), bahwa persiapan pada tahap prabencana meliputi, mitigasi, persiapan, dan *early warning*. Upaya terpenting adalah pada tahap prabencana, yaitu untuk pengurangan risiko kerusakan biodiversitas.

Beberapa publikasi yang menyebutkan pentingnya kerusakan biodiversitas akibat bencana, kurang menjelaskan upaya untuk mengurangi dampak bencana terhadap biodiversitas. Bello (2017) menjelaskan contoh dampak bencana terhadap berbagai spesies yang dilindungi dan memberikan contoh adanya kebijakan pemerintah untuk mempertahankan biodiversitas. Akan tetapi tulisan tersebut kurang menjelaskan secara spesifik tindakan untuk mengurangi risiko dari terjadinya suatu bencana.

DAMPAK BENCANA TERHADAP BERKURANGNYA BIODIVERSITAS

Berkurangnya biodiversitas akibat suatu bencana dapat mempengaruhi ekosistem secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung suatu bencana dapat memusnahkan tumbuhan yang bermanfaat bagi manusia. Tidak hanya tumbuhan atau hewan liar saja yang dapat rusak karena bencana, tetapi tanaman pertanian juga dapat terkena kerusakan akibat bencana dan kehilangan sebagian keragaman genetiknya. Dalam dunia kedokteran dan farmasi telah dikenal beberapa tumbuhan liar yang dapat

menjadi alternatif baru untuk pengobatan berbagai jenis penyakit. Menurut Romanelli *et al.* (2015), keberadaan beberapa tanaman merupakan obat-obatan yang sangat penting untuk beberapa penyakit, misalnya Lanoxin merupakan obat jantung yang didapat dari tumbuhan Digitalis dan Taxol merupakan obat kanker dari pohon Taxus. Salah satu jenis yang telah berhasil diteliti adalah *Taxus sumatrana* berasal dari Gunung Kerinci, Jambi-Sumatera (Shen *et al.*, 2005). Saat ini keberadaannya di wilayah Sumatera sudah hampir punah, salah satunya disebabkan oleh berbagai bencana, seperti kebakaran hutan yang terus terjadi. Apabila tumbuhan tersebut punah karena habitatnya terkena suatu bencana, maka penelitian atau produksi obat dari tumbuhan tersebut akan terganggu. Oleh karena itu usaha untuk mengurangi risiko punahnya jenis tumbuhan tersebut dari suatu bencana merupakan hal yang sangat penting. Berkurangnya biodiversitas secara tidak langsung juga dapat mengurangi kemampuan dalam menghadapi perubahan iklim. Dalam hal ini dicontohkan oleh Roe *et al.* (2018), yang menyatakan bahwa tumbuhan dengan serapan CO₂ tinggi cenderung memiliki buah dan biji yang berukuran besar, dimana buah dengan jenis biji seperti itu hanya dapat disebarkan oleh jenis hewan tertentu. Apabila hewan tersebut punah, maka secara alami tumbuhan penghasil biji tersebut akan berkurang. Seiring dengan dengan hal tersebut kemampuan hutan untuk menyerap gas CO₂ juga menjadi berkurang dan pada akhirnya akan berpengaruh pada iklim yang dan ekosistem global.

Kerusakan biodiversitas akibat bencana alam lebih terasa di pulau kecil (Sjostedt & Povitkina, 2016; Teelucksingh *et al.*, 2013). Di pulau kecil, suatu bencana seperti tsunami dapat memusnahkan hampir seluruh tumbuhan dan hewan. Indonesia yang memiliki banyak pulau kecil dengan tingkat endemisitas yang tinggi, sangat rawan akan berkurangnya biodiversitas jenis hewan tertentu seperti biawak dan komodo yang berada di beberapa pulau kecil di NTT. Badak Jawa yang berada di bagian terpencil dari pulau Jawa juga rawan terkena tsunami.

Penurunan biodiversitas juga dapat terjadi pada tanaman pertanian, terutama di tingkat genetik. Menurut Fergusson (2012), terjadi pemulihan keragaman atau diversitas kacang tunggak setelah terjadi bencana banjir di Mozambik, negara di benua Afrika yang merupakan salah satu pusat keragaman kacang tunggak. Penelitian ini menunjukkan adanya penurunan

keanekaragaman hayati atau biodiversitas setelah terjadi banjir. Keragaman kacang tunggak didasarkan pada sifat kualitatif dan sifat genetika molekuler. Sifat kualitatif terdiri atas warna dasar biji, warna sekunder, warna tersier, bentuk biji, dan pola sekunder. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa indikator biodiversitas berdasarkan Nei adalah lebih tinggi pada komunitas yang tidak mengalami banjir (0,552) dibanding yang mengalami banjir (0,476). Pengukuran sifat genetika molekuler menunjukkan bahwa daerah yang tidak terkena banjir memiliki 19 alel dengan 6 alel unik dan 10 alel jarang. Daerah yang terkena banjir memiliki 15 alel dengan 2 alel unik dan 5 alel jarang. Peristiwa ini menunjukkan bahwa penurunan biodiversitas tidak hanya terjadi berupa berkurangnya populasi atau berkurangnya kelimpahan spesies, tapi sampai pada tingkat berkurangnya alel gen.

Berkurangnya kelimpahan di tingkat gen juga dapat disebabkan oleh pertanian modern. Pertanian modern mengakibatkan berkurangnya petani yang menanam varietas tradisional. Misalnya pada tanaman padi, petani lebih banyak menanam varietas unggul karena varietas padi unggul memiliki produksi yang lebih tinggi, tapi memerlukan masukan berupa pupuk dan prasarana yang lebih banyak. Varietas tradisional umumnya lebih tahan penyakit dan lebih tahan kondisi lingkungan yang buruk. Penggunaan varietas unggul menyebabkan hilangnya varietas tradisional yang berarti suatu erosi genetik. Alel dari gen yang ada di varietas tradisional tidak lagi dapat dijumpai, sehingga hal ini menunjukkan berkurangnya biodiversitas dari suatu jenis. Ketika terjadi kemarau pada tahun 1996 dan 1997, semakin berkurang jumlah penanaman padi varietas tradisional, karena sudah semakin banyak petani yang menanam varietas padi modern (Morin *et al.*, 2002).

Sebagian besar bencana akan berakibat kepada berkurangnya biodiversitas. Namun demikian dalam hal tertentu, dan jumlahnya sangat kecil, suatu bencana dapat pula menyebabkan peningkatan keragaman genetik. Suatu penelitian yang menunjukkan hasil berbeda tersebut adalah adanya gempa dan tsunami yang menyebabkan terjadinya peningkatan keragaman alel pada tumbuhan *Carex rugulosa*. Ohbayashi *et al.* (2017) menjelaskan adanya peningkatan biodiversitas tumbuhan *Carex rugulosa* di Jepang setelah terjadi bencana gempa dan tsunami tahun 2011. Hal ini terbukti dari meningkatnya jumlah alel dari biji *C. Regulosa* yang memiliki

kemampuan berkecambah setelah terkubur di tanah selama 15 tahun. Tsunami yang terjadi pada tahun 2011 tersebut meningkatkan keragaman genetik dan membuat adanya pertukaran gen (*gen flow*) pada *C. regulosa*. Hasil yang berbeda ini dapat disebabkan karena kemampuan hidup biji *C. regulosa* selama bertahun-tahun. Bencana gempa dan tsunami tidak mematikan biji tumbuhan itu, sehingga tidak terjadi kepunahan atau berkurangnya biodiversitas.

UPAYA PELESTARIAN BIODIVERSITAS

Rosenzweig (2003) menyatakan bahwa perlu pertimbangan ekologi dan konservasi dalam pengembangan kawasan yang dikelola manusia. Hal ini disebabkan karena kelestarian biodiversitas tidak akan cukup dengan membuat kawasan konservasi saja. Inilah yang disebut prinsip ekologi rekonsiliasi. Konservasi dalam rangka ekologi rekonsiliasi dapat dilakukan di wilayah permukiman, industri, dan pertanian. Prinsip ekologi rekonsiliasi menekankan konservasi pada wilayah yang telah mendapat campur tangan manusia. Menurut Green *et al.* (2005) hampir 50% lahan yang dapat digunakan untuk pertanian di dunia sudah diolah menjadi lahan pertanian. Selain mengalihgunakan lahan menjadi lahan pertanian, manusia juga banyak mempengaruhi ekosistem. Sebagian pengaruh itu bahkan bersifat negatif karena merugikan. Hujan asam dan penyebaran organisme invasif merupakan satu contoh pengaruh manusia yang mempengaruhi berbagai jenis ekosistem walaupun tidak mendapat campur tangan manusia secara langsung.

Prinsip dasar ekologi rekonsiliasi adalah pola penyebaran spesies dan biodiversitas. Secara logika, wilayah yang lebih luas memiliki lebih banyak tipe habitat sehingga memiliki jumlah spesies yang lebih banyak dibanding daerah yang lebih sempit. Karena tiap habitat ditempati oleh spesies tertentu, maka keanekaragaman habitat akan meningkatkan keanekaragaman spesies. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Fergusson (2015), bahwa semakin banyaknya spesies akan meningkatkan ketahanan dalam menghadapi bencana. Oleh karena itu, berdasarkan ekologi rekonsiliasi perlu diusahakan agar lahan yang digunakan oleh manusia dapat ditempati oleh sebanyak mungkin spesies. Ekologi rekonsiliasi lebih

mementingkan upaya untuk meningkatkan keberadaan berbagai jenis organisme di wilayah yang digunakan manusia dibandingkan upaya untuk meningkatkan luas daerah konservasi. Pemilihan daerah konservasi banyak didasarkan kepada kecilnya kemungkinan perubahan fungsi lahan untuk keperluan (Estrada, 2018). Sayangnya, penyediaan lahan untuk konservasi dapat diartikan bahwa lahan yang tidak digunakan untuk konservasi dapat dieksploitasi seluas-luasnya hingga berdampak mengurangi biodiversitas (Green *et al.*, 2005). Karena itu, fokus kebijakan untuk mempertahankan biodiversitas adalah membuat agar lingkungan yang telah dieksploitasi manusia dapat mempertahankan biodiversitasnya sebanyak mungkin.

Prinsip ekologi rekonsiliasi dapat diterapkan dengan berbagai cara, terutama melibatkan peran masyarakat untuk menyelesaikannya. Morin *et al.* (2002) dan Roe *et al.* (2018) menjelaskan bahwa petani dapat berperan untuk menjaga agar terdapat sebanyak mungkin spesies yang dibudidayakan di lahannya. Cara ini sesuai dengan Rosenzweig (2003), Green *et al.* (2005) dan Ferguson *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa ada banyak spesies di satu lahan dapat membantu konservasi biodiversitas. Morin *et al.* (2002), yang melakukan penelitian di pulau Luzon, Filipina, menjelaskan bahwa petani dapat berperan dalam menjaga keragaman hayati benih padi. Petani dapat ikut menjaga kelestarian biodiversitas melalui bank benih dengan mengelola penyimpanan benih padi tradisional. Keuntungan adanya bank benih yang dimiliki petani adalah ketika terjadi bencana kekeringan, petani tidak kesulitan mendapatkan benih. Roe *et al.* (2018), juga menyarankan agar masyarakat tradisional diberi peran dalam pengelolaan biodiversitas. Masyarakat lokal mengelola 25 % lahan di dunia, yang lebih luas dari luas tanah yang dilindungi pihak pemerintah seperti kawasan suaka. Pemberdayaan masyarakat lokal untuk melindungi diversitas juga mencegah mereka dari kemungkinan ketidakadilan. Prioritas perlu ditujukan pada pelestarian spesies yang bermanfaat bagi masyarakat, misalnya serangga penyerbuk bunga, spesies penghasil serat, obat dan makanan, mikroba tanah, varietas pertanian tradisional.

Cara lain dalam menjaga biodiversitas adalah dengan teknik penanaman polikultur, suatu cara penanam lebih dari satu jenis tanaman di satu bidang lahan secara bersamaan (Ansar & Faturahman, 2018). Contoh polikultur adalah jagung yang ditanam bersama kedelai pada satu bidang

lahan yang sama. Polikultur berbeda dengan kecenderungan pertanian modern yang lebih bersifat monokultur seperti padi sawah atau kebun kelapa sawit. Roe *et al.* (2018) menjelaskan bahwa perlu upaya untuk meningkatkan sistem pertanian yang menjaga biodiversitas dengan mengembangkan sistem polikultur bersama sama dengan tumbuhan hutan yang disebut dengan sistem agroforestry. Melalui sistem agroforestry biodiversitas akan lebih terjaga karena dapat mendorong datangnya berbagai jenis penyerbuk bunga. Hewan penyerbuk bunga diuntungkan dengan adanya berbagai macam tumbuhan yang menjadi sumber makanan (Iverson *et al.*, 2014). Sistem polikultur dapat membantu mengurangi hama dan penyakit pada tanaman pertanian secara alami. Wilcove & Koh (2010) menjelaskan bahwa populasi burung pemakan serangga dapat membantu mengurangi serangga yang merupakan hama kelapa sawit. Kelapa sawit merupakan tanaman pertanian yang pengembangannya paling banyak menghabiskan lahan hutan alam di Asia Tenggara. Oleh karena itu penanaman tumbuhan yang disukai burung pemakan serangga akan berguna tidak hanya untuk membasmi hama kelapa sawit, tapi juga dapat membantu menjaga biodiversitas. Polikultur juga dapat dilakukan pada tanaman padi. Seperti yang dinyatakan oleh Baehaki *et al.* (2016), bahwa adanya berbagai sistem tumpang sari di persawahan dapat meningkatkan biodiversitas lokal di daerah persawahan. Contoh sistem tumpang sari padi sawah adalah penanaman kedelai, jagung, sawi, dan kacang panjang di pematang sawah. Penanaman polikultur ini juga merupakan bagian dari pengendalian hama terpadu. Adanya beberapa macam tanaman di suatu lahan sawah memungkinkan hidupnya serangga yang merupakan musuh alami padi, misalnya musuh alami bagi hama wereng. Secara tidak langsung penanaman dengan sistem tumpang sari dapat mengurangi pemakaian pestisida yang pada akhirnya dapat mengurangi kematian serangga yang bukan hama. Menurut Baehaki *et al.* (2015), penanaman tumpang sari di sawah dapat mengurangi populasi wereng coklat dan wereng punggung putih. Adanya tanaman lain seperti palawija atau sayuran merupakan tempat berlindung atau tempat berkembang biak bagi musuh alami kedua hama wereng, yaitu *Lycosa pseudoannulata*, *Paederus fuscipes*, *Coccinella*, *Ophionea nigrofasciata*, dan *Cyrtorhinus lividipennis*.

Polikultur pada tanaman padi sawah juga dapat menggabungkan dengan adanya ikan dan itik, dimana kedua jenis binatang itu dapat memangsa serangga hama padi. Kotoran itik juga merupakan pupuk bagi tanaman padi (Perwati *et al.*, 2016). Pemeliharaan itik di sawah dapat meningkatkan produksi padi sebesar 20%. Oleh karena itik merupakan hewan pemakan gulma sawah, maka salah satu keuntungan adanya itik juga berkurangnya gulma yang pada akhirnya dapat meringankan petani dalam pembersihan gulma. Itik juga memakan serangga atau binatang lain pengganggu tanaman padi, seperti serangga dan keong. Adanya itik juga dapat mengurangi pemakaian pestisida yang dapat mematikan tidak hanya organisme pengganggu tanaman, tapi juga hewan lain. Polikultur padi sawah juga dapat ditambahkan dengan pemeliharaan ikan. Kedalaman air dibuat agar mencukupi bagi ikan. Itik dilepaskan ke sawah bila ikan sudah mencapai panjang 10 cm. Pirdashti *et al.* (2015) melakukan penelitian dengan beberapa jenis ikan lokal, seperti ikan mas dan *grass carp*. Satu keuntungan dalam pemeliharaan ikan di sawah bersama itik adalah tidak perlunya pemberian makanan bagi ikan, khususnya ikan mas. Ikan mas dapat langsung memakan kotoran itik (Pirdashti *et al.*, 2015). Dengan demikian, petani dapat menghemat biaya pakan. Selain di lahan pertanian, ekologi rekonsiliasi juga diterapkan di daerah perkotaan. Pengembangan wilayah perkotaan dapat diarahkan untuk menjaga biodiversitas. Pengembangan wilayah perkotaan yang mendukung biodiversitas dapat dimulai dari pembangunan ruang terbuka hijau. Ruang terbuka hijau merupakan area yang penggunaannya secara terbuka dan ditumbuhi tanaman (Baihaqi *et al.*, 2015). Baihaki *et al.* (2015) menyebutkan bahwa luas ruang terbuka hijau di DKI Jakarta baru 10% dari luas lahan. Idealnya, luas ruang terbuka hijau di Jakarta mencapai 30% dari total luas lahan kota.

Kawasan sungai, terutama di kota besar seperti Jakarta juga perlu mendapat perhatian untuk menjaga biodiversitas. Di Jakarta terdapat 13 sungai dengan 33 jenis ikan yang tercatat pernah hidup. Akan tetapi, perkembangan terakhir menyebutkan bahwa hanya ada 20 jenis ikan yang sekarang hidup di berbagai sungai di Jakarta (Baihaki *et al.*, 2015). Data ini menunjukkan semakin berkurangnya biodiversitas di berbagai sungai di Jakarta.

Pelestarian biodiversitas juga dapat dilakukan di jalur hijau perkotaan. Wuisang (2015) dalam penelitian di kecamatan Malalayang, Kota Manado, menyimpulkan bahwa pembangunan infrastruktur hijau di daerah tersebut masih perlu ditingkatkan. Adanya infrastruktur hijau dapat menampung kehidupan serangga, burung, amfibi, dan reptil. Wuisang (2015), menyatakan bahwa salah satu yang perlu dipertimbangkan dalam pembangunan infrastruktur hijau adalah kurangnya koridor penghubung antar wilayah jalur hijau. Beberapa hewan seperti amfibi dan reptil memerlukan adanya koridor yang menjadi penghubung agar dapat berpindah ke daerah lain. Perpindahan satwa sangat penting dalam proses perkembangbiakan. Satwa yang dapat berpindah melalui koridor dapat kawin dengan sesama spesiesnya agar terhindar dari *inbreeding*. Perkawinan secara *inbreeding* dapat mengurangi keragaman genetik yang merupakan satu bagian dari biodiversitas.

Selain di wilayah perkotaan, pelestarian biodiversitas di daerah industri juga sangat penting. Industri dapat mengakibatkan perubahan yang sangat besar terhadap tanah, air, dan makhluk hidup yang ada di sekitarnya. Perubahan negatif yang terjadi terhadap lingkungan dengan adanya industri dapat berupa pembukaan lahan, penggalian, dan pembuangan limbah yang menyebabkan pencemaran (Lloyd *et al.*, 2002). Seperti halnya yang diungkapkan oleh Rosenzweig (2003), bahwa pengaruh manusia terhadap ekosistem tidak hanya berdampak langsung berupa pembukaan lahan untuk menjadi kawasan industri saja, tetapi juga dampak tidak langsung berupa pencemaran. Pencemaran air dan udara dapat terjadi hingga ke daerah yang jauh dari daerah asal bahan pencemar itu. Satu contoh pelestarian biodiversitas di daerah industri adalah pemanfaatan genangan air sisa pertambangan menjadi habitat burung air. Menurut Lloyd *et al.* (2002), kawasan Illuka wetland, 200 km sebelah barat Perth diolah menjadi habitat burung air. Kawasan ini sejak lama menjadi jalur migrasi burung air. Untuk menjadikan genangan air bekas tambang menjadi habitat burung, perlu penyiapan lahan berupa penanaman vegetasi di sekitar perairan, pelepasan invertebrata, ikan, katak, dan sejumlah reptil. Adanya perubahan genangan air bekas tambang menjadi habitat burung air membantu kelestarian biodiversitas. Selain di daerah industri, pemulihan biodiversitas juga perlu di daerah bekas pertambangan, yang merupakan sumber bahan baku industri.

Di daerah bekas pertambangan, rehabilitasi lahan juga memerlukan rehabilitasi lapisan tanah atas (*top soil*). Lloyd *et al.* (2002) menyebutkan pentingnya lapisan tanah atas sebagai sumber hara dan mikroorganisme bagi tumbuhan. Kerusakan berupa hilangnya lapisan tanah atas akibat pertambangan, terlebih lagi karena erosi yang terjadi kemudian, akan menghambat perkembangan tumbuhan di daerah bekas tambang. Karena itu dalam beberapa kasus tertentu, perlu diadakan pengembalian lapisan atas tanah dan upaya penanggulangan erosi. Pengembangan industri yang menerapkan ekologi rekonsiliasi dapat membantu kelestarian biodiversitas. Pembangunan kolam pengolahan air limbah untuk menghilangkan nitrogen yang larut dari daerah pertanian agar tidak masuk ke kawasan rawa Everglades di Florida, Amerika Serikat adalah satu contoh ekologi rekonsiliasi. Kolam tersebut dapat menjadi tempat berkembang biak bagi berbagai binatang, termasuk burung bangau. Contoh lain terdapat di Vietnam, yaitu penanaman kembali 175 km² hutan mangrove di sepanjang 200 km pesisir pantai. Adanya hutan mangrove selain mengurangi bahaya erosi juga menambah keanekaragaman spesies fauna mangrove (UNEP, 2008).

Perbaiki habitat mikro juga penting bagi keberadaan spesies tertentu. Spesies hewan tertentu memerlukan adanya habitat mikro seperti lubang persembunyian di pohon atau batu sebagai tempat hidupnya. Lloyd *et al.* (2002) menyatakan pentingnya penyiapan habitat mikro seperti penyiapan tempat bertengger bagi burung. Adanya tempat bertengger bagi burung akan membantu penyebaran biji sisa pencernaan burung. Biji itu akan tumbuh sehingga menambah keanekaragaman tumbuhan di daerah itu. Pembangunan taman di daerah industri dapat membantu biodiversitas lokal. Gunawan (2016), melakukan survey pada suatu taman yang merupakan *biodiversity park* di daerah Bogor. Taman seluas 3.6 hektar dibangun oleh suatu perusahaan air minum kemasan, yang terletak di sekitar kawasan pabrik tersebut. Survey menunjukkan adanya indeks keanekaragaman untuk burung sebesar 3,9. Hasil itu menunjukkan bahwa adanya *biodiversity park* tersebut membantu biodiversitas flora dan fauna di sekitarnya.

Walaupun pendekatan ekologi rekonsiliasi dapat diterapkan di berbagai wilayah dan situasi, masih banyak masalah yang harus dipecahkan. Teori ekologi rekonsiliasi memiliki keterbatasan untuk beberapa spesies hewan. Beberapa jenis hewan seperti primata memerlukan adanya kawasan hutan yang tidak terganggu manusia. Almeida-Rocha *et al.* (2017) menyatakan bahwa primata merupakan hewan yang sangat bergantung pada habitat hutan tropis yang tidak terganggu. Umumnya primata bersifat arboreal sehingga keberadaan pohon sangat penting. Pohon merupakan tempat primata untuk bergerak, mencari makan dan beristirahat. Keberadaan pohon juga menjadi tempat berlindung primata dari predasi binatang buas.

Terganggunya hutan mengakibatkan menurunnya biodiversitas primata. Dalam penelitian di Sabah, Malaysia, Bernard *et al.* (2016) menyatakan bahwa ada kaitan antara meningkatnya gangguan pada ekosistem hutan dengan menurunnya kelimpahan spesies primata. Penelitian itu juga menunjukkan bahwa kepadatan pohon merupakan indikator utama bagi kelimpahan spesies. Hal ini menunjukkan bahwa upaya untuk menjaga biodiversitas primata sangat memerlukan adanya hutan alam yang tidak terganggu manusia, padahal konsep ekologi rekonsiliasi menekankan pentingnya konservasi di kawasan yang sudah terganggu manusia, bukan pada konservasi di kawasan yang masih belum terganggu manusia. Gangguan pada populasi primata di Indonesia dan di beberapa negara menunjukkan adanya peningkatan. Menurut Estrada (2018), terjadi penyempitan habitat primata hingga 72% di Indonesia. Penyebab utama penyempitan habitat primata itu banyak disebabkan oleh aktivitas pertanian. Estrada juga menunjukkan bahwa hanya 16 % populasi primata di Indonesia yang hidup di kawasan konservasi. Banyaknya keberadaan primata di luar daerah konservasi berarti bahwa keberadaan primata sangat terancam kepunahan. Dengan demikian, pelestarian primata di luar kawasan konservasi sangat perlu mendapat perhatian. Walaupun Bernard *et al.* (2016) menyatakan bahwa meningkatnya tingkat gangguan terhadap hutan diikuti dengan menurunnya kelimpahan spesies primata, mereka juga menyatakan bahwa hutan yang sudah terganggu manusia masih dapat digunakan sebagai habitat primata, walaupun nilainya tidak sepenting hutan yang tidak terganggu manusia. Gangguan manusia pada hutan itu dapat berupa penebangan yang terjadi berulang kali. Spesies primata yang

teramati masih dapat hidup di hutan yang sudah berkali-kali mengalami penebangan adalah orang utan (*Pongo pygmaeus*) dan kera gibbon (*Hylobates muelleri*). Orang utan dapat memakan berbagai jenis makanan yang tersedia di suatu wilayah hutan, sehingga dalam batas kerusakan hutan tertentu, orang utan masih dapat hidup. Walaupun beberapa jenis kera masih dapat hidup di hutan yang sudah terganggu, perubahan jenis makanan menyebabkan menurunnya tingkat reproduksi. Penurunan tingkat reproduksi dapat berakibat punahnya berbagai jenis kera di lokasi yang terganggu itu. Salah satu bentuk ekologi rekonsiliasi yang masih dapat diterapkan di hutan yang sudah terganggu agar masih dapat mendukung kehidupan primata adalah dengan melakukan cara penebangan yang berdampak kecil atau *reduced impact logging* (RIL).

Berbeda dengan penebangan hutan, perubahan hutan menjadi kebun sawit sudah tidak memungkinkan adanya kehidupan primata. Hasil ini juga ditunjang oleh penelitian de Almeida-Rocha *et al.* (2017) yang menyebutkan bahwa perubahan lahan hutan menjadi lahan pertanian adalah perubahan yang paling merugikan bagi primata. Perkebunan sawit tidak menghasilkan makanan bagi primata seperti orangutan atau kera gibbon. Pohon kelapa sawit juga berbeda dengan pohon yang biasa menjadi tempat hidup orang utan di habitat aslinya.

Walaupun adanya penerapan ekologi rekonsiliasi untuk menjaga kelestarian primata di daerah yang sudah dipengaruhi manusia, pelestarian hutan alam yang belum terganggu manusia sangat penting. Sejalan dengan pendapat Wuisang (2015), penelitian de Almeida-Rocha *et al.* (2017) menunjukkan bahwa perlunya membuat koridor untuk menghubungkan kawasan hutan yang masih belum terganggu. Dengan demikian, populasi primata dari satu bagian kawasan hutan dapat berpindah di antara kawasan. Adanya koridor memungkinkan pertukaran gen antara satu sub populasi dengan sub populasi lainnya.

PENUTUP

Salah satu dampak suatu bencana adalah rusaknya biodiversitas di suatu daerah. Kerusakan ini mengurangi fungsi ekologi dan fungsi sosial lingkungan tersebut. Walaupun tidak semua bencana dapat dicegah atau

diramalkan, ada beberapa cara untuk mengurangi kerusakan apabila terjadi bencana. Upaya untuk mengurangi kerusakan biodiversitas akibat bencana antara lain melalui konservasi. Biodiversitas perlu dipelihara agar terhindar dari kerusakan ketika terjadi bencana. Setidaknya, diusahakan agar kerusakan akibat bencana dapat dibatasi.

Pemeliharaan biodiversitas di daerah yang dipengaruhi aktivitas manusia dapat dilakukan dengan menerapkan ekologi rekonsiliasi, suatu upaya untuk menjaga kelimpahan spesies di daerah yang sudah dipengaruhi oleh kegiatan manusia. Penerapan ekologi rekonsiliasi ini dapat dilakukan di daerah industri, daerah pertanian, dan daerah permukiman. Walaupun ekologi rekonsiliasi dapat menjadi acuan dalam menjaga biodiversitas untuk mengurangi risiko bencana, pelestarian hutan alam tetap penting. Berbagai jenis hewan memerlukan adanya hutan alam yang terbebas dari gangguan manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansar, M. & Fathurrahman (2018). Sustainable integrated farming system: A solution for national food security and sovereignty. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 157 (2018) 012061.
- Baehaki, Irianto, N. B. E., & Widodo, S. W. (2016). Rekayasa ekologi dalam perspektif pengelolaan tanaman padi terpadu. *Iptek Tanaman Pangan*, 11 (1): 19-34.
- Baihaqi, A., Wicaksono, G., Makur, K. P., Novianti, V., Husein, H. Z., Kristanto, A., Adha, M. I., Diana, P. I., Putra, I. D., Sofyan, F. (2015). *Geledah Jakarta, menguak potensi keanekaragaman hayati ibu kota*. Jakarta: Yayasan Keanekaragaman Hayati Indonesia.
- Bello, O. D. (2014). *Handbook for disaster assessment*. 3 rd E. Santiago, Chile: United Nations.
- Bernard, H., Bili, R., & Matsuda, I. (2016). Species richness and distribution of primates in disturbed and converted forest landscapes in Northern Borneo. *Trop Conserv Sci*, 9: 1–11.
- de Almeida-Rocha, J. M., Peres, C. A., & Oliveira, L. C. (2017). Primate responses to anthropogenic habitat disturbance: A pantropical meta-analysis. *Biological Conservation*, 215: 30-38.
- Darajati, W., Pratiwi, S., Hewinda, E., Radiansyah, A. D., Nalang, V. S., Nooryanto, B., Rahajoe J. S., Ubaidillah S., Maryanto, I., Kurniawan, R., Prasetyo, T. A., Rahim, A., Jefferson, J., & Hakim, F. (2016). *Indonesian strategy and biodiversity plan*. Jakarta: BAPPENAS.
- Estrada, A., Garber, P. A., Mittermeier, R. A., Wich, S., Gouveia, S., Dobrovolski, R., & Williamson, E. A. (2018). Primates in peril: the significance of Brazil, Madagascar, Indonesia and the Democratic Republic of the Congo for global primate conservation. *PeerJ*, 6: e4869.

- Ferguson, M. E., Jones, R. B., Bramel, P. J., Domínguez, C., Torre do Vale, C., & Han, J. (2012). Post-flooding disaster crop diversity recovery: a case study of Cowpea in Mozambique. *Disasters*, 36(1): 83-100.
- Green, R. E., Cornell, S. J., Scharlemann, J. P., & Balmford, A. (2005). Farming and the fate of wild nature. *Science*, 307(5709): 550-555.
- Gunawan (2016). Diversity of faunal communities in the Biodiversity Park of Ciherang, Bogor, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 17 (1).
- Iverson, A. L., Marín, L. E., Ennis, K. K., Gonthier, D. J., Connor-Barrie, B. T., Remfert, J. L., Cardinale, B.J., Perfecto, I. (2014). Review: Do polycultures promote win-wins or trade-offs in agricultural ecosystem services? A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51 (6): 1593–1602.
- Kementerian Lingkungan Hidup (2015). *Keanekaragaman Hayati*. Diakses pada Nopember 2017 dari <http://www.menlh.go.id/keanekaragaman-hayati/>
- Lloyd, M.V., Barnett, G., Doherty, M.D., Jeffree, R.A., John, J., Majer, J.D., Osborne, J.M., & Nichols O. G. (2002). *Managing the impacts of the Australian minerals industry on biodiversity*. Australian Center for Mining Environmental Research.
- MacKinnon, K., Hatta, G., Mangalik, A., & Halim, H. (1996). *The ecology of Kalimantan* (Vol. 3). Oxford: Oxford University Press.
- Morin, S. R., Calibo, M., Garcia-Belen, M., Pham, J. L., & Palis, F. (2001). Natural hazards and genetic diversity in rice. *Agriculture and Human Values*, 19(2): 133-149.
- Ohbayashi, K., Hodoki, Y., Kondo, N. I., Kunii, H., & Shimada, M. (2017). A massive tsunami promoted gene flow and increased genetic diversity in a near threatened plant species. *Scientific reports*, 7(1): 10933.

- Perwati, A. I., Herdiansah, D., & Ramdan, M. (2016). Analisis usahatani terpadu tanaman padi (*Oriza sativa L*) dan ternak itik petelur (Studi kasus di kelompok mukti tani Desa Banjarsari Kecamatan Sukaresik Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa AGROINFO GALUH*, 2 (2).
- Pirdashti, H., Pirdashti, M., Mohammadi, M., Baigi, M. G., & Movagharnejad, K. (2015). Efficient use of energy through organic rice–duck mutualism system. *Agronomy for sustainable development*, 35(4): 1489-1497.
- Romanelli, C., Cooper, D., Campbell-Lendrum, D., Maiero, M., Karesh, W. B., Hunter, D., & Golden, C. D. (2015). *Connecting global priorities: biodiversity and human health: a state of knowledge review*. World Health Organisation/Secretariat of the UN Convention on Biological Diversity.
- Roe, D., Seddon, N., & Elliot, J. (2018). *Biodiversity loss is a development issue: A rapid review of evidence*. IIED Issue Paper. London: IIED.
- Rosenzweig, M (2003). *Win-win Ecology, How the Earth's species can survive in the midst of human enterprise*. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Shen, Y. C., Cheng, K. C., Lin, Y. C., Cheng, Y. B., Khalil, A. T., Guh, J. H., Shen, Y., Cheng, K., Lin, Y., Cheng, Y., Khalil, A.T., Guh, J., Chien, C., Teng, C., Chang, Y., & Chang, Y. T. (2005). Three New Taxane Diterpenoids from *Taxus Sumatrana*. *Journal of natural products*, 68(1): 90-93.
- Sjostedt, W. & Povitkina, M. (2016). Vulnerability of small island developing states to natural disasters: how much difference can effective governments make?. *The Journal of Environment & Development*, 26(1): 82-105.
- Steiner, A. (2008). *Environment and disaster risk, emerging perspectives*. Geneva: UNEP.

- Teelucksingh, S., Nunes, P. A., & Perrings, C. (2013). Biodiversity-based development in small island developing states. *Environment and development economics*, 18(4): 381-391.
- Turak, E. M. R. E. & Souhoka, J. E. M. M. Y. (2003). Coral diversity and the status of coral reefs in the Raja Ampat Islands. *Report on a rapid ecological assessment of the Raja Ampat Islands, Papua, Pastern Indonesia held*, 30: 59-83.
- van Niekerk, D. (2017). Disaster risk governance in Africa A retrospective assessment of progress against the Hyogo Framework for Action (2000-2012). *Disaster Prevention and Management*, 24 (3): 397-416.
- von Rintelen, K., Arida, E., & Hauser, C. (2017). A review of biodiversity-related issues and challenges in megadiverse Indonesia and other Southeast Asian countries. *Research Ideas and Outcomes*, 3: e20860.
- Wilcove, D.S. & Koh, L.P. (2010). Addressing the threats to biodiversity from oil-palm agriculture. *Conservation of Biodiversity*, 19: 999–1007.
- United Nations Environment Program (2008). *Environment and disaster risk: emerging perspectives*. ISDR Working Group on Environment and Disaster Reduction.
- Wuisang, C. (2015). Konservasi biodiversitas di wilayah perkotaan: Evaluasi lansekap koridor hijau di kota Manado. *Media Matrasains*, 12 (2): 47-60.



03

**PERAN HUTAN MANGROVE
DALAM MITIGASI BENCANA
DI WILAYAH PESISIR**

**(Sri Kurniati Handayani dan
Yuni Tri Hewindati)**

PERAN HUTAN MANGROVE DALAM MITIGASI BENCANA DI WILAYAH PESISIR

Sri Kurniati Handayani (skurniati@ecampus.ut.ac.id)

Yuni Tri Hewindati (hewindati@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

Sebagai bagian dari ekosistem perairan, mangrove merupakan ekosistem utama di daerah pesisir selain ekosistem padang lamun dan terumbu karang. Hutan mangrove mempunyai bermacam peran dalam lingkungannya, antara lain dalam mitigasi bencana yang terjadi di wilayah pesisir. Berbagai bencana wilayah pesisir yang sering terjadi di Indonesia adalah tsunami, erosi dan abrasi pantai karena gerusan gelombang laut, rob, serta badai atau angin kencang. Kemampuan ekosistem mangrove dalam mitigasi bencana tidak terlepas dari struktur vegetasi mangrove yang terbentuk secara alami sebagai adaptasi mangrove yang tumbuh pada habitat ekstrim. Adaptasi terjadi terutama pada sistem perakaran dan struktur daun. Hal ini pula yang menjadikan tumbuhan mangrove dapat bertahan hidup. Dengan adanya adaptasi struktur daun dan sistem perakaran tersebut mangrove mampu berperan secara signifikan dalam mitigasi berbagai bencana di wilayah pesisir. Sebagai negara kepulauan yang berkontribusi sebesar 23% terhadap mangrove dunia, kondisi mangrove di Indonesia saat ini cukup memprihatinkan. Oleh karena itu, walaupun terdapat tantangan yang cukup berat, berbagai upaya rehabilitasi dan konservasi perlu dilakukan dengan melibatkan seluruh unsur masyarakat.

Kata Kunci: mangrove, struktur anatomi, mitigasi wilayah pesisir

PENDAHULUAN

Sebagai vegetasi yang hidup di wilayah peralihan antara ekosistem daratan dengan ekosistem laut, mangrove mampu mempertahankan hidupnya menghadapi pasang surut air laut dengan salinitas tinggi serta lumpur yang menjadi habitatnya. Hal ini karena tumbuhan mangrove melakukan adaptasi dengan membentuk struktur yang khas sehingga dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan. Bentuk adaptasi selalu dilakukan oleh makhluk hidup untuk mempertahankan hidupnya. Seperti yang dinyatakan oleh Shukla & Chandel (2008), makhluk hidup akan melakukan reaksi yang menunjukkan kemampuannya semaksimal mungkin dalam rangka menyesuaikan diri dan beradaptasi terhadap berbagai faktor lingkungan. Pada tanaman mangrove, adaptasi terhadap lingkungan payau ditunjukkan dengan terbentuknya sistem perakaran yang saling menjalin dengan kuat, adanya akar napas, serta struktur daun yang mampu bertahan terhadap kadar garam (salinitas) yang tinggi. Karena adanya struktur khusus tersebut, mangrove memiliki peranan yang sangat penting terhadap fungsi ekologi dan ekonomi yang mensejahterakan masyarakat wilayah pesisir. Salah satu fungsi ekologi dari vegetasi mangrove adalah peranan mangrove dalam mitigasi bencana. Saat ini, keberadaan vegetasi mangrove semakin berkurang. Berbagai penyebab terdegradasinya ekosistem mangrove, terutama akibat alih fungsi hutan mangrove menjadi tambak dan sarana prasarana lainnya yang dikarenakan pengembangan wilayah dan meningkatnya urbanisasi ke wilayah pesisir. Salah satu dampak dari terdegradasinya ekosistem mangrove adalah menjadi rentannya wilayah pesisir dari berbagai bencana. Indonesia sebagai negara kepulauan dimana secara geologi jalur lautan menjadi pertemuan dari tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan lempeng Pasifik yang terus bergerak, menjadi sangat rentan terhadap berbagai bencana yang terjadi di wilayah pesisir, seperti tsunami. (Putri, 2019). Bahkan Kuswandono (2017), menyebutkan bahwa sejak tahun 1600 sampai saat ini, di Indonesia telah terjadi sebanyak 110 kali tsunami.

Secara alami bentuk perakaran dan struktur anatomi daun mangrove, memiliki kemampuan untuk mencegah terjadinya berbagai bencana seperti terjangan ombak besar, badai, abrasi dan erosi, serta intrusi air laut ke

wilayah daratan. Struktur dan perakaran mangrove merupakan bentuk adaptasi yang dilakukan oleh tumbuhan secara alami terhadap lingkungannya agar mampu hidup lebih baik dan dapat bertahan hidup. Setiap jenis mangrove memiliki daya adaptasi yang khas, seperti bentuk perakaran yang berbeda untuk setiap jenis mangrove yang kemudian oleh ahli taksonomi dijadikan sebagai pencirian dalam klasifikasi mangrove. Meskipun setiap jenis mangrove memiliki struktur dan bentuk perakaran dengan kekhasan tersendiri, namun secara umum memiliki perakaran yang sangat kuat menghunjam ke dalam habitat lumpur. Hal ini karena mangrove hidup di habitat ekstrim. Di samping itu, untuk mengokohkan pertumbuhannya agar tidak mudah terbawa ombak air laut, mangrove mengembangkan struktur akar secara lateral dan vertikal.

Mangrove memiliki daun yang telah beradaptasi dengan salinitas atau kadar garam yang tinggi pada habitatnya. Hal ini disebabkan karena mangrove memiliki daun yang tebal dan dapat menyimpan air dalam jumlah besar. Di samping itu mangrove mengembangkan struktur pada daun yang mampu mengekskresikan garam melalui stomata. Hal ini pula menjadikan tanaman mangrove dapat menjaga kestabilan kandungan garam pada tubuhnya. Kondisi tersebut secara ekologi akan mencegah intrusi air laut yang mengandung garam yang tinggi ke wilayah daratan.

Tulisan ini merupakan kajian dari berbagai sumber referensi terkait dengan bencana wilayah pesisir dan lebih rinci akan membahas tentang peran mangrove dalam mitigasi bencana yang terjadi di wilayah pesisir. Artikel ini diharapkan dapat digunakan sebagai masukan pemerintah daerah dalam kegiatan konservasi mangrove dalam rangka mengurangi dampak dari bencana yang terjadi di wilayah pesisir.

KONDISI HUTAN MANGROVE DI INDONESIA

Area mangrove di Indonesia sampai tahun 2015 menempati urutan terluas di dunia, yaitu sebesar 3.497.478 ha, yang kemudian diikuti oleh Brazil dan Meksiko sebagai urutan kedua dan ketiga. Luas tersebut terbentang pada garis pantai sepanjang 99.093 km² (Dirjen DASHL, 2015). Dengan posisi tersebut Indonesia berkontribusi sebesar 23% kepada ekosistem mangrove dunia (Kuswandono, 2017). Hutan mangrove merupakan ekosistem air payau atau zona intertidal antara laut dan daratan,

sehingga tanaman yang tumbuh di area mangrove mendapatkan pengaruh dari daratan (air sungai) dan lautan (air asin). Sebagai negara maritim yang memiliki iklim tropis, sebagian wilayah pesisir di Indonesia merupakan habitat bagi pertumbuhan mangrove. Pramudji (2000), menginformasikan bahwa mangrove di Indonesia terdapat di pulau-pulau besar, seperti di pantai timur Pulau Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Jawa, serta Irian Jaya, terutama yang memiliki banyak aliran sungai besar dan panjang yang membawa berbagai material dari sepanjang sungai ke muara. Secara lengkap data distribusi mangrove di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1.
Distribusi Hutan Mangrove di Indonesia

| Pulau | Luas Hutan Mangrove (ha) |
|--------------|---------------------------------|
| Sumatera | 921.632,2 |
| Kalimantan | 1.449.634,0 |
| Jawa | 34.326,3 |
| Sulawesi | 130.017,4 |
| Bali-Nusra | 34.832,4 |
| Maluku | 138.907,7 |
| Papua | 788.128,90 |
| TOTAL | 3.497.478,0 |

Sumber: Dirjen DASHL (2015)

Tanaman mangrove tumbuh di wilayah peralihan antara darat dan laut yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut (Purnobasuki, 2005). Sebagai tanaman yang hidup di wilayah pasang surut, mangrove dapat beradaptasi sangat baik dengan wilayah pantai maupun wilayah daratan. Mangrove merupakan tumbuhan yang tahan terhadap lingkungan dengan suhu perairan yang tinggi, tanah anaerob, serta memiliki daya adaptasi yang tinggi dengan sistem perakaran yang unik (Kordi, 2012). Secara anatomi dan fisiologi, akar mangrove mampu mengeluarkan garam yang diserap oleh sistem perakaran yang kuat dan menancap jauh ke dalam habitat lumpur. Oleh karena itu, mangrove mampu mencegah intrusi air laut ke daratan. Akar mangrove juga mampu menyerap berbagai bahan pencemar, terutama logam berat yang terpapar ke perairan sepanjang sungai serta terbawa air sungai dan terakumulasi di muara.

Hutan mangrove merupakan harta karun yang tak ternilai. Ditinjau dari kekayaan jenisnya, Indonesia memiliki keanekaragaman jenis mangrove sebanyak 243 spesies dengan 202 spesies yang telah teridentifikasi, yang tersebar sebanyak 166 spesies di Pulau Jawa, 151 spesies di Pulau Sumatera, 150 spesies di Kalimantan, 135 spesies di Sulawesi, dan 142 spesies di Papua (Noor *et al.* 2006, Hartanti, 2019). Selain memiliki fungsi ekonomi dan fungsi ekologi juga, mangrove memiliki fungsi penting dalam mitigasi, seperti mencegah banjir karena adanya tsunami, mengurangi gempuran permukiman penduduk di wilayah pantai dari badai dan angin laut, mencegah erosi dan intrusi air laut ke daratan, serta sebagai penyedia karbon yang cukup tinggi sehingga turut andil dalam mencegah bencana perubahan iklim dan pemanasan global. Indonesia pada tahun 2020 mempunyai target untuk mengurangi 26% emisi karbon yang salah satunya dilakukan dengan cara mencegah deforestasi hutan mangrove (Murdiyarto *et al.*, 2015). Beberapa studi menunjukkan bahwa mangrove memiliki peran penting dalam mitigasi, terutama bagi masyarakat yang hidup dan mencari nafkah di wilayah pantai.

Meskipun mangrove di Indonesia paling besar jumlahnya di dunia, namun kerusakan yang dialami juga paling besar. Menurut Kuswandono (2017) hutan mangrove Indonesia yang masih ada saat ini sebesar 3.489.140,68 Ha, namun hanya sebesar 47% (1.671.140,75 Ha) yang dalam kondisi baik, sementara 1.817.999,93 Ha (53%) dalam kondisi rusak. Untuk jangka panjang rehabilitasi hutan mangrove memang mengalami tantangan yang cukup berat, karena kerusakan yang dialami lebih besar dari upaya rehabilitasi. Berbagai upaya tersebut telah dilakukan termasuk oleh pemerintah daerah terkait dan berbagai pihak seperti lembaga swadaya masyarakat (LSM), perusahaan, dan bahkan inisiatif dari beberapa komunitas masyarakat pesisir. Disamping itu upaya-upaya lainnya seperti kegiatan yang melibatkan peran masyarakat dan dapat mencegah konversi hutan mangrove menjadi tambak dan infrastruktur lainnya juga dilakukan, seperti memanfaatkan berbagai bagian tanaman mangrove untuk bahan pangan, pakaian, pewarna alami, dan sebagainya. Dengan demikian masyarakat dipacu terus untuk terus menanam mangrove yang dapat digunakan untuk kebutuhannya.

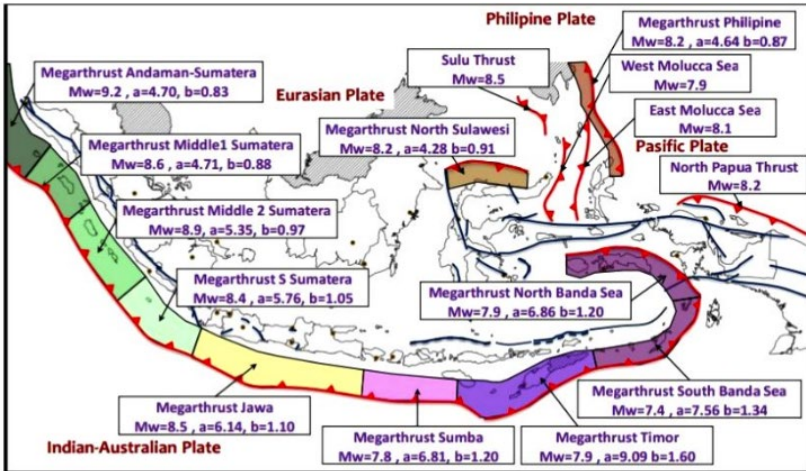
BERBAGAI BENCANA DI WILAYAH PESISIR

Saat ini, sebanyak 56% (140 juta dari 250 juta) masyarakat Indonesia dari sebanyak 297 kabupaten yang perekonomiannya dan sumber penghasilannya bergantung dari di wilayah laut dan pesisir (Kuswandono, 2017). Bahkan 60% masyarakat dunia hidup di wilayah mangrove (CIFOR, 2018), sehingga menyebabkan tingginya alih fungsi lahan mangrove menjadi berbagai fasilitas. Eksploitasi mangrove secara sistematis sudah terjadi sejak abad ke-18 terutama alih fungsi menjadi tambak dan pemanfaatan kayu mangrove untuk berbagai keperluan. Pada akhir 1960 Indonesia telah kehilangan lebih dari 200.000 ha mangrove, yaitu di Jawa dan Sumatera. Adanya kebijakan pemerintah untuk meningkatkan produksi kayu dan memperluas tambak pada tahun 1980-an menyebabkan Indonesia kehilangan hutan mangrove sebesar 800.000 ha hanya dalam kurun waktu 30 tahun (Ilman *et al.*, 2016).

Secara ekologis, keberadaan hutan mangrove sangat penting, bukan hanya sebagai habitat dan tempat memijahnya berbagai fauna dan mengurangi emisi karbon penyebab terbesar dari efek rumah kaca dan pemanasan global, tetapi juga mempunyai peran yang besar terhadap mitigasi dari berbagai bencana alam, seperti banjir, badai/angin laut, dan tsunami (Kuswandono, 2017). Salah satu persoalan terkait bencana di wilayah pesisir adalah subsiden tanah atau penurunan tanah. Kejadian ini antara lain disebabkan karena pengambilan air tanah yang berlebihan (Kelompok Keahlian Geodesi ITB, 2007). Oleh karena fenomena ini tidak terlihat dan dengan tiba-tiba merusak suatu kawasan maka sering juga disebut dengan *the silent killer*. Laju rata-rata subsiden tanah di dataran rendah dan pesisir menunjukkan angka yang cukup besar, yaitu sebesar 1 sampai 25 cm/tahun (Kementerian Koord. Bidang Kemaritiman RI, 2019). Penurunan tanah dapat berdampak terhadap kerusakan infrastruktur, seperti lahan dan rumah bahkan dapat berdampak terhadap kehilangan mata pencaharian akibat diterjang banjir rob (Kahar *et al.*, 2010).

Sebagai negara yang sebagian besar terdiri atas perairan bahari, sejarah telah menunjukkan bahwa tsunami pernah menerjang beberapa wilayah di Indonesia, seperti Jawa, Sumatera, Sulawesi, Bali, Lombok, dan Papua. Hal ini terutama karena secara geologi Indonesia memiliki banyak patahan

gempa dan dikelilingi oleh tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik, yang jalur pertemuan lempengnya berada di laut. Ketiga lempeng tersebut terus bergerak dan berpotensi menimbulkan gempa dan tsunami (Putri, 2019). Kuswandono (2017), mencatat bahwa sejak tahun 1600 sampai saat ini, di Indonesia telah terjadi sebanyak 110 kali tsunami yang telah merusak 7.800 desa.



Sumber: Media Center @infobencana (2018)

Gambar 1.
Segmentasi Megathrust Peta Gempa Nasional Tahun 2017

Potensi bencana di wilayah pesisir juga dapat diakibatkan oleh meningkatnya emisi gas karbon ke udara sebagai penyebab utama pemanasan global. Hal itu kemudian berdampak kepada perubahan iklim, seperti meningkatnya suhu air laut, perubahan pola curah hujan, dan peningkatan cuaca ekstrim.

Terdapat beberapa pendapat mengenai dampak pemanasan global terhadap kenaikan permukaan air laut. Menurut Nerem *et al* (2018) dampak pemanasan global telah mengakibatkan naiknya permukaan air laut setinggi 3 mm/tahun. Apabila tidak dilakukan upaya penurunan suhu global, maka pada tahun 2100 permukaan air laut akan meningkat setinggi 65 cm. Untuk Indonesia, melihat begitu besar wilayah yang berhubungan dengan wilayah

pesisir, maka diperkirakan sebanyak 2.266 desa yang dihuni lebih dari 9 juta jiwa terancam mengalami kerusakan akibat meningkatnya permukaan air laut karena perubahan iklim tersebut (Kuswandono, 2017). Perubahan ini membawa dampak besar terhadap habitat berbagai spesies flora dan fauna daratan yang hidup di sekitar pesisir dan tidak dapat hidup pada genangan air laut. Organisme yang tidak mampu beradaptasi akan mati dan mengganggu proses rantai makanan pada ekosistem pesisir. Kenaikan permukaan air laut juga akan mengancam masyarakat yang tinggal di sekitar pesisir. Mereka terancam kehilangan tempat tinggal, harta benda, dan pekerjaan secara permanen karena harus bermigrasi ke tempat lain.

Ekosistem mangrove memiliki potensi mitigasi yang sangat besar untuk mengatasi solusi untuk bencana yang disebabkan oleh perubahan iklim akibat pemanasan global. Berdasarkan data yang disampaikan oleh Mudiyarso *et al* (2015), dikatakan bahwa vegetasi ekosistem mangrove merupakan penyerap gas rumah kaca, terutama gas karbon yang cukup tinggi. Kerusakan dan penurunan luas ekosistem mangrove berhubungan dengan penyerapan dan penyimpanan karbon guna pengurangan kadar CO₂ di udara. Tanaman mangrove akan mengubah CO₂ di udara melalui proses fotosintesis yang kemudian didistribusikan ke organ tumbuhan lainnya, seperti batang, daun, akar, buah, dsb. Dinilhuda *et al.*(2018), menyebutkan bahwa kemampuan penyerapan CO₂ oleh mangrove tergantung kepada produksi dan kerapatan biomassa tegakan jenis pohon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanaman mangrove menyerap dan menyimpan lebih tinggi sampai 20 kali lipat dibandingkan vegetasi hutan yang tumbuh di daratan. Penyimpanan karbon pada ekosistem mangrove termasuk juga pada biomasa yang dihasilkan dan habitat mangrove sampai kedalaman di bawah 30 cm yang akan tersimpan dalam kurun waktu yang panjang.

Berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi emisi karbon juga telah menjadi kesepakatan negara-negara di dunia untuk menurunkan emisi Karbon. Beberapa perjanjian internasional, seperti yang disepakati di Marrakech, Maroko, oleh pimpinan dari 197 pada tahun 2016 termasuk Indonesia, antara lain mencakup kesepakatan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menjadikan mitigasi sebagai program prioritas (Kementerian LH, 2017). Dalam implementasinya, mitigasi bencana di wilayah pesisir diutamakan melalui konservasi dan restrukturisasi kembali

hutan mangrove, serta pemanfaatan mangrove yang berkelanjutan. Penanaman kembali mangrove dapat berpengaruh terhadap perubahan iklim global serta meningkatkan perlindungan wilayah pantai dari banjir dan badai. Pemerintah melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan melakukan penanaman mangrove di berbagai wilayah yang bekerjasama dengan berbagai sektor swasta (Kuswandono, 2017). Upaya lainnya adalah menjadikan hutan mangrove sebagai wilayah ekoturisme seperti di Pangandaran, melakukan usaha tambak dengan sistem *silvofishery* seperti di Delta Mahakam, Kalimantan Timur.

Upaya perlindungan wilayah pesisir sudah banyak dilakukan baik oleh pemerintah, NGO, ataupun swadaya masyarakat. Namun demikian, padatnya jumlah penduduk wilayah pesisir akan meningkatkan pula kegiatan, sampah, dan bahan pencemar yang dihasilkan dari kegiatan masyarakat yang mata pencahariannya mengandalkan mata pencaharian dari wilayah pesisir. Oleh karena itu salah satu upaya konservasi mangrove jangka panjang yang juga sangat penting adalah melalui peningkatan kesadaran masyarakat. Masyarakat dilibatkan untuk melakukan reboisasi dan restrukturisasi tanaman mangrove, Hal ini penting mengingat jumlah masyarakat yang menggantungkan sumber pendapatan dari hasil laut dan pesisir cukup tinggi. Pengetahuan pentingnya tanaman mangrove dalam mitigasi perlu diberikan. Untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat nelayan, perlu adanya pemulihan hutan, pelestarian ekosistem mangrove secara alami sebagai tempat mencari nafkah, dan pemanfaatan tanaman mangrove menjadi produk yang memiliki nilai lebih.

PERAN VEGETASI MANGROVE DALAM MITIGASI BENCANA DI WILAYAH PESISIR

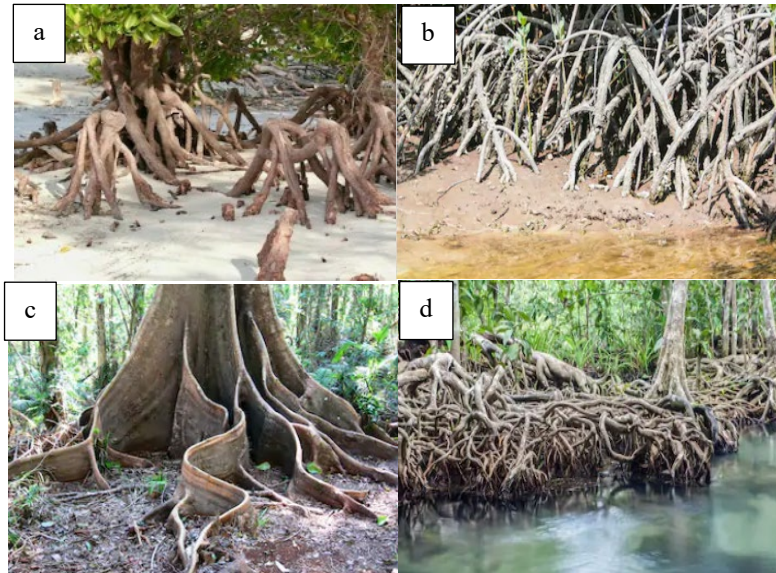
1. Mengurangi Gelombang, Badai, dan Abrasi

Sebagai vegetasi yang hidup pada zona pasang surut dengan dengan habitat lumpur, serta genangan air laut dengan kadar garam yang tinggi, Habitat yang berlumpur dan tergenang air tersebut karena sifatnya anaerob, menjadikan mangrove pada dasarnya merupakan kelompok tanaman yang memiliki adaptasi morfologi dan fisiologi dalam menghadapi kondisi ekstrim tersebut. Seperangkat adaptasi evolusi yang luar biasa memungkinkan

vegetasi yang berbentuk pohon dan semak tersebut dapat melangsungkan hidupnya (Florida Museum Newsletter, 2019). Menurut Al Idrus (2014), sistem perakaran mangrove yang terbentuk tersebut bersifat hereditas yang dapat diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya.

Untuk mengatasi kondisi habitat mangrove yang berlumpur, bersifat anaerob, dan memiliki konsentrasi kandungan garam yang cukup tinggi, mangrove membentuk akar khusus dengan beberapa sifat biologi yang khas sebagai bentuk adaptasinya, seperti akar udara atau akar napas yang fungsinya dapat melakukan pertukaran udara selama akar terendam. Perakaran mangrove yang terdiri dari perakaran utama dan akar napas mampu mengatasi berbagai kondisi habitat yang ekstrim. Sistem perakaran utama tumbuh baik secara lateral maupun vertikal, jauh masuk dan terkait dengan kuat ke dalam habitat lumpur. Sistem perakaran tersebut memungkinkan vegetasi mangrove tumbuh dengan kuat dan tahan terhadap berbagai terpaan gelombang besar, erosi, abrasi, dan badai angin laut.

Akar napas yang membentuk pneumatofora memungkinkan mangrove dapat mengambil oksigen dari udara. Berbagai bentuk akar napas seperti akar gantung pada *Avicennia spp*, akar pancang pada *Sonneratia spp*, akar lutut pada *Bruguiera spp*, akar papan pada *Xylocarpus spp*, dan akar tunjang pada *Rhizophora spp*. Bentuk akar tersebut merupakan ciri taksonomi yang mantap (Tomlinson 1986). Sementara menurut Srikanth *et al.* (2015), akar napas dapat berbentuk akar pasak (*cone roots*), akar pensil (*pencil roots*), akar lutut (*knee-roots*), akar tongkat/penyangga (*stilt-roots*), akar papan (*buttress/plank-roots*), akar gantung (*aerial-roots*), akar cakar ayam (*spreading roots*). Percabangan akar yang kompleks tersebut memperkuat akar utama sehingga mampu menyangga tumbuhan mangrove dengan kuat. Gambar 2 adalah beberapa contoh berbagai bentuk dari akar napas.



Sumber: Shutterstock's (2019)

Gambar 2.

Berbagai Bentuk Akar Napas: a). Akar Lutut; b). Akar Tongkat; c). Akar Papan; dan d). Akar Cakar Ayam

- Akar lutut (*knee roots*), adalah tonjolan akar mangrove yang horizontal tumbuh ke atas substrat kemudian melengkung masuk kembali ke substrat, tonjolan di atas substrat berbentuk seperti lutut. Mangrove yang memiliki akar lutut antara lain *Bruguiera spp.*
- Akar tongkat/penyangga (*stilt roots*), adalah akar-akar yang keluar dari batang bagian bawah tumbuh menuju substrat. Mangrove yang memiliki akar tunjang antara lain *Rhizophora spp.*
- Akar papan (*buttress/plank roots*), adalah akar-akar yang keluar dari batang bagian bawah tumbuh menuju substrat tumbuh melebar seperti papan. Mangrove yang memiliki akar papan antara lain *Heritiera*.
- Akar cakar ayam (*spreading roots*), adalah akar yang menyebar dengan banyak akar kecil di bawah tanah. Mangrove yang memiliki akar cakar ayam antara lain *Ceriops*.

Keberagaman setiap jenis mangrove memiliki sistem perakaran yang berbeda dan menghasilkan kombinasi perakaran yang kompak. Perakaran vegetasi mangrove mangrove adalah karena bentuknya dan kekuatan perakaran yang menancap jauh ke dalam habitat. Berbagai bentuk akar mangrove yang saling menjalin secara tak beraturan ke sisi lateral dapat memperlambat pergerakan air pasang surut, meningkatkan sedimentasi substrat yang berlumpur, dan mengurangi erosi. Hal ini meningkatkan kemampuan ekosistem mangrove untuk menahan gelombang dan meningkatnya permukaan air laut. Tentu saja sistem perakaran yang padat rapat akan semakin membantu menipiskan ombak atau gelombang besar yang sistem (Harada, Imamura, & Hiraishi, 2002).

Pada percobaan hidrolik dengan model struktur sistem untuk mengetahui pengaruh hutan mangrove dalam mengurangi kekuatan gelombang tsunami, Harada, Imamura, & Hiraishi (2002) membuktikan bahwa hutan mangrove efektif mengurangi kekuatan gelombang tsunami. Poonthip, Wanxiao & Tonny (2008) dengan metode Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh membuktikan bahwa di lokasi-lokasi dengan luas hutan mangrove kecil mengalami kerusakan lebih besar dibanding dengan kerusakan di lokasi dengan hutan mangrove yang luas. Lebar optimal hutan mangrove yang paling efektif untuk mengurangi kerusakan oleh gelombang tsunami adalah antara 1000 sampai 1500 m.

2. Mengurangi Dampak Tsunami

Kemampuan mangrove dalam mengurangi bencana pantai adalah saat mangrove berkelompok membentuk komunitas. Sistem perakaran yang saling menjalin serta cabang dan tajuk pohon yang rapat saling mengisi adalah pertahanan yang baik terhadap bencana pantai. Hal ini sejalan dengan pendapat Spalding *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa mangrove yang luas dapat mengurangi kekuatan tsunami, mengurangi hilangnya nyawa dan kerusakan perumahan di area belakang hutan mangrove. Tinggi gelombang pasang surut berkurang 13-66% per 100 m hutan mangrove, tinggi gelombang badai berkurang 5 – 50 cm per km mangrove, dan ratusan meter hutan mangrove yang dibutuhkan untuk mengurangi tsunami 5 – 30%.

Komunitas mangrove tersusun secara alami sesuai dengan kondisi lingkungan. Dengan demikian, setiap tempat mungkin akan terdiri atas komposisi mangrove yang berbeda. Walaupun demikian, mangrove yang tersusun dalam berbagai tempat umumnya tersusun atas spesies: (1) Pohon-pohon yang termasuk dalam marga/genus *Rhizophora spp.*, *Bruguiera spp.*, *Ceriops spp.* (familia Rhizophoraceae), *Avicennia spp.* (familia Avicenniaceae), *Sonneratia spp.* (familia Sonneratiaceae), *Xylocarpus spp.* (familia eliaceae), *Lumnitzera spp.* (familia Combretaceae), (2) Jenis-jenis perdu, seperti *Aegialitis spp.* (familia Plumbaginaceae), dan *Scyphipora sp.* (familia Rubiaceae), (3) golongan palm seperti *Nipa frukticans* dan golongan paku-pakuan, seperti *Acrosticum sp.* Golongan liana yang umum ditemukan di komunitas mangrove adalah *Derris heptaphyla* (Chapman 1976). Sebagai contoh tanaman mangrove di perairan 2 (dua) desa Blanakan, yaitu Desa Blanakan dan Desa Langensari. Terdapat 4 (empat) jenis mangrove di Desa Blanakan, yaitu *Avicennia marina*, *Soneratia caseolaris*, dan *Rhizophora stylosa*, *Bruguiera gymnorrhiza* (Hewindati & Utomo, 2018). Hartanti menambahkan dengan tanaman *Nypa fructicans*, yaitu tanaman mangrove yang tumbuh pada lahan kering, sehingga jumlahnya menjadi 5 jenis (Hartanti, 2019). Jumlah tersebut sama dengan jumlah jenis tanaman mangrove yang terdapat di Langensari, yaitu *Avicennia spp.* Dengan 2 jenis *Avicennia marina* dan *Avicennia alba*; *Rhizophora spp.* Dengan 3 jenis, yaitu *Rhizophora stylosa*, *Rhizophora stylosa*, dan *Rhizophora stylosa*; *Bruguiera spp.* Dengan 2 jenis, yaitu *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Bruguiera cylindrica*; *Sonneratia caseolaris*, dan *Xylocarpus granatum* (Hewindati & Utomo, 2018).

Habitat mangrove secara umum adalah berlumpur dengan salinitas tinggi. Namun demikian, setiap spesies mempunyai kisaran ekologis masing-masing spesies sehingga mempunyai relung (niche) yang khusus. Keadaan ini mengakibatkan terbentuknya berbagai macam zona. Zonasi mangrove ini terbentuk secara alami mulai dari pinggir pantai sampai ke daratan. Kelompok pohon yang tumbuh di pinggir pantai berbeda dengan yang di daratan. Berbeda pula untuk setiap lokasi sesuai dengan karakter habitat masing-masing lokasi. Lebar hutan dari pinggir pantai ke daratan adalah variabel penting dalam fungsinya untuk mitigasi bencana pantai.

Macnae (1968) membagi zona mangrove berdasarkan jenis pohon ke dalam enam zona, mulai dari pinggir laut ke daratan.

1. Zona *Sonneratia*. Hutan yang paling dekat dengan laut ditumbuhi oleh *Avicennia* dan *Sonneratia*. *Sonneratia* tumbuh pada lumpur lembek dengan kandungan garam yang tinggi.
2. Zona *Avicennia* pinggir laut. *Avicennia marina* tumbuh pada substrat berliat yang agak keras, sedangkan *Avicennia alba* tumbuh pada substrat yang agak lembek.
3. Zona hutan *Rhizophora*. Hutan didominasi oleh *Rhizophora stylosa* dan *Rhizophora stylosa*. *Rhizophora stylosa* lebih banyak dijumpai pada kondisi yang agak basah dan lumpur yang agak dalam. Pohon-pohon dapat tumbuh setinggi 35-40 meter.
4. Zona hutan *Bruguiera*. Hutan didominasi oleh *Bruguiera parviflora*, *Bruguiera cylindrica*. Kadang-kadang dijumpai tanpa jenis pohon lainnya. Substrat berupa tanah liat yang cukup keras dan dicapai oleh beberapa air pasang saja.
5. Zona semak-semak *Ceriops*. Zona ini didominasi oleh *Ceriops* spp, dengan ketinggian mencapai 5 m.
6. Zona perbatasan dengan daratan. Peralihan antar hutan ini dan hutan dataran ditandai oleh adanya *Lumnitzera ystem*, *Xylocarpus moluccensis*, *Intsia bijuga*, *Ficus retusa*, rotan, pandan dan nibong pantai, *Oncosperma tigillaria*.

Sedangkan Watson, 1928 (dalam Macnae, 1968) membagi mangrove menjadi lima kelompok berdasarkan frekuensi air pasang, yaitu:

1. Kelompok mangrove yang hidup dalam ekosistem yang selalu digenangi oleh air pasang (*flooded at all high tides*). Di tempat seperti ini jarang jenis mangrove yang mampu hidup, kecuali *Rhizophora stylosa*.
2. Kelompok mangrove yang hidup dalam ekosistem pantai yang digenangi oleh air pasang agak besar (*flooded by medium high tides*). Di tempat seperti ini yang hidup adalah jenis *Avicennia* sp., *Sonneratia* sp., dan *Rhizophora stylosa*.
3. Kelompok mangrove yang hidup dalam ekosistem pantai yang digenangi oleh air pasang rata-rata (*flooded by normal high tides*).

Sebagian besar mangrove hidup dalam Kawasan ini, tetapi jenis *Rhizophora* biasanya mendominasi.

4. Kelompok mangrove yang hidup dalam ekosistem pantai yang digenangi oleh air pasang perbani (*flooded by spring tides only*). Kawasan ini sedikit kering untuk *Rhizophora*, tetapi bagus untuk *Bruguiera gymnorhiza* dan *Bruguiera cylindrica*.
5. Kelompok mangrove yang hidup dalam ekosistem pantai yang kadang-kadang digenangi oleh pasang tertinggi (*flooded by equinoctical or other exeptional tides*). Kawasan ini didominasi oleh *Bruguiera gymnorhiza* dan didampingi oleh *Rhizophora stylosa*, dan *Xylocarpus granatus*.

Adanya variasi sifat fisik dan kimia yang berbeda dari satu daerah dengan daerah lain, maka diduga setiap daerah di Indonesia mempunyai pola zonasi berbeda. Misalnya penelitian di system hutan mangrove di Segara Anakan terdiri atas Zona 1 yang dikuasai oleh *Avicennia –Rhizophora*, Zona 2 dikuasai oleh *Avicennia – Rhizophora Sonneratia* dan Zona 3 dikuasai *Ceriops – Rhizophora – Sonneratia*. Hilmi, *et al.* (2015). Menurut Sukardjo (1999), pembentukan zonasi mangrove dipengaruhi oleh beberapa hal, terdapat lima komponen utama yang mempengaruhi zonasi mangrove pada ekosistem pantai, yaitu: (1) gelombang, yang menentukan frekuensi tergenang; (2) salinitas, yang berkaitan dengan hubungan osmosis mangrove; (3) substrat; (4) pengaruh darat, seperti aliran air masuk dan rembesan air tawar; (5) keterbukaan terhadap gelombang, yang menentukan jumlah substrat yang dapat dimanfaatkan.

Menurut Spalding *et al.* (2014) ekosistem mangrove berfungsi untuk menahan gelombang pasang surut, gelombang tinggi, tsunami, erosi, kenaikan permukaan laut. Angin dan gelombang besar berkurang dengan cepat ketika melewati hutan mangrove. Sabuk hutan mangrove (*green belt*) yang semakin luas juga akan mengurangi secara signifikan dampak banjir di daerah pinggir pantai. Kathiresan K., (2000) menyatakan bahwa salah satu fungsi ekologis hutan mangrove dalam melindungi pantai dari bencana adalah mengurangi amukan badai dan topan, mitigasi amukan tsunami, mengontrol banjir, dan melindungi pantai dari erosi.

3. Mencegah Intrusi Air Laut

Selain menahan gelombang, fungsi lain ekosistem mangrove adalah menahan intrusi air laut. Intrusi air laut merupakan salah satu fenomena dimana air laut mencemari air tanah sehingga air tanah tidak dapat digunakan kembali oleh makhluk yang hidup di atasnya. Intrusi air laut saat ini merupakan permasalahan yang dialami oleh masyarakat yang hidup di sepanjang wilayah pesisir. Konversi hutan mangrove menjadi tambak merupakan salah satu penyebab terbesar dari intrusi air laut ke daratan. Hal ini diperkuat oleh Salim (2017) intrusi air laut banyak terjadi pada areal yang didominasi tambak tidak bermangrove. Intrusi air laut sudah meluas di berbagai wilayah pesisir. Menurut Suriyani (2019) intrusi air laut di Bali lebih disebabkan oleh karena pengambilan air tanah yang berlebihan untuk kebutuhan sehari-hari baik skala rumah tangga ataupun industri.

Vegetasi mangrove memiliki kemampuan dalam mencegah intrusi air laut ke daratan. Hal ini karena kemampuan organ mangrove untuk menyerap tingginya kadar garam yang ada pada habitat. Kemampuan tersebut dilakukan oleh organ akar dan daun. Kemampuan mangrove menyaring garam melalui akar dapat dilakukan oleh *Rhizophora*, *Ceriops*, *Bruguiera* (Murdiyanto, 2003). Daun mangrove memiliki kelenjar dan stomata yang mampu melakukan ekskresi garam yang cukup tinggi. Menurut Ng & Sivasothi (2001), kemampuan mengekskresikan kadar garam tinggi melalui daun dapat dilakukan oleh jenis *Acanthus*, *Avicennia*, *Aegiceras*, *Aegialitis*, *Sonneratia*, *Laguncularia* dan *Rhizophora*. Garam yang terserap selain diekskresikan oleh kelenjar daun dan dibuang melalui proses transpirasi lewat stomata juga dapat disimpan dalam jaringan daun dan kulit kayu tua yang hampir mati. Daun mangrove umumnya bersifat sukulen (mempunyai kadar air tinggi) dan memiliki kemampuan dalam menyimpan garam yang kemudian jika daun tersebut menjadi tua akan gugur bersama kandungan garam yang ada di dalam jaringan tersebut. Mekanisme penyimpanan garam pada jaringan tua dilakukan oleh jenis *Rhizophora sp*, *Ceriops sp*, *Sonneratia sp*, *Lumnitzera sp*, *Avicennia sp*, *Bruguiera sp*, *Excoecaria sp*, *Aegiceras sp*, dan *Acrosticum sp* (Ng dan Sivasothi, 2001). Ketiga mekanisme tersebut memungkinkan tumbuhan mangrove menjadi filter terhadap air laut, sehingga dapat mencegah masuknya garam ke wilayah daratan.

PENUTUP

Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki wilayah perairan yang sangat luas yaitu dua per tiga bagian dari Indonesia adalah wilayah perairan. Dari sekitar 17.000 pulau yang ada dengan panjang garis pantai sekitar 99.093 km², Indonesia berkontribusi terhadap 23% dari mangrove dunia. Dari data statistik tahun 2017, luas hutan mangrove di Indonesia sebesar 3.489.140,68 Ha. Namun sangat disayangkan, hanya sebesar 47% (1.671.140,75 Ha) dalam kondisi baik, sementara 1.817.999,93 Ha (53%) dalam kondisi rusak. Sementara itu secara alami mangrove merupakan tumbuhan yang mampu berperan sangat besar terhadap mitigasi bencana yang terjadi di wilayah pantai. Sebagai tanaman yang hidup di wilayah peralihan antara air laut dan air tawar, mangrove mampu mengadakan adaptasi terhadap tempat tumbuh yang cukup ekstrim, yaitu habitat berupa lumpur, memiliki salinitas tinggi, dan kondisi pasang surut. Adaptasi tersebut berlangsung di alam dalam berbagai fenomena kehidupan menurut prinsip, tatanan dan hukum alam untuk mempertahankan hidupnya, seperti kondisi lingkungan yang ekstrim. Adaptasi morfologi dan anatomi yang terjadi secara alami dari sistem perakaran dan struktur daun tersebut menjadikan tumbuhan mangrove dapat bertahan hidup. Beberapa bentuk adaptasi adalah pembentukan akar napas sebagai adaptasi untuk mendapatkan oksigen dari udara, akar napas ini berkembang sangat kuat jauh ke dalam habitat lumpur dan saling menjalin ke arah lateral dan vertikal sebagai upaya untuk tetap kokoh pada substrat yang bergerak akibat ombak. Dengan sistem perakaran tersebut mangrove mempunyai peran yang sangat signifikan untuk mitigasi berbagai bencana yang dapat merugikan masyarakat wilayah pesisir. Tegakan komunitas mangrove mampu mengurangi gelombang, ombak besar, dan erosi sehingga melindungi pantai dari banjir. Bentuk adaptasi lain dari organ mangrove terjadi pada daun. Daun mangrove mampu mencegah intrusi air laut ke daratan. Struktur daun mampu mengekskresikan dan menyimpan kadar garam sehingga mampu mengurangi intrusi kadar garam ke wilayah daratan.

Saat ini kondisi mangrove di Indonesia sebagian besar telah mengalami kerusakan, Berbagai upaya rehabilitasi dan konservasi dilakukan baik oleh pemerintah, unsur swasta, LSM, bahkan oleh masyarakat pesisir yang tergabung ke dalam berbagai komunitas. Namun demikian rehabilitasi hutan mangrove memang mengalami tantangan yang cukup berat. Diperlukan keterlibatan yang lebih besar dari masyarakat di wilayah pesisir untuk melakukannya. Demikian pula keterlibatan pemerintah, dan unsur lainnya dalam melakukan sosialisasi kepada masyarakat dan memberikan pemahaman akan pentingnya ekosistem mangrove sudah semestinya menjadi program prioritas untuk mitigasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Idrus, A. (2014). *Mangrove Gili Sulat Lombok Timur*. Mataram: Arga Puji Press.
- Chapman, V. J. (1976). *Mangrove vegetation*. Germany: J Cavmer.
- CIFOR (2018). *Lahan basah untuk masa depan*. Center for International Forestry Research, Laporan Tahunan 2018. Diakses pada Juli 2019, dari http://www.cifor.org/publications/pdf_files/ARreports/AR2018/AR2018ID.pdf
- Dinilhuda, A., Akbar, A. A., & Jumiati, J. (2018). Peran ekosistem mangrove bagi mitigasi pemanasan global. *Jurnal Teknik Sipil*, 18 (2).
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017). *Miliki 23% ekosistem mangrove dunia, Indonesia tuan rumah konferensi internasional mangrove 2017*. Diakses pada September 2019, dari http://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse/561
- Dirjen Pengendalian DAS dan Hutan Lindung (DASHL) (2015). *Rencana aksi rehabilitasi hutan mangrove di Indonesia*. Diakses pada September 2019, dari <http://mangroveindonesia.org/wp-content/uploads/2018/03/Pak-Joko-MANGROVE-SARASEHAN-IPB.pdf>
- Direktorat Jenderal Konservasi Sumberdaya Alam dan Ekosistem, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2017). *Statistik Direktorat Jenderal Konservasi Sumberdaya Alam dan Ekosistem Tahun 2017*. International Conference on Sustainable Mangrove Ecosystem, Bali.
- Florida Museum Newslette (2019). *Adaptations mangrove*. Diakses pada September 2019 dari <https://www.floridamuseum.ufl.edu/southflorida/habitats/mangroves/adaptations/>

- Harada, K., Imamura, F., & Hiraishi, T. L. (2002). *Experimental study on the effect in reducing tsunami by the coastal permeable structures*. International Society of Offshore and Polar Engineers Conference. The International Society of Offshore and Polar Engineers ISBN 1-880653-58-3 (Set); ISSN 1098-6189 (Set).
- Hartanti, U. (2019). *Strategi pengembangan ekowisata mangrove berbasis daya dukung fisik kawasan wisata: suatu kajian di Hutan Mangrove Blanakan, Kabupaten Subang, Jawa Barat* (Thesis). Jakarta: Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana, Universitas Indonesia.
- Hewindati, Y. T. & Utomo, S. (2018). *Konservasi mangrove berbasis komunitas di Kecamatan Blanakan (Laporan tidak diterbitkan)*. Tangerang Selatan: LPPM-Universitas Terbuka.
- Hilmi, E., Asrul, S.S., Luvianna, F., Rima, N., Sya'bani, A.A., & Agung, D.S. (2015). Struktur komunitas, zonasi dan keanekaragaman hayati vegetasi mangrove di Segara Anakan Cilacap. *Omni Akuatika*, 11 (2): 20–32.
- Ilman, M., Dart, J. P., Dargusch, P., & Onrizal, O. (2016). A historical analysis of the drivers of loss and degradation of Indonesia's mangroves. *Land Use Policy*, 54: 448-459.
- Kahar, S., Purwanto, & Hidayat, W. K. (2010). Dampak penurunan tanah dan kenaikan muka laut terhadap luasan genangan rob di Semarang. *Jurnal Presipitasi*, 7 (2).
- Kathiresan, K. (2012). Importance of mangrove ecosystem. *International Journal of Marine Science*, 2 (10): 70-89.
- Kelompok Keahlian Geodesi ITB (2007). *Pemantauan penurunan tanah (land subsidence) di kota-kota besar dengan GPS*. Diakses pada September 2019 dari <https://geodesy.gd.itb.ac.id/2007/01/05/pemantaun-penurunan-tanah-land-subsidence-di-kota-besar-dengan-gps/>

- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman RI & Institut Teknologi Bandung (ITB) (2019). *Peta jalan (road map) mitigasi dan adaptasi amblesan (subsiden) tanah di dataran rendah pesisir*. Jakarta: Yayasan Lahan Basah (Wetlands International Indonesia).
- Kordi, K. & Ghufran, M. (2012). *Ekosistem mangrove: potensi, fungsi dan pengelolaan*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Kuswandono, A. (2017). Role of coordinating ministry of maritime affairs in sustainable management of Indonesian mangrove and its ecosystem. International Conference on Mangrove Ecosystems, Bali, 18 April 2017.
- Macnae, W. (1968). A General account of the fauna and flora of mangrove swamp and forests in the Indo-West-Pacific Region. *Advances in Marine Biologi*, 6: 73-270.
- Media Center @infobencana. (2018). *Peta bahaya gempa 2017*. Diakses pada Agustus 2019 dari <https://twitter.com/search?q=peta%20infobencana%20gempa&src=typd>.
- Murdiyanto, B. (2003). *Mengenal, memelihara dan melestarikan ekosistem bakau*. Jakarta: Direktorat Jendral Perikanan Tangkap Departemen Kelautan dan Perikanan.
- Mudiyarso, D., Purbopuspito, J., Kauffman, J. B., Warren, M. W., Sasmito, S. D., Donato, D. C., Manuri, S., Kisanawati, H., Taberima, S., & Kurnianto, S. (2015). The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. *Nature Climate Change*, 5: 1089–1092.
- Nerem R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J.T., Hamlington, B. D., Masters D., & Mitchum, G. T. (2018). Climate-change–driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *PNAS*, 115 (9): 2022-2025.

- Ng, P.K.L. & Sivasothi, N. (2001). *A Guide to mangroves of Singapore Volume 1: the ecosystem & plant diversity*. Singapore: The Singapore Science Centre.
- Noor, R.Y., Khazali, M. & Suryadipatra, I.N.N. (2006). *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. Bogor: Wetland Indonesia Internasional Programme.
- Poonthip, S., Wanxiao, S. & Tonny, J. O. (2008). Assessing the impact of the 2004 tsunami on mangroves using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 29:12: 3553-3576.
- Pramudji (2000). Dampak perilaku manusia pada ekosistem hutan mangrove di Indonesia. *Ocean*, XXV (2): 13-20.
- Purnobasuki, H. (2005). *Tinjauan perspektif hutan mangrove*. Surabaya: Penerbit Airlangga University Press.
- Putri, S. G. (2019). *Indonesia rawan tsunami; daftar wilayah yang berpotensi*. Diakses pada Juli 2019 dari https://www.msn.com/id-id/berita/nasional/indonesia-rawan-tsunami-ini-daftar-wilayah-yang-berpotensi/ar-AAF3FvD?ocid=spartanntp_edu
- Salim, A.G., Siringoringo, H.H., & Narendra, B.H. (2017). Pengaruh penutupan mangrove terhadap perubahan garis pantai dan intrusi air laut di hilir Das Ciasem dan Das Cipunegara, Kabupaten Subang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 23 (3).
- Shukla, R. S. & Chandel, P. S. (2008). *A textbook of plant ecology*. New Delhi: S. Chand & Company Limited.
- Shutterstock's. (2019). Diakses pada September 2019 dari <https://www.shutterstock.com/search/mangrove+roots>

- Spalding, M., McIvor, A., Tonneijck, F., Tol, S. & van Eijk, P. (2014). *Mangroves for coastal defence. Guidelines for coastal managers and policy makers*. Wageningen: Wetlands International and The Nature Conservancy.
- Srikanth, S., Kaihekulani, S. Lum, Y., & Chen, Z. (2015). Mangrove root: adaptations and ecological importance. *Evolutionary Ecology*, 30 (2): 451–465.
- Sukardjo, S. (1999). Ekosistem mangrove. *Oseana*, IX (4): 102-115.
- Suriyani, L. D. (2019). *Riset menyimpulkan intrusi air laut meluas di pesisir Bali, dimana saja?*. Diakses pada September 2019 dari <https://www.mongabay.co.id/2019/02/27/riset-menyimpulkan-intrusi-air-laut-meluas-di-pesisir-bali-dimana-saja/>
- Tomlinson, P.B. (1986). *The botany of mangroves*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.



O4

RESTORASI LAHAN GAMBUT
UNTUK MENCEGAH BENCANA
EKOSISTEM GLOBAL

(Nurmala Pangaribuan)

RESTORASI LAHAN GAMBUT UNTUK MENCEGAH BENCANA EKOSISTEM GLOBAL

Nurmala Pangaribuan
(nurmala@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

Gambut mempunyai nilai konservasi yang sangat tinggi. Gambut sebagai habitat flora dan fauna langka. Gambut juga sumber Karbon (CO₂) dunia di samping gas metana (CH₄) dan nitrousoksida (N₂O). Lahan gambut yang dikelola untuk pertanian tanaman pangan dan perkebunan umumnya menghadapi kendala. Produktivitas lahan secara signifikan terus merosot. Keseimbangan ekologi terganggu bila lahan gambut tidak dikelola dan tidak dimanfaatkan sesuai dengan sifat dan karakteristik gambut. Bila kawasan gambut rusak, berubah fungsi, atau hilang, berdampak pada penurunan kualitas lingkungan, banjir pada musim hujan, atau kekeringan dan kebakaran pada musim kemarau. Bahkan kerusakan ekosistem gambut, merupakan bencana besar bagi ekosistem global. Degradasi lahan gambut harus dicegah dengan tindakan restorasi. Restorasi lahan gambut meliputi upaya pengelolaan tata air, mengembalikan fungsi ekologi lahan gambut dengan mempertahankan kesinambungan biodiversitas gambut, sekaligus menjaga kehidupan flora dan fauna di habitatnya, dan meningkatkan kesejahteraan penduduk lokal. Restorasi lahan gambut dilakukan dengan pola 3R, yaitu Rewetting, Revegetation, dan Revitalisation. Restorasi lahan gambut bertujuan untuk mengembalikan fungsi ekologi, mengembalikan satwa, flora dan fauna lokal dan kesinambungan ekosistem global.

Kata Kunci: ekosistem, restorasi, lahan gambut, bencana

PENDAHULUAN

Gambut terdiri atas bahan organik. Kemudian bahan organik mengalami penumpukan, pembusukan dalam waktu yang lama. Proses penumpukan, pembusukan secara alami, berlangsung lambat dan cenderung tidak sempurna. Penumpukan bahan organik dapat mencapai kedalaman 10-15 meter atau lebih. Gambut umumnya berada di lahan berawa, berair, atau di dataran rendah dekat pesisir. Air gambut bersifat asam, berwarna hitam atau kemerahan sehingga dikenal dengan nama 'sungai air hitam'. Hutan rawa gambut Kalimantan, dicirikan oleh beberapa spesies indikator, yaitu ramin (*Gonystylus bancanus*), suntai (*Palaquium burckii*), semarum (*Palaquium microphyllum*), dan terentang (*Camnosperma*) (Wetlands International-Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada [WIIP&WHC], 2014). Pembentukan gambut dengan kedalaman 4 meter membutuhkan waktu sekurang-kurangnya 2.000 tahun. Gambut yang sudah terbentuk mampu menyerap air hingga 13 kali lipat dari bobotnya (sifat spons). Gambut dapat lenyap hanya dalam waktu 100 tahun, bila terjadi hidrasi, dan drainase secara besar-besaran.

Pengelolaan lahan gambut yang tidak mengikuti tata air, mengganti vegetasi lahan gambut dengan tanaman perkebunan atau tanaman industri, dapat mempercepat lahan gambut menjadi kering. Bila air gambut dikeringkan, maka bahan organik yang belum terdekomposisi dengan sempurna, cenderung akan lebih mudah terbakar. Bila gambut kering, kemudian terbakar, api cenderung sulit dipadamkan, karena api dengan cepat menyebar kemana-mana di dalam tanah. Pengeringan lahan gambut berdampak pada pelepasan gas rumah kaca karbon dioksida ke atmosfer. Asap dari kebakaran akan menyebar luas meintasi desa, kota, dan negara. Jutaan manusia akan terganggu kesehatannya. Efek lebih jauh berdampak pada kegiatan ekonomi.

Ekspansi petani dengan menanam kelapa sawit sangat membahayakan kelangsungan ekosistem gambut. Perlu dilakukan identifikasi berbagai hal yang tersedia di masyarakat untuk mengembangkan mata pencaharian selain kelapa sawit. Tidak semua kelompok tingkat kesuburan gambut Fibris, Hemis, dan Sapriss harus dikonversi menjadi kebun kelapa sawit. Pembukaan lahan gambut akan merangsang pembentukan pirit (FeS_2). Senyawa pirit

merupakan mineral ber-pH rendah yang pada lahan sulfat masam dapat bersifat toksin bagi tanaman. Indonesia memiliki lahan gambut terbesar di dunia. Indonesia harus menjaga kestabilan ekosistem gambut, yang berhubungan dengan kestabilan ekosistem global.

Tulisan ini mencoba menengahkan upaya merestorasi lahan gambut sebagai upaya pencegahan, dan menyelamatkan kerusakan ekosistem gambut secara menyeluruh. Perlu proses panjang untuk mengembalikan fungsi ekologi lahan gambut dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang terkena dampak dari lahan gambut yang terdegradasi. Restorasi ekosistem gambut difokuskan kepada menjaga kandungan air di dalamnya. Paralel dengan tindakan restorasi, perlu juga mengedukasi masyarakat untuk perubahan perilaku, untuk mau secara aktif mengelola lahan gambut dengan tepat.

PEMBAHASAN

Gambut tropis terluas di dunia berada di Indonesia. Terbanyak di Kalimantan, Sumatera dan Papua. Bagi Indonesia yang berada di daerah garis khatulistiwa, gambut berperan sebagai penyimpan karbon. Gambut tropis dapat menyimpan karbon di dalam tanah 20 kali lipat lebih banyak dibandingkan hutan hujan tropis biasa, dan tanah mineral (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2008).

Luas lahan gambut di Indonesia sekitar 14,9 juta. Menurut data Badan Pusat Statistik penyebaran tanah gambut yang paling luas terdapat di Sumatera, Kalimantan, dan Papua. Sumatera, 6,4 juta hektar (43%), Kalimantan, 4,8 juta (32%), dan 3,7 juta hektar (25%) di Papua (Masganti, 2011). Secara keseluruhan lahan gambut, masih berupa hutan (mangrove, hutan rawa, dan tanaman) seluas 7.742.449 ha (52%) dan yang berupa semak belukar seluas 3.238.570 ha (21,7%). Luas areal yang sudah dimanfaatkan untuk perkebunan, pertanian (pangan dan hortikultura), sawah, dan permukiman luasnya berturut-turut 1.562.436 hektar, 780.333 hektar, 341.122 hektar, dan 64.752 hektar (WIIP&WHC, 2014).

Sejak zaman glasial, sekitar 3.000-5.000 tahun yang lalu, gambut sudah ada di Indonesia. Gambut pedalaman proses pembentukan lebih lama lagi, sekitar 10.000 tahun yang lalu. Gambut tropis tersusun atau terakumulasi dari bahan organik seperti serasah, biomassa, yang merupakan residu vegetasi tropis yang kaya kandungan lignin dan selulosa (Murdiyarso, 2004).

1. Lahan Gambut

a. Karakteristik Gambut

Gambut terbentuk melalui proses pembusukan dari bahan-bahan organik segar dan proses dekomposisi bahan organik belum sempurna. Gambut yang sudah terbentuk, mampu menyerap air hingga 13 kali lipat dari bobotnya (sifat spons). Keunikan dan sekaligus ancaman bagi kelangsungan gambut adalah gambut dapat hilang karena *daratan kubah* gambut amblas. *Subsidence* adalah amblasan yang terus menerus karena air gambut dikeringkan. Bila amblasan gambut tetap berlanjut, maka setidaknya ada 10 juta hektar daratan Indonesia yang akan hilang dalam 100-300 tahun mendatang. Kehilangan daratan Indonesia akan mempengaruhi kedaulatan negara (Kolka, 2016).



Sumber: Ramsay (2017)

Gambar 1

1). Pengkalan di Lahan Gambut; 2). Bahan Organik Penyusun Gambut

Pengelolaan gambut harus mengikuti sifat dan karakteristik lahan. Gambut terdiri atas bahan organik segar yang belum terdekomposisi

sempurna dan rawan tergradasi. Pengelolaan lahan gambut yang salah, seperti tata air yang over drain atau mengganti vegetasi dengan tanaman perkebunan berakibat pada pengeringan lahan gambut yang permanen. Maka akan terjadi pelepasan gas rumah kaca karbon dioksida ke atmosfer.



Sumber: Masganti (2011)

Gambar 2
Perkebunan Kelapa Sawit di Lahan Gambut Riau

b. Manfaat Lahan Gambut

Lahan *gambut* sangat penting bagi ekosistem global. Ekosistem gambut diperlukan bagi pengaturan iklim dan siklus air. Lahan ini adalah rumah bagi spesies langka. Vegetasi ekosistem gambut lokal seperti anggrek, tanaman obat, tanaman kayu Jelutung Rawa (*Dyera lowii*), dan Ramin (*Gonystylus bancanus*). Selain itu gambut sebagai habitat bagi berbagai spesies hewan langka seperti harimau, macan dahan, dan orang utan. Lahan gambut merupakan ekosistem bagi keanekaragaman hayati, seperti kayu dan produk non-kayu, dan tentu saja bioenergi. Lahan gambut yang disusun dari berbagai biomassa dapat dikonversi menjadi produksi energi berkelanjutan. Itu sebabnya lahan gambut mendapat perhatian sebagai penyedia bioenergi. Lahan gambut merupakan penampung karbon yang besar dan menyediakan peluang mata pencaharian bagi jutaan orang yang tinggal di sekitar lahan gambut. Jadi, lahan gambut tidak hanya penting untuk manusia, tetapi juga bagi alam sekitarnya.

Pengelolaan lahan gambut yang tidak mengikuti sifat dan karakteristik yang benar, merupakan awal bencana ekosistem gambut. Akan terjadi pelepasan gas rumah kaca karbon dioksida ke atmosfer. Pembukaan lahan gambut semena-mena, akan merangsang pembentukan pirit (FeS_2). Senyawa Pirit merupakan mineral ber-pH rendah, lahan sulfat masam peningkatan kelarutan Al^{3+} , Fe^{2+} , asam-asam organik, dan diiringi oleh kahat hara makro P, hara mikro Cu, serta Zn. yang dapat bersifat toksin bagi tanaman. Indonesia yang memiliki lahan gambut terbesar di dunia, menjadi penentu bagi keseimbangan ekosistem dunia. Lahan gambut menyimpan 57-60 miliar metrik ton karbon. Peran gambut nyaris seperti lembah Amazon, yang dapat menyimpan sekitar 86 miliar metrik ton karbon di dalam tanah. Jika emisi lahan gambut Indonesia lepas secara keseluruhan ke atmosfer, gas emisi yang lepas tersebut setara dengan sepertiga cadangan karbon yang ada di seluruh dunia, dan setara juga dengan membakar seluruh cadangan minyak bumi yang ada di Arab Saudi, Venezuela, Kanada, Rusia, dan Amerika Serikat (Kolka, Mudiyarso, Kauffman, & Birdse, 2016; WIIP&WHC, 2014).

2. Mencegah Kerusakan Ekosistem Gambut

a. Pendekatan Hubungan Antar Manusia dan Lahan Gambut

Mencegah kerusakan ekosistem gambut, dimulai dengan memahami bagaimana masyarakat lokal menggunakan dan mengelola lahan gambut. Sebelumnya, petani menggunakan lahan gambut untuk menanam padi, silvicultura, dan berbagai tanaman buah-buahan. Sementara saat ini petani sudah beralih ke usaha kelapa sawit, karena permintaan pasar untuk komoditi kelapa sawit sangat tinggi. Beberapa penduduk menjual tanah mereka kepada orang lain untuk ekspansi kelapa sawit. Tersedia industri yang menampung hasil kelapa sawit dan pemasarannya bagus. Maka banyak yang tertarik karena ada jaminan kepastian. Ekspansi petani dengan menanam kelapa sawit, sangat membahayakan bagi kelangsungan ekosistem gambut. Dilakukan identifikasi berbagai hal yang tersedia di masyarakat untuk mengembangkan mata pencaharian, selain kelapa sawit. Bila seluruh kelompok gambut dengan tingkat kesuburan Fibris, Hemis, Sapriss dikonversi menjadi kebun kelapa sawit akan ada dampak negatif terhadap lingkungan.

Tindakan edukasi masyarakat untuk perubahan perilaku. Masyarakat perlu dilibatkan untuk menjaga kelestarian ekosistem gambut. Sebagai contoh adalah Sekolah Lapangan di Riau, yang didirikan oleh Restorasi Ekosistem Riau (RER). Tujuan Sekolah Lapangan ini adalah untuk mendidik masyarakat agar saat pembukaan lahan tidak melakukan tebang dan bakar. Kabupaten Siak menerapkan strategi hijau, yaitu pemberdayaan ekonomi masyarakat dengan mendorong memanfaatkan sumber daya alam dengan prinsip-prinsip berkelanjutan.

b. Mengembangkan Produk Pertanian dan Non Pertanian di Lahan Gambut

Banyak komoditas pertanian yang memiliki prospek untuk dikembangkan di lahan gambut. Kunci keberhasilannya adalah sinergiantar pemerintah setempat, lembaga terkait, dan masyarakat. Sinergi ini misalnya penyediaan saluran pasar, mengedukasi berupa pengetahuan dan keterampilan tentang cara menggunakan atau mengembangkan produk-produk alternatif yang berbasis pertanian dan non pertanian yang cocok dibudidayakan di lahan gambut seperti Aleovera (lidah buaya), buah naga, dan nenas.

1) Budi daya nenas di lahan gambut

Pada lahan gambut tanaman nenas tumbuh dengan baik. Di Kabupaten Ogan Komering Ilir, budi daya tanaman nenas pada media tanah gambut memiliki keunggulan dibandingkan nenas pada media tanah mineral. Rasa nenas manis, ukuran buah lebih besar. Hal yang sama juga dihasilkan oleh kebun yang dikelola oleh beberapa wilayah lahan gambut lainnya seperti di Desa Galang Kecamatan Sungai Pinyuh Kabupaten Pontianak dan Desa Sungai Pangkalan Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Bengkayang.

Badan Pusat Statistik mencatat bahwa pada tahun 2017 Indonesia mengekspor nenas sebesar 9.586 ton, pada tahun 2018 Indonesia mengekspor nenas naik sampai 11.247 ton. Pada tahun 2017 Indonesia telah mengekspor produk primer maupun produk olahan nenas sebanyak 9.586 ton ke beberapa negara seperti Uni Emirat Arab, Korea, Jepang, Arab Saudi, Cina, Kwait dengan keuntungan sebesar \$5.893.864. Tahun 2018, jumlah ekspor produk primer maupun olahan nenas juga mengalami peningkatan sebanyak 13.366 ton (International Trade Statistics Yearbook, 2018).



Sumber: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (2008)

Gambar 3.
Budidaya Nenas di lahan Gambut Kabupaten Ogan Komering Ilir

Hal yang harus diperhatikan secara khusus adalah proses drainase, karena lahan gambut mempunyai sifat fisik dan kimia yang penting untuk dipahami bila lahan gambut digunakan untuk pertanian. Drainase harus dilakukan secara terkendali, untuk melindungi cadangan karbon lahan gambut yang demikian besar. Pemanfaatan lahan gambut untuk produktivitas nenas, memiliki dua fungsi, yaitu untuk mencegah kebakaran lahan gambut dan kedua meningkatkan pendapatan negara dengan produk pertanian berkualitas untuk diekspor. Agar pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian tidak berdampak buruk terhadap lingkungan, pengelolaannya harus berwawasan lingkungan (Marlina, 2017).

2) Budi daya buah naga di lahan gambut

Kementerian Pertanian bersama jajaran Balai Proteksi Tanaman Pangan dan Hortikultura (BPTPH) serta Laboratorium Pengamatan Hama dan Penyakit/Laboratorium Agens Hayati bersama-sama mengembangkan teknologi budi daya tanaman hortikultura tanaman buah naga (*dragon fruit*). Budi daya buah naga yang ramah lingkungan artinya aman

dikonsumsi, memiliki daya simpan lebih lama, warna kulit buah lebih cerah dan rasa buah lebih manis.



Sumber: Berita Persatuan (2016)

Gambar 4.
Budidaya Buah Naga di Lahan Gambut Kalimantan Tengah

Petani lahan gambut di Pulang Pisau, Kalimantan Tengah, membudidayakan aneka tanaman pangan seperti jagung, sorgum tanpa metode membakar, namun tidak berhasil. Setelah petani melakukan budi daya buah naga, petani berhasil mendapat produksi tinggi dan pendapatan yang meningkat. Yang lebih menggembirakan adalah budi daya buah naga tidak merusak tatanan lahan gambut dan kelestarian lahan gambut dapat dipertahankan (BPGRI (2),2019).

Budi daya buah naga di lahan gambut dimulai dengan membersihkan lahan, merancang sistem filterisasi atau penyaringan yang bertujuan agar air di lahan gambut yang bersifat asam dapat dikurangi tingkat keasamannya, sehingga dapat digunakan untuk menyiram tanaman. Sistem filterisasi adalah membuat parit berkedalaman dua sampai tiga meter di sekeliling lahan. Bila diperlukan dapat dibuat sumur sedalam dua puluh lima hingga tiga puluh meter yang nantinya dapat digunakan sebagai aliran air ke parit. Air yang mengalir di parit akan meresap ke dalam tanah gambut yang sangat porous dan mengisi air tanah, yang kemudian air dapat disedot melalui sumur.

Buah naga (dragon fruit) hasil budi daya di lahan gambut, bertekstur dan kandungan air tinggi/jusi, rasa segar dan manis. Kualitas buah dan rasanya sangat berbeda dengan kualitas buah dari tanah mineral. Budi daya tanaman buah naga di lahan gambut menggunakan kompos kotoran ternak yang sudah matang, dan tidak menggunakan bahan-bahan kimia. Selain itu hasil penelitian menggunakan refraktrometer menunjukkan tingkat kemanisan yang ada di dalam buah naga mencapai 16° briks. Tingkatan tersebut lebih manis dari *Hylocereus polyrhizus* dan *Hylocereus costaricensis* konvensional yang hanya 13° briks sampai 15° briks. Selain tingkat kemanisan, hasil penelitian dari spektrofotometer menunjukkan bila kadar gula total buah naga mencapai 15,86%. Dan keistimewaan lainnya adalah kadar vitamin C yang lebih tinggi mencapai 12,49 miligram per 100 gram. Kandungan vitamin C jauh lebih tinggi daripada hasil uji kandungan nutrisi buah naga daging merah yang pernah dirilis Taiwan Food Industry Development and Research Authorities, antara 8-9 milligram per 100 gram. Buah naga mengandung nutrisi antara lain: Air, Karbohidrat, Protein, Lemak, dan Serat, Calcium, Fosfor. Kandungan air dan Ca buah naga cukup tinggi yaitu air 90,20% dan Ca 6-10mg/100g (BPTP Balitbangtan Jawa Barat, 2016; Risnayanti, 2015).

Upaya meyakinkan masyarakat tani untuk mengelola gambut mengikuti sifat dan karakteristik lahan gambut, agar sumber pendapatan untuk kehidupan keluarga terjamin, atau supaya memperoleh tambahan pendapatan, pada awalnya tidaklah mudah. Sebagai contoh di Desa Gohong, Kecamatan Pulang Pisau, Kalimantan Tenga, lahan gambut seluas lima hektaryang mengalami kebakaran dibiarkan terbenkakai, petani tidak mau mengolah lahan gambut, atau bertanam. Perubahan terjadi setelah perusahaan Agrobisnis PT Borneo Mekar Wangi, mengedukasi masyarakat bertanam buah naga, dan sekaligus membantu memasarkan hasil. Produksi buah naga di lahan gambut mencapai 10 ton, produksi dapat diserap pasar, dengan harga per kilogramnya sekitar Rp38.000. Lahan gambut terhindar dari kerusakan, dan penggunaannya dapat berkelanjutan.

3) Penggunaan biopeat sebagai pupuk hayati asal gambut

Gambut merupakan tanah yang bersifat masam dengan persentase kejenuhan basa yang rendah, drainase dan aerasi yang jelek, serta

kelarutan Al, Fe, dan Mn yang tinggi. Tingginya tingkat keasaman (pH) pada lahan gambut berkisar antara 3 – 5, yang mengakibatkan unsur hara makro tidak tersedia dalam jumlah yang cukup, seperti kurangnya unsur Ca, N, P, K, dan Mg, sehingga lahan gambut dianggap sebagai lahan sub optimal. Penggunaan lahan gambut tanpa pengelolaan yang benar, berdampak pada kerusakan lingkungan, sampai terjadi kebakaran lahan. Menghindari hal ini pemerintah harus menyiapkan dan menyusun regulasi untuk tatakelola gambut sebagai upaya menekan resiko kebakaran lahan yang berdampak pada kerusakan lingkungan.

Badan Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) bersama PT. Riau Sakti United Plantations (RSUP), merancang produk baru yaitu Biopeat. Biopeat merupakan produk unggulan hasil rekayasa bioteknologi di laboratorium, dengan memanfaatkan lahan gambut tanpa bakar (*zero burning*) untuk kebutuhan pertanian dan perkebunan. Dengan uji laboratorium yang dimiliki BPPT, mikroorganismen lokal (*indigenous*) berupa jamur dimanfaatkan sebagai *pupuk hayati* untuk meningkatkan produktivitas lahan gambut melalui peningkatan pH tanah gambut dan penyediaan nutrisi tanaman. Peningkatan pH lahan gambut menjadi indikator peningkatan kesuburan lahan gambut dan kemudian peningkatan produktivitas lahan. Dengan teknologi biopeat ini maka kebakaran lahan gambut dapat dikurangi (Harsono, 2017).

Biopeat menjadi solusi teknologi. Lahan gambut tropis mengandung asam organik yang tinggi, yang merupakan hasil degradasi lignin dari tanaman yang melapuk dan menyebabkan peningkatan keasaman tanah yang menjadikan pH tanah menjadi rendah. Mikroba potensial dari lahan gambut seperti jamur atau bakteri dapat dimanfaatkan untuk mengonsumsi asam-asam organik sebagai sumber karbon untuk pertumbuhan, sehingga aktivitas mikroba tersebut akan memberikan dampak positif untuk perbaikan kualitas tanah.

Aplikasi pupuk hayati biopeat pada tanah gambut mampu meningkatkan pH tanah gambut yang semula rata-rata pH 3,9 (sangat asam) menjadi sekitar pH 5 (Sagiman, 2007; Abdurahman, 2014; Pangaribuan, 2015; Wirawan, 2018). Dengan meningkatnya pH gambut, maka peluang mikroba penyubur tanah lainnya yang dapat bertahan hidup di lingkungan tanah gambut juga ikut meningkat, sehingga tanah gambut menjadi lebih

subur. Melalui uji aplikasi biopeat, terbukti mampu meningkatkan produktivitas tanaman jagung sebesar 45%, buah nenas grade A sebesar 31%, dan meningkatkan kadar kemanisan buah naga hingga mencapai rata-rata Brix 15%, sementara nilai brix buah naga dari asal tanah mineral mencapai 11%.

Pada penelitian lain dilaporkan bahwa biopeat juga dapat dihasilkan dengan mengolah limbah nenas dari pabrik pengalengan nenas, melalui proses fermentasi, selama 2 – 4 minggu. Keberhasilan ini dilaporkan bahwa, sekitar 40 – 50 ton produk biopeat telah disalurkan kepada para petani lahan gambut, tanaman cabe, bawang merah, dan jagung, dan memberikan hasil yang signifikan (Wirawan, 2018). Hasil kerja sama *Academic, Business & Government* dan PT. Riau Sakti United Plantations (RSUP) dan BPPT, merupakan contoh inovasi dan hilirisasi teknologi yang berdampak kepada masyarakat. Program biopeat dapat berkontribusi nasional untuk (1) program pengelolaan lahan tanpa bakar (PLTB), (2) program ketahanan pangan nasional, dengan menjadikan pupuk hayati asal lahan gambut sebagai stimulus peningkatan produksi tanaman produksi, (3) meningkatkan kesejahteraan dan pendapatan petani, seiring peningkatan produktivitas pertanian para petani, (4) dan tetap menjaga keberkelanjutan ekosistem gambut. Bila teknologi pupuk biopeat dapat diadopsi dan dikembangkan oleh masyarakat, akan ada nilai tambah yang lebih besar dan ini merupakan, dukungan bagi program pemerintah dalam bidang ketahanan pangan (BRGRI (2), 2019).

4) Pengembangan lebah madu

Di lahan gambut Riau, Kalimantan Tengah, dikembangkan kegiatan di luar pertanian antara lain pengembangan lebah madu, karena masyarakat di daerah itu senang mengumpulkan madu liar. Produknya bagus, dan pasar ada di sana. Masyarakat lokal perlu diedukasi dalam hal meningkatkan kualitas madu, antara lain cara mengumpulkan madu terutama cara mengolah madu agar kualitas madu lebih baik. Masyarakat lokal perlu berbagi pengetahuan tentang meningkatkan akses ke pasar yang lebih luas. Pengembangan lebah madu dapat dilakukan di kebun rumah. Ancaman terbesar dari populasi lebah *Apis dorsata* adalah kebakaran hutan. Keberadaan lebah *Apis dorsata* bisa menjadi salah satu indikator sehat atau

tidaknya ekosistem hutan di kawasan gambut, ketersediaan madu sangat bergantung pada keberadaan lebah tersebut (Irawan, 2017).

Tim peneliti Pusat Penelitian Kehutanan Internasional (CIFOR) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Indonesia bekerja sama dengan masyarakat di sembilan desa dari tiga kabupaten di Provinsi Riau, untuk menggali potensi mata pencaharian yang ada di desa-desa dan memberikan peningkatan kapasitas bagi penduduk. Kerja sama ini mendukung pengelolaan Ekosistem Gambut Berkelanjutan di *Indonesia*. Tujuan kerja sama ini untuk mendukung upaya pemerintah *pelarangan penggunaan api untuk pembukaan lahan pertanian di lahan gambut*. Pengembangan ratu lebah hutan untuk pergi dari sarangnya ke tempat yang lebih menarik dapat menjadi potensi peningkatan ekonomi bagi penduduk di Provinsi Riau. Koloni lebah madu tidak dapat berkembang tanpa ratu, dan penduduk desa dapat menambah nafkah dengan membudidayakan kawanan lebah (Haris, 2018).

Petani lebah di Kabupaten Pelalawan, Indragiri Hulu dan Indragiri Hilir mengumpulkan madu liar dari pohon Sialang (*Koompassia excelsa*). Petani lebah madu dapat memanen 1,2 ton madu dari seratus sarang di satu pohon. Harga Rp 75.000 per kilogram. Sehingga pendapatan petani madu Rp. 90 juta per musim. Sebagian besar madu dapat diekspor ke Malaysia.

3. Mensegerakan Restorasi Lahan Gambut Tergradasi

Kebakaran gambut besar pernah terjadi tahun 2015. Kejadian itu menghancurkan 50% lahan gambut di Indonesia seluas tergradasi total. Pemerintah mengambil tindakan cepat untuk melindungi ekosistem gambut dengan mengupayakan restorasi. Upaya menyelamatkan gambut dari bencana kerusakan ekosistem menyeluruh adalah dengan merestorasi lahan gambut. Upaya perubahan cara pengelolaan lahan gambut ini dilakukan untuk mengurangi dampak emisi gas rumah kaca, dan kebakaran. Restorasi merupakan proses panjang untuk mengembalikan fungsi ekologi lahan gambut sekaligus meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Menurut Greenpeace, kebakaran gambut dan hutan di Indonesia, paling intens, terjadi pada lahan gambut. Hal ini karena pembentukan gambut melalui proses pembusukan dari bahan organik yang belum terdekomposisi secara sempurna. Bila lahan gambut dengan kandungan

bahan organik tinggi dikeringkan, akan lebih mudah terbakar. Bila terbakar, lahan gambut cenderung sulit dipadamkan karena api cepat meluas di dalam tanah (Haris, 2018).

a. Menata ulang sistem pengelolaan lahan gambut

Kebakaran lahan mengakibatkan terganggunya kegiatan ekonomi dan kesehatan masyarakat di sekitar lahan. Untuk itu perlu pengaturan pengelolaan gambut antara lain (1) Kedalaman gambut lebih dari 4 meter merupakan kawasan konservasi, (2) dapat mengelola gambut dengan kedalaman 1-4 m secara lestari dan tidak menetapkannya sebagai hutan konversi, (3) merehabilitasi lahan gambut yang mengalami drainase, (4) menanam pohon dengan jenis tanaman lokal.

Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 14/Permentan/PL.110/2/2009, tentang Pedoman Pemanfaatan Lahan Gambut untuk Budi daya Kelapa Sawit sudah dicabut. Maka restorasi lahan gambut yang tergradasi ditata kembali melalui pola 3R yaitu: 'Rewetting, Revegetation, dan Revitalisation mata pencaharian. Restorasi pola 3R diharapkan dapat berperan dalam pengurangan emisi, kebakaran, penurunan muka tanah gambut, sekaligus memberikan alternatif mata pencaharian bagi masyarakat di sekitarnya.

Rewetting, merupakan tindakan restorasi gambut yang sudah terdrainase, atau pembasahan kembali. *Rewetting* dapat dilakukan dengan menyiapkan infrastruktur pembasahan seperti pembuatan sekat kanal (*canal blocking*), dapat juga dengan penimbunan kanal (*canal backfilling*), pengadaan sumur bor (*deep wells*); anal (*canal blocking*) maupun penutupan kanal. Pembasahan kembali lahan gambut yang sudah terdrainase, disesuaikan dengan fungsi ekosistem gambut (BRGRI (2), 2019; Ramdhan,2017).

Revegetasi adalah upaya pemulihan tutupan lahan pada ekosistem gambut. Metode yang digunakan adalah menanam kembali jenis tanaman asli atau membudidayakan jenis tanaman yang adaptif terhadap lahan basah yang memiliki nilai ekonomi. Revegetasi juga diikuti dengan pembuatan persemaian, pembibitan, penanaman. Regenerasi vegetasi gambut dilakukan dengan menanam tanaman endemis yang memiliki daya adaptasi di lahan gambut terbuka, pengayaan penanaman (*enrichment planting*) pada kawasan hutan gambut terdegradasi, peningkatan dan

penerapan teknik agen penyebar benih (*seed dispersal techniques*) . Untuk mempercepat proses revegetasi, dapat dilakukan regenerasi alami (*natural regeneration*), atau menyiapkan agen penyebar benih (*seeds dispersal mechanism*). Teknik revegetasi dilakukan dengan sistem surjan dan paludikultur. Sistem surjan adalah agroforestri yang tidak membutuhkan adanya saluran atau kanal drainase sehingga lahan gambut dapat dipertahankan tetap basah. Sistem paludikultur, merupakan sistem budi daya tanaman yang menggunakan tanaman rawa atau tanaman lahan basah, dan tidak memerlukan drainase (BRGRI (1), 2019).

Revitalisasi merupakan upaya mengembangkan sumber mata pencaharian alternatif yang , berkelanjutan dan ramah ekosistem gambut,. Revitalisasi mengikuti kondisi lahan (*land-based*), tata air gambut (*water-based*), dan berbasis lingkungan (*environmental services-based*). Upaya ini harus dilakukan penelitian yang bersifat ilmiah, untuk dapat menentukan mata pencaharian yang bersifat berkelanjutan. Revitalisasi dapat menghindari tindakan investigasi dan lebih diarahkan kepada pembuktian. Maka semua perlakuan dan tindakan dapat dilakukan oleh masyarakat bersama-sama dengan pemerintah. Sebagai contoh pengelolaan lahan gambut tanpa harus melakukan pembakaran.

b. Pendampingan Masyarakat Lokal

Lahan gambut harus dipulihkan, dengan mengelola secara berkelanjutan, bersama semua lapisan masyarakat. Badan Restorasi Gambut (BRG) membantu mendampingi masyarakat Papua untuk menjaga agar lahan gambut dikelola sesuai dengan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD). Di Papua sugu banyak tumbuh secara alami. Masyarakat di Kabupaten Merauke, Kabupaten Mappianaman, diarahkan untuk mengembangkan budi daya tanaman sugu (Elisabeth, 2017). Dengan adanya pendampingan dari BRG, budi daya sugu di lahan gambut dapat menghasilkan produk *turunan* yang memberi manfaat secara ekonomi. Restorasi gambut di Papua melalui Program Pendampingan masyarakat saat membuka lahan untuk budi daya tanaman sugu tidak dengan cara membakar. Sugu tanaman ramah gambut, tanaman sugu dapat menyerap air 200%-1000%. Masa panen sugu di lahan gambut sekitar 10-12 tahun. Sugu sekali tanam, tidak perlu tanam tidak perlu dipupuk atau dibersihkan.

Di samping itu tanaman Sagu juga berfungsi sebagai tanaman pelindung agar lahan gambut tak mengering dan terbakar.

Perubahan mata pencaharian lokal menjadi lebih ramah lahan gambut. Program Dana Mitra Gambut Indonesia dengan manajemen Wetlands International Indonesia yang berkoordinasi dengan BRG, diharapkan dapat membantu pemerintah Indonesia memulihkan lahan gambut tahun 2016-2020.

Komitmen nasional dengan merestorasi lahan gambut, diharapkan dapat mengurangi kerusakan lahan gambut, penurunan kesehatan masyarakat seperti gangguan pernapasan akibat serbuan asap, gangguan proses pembelajaran di sekolah tidak dapat berjalan normal sampai penutupan sekolah.

PENUTUP

Gambut merupakan *ekosistem yang unik* yang menyimpan potensi yang besar untuk konservasi lahan, fungsi hidrologi, dan tata air. Gambut juga berpotensi sebagai cadangan karbon, sumber CO₂, gas rumah kaca seperti gas Metana (CH₄), dan Nitrousoksida (N₂O). Selain itu gambut juga berperan dalam biodiversitas kenyamanan lingkungan dan kehidupan satwa dunia. Gambut mudah terbakar apabila menerima intensitas cahaya matahari secara berlebihan, tergradasi, atau *over drain*. Penggunaan gambut tanpa pengelolaan yang benar, yang mengikuti kaedah sifat fisik dan kimia lahan gambut, berdampak pada kerusakan lingkungan, pengeringan *irreversible*, dan kebakaran.

Ekosistem gambut harus diselamatkan dari bencana kehancuran. Restorasi dengan *Rewetting*, *Revegetation*, dan *Revitalisation* menjadi kunci menyelamatkan lahan gambut. Restorasi harus dilakukan agar fungsi gambut dapat dikembalikan ke kondisi alamiah. Restorasi yang sudah dicanangkan oleh pemerintah, instansi, masyarakat sekitar gambut, dilanjutkan, dan dikawal bersama, agar berkesinambungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, T. (2014). *Dinamika pertumbuhan dan hasil jagung (Zea MaysL.) akibat pemberian amelioran lumpur laut cair dan pupuk kotoran sapi pada tanah gambut* (Disertasi). Bandung: Pascasarjana Universitas Padjadjaran Bandung.
- Balai Besar Penelitian Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (2008). *Lahan gambut sebagai sumber penghidupan masyarakat lokal*. Diakses pada 27 Juli 2019, dari www.cifor.org.
- Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Balitbangtan Jawa Barat Kementerian Pertanian (2016). *Petunjuk teknis budi daya buah naga*. Jawa Barat: BPTP Balitbangtan Jawa Barat.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) (2018). *Biopeat pupuk yang menggenjot produktivitas tanaman*. Editor Mukhlison. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia (BRGRI-1) (2019). *Three years of peatlands restoration in Indonesia report*. Jakarta: Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia.
- Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia (BRGRI-2) (2019). *Bijak kelola lahan gambut*. Jakarta: Badan Restorasi Gambut Republik Indonesia.
- Berita Teknologi Agroindustri & Bioteknologi (2018). *Inovasi biopeat, lahan gambut kini bisa panen jagung*. Diakses pada 12 September 2019, dari <https://www.mongabay.co.id>
- Berita Persatuan (2016). *Manisnya buah naga di lahan gambut*. Diakses pada 25 Juli 2019, dari <http://beritapersatuan.com>
- Elisabeth, A. (2017). *Upaya menjaga lahan gambut Papua*. Diakses pada 20 September 2019, dari <https://www.mongabay.co.id/2017>

- Haris, H.M. (2018). *New peatland protection center in Indonesia A “Triple Win” for humanity*. Diakses pada 25 Juli 2019, dari <https://forestsnews.cifor.org/57541/how-far-has-indonesia-come-on-peatland-conservation-and-restoration>
- Haris, H.M. (2018). How far has Indonesian come on peatland conservation and restoration. Storing “disproportionate” amounts of carbon, the Archipelago’s Peatlands are vital to achieving climate goals. *Forest News*, Agustus 2018.
- Harsono, A., Husein, E., Sucahyono, D., & Muzaiyanah, S. (2017). *Pupuk hayati untuk mendukung pengembangan produksi kedelai di tanah masam*. Malang: Balitkabi. Litbang.
- Irawan, Y.K. (2017). *Kabut asap kebakaran hutan menyebar ke perbatasan Malaysia*. Diakses pada 22 September 2019, dari <https://regional.kompas.com/read/2017/11/05/12463101/panen-madu-hutan-di-kapuas-hulu-kearifan-lokal-menyesuaikan-zaman?page=all>
- International Trade Statistics Yearbook (2018). *Trade By Country* (Vol.1). United Nations New York: United Nations Publication.
- Kolka, R. K, Murdiyarso, D., Kauffman, J.B, & Birdse R. A. (2016). Tropical wetlands, climate, and land-use change: Adaptation and mitigation opportunities. *Wetlands Ecol Manage*. doi: 10.1007/s11273-016-9487-x.
- Marlina, S. (2017). Pengelolaan ekosistem gambut pasca kebakaran lahan gambut di Provinsi Kalimantan Tengah. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2 (1).

- Masganti, Wahyunto, Dariah, A., Nurhayati, & Yusuf. R., (2011). *Karakteristik dan potensi pemanfaatan lahan gambut terdegradasi di Provinsi Riau*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Murdiyarto, D. & Suryadiputra, N. (2004). *Tropical peatlands management and climate change: a case study In Sumatra, Indonesia*. Jyvaskyla, Finland: International Peat Society.
- Ramsay, D. (2017). *Peatlands involves looking at the soil composition below*. Diakses pada 25 Juli 2019, dari <https://www.flickr.com/photos/cifor/36416704930/in/photostream>
- Ramadhan, M. (2017). Analisis persepsi masyarakat terhadap kebijakan restorasi lahan gambut di Kalimantan Tengah. *Jurnal Risalah Kebijakan Pertanian dan Lingkungan*, 4 (1).
- Risnayani, Sabang, S.M., & Ratman. (2015). Analisis perbedaan kadar vitamin C buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) dan buah naga putih (*Hylocereus undatus*) yang tumbuh di desa Kolono Kabupaten Morowali Provinsi Sulawesi Tengah Palu. *Jurnal Akademika Kimia*, 4(2): 91-96.
- Pangaribuan, N. (2015). *Beberapa sifat kimia tanah dan pertumbuhan hasil tanaman kedelai (*Glicine max L. Merr*) pada histosols akibat aplikasi mikroorganisme indigenus dan pembenah tanah* (Disertasi). Bandung: Pascasarjana Universitas Padjadjaran Bandung.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia (2009). *Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 14/Permentan/Pl.110/2/2009 tentang Pedoman pemanfaatan lahan gambut untuk budi daya kelapa sawit*. Jakarta: Kementerian Pertanian Republik Indonesia.

- Sagiman, S. (2007). *Pemanfaatan lahan histosol dengan perspektif pertanian berkelanjutan* (Orasi Guru Besar). Pontianak: Fakultas Pertanian Tanjung Pura.
- Tim Sintesis Kebijakan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (2008). Pemanfaatan dan konservasi ekosistem lahan rawa gambut di Kalimantan. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 1(2): 149-156.
- Wetlands International-Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada (2014). *Peta sebaran lahan histosol, luas dan kandungan karbon di Kalimantan (Map of Peatland Distribution Area and Carbon Content in Kalimantan, 2000 – 2002)* (1st Edition). Wetlands International-Indonesia Programme & Wildlife Habitat Canada.
- Wirawan, S. S. (2018). *Biopeat BPPT, pupuk yang menggenjot produktivitas tanaman*. Diakses pada 27 Juli 2019, dari <https://www.gatra.com/detail/news/341286-Biopeat-BPPT-Pupuk-yang-Menggenjot-Produktivitas-Tanaman>



05

**PENGELOLAAN SAMPAH
PLASTIK UNTUK MITIGASI
BENCANA LINGKUNGAN**

(Lina Warlina)

PENGELOLAAN SAMPAH PLASTIK UNTUK MITIGASI BENCANA LINGKUNGAN

Lina Warlina
(warlina@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

Seiring berkembangnya teknologi, industri dan jumlah penduduk, penggunaan plastik dan barang-barang berbahan dasar plastik semakin meningkat. Plastik banyak digunakan dalam berbagai keperluan karena sifatnya yang ringan, kuat, tidak mudah pecah, fleksibel, mudah dibentuk, tahan karat, mudah diberi warna, isolator panas dan listrik yang baik serta harganya yang terjangkau. Berdasarkan hasil studi, Indonesia adalah negara penghasil sampah plastik nomor dua di dunia setelah Tiongkok, yang berkontribusi atas 3,2 juta ton sampah di lautan setiap tahunnya. Hal itu membuat Indonesia jadi penghasil sampah plastik terbanyak di Asia Tenggara. Diperlukan waktu puluhan hingga ratusan tahun untuk terdegradasinya sampah plastik tersebut. Banyaknya sampah plastik ini akan berdampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan yang akhirnya dapat menimbulkan bencana, antara lain emisi gas rumah kaca ke atmosfer serta banjir. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan pengelolaan sampah plastik untuk mitigasi bencana lingkungan. Mitigasi dapat dilakukan dengan pendekatan teknologi; sosial, ekonomi budaya; serta kelembagaan. Pendekatan teknologi dapat dilakukan misalnya penggunaan pirolisis, penggunaan *hydro thermal*, ataupun penggunaan bahan baku yang ramah lingkungan. Pelibatan masyarakat, dan sosialisasi merupakan contoh pendekatan secara sosial dan budaya dan pendekatan ekonomi dapat dilakukan dengan penerapan ekonomi sirkuler. Untuk pendekatan kelembagaan dilakukan dengan melibatkan pemerintah pusat maupun daerah dalam implementasi kebijakan atau peraturan-peraturan yang ada serta penyiapan peraturan baru terkait pengurangan sampah plastik.

Kata Kunci: mitigasi, sampah plastik, pendekatan teknologi, pendekatan sosial ekonomi budaya, pendekatan kelembagaan

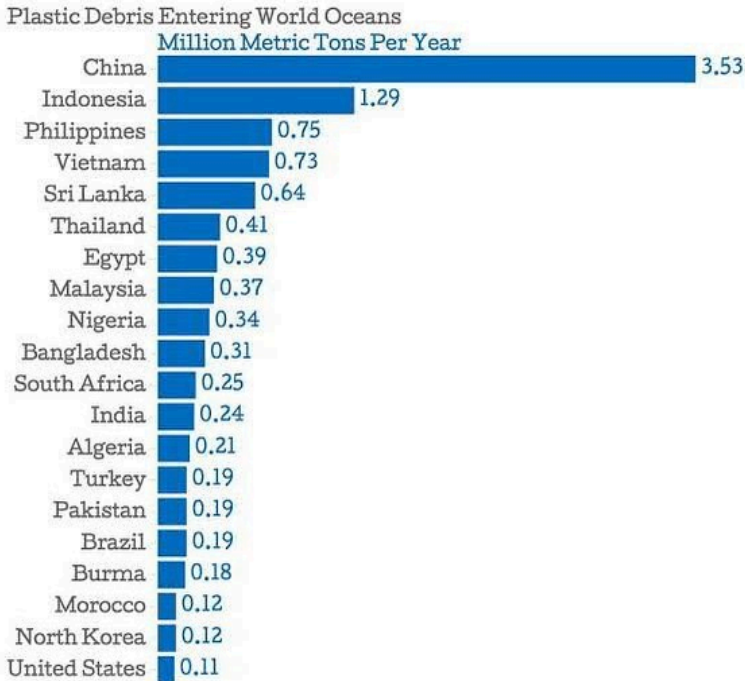
PENDAHULUAN

Saat ini, kehidupan kita tidak terlepas dari plastik. Dengan berkembangnya penduduk, teknologi dan industri, penggunaan barang-barang dari plastik semakin meningkat. Plastik banyak digunakan karena sifatnya yang mudah dibentuk, sebagai isolator, ringan, produksinya mudah dan murah. Karena fleksibilitasnya yang tinggi, plastik juga merupakan bahan utama dalam kemasan, bangunan, transportasi, peralatan medis dan sebagainya. Di samping manfaatnya yang besar, plastik mempunyai sifat yang sukar di degradasi. Diperlukan waktu 10-12 tahun untuk mendegradasi kantong plastik. Sedangkan untuk botol plastik diperlukan waktu lebih lama lagi, yaitu 20 tahun karena polimernya lebih kompleks dan lebih tebal. Lebih lama lagi waktu yang diperlukan untuk degradasi styrofoam yang sering digunakan sebagai tempat makanan, yaitu sekitar 500 tahun untuk dapat hancur sempurna (Wahyuni, 2015). Dengan waktu degradasi yang cukup lama ini, maka limbah plastik ini makin lama akan semakin terakumulasi, sehingga akan terjadi pencemaran dan berdampak negatif terhadap lingkungan.

Pada tahun 2016, 335 juta ton plastik diproduksi secara global yang menandakan bahwa plastik sangat populer dan digunakan dalam aplikasi yang luas (Plastic Europe, 2017). Hingga saat ini, sampah plastik umumnya dibuang ke tempat pembuangan sampah dengan system *dumping*, yaitu dibuang di tempat terbuka dan hanya sebagian kecil yang di *recycle*. Minimal 8 juta ton sampah plastik yang ada di alam akan bermuara di laut pada setiap tahunnya dan jumlah sampah plastik di lautan sekitar 150 juta ton saat ini (Vidilaseris, 2016). Hal ini merupakan tantangan bagi para ilmuwan untuk meneliti bakteri pendegradasi plastik.

Tingkat ketergantungan manusia terhadap plastik sudah sangat tinggi saat ini. Namun demikian, banyak masyarakat yang belum mengetahui bahaya dari plastik, dan penggunaan plastik yang benar. Berdasarkan peneliti Jenna Jambeck dari Universitas Georgia, Amerika Serikat, disebutkan bahwa Indonesia merupakan penghasil sampah plastik nomor dua di dunia setelah Tiongkok (Ambari, 2019). Walaupun penelitian tersebut masih dipertanyakan parameternya, namun banyak kalangan telah mempercayai hasil penelitian tersebut termasuk lembaga swasta serta

pemerintahan di dalam dan luar Indonesia. Gambar 1 memperlihatkan hasil penelitian dari Jenna Jambeck terkait urutan negara penghasil sampah plastik yang berasal dari daratan dan masuk ke wilayah laut.



Chartbuilder

Data: Jenna R. Jambeck et. al.

Sumber: Jenna Jambeck/chartbuilder/Mongabay Indonesia

Gambar 1.
Urutan Negara Penghasil Sampah Plastik yang Masuk ke Wilayah Laut

Kenyataan ini sangat meresahkan, data yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kelautan (KLHK) menyebutkan bahwa plastik dari 100 toko dalam kurun waktu satu tahun mencapai 10,95 juta lembar sampah plastik, yang setara dengan luas 65,7 hektar kantong plastik atau 60 kali luas lapangan sepak bola (Wahyuni, CNN Indonesia, 2016).

Dapat dibayangkan, bila hal tersebut dibiarkan terus menerus tanpa ada kebijakan yang mengatur pengurangan plastik, maka sampah plastik ini akan menjadi bencana bagi lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan mitigasi untuk menghindari bencana sampah plastik terhadap lingkungan.

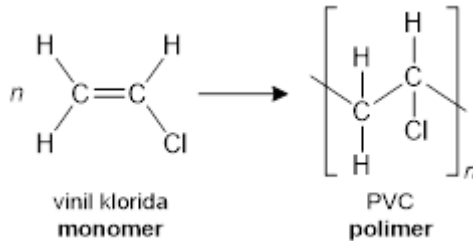
Sebagian besar plastik yang diproduksi adalah penggunaan plastik tunggal. Sekitar 40% dari plastik diproduksi untuk pengemasan. Polietilen termoplastik (PE), polyethylene terephthalate (PET), polypropylene (PP) dan polystyrene adalah plastik yang paling sering digunakan sebagai kemasan. Hal ini, ditambah pula dengan budaya sekali pakai, yang membawa dua konsekuensi utama yaitu polusi dan hilangnya sumber daya yang berharga, misalnya rusaknya lapisan tanah karena adanya pencemaran plastik di tanah. Di Eropa, 70% dari sampah plastik yang dikumpulkan berakhir di tempat pembuangan sampah atau dibakar. Di AS, 53% dari total sampah padat ditimbun, dengan persentase sampah plastik adalah 13% dari total sampah tersebut. Potensi untuk mendaur ulang limbah plastik sebagian besar tidak dieksploitasi, dengan tingkat daur ulang sangat rendah, hanya 6% dari total permintaan plastik (Narancic and O'Connor, 2019).

Di Indonesia, dari total timbulan sampah, ada 15% sampah plastik. Dari total sampah plastik, hanya 10-15% yang di daur ulang dan 60-70% ditampung di TPA. Sisanya sebesar 15-30% yang belum terkelola akan terbuang ke lingkungan, yaitu ke sungai, danau, pantai, dan laut. *Marine plastics* (sampah plastik di lautan) sudah menjadi permasalahan dunia, tidak hanya di Indonesia saja. Hal ini disebabkan tidak adanya wilayah teritori negara atau wilayah administrasi bagi sampah laut. Selain itu, peningkatan secara signifikan terjadi berdasarkan jumlah dan sebarannya (Amani, 2018).

Untuk dapat menjelaskan mitigasi bencana lingkungan akibat sampah plastik, maka perlu memahami perilaku plastik terlebih dahulu. Oleh sebab itu, tulisan ini akan menjelaskan terlebih dahulu mengenai jenis-jenis plastik serta dampak plastik terhadap kesehatan dan lingkungan. Pengelolaan sampah plastik akan ditinjau secara pendekatan teknologi, pendekatan sosial, ekonomi, budaya serta pendekatan kelembagaan.

JENIS-JENIS PLASTIK

Plastik merupakan polimerisasi sintetik atau semi-sintetik yang terjadi karena kondensasi organik atau penambahan polimer dan dapat pula terdiri dari zat lain untuk meningkatkan nilai tambah (ekonomi). Polimer yang terbentuk merupakan rantai panjang atom mengikat satu sama lain, sehingga terbentuk rantai panjang (polimer) yang berasal dari monomer. Umumnya plastik terdiri dari polimer karbon saja atau dengan oksigen, nitrogen, chlorine atau belerang. Contoh pembentukan plastik PVC (poly vinil klorida) yang terbentuk dari monomer vinil klorida sebagai berikut pada Gambar 2.

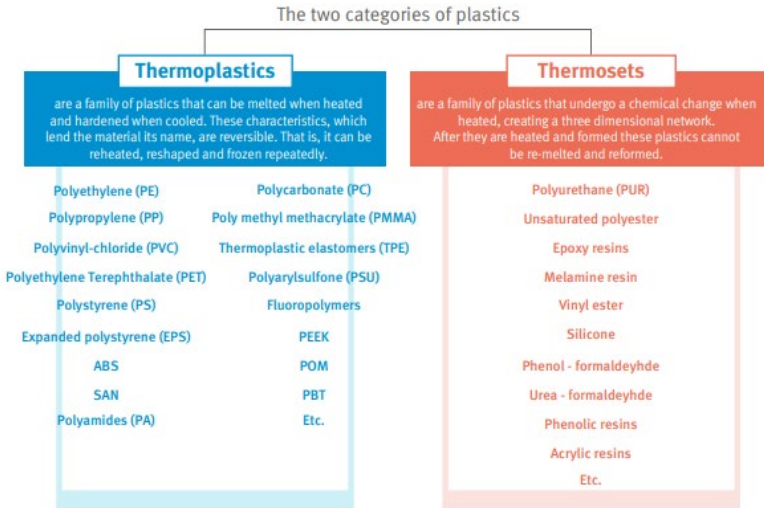


Sumber: Studio belajar (2019)

Gambar 2.

Polimerisasi Vinil Klorida Menjadi Poly Vinil Klorida (PVC)

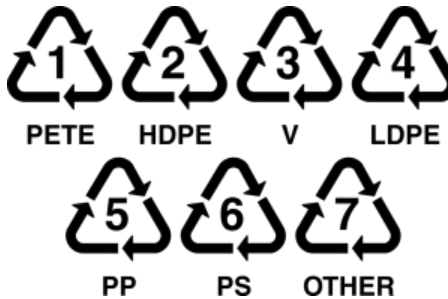
Berdasarkan Plastic Europe (2018), plastik dibagi dalam 2 kategori yaitu *thermoplastics* dan *thermosets* seperti pada Gambar 3. *Thermoplastics* adalah plastik yang dapat melekat sesuai perubahan suhu, bersifat *reversibel* serta meleleh pada suhu tertentu. Proses pemanasan akan menjadikan plastik kembali mengeras. Untuk kategori *thermoset* yaitu jenis plastik yang tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Plastik ini apabila telah mengalami kondisi tertentu tidak dapat dibentuk kembali. Setelah proses pengerasan, plastik ini tidak dapat dilunakkan kembali dan pada proses pemanasan yang tinggi akan membentuk arang serta akan terurai.



Sumber: Plastics Europe (2018)

Gambar 3.
Kategori Plastik

Jenis *thermoplastic* ini dapat dikelompokkan menjadi tujuh tipe plastik menurut *The Society of the Plastic Industry* (1988) seperti pada Gambar 4 sebagai berikut.



Sumber: waste4change (2018)

Gambar 4.
Tujuh Tipe Plastik

Akan dijelaskan satu persatu tipe plastik tersebut sebagai berikut (waste4change, 2018; *The Society of the Plastics Industry*, 1988).

1. PET atau PETE atau Polyester

Polyethylene Terephthalate (PET) terkadang menyerap bau dan rasa dari makanan dan minuman yang disimpan di dalamnya. Item yang terbuat dari plastik ini biasanya dapat didaur ulang. Plastik PET (E) biasa digunakan untuk alat rumah tangga seperti serat karpet, tali, pakaian, botol minuman dan botol obat seperti yang terlihat pada Gambar 5 berikut ini.



Sumber: waste4change (2018)

Gambar 5.

Tipe Plastik Polyethylene Terephthalate

PET mengandung bahan yang bersifat karsinogen yaitu antimony trioxide. Bila cairan semakin lama berada dalam kemasan PET, maka kemungkinan aktifnya antimony semakin besar. Selain itu, suhu panas juga akan meningkatkan terlepasnya zat tersebut.

2. High Density Polyethylene (HDPE)

Produk-produk Polyethylene mempunyai kepadatan tinggi dan lebih tebal dibandingkan PET. Produk HDPE biasanya didaur ulang. Barang yang terbuat dari plastik ini contohnya adalah wadah untuk susu, oli motor, sampo dan kondisioner, botol sabun, deterjen, dan pemutih (Gambar 6).



Sumber: waste4change (2018)

Gambar 6.
Tipe Plastik High Density Polyethylene

Jenis plastik ini cukup aman untuk digunakan bersama makanan dan minuman. Namun demikian tidak pernah aman untuk digunakan kembali botol HDPE sebagai wadah makanan atau minuman jika semula tidak mengandung makanan atau minuman.

3. Polyvinyl Chloride (PVC)

Polivinil Klorida terkadang didaur ulang. PVC digunakan untuk semua jenis pipa, sebagai bahan dasar produk mainan anak, pembungkus plastik, botol detergen kantung darah dan perlengkapan medis (Gambar 7).



Sumber: waste4change (2018)

Gambar 7.
Tipe Plastik Polyvinyl Chloride

Jenis plastik ini tidak boleh bersentuhan dengan makanan item seperti itu bisa berbahaya jika tertelan. PVC merupakan bahan plastik yang banyak digunakan setelah polyetilen. Terkait pembuangannya, PVC merupakan masalah untuk polusi lingkungan karena dapat menyebabkan kesehatan yang serius.

4. Low Density Polyethylene (LDPE)

Poliethilen mempunyai kepadatan rendah dengan struktur polimer yang paling sederhana. Jenis ini sulit didaur ulang dan merupakan jenis plastik yang terbanyak digunakan serta merupakan plastik sehat yang cenderung tahan lama dan fleksibel. Item seperti cling-film, tas sandwich, botol yang bisa diremas, dan plastik tas belanjaan terbuat dari LDPE (Gambar 8).



Sumber: waste4change (2018)

Gambar 8.
Tipe Plastik Low Density Polyethylene

5. Polypropylene (PP)

Polypropylene kadang-kadang didaur ulang, namun tidak mudah. PP kuat dan bisa biasanya tahan suhu yang lebih tinggi. Plastik ini cukup aman untuk bahan makanan, sehingga biasa digunakan untuk membuat kotak makan siang, wadah margarin, pot yogurt, botol sirup, botol resep (Gambar 9). Tutup botol plastik sering dibuat dari PP.



Sumber: waste4change (2018)

Gambar 9.
Tipe Plastik Polypropylene

6. Polystyrene (PS)

Polystyrene umumnya didaur ulang, tetapi sulit dilakukan. Item seperti gelas kopi sekali pakai, kotak makanan plastik, alat makan plastik dan busa pengepakan dibuat dari PS (Gambar 10).



Sumber: waste4change (2018)

Gambar 10.
Tipe Plastik Polystyrene

Saat terkena suhu panas, PS dapat melepaskan styrene yang dapat mengganggu system syaraf dan otak, serta dapat berdampak pada genetik, paru-paru hati dan kekebalan tubuh.

7. Lainnya

Selain enam kode tersebut, kode 7 digunakan untuk berbagai jenis plastik yang bukan didefinisikan oleh enam kode tersebut. Yang termasuk dalam kode 7 ini adalah Polycarbonate dan Polylactide yang sulit daur ulang. Polycarbonate (PC) digunakan dalam botol bayi, compact disc, dan wadah penyimpanan medis. PC merupakan tipe plastik yang paling banyak dikategorikan pada tipe ini. Namun sekarang plastik golongan ini sudah tidak banyak lagi digunakan karena memiliki kandungan bisphenol A (BPA) yang dapat menyebabkan masalah kesehatan antara lain kerusakan kromosom pada rahim wanita dan penurunan jumlah sperma. Beberapa negara sudah melarang penggunaan PC pada botol susu bayi dan balita serta kemasan susu formula.

DAMPAK TERHADAP KESEHATAN DAN LINGKUNGAN

Berdasarkan berbagai penelitian, penggunaan plastik dapat mengganggu kesehatan dan memicu kanker bila penggunaannya tidak sesuai persyaratan. Selain itu, sulit untuk terdegradasi oleh mikroorganisme menjadikan sampah plastik akan semakin menumpuk dan dapat mengganggu lingkungan karena terjadi pencemaran dan selanjutnya berdampak terhadap kesehatan juga.

Solusi pengurangan sampah plastik dengan pembakaran bukan merupakan jalan keluar yang baik, karena akan menghasilkan gas yang membahayakan serta berdampak terjadi pencemaran udara. Gas ini dapat menyebabkan gangguan pernafasan. Pencemaran terhadap tanah juga akan terjadi jika plastik ditimbun dalam tanah.

Selain zat dari plastiknya sendiri, umumnya plastik misalnya PVC, ditambahkan dengan suatu zat kimia lainnya sebagai pelembut agar tidak kaku dan rapuh. Contoh pelembut tersebut antara lain epoxidized soybean oil (ESBO), di(2-ethylhexyl) adipate (DEHA), dan bifenil poliklorin (PCB), acetyl tributyl citrate (ATBC) dan di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP). Masalah akan timbul, karena penggunaan bahan pelembut ini akan berdampak terhadap kesehatan. Misalnya, penggunaan PCB akan mengakibatkan kematian pada jaringan dan kanker pada manusia, sehingga penggunaannya dilarang saat ini (Karuniastuti, 2017).

Keracunan PCB di Jepang dikenal dengan *yusho*, yaitu penyakit yang ditandai dengan gejala pigmentasi kulit dan benjolan-benjolan kulit, gangguan perut, serta tangan dan kaki lemas. Selain itu dapat pula menyebabkan kematian pada bayi pada kandungan dan lahir cacat. Dengan demikian, untuk menghindari kemungkinan bahaya yang diakibatkan oleh plastik, maka gunakan plastik secara tepat. Jika memang harus menggunakan plastik, maka gunakan plastik yang terbuat dari polietilena dan polypropylene atau bahan alami.

Yang perlu diperhatikan pula dalam plastik adalah kontaminasi zat warna. Misalnya, kantong kresek berwarna hitam yang digunakan untuk makanan yang panas (contoh gorengan), sebaiknya dihindari, karena berbahaya. Zat dalam plastik tersebut akan terurai membentuk radikal yang dapat membahayakan tubuh (Karuniastuti, 2017). Salah satu penyebab rusaknya lingkungan hidup saat ini adalah pembuangan sampah plastik. Kantong plastik merupakan sampah yang berbahaya dan sulit dikelola. Karena mempunyai waktu degradasi yang sangat lama, sampah plastik akan menumpuk terus. Pada saat penumpukan dan terurai, plastik akan mencemari tanah dan air tanah.

Sebagian besar plastik berbahan dasar minyak sangat tahan terhadap biodegradasi, yang berarti bahwa begitu plastik mencapai lingkungan, pasti akan menumpuk, menghasilkan dampak negatif terhadap lingkungan. Ada risiko jangka panjang pelepasan bahan kimia berbahaya dari limbah plastik di tempat pembuangan sampah dan kontaminasi air tanah. Penggunaan plastik sekali pakai berkontribusi sebesar 50% dari sampah laut dan pantai di Eropa. Puing-puing plastik adalah polutan utama di lautan yang dapat membunuh ratusan ribu penyu, anjing laut, paus dan burung laut karena tertelan atau terjerat. Ada juga kekhawatiran tentang polusi mikroplastik. Apalagi, mikroplastik sudah terbukti berdampak pada sifat biofisik tanah, membawa tentang perubahan fungsional pada tanah. Karena itu, plastik mungkin menyebabkan perubahan terestrial global ekosistem, daripada menunjukkan efek yang langsung mematikan (Narancic & O'Connor, 2019). Sampah plastik yang masuk ke laut akan berubah menjadi mikroplastik dengan ukuran 0,3–5 milimeter yang merupakan partikel-partikel kecil sehingga akan mudah dikonsumsi oleh hewan-hewan laut, dan kemudian

dikonsumsi oleh manusia. Sampah di darat lebih berbahaya lagi. Selain membuat lingkungan tak higienis juga membahayakan manusia.

Secara rinci akibat yang ditimbulkan sampah plastik adalah (Dinas Perumahan, Permukiman dan Pertanahan, 2018).

1. Terjadinya pencemaran tanah, air tanah dan organisme yang berada di dalam tanah.
2. Zat-zat yang berasal dari plastik yang masuk ke tanah akan berdampak terbunuhnya binatang-binatang pengurai di tanah, contohnya cacing
3. Plastik yang tidak dapat terurai, misalnya PCB, dan termakan oleh hewan, dan akan masuk ke rantai makanan.
4. Kantong plastik yang terdapat dalam tanah, akan mengganggu penyerapan air.
5. Sirkulasi udara dalam tanah serta gerak makhluk bawah tanah yang berfungsi sebagai penyubur tanah akan terganggu sehingga kesuburan tanah menurun.
6. Karena sifatnya yang ringan, kantong plastik dapat dengan mudah diterbangkan angin hingga ke laut.
7. Tumpukan plastik dapat menjerat hewan-hewan.
8. Kantong plastik yang berada di laut dapat dimakan oleh hewan-hewan laut karena menganggapnya sebagai makanan, sehingga dapat menyebabkan kematian.
9. Plastik yang berada dalam tubuh hewan yang telah mati tidak akan hancur, sehingga dapat meracuni hewan lainnya.
10. Banjir dapat terjadi karena adanya pendangkalan sungai-sungai yang disebabkan pembuangan plastik yang sembarangan.

MITIGASI SAMPAH PLASTIK TERHADAP LINGKUNGAN

Mitigasi sampah plastik terhadap lingkungan dapat dilakukan dengan beberapa cara. Dari sisi pengelolaan, untuk meminimalisasi sampah plastik, pengelolaan sampah plastik sebaiknya mengikuti produksi lingkaran plastik. Plastik yang saat ini diproduksi dalam ekonomi linear, yaitu ambil, buat dan buang, dengan daur ulang terbatas, diubah menjadi siklus produksi melingkar. Dalam siklus produksi melingkar, plastik didaur ulang dan digunakan kembali melalui konversi ke produk berharga seperti polimer

yang dapat terbiodegradasi [polihidroksialkanoat (PHA)]. Memperkenalkan plastik biodegradable melalui daur ulang limbah akan memungkinkan pengembalian karbon plastik dengan cara yang terkelola, aman dan berkelanjutan. Siklus produksi melingkar dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Sumber: Narancic and O'Connor (2019)

Gambar 11.
Produksi Lingkaran Plastik

Banyak penelitian yang telah dilakukan terkait sampah plastik. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi limbah plastik agar tidak mencemari lingkungan. Berbagai macam pendekatan telah dilakukan antara lain pendekatan teknologi, ekonomi, sosial dan budaya.

1. Pendekatan teknologi

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan terkait sampah plastik dengan menggunakan pendekatan teknologi antara lain adalah pemanfaatan limbah plastik menjadi bahan bakar dengan proses daur ulang (*recycle*) dengan pirolisis yang telah dilakukan oleh Wahyudi, Prayitno dan Astuti (2017). Hasil proses pirolisis sampah tersebut adalah bahan bakar yang mempunyai kualitas lebih baik dari minyak solar tetapi di bawah minyak tanah.

Metode *Hydro Thermal* (air panas) dapat pula digunakan untuk pengelolaan limbah plastik menjadi lebih aman dan sederhana. Penggunaan air panas yang dididihkan pada suhu tertentu akan menjadikan plastik berubah wujud dan melarut, sehingga zat klorin yang ada pada plastik berubah menjadi garam sehingga lebih aman bila dibuang ke laut. Tujuan teknologi ini adalah dengan menggunakan *hydro thermal*, plastik-plastik dapat segera terurai tanpa menunggu waktu yang lama. Karena kurangnya sumber informasi, metode pemanfaatan sampah plastik masih ini belum diaplikasikan sepenuhnya. Penjelasan terkait penggunaan air panas masih belum dipahami masyarakat (kompasiana.com, 2018). Diharapkan teknologi ini dapat lebih disosialisasikan dan dapat diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

Industri saat ini juga telah mengembangkan plastik yang mudah terurai, sebagai contoh adalah PT Chandra Asri, PT PT. Tirta Marta, dan PT Inter Aneka Lestari Kimia yang berupaya mengembangkan produk plastik yang mudah terdegradasi sehingga mengurangi dampak terhadap lingkungan (bppt.go.id., 2012).

PT Chandra Asri menggunakan bahan baku *polietilene (PE) Degradable Grade Asrene*. Zat ini akan terurai dalam waktu 1 hingga 2 tahun bila terpapar cuaca panas, sinar matahari atau tekanan. Produk yang dihasilkan dapat digunakan untuk pembungkus barang, tas belanja dan aplikasi lainnya.

PT Tirta Mitra mengembangkan dua brand plastik ramah lingkungan yaitu Oxium dan Ecoplas. Pada Oxium, plastik ditambahkan aditif dengan tujuan proses degradasi yang dipercepat, melalui mekanisme oksidasi yang dipicu dengan UV, panas, cahaya oksigen dan *mechanical stress*. Untuk Ecoplas, digunakan proses biologis dengan prinsip *grafting* pada plastik campuran PE dan tapioka (pati singkong) sehingga mudah terurai secara alami.

PT Inter Aneka Lestari Kimia mengembangkan Enviplast, yaitu kantong plastik ramah lingkungan dari bahan alami, yang dihasilkan dari teknologi baru menggantikan plastik konvensional (*polyolefin*), seperti tepung pati dan turunan minyak nabati. Dengan penggunaan bahan alami, *microorganism*, organisme dan air akan lebih mudah mengurai sampah plastik (bppt.go.id., 2012).

2. Pendekatan sosial, ekonomi, budaya

Pendekatan sosial dapat dilakukan dengan melibatkan masyarakat dalam pengelolaan sampah plastik. Tokoh-tokoh masyarakat diajak untuk berpartisipasi dalam sosialisasi bahaya plastik terhadap kesehatan misalnya. Selain itu, mereka dapat pula diajak untuk kembali menggunakan barang-barang yang terbuat dari alam, misalnya penggunaan daun pisang sebagai pembungkus atau besek yang sekarang sudah ditinggalkan. Edukasi dan pelatihan-pelatihan terhadap tokoh masyarakat atau guru juga perlu dilakukan.

Perlu dilakukan pula pendekatan dari sisi budaya. Sebagai contoh diselipkan perilaku perlakuan terhadap sampah pada saat pementasan wayang orang misalnya. Anak-anak juga perlu dididik dari kecil untuk tidak membuang sampah sembarangan.

Faktor utama dalam pengelolaan sampah adalah terintegrasi seluruh *stakeholder* yang terlibat dalam pengelolaan sampah yang *sustainable* (berkelanjutan). Menurut *Packaging and Recycling Alliance for Indonesia Sustainability Environment (PRAISE)*, pendekatan *Circular Economy* merupakan salah satu pendekatan yang harus dikembangkan dalam pengelolaan sampah (indonesia.go.id. 2019). *Circular economy* adalah mengubah paradigma terhadap plastik kemasan bekas pakai bukan sebagai sampah tetapi sebagai komoditas yang berpotensi untuk dikembangkan. Sebagai contoh adalah plastik kemasan bekas pakai dapat tetap dipertahankan nilainya serta dimaksimalkan penggunaannya dengan penggunaan kembali (*reuse*), daur ulang (*recycling*), atau produksi ulang (*remanufacture*). Hal tersebut dapat menciptakan rantai ekonomi baru, serta juga akan meminimalisir beban lingkungan ke alam misalnya tempat pembuangan akhir atau lautan. Pendekatan ini perlu dilakukan karena akan memberi dampak positif bagi lingkungan. Pada konsep ekonomi berkelanjutan, prinsip yang utama adalah 5R, yaitu *reduce*, pengurangan pemakaian material mentah dari alam; *reuse*, penggunaan material yang dapat optimal sehingga dapat digunakan kembali; *recycle*, daur ulang penggunaan material; *recovery*, proses perolehan kembali; serta *repair*, melakukan perbaikan.

Pendekatan *Circular economy* ini juga dinyatakan oleh Calleya (2019) yang menyebutkan *New Plastics Economy* (Ekonomi Plastik Baru) harus merupakan ekonomi sirkuler yang menghilangkan limbah, memaksimalkan nilai, dan menggunakan plastik secara efisien. Dengan melakukan hal tersebut, kita akan membantu melindungi lingkungan, mengurangi sampah laut, emisi gas rumah kaca dan ketergantungan pada bahan bakar fosil yang diimpor.

3. Pendekatan kelembagaan

Dalam mengatasi sampah plastik, perlu adanya kebijakan dan strategi yang tepat dengan adanya sinergi antara lingkungan hidup, pertumbuhan ekonomi, stabilitas sosial dengan tujuan akhir melaksanakan pembangunan berkelanjutan.

Undang-undang atau peraturan tentang sampah sebenarnya sudah ada, namun khusus untuk sampah plastik dapat merupakan turunan dari peraturan tersebut. Berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah Pasal 15, produsen harus bertanggung jawab atas sampah kemasan, terutama dengan mengubah model bisnisnya untuk mengurangi dan menghentikan penggunaan kemasan plastik sekali pakai. Dengan demikian pemerintah mempunyai kewenangan yang besar agar produsen meminimalisasi penggunaan plastik sekali pakai. Kementerian, seperti KKP, KLHK, dan Kemenperin secara intenal sudah melakukan kampanye pembatasan penggunaan plastik.

Ketentuan pelarangan dan penggunaan plastik sekali pakai telah dikeluarkan pula oleh pemerintah daerah, provinsi, kabupaten ataupun kotamadya. Sebagai contoh, Pemda Provinsi Bali melarang bahan yang mengandung bahan plastik yaitu kantong plastik, polysterina (*styrofoam*), dan sedotan plastik yang dituangkan dalam Peraturan Gubernur Bali Nomor 97 Tahun 2018 (indonesia.go.id. 2019).

DKI Jakarta dalam hal ini juga sedang menyiapkan peraturan Gubernur terkait pengurangan penggunaan plastik sekali pakai yang merupakan turunan dari Pasal 21 Peraturan Daerah Nomor 3 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Sampah. Toko modern dan pasar di pusat perbelanjaan diwajibkan untuk menggunakan kantong belanja ramah lingkungan (bukan plastik sekali pakai). Pengelola pusat perbelanjaan tersebut dapat dikenakan

denda sebesar 25 juta bila tenat di lokasi tersebut menggunakan kantong plastik sekali pakai (kompas.com., 2019).

Dari sisi sosialisasi, sejak Juni 2018, Kementerian LHK sudah melakukan kampanye terkait aksi mengatasi sampah plastik. Yang terpenting adalah pemerintah harus berani memberikan sanksi dan menindak bagi yang melanggar ketentuan. Implementasi kebijakan terkait sampah plastik harus benar-benar dilaksanakan. Sebagai contoh adalah seperti yang dilakukan di Bandara San Frasisco. Mulai Agustus 2019, kawasan bandara internasional San Frasisco melarang penumpang membeli air minum kemasan dalam botol plastik. Demikian juga untuk vendor dan *vending machine* yang tidak boleh menjual dan menyediakan air minum kemasan botol plastik. Sebagai kompensasinya, disediakan *water fountain* yaitu tempat minum berupa air siap untuk diminum, membawa botol minum sendiri dan dapat diisi air secara gratis di bandara. Bandara Internasional San Frasisco berupaya untuk menjadi bandara pertama bebas sampah plastik pada tahun 2021 (Hasugian, 2019). Hal ini dapat menjadi contoh yang baik bagi Indonesia untuk mengurangi sampah plastiknya.

Berdasarkan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJM) 2015-2019, target berkurangnya sampah pada 2019 sebesar 20% dan yang tertangani sebesar 75%. Sedangkan dalam Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah, target pengurangan sampah pada 2025 sebesar 30% dan tertangani sebesar 70% (Kemen LKH, 2018). Kemen LHK (2018) juga telah mempunyai Program Aksi untuk sampah plastik sebagai berikut.

a. Peta permasalahan sampah plastik

Sampah plastik yang sulit dikelola: barang sekali pakai, microbeads, peralatan makan dan minum, kemasan sekali pakai, kantong plastik, polystyrene (misalnya styrofoam), *flexible plastic (sachet dan pouch)*. Komposisi sampah plastik yang paling besar adalah kantong plastik.

b. Tahapan pengurangan sampah plastik

Prioritas penanganan menurut jenisnya berdasarkan jumlah timbunan existing dan kesulitan penanganan adalah sebagai berikut.

- 1) Kantong plastik, peralatan makan, styrofoam, sachet secara bertahap dibatasi timbulannya, dimulai dari kantong kresek. Masyarakat

dihimbau untuk menghindari penggunaannya dan menggunakan plastik yang dapat dipakai berkali-kali.

- 2) Plastik sekali pakai lainnya didaur ulang. Seperti kemasan minum (botol, gelas, kotak), kemasan makanan (mika, stoples).
- 3) Plastik lainnya di daur ulang dan digunakan kembali. Seperti casing barang elektronik dan alat rumah tangga.

Diharapkan bila program aksi ini dijalankan dengan baik, maka target pengurangan sampah dapat tercapai, sehingga pencemaran terhadap lingkungan dapat dikurangi.

PENUTUP

Untuk mengatasi limbah plastik hal yang utama adalah pergeseran perilaku manusia dan teknologi yang digunakan. Sampah plastik harus dikelola secara terintegrasi melibatkan beberapa elemen, yaitu pemerintah, masyarakat dan instansi atau perusahaan-perusahaan. Pemerintah harus mempunyai kebijakan dan peraturan yang jelas. Harus ada sanksi yang jelas bila ada pelanggaran, Walau regulasinya sudah sempurna, tetapi implementasi hukumnya belum berjalan dengan baik. Masyarakat harus mempunyai komitmen yang tinggi untuk tidak membuang sampah sembarangan dan memilah sampah yang dapat di daur ulang, khususnya sampah plastik. Selain itu, masyarakat juga harus berkomitmen untuk menggunakan plastik seminimal mungkin. Komitmen masyarakat ini juga harus didukung oleh pemerintah yaitu dengan menyediakan sarana dan prasarananya, misalnya sistem pengangkutan sampah yang baik serta distribusi hasil pemilahan sampah. Yang tak kalah pentingnya adalah peran perusahaan yang mempunyai tanggung jawab terhadap produk yang dihasilkan. Diharapkan produk yang dihasilkan oleh perusahaan-perusahaan adalah ramah lingkungan. Pendekatan *circular economy* perlu diterapkan agar dapat memberi dampak positif terhadap lingkungan. Pemakaian plastik baik plastik yang masih baru maupun sampah plastik harus memenuhi bakumutu standar yang berlaku agar tidak berbahaya terhadap kesehatan dan lingkungan. Mitigasi terhadap sampah plastik perlu dilakukan agar lingkungan dapat terjaga dengan baik dari limbah plastik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambari, M. (2019). *Benarkah produksi sampah plastik Indonesia terbanyak kedua di dunia?*. Diakses dari laman <https://www.mongabay.co.id/2019/02/22/benarkah-produksi-sampah-plastik-indonesia-terbanyak-kedua-di-dunia/>
- Amani, M. (2018). *Sampah dan plastik jadi ancaman, seperti apa kebijakan pemerintah?*. Diakses dari <https://nasional.kompas.com/read/2018/11/22/15323351/sampah-dan-plastik-jadi-ancaman-seperti-apa-kebijakan-pemerintah?page=all>
- bppt.go.id. (2012). *Plastik ramah lingkungan: untuk bumi yang lebih hijau*. Diakses dari <https://www.bppt.go.id/index.php/profil/organisasi/641-plastik-ramah-lingkungan-untuk-bumi-yang-lebih-hijau>
- Calleya, D. (2019). Why the “New Plastics Economy” must be a circular economy. *Field Actions Science Reports, The journal of field actions*. Special Issue 19 Reinventing Plastics, 22-27.
- Dinas Perumahan, Permukiman dan Pertanahan (2018). *Dampak plastik terhadap lingkungan*. Diakses dari <https://bulelengkab.go.id/detail/artikel/dampak-plastik-terhadap-lingkungan-88>.
- Hasugian, M.R. (2019). *Bandara San Frasisco larang minuman dalam botol plastik*. Diakses dari laman <https://dunia.tempo.co/read/1238787/bandara-san-fransisko-larang-minuman-dalam-botol-plastik>
- Hasugian, M.R. (2019). *Bandara San Frasisco larang minuman dalam botol*. Diakses dari <https://dunia.tempo.co/read/1238787/bandara-san-fransisko-larang-minuman-dalam-botol-plastik/full&view=ok>

indonesia.go.id (2019). *Menciptakan nilai ekonomi baru bagi sampah plastik*. Diakses dari <https://www.indonesia.go.id/narasi/indonesia-dalam-angka/ekonomi/menciptakan-nilai-ekonomi-baru-bagi-sampah-plastik>

Karuniastuti, N. (2018). Bahaya plastik terhadap kesehatan dan lingkungan. *Forum Teknologi*, 03 (1), 6-14.

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2018). *Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Plastik*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

kompasiana.com (2018). *Mengurangi limbah plastik menggunakan teknologi hydro thermal*. Diakses dari <https://www.kompasiana.com/finanuraisah/5c124b2baeebe165431d7e40/mengurangi-limbah-plastik-menggunakan-teknologi-hydro-thermal?page=all>

kompas.com (2019). *Upaya DKI kurangi sampah plastik, sanksi Rp 25 Juta hingga gandeng Go-Jek*. Diakses dari <https://megapolitan.kompas.com/read/2019/07/26/09222811/upaya-dki-kurangi-sampah-plastik-sanksi-rp-25-juta-hingga-gandeng-go-jek?page=all>

Narancic, T. & O'Connor, K.E. (2019). Plastic waste as a global challenge: are biodegradable plastics the answer to the plastic waste problem?. *Microbiology*, 165:129–137.

Plastics Europe. (2017). *Plastics - The facts 2017*. Diakses dari https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf

Plastics Europe. (2018). *Plastics - The facts 2018*. Diakses dari https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf

Studio Belajar (2019). *Polimer*. Diakses dari <https://www.studiobelajar.com/polimer/>

The Society of the Plastics Industry (SPI) (1988). *Different plastic polymer types*. Diakses dari https://www.ryedale.gov.uk/attachments/article/690/Different_plastic_polymer_types.pdf

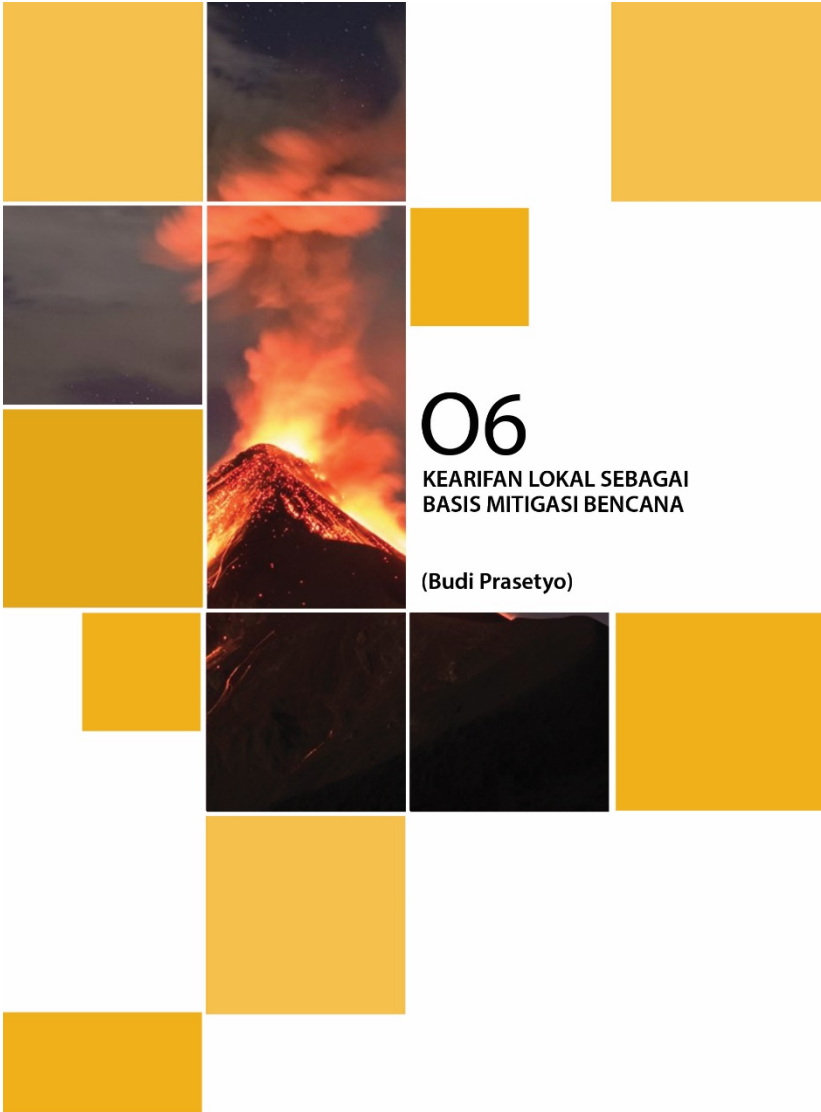
Vidilaseris, K. (2016). *Adakah bakteri pendegradasi plastik?*. Diakses dari <http://pustakasains.com/adakah-bakteri-pendegradasi-plastik/>

Wahyuni, T. (2015). Jenis sampah dan lama proses penghancurannya. Diakses dari <https://www.cnnindonesia.com/gayahidup/20150314083106-255-39061/jenis-sampah-dan-lama-proses-penghancurannya>

Wahyuni, T. (2016). Indonesia penyumbang sampah plastik terbesar ke-dua dunia. Diakses dari <https://www.cnnindonesia.com/gayahidup/20160222182308-277-112685/indonesia-penyumbang-sampah-plastik-terbesar-ke-dua-dunia>

Wahyudi, J., Prayitno, H.T., & Astuti, A.D. (2018). Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif. *Jurnal Litbang*, XIV (1): 58-67.

waste4change (2018). *7 types of plastic that you need to know*. Diakses dari <https://waste4change.com/7-types-plastic-need-know/2/>



06

KEARIFAN LOKAL SEBAGAI
BASIS MITIGASI BENCANA

(Budi Prasetyo)

KEARIFAN LOKAL SEBAGAI BASIS MITIGASI BENCANA

Budi Prasetyo
(budi-p@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

Pada dasarnya, kekayaan alam yang berupa sumber daya hayati baik flora maupun fauna disediakan dan dimanfaatkan oleh manusia agar tetap bertahan hidup. Manusia dengan segala bentuk karakter yang dimilikinya berusaha untuk mengeksploitasi kekayaan flora tersebut dengan mengatasnamakan berbagai kepentingan, seperti untuk pembangunan nasional dan peningkatan perekonomian. Telah terjadi berbagai bentuk pelanggaran perilaku manusia baik secara perorangan maupun berkelompok terhadap pemanfaatan kekayaan flora Indonesia terutama pada ekosistem hutan hujan tropis. Kegiatan yang dikenal dengan istilah *illegal logging* terjadi hampir di semua hutan sehingga berdampak pada kerusakan lingkungan yang sangat parah. Kondisi tersebut memicu terjadinya beragam bencana yang terjadi di kawasan negara kita. Masyarakat menanggung cukup besar biaya kerugian yang ditimbulkan akibat bencana, selain berupa kerugian materi juga lebih utama jiwa manusia. Kearifan lokal yang terdapat di beberapa kelompok masyarakat tradisional di Indonesia menjadi salah satu alternatif untuk mencegah ataupun mengurangi saat penanggulangan bencana maupun penanganan pasca-bencana, sehingga dampak bencana susulan dapat diantisipasi. Tujuan penulisan untuk menjelaskan kepada publik tentang pentingnya peran dan manfaat kearifan lokal yang dimiliki oleh kelompok masyarakat tradisional dalam mitigasi bencana yang terjadi di Indonesia. Berbagai bentuk kearifan lokal masyarakat tradisional yang berorientasi pada mitigasi bencana seperti konstruksi pada rumah-rumah adat pada suku Mentawai di Sumatera Barat, suku Osing di Banyuwangi, suku Bali di Karangasem dan Buleleng Bali, suku Baduy di Banten, masyarakat Tanaai di Kabupaten Sikka NTT, dan suku Kaili di Sulawesi Tengah telah terbukti secara ilmiah mampu bertahan terhadap guncangan gempa. Beragam kearifan lokal tersebut

sampai sekarang masih terpelihara dengan baik dan dilestarikan oleh mereka. Bercermin dari berbagai kejadian bencana di negara ini, sudah selayaknya masyarakat perkotaan yang terdampak oleh bencana, dengan besar hati dapat mengadopsi beragam kearifan lokal tersebut dengan menyesuaikan karakter dan keperluan daerahnya. Dalam hal ini, keterlibatan dan peran pemerintah sangat diperlukan agar dampak kejadian bencana ulangan yang lebih buruk dapat dikurangi.

Kata Kunci: *illegal logging*, masyarakat tradisional, kerusakan lingkungan

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia di muka bumi sebagai makhluk sosial tidak dapat dipisahkan dari lingkungan tempat mereka tinggal. Ketersediaan sumber daya alam hayati yang melimpah menjadi tujuan utama untuk dimanfaatkan demi keberlangsungan hidup maupun keberlanjutan keturunannya. Manusia sebagai makhluk hidup ciptaan Tuhan memiliki berbagai keunggulan terutama dalam mudahnya beradaptasi dan memanfaatkan kekayaan alam yang meliputi flora dan fauna. Pada hakekatnya, lahirnya manajemen dan penggunaan sumber daya alam yang ada di lingkungan pemukiman manusia secara realistis merupakan wujud peradaban dan kebudayaan mereka. Begitu pula munculnya hukum adat, larangan atau tabu pada sekelompok masyarakat tradisional merupakan cerminan dari kekayaan pengetahuan lokal mereka tentang salah satu tipe kearifan dalam mengelola sumber daya alam secara berkesinambungan.

Kearifan lokal merupakan hal terkait dengan kecerdasan, kepandaian, dan kebijakan dalam pengambilan keputusan tentang pemanfaatan sumber daya hayati di negara kita. Eksistensi kearifan lokal baru dapat diterima atau dipahami oleh masyarakat umum apabila dapat dibuktikan keakuratan pemanfaatannya, yang pada gilirannya apabila terbukti benar maka lahirlah pengetahuan lokal. Pengetahuan lokal yang berkembang dalam masyarakat tradisional yang memiliki muatan nilai-nilai kearifan, pada umumnya berasal dari sistem pengetahuan dan pengelolaan tradisional. Akumulasi pengetahuan dan pola berpikir yang telah mengakar dalam budaya masyarakat tradisional, diperoleh melalui perjalanan waktu yang cukup

lama didefinisikan sebagai pengetahuan lokal (Mitchell, Setiawan, & Rahmi, 2004).

Perubahan, perkembangan, dan kemajuan budaya dalam masyarakat tradisional terutama dalam pemanfaatan sumber daya alam hayati terjadi karena semakin tingginya kompleksitas interaksi manusia dengan lingkungan alam. Kondisi ini dimungkinkan karena akar penyebabnya adalah semakin meningkatnya kebutuhan hidup manusia yang meliputi pangan, sandang, bahan bangunan, obat-obatan, dan kebutuhan lainnya. Pada hal, peradaban dan budaya masyarakat tradisional secara tidak langsung telah mengatur pemanfaatan dan ketersediaan seluruh tumbuhan maupun hewan di alam agar tetap berkelanjutan dan lestari.

Saat ini di Indonesia telah terjadi berbagai bentuk penyimpangan perilaku manusia dalam memanfaatkan kekayaan alam baik secara perorangan maupun kelompok. Hal ini tercermin pada ketimpangan hubungan antara manusia dan lingkungannya sehingga berdampak pada kerusakan lingkungan yang sangat parah (Widjaja *et al.*, 2014). Contoh di Indonesia pada tahun 2013 telah terjadi sekitar 120 kejadian bencana, sehingga berakibat pada kerugian sebagai berikut: 123 orang meninggal dan 179.659 orang mengalami sakit ringan. Secara fisik kerugian yang ditimbulkan adalah 940 rumah mengalami kerusakan cukup berat, sebanyak 2.717 rumah kondisinya rusak sedang, 10.798 rumah dalam kondisi rusak kategori ringan, dan juga terjadi kerusakan beberapa fasilitas publik (BNPB, 2013). Kerusakan lingkungan sekitar November 2003 yang diakibatkan oleh konversi lahan, penebangan liar, dan beberapa proyek pembangunan berdampak pada terjadinya banjir bandang di kawasan Bukit Selawang, Sumatera Utara. Kejadian tersebut telah merenggut nyawa sebanyak 200 orang dan menghancurkan 400 bangunan (Rosyidie, 2013). Bencana banjir yang terjadi di wilayah-wilayah luar Jawa mengalami peningkatan sepanjang tahun yang pada awalnya hanya merupakan daerah genangan air saja sekarang telah berubah menjadi kawasan bencana. Salah satu penyebab utamanya adalah pembalakan liar (Kodoatie, Robert, & Sjarief, 2006).

Tujuan penulisan adalah menjelaskan kepada publik tentang pentingnya peran dan manfaat kearifan lokal yang dimiliki oleh kelompok masyarakat tradisional dalam mitigasi bencana yang terjadi di Indonesia.

KEARIFAN LOKAL

Catatan sejarah menyebutkan bahwa peradaban kehidupan manusia diawali dari dalam ekosistem hutan, sekaligus manusia juga merupakan bagian integral yang menyatu dari ekosistem tersebut. Lahirnya pengetahuan lokal tentang keserasian dan keberlanjutan dalam penggunaan seluruh tanaman ataupun hewan yang terdapat di dalam hutan didasarkan pada naluri yang diperoleh dari Tuhan dan keterlibatan langsung dengan alam.

Kearifan tradisional merupakan ilmu pengetahuan, etos hidup, dan manajemen kehidupan yang diimplementasikan dalam berbagai kegiatan masyarakat tempaan untuk menghadapi sekaligus menyelesaikan beberapa tantangan agar dapat dipenuhinya kebutuhan hidup. Berbagai istilah dalam bahasa asing yang memiliki padanan makna tentang kearifan lokal di antaranya dikonsepsikan sebagai kebijakan lokal (*local wisdom*) atau pengetahuan lokal (*local knowledge*) atau kecerdasan lokal (*local genius*) (Fajarini, 2014). Pendapat lain menerangkan bahwa kearifan tradisional merupakan bentuk gagasan-gagasan masyarakat setempat yang mengandung nilai-nilai kehidupan yang bersifat baik seperti bijaksana, arif, beretika, dan bermoral. Seluruh nilai kehidupan tersebut telah menyatu dalam kehidupan sosial masyarakat sejak zaman leluhurnya (Sartini, 2004).

Dengan berjalannya waktu, pelaksanaan riset-riset sejatinya merupakan kajian kearifan lokal sesuai dengan cara pandang para ilmuwan dan peneliti. Hakikat para ilmuwan melakukan kegiatan riset lebih menggambarkan aktivitas mengamati, mencontoh, dan memberikan nilai lebih dari hasil riset yang diperolehnya. Pada dasarnya kearifan tradisional yang tumbuh berkembang dalam kehidupan sosial, baik melalui interaksi antara manusia dengan manusia maupun dengan lingkungannya, adalah demi mencari solusi konstruktif jangka panjang. Apabila ranah kognitif seperti ini dipertajam dengan mengkolaborasikan hasil-hasil riset di bidang etnobotani atau etnoekologi, maka model relasi dan rekayasa manusia dengan beragam faktor lingkungan dapat berlangsung secara lebih kokoh dan berkesinambungan.

Contoh beberapa kearifan lokal dalam budaya Bali yang masih sering digunakan dalam mitigasi bencana, seperti istilah *tenget* yang menurut bahasa Bali memiliki arti sebagai tempat yang keramat, angker, mistis, dan berbahaya (Tribun Bali, 2018). Dalam pandangan hidup masyarakat Bali *tenget* dimaknai sebagai tempat yang dikeramatkan dan senantiasa berhubungan dengan kekuatan roh gaib. Sedikit berbeda artinya apabila ditinjau dari sudut pandang ilmiah (mitigasi bencana), *tenget* yang merupakan kearifan lokal masyarakat Bali dimaknai sebagai suatu peringatan bahwa tempat tersebut merupakan kawasan berbahaya karena rawan terhadap bencana, sehingga peruntukannya tidak layak untuk tempat hunian. Selain itu, dalam keyakinan agama Hindu dan budaya Bali diyakini bahwa pura merupakan tempat suci yang dikeramatkan, begitu pula kawasan gunung dan laut termasuk dalam tempat/daerah suci yang harus dijaga kesakralannya. Pada hal, bila dirunut dari sudut pandang keilmiahan (mitigasi bencana), dua kawasan tersebut merupakan kawasan peringatan yang peruntukannya tidak layak untuk didirikan bangunan rumah atau infrastruktur yang lain. Pada umumnya kawasan pegunungan memiliki kontur tanah yang miring dan terjal sehingga rawan terhadap bencana longsor bila didirikan rumah, vila, atau bangunan lainnya. Begitu juga daerah pesisir pantai, merupakan daerah rawan terjangan ombak dan tsunami, sehingga secara analisis lingkungan wilayah-wilayah tersebut tidak layak diperuntukan sebagai tempat hunian seperti hotel, kafe, bar, dan vila.

MITIGASI DAN BENCANA

Indonesia secara geografis terletak pada pergerakan lempeng dunia: Pasifik, Eurasia, dan Indo-Australia sehingga posisi tersebut menjadikan negara ini sering terjadi gempa. Menurut Badan Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Strategi Internasional Pengurangan Risiko Bencana (UN-ISDR), di antara negara-negara di dunia ini, Indonesia termasuk kawasan dengan risiko tinggi untuk terjadinya bencana (BBC News Indonesia, 2011), sehingga sudah sewajarnya apabila segala aktivitas mitigasi bencana yang dilakukan Pemerintah dan pemerintah daerah dimaknai sebagai infestasi pembangunan berkelanjutan berskala nasional.

Hakikat mitigasi bencana merupakan upaya pencegahan untuk meminimalisir bahaya yang terjadi agar kerugian yang timbul dapat diperkecil sedemikian rupa. Hakikat mitigasi tersebut dapat diwujudkan dalam beberapa kegiatan seperti tindakan kesiapsiagaan, tindakan peringatan dini, dan aksi pencegahan bencana. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia (UU RI) Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana menjelaskan bahwa mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Adapun menurut Keputusan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia No. 131 Tahun 2003 tentang Pedoman Penanggulangan Bencana dan Penanganan Pengungsi di Daerah, mitigasi (penjinakan) memiliki arti segala upaya dan kegiatan yang dilakukan untuk mengurangi dan memperkecil akibat-akibat yang ditimbulkan oleh bencana, yang meliputi kesiapsiagaan serta penyiapan kesiapan fisik, kewaspadaan, dan kemampuan.

Beragam bentuk aktivitas yang bertujuan sebagai tindakan mitigasi bencana dapat dilaksanakan secara struktural maupun non-struktural. Contoh mitigasi bencana banjir yang termasuk dalam kategori struktural, pelaksanaannya dapat berupa pembuatan revitalisasi sistem drainase, normalisasi sungai, pembuatan waduk, dan sumur serapan untuk penanggulangan bencana. Pelaksanaan mitigasi bencana tanah longsor dapat berbentuk perbaikan tanah, pembuatan beton dinding diafragma, pembuatan jangkar tanah, dan pembuatan parit di permukaan tanah. Mitigasi gempa bumi dilakukan dengan mengevaluasi seismik bangunan dan komponennya, meningkatkan kualitas bangunan dan fasilitas infrastruktur agar tahan gempa, dan merancang struktur bangunan yang berkualitas setara tahan gempa. Kegiatan mitigasi bencana yang termasuk kategori non-struktural di antaranya program sosialisasi untuk peningkatan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya mitigasi bencana, pemetaan wilayah risiko bencana, dan pemetaan serta pembuatan data-base sumber daya manusia berprofesi medis berskala nasional.

Menurut UU RI Nomor 24 Tahun 2007 dijelaskan bahwa bencana dimaknai sebagai peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan,

baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.

Pada kondisi umum, posisi geografis, geologis, hidrologis, dan demografis suatu wilayah sangat berpengaruh kuat untuk terjadinya bencana di Indonesia, meskipun banyak faktor yang menyebabkan bencana tersebut terwujud seperti faktor manusia, alam, dan nonalam. Tidak sedikit harta benda maupun jiwa yang melayang akibat bencana tersebut, belum lagi kerugian secara ekonomi, rusaknya tatanan lingkungan, dan dampak psikologis pada masyarakat terdampak.

Menurut UU RI tersebut berdasarkan penyebabnya bencana dapat dibedakan dalam tiga kategori, yaitu bencana alam, bencana non-alam, dan bencana sosial. Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor. Bencana non-alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa non-alam yang antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit. Adapun bencana sosial adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang diakibatkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antar kelompok atau antar komunitas masyarakat, dan teror.

Dalam UU RI Nomor 24 Tahun 2007 juga dijelaskan bahwa Pemerintah dalam hal ini Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) bersama-sama dengan pemerintah daerah menjadi penanggungjawab dalam penyelenggaraan penanggulangan bencana. Ditegaskan pada Pasal 6 bahwa terdapat tujuh tanggungjawab Pemerintah dalam penyelenggaraan penanggulangan bencana, yaitu:

- a. pengurangan risiko bencana dan pemaduan pengurangan risiko bencana dengan program pembangunan;
- b. perlindungan masyarakat dari dampak bencana;
- c. penjaminan pemenuhan hak masyarakat dan pengungsi yang terkena bencana secara adil dan sesuai dengan standar pelayanan minimum;
- d. pemulihan kondisi dari dampak bencana;

- e. pengalokasian anggaran penanggulangan bencana dalam Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara yang memadai;
- f. pengalokasian anggaran penanggulangan bencana dalam bentuk dana siap pakai; dan
- g. pemeliharaan arsip/dokumen otentik dan kredibel dari ancaman dan dampak bencana.

Pasal 7, UU RI Nomor 24 Tahun 2007 menjelaskan tentang wewenang Pemerintah dalam penyelenggaraan penanggulangan bencana, sedangkan tanggungjawab dan wewenang pemerintah daerah tersirat pada Pasal 8 dan 9. Berikut rincian tujuh wewenang Pemerintah dalam penyelenggaraan penanggulangan bencana yaitu:

- a. penetapan kebijakan penanggulangan bencana selaras dengan kebijakan pembangunan nasional;
- b. pembuatan perencanaan pembangunan yang memasukkan unsur-unsur kebijakan penanggulangan bencana;
- c. penetapan status dan tingkatan bencana nasional dan daerah;
- d. penentuan kebijakan kerja sama dalam penanggulangan bencana dengan negara lain, badan-badan, atau pihak-pihak internasional lain;
- e. perumusan kebijakan tentang penggunaan teknologi yang berpotensi sebagai sumber ancaman atau bahaya bencana;
- f. perumusan kebijakan mencegah penguasaan dan pengurasan sumber daya alam yang melebihi kemampuan alam untuk melakukan pemulihan; dan
- g. pengendalian pengumpulan dan penyaluran uang atau barang yang berskala nasional.

Wujud pelaksanaan Pasal 6 sampai dengan 9 UU RI Nomor 24 Tahun 2007 yakni pada saat penanganan penanggulangan bencana gempa di Kabupaten Lombok, Nusa Tenggara Barat pada tahun 2018, serta gempa yang diikuti dengan liquifaksi dan tsunami di Kabupaten Palu dan Donggala, Sulawesi Tengah pada tahun yang sama. Menurut informasi BNPB (2018) gempa berkekuatan 7,4 M_w tersebut memicu terjadinya tsunami, dicatat korban meninggal sebanyak 2.045 jiwa, sebanyak 82.775 jiwa berstatus mengungsi, sedangkan 8.731 jiwa berstatus mengungsi di luar wilayah Sulawesi.

TEKNOLOGI TEPAT GUNA RAMAH LINGKUNGAN

Pada hakekatnya teknologi merupakan salah satu alat dalam melaksanakan pembangunan, namun dalam realitanya juga dapat menjadi penyebab utama terjadinya berbagai deteriorasi (kerusakan) lingkungan yang terjadi di alam ini. Pada awalnya orientasi pemanfaatan teknologi cenderung untuk kepentingan ekonomi semata, namun pada akhirnya orientasi tersebut bergeser untuk kepentingan kelestarian fungsi dan kemampuan lingkungan. Inilah yang dikenal dengan konsep Pembangunan Berkelanjutan yang Berwawasan Lingkungan (PBBL) (Adibroto, 2002). Konsep PBBL merupakan produk KTT Bumi Rio de Janeiro Tahun 1992 yang dalam perjalanannya kemudian berkembang menjadi Konsep Produksi Bersih. Pada dasarnya makna konsep tersebut lebih berupa perubahan orientasi teknologi dari orientasi pasar/ekonomi menjadi ramah lingkungan (Adibroto, 2002). Dalam memprediksi dan menanggulangi beberapa bencana yang terjadi di kawasan negara kita telah dilakukan beragam riset tentang kajian bencana dengan berbasis teknologi ramah lingkungan. Hasil kajian riset-riset tersebut pada sampai saat ini belum banyak diimplementasikan di lapangan, karena sifat dari riset-riset tersebut masih pada penelitian dasar, belum pada skema penelitian terapan maupun penelitian pengembangan.

Beberapa contoh hasil penelitian berkaitan dengan mitigasi bencana yang masih pada skema penelitian dasar, antara lain hasil penelitian tentang mitigasi bencana tsunami di Teluk Teleng, Pacitan, Jawa Timur dalam bentuk pemodelan (Chaeroni, Hendriyono, & Kongko, 2013). Selain itu, ada penelitian tentang mitigasi terhadap bencana dan dampak tanah bergerak di Pulau Ternate, Maluku Utara dengan cara analisis bentuk lahan (*landform*) (Ikqra, 2013). Ada juga penelitian tentang pembuatan lubang resapan sebagai upaya mengurangi genangan air di salah satu kampus di kawasan Jakarta Timur. Cara ini dapat secara cepat mengantisipasi agar tidak terjadi genangan-genangan air pada saat hujan turun (Yohana, Griandini, & Muzambeq, 2017). Contoh kajian yang berkaitan dengan bencana banjir yakni beragam program pengendalian banjir telah dilakukan namun baik frekuensi banjir, intensitas banjir maupun luas genangan air semakin meningkat nilainya. Hal ini disebabkan oleh pengaruh kuat dari

perubahan tata guna lahan dalam pembangunan infrastruktur terkait dengan pengendalian banjir (Rosyidie, 2013).

Sementara itu, hasil penelitian tentang mitigasi bencana untuk skema penelitian terapan pada umumnya masih dalam bentuk prototipe yang penerapannya relatif terbatas pada tingkat lokal (setempat) dan belum berstandar nasional. Dalam kondisi seperti ini, perlu keseriusan peran Pemerintah untuk memacu prototipe-prototipe tersebut agar segera dapat diwujudkan dalam bentuk peralatan mitigasi bencana yang digunakan untuk standar nasional. Apabila Pemerintah memiliki komitmen dan niat serius untuk mewujudkannya dalam bentuk peralatan, maka sudah selayaknya Pemerintah akan menggunakan salah satu hasil riset yang berkompeten dalam mitigasi bencana yang sedang didanai oleh Kemeristek dikti dalam salah satu skema penelitian pengembangan yang memiliki tingkat kesiapan teknologi (TKT) 7-9.

PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Sebagai negara yang termasuk paling sering terjadi bencana di dunia, telah menjadi kewajiban Pemerintah Indonesia untuk melakukan berbagai aksi berkaitan dengan penanggulangan bencana maupun penanganan pasca-bencana. Berbagai kegiatan penanggulangan bencana yang telah dilaksanakan oleh Pemerintah Republik Indonesia selama ini, lebih banyak untuk mengurangi dan mengantisipasi risiko bencana yang terjadi. Contoh kegiatan itu antara lain: kegiatan pencegahan bencana, mitigasi dan kesiapsiagaan dalam pengorganisasian, peringatan dini kepada masyarakat terdampak bencana, serta pemberian bantuan dan pertolongan pada saat terjadi bencana. Dalam hal penanganan pasca-bencana Pemerintah telah melakukan beberapa aksi di antaranya rehabilitasi mental kepada masyarakat terdampak, rekonstruksi sarana prasarana umum dan sosial, mencari, menemukan, dan mengidentifikasi nama-nama korban bencana secara prosedur ilmiah untuk dapat diketahui secara benar identitasnya.

Seluruh rangkaian kegiatan penanggulangan bencana yang dilakukan oleh Pemerintah memerlukan biaya yang tidak sedikit dengan kekuatan tenaga dan waktu yang cukup besar pula. Kompleksitas perorganisasiannya ditandai dengan keterlibatan berbagai unsur pemerintah daerah terkait

maupun berbagai lembaga suadaya masyarakat (LSM) di pusat dan daerah. Bahkan dalam penanganan pasca-bencana adakalanya Pemerintah harus merevitalisasi tata kelola ruang daerah terdampak, mengidentifikasi dan menghitung ganti rugi yang akan diberikan kepada masyarakat terdampak, mengkoordinasi pengiriman material bangunan dari daerah-daerah sekitar yang tidak terkena bencana untuk membangun sarana prasana dan pemukiman yang rusak. Dalam berbagai bencana yang terjadi di Indonesia Pemerintah telah melakukan penanggulangan dan penyelesaian dengan sangat baik, sistematis dan terorganisasi, cepat tanggap dan cepat waktu penanganannya, sehingga berbagai akibat dari bencana susulan yang tidak diinginkan dapat diantisipasi. Begitu pula dalam penanganan rehabilitasi mental masyarakat, Pemerintah telah melaksanakannya dengan edukasi yang cermat, tepat, dan cepat sehingga mereka dapat kembali melakukan aktivitas kehidupannya seperti sebelum terjadi bencana. Program penanggulangan bencana yang terkesan sukses tersebut dirasakan oleh masyarakat terdampak bencana gempa di wilayah Kabupaten Lombok, Nusa Tenggara Barat (NTB) pada tanggal 29 Juli 2018 yang berkekuatan 6,4 SR dan gempa dengan diikuti likuifaksi dan tsunami di Kab. Donggala dan Kota Palu, Sulawesi Tengah yang berkekuatan 7,4 SR sehingga mengakibatkan 2.081 orang meninggal (BNPB, 2018).

Berdasarkan data dari berbagai bencana yang terjadi di Indonesia, penanggulangan dan penanganan pasca-bencana yang dilakukan oleh Pemerintah dapat dikatakan berhasil dan selayaknya perlu mendapat apresiasi. Kondisi ini sedikit berbeda dengan negara Jepang yang sama-sama merupakan negara kepulauan yang rawan gempa. Jepang selain dikenal sebagai negara yang cukup handal dan terstruktur dalam penanggulangan bencana gempa, juga dikenal sebagai negara yang sangat konsen dan peduli dalam pengembangan teknik dan pelatihan mitigasi bencana gempa.

Dalam teknik mitigasi bencana gempa, Jepang telah mengembangkan teknik bangunan yang disebut "Goju-no-to" yang dasar pemikirannya bersumber dari arsitektur bangunan kuil-kuil tradisional (*indigenous knowledge*) di Jepang. Pada saat terjadi gempa, konstruksi dan posisi pilar pusat pada bangunan kuil menjadikan getaran di setiap bagian pilar yang lain saling mengimbangnya sehingga bangunan tidak roboh. Selain itu, negara ini juga mengembangkan teknik struktur beton bertulang dalam

bentuk bantalan yang tertanam di fondasi bangunan gedung, dikenal dengan sistem isolasi seismik. Teknik tersebut sampai saat ini telah teruji terhadap getaran gempa yang terjadi dan telah digunakan oleh sekitar 7.600 bangunan di Jepang (Firman, 2018).

Program kegiatan pelatihan mitigasi bencana di Jepang dilaksanakan oleh berbagai komponen masyarakat dengan tingkat kesadaran yang relatif tinggi terhadap pentingnya mengurangi risiko bencana. Pelatihan tersebut dilakukan secara terjadwal dan rutin dengan perasaan gembira sehingga diharapkan program ini dapat membuahkan perasaan tenang di kalangan masyarakat usia anak-anak hingga dewasa pada setiap kali terjadi gempa. Selain itu, pelatihan juga bertujuan untuk menciptakan suasana yang lazim pada anak-anak sekolah tentang sensasi gempa sehingga diharapkan tercipta kepekaan yang lebih tinggi dalam memutuskan langkah penyelamatannya.

Pemerintah kita sudah seharusnya berkaca pada aktivitas mitigasi bencana yang telah dilakukan oleh Jepang, tidak saja hanya berkonsentrasi pada masalah-masalah penanggulangan saat terjadi bencana dan penanganan pasca-bencana, meskipun hal tersebut penting. Pemerintah sudah saatnya secara serius dan terstruktur menganggarkan dalam APBN, program-program pelatihan maupun pengembangan teknologi mitigasi bencana yang berbasis pada kekayaan kearifan lokal yang dimiliki oleh masyarakat tradisional yang ada di negara kita. Pelaksanaan program-program yang berkaitan dengan mitigasi tersebut sebenarnya merupakan tindakan peringatan dini yang diharapkan akan mengurangi risiko bencana yang terjadi.

Indonesia memiliki cukup banyak rumah-rumah adat yang dapat diadopsi teknologi tradisionalnya karena rumah tersebut telah teruji ketahanannya dari goncangan gempa yang terjadi berkali-kali. Seperti rumah adat suku Sasak di Lombok yang secara struktur dan bahan bangunan lebih mengutamakan bahan dari alam seperti bambu, jerami, alang-alang, getah pohon kayu banten dan bajur, kotoran kerbau, tanah liat, dan dilengkapi dengan penyangga dari balok kayu serta bambu. Konstruksi bangunan dengan sistem pengait sambung pasak menjadikan rumah adat suku Sasak tahan terhadap gempa (Wir'aeni, 2017). Begitu pula pada rumah panggung adat suku Kaili di Sulawesi Tengah yang telah teruji secara ilmiah

bahwa sistem konstruksi rumah panggung tersebut tahan terhadap guncangan gempa maupun tsunami. Selain karena konstruksinya, material yang digunakan untuk bangunan rumah tersebut juga berasal dari bahan-bahan alami (Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, 2016). Ada pula rumah adat 'Omo Hada' di Pulau Nias Sumatera Utara memiliki konstruksi yang telah teruji berulang kali oleh gempa karena sebagian besar material berasal dari kayu dan untuk menyatukan antar-bagian digunakan pasak bambu (Fitri & Thalarosa, 2006). Selain itu, ada pula rumah adat Minangkabau dari Sumatera Barat dengan bentuk atap yang khas melengkung ke dalam terbuat dari material ijuk (Setijanti *et al.*, 2012). Beberapa contoh rumah adat lainnya yang cukup representatif dapat diadopsi teknologinya dan diterapkan untuk teknologi bangunan rumah-rumah yang terdampak bencana gempa antara lain: rumah adat 'Laheik' dari Kerinci, Riau berbahan kayu dengan sistem penyatuan antar-bagian menggunakan pasak dan tali dari ijuk. Rumah adat 'Woloan' dari Minahasa, Manado berbahan kayu besi dan kayu cempaka (Marwati, 2014). Rumah panggung tradisional di Aceh; rumah-rumah di kawasan Bali Utara yang dibangun dengan asitektur lokal sejak peradaban Bali Kuno; rumah 'Joglo' suku Jawa; dan terakhir rumah panggung 'Nowou Sesat' yang merupakan rumah adat dari Lampung dengan material bangunan utamanya berasal dari kayu dan papan.

Berdasarkan kajian di lapangan, dari hasil revitalisasi bangunan-bangunan gedung, rumah, dan sarana sosial yang dilakukan oleh Pemerintah pasca-bencana gempa, sangat jarang teknologi tradisional dari rumah-rumah adat yang sudah teruji oleh hebatnya goyangan gempa digunakan sebagai contoh rumah dengan modifikasi arsitektur modern pada kawasan terdampak bencana. Hal ini terjadi mungkin karena mahalnya biaya renovasi rumah berbasis rumah adat dan besaran ganti rugi dari Pemerintah yang hanya dapat menjangkau harga rumah layak huni. Selain itu juga karena di wilayah terdampak bencana sangat sulit untuk mendapatkan material berbahan alami yang umumnya digunakan sebagai bahan utama bangunan rumah adat.

Pemerintah juga belum serius dalam penyelenggaraan pelatihan mitigasi bencana sebagaimana yang dilakukan oleh masyarakat Jepang. Pada hal, pada beberapa kawasan terdampak bencana biasanya secara adat

masyarakatnya telah memiliki kearifan lokal misalnya berbentuk susunan lirik dalam lagu dan tanda-tanda alam, seperti yang terjadi di suku Mentawai, Sumatera Barat dari salah satu lagu daerah yang berjudul 'Teteu Amusiast Loga' atau diartikan sebagai 'gempa akan datang tupai sudah menjerit'. Hal ini memberikan makna bahwa masyarakat untuk harus berhati-hati (*early warning system*) karena akan terjadi bencana gempa. Demikian pula, kearifan lokal masyarakat Tanaa di Kab. Sikka, NTT apabila terjadi gempa mereka berhamburan ke luar rumah menuju tanah lapang sambil berteriak 'ami norang' (kami ada). Menurut kepercayaan mereka untuk menyampaikan pesan kepada ular naga bahwa kami ada dan akan memberimu makan (sesaji) (Angin & Sunimbar, 2016). Sedikit berbeda dengan kearifan lokal mitigasi pada masyarakat adat Bali di Kab. Karangasem dan Buleleng, saat terjadi gempa bumi mereka pada berhamburan ke luar rumah atau berlindung di bawah tempat tidur, atau barang yang dapat digunakan untuk berlindung sambil berangkulan dan meneriakkan 'linuh', 'linuh', 'linuh', hidup, hidup, hidup (Wiyasa, 2012).

Merujuk pada kenyataan bahwa Pemerintah belum serius menyelenggarakan pelatihan mitigasi berbasis kearifan lokal, maka perlu adanya kerjasama terstruktur antara pemerintah daerah dengan seluruh elemen masyarakat termasuk LSM, untuk membangun dan membangkitkan rasa percaya diri pada masyarakat di kawasan terdampak tentang pentingnya pelatihan mitigasi bencana. Anggaran kegiatan pelatihan mitigasi tersebut sudah selayaknya dibebankan dalam RAPBD sehingga dominasi peran pemerintah daerah dalam bertanggungjawab untuk terlaksananya kegiatan ini betul-betul dapat dikontrol oleh berbagai elemen masyarakat. Keseriusan peran pemerintah daerah tersebut diharapkan berdampak pada terselenggaranya pelatihan mitigasi berbasis kearifan lokal yang terjadwal secara rapi, mampu membuahkan kepercayaan sangat tinggi dan ketenangan pada masyarakat yang tinggal di kawasan rawan gempa acap kali terjadi gempa. Dengan terciptanya suasana perasaan yang sangat tenang di kalangan masyarakat akan berdampak pada hasil pemikiran yang jernih dalam memutuskan langkah-langkah penyelamatan.

Pada akhirnya, melalui sumbangan pemikiran-pemikiran seperti ini diharapkan masyarakat umum juga turut berpartisipasi agar dapat merealisasikan pentingnya kegiatan penanggulangan dan pelatihan mitigasi

bencana berbasis kearifan lokal. Dalam hal ini, kontribusi masyarakat umum terhadap terealisasinya program mitigasi ini sangat utama karena setidaknya akan menghasilkan budaya baru dalam kehidupan sosial masyarakat Indonesia untuk tanggap dan peka terhadap bencana yang mengintai kita setiap saat.

PENUTUP

Relatif banyak dan beragam kearifan lokal yang mencerminkan pemanfaatannya untuk mitigasi bencana dimiliki oleh masyarakat tradisional di Indonesia, dan dapat dipastikan pengetahuan lokal tersebut telah teruji kehandalannya secara alami maupun ilmiah. Pemerintah sampai saat ini belum banyak memanfaatkan kearifan lokal tersebut untuk penanggulangan bencana maupun pelatihan mitigasinya. Pada hal dengan memanfaatkan teknologi tradisional untuk merevitalisasi bangunan rumah atau gedung di kawasan terdampak bencana, akan menjadikan hasil konstruksi bangunan kokoh dan tahan gempa.

Pemanfaatan nilai-nilai kearifan lokal yang di dalamnya mengandung makna pelatihan mitigasi bencana, sampai saat ini belum banyak dimanfaatkan oleh pemerintah. Sementara, kajian kearifan lokal yang mengarah ke pelatihan mitigasi bencana banyak dimiliki oleh masyarakat tradisional. Pemerintah kurang menyadari beragam kekayaan kearifan lokal yang bernilai tinggi. Padahal jika kearifan lokal tersebut diadopsi untuk dipraktikkan dalam pelatihan mitigasi bencana, tentu biaya pelaksanaannya tidak mahal dan terjangkau. Perlu dibangkitkan kesadaran kepada masyarakat yang tinggal di daerah rawan bencana bahwa pelatihan-pelatihan mitigasi bencana sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari. Padahal, masyarakat sangat perlu karena pada saat terjadi bencana diharapkan masyarakat tidak terlalu panik dan dengan kesadaran tinggi dapat menentukan dan memutuskan sikap yang benar untuk penyelamatannya.

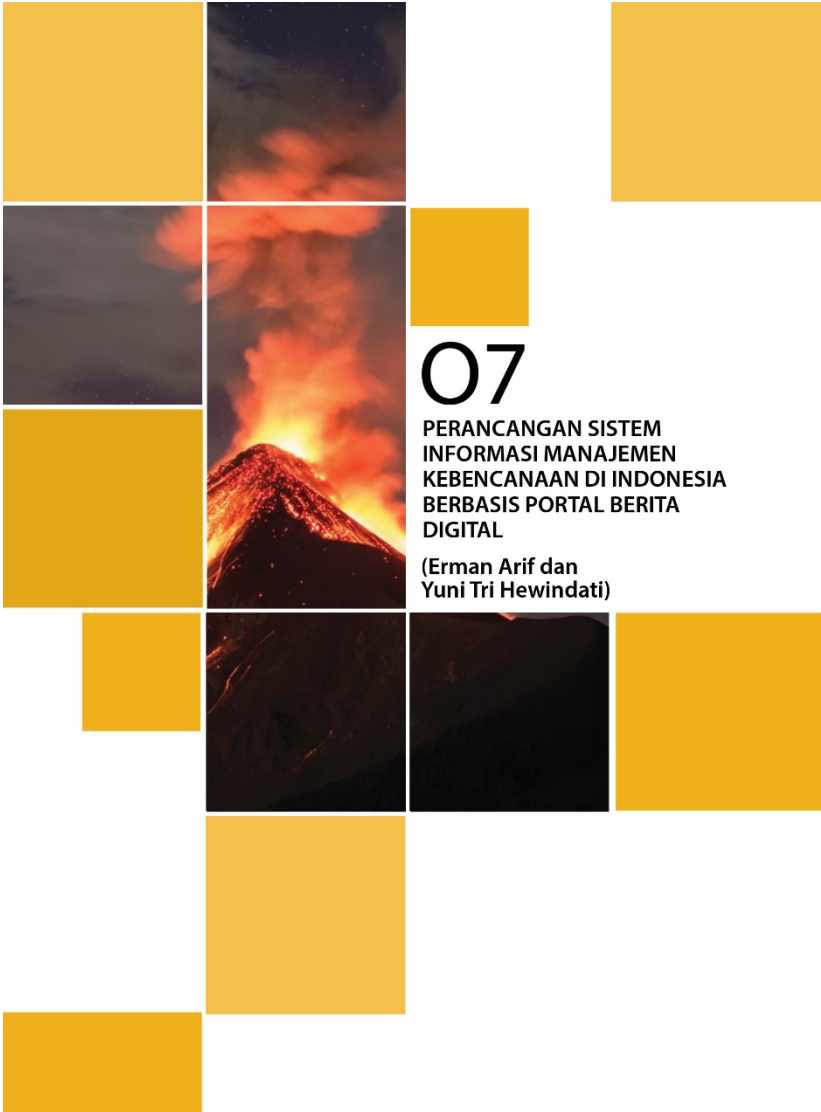
Seluruh keinginan yang berkaitan dengan penanggulangan bencana maupun pelatihan mitigasi bencana berbasis kearifan lokal tersebut, untuk saat ini masih dalam konteks wacana. Diperlukan peran aktif dari pemerintah daerah yang terdampak bencana, Lembaga Swadaya Masyarakat, dan masyarakat setempat untuk terus berjuang agar seluruh keinginan yang masih berupa wacana dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- Adibroto, T.A. (2002). Prospek dan permasalahan dalam transfer teknologi lingkungan di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 3(2): 121-128.
- Angin, I.S. & Sunimbar (2016). Mitigasi bencana gempa bumi berbasis kearifan lokal masyarakat Tanaai, Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Geografi FKIP UMP*. 99-104.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2007). *Undang-Undang Republik Indonesia (UU RI) Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) (2013). *Bencana di Indonesia 2012*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) (2018). *1.999 kejadian bencana selama tahun 2018, ribuan korban meninggal dunia*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BBC News Indonesia (2011). *Indonesia negara rawan bencana*. Diakses pada 4 Juli 2019, dari https://www.bbc.com/indonesia/berita_indonesia/2011/08/110810_indonesia_tsunami
- Chaeroni, Hendriyono, W., & Kongko, W. (2013). Pemodelan tsunami dan pembuatan peta rendaman untuk keperluan mitigasi di Teluk Teleng, Pacitan. *Jurnal Penanggulangan Bencana* 4(2): 23-33.
- Fajarini, U. (2014). Peranan kearifan lokan dalam pendidikan karakter. *Sosio Didaktika* 1(2) : 123-130.

- Firman, T. (2018). Bagaimana Jepang Bersahabat dengan Gempa Bumi dan Tsunami?. Diakses pada September 2019, dari <https://tirto.id/bagaimana-jepang-bersahabat-dengan-gempa-bumi-dan-tsunami-cQDa>
- Fitri, I. & Thalarosa, B. (2006). Nias traditional houses after the great earthquake 2005 case study: Bawomataluo village of south Nias. Jakarta. *Conference: HEDS Seminar on Science and Technology (HEDS-SST)*, 1-10.
- Ikqra (2013). Analisis bentuk lahan (*landform*) untuk penilaian bahaya dan risiko longsor di Pulau Ternate, Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Penanggulangan Bencana*, 4(2): 35-46.
- Kementerian Dalam Negeri (2003). *Keputusan Menteri Dalam Negeri nomor 131 tahun 2003 tentang pedoman penanggulangan bencana dan penanganan pengungsi di daerah*. Jakarta: Kementerian Dalam Negeri.
- Kodoatie, Robert, J., & Sjarief, R. (2006). *Pengelolaan bencana terpadu*. Jakarta: Penerbit Yarsif Watampone.
- Marwati (2014). Studi rumah panggung tahan gempa Woloan di Minahasa, Manado. *Jurnal Teknosains*, 8(1) : 95-108.
- Mitchell, B., Setiawan, & Rahmi D.H. (2004). *Pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada Press.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian PUPR (2016). *Rumah sederhana sehat berbasis nilai lokal*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Pemukiman bekerjasama dengan FORMAT.

- Rosyidie, A. (2013). Banjir: fakta dan dampaknya.serta pengaruh dari perubahan guna lahan. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 24(3): 241-249.
- Sartini (2004). Menggali kearifan lokal nusantara: sebuah kajian filsafat. *Jurnal Filsafat*, 37: 111-120.
- Setijanti, P., Silas, J., Firmaningtyas, S., & Hartatik (2012). Eksistensi rumah tradisional Padang dalam menghadapi perubahan iklim dan tantangan jaman. *Simposium Nasional RAPI XI FT UMS*, A54-A62.
- Tribun Bali (2018). *16 Tempat seram dan misterius yang ada di Bali, kamu pernah mengunjunginya?*. Diakses pada 20 September 2019 dari <https://bali.tribunnews.com/2018/12/17/tribun-wiki-16-tempat-seram-dan-misterius-yang-ada-di-bali-pernah-berkunjung?page=4>
- Widjaja, E.A., Rahayuningsih, Y., Rahajoe, J.S., Ubaidillah, R., Maryanto, I., Walujo, E.B., & Semiadi, G. (2014). *Kekinian keanekaragaman hayati Indonesia 2014*. Jakarta: LIPI Press.
- Wir'aeni, R. (2017). *Nilai edukatif pada arsitektur rumah adat Bale Sasak di Dusun Limbungan, Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat* (Skripsi). Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wiyasa, I.W. (2012). *Mitigasi bencana alam gempa bumi berbasis kearifan lokal masyarakat Bali*. Dokumen pribadi.
- Yohana, C., Griandini, D., & Muzambeq, S. (2017). Penerapan pembuatan teknik lubang biopori resapan sebagai upaya pengendali banjir. *JPMM*, 1(2): 296-308.



07

PERANCANGAN SISTEM
INFORMASI MANAJEMEN
KEBENCANAAN DI INDONESIA
BERBASIS PORTAL BERITA
DIGITAL

(Erman Arif dan
Yuni Tri Hewindati)

PERANCANGAN SISTEM INFORMASI MANAJEMEN KEBENCANAAN DI INDONESIA BERBASIS PORTAL BERITA DIGITAL

Erman Arif (erman.arif@ecampus.ut.ac.id)
Yuni Tri Hewindati (hewindati@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

Saat ini di beberapa negara, bencana yang disebabkan oleh alam seperti gempa bumi ataupun non-alam seperti pencemaran terus mengancam jutaan manusia dan merusak infrastruktur. Secara geografi, Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan 3 lempeng tektonik, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik yang tidak stabil dan setiap saat mengalami pergeseran. Pergeseran lempeng yang terjadi di tengah laut dapat menimbulkan bencana gempa bumi yang berakibat pada terjadinya tsunami. Untuk mengatasi bencana yang sering terjadi, pemerintah Indonesia sudah melakukan beberapa langkah diantaranya membuat perencanaan, kajian risiko bencana, pengelolaan risiko bencana, dan pelatihan kesiapsiagaan bencana. Tetapi langkah tersebut belum mencakup sistem informasi manajemen kebencanaan berbasis portal berita digital. Sistem berbasis portal berita digital ini dirancang menggunakan *system development life cycle* (SDLC) yang mengintegrasikan dengan berbagai sosial media. Sistem informasi manajemen ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi masyarakat Indonesia yang ingin mendapatkan informasi bencana yang terjadi. Dengan adanya perancangan sistem informasi manajemen berbasis portal berita digital ini diharapkan masyarakat dapat memperoleh informasi secara cepat, akurat, dan terpercaya mengenai kebencanaan yang terjadi di Indonesia. Selain itu, sistem ini juga dapat mengurangi penyebaran *hoax* di media sosial dan website.

Kata Kunci: kebencanaan, portal berita digital, sistem informasi manajemen

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk negara yang sering dilanda bencana, baik yang disebabkan oleh manusia maupun faktor alam. Beberapa bencana yang diakibatkan oleh faktor manusia, antara lain kebakaran hutan, tanah longsor, banjir, dan pencemaran yang disebabkan oleh industri. Bencana dapat juga disebabkan oleh faktor alam, seperti gempa, banjir, tanah longsor, dan tsunami. Kondisi ini pula yang menyebabkan Indonesia termasuk salah satu negara yang paling sering dilanda bencana, yang berdampak pada kerugian harta benda dan jiwa. Indonesia terletak di antara dua benua dan dua Samudra, serta terdapat pertemuan lempeng Eurasia, Australia, dan lempeng Pasifik, menyebabkan adanya potensi yang besar untuk terjadi bencana gempa bumi dan tsunami. Selain itu potensi bencana letusan gunung berapi dan longsor juga sangat besar karena wilayah Indonesia termasuk kedalam gugusan gunung berapi di dunia atau yang lebih dikenal dengan sebutan cincin api Pasifik (Fikri *et al.*, 2011). Pada dasarnya bencana tidak dapat dihindarkan namun bencana dapat diminimalikan, sehingga penderitaan yang ditimbulkan dapat dikurangi. Salah satu cara yang dapat dilakukan pada era informasi saat ini adalah dengan menerapkan Manajemen Bencana yang efektif melalui penerapan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang akurat dan handal (Magnusson & Nyberg, 2018). Meskipun saat ini sudah ada pemanfaatan TIK dalam penganganan bencana, sampai saat ini belum ada sistem yang secara spesifik dapat memberitakan bencana secara langsung dan terintegrasi dengan berbagai Media sosial, seperti facebook, twiter, Instagram, dsb. Sampai saat ini website yang dikelola oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) belum secara spesifik mengelola portal kebencanaan yang terhubung dengan media sosial.

Pada tahun 2018 di Indonesia terdapat lebih dari 130 juta pengguna media sosial yang aktif, angka tersebut akan bertambah dari tahun ke tahun. Itu berarti hampir 50% penduduk Indonesia adalah pengguna media sosial yang aktif (Jakpat, 2018). Kekuatan media sosial sangat banyak pada era sistem informasi saat ini, contoh paling nyata adalah untuk berkomunikasi yang difasilitasi oleh platform media sosial seperti facebook, Instagram, twiter, dsb. Perusahaan yang bergerak di bidang *Internet Service Provider*

(ISP) seperti Biznet memiliki sarana dan prasarana yang memadai. Bahkan cakupan jaringan fiber optik saat ini sudah mencapai area kelurahan.

Dalam penerapannya, manajemen pra bencana dan manajemen pasca bencana menuntut akses cepat ke layanan yang andal dan data akurat serta didukung kapasitas untuk menilai, menganalisis, dan mengintegrasikan informasi dari berbagai sumber. Selama bencana, informasi yang akurat sangat diperlukan seperti informasi pasokan air, makanan, dan obat-obatan. Jenis informasi yang tepat dikomunikasikan dan digunakan di waktu yang tepat dapat menyelamatkan nyawa, mata pencaharian dan sumber daya. info penting mengenai bencana, sangat membantu untuk mengurangi kerugian akibat bencana.

Artikel ini merupakan kajian yang bersumber dari berbagai media dan secara lebih rinci akan menjelaskan tentang peran portal berita bencana yang terintegrasi dengan media sosial.

JENIS BENCANA

Bencana didefinisikan sebagai suatu peristiwa atau serangkaian peristiwa yang menyebabkan adanya korban dan atau kerusakan, kerugian harta benda, infrastruktur, pelayanan-pelayanan penting atau sarana kehidupan pada satu skala yang berada di luar kapasitas normal (Coburn, 2016). Selain itu, Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana menyebutkan bahwa yang dimaksud dengan bencana adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis. Dalam undang-undang tersebut juga dijabarkan definisi dan jenis-jenis Bencana, baik yang disebabkan oleh factor alam, non alam, maupun manusia (BNPB, 2017) sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1.
Definisi dan Jenis Bencana
Menurut Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007

| NO | JENIS | DEFINISI |
|----|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Bencana alam | Bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor. |
| 2 | Bencana non-alam | Bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa non-alam yang antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit. |
| 3 | Bencana sosial | Bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang diakibatkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antarkelompok atau antarkomunitas masyarakat, dan teror. |
| 4 | Kejadian Bencana | Peristiwa bencana yang terjadi dan dicatat berdasarkan tanggal kejadian, lokasi, jenis bencana, korban dan/ataupun kerusakan. Jika terjadi bencana pada tanggal yang sama dan melanda lebih dari satu wilayah, maka dihitung sebagai satu kejadian. |
| 5 | Gempa bumi | Getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng bumi, patahan aktif, aktivitas gunung api atau runtuhannya batuan. |

| NO | JENIS | DEFINISI |
|----|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6 | Letusan gunung api | Merupakan bagian dari aktivitas vulkanik yang dikenal dengan istilah "erupsi". Bahaya letusan gunung api dapat berupa awan panas, lontaran material (pijar), hujan abu lebat, lava, gas racun, tsunami dan banjir lahar. |
| 7 | Tsunami | Berasal dari bahasa Jepang yang berarti gelombang ombak lautan ("tsu" berarti lautan, "nami" berarti gelombang ombak). Tsunami adalah serangkaian gelombang ombak laut raksasa yang timbul karena adanya pergeseran di dasar laut akibat gempa bumi. |
| 8 | Tanah longsor | Merupakan salah satu jenis gerakan massa tanah atau batuan, ataupun percampuran keduanya, menuruni atau keluar lereng akibat terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng. |
| 9 | Banjir | Peristiwa atau keadaan dimana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat. |
| 10 | Banjir bandang | Banjir yang datang secara tiba-tiba dengan debit air yang besar yang disebabkan ter bendungnya aliran sungai pada alur sungai. |
| 11 | Kekeringan | Ketersediaan air yang jauh di bawah kebutuhan air untuk kebutuhan hidup, pertanian, kegiatan ekonomi dan lingkungan. Adapun yang dimaksud kekeringan di bidang pertanian adalah kekeringan yang terjadi di lahan pertanian yang ada tanaman (padi, |

| NO | JENIS | DEFINISI |
|----|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | jagung, kedelai dan lain-lain) yang sedang dibudidayakan. |
| 12 | Kebakaran | Situasi dimana bangunan pada suatu tempat seperti rumah/pemukiman, pabrik, pasar, gedung dan lain-lain dilanda api yang menimbulkan korban dan/atau kerugian. |
| 13 | Kebakaran hutan dan lahan | Suatu keadaan di mana hutan dan lahan dilanda api, sehingga mengakibatkan kerusakan hutan dan lahan yang menimbulkan kerugian ekonomis dan atau nilai lingkungan. Kebakaran hutan dan lahan seringkali menyebabkan bencana asap yang dapat mengganggu aktivitas dan kesehatan masyarakat sekitar. |
| 14 | Angin puting beliung | Angin kencang yang datang secara tiba-tiba, mempunyai pusat, bergerak melingkar menyerupai spiral dengan kecepatan 40-50 km/jam hingga menyentuh permukaan bumi dan akan hilang dalam waktu singkat (3-5 menit). |
| 15 | Gelombang pasang atau badai | Gelombang tinggi yang ditimbulkan karena efek terjadinya siklon tropis di sekitar wilayah Indonesia dan berpotensi kuat menimbulkan bencana alam. Indonesia bukan daerah lintasan siklon tropis tetapi keberadaan siklon tropis akan memberikan pengaruh kuat terjadinya angin kencang, gelombang tinggi disertai hujan deras. |

| NO | JENIS | DEFINISI |
|----|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 16 | Abrasi | Proses pengikisan pantai oleh tenaga gelombang laut dan arus laut yang bersifat merusak. Abrasi biasanya disebut juga erosi pantai. Kerusakan garis pantai akibat abrasi ini dipicu oleh terganggunya keseimbangan alam daerah pantai tersebut. Walaupun abrasi bisa disebabkan oleh gejala alami, namun manusia sering disebut sebagai penyebab utama abrasi. |
| 17 | Kecelakaan transportasi | Kecelakaan moda transportasi yang terjadi di darat, laut dan udara. |
| 18 | Kecelakaan industri | Kecelakaan yang disebabkan oleh dua faktor, yaitu perilaku kerja yang berbahaya (<i>unsafe human act</i>) dan kondisi yang berbahaya (<i>unsafe conditions</i>). Adapun jenis kecelakaan yang terjadi sangat bergantung pada macam industrinya, misalnya bahan dan peralatan kerja yang dipergunakan, proses kerja, kondisi tempat kerja, bahkan pekerja yang terlibat di dalamnya. |
| 19 | Kejadian Luar Biasa (KLB) | Timbulnya atau meningkatnya kejadian kesakitan atau kematian yang bermakna secara epidemiologis pada suatu daerah dalam kurun waktu tertentu. Status Kejadian Luar Biasa diatur oleh Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 949/MENKES/SK/VII/2004. |
| 20 | Konflik Sosial atau kerusuhan sosial atau huru hara | Suatu gerakan massal yang bersifat merusak tatanan dan tata tertib sosial yang ada, yang dipicu oleh kecemburuan sosial, budaya dan ekonomi yang biasanya dikemas sebagai pertentangan antar suku, agama, ras (SARA). |

| NO | JENIS | DEFINISI |
|----|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 21 | Aksi Teror | Aksi yang dilakukan oleh setiap orang yang dengan sengaja menggunakan kekerasan atau ancaman kekerasan sehingga menimbulkan suasana teror atau rasa takut terhadap orang secara meluas atau menimbulkan korban yang bersifat masal, dengan cara merampas kemerdekaan sehingga mengakibatkan hilangnya nyawa dan harta benda, mengakibatkan kerusakan atau kehancuran terhadap obyek-obyek vital yang strategis atau lingkungan hidup atau fasilitas publik internasional. |
| 22 | Sabotase | Tindakan yang dilakukan untuk melemahkan musuh melalui subversi, penghambatan, pengacauan dan/ atau penghancuran. Dalam perang, istilah ini digunakan untuk mendiskripsikan aktivitas individu atau grup yang tidak berhubungan dengan militer, tetapi dengan spionase. Sabotase dapat dilakukan terhadap beberapa sruktur penting, seperti infrastruktur, struktur ekonomi, dan lain-lain. |

Sumber: BNPB (2017)

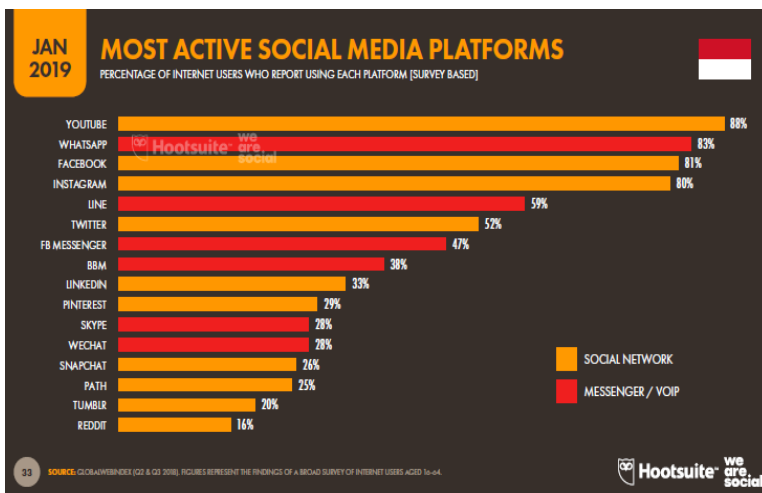
PERKEMBANGAN TEKNOLOGI INFORMASI DAN SOSIAL MEDIA DI INDONESIA

Salah satu hal yang sangat penting ketika terjadi suatu bencana adalah penyebaran informasi. Perkembangan teknologi informasi yang sangat cepat dan telah masuk ke berbagai bidang kehidupan, menjadikan jarak, tempat, dan waktu bukan lagi menjadi kendalayang berarti. Terkait penetrasi dan pengguna internet di Indonesia, menurut data statistik bulan januari 2019, dari 262,2 juta jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2019,

sebanyak 150 juta (56%) masyarakat Indonesia telah mengakses Internet dan aktif dalam berbagai jaringan sosial media. Bahkan jumlah mobile phone yang dimiliki oleh masyarakat lebih besar dari jumlah penduduk Indonesia, yaitu 350 juta mobile phone. Artinya 1 orang dapat memiliki beberapa mobile phone (Hootsuite, 2019). Dari data tersebut terlihat bahwa selain pengguna internet, peran media sangat besar dalam perkembangan TIK.

Indonesia sebagai negara kepulauan yang terdiri dari beribu pulau, dengan keragaman sosial dan budaya, infrastruktur, dan fasilitas yang beragam, mempunyai tantangan yang besar dalam penyampaian informasi yang akurat, cepat, dan efisien. Jika dilihat dari data statistik, bahwa pengguna sosial media cukup tinggi maka dapat dikatakan bahwa sosial media cukup efektif sebagai media untuk menyampaikan suatu berita maupun sebagai media komunikasi.

Teknologi informasi dan komunikasi di Indonesia telah berkembang dengan pesat, khususnya perkembangan infrastruktur internet, seperti akses wifi, jaringan fiber. Data menunjukkan bahwa pada tahun 2019 pembangunan infrastruktur jaringan internet di Indonesia diperkirakan mencapai 71% dengan kecepatan 20 Mbps di wilayah perkotaan dan 10 Mbps di wilayah perdesaan (Data Centric Technology, 2019). Sebagian besar wilayah kepulauan di Indonesia dapat menikmati sambungan internet melalui fiber optic. Perkembangan tersebut secara signifikan diikuti pula dengan perkembangan sosial media yang sangat pesat. Berbagai sosial media tersebut membuka akses bagi komunitas global kepada berbagai sumber berita. Selama tahun 2019 tercatat 16 sosial media aktif digunakan sebagai alat komunikasi. Gambar 1 menunjukkan bahwa pada tahun 2019, lima *platform* sosial media terbesar yang digunakan oleh masyarakat Indonesia, berturut-turut adalah youtube (88%), whatsapp (83%), facebook (81%), Instagram (80%), dan line (59%) (Hootsuite, 2019).



Sumber: Hootsuite (2019)

Gambar 1. Ranking Platform Sosial Media di Indonesia pada Januari 2019

Tingginya pengguna sosial media di Indonesia memberikan peluang untuk penyebaran informasi kebencanaan. Dalam jangka panjang penyampaian informasi dan komunikasi yang akurat dapat menjadi pembelajaran bagi masyarakat Indonesia. Strategi penyampaian informasi kebencanaan yang cepat dan akurat adalah dengan memadukan berita kebencanaan dengan berbagai sosial media dalam bentuk portal berita.

Portal berita merupakan situs yang menyediakan fungsi melalui halaman web seperti yang digunakan oleh situs Detik di <http://www.detik.com>. Istilah "*Portal Web*" berarti suatu jaringan layanan yang menyatukan substansi atau isi berita dari beragam sumber untuk kemudian terdistribusi melalui akses Internet. Berdasarkan informasi data yang didapatkan dari <http://alexa.com>, yaitu sebuah web yang sejak 1996 telah melakukan pengumpulan database mengenai situs internet di dunia, termasuk data statistik, diketahui bahwa detik.com, kompas.com, vivanews.com, okezone.com dan tempo.co saat ini menjadi 5 situs portal berita dengan *reach* dan *pageview* tertinggi di Indonesia (Arifin, 2013). Pemanfaatan portal memiliki kemampuan untuk memberikan berita secara

cepat kepada masyarakat dalam waktu yang cukup singkat dengan menggunakan berbagai perangkat.

BERBAGAI FAKTOR YANG MENJADI PERTIMBANGAN DALAM PENGEMBANGAN SISTEM KEBENCANAAN YANG TERINTEGRASI DENGAN SOSIAL MEDIA

1. Tampilan laman

Dalam mengembangkan sebuah portal yang dapat memberikan informasi secara cepat dan akurat terkait informasi manajemen berita kebencanaan diperlukan beberapa data tentang bencana yang dapat dirancang untuk dapat diintegrasikan dengan sosial media. Data tersebut dapat berupa lokasi bencana, wilayah geografi dan topografi, iklim, data kerusakan, infrastruktur dan fasilitas bantuan terdekat, dsb.

Beberapa website yang dapat digunakan sebagai rujukan untuk merancang sebuah aplikasi portal kebencanaan adalah sebagai berikut.

- a. **Peta bencana.id**, adalah aplikasi gratis dan terbuka untuk penanganan bencana di Jakarta. *Platform* ini menggunakan paradigma “manusia sebagai sensor terbaik”, yaitu mengumpulkan laporan terkonfirmasi secara langsung dari pengguna di lapangan. Berkas metode ini, pengolahan data dapat berlangsung cepat dengan biaya minimum. Data yang dihasilkan bersifat *real-time*, akurat dan langsung tersedia bagi pengguna dan petugas yang berwenang. Sistem ini melakukan pengumpulan, pemilihan dan penyajian data menggunakan *CogniCity Open Source Software*, yaitu sebuah platform yang banyak digunakan untuk penanganan bencana. Laporan terkonfirmasi dikumpulkan secara langsung dari pengguna di lapangan, dengan metode yang memungkinkan pengolahan data yang cepat dengan biaya minimum. Kerangka kerja ini menghasilkan data *real-time* dan akurat, yang langsung tersedia untuk pengguna dan petugas darurat berwenang. PetaBencana.id mengumpulkan, menyortir, dan “memvisualisasikan” data menggunakan *CogniCity Open Source Software*. *Software* yang banyak digunakan untuk penanganan bencana ini mengubah cuitan di media sosial menjadi informasi penting bagi masyarakat dan instansi pemerintah (Petabencana, 2017).

- b. **Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)**, adalah laman yang membuat sebuah terobosan dengan menghadirkan website sebagai sarana untuk menghadirkan informasi terkait dengan kebencanaan. *Tagline* pada website BMKG yaitu cepat, tepat, akurat, luas, dan mudah dipahami, terlihat pada saat pertama kali mengakses website tersebut. Selain profil dari Institusi tersebut kita dapat mengakses beberapa fasilitas, seperti cuaca, iklim, kualitas udara, dan berbagai berita bencana gempa bumi dan tsunami di Indonesia. Selain itu diberikan pula layanan informasi terkait IT & sarana teknis, menu untuk menginformasikan jaringan, *database*, dan *instrument* BMKG.

2. Sistem yang digunakan

Untuk mengembangkan sistem informasi manajemen kebencanaan berbasis portal digunakan tahapan *system development life cycle* (SDLC) dengan metode *waterfall*. SDLC merupakan tahapan yang terdiri dari berbagai fase yang menggambarkan bagaimana merancang, mengembangkan, dan memelihara proyek perangkat lunak. Dengan SDLC juga dapat dipastikan bahwa semua persyaratan fungsional dan pengguna, tujuan dan sasaran terpenuhi. Ini membantu dalam kualitas produksi dan kepuasan pelanggan. Pengembangan perangkat lunak ini menggunakan metodologi siklus atau fase ulang, jadi perubahan bisa dilakukan pada desain selanjutnya (Barjtya *et al.*, 2017).

Pada dasarnya terdapat beberapa jenis-jenis SDLC (*Software Development Lifecycle*), seperti V Model, Air terjun (*waterfall*), Model *Iterative*, dan Model Agile. Setiap model memiliki kekurangan dan kelebihan. Misalnya model air terjun (*waterfall*) adalah model tradisional SDLC yang dalam pengembangannya setiap fase diselesaikan sebelum melanjutkan ke fase berikutnya. Tidak ada opsi untuk kembali setelah pindah ke fase berikutnya. Dalam model air terjun, fase selanjutnya tergantung pada hasil *frame* sebelumnya.

Sementara V Model merupakan model tingkat lanjut dari *waterfall model*. Fungsionalitas pengujian ditambahkan pada setiap tahap pengembangan proyek alih-alih proyek penyelesaian proyek yang mengarah pada pengembangan proyek yang lebih baik. Dalam model ini juga tidak ada perpindahan ke langkah berikutnya, kecuali bila langkah sebelumnya tidak

selesai. Dalam model ini tidak boleh terjadi penyimpangan dari tujuan proyek karena setiap fase terdapat proses pengujian.

Sementara untuk model Iterative, proyek dapat dikembangkan dalam potongan kecil. Setiap potongan yang diperbarui berisi beberapa fungsi tambahan. Dalam model ini tidak perlu persyaratan penuh tidak seperti V model yang menggunakan model Air Terjun untuk pengembangan perangkat lunak. Pada setiap iterasi, beberapa persyaratan tambahan ditambahkan dan membuat versi terbaru dari perangkat lunak. Proses ini berlanjut sampai pengembangan proyek selesai. Satu kelebihan dari model berulang dibanding metodologi SDLC lainnya adalah adanya versi aplikasi yang berfungsi pada awal proses sehingga lebih mudah untuk mengimplementasikan perubahan. Adapun kelemahannya adalah bahwa sumber daya dapat cepat habis dengan mengulangi proses berulang kali.

Model lainnya adalah model Agile yang merupakan model campuran atau *hybrid* yang menggunakan keunggulan model iteratif dan inkremental dengan membagi produk perangkat lunak menjadi peralatan. Pada setiap siklus atau iterasi, ada model kerja komponen yang disampaikan. Model ini memiliki rilis yang diperbarui dan setiap rilis berisi beberapa pembaruan tambahan. Setelah selesai setiap iterasi, produk diuji untuk memastikan bahwa iterasi dapat diterima atau tidak. Model Agile menekankan asosiasi antara klien, pengembang, dan penguji di dalam satu proyek. Manfaat dari model Agile adalah bahwa sistem ini cepat menghasilkan produk operasional dan diukur dengan pendekatan pengembangan yang sangat praktis. Salah satu kelemahan dari model ini adalah karena ketergantungan pada komunikasi klien. Proyek ini dapat menuju ke arah yang salah jika klien tidak yakintentang kebutuhan atau arah yang ingin dituju.

Pada artikel ini pembahasan terfokus pada model air terjun (*waterfall*). Hal ini karena model Air terjun mudah dikelola dan mudah dipahami. Meskipun dalam beberapa hal, model ini dapat menyebabkan keterlambatan penyelesaian proyek karena tidak dapat berpindah ke tahap berikutnya sebelum menyelesaikan fase pertama. Namun masih ada kesempatan untuk revisi setelah satu tahap selesai. Kekurangan dari model ini adalah persyaratannya jelas sebelum pengembangan proyek karena tidak

boleh ada intervensi klien di antara proyek. Jika suatu persyaratan salah atau hilang, tidak akan terlihat sampai tahap akhir dari siklus kehidupan.

Menurut Barjtya *et al.* (2017) tahapan/fase yang harus dijalani dalam pengembangan aplikasi menggunakan SDLC model *waterfall* adalah sebagai berikut.

1. Analisis Kebutuhan

Fase ini merupakan fase yang sangat penting. Fase ini berupa diskusi intensif dengan klien (*user*) untuk mendapatkan informasi dari klien tentang kebutuhan sebuah sistem. Tujuan dari fase ini adalah untuk memastikan semua orang yang terlibat memahami lingkup.

2. Desain

Tahap selanjutnya dari SDLC adalah fase desain. Selama fase desain, pengembang dan arsitek teknis memulai desain tingkat tinggi dari perangkat lunak dan sistem untuk dapat merumuskan kebutuhan. Rincian teknis desain dibahas dengan pemangku kepentingan. Rincian itu berisi berbagai parameter seperti risiko, teknologi yang akan digunakan, kemampuan tim, kendala proyek, waktu dan anggaran ditinjau dan kemudian pendekatan desain terbaik dipilih untuk produk.

3. Implementasi

Dalam fase proses yang harus dilakukan adalah mengimplementasikan semua persyaratan yang dikumpulkan dari klien. Dalam fase-fase ini, pengkodean dimulai sesuai kebutuhan klien. Setiap orang mulai melakukan pekerjaan administrator database. Mereka mulai membuat pemrograman database. Dapat juga dilakukan pengembangan GUI interaktif sesuai kebutuhan perangkat lunak.

4. Pengujian

Pengujian adalah fase terakhir dari SDLC sebelum perangkat lunak dikirimkan kepada klien. Dalam fase ini, dilakukan pemeriksaan apakah perangkat lunak berfungsi sesuai harapan atau tidak. Pada tahap ini juga dilakukan pemeriksaan dokument untuk memastikan bahwa perangkat lunak memenuhi seluruh persyaratan yang disebutkan oleh klien pada saat perjanjian.

5. Penyebaran dan Pemeliharaan

Setelah pengembangan perangkat lunak selesai, penulis dapat menggunakan perangkat lunak sesuai dengan penggunaan klien dan penulis dapat menyediakan biasanya ada tim pemeliharaan yang menangani masalah pasca-produksi. Jika suatu masalah ditemui dalam produksi, tim pengembangan diberitahu dan tergantung pada seberapa parah masalah itu. Mungkin saja diperlukan perbaikan singkat yang dibuat dan dikirim dalam waktu singkat.

RANCANGAN MODEL DESAIN SISTEM KEBENCANAAN YANG AKAN DIKEMBANGKAN

Untuk merancang portal kebencanaan berbagai komponen yang perlu menjadikan pertimbangan antara lain rancangan struktur dan rancangan halaman dari website itu sendiri. Berbagai komponen penting dalam mendesain rancangan struktur berbasis web adalah keberadaan internet, jenis media sosial, sistem informasi manajemen, dan portal berita aplikasi, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.

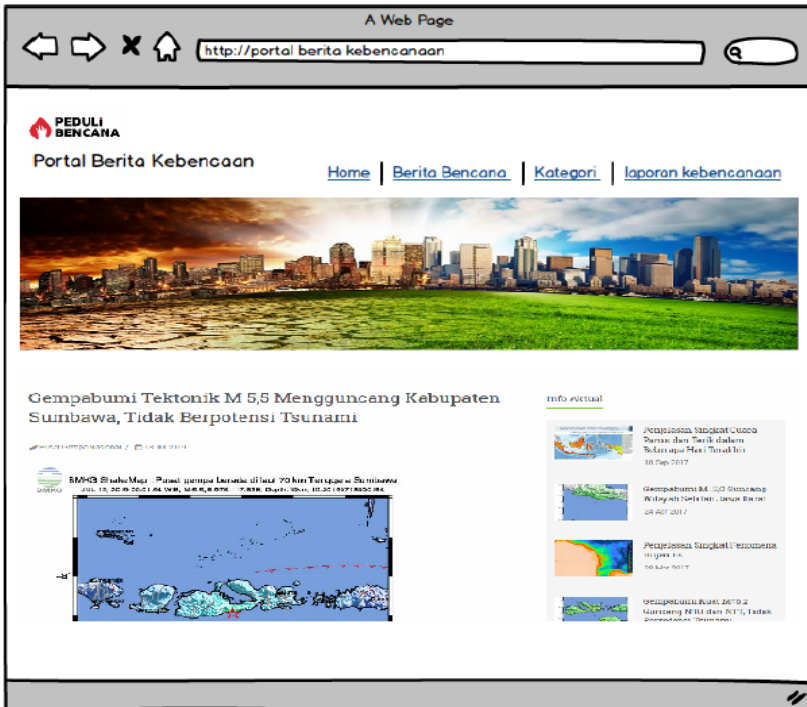


Gambar 2.
Rancangan Struktur Aplikasi Portal Berita Kebencanaan Berbasis *Website*

Gambar 2 menunjukkan bahwa internet berperan sangat penting dan merupakan faktor yang utama yang harus ada dalam mengembangkan sistem portal berita. Sistem ini akan mengambil informasi yang ada di internet baik dari media sosial ataupun dari beberapa website. Tidak kalah penting dengan faktor internet adalah faktor media sosial. sebagai sumber informasi utama yang akan ditampilkan pada aplikasi. Berbagai informasi terbaru dengan mudah didapatkan dari media sosial dibandingkan dari media lainnya seperti media cetak (koran dan majalah) atau media elektronik (tv, radio, dll). Media sosial menjadi tempat perputaran informasi yang paling terbaru, karena saat ini semua lapisan masyarakat menjadikan media tersebut sebagai media untuk kegiatan sehari-hari. Hal yang juga penting adalah mengembangkan sistem informasi manajemen berperan sebagai pengatur aplikasi portal berita.

Keluaran akhir dari rancangan ini adalah aplikasi Portal berita yang akan memuat berbagai berita dan informasi tentang kebencanaan. Perbedaan dari portal berita lainnya adalah, portal yang berbasis pada sistem informasi manajemen ini hanya terfokus pada info-info terkait dengan kebencanaan yang terjadi di Indonesia, yaitu informasinya dan sumber datanya berasal dari *media sosial*, yang *diposting* oleh masyarakat itu sendiri.

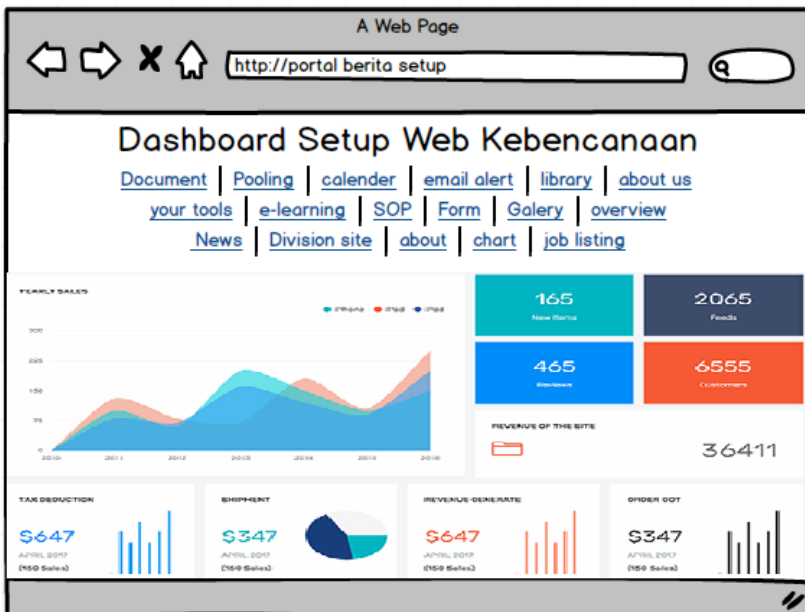
Untuk memenuhi kebutuhan *user* terkait berita dan informasi kebencanaan, dibuat rancangan dengan *mockup* halaman website seperti pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3.
Tampilan Rancangan Halaman Utama pada
Web Portal Berita Kebencanaan

Fasilitas layanan *Main Page (Home Page)* yang disediakan pada tampilan tersebut meliputi *Home*, Berita bencana, kategori, dan laporan kebencanaan. Dengan berbagai fasilitas tersebut diharapkan pengunjung mendapatkan informasi secara rinci tentang perkembangan kebencanaan yang terjadi secara *real time*.

Sementara untuk kebutuhan pengembang dibuat halaman administrator seperti pada Gambar 4.



Gambar 4.
Tampilan Rancangan Halaman Dashboard Setup pada
Web Portal Berita Kebencanaan

Bagi pengembang diperlukan komponen yang mencakup Info aktual dan dokumen berupa informasi terbaru terkait dengan kondisi cuaca terkini disetiap daerah. Informasi yang dimunculkan ke pengunjung dalam bentuk gambar dan slider *Weather Report*. Fasilitas *Polling/Survey* disediakan untuk mendapatkan informasi dan memberikan solusi penanggulangan bencana. Fasilitas lain yang disediakan bagi pengunjung adalah *Event Calendar*, *Email Alert*, *Library/List*, *About Us*, Web portal berita *Overview*, Web portal *Job Listing*, *Your Tools* yang berisi informasi dari berbagai media sosial, *Library*, *E-Learning*, *SOP*, *News & Events*, dan sebagainya.

Dalam mengembangkan perancangan sistem ini masih terdapat beberapa kendala seperti adanya informasi yang tidak akurat (*hoax*). Untuk itu diperlukan seorang admin yang berfungsi untuk mengolah dan menfilter data yang akurat. Disamping itu kendala lainnya adalah akses internet yang belum optimal, yang berpotensi menyebabkan informasi tidak diakses

secara *real time*. Diharapkan dengan semakin baiknya infrastruktur TIK sampai ke wilayah yang jauh dari kota besar maka akses kepada berita bencana akan semakin baik.

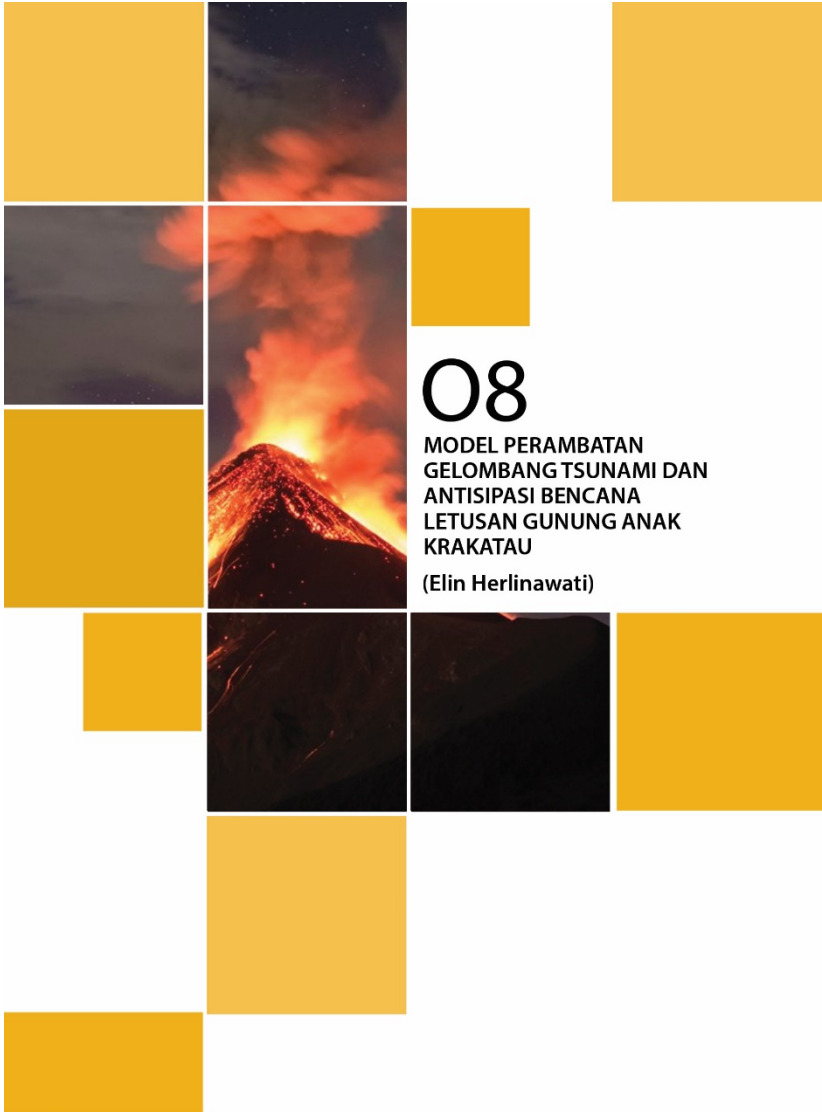
PENUTUP

Berdasarkan hasil pembahasan dan analisis, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pembuatan aplikasi sistem informasi manajemen kebencanaan berbasis web portal berita sangat bermanfaat bagi masyarakat untuk mendapatkan informasi terkait dengan kebencanaan, karena aplikasi tersebut dapat mengintegrasikan media sosial dan media elektronik lainnya.
2. Penerapan sistem informasi manajemen sangat cocok diterapkan pada portal berita kebencanaan ini. Karena dengan kualitas perancangan aplikasi yang tinggi harus melibatkan sistem informasi manajemen didalamnya.
3. Peran aplikasi media sosial seperti *facebook, instagram, dan twiter* sangat berpengaruh terhadap kecepatan informasi yang ditampilkan pada portal berita ini, karena masyarakat kita saat ini menjadikan *Media sosial* sebagai kebutuhan informasi yang primer. Hal ini dapat terlihat dari peningkatan penggunaan media sosial yaitu sebanyak 150 juta (56%) masyarakat Indonesia telah aktif dalam berbagai jaringan sosial media.
4. Dalam merancang aplikasi portal berita kebencanaan diperlukan komponen media social, system informasi manajemen, internet, portal berita.
5. Perlunya seorang admin yang mengolah dan menfilter data ketika portal sudah berjalan untuk mencegah berita yang tidak akurat (*hoax*).

DAFTAR PUSTAKA

- Administrator BNPB (2017). *Definisi dan jenis bencana*. Diakses dari <https://bnpb.go.id//definisi-bencana>
- Arifin, P. (2013). Persaingan tujuh portal berita online Indonesia berdasarkan analisis uses and gratifications. *Jurnal Ilmu Komunikasi*, 10 (2): 195–211.
- Barjitya, S., Sharma, A., & Rani, U. (2017). A detailed study of Software Development Life Cycle (SDLC) models. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 6(7): 22097–22100.
- Coburn, A.W., Spence, R.J.S., & Pomonis, A. (1994). *Vulnerability and risk assessment*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge Architectural Research Limited.
- Data Centric Technology (2019). *Perkembangan fiber optic Indonesia*. Diakses pada September 2019, dari <https://www.dct.co.id/component/tags/tag/perkembangan-fiber-optik-di-indonesia.html>
- Hootsuite (2019). *Digital 2019*. Vancouver. Diakses dari <https://hootsuite.com>
- Jakpat (2018). *Indonesia social media tren 2018*. Diakses dari <https://jakpat.net>
- Magnusson, M. & Nyberg, L. (2018). Information systems for disaster management training: investigating user needs with a design science research approach. *Proceedings of the 15th ISCRAM Conference*, Rochester, NY, USA.
- Petabencana (2017). *Peta bencana*. Diakses dari url <https://petabencana.id>



08

MODEL PERAMBATAN
GELOMBANG TSUNAMI DAN
ANTISIPASI BENCANA
LETUSAN GUNUNG ANAK
KRAKATAU

(Elin Herlinawati)

MODEL PERAMBATAN GELOMBANG TSUNAMI DAN ANTISIPASI BENCANA LETUSAN GUNUNG ANAK KRAKATAU

Elin Herlinawati
(elin@ecampus.ut.ac.id)

Abstrak

Perambatan gelombang tsunami dapat disimulasikan dengan menggunakan persamaan matematika sebagai upaya memperoleh prediksi waktu kedatangan dari sumber gelombang tersebut ke pantai. Gelombang tsunami di sekitar Banten dan Lampung tidak hanya disebabkan oleh gempa akibat letusan Gunung Anak Krakatau melainkan juga oleh longsoran erupsinya yang jatuh ke laut. Berdasarkan persamaan gelombang panjang non linear dua dimensi dengan metode beda hingga dari sumber gelombang di lokasi Gunung Anak Krakatau (posisi awal koordinat $6^{\circ}06'00''$ LS dan $105^{\circ}24'00''$ BT), maka perambatan gelombang menyebar dan terdispersi dengan waktu antara 58-84 menit untuk mencapai pesisir pantai. Model perambatan gelombang tsunami karena longsoran erupsi Gunung Anak Krakatau berdasarkan alat pengukur pasang surut memberikan hasil bahwa jeda waktu kedatangan dari pusat timbulnya gelombang ke masing-masing stasiun pengukur pasang surut sekitar 29-142 menit dengan tinggi gelombang maksimum berkisar antara 0,36-0,91 meter. Dengan diperolehnya prediksi waktu tempuh gelombang tsunami sampai ke pantai, sebagai antisipasi bencana yang sangat penting dilakukan adalah pemasangan dan pemeliharaan alat pendeteksi tsunami dan rambu-rambu arah evakuasi bencana.

Kata Kunci: Gunung Anak Krakatau, perambatan gelombang, tsunami

PENDAHULUAN

Gunung Anak Krakatau merupakan gunung vulkanik yang berada di Selat Sunda. Gunung ini terbentuk akibat letusan Gunung Krakatau pada tahun 1883. Kejadian letusan pada tahun tersebut menyebabkan gelombang tsunami dahsyat dan menelan korban jiwa kurang lebih 36.417 orang. Tsunami yang terjadi pada tahun 1883 sangat besar beresiko akan terulang kembali (Mahi dan Zakaria, 2008). Hal ini disebabkan karena dari tahun 1927, Gunung Anak Krakatau terus bertambah tinggi dan pada tahun 2005, sekitar 75 tahun berlalu, ketinggiannya telah mencapai 315 meter di atas permukaan laut. Badan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) pernah menetapkan kondisi gunung ini dalam status Siaga (Level III) karena aktivitas vulkanik yang cukup tinggi pada saat itu. Status ini memberi peringatan bahwa nelayan, wisatawan, maupun penduduk sekitar dilarang mendekati gunung tersebut dalam radius tiga kilo meter, karena kemungkinan akan meletusnya gunung tersebut dalam waktu dekat adalah besar.

Salah satu upaya memperkirakan kemungkinan terjadinya tsunami akibat letusan Gunung Krakatau adalah dengan membuat model atau simulasi perambatan gelombang tsunami secara numerik. Pemodelan perambatan tsunami telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya pemodelan tsunami akibat gempa tektonik yang dilakukan oleh Marchuk & Anisimov (2001), Horrillo dkk (2004), Watts dkk (2005), Kowalk dan Proshutinsky (2006), dan pemodelan tsunami akibat gempa vulkanik yang dilakukan oleh Kawamata dkk (1993) dan Hantoro dkk (2007). Selain diakibatkan oleh gempa bumi, tsunami juga dapat diakibatkan oleh runtuhannya erupsi gunung api yang jatuh ke laut sehingga menyebabkan gelombang tinggi dan perambatan gelombang yang terjadi menyebabkan tsunami di pulau-pulau sekitarnya seperti erupsi Gunung Anak Krakatau yang terjadi pada tanggal 22 Desember 2018. Erupsi tersebut menyebabkan gelombang tsunami di sekitar pantai Anyer, Carita, Labuan, dan Lampung, serta pulau-pulau kecil di sekitarnya.

Penelitian mengenai tsunami yang diakibatkan oleh fenomena longsoran erupsi letusan gunung ke laut ini (bukan akibat gempa bumi) telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya yaitu Yokoyama (1987),

Nomanbhoy dan Satake (1995), dan Maeno dan Imamura (2011). Penelitiannya membahas mengenai simulasi propagasi tsunami selama berlangsungnya erupsi Gunung Krakatau 1883. Selain itu, Mader dan Gittings (2006) juga melakukan pemodelan numerik untuk ledakan hidrovulkanik dan tsunami Krakatau 1883, sedangkan Maeno (2005), Keating dan McGuire (2000), Ward (2001), Harbitz dkk (2006), Fritz dkk (2008), Waythomas dkk (2009), Kelfoun dkk (2010), Maeno dan Imamura (2011) dan Giachetti (2012) melakukan penelitian mengenai pembangkit tsunami dari erupsi vulkanik dan tanah longsor akibat reruntuhan vulkanik. Erupsi vulkanik di atas permukaan dapat menghasilkan longsor yang mengalir ke laut. Hal ini dapat memicu timbulnya gelombang tsunami.

Selanjutnya, dalam menghadapi peristiwa tsunami yang terjadi secara tiba-tiba, khususnya tsunami Gunung Anak Krakatau, tempat dan arah evakuasi menjadi salah satu perhatian utama dalam penanggulangan bencana tsunami. Penentuan tempat evakuasi bencana juga harus memperhitungkan kecepatan perambatan gelombang. Hal ini dapat dikaji dengan mempelajari histori kejadian tsunami Gunung Krakatau pada tahun 1883 dan tsunami yang pernah terjadi di daerah lain dengan karakteristik gunung api yang serupa dengan Gunung Anak Krakatau. Selain itu, pengkajian mengenai kontur permukaan bumi di wilayah jangkauan tsunami juga menjadi perhatian. Hal ini akan mempengaruhi waktu dan kecepatan datang tsunami di daerah pesisir pantai khususnya di wilayah pemukiman penduduk. Jeda waktu ini dapat dimanfaatkan oleh penduduk sekitar untuk melakukan penyelamatan diri ke tempat evakuasi bencana sebelum tsunami datang menghantam pemukiman penduduk.

Pada artikel ini, perambatan gelombang tsunami akibat gempa vulkanik dari letusan Gunung Anak Krakatau dimodelkan dengan persamaan gelombang panjang non linear dua dimensi dengan menggunakan pendekatan formula beda hingga dengan lokasi sumber gelombang diasumsikan sama dengan lokasi Gunung Anak Krakatau. Sementara itu, perambatan gelombang tsunami akibat longsor erupsi Gunung Anak Krakatau diobservasi dari waktu kedatangan di beberapa tempat kemudian dimodelkan secara numerik perambatan di sepanjang selat Sunda ke arah Banten dan Lampung. Berdasarkan model tersebut, dapat dilihat

karakteristik dan perilaku gelombang sehingga kecepatan dan arah perambatan gelombang dapat dipelajari. Hal ini diperlukan sebagai antisipasi bencana karena dapat diprediksinya selang waktu yang dibutuhkan gelombang tsunami sampai di pesisir/pemukiman.

Berbagai upaya perlu dilakukan oleh berbagai pihak dalam menghadapi kemungkinan bencana dari aktivitas Gunung Anak Krakatau. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir korban dan kerugian jika sewaktu-waktu bencana tsunami Gunung Anak Krakatu terjadi. Upaya yang dilakukan diantaranya dengan mengamati setiap aktivitas Gunung Anak Krakatau, memasang alat pendeteksi tsunami dan pemeliharannya, melakukan pemodelan perambatan gelombang tsunami untuk mengestimasi waktu kedatangan dan kecepatan gelombang tsunami, literasi bencana, dan rencana evakuasi bencana dan pasca bencana, dan upaya-upaya lainnya. Semua upaya tersebut akan mencapai hasil yang optimum jika terciptanya kolaborasi dan kerjasama yang baik dari semua pihak. Pada tulisan disajikan pemodelan perambatan gelombang tsunami sebagai salah satu upaya untuk mengestimasi waktu kedatangan dan kecepatan gelombang tsunami dari letusan dan erupsi Gunung Anak Karakatau sampai ke pantai pesisir Provinsi Banten dan Lampung.

PEMBAHASAN

Gunung Anak Krakatau

Krakatau merupakan salah satu kepulauan vulkanik dan masih aktif. Krakatau juga merupakan nama gunung berapi. Gunung Krakatau (yang sekarang telah hilang akibat letusan pada tahun 1883) juga berada di kepulauan ini. Persisnya, Gunung Krakatau terletak di perairan Selat Sunda yang diapit oleh Pulau Sumatera dan Jawa. Setelah 200 tahun tertidur, pada tahun 1883, Gunung Krakatau memuntahkan isi perut bumi dengan sangat dahsyat. Akibat letusan yang terjadi pada saat itu, Gunung Krakatau dikenal dunia. Awan panas dan tsunami akibat letusan ini menyebabkan puluhan ribu korban meninggal. Suara letusannya terdengar hingga Australia dan Afrika, sekitar 4.653 km dari pusat letusan. Daya ledaknya diperkirakan mencapai 30.000 kali bom atom yang dijatuhkan di Hiroshima dan Nagasaki

pada akhir Perang Dunia II. Letusan Gunung Krakatau pada tahun 1883 menjadi salah satu letusan gunung api terdahsyat pada abad ke-19 setelah Gunung Tambora pada tahun 1815 (Tantri, 2014).



Sumber: Sandick (1890)

Gambar 1.
Letusan Gunung Krakatau Tahun 1883

Pada masa itu, letusan ini menyebabkan perubahan suhu dan iklim dunia. Perubahan iklim terjadi di Eropa, Jepang, dan Amerika Serikat. Atmosfer menjadi gelap akibat debu vulkanik yang menutupi atmosfer bumi. Sebagian besar sinar matahari tidak dapat mencapai permukaan bumi karena tidak dapat menembus lapisan atmosfer. Matahari bersinar redup sampai satu tahun berikutnya. Suhu turun drastis hingga tujuh derajat celsius. Hamburan debu tampak di langit Norwegia hingga New York. Getarannya pun terasa hingga Eropa. Diperkirakan tsunami yang terjadi setinggi 40 meter dan mencapai 30 mil (kurang lebih 48,28 km) dari pantai menghancurkan pemukiman di pesisir pantai. Tsunami juga

menenggelamkan beberapa kota seperti Caringin, Panimbang, hingga Cirebon (Tantri, 2014).

Setelah kurang lebih 40 tahun letusan Gunung Krakatau, sekitar tahun 1927, dari kawasan kaldera purba muncul gunung api yang dikenal sebagai Anak Krakatau. Gunung api tersebut masih aktif dan terus bertambah tinggi. Kecepatan pertumbuhan tingginya sekitar 0,5 meter per bulan. Catatan lain mengatakan, pertumbuhannya sekitar 4 cm per tahun. Jika dihitung, maka dalam waktu 25 tahun, penambahan tinggi anak Karakatu bisa mencapai 190 meter lebih tinggi dari 25 tahun sebelumnya. Saat ini ketinggian Anak Krakatu mencapai sekitar 230 meter di atas permukaan laut, sedangkan Gunung Karakatau sebelum meletus memiliki tinggi 813 meter di atas permukaan laut.



Sumber: Wikipedia Contributor (2008)

Gambar 2.
Gunung Anak Krakatau (Februari 2008)

Gunung Anak Krakatau terus melakukan erupsi hingga puncaknya pada tanggal 22 Desember 2018. Erupsi Gunung Anak Krakatau menyebabkan runtuhnya bagian puncak Gunung Anak Krakatau yang kemudian bergerak cepat jatuh ke laut. Hal ini menyebabkan terjadinya gelombang tinggi (dalam hal ini gelombang tsunami) yang perambatannya sampai pada

sebagian pantai provinsi Banten dan Lampung. Gelombang tsunami juga menghempas pulau-pulau kecil di sekitar Gunung Anak Krakatau. Kecepatan perambatan gelombang tersebut dapat diprediksi dengan melakukan pemodelan dari gelombang tsunami yang terjadi.

MODEL PERAMBATAN GELOMBANG TSUNAMI

Model matematika yang digunakan untuk mensimulasikan perambatan gelombang tsunami dalam artikel ini menggunakan model hidrodinamik persamaan gelombang panjang yang diturunkan dari persamaan Navier-Stokes dan *digital elevation model (DEM)*.

1. Tsunami Akibat Gempa Vulkanik Gunung Anak Krakatau

a. Persamaan Gelombang

Pada artikel ini, pemodelan perambatan gelombang tsunami menggunakan persamaan gelombang panjang non linear dua dimensi. Model tersebut berupa persamaan momentum gerak gelombang permukaan baik dari arah sumbu x maupun sumbu y , dan persamaan kontinuitas. Zakaria (2009) menjelaskan persamaan-persamaan tersebut sebagai berikut.

- Persamaan momentum,

Arah sumbu- x

$$\partial u \partial t + u \partial u \partial x + v \partial u \partial y = g \partial \eta \partial x - r \cdot u \cdot u^2 + v^2 D, (1)$$

Arah sumbu- y

$$\partial v \partial t + u \partial v \partial x + v \partial v \partial y = g \partial \eta \partial y - r \cdot v \cdot u^2 + v^2 D, (2)$$

- Persamaan kontinuitas

$$\partial \eta \partial t = \partial(D \cdot u) \partial x - \partial(D \cdot v) \partial y, (3)$$

dengan η menyatakan besar elevasi dari permukaan air (dalam meter), r menyatakan koefisien gesekan dasar perairan yakni $r = 0,025$, u menyatakan kecepatan pada arah x , v kecepatan pada arah y , g percepatan

gravitasi (dalam meter/detik²), dan $D = h + \eta$ menyatakan kedalaman air total.

Kemudian, untuk mencari solusi dari persamaan perambatan gelombang non linear dua dimensi tersebut, digunakanlah *finite different method* khususnya metode ekspilisit dengan domain waktu. Metode ini dapat dihampiri dengan menggunakan akurasi orde dua sebagai berikut.

$$\partial u \partial t = u_{i,j(k+1)} - u_{i,jk} \Delta x, \quad (4)$$

dengan Δt menyatakan tahapan waktu yakni 0,01 detik, dan $\Delta x = \Delta y$ menyatakan lebar grid. Dalam hal ini lebar grid yang digunakan sebesar 850 meter. Selanjutnya, dari persamaan (4) diperoleh

$$u \partial u \partial x = u_{i,jk} (u_{i+1,jk} - u_{i,jk} \Delta x),$$

$$v \partial u \partial y = v_{i,jk} (u_{i,(j+1)k} - u_{i,jk} \Delta y),$$

$$g \partial \eta \partial x = g (\eta_{i+1,jk} - \eta_{i,jk} \Delta x), \text{ dan}$$

$$r \cdot u \cdot u^2 + v^2 D = r \cdot u_{i,jk} (u_{i,jk})^2 + (v_{i,jk})^2 D,$$

sehingga persamaan momentum arah sumbu- x dapat ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned} u_{i,j(k+1)} - u_{i,jk} \Delta x + u_{i,jk} (u_{i+1,jk} - u_{i,jk} \Delta x) + v_{i,jk} (u_{i,(j+1)k} - u_{i,jk} \Delta y) \\ = g (\eta_{i+1,jk} - \eta_{i,jk} \Delta x - r \cdot u_{i,jk} (u_{i,jk})^2 + (v_{i,jk})^2 D). \end{aligned}$$

Selanjutnya, tinjau persamaan momentum arah sumbu- y ,

$$\partial v \partial t = v_{i,j(k+1)} - v_{i,jk} \Delta t,$$

$$v \partial v \partial y = v_{i,jk} (v_{i,(j+1)k} - v_{i,jk} \Delta y),$$

$$u \partial v \partial x = u_{i,jk} (v_{i+1,jk} - v_{i,jk} \Delta x),$$

$$g \partial \eta \partial y = g (\eta_{i,(j+1)k} - \eta_{i,jk} \Delta y),$$

$$r \cdot v \cdot u^2 + v^2 D = r \cdot v_{i,jk} (u_{i,jk})^2 + (v_{i,jk})^2 D,$$

diperoleh

$$v_{i,j(k+1)} - v_{i,jk} \Delta t + u_{i,jk} (v_{i+1,jk} - v_{i,jk} \Delta x) + v_{i,jk} (v_{i,(j+1)k} - v_{i,jk} \Delta y) = -g(\eta_{i,(j+1)k} - \eta_{i,jk} \Delta y) - r \cdot v_{i,jk} (u_{i,jk})^2 - (v_{i,jk})^2 D.$$

dengan $D_{i,jk} = h_{i,jk} + \eta_{i,jk}$.

Kemudian dengan menggunakan metode beda hingga pada persamaan kontinuitas dengan diperoleh

$$\begin{aligned} \eta_{i,j(k+1)} - \eta_{i,jk} \Delta t &= -\partial(D_{i,jk} \cdot (u_{i,jk} - u_{i-1,jk} \Delta x) - u_{i,jk} \cdot (D_{i,jk} - D_{i-1,jk} \Delta x)) \end{aligned}$$

dan

$$Dv\partial y = D_{i,jk} \cdot (v_{i,jk} - v_{i,j-1k} \Delta y) + v_{i,jk} \cdot (D_{i,jk} - D_{i,j-1k} \Delta y).$$

b. Kondisi Batas Model

Persamaan yang digunakan untuk menghitung kondisi batas pada model perambatan gelombang tsunami adalah persamaan kondisi batas terbuka yang diformulasikan sebagai berikut,

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \text{ dan } \frac{\partial \eta}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

dengan h menyatakan kedalaman (konstan) sehingga refleksi dari *boundary* dapat direduksi menjadi

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} \pm \sqrt{g \cdot h} \frac{\partial}{\partial x} \right) \left(u \pm \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \eta \right) = 0$$

Dengan h menyatakan kedalaman dasar perairan (dalam meter) sehingga perambatan gelombang untuk arah negatif dapat dituliskan sebagai berikut,

$$u_2 \pm \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \eta_2 = u_2 \pm \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \eta_1$$

dan perambatan gelombang untuk arah positif dituliskan sebagai berikut.

$$u_2 \pm \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \eta_2 = u_0 \pm \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \eta_0.$$

c. Kondisi Awal Model

Kondisi awal perambatan gelombang tsunami diasumsikan seperti diakibatkan meletusnya Gunung Krakatau tahun 1883. Sumber gelombang dalam pemodelan numerik merupakan sumber berupa titik. Pada lokasi Gunung Anak Krakatau diasumsikan terjadi pergerakan muka air atau gelombang setinggi 200 meter, hal ini diperlukan agar gelombang tersebut nantinya akan mengalami perambatan gelombang yang akan dihitung tinggi gelombang serta waktu yang diperlukan mencapai pantai.

d. Data Bathymetri

Pemodelan perambatan gelombang tsunami memerlukan data kontur kedalaman air. Kontur ini dinamakan bathymetri. Format yang dipergunakan adalah dalam format x, y , dan z . Data dengan lebar grid Δx dan Δy atau dengan resolusi 1 menit atau lebih kurang 800 meter. Data ini bisa diperoleh dari GEODAS dan GEBCO. GEODAS dan GEBCO tidak hanya memberikan data bathymetri tapi juga data topografi.

e. Hasil Simulasi

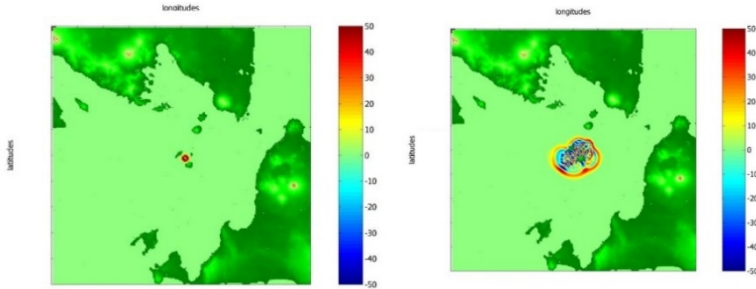
Sumulasi dilakukan pada tiga titik yaitu Teluk Betung, Kalianda, dan Merak. Sebagai pembanding waktu perambatan gelombang, percobaan dilakukan dalam tiga kali simulasi. Hal ini diperlukan untuk membandingkan galat dari masing-masing simulasi sehingga dapat diperkirakan waktu kedatangan gelombang di pesisir pantai. Hasil simulasi perambatan gelombang tsunami akibat meletusnya Gunung Anak Krakatau disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1.
Waktu Perambatan Gelombang

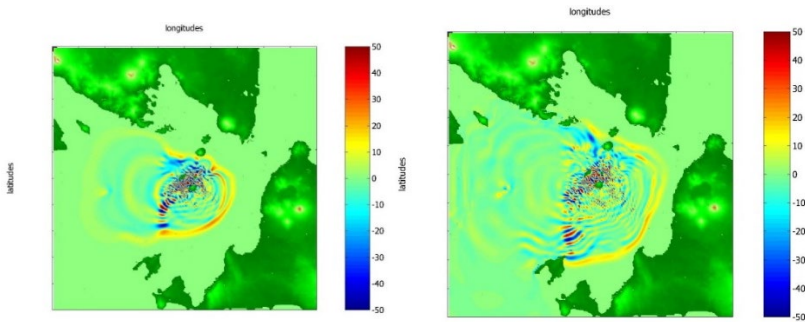
| Lokasi | Simulasi 1 (menit) | Simulasi 2 (menit) | Simulasi 3 (menit) | Hasil |
|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| Teluk Betung | 76 | 82 | 78 | <5000 detik |
| Kalianda | 48 | 48 | 45 | 2500 detik |
| Merak | 51 | 47 | 58 | < 3500 detik |

Sumber: Zakaria (2009)

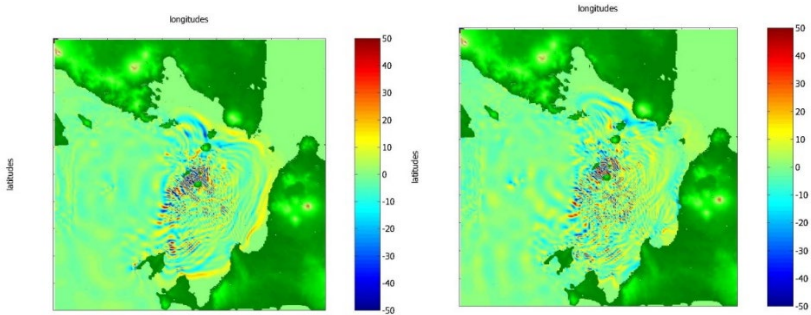
Perambatan gelombang dimulai dari pusat lokasi terbentuknya gelombang air laut kemudian menyebar ke sebagian pesisir pantai pulau Jawa dan Sumatera. Berdasarkan tabel di atas, hasil simulasi perambatan gelombang tsunami adalah sebagai berikut.



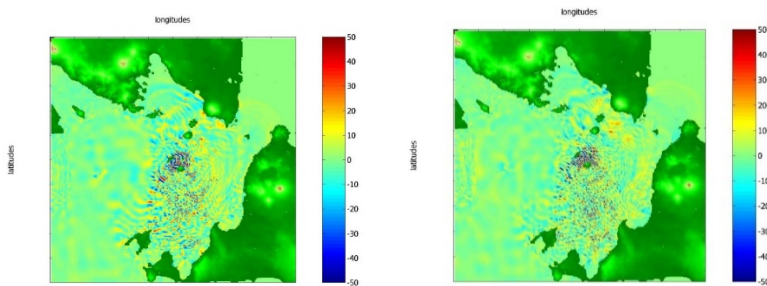
Gambar 3.
Perambatan Gelombang Tsunami $t = 50$ detik (kiri)
dan $t = 500$ detik (kanan)



Gambar 4
Perambatan Gelombang Tsunami
 $t = 1000$ detik (kiri) dan $t = 1500$ detik (kanan)



Gambar 5.
Perambatan Gelombang Tsunami
t = 2000 detik (kiri) dan t = 2500 detik (kanan)



Gambar 6.
Perambatan Gelombang Tsunami
t = 3000 detik (kiri) dan t = 3500 detik (kanan)

Gambar 3 s.d 6 menunjukkan simulasi perambatan gelombang tsunami akibat meletusnya Gunung Anak Krakatau untuk setiap waktu t mulai dari 50 detik sampai dengan 5000 detik. Sumber gelombang yang dipergunakan untuk mensimulasikan letusan gunung berupa sumber gelombang titik dengan tipe Ricker wavelet. Gelombang yang dihasilkan lebih halus bila dibandingkan dengan gelombang sinus. Signal atau gelombang yang disimulasikan ini merupakan gelombang tunggal.

Koordinat awal munculnya gelombang diperkirakan dari koordinat $6^{\circ}06'00''$ LS dan $105^{\circ}24'00''$ BT, kemudian gelombang tsunami dengan ketinggian 200 meter merambat ke pantai di sekitar Lampung dan Banten. Selain itu, terdapat pulau-pulau kecil disekitar arah perambatan gelombang sehingga gelombang terhalang oleh pulau-pulau tersebut. Hal ini mengakibatkan gelombang tsunami yang merambat terdispersi.

Selanjutnya, dari Gambar 3 s.d 6, ampiltudo gelombang tsunami dan topografi dibedakan dengan menggunakan warna. Warna merah tua menyatakan maksimum amplitudo sedangkan warna biru tua menunjukkan minimum amplitudo. Warna hijau menunjukkan topografi/ketinggian permukaan tanah.

Jadi, waktu perambatan gelombang untuk mencapai pesisir pantai berdasarkan hasil simulasi yang telah disebutkan berkisar antara 2500-5000 detik. Namun, hal ini juga dipengaruhi oleh topografi yang dilalui gelombang dan tinggi awal gelombang yang ditimbulkan oleh letusan gunung api.

2. Tsunami Akibat Longsor Erupsi

Jika tsunami akibat longsoran erupsi Gunung Anak Krakatu, maka ketinggian gelombang maksimum di wilayah selatan pantai barat Jawa menjadi lebih tinggi daripada wilayah lain. Hal ini mungkin karena arah kehancuran pada sumbernya adalah ke arah barat daya dan arah perambatan tsunami secara bertahap berubah dari barat daya ke tenggara di selatan Gunung Anak Krakatau.

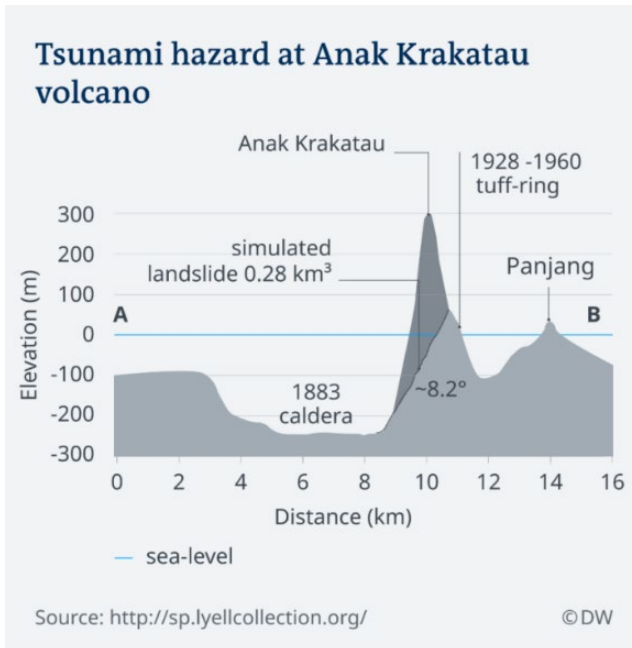


Sumber: Amos (2018)

Gambar 7.
Longsor Erupsi Gunung Anak Krakatau

Gelombang tsunami yang disebabkan oleh longsor dari Gunung Anak Krakatau seperti yang terjadi pada tanggal 22 Desember 2018 pernah dilakukan pengkajian sebelumnya oleh Dr. Thomas Giachetti, salah satu Asisten Profesor di Universitas Oregon, pada tahun 2012. Dalam penelitiannya, Giachetti membuat simulasi runtuhnya dinding kawah Gunung Anak Krakatau. Runtuhan ini berpotensi menimbulkan gelombang tsunami. Selain itu, longsor yang terjadi pada lereng bagian barat daya Gunung Anak Krakatau tidak boleh diabaikan. Longsoran tersebut berpotensi jatuh ke arah barat daya menuju kaldera yang terbentuk akibat letusan Gunung Krakatau tahun 1883. Longsoran ini mampu memicu gelombang yang dapat menyebar ke Selat Sunda dan kemungkinan berdampak pada kawasan pesisir pulau Jawa dan pulau Sumatera.

Lereng barat Gunung Anak Krakatau yang jatuh ke laut berdiri ditepi kaldera besar erupsi dahsyat Gunung Krakatau tahun 1883. Hal ini menyebabkan runtuhnya lereng tersebut. Seperti yang diilustrasikan pada gambar berikut.



Sumber: Giachetti (2012)

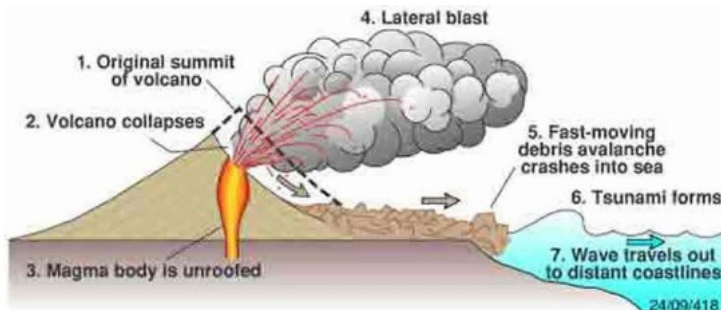
Gambar 8.
Lokasi Runtuhan bagian Gunung Anak Krakatau

Selain itu, lereng barat yang terbentuk menjadi lebih curam dengan cepat daripada lereng timur karena dipengaruhi oleh arus laut yang cukup kuat. Selama masa observasi, terlihat bahwa Gunung Anak Krakatau bertambah tinggi semakin cepat ke arah barat daya.

Pada Gunung Anak Krakatau, kaldera yang runtuh dan banyaknya bagian gunung berapi yang berkurang memunculkan tanah longsor bawah laut yang kemudian memicu gelombang tsunami. Hal serupa juga terjadi pada kaldera Santorini, Yunani. Bagian gunung yang jatuh ke bawah air laut menyebabkan gelombang seperti yang terjadi di Stromboli, Italia

Widjokongko (2019), ahli tsunami dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), mengakui bahwa lereng Gunung Anak Krakatau yang memiliki luas hampir 64 hektar mengalami longsor yang mengarah ke laut.

Longsor yang mengarah ke laut berpotensi menimbulkan gelombang tsunami di Selat Sunda seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9 berikut.



Sumber: RC Emergency Reporting - Activation #029 - 24 Dec 2018

Gambar 9.
Ilustrasi Gelombang yang Tercipta dari Erupsi Hasil Letusan Gunung Berapi

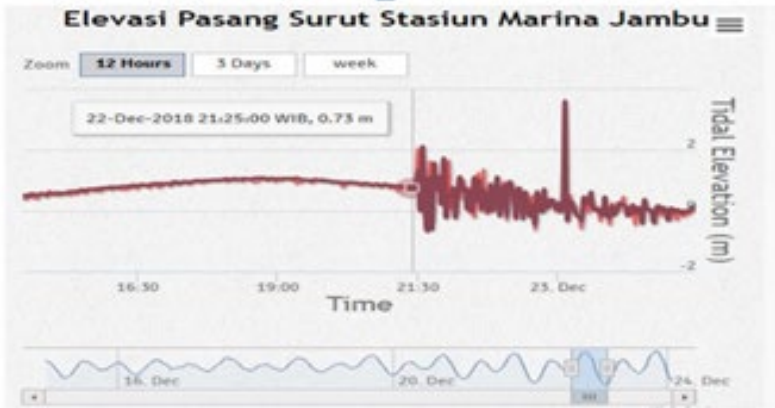
Proses simulasi perambatan gelombang tsunami, digunakan data waktu kedatangan gelombang tsunami di beberapa stasiun pengukur pasang surut seperti yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2
Waktu Kedatangan Gelombang
Berdasarkan Pengukur Pasang Surut Dibeberapa Titik

| Pengukur Pasang Surut | Waktu kedatangan | Jeda waktu | Tinggi maksimal |
|--------------------------|------------------|------------|-----------------|
| Perkiraan waktu kejadian | 22/12/2018 13:58 | 0 | - |
| Marina Jambu | 22/12/2018 14:27 | 29 | 0.91 |
| Ciwandan | 22/12/2018 14:33 | 35 | 0.35 |
| Kota Agung | 22/12/2018 14:35 | 37 | 0.36 |
| Panjang | 22/12/2018 14:53 | 55 | 0.28 |
| Bengkunat | 22/12/2018 16:20 | 142 | 0.20 |
| Binuangan | Tidak terdeteksi | - | - |

Sumber: Giachetti (2012)

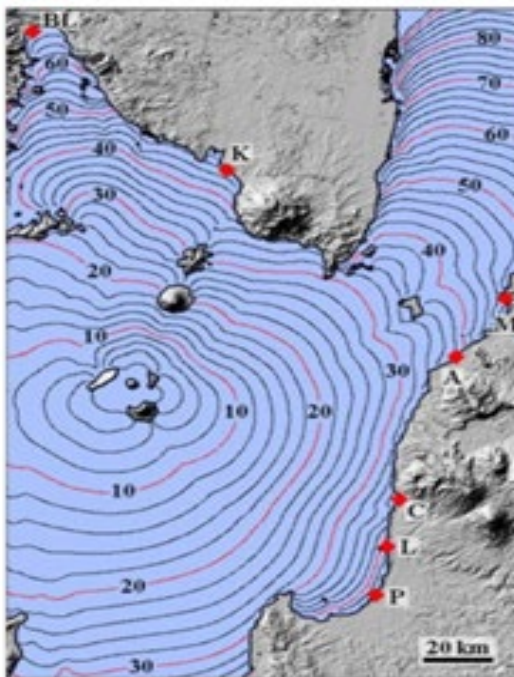
Giachetti melakukan simulasi waktu kedatangan dan tempat kedatangan berdasarkan alat pengukur pasang surut di beberapa tempat, salah satunya di Stasiun Marina Jambu.



Sumber: Giachetti (2012)

Gambar 10.
Elevasi Pasang Surut di Stasiun Marina Jambu

Hasil simulasi untuk waktu dan lokasi kedatangan gelombang tsunami dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Sumber: Giachetti (2012)

Gambar 11.
Simulasi Hasil Waktu Kedatangan Gelombang Tsunami

Sumber gelombang tsunami diasumsikan dari letak Gunung Anak Krakatau kemudian gelombang merambat secara menyebar ke sekitar wilayah Gunung Anak Krakatau. Kecepatan perambatan gelombang tsunami disimulasikan seperti yang terlihat pada Gambar 11. Perkiraan waktu kedatangan juga diberikan pada Gambar 11. Gelombang merambat lebih cepat ke arah barat daya pulau Jawa dan melambat ke arah utara. Hal ini kemungkinan disebabkan adanya pulau-pulau kecil yang mendispersikan gelombang datang sehingga waktu kedatangan gelombang menjadi relatif lebih lambat. Lebih detail, lokasi kedatangan, waktu perambatan dan tinggi

maksimum gelombang tsunami pada beberapa daerah di Provinsi Banten dan Lampung diberikan pada Tabel 3 dan Gambar 12.

Tabel 3
Waktu Perambatan dan Tinggi Maksimum Gelombang Tsunami

| Lokasi | Waktu perambatan (menit) | Tinggi maksimum (meter) |
|----------------|--------------------------|-------------------------|
| Bandar Lampung | 68 | 0,3 |
| Kalianda | 44 | 2,7 |
| Merak | 47 | 1,5 |
| Anyer | 38 | 1,4 |
| Carita | 37 | 2,9 |
| Labuan | 40 | 3,4 |
| Panimbang | 43 | 1,5 |
| Sumur | 36 | 1,2 |

Sumber: Giachetti (2012)



Sumber: JRC Emergency Reporting - Activation #029 - 24 Dec 2018

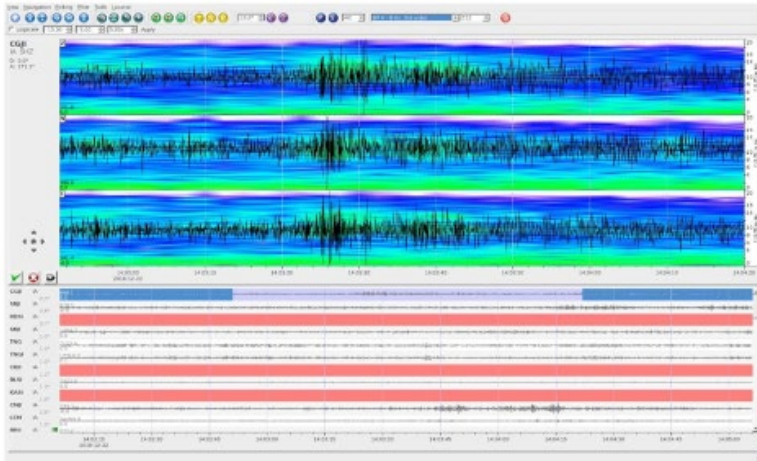
Gambar 12.
Perkiraan Lokasi Kedatangan Gelombang Tsunami

Walaupun jarak Pantai di Sumur lebih jauh daripada Pantai di Kalianda, namun waktu perambatan gelombang tsunami lebih cepat di daerah perairan Sumur. Hal ini terjadi karena untuk mencapai Kalianda, gelombang tsunami terhalang oleh pulau-pulau kecil disekitarnya. Disini perubahan kontur permukaan bumi berperan dalam penentuan kecepatan dan waktu kedatangan gelombang.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah pengukuran tinggi gelombang di suatu lokasi tidak sama dengan di lokasi lain, seperti yang terjadi pada tsunami di Palu dimana permukaan laut maksimum yang diukur sekitar sekitar 2,6 meter dan di pantai lain menunjukkan 5-6 meter atau lebih.

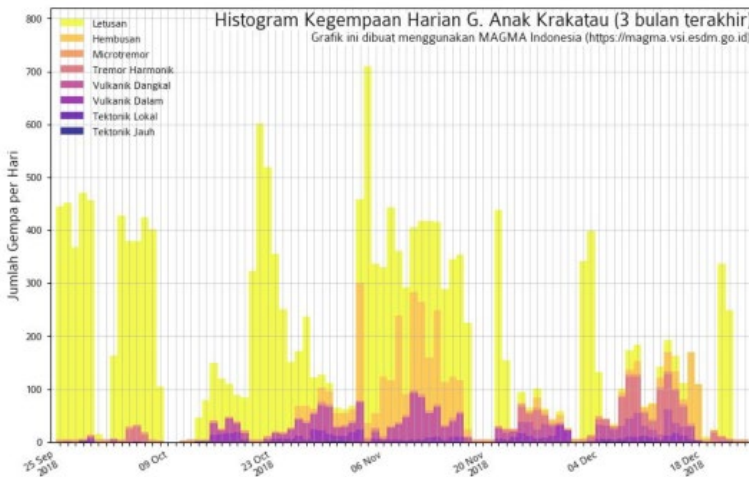
Antisipasi Bencana

Dalam menghadapi peristiwa tsunami yang terjadi secara tiba-tiba, antisipasi terhadap bencana pun terus diupayakan oleh pemerintah maupun penduduk setempat. BMKG dan PVMBG terus melakukan sosialisasi tentang kebencanaan melalui media sosial maupun media lainnya, terutama berkaitan dengan peringatan dini tsunami. Selain itu, pemerintah juga telah memasang alat pendeteksi tsunami. Namun Tiar Prasetya, Ketua Bidang Mitigasi Gempa Bumi dan Tsunami, mengungkapkan bahwa sejak 2007, alat pendeteksi tsunami (*buoy*) untuk perairan Selat Sunda milik BPPT tersebut sudah hilang sehingga pihak PVMBG tidak bisa memantau tsunami yang terjadi tahun 2018 silam. (liputan6.com: 24 Desember 2018). Oleh karena itu, pihak BMKG hanya mempergunakan seismograf untuk mendeteksi adanya potensi tsunami akibat aktivitas Gunung Anak Krakatau seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Sumber: RC Emergency Reporting - Activation #029 - 24 Dec 2018

Gambar 13. Seismograf Gunung Anak Krakatau pada 22 Desember 2018 pukul 09.03



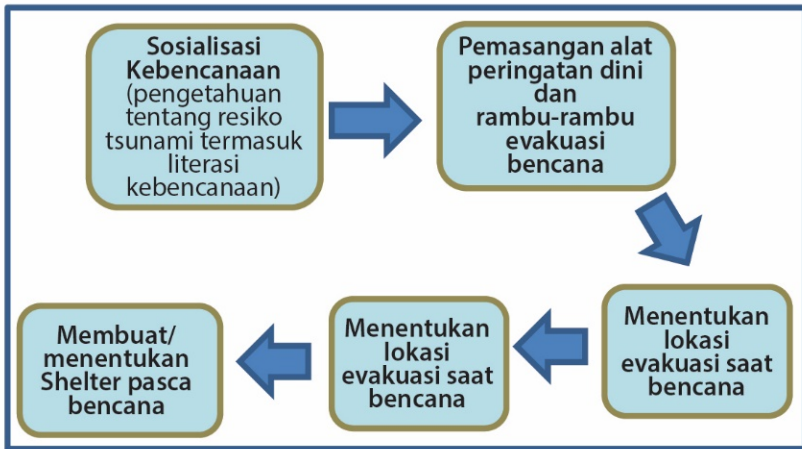
Sumber: RC Emergency Reporting - Activation #029 - 24 Dec 2018

Gambar 14. Kegempaan Harian Gunung Anak Krakatau Tiga Bulan Terakhir Sebelum Tsunami (25 September – 18 Desember 2018)

Tidak adanya alat pengukur pasang surut yang mengukur gelombang di pulau-pulau sekitar Gunung Anak Krakatau, menyebabkan peringatan dini mengenai tsunami tidak ada. BMKG hanya mendeteksi sinyal seismik dari aktivitas Gunung Anak Krakatau sehingga yang dilakukan adalah memberikan peringatan dini akan adanya gelombang tinggi (bukan tsunami). Pihaknya hanya dapat memantau gempa yang berpotensi tsunami dan melakukan peringatan dini kepada masyarakat. Agar kejadian tersebut tidak terulang kembali, pada bulan April 2019, BPPT memasang alat pendeteksi di Selat Sunda untuk mengantisipasi terjadinya tsunami (Defianti, 2019).

Selain itu, dapat pula diterapkan sistem peringatan dini tsunami seperti yang dilakukan Pemerintah Kulonprogo. Alat tersebut adalah *tsunami early warning system (TEWS)* dan telah dipasang sebanyak 8 buah di pesisir Kulonprogo sejak tahun 2014. Pemasangan alat peringatan tsunami saja belum cukup jika tidak ada kerjasama dari masyarakat. Oleh karena itu, penanaman pengetahuan tentang sistem peringatan dini di kabupaten tersebut dilakukan dengan pendekatan terpusat pada pemberdayaan masyarakat. Tujuannya adalah agar masyarakat, khususnya di daerah yang terancam bahaya, selalau waspada, bertindak cepat dan tepat guna meminimalisir terjadinya kerusakan dan korban jiwa. (Nurhabibi, Dharmastuti, & Arida, 2016).

Dalam mengantisipasi bencana tsunami, masyarakat juga harus melakukan literasi kebencanaan agar siap siaga dalam menghadapi bencana yang datang secara tiba-tiba. Hal-hal yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi bencana digambarkan pada Gambar berikut.



Gambar 15.
Diagram Alur Antisipasi Bencana

Evakuasi saat bencana pun perlu diperhatikan dari segi fasilitas seperti rambu-rambu arah evakuasi, tempat evakuasi saat bencana dan pasca bencana. Rambu-rambu arah evakuasi dibuat agar dalam kondisi panik, penduduk tidak kebingungan untuk bergerak ke arah tempat yang aman. Salah satu daerah yang telah menerapkan hal ini adalah jalan raya di sekitar pantai Merak hingga Bojonegara telah dipasang arah evakuasi jika terjadi tsunami. Selain itu, tempat/lokasi evakuasi juga menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan. Salah satu tempat evakuasi bencana tsunami di Labuan telah dibangun oleh pemerintah setempat, namun tidak adanya kejelasan informasi dan kelanjutan pembangunan sehingga pada saat bencana tsunami terjadi, masyarakat tidak tahu bahwa lokasi tersebut adalah tempat evakuasi tsunami.

Lokasi evakuasi juga harus memperhitungkan kecepatan perambatan gelombang, waktu kedatangan, kontur permukaan bumi di wilayah jangkauan tsunami, dan akses ke lokasi evakuasi pada saat bencana maupun pasca bencana. Menentukan lokasi evakuasi dan akses ke lokasi tersebut dapat dilakukan dengan menentukan beberapa tempat yang kemungkinan dapat dijadikan tempat evakuasi kemudian mencari jarak terpendek yang dihitung dari pantai hingga lokasi evakuasi.

Dengan demikian, upaya untuk mengantisipasi bencana tsunami harus dilakukan oleh semua pihak yang terkait, baik dari pemerintah pusat, daerah, BMKG, PVBMG, dan masyarakat setempat, sehingga apa yang diupayakan pemerintah bisa dirawat dengan baik oleh masyarakat, dan apa yang menjadi aspirasi masyarakat bisa diwujudkan oleh pemerintah.

PENUTUP

Pemodelan perambatan gelombang tsunami dapat dilakukan menggunakan persamaan gelombang non linear dengan pendekatan formula beda hingga. Hasilnya menunjukkan bahwa perambatan gelombang menyebar dan terdispersi karena pengaruh topografi dengan waktu antara 58-84 menit untuk mencapai pesisir pantai dari posisi awal koordinat $6^{\circ}06'00''$ LS dan $105^{\circ}24'00''$ BT. Model perambatan gelombang tsunami karena longsoran erupsi Gunung Anak Krakatau berdasarkan alat pengukur pasang surut memberikan hasil bahwa jeda waktu kedatangan dari pusat timbulnya gelombang ke masing-masing stasiun pengukur pasang surut sekitar 29-142 menit dengan tinggi gelombang maksimum berkisar antara 0,36-0,91 meter. Dengan diperolehnya prediksi waktu tempuh gelombang tsunami sampai ke pantai, sebagai antisipasi bencana sangat penting memperhatikan pemasangan/pemeliharaan alat pendeteksi tsunami dan pemasangan rambu-rambu arah evakuasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Amos, J. (2018). *Tsunami akibat longsor Anak Krakatau: Bagaimana gunung api dapat jadi pemicu?*. Diakses pada 6 Mei 2019, dari <https://www.bbc.com/indonesia/majalah-46669653>
- Defianti, I. (2019). *Headline: Gelegar Gunung Anak Krakatau dan tsunami yang masih mengintai*. Diakses pada 6 Mei 2019, dari <https://www.liputan6.com/news/read/3857350/headline-gelegar-gunung-anak-krakatau-dan-tsunami-yang-masih-mengintai>
- European Commission (2018). Indonesia-volcano eruption and tsunami. *JRC emergency reporting - Activation #029 - 24 Dec 2018*.
- Horrillo J. J., Kowalik, Z., & Kornkven, E. (2004). *The third international workshop on long-wave runup models. Report*.
- Horrillo, J., Kowalik, Z., & Shigihara, Y. (2006). Wave dispersion study in the Indian Ocean-tsunami of December 26, 2004. *Marine Geodesy.*, (29): 149-166.
- Hantoro, W. S., Latief, H., Susilohadi, & Airlangga, A.Y. (2007). Volcanic tsunami of Krakatau: chronology model and its mitigation in Sunda Strait. *Proceedings of International Symposium on Geotechnical Hazards: Prevention, Mitigation and Engineering Response*, 331 – 354.
- Kreyszig, E. (1993). *Advanced engineering mathematics*. Singapore: John Wiley & Sons. Inc.
- Kowalik, Z., Proshutinsky, T., & Proshutinsky, A. (2006). Tide-tsunami interactions. *Science of Tsunami Hazards*, 24(4): 242-256.
- Mahi, A. K. & Zakaria, A. (2008). *Rencana strategis dan rencana aksi mitigasi bencana Kota Bandar Lampung*. Laporan Proyek DKP Profinsi Lampung, 156 p.

- Marchuk, A. J. & Anisimov, A. (2001). A method for numerical modeling run-up on the coast of an arbitrary profile. *ITS 2001 Proceedings*, (7): 7-27.
- Nurhabibi, P., Dharmastuti, A., & Arida, V. (2016). Kapabilitas pemerintah daerah dalam membangun kesiapsiagaan sebagai upaya pengurangan risiko bencana tsunami (Studi kasus pada wilayah pesisir Kulomprogo). *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 7(1):71-81.
- Reynold, A. C. (1978). Boundary conditions for the numerical solution of wave propagation problems. *Geophysics*, 43(6): 1099-1110.
- Sandick, R.A. (1890). *In the Realm of the Volcano: The eruption of Krakatau and the aftermath*. Zuthpen. Diakses pada 6 Mei 2019, dari <https://id.wikipedia.org/wiki/Krakatau>
- Shigihara, Y., Fujima, K., Homma, M., & Saito, K. (2005). *Numerical methods of linier dispersive wave equation for the practical problems*, *Asian and Pacific Coasts*, Sept.4-8, Jeju, South Korea, pp.14.
- Tantri, E. (2014). Letusan Krakatau 1883: pengaruhnya terhadap gerakan sosial Banten 1888. *Jurnal Masyarakat dan Budaya*, 16 (1).
- Watts, P., Grill, S.T., Kirby, J. T., Fryer G. J., & Tappin, D. R. (2003). Landslide tsunami case studies using a boussinesq model and a fully nonlinier tsunami generation model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (3): 391-402.
- Watts, P., Ioualalen, M., Grill, S., Shi, F., Kirby, J. T. (2005). Numerical simulation of December 26, 2004 Indian ocean tsunami using higher order boussinesq model, Ocean waves measurement and analysis. *Fifth International Symposium WAVES 2005*. 3rd July, 2005. Madrid. Spain. Pp. 221.

Wikipedia Contributor (2008). *Krakatau*. Diakses pada 6 Mei 2019, dari <https://id.wikipedia.org/wiki/Krakatau>

Zakaria, A. (2009). *Numerical modelling of wave propagation using higher order finite-difference formulas* (Thesis). Curtin University of Technology, Perth, W. A. Pp. 247.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Deddy A. Suhardi, S.Si., M.M., lahir di Cianjur, 27 Juli 1972. Dosen Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Terbuka. Pendidikan sarjana bidang studi statistika di tempuh di Institut Pertanian Bogor, lulus tahun 1996, dan pendidikan magister bidang studi manajemen keuangan dan investasi ditempuh di Universitas Persada Indonesia, Jakarta, lulus tahun 2007. Mata kuliah yang diampu adalah metode sekuensial, metode kuantitatif, dan analisis sosiometri. Konsentrasi penelitian dalam bidang analisis sekuensial, analisis faktor, pengendalian proses, manajemen investasi, dan pendidikan jarak-jauh. Email dapat dihubungi pada **deddy_as@ecampus.ut.ac.id**

Diki, S.Si., M.Ed., Ph.D., lahir di Tasikmalaya, 15 April 1969. Pendidikan S1 diselesaikan pada tahun 1988 di Jurusan Biologi FMIPA Universitas Padjadjaran, Bandung. Pendidikan S2 ditempuh di Faculty of Education and Social Work, University of Sydney, Australia pada tahun 2007, dengan beasiswa dari Ausaid. Pendidikan S3 di School of Educational Studies, Claremont Graduate University, Amerika Serikat, pada tahun 2015. Saat ini bertugas sebagai dosen di Program Studi Biologi, dengan mata kuliah ampuan adalah Genetika, Parasitologi, dan Biologi Sel. Alamat email yang dapat dihubungi **dikinian@ecampus.ut.ac.id**





Dr. Yuni Tri Hewindati, lahir di Bandung 17 Juni 1959. Pendidikan Strata 1 Biologi diperoleh dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 1983. Pendidikan S2 diperoleh dari Universite Montpellier, France pada tahun 1991, dan dilanjutkan pendidikan Doktor di universitas yang sama, lulus pada tahun 1995. Saat ini bertugas sebagai dosen pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka. Mata kuliah yang menjadi ampunan adalah Ekologi dan Dasar-dasar Konservasi. Email yang dapat dihubungi adalah hewindati@ecampus.ut.ac.id

Dra. Sri Kurniati Handayani M.Si., lahir di Jakarta pada 3 April 1958. Pendidikan Strata 1 Biologi diperoleh dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 1984. Pada tahun 2001 memperoleh gelar Master of Science dalam bidang Komunikasi Pembangunan Pertanian dan Pedesaan di Institut Pertanian Bogor. Sejak Desember 1985 bekerja sebagai staf akademik pada Program Studi Biologi FMIPA (saat ini Fakultas Sains dan Teknologi) Universitas Terbuka (UT). Penulis pernah menjabat sebagai Ketua Pusat Produksi Bahan Ajar Non Cetak UT dan Pembantu Dekan II FMIPA-UT. Mata kuliah yang menjadi ampunan adalah bidang Biologi Dasar. Penulis dapat dihubungi pada alamat email skurniati@ecampus.ut.ac.id





Dr. Ir. Nurmala Pangaribuan, M.S., lahir di Medan 26 April 1962. Pendidikan Sarjana Strata 1 Agronomi diperoleh dari Universitas Sumatera Utara (USU) pada tahun 1980; Gelar Master Sains di bidang Budidaya Pertanian diperoleh dari Institut Pertanian Bogor (IPB), pada tahun 1991 dengan beasiswa TMPD; dan meraih gelar Doktor di bidang Agroteknologi dari Universitas Padjadjaran Bandung (UNPAD), pada tahun 2015 dengan Beasiswa BPPS. Ditugaskan sebagai dosen pada Program Studi Agribisnis, FST, UT; dan saat ini mendapat tugas tambahan sebagai Staf Ahli Wakil Rektor Bidang Kerjasama dan Pembinaan Alumni. Mata kuliah yang menjadi ampunan adalah Budidaya Tanaman Pangan, Budidaya Tanaman Perkebunan, dan Pemanfaatan Limbah Pertanian. Email dapat dihubungi pada nurmala@ecampus.ut.ac.id

Dr. Lina Warlina, M.Ed., lahir di Padang Panjang 7 Januari 1961. Pendidikan sarjana strata 1 diperoleh dari FMIPA Universitas Indonesia Jurusan Kimia pada 1985. Gelar magister diperoleh dari Simon Fraser University, Canada, Jurusan Management Distance Education pada 1990. Pendidikan Doktor ditempuh di IPB Bogor, Jurusan Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan pada 2008. Sejak tahun 1985, bekerja sebagai staf akademik di



FMIPA UT. Pernah menjabat ketua jurusan statistika FMIPA UT, pembantu dekan II FMIPA UT, kepala pusat PPSDM UT, kaprodi PWK di FST UT (2018-sekarang). Publikasi yang telah dilakukan berupa artikel yang telah diterbitkan baik di tingkat nasional maupun internasional dengan bidang minat penelitian pada pengelolaan lingkungan khususnya dengan pemodelan. Mata kuliah yang diampu antara lain Kebijakan Lingkungan, Sistem Pelaporan Lingkungan dan Perencanaan Wilayah. Penulis dapat dihubungi pada email warlina@ecampus.ut.ac.id



Dr. Budi Prasetyo, MSi., lahir di Madiun 28 Desember 1959. Pendidikan Strata 1 Biologi diperoleh dari Fakultas Biologi UGM pada tahun 1987; gelar Master Sains di bidang Biologi diperoleh dari Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 2006 dan meraih gelar Doktor di bidang Biologi IPB. Mata kuliah yang menjadi ampuan penulis untuk pembelajaran mahasiswa Program S1 Biologi FMIPA Universitas Terbuka terdiri atas Ekologi Hutan Tropis, Ekologi

Tumbuhan, Ekologi Gulma, Dasar-dasar Konservasi, Taksonomi Tumbuhan Tinggi, dan Taksonomi Tumbuhan Rendah. Beberapa publikasi ilmiah telah penulis hasilkan baik berupa artikel jurnal nasional dan internasional, artikel seminar, maupun artikel dalam buku. Bidang minat penelitian adalah *ethnobiology*, *plant ecology*, dan *plant taxonomy*. Aktif dalam mengikuti seminar-seminar di bidang Biologi serta terlibat sebagai anggota pada organisasi profesi seperti PBI (Perhimpunan Biologi Indonesia), PTTI (Penggalang Taksonomi Tumbuhan Indonesia), dan Michoina. Penulis saat ini berprofesi sebagai dosen di Program Studi Biologi FST UT dan berikut alamat email korespondensi: **budi-p@ecampus.ut.ac.id**

Erman Arif, S.Kom., MMSI, lahir di Padang 1986. Strata 1 diperoleh dari Universitas Gunadarma tahun 2009. Pendidikan S2 diperoleh dari Universitas Gunadarma tahun 2013. Saat ini bertugas sebagai dosen pada program studi Sistem Informasi di Fakultas Sains dan Teknologi (FST), Universitas Terbuka. Matakuliah yang menjadi ampuan adalah Rekayasa perangkat lunak, Manajemen proyek sistem informasi, Audit sistem informasi, dan e-commerce. E-mail yang dapat dihubungi adalah **erman.arif@ecampus.ut.ac.id**





Elin Herlinawati, M.Si., lahir di Serang 1 Februari 1990. Pendidikan S1 diperoleh dari Univeristas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Banten, pada tahun 2011. Pendidikan S2 Matematika diperoleh dari Institut Teknologi Bandung pada tahun 2017. Saat ini bertugas sebagai dosen pada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Terbuka. Mata kuliah yang menjadi ampunan adalah Analisis I, Analisis II, dan Geometri.

Email yang dapat dihubungi adalah **elin@ecampus.ut.ac.id**



UNIVERSITAS TERBUKA

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

Penerbit Universitas Terbuka
Jalan Cabe Raya, Pondok Cabe, Pamulang,
Tangerang Selatan - 15418, Banten - Indonesia
Telp. 021-7490941, Faks. 021-7490147
Website. www.ut.ac.id