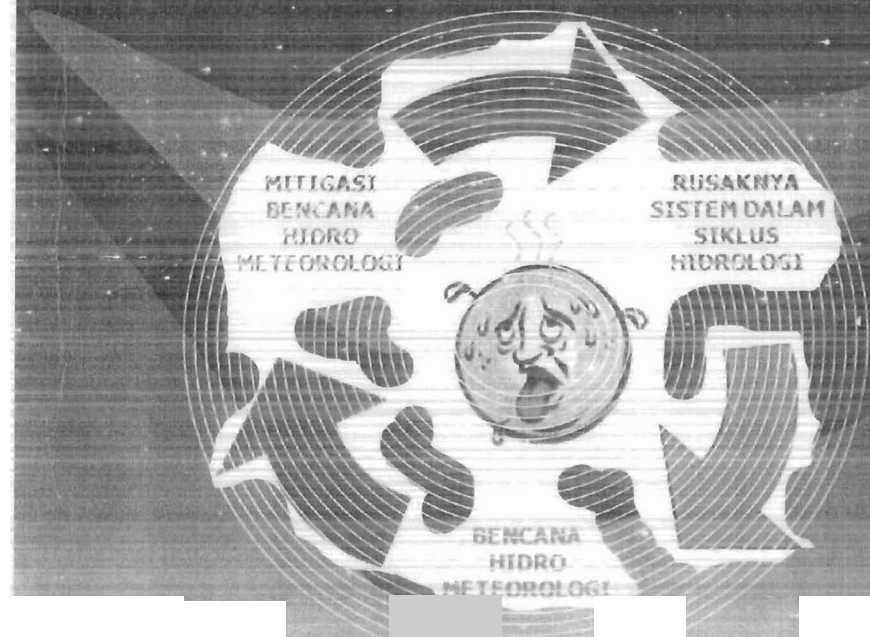


Dedi Hermon

Mitigasi Bencana Hidrometeorologi

Banjir, Longsor, Ekologi, Degradasi Lahan,
Puting-Beliung, Kekeringan



edisi ke-1
SS

MITIGASI BENCANA
HIDROMETEOROLOGI

**Banjir, Longsor, Ekologi, Degradasi Lahan,
Puting Beliung, Kekeringan**

Dedi Hermon

MITIGASI BENCANA HIDROMETEOROLOGI

Banjir, Longsor, Ekologi, Degradasi Lahan,
Puting Beliung, Kekeringan

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NO 19 TAHUN 2002
TENTANG HAK CIPTA
PASAL 72

KETENTUAN PIDANA SANGSI PELANGGARAN

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu Ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 5.000.000.000,00 (lima milyar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menverahkan, menviarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Dedi Hermon



**UNP PRESS
2012**

Dedi Hermon,
MITIGASI BENCANA
HIDROMETEOROLOGI
*Banjir, Longsor, Ekologi, Degradasi Lahan,
Puting Beliung, Kekeringan*
/Dedi Hemon,
editor, Tim editor UNP Press
Penerbit UNP Press Padang, 2012
1 (satu) jilid; 14 x 21 cm (A5)
248 hal.

**MITIGASI BENCANA
HIDROMETEOROLOGI**
*Banjir, Longsor, Ekologi, Degradasi Lahan,
Puting Beliung, Kekeringan*
ISBN: 978-602-8819-52-7
1. UNP Press Padang

**MITIGASI BENCANA
HIDROMETEOROLOGI**
*Banjir, Longsor, Ekologi, Degradasi Lahan,
Puting Beliung, Kekeringan*

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis
Hak penerbitan pada UNP Press

Penyusun: Dr. Dedi Hermon M.Pd
Editor Substansi: Prof. Dr. Eri Barlian, MS
Editor Bahasa: Dr. H. Abdurahman, M.Pd.
Layout & Desain Sampul Nasbahry Couto & Khairul

KATA SAMBUTAN

L. Sukardi

(Praktisi dan Peneliti Lingkungan Hidup Universitas Mataram)

Bencana merupakan sesuatu yang sangat meresahkan masyarakat, terutama masyarakat yang tinggal pada kawasan rawan bencana. Belakangan ini kita selalu disibukkan oleh pemberitaan tentang bencana gempa dan tsunami, terutama pada kawasan pesisir barat Pulau Sumatera, sehingga bencana-bencana lain yang bersifat aktual maupun potensial sering terlupakan. Kejadian banjir bandang, longsor, kepunahan ekologi akibat degradasi lahan dan kekeringan juga dapat menimbulkan dampak kerusakan dan kematian yang luar biasa.

Dr. Dedi Hermon, sosok muda yang saya kenal ulet, agresif, dan idealis dalam menuntut ilmu, membuka cakrawala pikir kita, bahwa bencana itu bukan hanya gempa dan tsunami. Bencana Hidrometeorologi yang diungkapkan dalam buku ini terurai secara jelas secara teori, metode, dan mitigasinya. Beliau juga membuka tabir dalam mitigasi bencana yang selama ini saya kenal hanya tindakan-tindakan nyata (aktif) saja, rupanya dalam buku ini diuraikan juga tindakan mitigasi bencana secara pasif melalui berbagai macam penelitian-penelitian yang berfungsi sebagai peringatan dini dan sekaligus dasar yang teruji untuk mengambil tindakan-tindakan yang tepat dalam mitigasi bencana secara aktif. Sebagai praktisi dan sekaligus peneliti masalah-masalah dan gejala-gejala yang terjadi pada lingkungan hidup, saya berharap buku ini dapat menjadi penambah khasanah pengetahuan kita tentang bencana dan mitigasinya.

Mataram, Mei 2012

Prof. Dr. L. Sukardi
Praktisi dan Peneliti Lingkungan Hidup Universitas Mataram

KATA SAMBUTAN

Dr. Nana Sutrisna

(Peneliti BPTP Lembang Jawa Barat)

Teori Robert Malthus menjelaskan bahwa dengan pertumbuhan penduduk yang relatif cepat dari produksi pangan akan mengakibatkan masyarakat dunia suatu saat akan mengalami krisis pangan. Upaya untuk mencegah krisis pangan tersebut mengakibatkan setiap negara mengeluarkan kebijakan yang berorientasi untuk ketersediaan pangan yang cukup. Upaya untuk merealisasikan hal tersebut dilakukan dengan menambah luas lahan untuk pangan. Penulis mencoba mengingatkan kita semua bahwa penambahan luas lahan pangan dapat mengganggu sistem dalam siklus hidrologi dan dapat menimbulkan bencana hidrometeorologi, terutama degradasi lahan, apabila pengelolaan lahan pangan tanpa memperhatikan tindakan-tindakan mitigasi degradasi lahan. Semoga buku ini bermanfaat untuk kita semua, terutama untuk para mahasiswa dan masyarakat praktisi pertanian, lingkungan hidup, dan masyarakat lainnya.

Bandung, Mei 2012

Dr. Nana Sutrisna
Peneliti BPTP Lembang Jawa Barat

KATA PENGANTAR

Secara geografis sebagian besar wilayah Indonesia berada pada kawasan rawan bencana, dan salah satu bencana yang sering terjadi adalah bencana hidrometeorologi (banjir, longsor, ekologi, degradasi lahan, puting beliung, dan kekeringan). Sejalan dengan proses pembangunan yang berkelanjutan perlu diupayakan pengaturan dan pengarahan terhadap kegiatan-kegiatan yang dilakukan dengan prioritas utama dalam penciptaan keseimbangan lingkungan. Bencana hidrometeorologi merupakan peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam atau mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh gejala-gejala cuaca dan perubahan iklim, sehingga bencana ini selalu bersifat aktual dan potensial. Mitigasi bencana hidrometeorologi ialah upaya memperkecil jumlah korban jiwa dan kerugian harta benda akibat bencana banjir, longsor, ekologi, degradasi lahan, puting beliung, dan kekeringan. Dengan demikian, tindakan yang perlu dilakukan meliputi tindakan sebelum, saat terjadi, dan setelah terjadinya bencana alam.

Secara umum tindakan mitigasi bencana alam meliputi pengumpulan informasi yang dibutuhkan pada waktu penanganan bencana seperti: (1) wilayah serta lokasi geografis bencana dan perkiraan populasi, (2) status jalur transportasi dan sistem komunikasi, (3) ketersediaan air bersih, bahan makanan, fasilitas sanitasi dan tempat hunian, (4) jumlah korban, (5) kerusakan, kondisi pelayanan, ketersediaan obat-obatan, peralatan medis serta tenaga di fasilitas kesehatan, (6) lokasi dan jumlah penduduk yang menjadi pengungsi dan (7) estimasi jumlah yang meninggal dan hilang. Begitu pentingnya masalah mitigasi bencana banjir, longsor, ekologi, dan degradasi lahan untuk diselesaikan cukup menyita setiap negara untuk bersatu dan bekerjasama untuk mengatasi permasalahan tersebut, agar terjadi keseimbangan ekosistem dalam mendukung proses kehidupan di atasnya, termasuk manusia.

Keinginan penulis untuk menyusun buku "**Mitigasi Bencana Hidrometeorologi: Banjir, Longsor, Ekologi, Degradasi Lahan,**

DAFTAR ISI

Puting Beliung, dan Kekeringan” ini sudah lama muncul, tetapi karena keterbatasan waktu selalu menjadi alasan untuk menundanya. Penulis berharap, buku ini dapat menambah khazanah literatur isu geografi lingkungan bagi masyarakat.

Padang, Maret 2012

Dedi Hermon

KATA SAMBUTAN L. Sukardi.....	v
KATA SAMBUTAN Dr. Nana Sutrisna.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB I BENCANA HIDROMETEOROLOGI.....	1
BAB II KAITAN BENCANA GEMPA BUMI, TSUNAMI, DAN LETUSAN GUNUNG API DENGAN BENCANA HIDROMETEOROLOGI.....	12
BAB III MITIGASI BENCANA HIDROMETEOROLOGI.....	23
A. Defenisi	23
B. Kelembagaan Mitigasi Bencana	26
C. Pencegahan dan Mitigasi Bencana	31
D. Peran Sistem Informasi Geografi (SIG) dalam Mitigasi Bencana Secara Pasif	34
BAB IV MITIGASI BENCANA BANJIR.....	36
A. Defenisi	36
B. Bencana Alam Banjir.....	40
C. Mitigasi Bencana Banjir Secara Aktif	44
D. Mitigasi Bencana Banjir Secara Pasif.....	50
BAB V MITIGASI BENCANA LONGSOR	68
A. Defenisi.....	68
B. Zonasi Kawasan Tingkat Bahaya Longsor dan Faktor Penyebab Terjadinya Longsor	71
C. Mitigasi Bencana Longsor Secara Aktif.....	79
D. Mitigasi Bencana Longsor Secara Pasif	85
E. Aplikasi Penilaian Tingkat Bahaya Longsor Berbasis GIS	119

BAB VI MITIGASI BENCANA EKOLOGI	128
A. Ekologi dan Pembangunan.....	128
B. Awal Bencana Ekologi: Alih Fungsi Lahan Hutan menjadi Lahan Permukiman yang Tidak Terkontrol	133
C. Keanekaragaman Hayati: Kontrol Degradasi Ekologi.....	137
D. Pentingnya Keanekaragaman Hayati	141
E. Mitigasi Aktif Bencana Ekologi: Mitigasi Karbon.....	144
F. Mitigasi Pasif Bencana Ekologi: Penelitian Mitigasi Karbon.....	146
BAB VII MITIGASI BENCANA DEGRADASI LAHAN.....	153
A. Defenisi	153
B. Potensi dan Penyebab Terjadinya Bencana Degradasi Lahan.....	154
C. Penggurunan dan Bencana Degradasi Lahan.....	160
D. Dugaan Penyebab Terjadinya Proses Penggurunan dan Degradasi Lahan	164
E. Mitigasi Degradasi Lahan Secara Aktif Melalui Penerapan Teknik-Teknik Konservasi Lahan	172
F. Strategi Konservasi Secara Kimia	178
G. Mitigasi Degradasi Lahan Secara Pasif Melalui Teknik Evaluasi Sumberdaya Lahan	179
H. Aplikasi Penelitian Mitigasi Bencana Degradasi Lahan..	199
BAB VIII MITIGASI BENCANA PUTING BELIUNG.....	237
A. Bencana Puting Beliung.....	237
B. Bencana Puting Beliung di Indonesia	241
C. Mitigasi Bencana Puting Beliung	243
BAB IX MITIGASI BENCANA KEKERINGAN.....	245
A. Bencana Kekeringan	245
B. Mitigasi Bencana Kekeringan.....	250
DAFTAR PUSTAKA.....	253
BIOGRAFI PENULIS.....	268

DAFTAR GAMBAR

Gambar	halaman
1. Dinamika Bencana di Indonesia Tahun 2006-2010	2
2. Perbedaan Kosentrasi CO ₂ , CH ₄ , dan N ₂ O di Atmosfer.....	5
3. Kosentrasi CO ₂ , N ₂ O, CH ₄ , dan SO ₂ di Atmosfer yang Direkontruksi dari Pengukuran Langsung di Atmosfer dan Sampel Es di Kutub (IPCC, 2001).....	7
4. Suplai CO ₂ dari Industri bagi Gas Rumah Kaca (Climate Change, 2001a)	7
5. Variasi Suhu Permukaan Bumi (IPCC, 2001).....	9
6. Hubungan Perubahan Iklim dengan Kelangsungan Hidup Makhluk Hidup (Climate Change, 2001b)	10
7. Bencana Longsor di Gunung Tigo Kabupaten Padang Pariaman Akibat Gempa 7,9 SR di Laut Pariaman tahun 2009 (muhtarsuhaili.wordpress.com, 2012).....	13
8. Siklus Hidrologi (acehpedia.org, 2012).....	13
9. Proses Erosi dan Longsor di Atas Batuan Kedap Air (bendunganbatutege.blogspot.com, 2012)	15
10. Gempa Akibat Tubrukan Lempeng Penyebab Tsunami (berita-iptek.blogspot.com, 2012).....	15
11. Kerusakan Lahan dan Kehancuran Ekosistem Akibat Bencana Tsunami (Tsunami Aceh, 2004: mntnugraha.wordpress.com, 2012)	16
12. Proses Letusan Gunung Api (indocropcircles.wordpress.com, 2012)	19
13. Aliran Lava Akibat Letusan Gunung Api Dapat Menghancurkan Ekosistem (Bencana Ekologi) dan Memicu Terjadinya Bencana Degradasi Lahan (hitokirivader.deviantart.com, 2012).....	20

14. Debu dan Awan Panas yang Menghantam Permukaan Tanah dapat Menimbulkan Kerusakan Ekosistem dan Degradasi Lahan (abisyakir.wordpress.com, 2012)	21
15. Letusan Gunung Api di Laut yang Dapat Menghancurkan Eksositem Laut, Ekosistem Darat, Hancurnya Lahan di Pesisir Pantai, dan Perubahan Iklim Global (rickywahyudi16.blogspot.com, 2012)	22
16. Siklus Manajemen Bencana (BNPB, 2008)	28
17. Tahap-Tahap Mitigasi Bencana (BNPB, 2008)	29
18. Mekanisme Penanggulangan Bencana (BNPB, 2008)	33
19. Kawasan DAS sebagai Indikator Penentu Bencana Banjir	41
20. Dataran Banjir sebagai Kawasan yang Paling Berbahaya pada Saat Terjadinya Bencana Banjir	43
21. Kerusakan Kawasan Akibat Bencana Banjir	43
22. Skema Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor (Parlindungan <i>et al.</i> , 2008)	80
23. Bencana Longsor pada Lereng Tidak Stabil di Bukit Lantak Kota Padang	83
24. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Irisan Bidang Longsor (Hardiyatmo, 2006)	96
25. Zona Arahan Pengembangan Permukiman di Kota Padang	101
26. Zona Arahan Kebijakan Pengembangan Permukiman di Kota Padang	102
27. Rincian Alternatif Kebijakan Pengembangan Permukiman pada Kawasan Rawan Longsor	106
28. Prioritas Kebijakan Pengembangan Permukiman pada Kawasan Rawan Longsor	108
29. Peta Penggunaan Lahan Lokasi Penelitian (Marlina <i>et al.</i> , 2010)	121
30. Peta Sampel Penelitian Tingkat Bahaya Longsor Marlina <i>et al.</i> , 2010)	122

31. Spasial Tingkat Bahaya Longsor di Lokasi Penelitian (Marlina <i>et al.</i> , 2010)	123
32. Spasial Distribusi Tingkat Resiko Longsor (Marlina <i>et al.</i> , 2010)	124
33. Spasial Bahaya dan Resiko Longsor di Lokasi Penelitian (Marlina <i>et al.</i> , 2010)	127
34. Kerusakan Ekosistem dan Lingkungan Akibat Deforestasi	129
35. Model Spasial Perubahan Tutupan Lahan di Kota Padang (Periode tahun 1988-1998 dan 1998-2008)	147
36. Dinamika Cadangan Karbon di Kota Padang	151
37. Dinamika Cadangan Karbon (ton) pada Lahan Hutan, Semak, Kebun, dan Sawah di Kota Padang	151
38. Perbedaan Cadangan Karbon di Kota Padang	152
39. Degradasi Lahan Akibat Erosi	156
40. Alih Fungsi Lahan di Kota Padang yang Tidak Mengacu pada Penataan Ruang Kota dapat Memberikan Kontribusi yang Cukup Besar Terjadinya Bencana Degradasi Lahan (Hermon, 2009)	166
41. Taman Nasional Kerinci Sebiat	167
42. Pola Pengolahan Lahan Intensif Mendukung Terjadinya Penggurunan dan Degradasi Lahan	169
43. Erosi dan Kerusakan DAS	170
44. Kelas Kemampuan Lahan	180
45. Profil Tanah	200
46. <i>Permanent Plant Cover</i> , Harus 40% Mendominasi Wilayah Upper DAS yang Berfungsi sebagai <i>Buffer Zone</i> (Hermon, 2006)	203
47. <i>Intercropping</i> , Upaya Sederhana dalam Mitigasi Bencana Degradasi Lahan pada Kawasan Landai (Hermon, 2006)	204
48. <i>Intercropping</i> yang Dipadukan dengan Mulsa, merupakan Mitigasi Degradasi Lahan dan Pengendalian Kelembaban Tanah (Hermon, 2006)	207

49. Contour Strip Cropping, Salah Satu Teknik Konservasi Tanah dan Upaya Mitigasi Degradasi Lahan pada Kawasan Berlereng yang Digunakan untuk Pertanian (Hermon, 2006)	208
50. Contour Strip Cropping yang Dipadukan dengan Intercropping, sebagai upaya Mengoptimalkan Mitigasi Degradasi Lahan (Hermon, 2006)	209
51. <i>Bench Terrace</i> , Tindakan Mitigasi Bencana Degradasi Lahan pada Kawasan Berlereng >40% (Hermon, 2006) .	210
52. <i>Sequential Cropping</i> yang Digabung dengan <i>Mulsa</i> (Hermon, 2006)	212
53. Pengaruh Puting Beliung (Tornado) pada Wilayah Yang Dilalui dan <i>Cross-Section</i> Kecepatan Angin yang Dihasilkan (Wurman <i>et al.</i> , 2007)	238
54. Puting Beliung dan Bencana yang Ditimbulkan (http://images search bencana puting beliung)	238
55. Potensi Bahaya Bencana Puting Beliung di Indonesia (BNPB, 2009)	242
56. Pembakaran (Kebakaran) Hutan Salah Satu Penyebab Terjadinya Bencana Kekeringan (http://images.bencanakebakaran)	245
57. Sebaran Titik Api Akibat Kebakaran Hutan di Indonesia Tahun 2009 (BNPB, 2009)	249
58. Zonasi Ancaman Bencana Kekeringan di Indonesia (BNPB, 2009)	249

DAFTAR TABEL


Tabel	Halaman
1. Karakteristik Gas Rumah Kaca.....	5
2. Gas Rumah Kaca (GRK) yang Utama dan Gambaran Umum Perubahan Iklim.....	8
3. Indikator Potensi Bencana Banjir	54
4. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Potensi Bencana Banjir	56
5. Kriteria Kerentanan Banjir (Pemilihan Kriteria Berdasarkan MAFF-Japan, Zain: 2002).....	57
6. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kerentanan Banjir	58
7. Kriteria Tingkat Bahaya Banjir (Paimin et al., 2009).....	63
8. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Bahaya Banjir.....	65
9. Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Permukiman Bebas Banjir	66
10. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Permukiman yang Bebas Banjir	67
11. Bencana Tanah Longsor di Kota Padang Tahun 1985-2006	74
12. Harkat Kriteria Tingkat Bahaya Lonsor MAFF-Japan	87
13. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Bahaya Longsor (MAFF-Japan).....	89
14. Data untuk Menganalisis Tingkat Bahaya Longsor Berdasarkan Zuidam dan Concelado (1979)	90
15. Kriteria Tingkat Bahaya Longsor Zuidam dan Concelado (1979)	91
16. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Bahaya Longsor (Zuidam dan Concelado, 1979).....	94
17. Kriteria Faktor Keamanan	96
18. Kriteria Tingkat Bahaya Longsor (Paimin et al., 2009).....	98
19. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Bahaya Longsor.....	99
20. Distribusi Kawasan untuk Pengembangan permukiman pada Kawasan Rawan Longsor di Kota Padang.....	101
21. Luas Lahan Permukiman pada setiap Zona per Kecamatan	103
22. Arah Penataan dan Pengembangan Permukiman pada Kawasan Rawan Longsor di Kota Padang	104
23. Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Permukiman Bebas Bencana Longsor.....	117

24. Hasil Perhitungan Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Permukiman yang Bebas Bencana Longsor	119
25. Tingkat Bahaya Longsor dan Persentase Luas Wilayah.....	123
26. Tingkat Resiko Longsor dan Persentase Luas Wilayah.....	124
27. Lokasi, Tingkat Bahaya dan Resiko Serta Penanggulangan Longsor	125
28. Luas Masing-Masing Tutupan Lahan Tahun 1988, 1998, dan 2008 di Kota Padang.....	147
29. Luas Perubahan Tutupan Lahan (ha) menjadi Lahan Permukiman di Kota Padang Periode Tahun 1988-1998 dan Tahun 1998-2008	148
30. Biomassa dan Cadangan Karbon pada setiap Tutupan Lahan di Kota Padang Tahun 2008.....	149
31. Total Cadangan Karbon Tahun 2008 di Kota Padang.....	149
32. Total Cadangan Karbon Tahun 2008 dan Perkiraan Total Cadangan Karbon Tahun 1998 dan tahun 1988 pada setiap Tutupan Lahan di Kota Padang.....	150
33. Kandungan Sedimen Beberapa Sungai di Dunia	171
34. Harkat Penentu Tingkat Kemampuan Lahan	183
35. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kemampuan Lahan	185
36. Harkat Penentu Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Pertanian Beririgasi.....	187
37. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Pertanian Beririgasi	189
38. Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Permukiman.....	190
39. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Permukiman (USDA, 1971).....	191
40. Harkat Penentu Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Padi Sawah.....	192
41. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Padi Sawah	193
42. Harkat Penentu Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Jagung.....	193
43. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Jagung.....	195
44. Harkat Penentu Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Sawit	195
45. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Sawit	197

46. Harkat Penentu Evaluasi Kesesuaian Lahan untuk Karet.....	197
47. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Karet.....	199
48. Distribusi Nilai Erodibilitas Tanah Lokasi Penelitian.....	205
49. Hubungan Sifat-Sifat Tanah dengan Indeks Erodibilitas untuk Arahan Pertanian Konservasi yang Ideal.....	211
50. Distribusi Nilai edp di setiap Satuan Lahan Daerah Penelitian	217
51. Hubungan Tingkat Degradasi Fisika Tanah dengan edp di Setiap Satuan Lahan Daerah Penelitian	220
52. Karakteristik Sifat-Sifat Tanah pada Lahan Hutan di Lokasi Penelitian	224
53. Karakteristik Sifat-Sifat Tanah pada Lahan Kebun Campuran di Lokasi Penelitian.....	225
54. Karakteristik Sifat-Sifat Tanah pada Lahan Tegalan di Lokasi Penelitian.....	226
55. Karakteristik Sifat-Sifat Tanah pada Lahan Alang-Alang di Lokasi Penelitian.....	227
56. Karakteristik Sifat-Sifat Tanah pada Lahan Sawah di Lokasi Penelitian.....	228
57. Tingkat Degradasi Tanah pada Lahan Hutan di Lokasi Penelitian	229
58. Tingkat Degradasi Tanah pada Lahan Kebun Campuran di Lokasi Penelitian.....	230
59. Tingkat Degradasi Tanah pada Lahan Tegalan di Lokasi Penelitian	231
60. Tingkat Degradasi Tanah pada Lahan Alang-Alang di Lokasi Penelitian.....	232
61. Tingkat Degradasi Tanah pada Lahan Sawah di Lokasi Penelitian	234
62. Perbedaan Degradasi Sifat-Sifat Tanah di Lokasi Penelitian.....	235
63. Tingkat Bahaya Bencana Puting Beliung Berdasarkan Skala Saffir-Simpson.....	241

BAB I

BENCANA HIDROMETEOROLOGI

 Bencana merupakan suatu gejala alamiah dan nonalamiah yang sangat meresahkan masyarakat akibat hilangnya kenyamanan, keamanan, dan ketentraman dalam kehidupannya. Banyaknya kejadian bencana dalam sepuluh tahun terakhir yang melanda wilayah negara Indonesia, menjadikan bencana sebagai topik yang sering dibahas dan harus segera diatasi dan diselesaikan, termasuk adanya upaya-upaya memasukkan bencana dan kebencanaan dalam kurikulum pada tingkat pendidikan dasar, menengah, maupun di perguruan tinggi.

Dahsyatnya bencana gempa dan tsunami yang melanda Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam tanggal 26 Desember 2004 dengan kekuatan 8,9 SR yang menimbulkan bencana tsunami dengan korban meninggal dunia 126.000 jiwa dan total kerugian 40,4 triliun menjadi pertanda bahwa bencana harus menjadi agenda yang sangat penting untuk diselesaikan. Selanjutnya terjadi banjir besar di Jakarta tanggal 1-2 Februari 2007 akibat meluapnya air Sungai Ciliwung dengan luas areal yang terendam adalah 60% dari luas Kota Jakarta. Korban jiwa akibat bencana banjir tersebut meninggal dunia 80 jiwa dan kerugian lebih kurang 4,3 triliun. Tahun 2009 tepatnya tanggal 30 September terjadi bencana gempa dengan skala 7,6 SR di Sumatera Barat dengan pusat gempa di sebelah barat Kota Pariaman yang dikenal dengan Gempa Sumatera. Gempa ini tidak menimbulkan tsunami tetapi menimbulkan bencana longsor yang menimbun 3 desa di Kabupaten Padang Pariaman. Total korban meninggal dunia adalah sekitar 1.117 jiwa dan total kerugian adalah 19,2 triliun. Tanggal 4 Oktober 2010 terjadi banjir bandang di Wasior Papua akibat tingginya intensitas hujan dan didukung oleh pembalakan liar di bagian hulu sungai. Korban yang meninggal dunia adalah 173 jiwa, dan total kerugian adalah 280 milyar. Selain itu, letusan gunung api

sebagai suatu bencana alam yang dapat menjadi pemicu terjadinya bencana hidrometeorologi, seperti banjir bandang lahar dingin pada saat musim hujan. Awan panas dan abu yang dikeluarkan pada saat letusan dapat mempengaruhi komposisi gas-gas yang menyusun atmosfer, sehingga berpengaruh terhadap pola dari siklus hidrologi



Gambar 1. Dinamika Bencana di Indonesia Tahun 2006-2010

Bencana yang menimpa wilayah Indonesia terus berlanjut, tanggal 25 Oktober 2010 terjadi bencana gempa dan tsunami di Mentawai. Gempa yang terjadi memiliki kekuatan sebesar 7,2 SR pada kedalaman 10 km. Korban yang meninggal dan hilang adalah sebanyak 530 jiwa dan total kerugian adalah sebesar 349 milyar. Sehari sesudahnya, tepatnya tanggal 26 Oktober 2010 terjadi letusan Gunung Merapi dengan korban yang meninggal dunia 542 jiwa dan total kerugian adalah sebesar 7,3 triliun. Bencana banjir bandang pada bulan Maret 2012 di Simpati Pasaman Timur akibat

pembalakkan liar, hal ini ditandai oleh banyaknya volume sisa-sisa kayu yang hanyut pada saat bencana terjadi. Bencana ini menimbulkan puluhan korban jiwa meninggal dunia, merusakkan lahan permukiman, merusakkan jalan, merusakkan lahan pertanian, pasar dan pusat-pusat perekonomian.

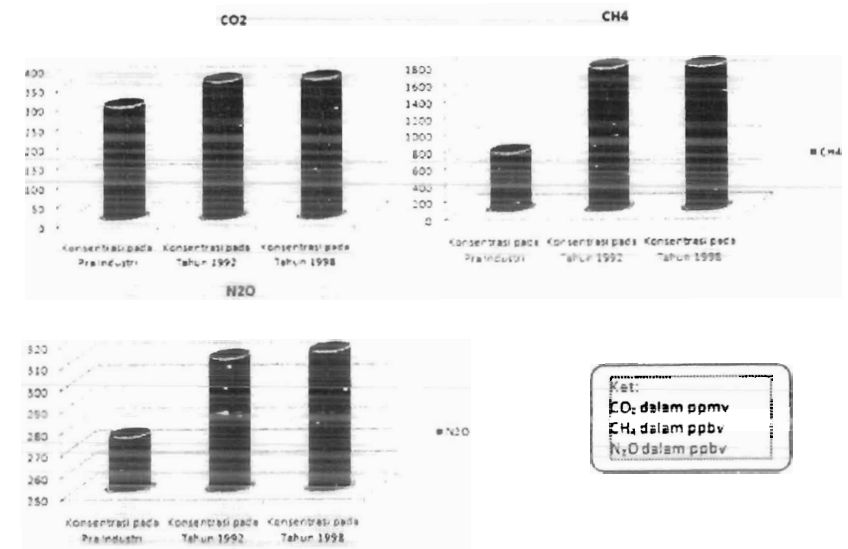
Bencana gempa (tektonik) dan letusan gunung api (vulkanik), yang mungkin mempunyai dampak timbulnya bencana lain, seperti bencana tsunami, longsor, dan kebakaran, umumnya terjadi secara alamiah, tanpa campur tangan manusia. Bencana ini terjadi dalam wilayah yang relatif sempit dan bersifat mikro sehingga tidak begitu mempengaruhi kehidupan di permukaan bumi secara global. Bencana yang sangat potensial dan secara aktual dianggap tidak terlalu membahayakan, seperti bencana degradasi lahan, bencana ekologi dan rusaknya ekosistem, longsor, dan banjir, harus diwaspadai karena akan sangat mempengaruhi tata oksigen dan tata air di muka bumi sebagai komponen utama untuk mendukung kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya untuk hidup. Bencana degradasi lahan, banjir, longsor, bencana ekologi, puing beliung, dan kekeringan dikenal dengan istilah bencana hidrometeorologi.

Bencana hidrometeorologi merupakan bencana yang disebabkan oleh rusaknya sistem dalam siklus hidrologi, sehingga mempengaruhi kestabilan kondisi iklim dan cadangan air di permukaan bumi. Kondisi ketidakteraturan pola hujan, ketidakkonsistenan variasi musim hujan dan kemarau, hilangnya fungsi hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS), hilangnya jutaan hektar hutan akibat pembalakkan liar, mengakibatkan terjadinya degradasi lahan yang berlanjut pada bencana banjir dan longsor. Intensifnya pembukaan lahan untuk kepentingan permukiman, pertanian, dan perekonomian, mengakibatkan lepasnya cadangan karbon ke atmosfer, sehingga konsentrasi gas CO₂ terus meningkat dan menjadikan bumi bertambah panas akibat pemanasan global. Kondisi seperti ini sampai sekarang terus berlangsung dan umumnya tanpa kita sadari bahaya yang akan menimpa manusia dan makhluk hidup lainnya pada masa yang akan datang, seperti musnahnya keanekaragaman hayati, hilangnya sumber-sumber air di permukaan bumi, berkurangnya konsentrasi oksigen akibat

melimpahnya kandungan CO₂ di atmosfer. Kondisi seperti ini akan menimbulkan bencana secara global dan tentu akan mengakibatkan kematian masal manusia dan makhluk hidup lainnya.

CO₂ merupakan salah satu gas yang tergolong pada gas rumah kaca (GRK) yang dapat menimbulkan terjadinya perubahan iklim secara global. Isu perubahan iklim banyak menimbulkan kontroversi, baik di kalangan praktisi, politisi, maupun akademisi. Jadi, bisa dibayangkan bagaimana kurang pemahannya masyarakat awan mengenai isu ini. Salah satu penyebab kontroversi tersebut adalah kesalahpahaman mengenai pengertian perubahan iklim itu sendiri. Perubahan iklim merupakan perubahan kondisi fisik atmosfer bumi (suhu, kelembaban, angin, distribusi curah hujan) dalam jangka waktu yang relatif panjang (50-100 tahun) yang dipengaruhi oleh kegiatan manusia (antropogenik) sehingga menghasilkan emisi GRK, seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (N₂O), dan uap air (H₂O). Dengan demikian, perubahan-perubahan cuaca yang bersifat musiman maupun kejadian-kejadian ekstrim seperti El Nino atau La Nina tidak termasuk dalam kategori perubahan iklim (Murdiyarto, 2003a).

Unsur-unsur iklim seperti suhu, kelembaban, angin, dan distribusi curah hujan pada prinsipnya secara sistemik dikendalikan oleh keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer. Cahaya matahari yang dipancarkan sampai ke bumi dipantulkan lagi dan sebagian besar tertahan di atmosfer berupa radiasi infra merah yang bersifat panas. Akibat efek rumah kaca secara alami ini menjadikan bumi mempunyai kehidupan. Tanpa atmosfer, suhu rata-rata di permukaan bumi akan lebih rendah dari suhu saat ini. Konsentrasi GRK dalam atmosfer dari tahun ke tahun secara umum mengalami peningkatan akibat gaya hidup manusia dalam memenuhi kebutuhan energinya.



Gambar 2. Perbedaan Konsentrasi CO₂, CH₄, dan N₂O di Atmosfer

Pemenuhan kebutuhan energi manusia yang secara terus-menerus meningkat dan tanpa mengindahkan kaidah-kaidah kelestarian lingkungan akan berdampak pada kerusakan alam di muka bumi. Karakteristik GRK (CO₂, CH₄, dan N₂O), seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Gas Rumah Kaca

Karakteristik	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Konsentrasi pada Pra industri	290 ppmv	700 ppbv	275 ppbv
Konsentrasi pada Tahun 1992	355 ppmv	1714 ppbv	311 ppbv
Konsentrasi pada Tahun 1998	360 ppmv	1745 ppbv	314 ppbv
Laju Pertumbuhan per Tahun	1,5 ppmv	7 ppbv	0,8 ppbv
Persen Pertumbuhan per Tahun	0,4	0,8	0,3
Masa Hidup (Tahun)	5-200	12-17	114
Kemampuan Memperkuat Radiasi	1	21	206

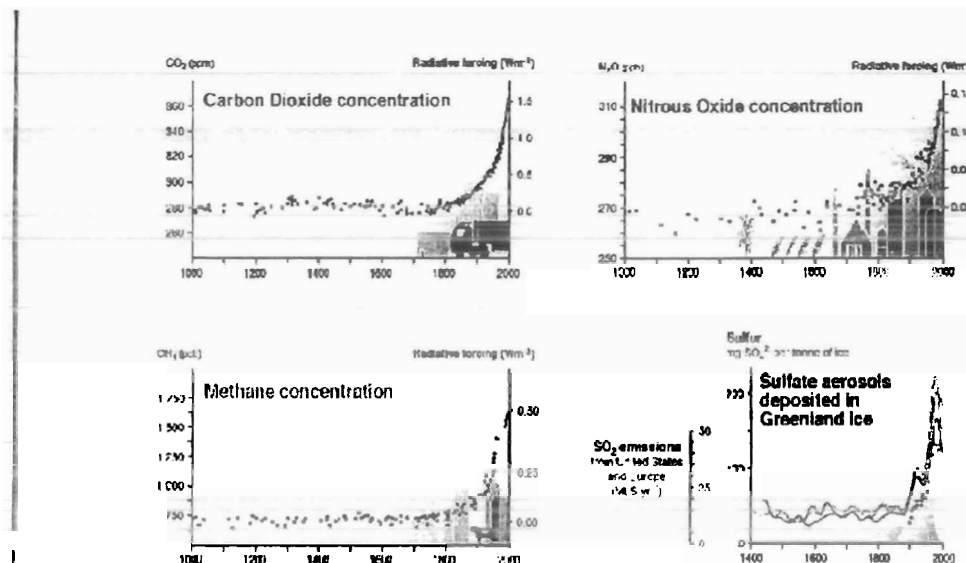
Ket: ppmv part per million by volume
ppbv part per billion by volume

N₂O merupakan gas rumah kaca yang mempunyai masa hidup 114 tahun di atmosfer dan mempunyai kemampuan memperkuat radiasi 206 kali, sedangkan CH₄ mempunyai masa

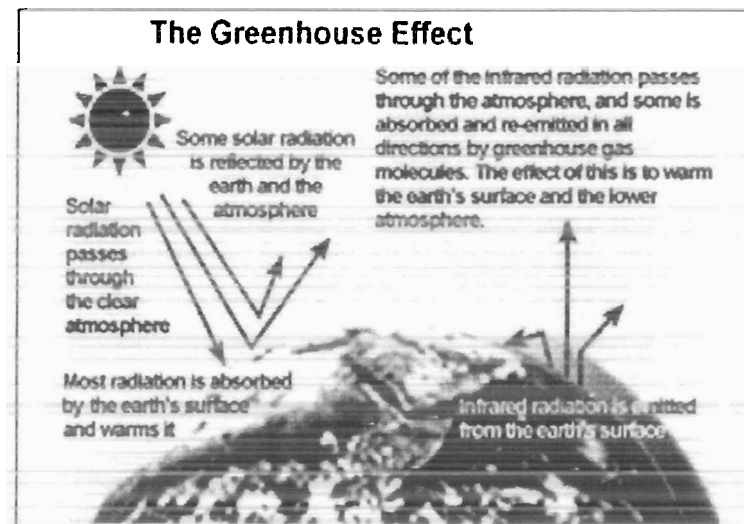
hidup di atmosfer antara 12-17 tahun dan kemampuan memperkuat radiasi adalah 21 kali. Selain itu, CO₂ mempunyai masa hidup di atmosfer antara 5-200 tahun, namun kemampuan untuk memperkuat radiasi adalah 1 kali.

Pada prinsipnya unsur-unsur iklim seperti suhu udara dan curah hujan dikendalikan oleh keseimbangan energi antara bumi dan atmosfer. Radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi berupa cahaya tampak sebagian diserap oleh permukaan bumi dan atmosfer di atasnya. Rata-rata jumlah radiasi yang diterima bumi berupa cahaya yang seimbang dengan jumlah yang dipancarkan kembali ke atmosfer berupa radiasi inframerah yang bersifat panas, sehingga dapat menyebabkan pemanasan atmosfer bumi. Perspektif waktu dengan jangka yang begitu panjang juga penting untuk dipahami dengan pengertian bahwa perubahan iklim berlangsung secara perlahan. Hal ini tidak berarti bahwa orang tidak perlu berbuat sesuatu karena perubahannya tidak terjadi secara cepat. Justru karena dampak yang ditimbulkan oleh kegiatan generasi sekarang akan mempengaruhi generasi yang akan datang, maka kelestarian ekosistem bumi harus dijaga dan dipertanggungjawabkan oleh generasi sekarang, karena perubahan iklim cenderung tidak pulih (*irreversible*) ke kondisi awal.

Pada kurun waktu 100 tahun yang lalu, peningkatan suhu bumi sebesar 0,5°C telah dipengaruhi oleh peningkatan CO₂, N₂O, CH₄, dan SO₂ di atmosfer (Gambar 4). Pada kurun waktu 100 tahun mendatang, konsentrasi CO₂ juga akan meningkat dua kali lipat di banding zaman industri, yaitu sekitar 580 ppm, sehingga terjadinya perubahan iklim menuju kondisi yang tidak diharapkan (IPCC, 2001).



Gambar 3. Konsentrasi CO₂, N₂O, CH₄, dan SO₂ di Atmosfer yang Direkonstruksi dari Pengukuran Langsung di Atmosfer dan Sampel Es di Kutub (IPCC, 2001)



Gambar 4. Suplai CO₂ dari Industri bagi Gas Rumah Kaca (Climate Change, 2001a)

Konsepsi perubahan iklim yang digunakan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* merujuk pada "setiap perubahan iklim dalam selang waktu tertentu, diakibatkan oleh variasi alamiah atau karena aktivitas manusia (anthropogenic)" (IPCC, 2001). Gambaran umum peningkatan GRK akibat aktivitas manusia dapat dilihat pada Tabel 2.

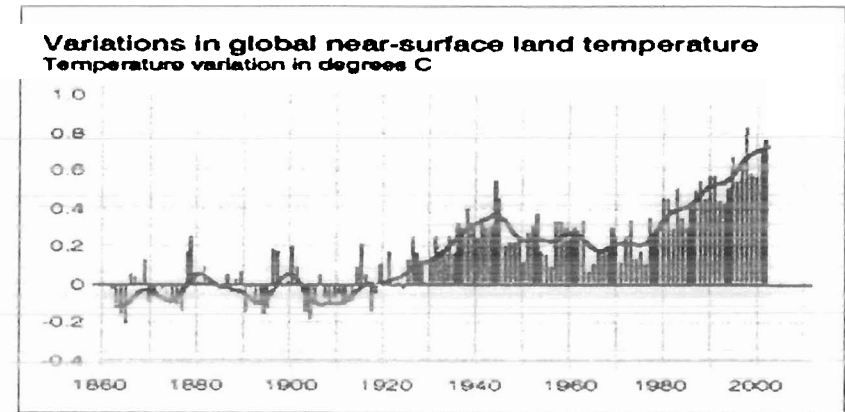
Tabel 2. Gas Rumah Kaca (GRK) yang Utama dan Gambaran Umum Perubahan Iklim

Gas	Life Time (tahun)	Konsentrasi		GWP	Sumber
		Pra Industri	1994		
CO ₂	50-200	260 ppm	385 ppm	1	BBF & Deforestasi
CH ₄	12-17	700 ppb	1720 ppb	21	Biologi & Pertanian
N ₂ O	120	275 ppb	312 ppb	310	Energi & Pabrik Pupuk
CFC ₁₂	102	0	505 ppt	8500	Industri Kimia
HFC	1.5-264	0	110 ppb	140-11700	Proses Industri
CF ₄	50000	0	70 ppt	6300	Antropogenik
Indikator Perubahan yang terjadi					
<i>Indikator Konsentrasi</i>					
Konsentrasi CO ₂ di atmosfer	750 ppm (1000-1750) menjadi 368 ppm (2000); meningkat 31+/-24%				
Pertukaran CO ₂ di bumi	30 Gt C (1800-2000), tetapi selama tahun 1990-an sekitar 14-17 Gt C				
Konsentrasi CH ₄ di atmosfer	700 ppm (1000-1750) menjadi 1750 (2000); meningkat 151+/-25%				
Konsentrasi N ₂ O di atmosfer	270 ppb (1000-1750) menjadi 316 ppb (2000);				
<i>Indikator Cuaca</i>					
Suhu atmosfer bumi rata-rata global	Meningkat 0,6 ± 0,2 selama abad ke-20				
<i>Indikator Fisik</i>					
Kenaikan permukaan Air Laut	Meningkat 1,2 mm rata-rata per tahun selama abad ke-20				
Penurunan permukaan daratan					

Sumber: IPCC (2001)

Kegiatan industri merupakan penvumbang terbesar HFC ke atmosfer, yaitu dengan GWP yang berkisar antara 140-11700. Hal ini disebabkan oleh intensifnya penggunaan bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) sebagai sumber energi untuk

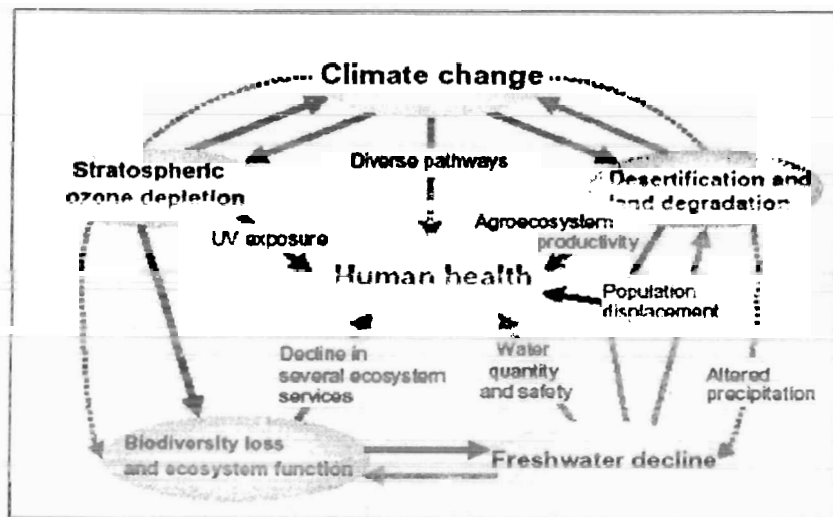
produksi. Bukti-bukti baru yang kuat menyatakan bahwa mayoritas pemanasan bumi yang diobservasi selama 50 tahun terakhir disebabkan oleh aktivitas manusia (IPCC, 2001). Dalam the *Fourth Assessment to IPCC* secara ilmiah menyatakan bahwa aktivitas manusia dianggap sebagai penyebab peningkatan GRK di atmosfer (Hanley, 2006).



Gambar 5. Variasi Suhu Permukaan Bumi (IPCC, 2001)

Dalam buku *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (IPCC, 2001), dinyatakan hasil-hasil observasi yang semakin jelas memberikan suatu kumpulan gambaran akan adanya pemanasan dunia dan perubahan dalam sistem iklim. Pertama, temperatur permukaan rata-rata (rata-rata temperatur udara dan permukaan air) telah meningkat sejak tahun 1861. Sepanjang abad 20, peningkatan suhu adalah $0,6 \pm 0,2$ °C, dimana peningkatan terjadi antara tahun 1910-1945 dan tahun 1976-2000, dimana dekade yang paling panas adalah tahun 1990-2000 dan tahun terpanas adalah tahun 1998 (Gambar 5). Dalam draft *Fourth Assessment* dikatakan bahwa antara tahun 1993 sampai dengan tahun 2003 adalah era paling panas dan permukaan laut meningkat 3 mm/tahun antara (Hanley, 2006). Peningkatan suhu bumi telah menyebabkan matinya atau berubahnya banyak species hewan dan tanaman yang, lebih cepat dari yang diprediksikan (Borenstein, 2006). Selain itu, dengan terjadinya peningkatan suhu di bumi dapat mengakibatkan

fluktuasi gejala-gejala iklim dan cuaca di atmosfer, sehingga akan mempengaruhi pola cuaca, pola angin, dan pola hujan. Kondisi tersebut akan berpengaruh terhadap proses kehidupan di bumi, terutama untuk kegiatan-kegiatan pertanian dan kegiatan lainnya. Pengaruh dan terpengaruhnya perubahan iklim terhadap kesehatan manusia, ozon, dan *Land Use, Land Use Change and Forestry* (LULUCF) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Perubahan Iklim dengan Kelangsungan Hidup MakhluK Hidup (Climate Change, 2001b)

Perubahan iklim juga dapat menyebabkan bahwa pada abad 20 terjadi peningkatan curah hujan di wilayah tropis sebesar 0,2-0,3%. Namun sebaliknya, di beberapa wilayah Asia dan Afrika, frekuensi dan intensitas kekeringan akan mengalami peningkatan. Selanjutnya, episode hangat karena kejadian *El Nino-Southern Oscillation* (ENSO) menjadi semakin meningkat sejak pertengahan 1970-an (Murdiyarto, 2003b).

Perubahan iklim terjadi sebagai akibat dari dua hal, yaitu variasi internal dalam sistem iklim dan variasi eksternal (alamiah maupun *anthropogenic*). Pengaruh faktor-faktor eksternal pada iklim dapat dibandingkan dengan menggunakan konsep *radiative forcing* yang merupakan suatu ukuran dari pengaruh yang dimiliki suatu faktor dalam merubah keseimbangan energi yang masuk dan keluar

dalam sistem atmosfer bumi. Indeks pentingnya faktor tersebut dalam mekanisme perubahan iklim dinyatakan dalam watt per meter kuadrat (w/m^2). Bila *radiative forcing* positif maka akan cenderung memanaskan permukaan bumi, sebaliknya bila *radiative forcing* negatif akan mendinginkan permukaan bumi. Faktor-faktor alamiah seperti perubahan pada *solar output* atau aktivitas letusan gunung juga akan menyebabkan *radiative forcing*.

Terjadinya perubahan iklim (*The Causes of Climate Change*) secara langsung maupun tidak langsung disebabkan oleh kegiatan manusia yang mengubah komposisi atmosfer global dan variabilitas iklim alami yang diamati selama periode waktu tertentu. Tindakan manusia yang berperan dalam mengubah komposisi atmosfer antara lain: (1) emisi GRK yang disebabkan oleh kegiatan manusia telah mengakibatkan adanya penebalan selubung GRK, sehingga banyak panas yang terperangkap dan memicu timbulnya pemanasan global, (2) BBF (bahan bakar fosil) adalah sumber emisi GRK terbesar dari aktivitas manusia, dan (3) BBF dari tumbuhan dan hewan yang telah lama mati merupakan sumber tunggal penyebab GRK. Pembakaran batu bara, minyak, dan gas bumi melepaskan milyaran ton CO_2 , CH_4 , dan N_2O ke atmosfer setiap tahunnya.

Terjadinya pemanasan global dan bumi semakin panas tentu mempengaruhi cadangan air di bumi. Cadangan air yang semakin berkurang disebabkan juga oleh hilangnya kemampuan lahan dalam menyimpan air, sehingga pada musim hujan air hilang melalui *run off* (aliran permukaan) dan pada musim kemarau kondisi lahan menjadi kering. Kondisi ini sangat berpotensi timbulnya bencana longsor dan banjir pada musim hujan, erosi dan kekeringan pada lahan berpotensi timbulnya bencana degradasi lahan, sehingga lahan tidak lagi mampu mendukung proses kehidupan di atasnya. Hal ini dapat menimbulkan terjadinya bencana ekologi dengan rusaknya tatanan ekosistem dan hilangnya keanekaragaman hayati.

BAB II

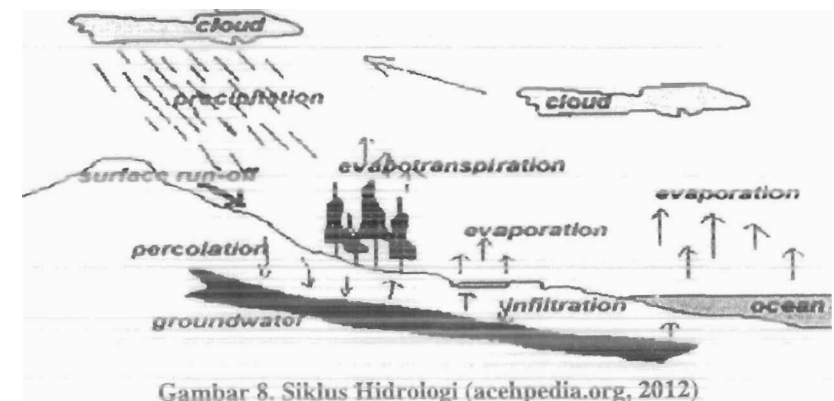
KAITAN BENCANA GEMPA BUMI, TSUNAMI, DAN LETUSAN GUNUNG API DENGAN BENCANA HIDROMETEOROLOGI

Bencana gempa merupakan bencana alam yang menimbulkan getaran di kulit bumi, sehingga dapat merusak tatanan kulit bumi. Gempa sangat berbahaya sekali karena terjadi secara mendadak dan tiba-tiba, dan sampai saat ini belum ada alat yang mampu memprediksi waktu akan terjadinya gempa. Gempa gempa dapat mempengaruhi terjadinya perubahan bentang lahan. Gempa dengan skala besar ($>6,5$ SR) tanah longsor, sedangkan gempa skala kecil ($<6,5$ SR) dapat mengakibatkan berlangsungnya proses *detaachment* atau hancurnya agregat tanah, sehingga butir-butir tanah terlepas. Butir-butir tanah tersebut akan menjadi bahan rombakan yang halus dan bersifat sangat labil, sehingga berpotensi tinggi untuk tererosi, dan apabila butir-butir tanah halus tersebut dipengaruhi oleh hujan akan berpotensi menyumbat pori-pori tanah, dengan demikian proses erosi akan intensif karena konsentrasi *run off* akan besar mengikis dan menhanyutkan tanah-tanah permukaan.

Longsor yang terjadi akibat gempa bumi secara langsung dapat mempengaruhi hilangnya keanekaragaman hayati (bencana ekologi) dan rusaknya lahan (bencana degradasi lahan). Rusaknya dan hilangnya keanekaragaman hayati (tumbuhan dan hewan) akan mempengaruhi siklus hidrologi secara lokal maupun secara global. Siklus hidrologi merupakan suatu sistem dengan subsistem air (laut, sungai, danau, dan air dalam tanah) subsistem atmosfer (angin, kelembaban, temperatur, dan cahaya matahari), subsistem lahan (tanah, tumbuhan, hewan, dan manusia) fisik dan dan hewan) yang saling berkaitan satu sama lainnya untuk mencapai proses keseimbangan di bumi.



Gambar 7. Bencana Longsor di Gunung Tigo Kabupaten Padang Pariaman Akibat Gempa 7,9 SR di Laut Pariaman tahun 2009 (muhtarsuhaili.wordpress.com, 2012)



Gambar 8. Siklus Hidrologi (acehpedia.org, 2012)

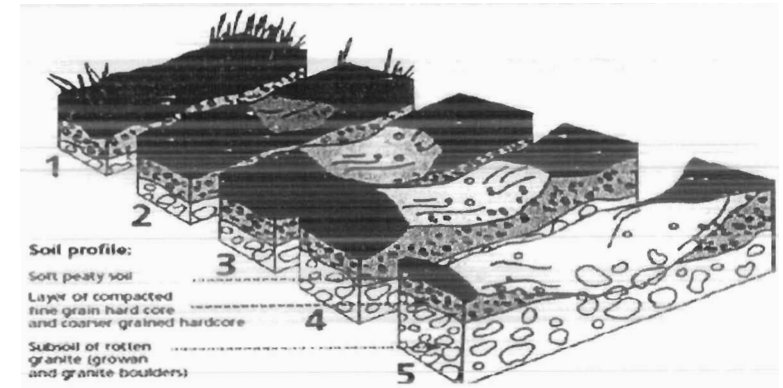
Penyinaran cahaya matahari yang menyebabkan terjadinya fluktuasi temperatur di bumi akan mengakibatkan terjadinya proses penguapan air laut, air sungai, air danau, dan air tanah (melalui proses evaporasi oleh tanah dan transpirasi oleh tumbuhan: evapotranspirasi) ke atmosfer. Akibat fluktuasi temperatur mengakibatkan terjadinya peristiwa kondensasi (pembentukan molekul air (H_2O) dalam proses peng-awan-an. Angin berperan memindahkan awan yang berisi butir-butir air ke tempat lain

(darat) dan jatuh menjadi hujan. Hujan yang sampai ke daratan mengalir lagi ke laut melalui *run off*, perkolasi, dan sungai.

Tumbuhan (daun) berperan sebagai pelindung tanah dari hantaman langsung butir hujan, batang kayu berfungsi sebagai penghambat *run off* agar alirannya tidak berbahaya terhadap kelestarian tanah dan lahan, dan akar tumbuhan berperan sebagai penahan air dalam tanah, sehingga terjadi keseimbangan air pada musim hujan dan musim kemarau. Tanah yang tidak tertutup tumbuhan dapat menyebabkan pecahnya agregat tanah (erosi percikan). Butir tanah hasil erosi percikan diendapkan kembali dan berpotensi menyumbat pori-pori tanah, hal ini mengakibatkan air di permukaan tanah tergenang. Didukung dengan kemiringan lereng, air yang tergenang mengalir menjadi aliran permukaan (*run off*) sehingga terjadi erosi permukaan. Kekuatan *run off* semakin cepat karena alirannya tidak terhambat oleh batang-batang kayu berpotensi menimbulkan erosi alur, erosi parit, dan erosi lembah.

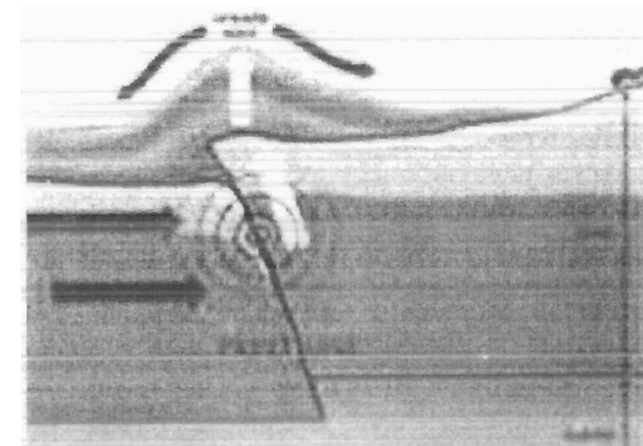
Pada lahan-lahan berlereng yang tersusun atas bahan-bahan rombakan yang terbentuk di atas batuan yang kedap air berpotensi menimbulkan bencana longsor, karena lapisan batuan kedap air di bawah bahan rombakan berfungsi sebagai bidang luncur bagi bahan di atasnya. Lebih berbahaya lagi pada saat hujan yang diiringi oleh gempa akan mempercepat proses terjadinya longsor dengan tingkat bahaya dan resiko yang tinggi sekali. Peristiwa ini secara langsung akan mempengaruhi eksistensi tumbuhan dan lahan sebagai subsistem hidrologi tidak dapat berfungsi optimal dalam siklus hidrologi.

Gempa dapat menimbulkan bencana susulan, selain longsor, bencana lain yang terjadi setelah terjadinya gempa bumi adalah kebakaran, banjir akibat pecahnya dinding-dinding pembatas bendungan, peningkatan aktivitas gunung api, dan tsunami (apabila gempa terjadi dilaut >6,5 SR, kedalaman <40 km, dan lempeng saling bertubrukan). Selain itu, tsunami juga dapat terjadi akibat longsoran dinding samudera di dasar laut, seperti tsunami yang terjadi di Papua Nugini tahun 1998, walaupun secara teori gempa yang terjadi tidak berpotensi untuk terjadinya tsunami

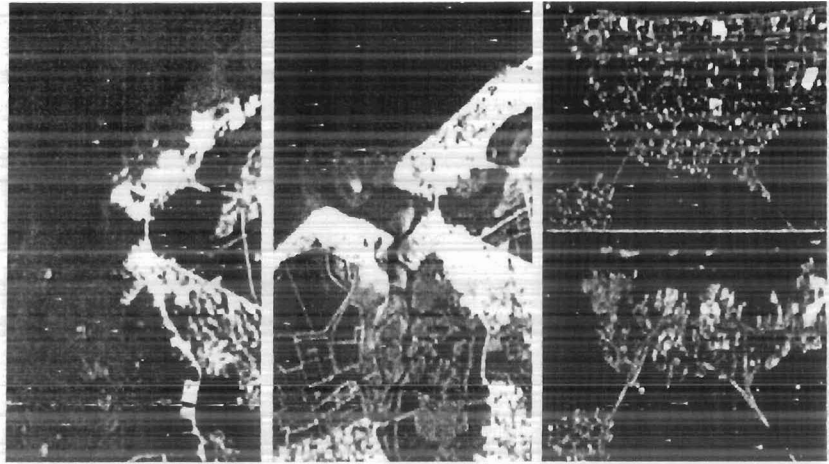


Gambar 9. Proses Erosi dan Longsor di Atas Batuan Kedap Air (bendunganbatutege.blogspot.com, 2012)

Bencana tsunami dapat menimbulkan bencana susulan, yaitu hilangnya keanekaragaman hayati, bencana degradasi lahan, banjir dan gelombang pasang, kerusakan pada sarana dan prasarana, dan pencemaran air bersih. Hal ini mengindikasikan bencana tsunami dapat mempengaruhi kesempurnaan siklus hidrologi akibat rusaknya subsistem dalam siklus hidrologi. Kondisi ini secara langsung dapat memicu terjadinya bencana hidrometeorologi sehingga dapat merusak tatanan kehidupan di muka bumi.



Gambar 10. Gempa Akibat Tubrukan Lempeng Penyebab Tsunami (berita-iptek.blogspot.com, 2012)



Gambar 11. Kerusakan Lahan dan Kehancuran Ekosistem Akibat Bencana Tsunami (Tsunami Aceh, 2004: mtnugraha.wordpress.com, 2012)

Yusuf (2012) menjelaskan bahwa selain gempa dan tsunami bencana letusan gunung api juga dapat menimbulkan terjadinya bencana susulan, yaitu bencana banjir lahar dingin, rusaknya ekosistem, bencana degradasi lahan, dan mempengaruhi komposisi atmosfer secara lokal maupun secara global. Proses terbentuknya jalur gunung api di Indonesia akibat lempeng India-Australia yang berada di dasar samudera sebelah selatan Indonesia telah bertabrakan dengan lempeng Eurasia (daratan benua Eropa dan Asia) di sepanjang lempeng bagian selatan Indonesia. Lempeng India-Australia terdesak dan menyusup ke bawah kepulauan Indonesia. Proses tabrakan antar lempeng yang kemudian terjadi penyusupan suatu lempeng benua ke lempeng benua lainnya atau yang sering disebut penunjaman (*subduction*).

Peristiwa serupa juga terjadi di kawasan Indonesia bagian timur, dimana lempeng pasifik mengalami penunjaman kebawah lempeng Eurasia. Proses penunjaman tersebut menimbulkan getaran atau gempa bumi di Indonesia yang melepaskan panas yang menyebabkan melelehnya batuan, sehingga menghasilkan magma. Keberadaan jalur pegunungan dunia, menyebabkan Indonesia memiliki tiga sistem gunung api, yaitu jalur pegunungan

sirkum Mediterania, jalur pegunungan sirkum Pasifik, dan jalur pegunungan lingkaran Australia. Daerah yang relatif aman dari ancaman gempa bumi jika dibandingkan dengan beberapa pulau lainnya adalah Pulau Kalimantan. Hal ini disebabkan karena Pulau Kalimantan letaknya jauh dari lokasi pertemuan antar lempeng, sehingga hampir tidak terdapat hiposentrum gempa. Faktor penyebab terjadinya gunung meletus adalah terjadinya peningkatan kegempaan vulkanik, peningkatan suhu kawah, peningkatan gelombang magnet dan listrik, hingga terjadinya deformasi pada tubuh gunung, lempeng-lempeng bumi saling berdesakan dan magma di perut bumi pun mendesak serta mendorong permukaan bumi dan memicu aktivitas geologis, vulkanik, dan tektonik, dan akibat tekanan yang amat tinggi, magma mendesak keluar (erupsi) dari permukaan bumi sebagai lava.

Selanjutnya Yusuf (2012) juga menambahkan bahwa kerak bumi adalah lapisan tipis batuan padat (10 hingga 70 km) yang mengambang di lapisan lebih tebal dari batuan cair, mantel, di mana batu berada pada suhu 1100-1200° C di lapisan paling dangkal dan lebih panas dan semakin panas dengan meningkatnya kedalaman. Batuan cair ini adalah cairan magma yang keluar dari gunung berapi pada permukaan kerak bumi dan menjadi batu lava ketika membeku. Kerak bumi memberikan sebuah tekanan besar pada mantel magma yang cenderung terhadap keuntungan pada setiap titik lemah yang berada di atas kerak bumi, yang terbentuk oleh beberapa patahan, untuk naik dan keluar di atas permukaan.

Gunung berapi dengan bentuk kerucut yang khas terbentuk menjadi banyak lapisan dari letusan lava terpadatkan selama ratusan ribu tahun. Hal tersebut merupakan kehidupan normal gunung berapi. Magma dari mantel bisa begitu mudah keluar melalui kerak bumi karena terletak pada mantel yang sama, hal ini ditunjukkan oleh gerakan-gerakan konvektif besar yang menyebabkan turunnya magma bagian atas yang lebih dingin, digantikan oleh magma bagian dalam yang lebih panas dalam siklus terus menerus, mirip dengan air mendidih dalam ketel. Konveksi aliran ini banyak terdapat di dalam mantel dan bergerak seperti ban berjalan, mampu bergerak seluas kerak bumi. Untuk alasan ini, dibagi menjadi banyak lempeng kerak yang bergerak

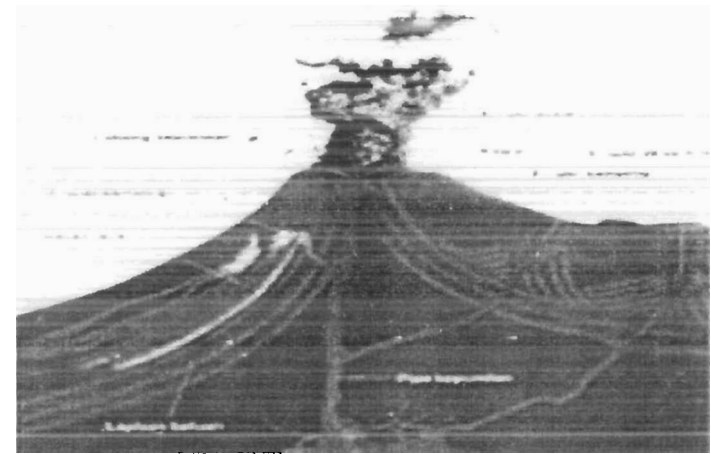
antara satu dengan lainnya beberapa centimeter setiap tahun. Hanya tepi lempeng kerak ini merupakan daerah lemah dan tidak stabil dari kerak bumi di mana magma dari mantel dengan mudah dapat muncul untuk membentuk gunung berapi. Kerak bumi adalah yang terpendek (hanya km 5-10) kedekatannya dengan dasar laut dan tebal paling di bawah pegunungan gunung utama, tapi sebagian besar terbentuk atau masih sedang terbentuk hari ini hanya sepanjang batas antara dua lempeng kerak di mana terjadi tabrakan antara satu dengan yang lain. Jadi, salah satu dari dua lempeng (A) mereda/menyurut dan bergerak ke bawah lempeng lain (B), tenggelam di dalam mantel dan meleleh menjadi kurang padat; magma baru ini memberikan kontribusi mendorong tepi lempeng kerak B ke atas dan membentuk kisaran gunung (pegunungan), sejajar dengan tepi kerak. Ini terjadi pada lempeng India dengan menabrak dan kembali normal di bawah lempeng Asia dan hasil dari tekanan besar adalah pegunungan Himalaya dan dataran tinggi Tibet.

Hal yang sama terjadi di sepanjang pantai barat seluruh Amerika, di mana kerak samudra Pasifik menyurut di bawah lempeng benua Amerika untuk membentuk Pegunungan Andes dan Rocky. Hanya di sini, ada banyak kesalahan dan celah dalam kerak bumi, yang disebabkan oleh tekanan yang cenderung membengkok dan akibatnya banyak gunung berapi. Letusan magma mereda oleh gas-gas terlarut di dalamnya, terutama karena magma melintasi lapisan kerak bumi dan mendekomposisi bagian dari batuan di sepanjang jalan. Jadi, magma jatuh di bawah tekanan besar dengan gas-gas seperti CO_2 , SO_2 , HCl , HF , H_2O , H_2O dan lainnya. Ketika magma naik sepanjang lubang utama dari gunung berapi, tekanan berkurang dan gas terpisah dari magma membentuk gelembung. Ini cenderung untuk naik ke atas dan meningkatkan tekanan yang diberikan ke atas oleh lava.

Penting untuk diketahui bahwa magma meletus dari gunung berapi tidak datang langsung dari mantel, tetapi dari ruang magmatik besar atau "kaldera" dan terletak di dalam kerak bumi. Kaldera tersebut terletak pada beberapa kilometer di bawah gunung berapi, langsung berhubungan dengan kawahnya. Viskositas magma sangat penting untuk menjelaskan letusan

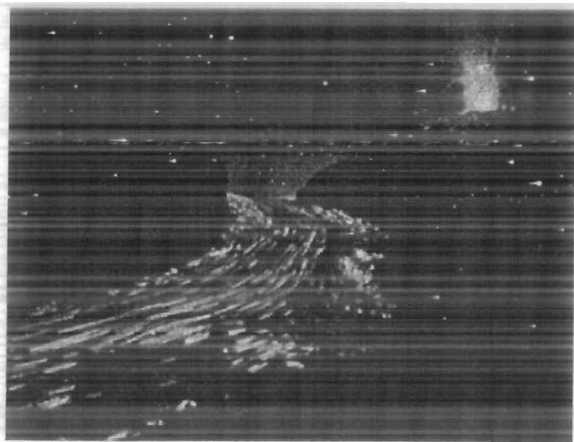
gunung berapi karena sangat bervariasi. Magma yang paling kental membentuk gunung berapi di mana batuan cair cenderung memadat segera setelah letusan atau bahkan sebelum keluar dari kawah. Akibatnya, magma ini cenderung menyumbat vulkanik menyumbat lubang dengan tutup dari magma padat pada akhir setiap letusan. Kesimpulan untuk setiap letusan eksplosif hanya merupakan langkah pertama menuju letusan berikutnya, walaupun terjadi setelah beberapa abad, bahkan tekanan dari dasar magma dan gas, cepat atau lambat cenderung membuat tutup tersebut meledak sehingga letusan dari gunung berapi biasanya mendadak dan eksplosif, setelah periode waktu panjang yang tenang.

Kerasnya letusan di daerah sekitarnya dipicu oleh ledakan yang disebabkan oleh gas-gas yang dilepaskan dengan keras oleh magma yang sangat kental, bergerak bersama sejumlah abu, bara, dan puing-puing yang berasal dari bagian-bagian dari gunung yang hancur oleh ledakan. Ini membentuk awan gas panas yang tinggi dan besar dan partikel padat yang dapat runtuh pada sisi-sisi gunung berapi dan membentuk awan dari abu dan gas yang membakar segala sesuatu di sepanjang jalan mereka.



Gambar 11. Proses Letusan Gunung Api (indocartanindia.wordpress.com, 2012)

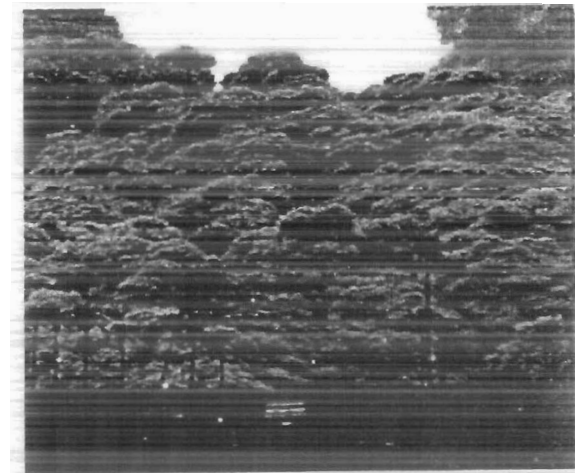
Letusan gunung api selalu mengeluarkan gas-gas vulkanik yang cukup berbahaya dan dapat mempengaruhi keberlanjutan lingkungan hidup, baik secara lokal maupun secara global. Komposisi gas-gas atmosfer dan ozon yang berubah akan menimbulkan dinamika gejala-gejala cuaca dan iklim yang relatif cepat, hal ini mempengaruhi unsur-unsur cuaca dalam waktu yang sangat cepat. Gas-gas yang dikeluarkan saat terjadi letusan gunung api antara lain Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO₂), Hidrogen Sulfida (H₂S), Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen (N₂) yang membahayakan bagi manusia karena berubahnya pola hidrometeorologi, sehingga memicu terjadinya bencana hidrometeorologi. Selain itu, letusan gunung api juga mengeluarkan lava, berupa cairan magma bersuhu sangat tinggi yang mengalir ke permukaan melalui kawah gunung api. Lava encer mampu mengalir jauh dari sumbernya mengikuti sungai atau lembah yang ada, sedangkan lava kental mengalir tidak jauh dari sumbernya.



Gambar 13. Aliran Lava Akibat Letusan Gunung Api Dapat Menghancurkan Ekosistem (Bencana Ekologi) dan Memicu Terjadinya Bencana Degradasi Lahan (hitokirivader.deviantart.com, 2012)

Letusan gunung api juga mengeluarkan lahan yang sangat berbahaya terhadap kelestarian keanekaragaman hayati dan lahan. Lahar juga merupakan salah satu ancaman bagi kelestarian

ekosistem dan lahan. Lahar merupakan banjir bandang di lereng gunung yang terdiri dari campuran bahan vulkanik berukuran lempung sampai bongkah, yang bisa bersifat panas atau dingin. Lahar panas berasal dari letusan gunung api yang memiliki danau kawah yang berubah menjadi panas, sedangkan lahan dingin terjadi karena percampuran material letusan dengan air hujan di sekitar gunung yang kemudian membuat lumpur kental dan mengalir dari lereng gunung. Hasil letusan gunung api yang lain adalah berupa abu vulkanik yang bersifat panas yang keluar bersamaan dengan awan panas. Abu dan awan panas yang bergerak secara vertikal akan mengeluarkan *aerosol* yang dapat merusak komposisi atmosfer dan lapisan ozon, sedangkan yang bergerak menuruni arah lereng akan mengakibatkan rusaknya ekosistem dan lahan, sehingga memicu terjadinya bencana ekologi dan bencana degradasi lahan pada kawasan tersebut.

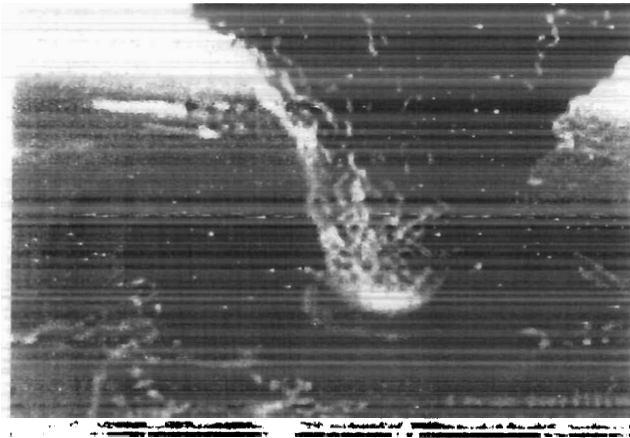


Gambar 14. Debu dan Awan Panas yang Menhantam Permukaan Tanah dapat Menimbulkan Kerusakan Ekosistem dan Degradasi Lahan (abisyakir.wordpress.com, 2012)

Letusan gunung api juga dapat menghancurkan ekosistem laut (karang dan tumbuhan laut) dan tsunami apabila terjadi pada gunung bawah laut atau gunung-gunung yang terdapat di laut. Letusan gunung api yang paling berbahaya terjadi di Indonesia

padat tanggal 27 Agustus 1883 dengan ledakan yang paling besar, suara keras dengan suara letusan terdengar sampai 4.600 km dari pusat letusan, sedangkan semburan debu vulkanisnya sejauh 80 km.

Letusan gunung api laut dapat menimbulkan tsunami yang sangat besar, sehingga dapat menghancurkan keragaman hayati (ekosistem) pesisir dan lahan. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya degradasi lahan yang sangat lama dan memunculkan lahan kritis akibat banyaknya terkonsentrasi NaCl di permukaan tanah. Waktu pemulihan lahan pada lahan bekas terkena tsunami juga membutuhkan biaya yang sangat besar, dan butuh upaya-upaya reklamasi lahan yang berkesinambungan agar kembali tercipta lahan-lahan potensial dan mempunyai fungsi yang berkelanjutan.



Gambar 15. Letusan Gunung Api di Laut yang Dapat Menghancurkan Ekosistem Laut, Ekosistem Darat, Hancurnya Lahan di Pesisir Pantai, dan Perubahan Iklim Global (rickywahyudi16.blogspot.com, 2012)

BAB III MITIGASI BENCANA HIDROMETEOROLOGI

A. Defenisi

1. Mitigasi bencana merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana (Hermon, 2010).
2. Bencana hidrometeorologi adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa banjir, longsor, kerusakan ekosistem, degradasi lahan, puting beliung, dan kekeringan yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis (PVMBG, 2007).
3. Mitigasi bencana hidrometeorologi ialah upaya memperkecil jumlah korban jiwa dan kerugian harta benda akibat bencana alam itu, tindakan yang perlu dilakukan meliputi tindakan sebelum, saat terjadi, dan setelah terjadinya bencana. Setiap bencana memerlukan tindakan prioritas dan kebutuhan informasi yang relatif berbeda (PVMBG, 2007).
4. Tindakan mitigasi bencana hidrometeorologi meliputi pengumpulan informasi yang dibutuhkan pada waktu penanganan bencana seperti: (1) wilayah serta lokasi geografis bencana dan perkiraan populasi, (2) status jalur transportasi dan sistem komunikasi, (3) ketersediaan air bersih, bahan makanan, fasilitas sanitasi dan tempat hunian, (4) jumlah korban, (5) kerusakan, kondisi pelayanan, ketersediaan obat-obatan, peralatan medis serta tenaga di fasilitas kesehatan, (6) lokasi dan jumlah penduduk yang menjadi pengungsi dan (7) estimasi jumlah yang meninggal dan hilang (BNPB, 2008).

5. Peringatan dini adalah serangkaian kegiatan pemberian peringatan sesegera mungkin kepada masyarakat tentang kemungkinan terjadinya bencana pada suatu tempat oleh lembaga yang berwenang (BNPb, 2008).
6. Penyelenggaraan penanggulangan bencana adalah serangkaian upaya yang meliputi penetapan kebijakan pembangunan yang beresiko timbulnya bencana, kegiatan pencegahan bencana, tanggap darurat, dan rehabilitasi (BNPb, 2008).
7. Pencegahan bencana adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan resiko bencana, baik melalui pengurangan ancaman bencana maupun kerentanan pihak yang terancam bencana (BNPb, 2008).
8. Kesiapsiagaan adalah serangkaian yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna (PVMBG, 2007).
9. Tipologi kawasan rawan bencana adalah klasifikasi kawasan rawan bencana sesuai dengan karakter dan kualitas kawasan-nya berdasarkan aspek fisik alamiah yang menghasilkan tipe-tipe zona berpotensi bencana (PVMBG, 2007).
10. Tingkat kerawanan bencana adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan atau zona dapat mengalami bencana, serta besarnya korban dan kerugian bila terjadi bencana yang diukur berdasarkan tingkat kerawanan fisik alamiah dan tingkat kerawanan karena aktivitas manusia (PVMBG, 2007).
11. Tingkat kerawanan fisik alamiah adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya kemungkinan terjadi bencana yang diindikasikan oleh faktor-aktor fisik dan alami (PVMBG, 2007).
12. Tingkat kerawanan karena aktivitas manusia merupakan ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya kemungkinan terjadinya bencana akibat aktivitas manusia (PVMBG, 2007).
13. Tingkat kerentanan bencana merupakan tingkat kerawanan pada kawasan yang belum dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya, dengan hanya mempertimbangkan faktor fisik alami, tanpa memperhitungkan besarnya kerugian yang ditimbulkan (PVMBG, 2007).

14. Kerentanan fisik adalah kerentanan yang dimiliki masyarakat berupa daya tahan menghadapi bahaya tertentu (PVMBG, 2007).
15. Kerentanan ekonomi adalah kondisi ekonomi suatu individu atau masyarakat sangat menentukan tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya. Pada umumnya masyarakat atau daerah yang miskin atau kurang mampu lebih rentan terhadap bahaya, karena tidak mempunyai kemampuan finansial yang memadai untuk melakukan upaya pencegahan atau mitigasi bencana (PVMBG, 2007).
16. Kerentanan sosial adalah kondisi sosial masyarakat juga mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya. Dari segi pendidikan, kekurangan pengetahuan tentang resiko bahaya dan bencana akan mempertinggi tingkat kerentanan, demikian pula tingkat kesehatan masyarakat yang rendah juga mengakibatkan rentan menghadapi bahaya (PVMBG, 2007).
17. Kerentanan lingkungan adalah kondisi lingkungan hidup suatu masyarakat sangat mempengaruhi kerentanan. Masyarakat yang tinggal di daerah yang kering dan sulit air akan selalu terancam bahaya kekeringan. Penduduk yang tinggal di lereng bukit atau pegunungan rentan terhadap ancaman bencana tanah longsor dan sebagainya (PVMBG, 2007).
18. Resiko bencana adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat (PVMBG, 2007).
19. Tingkat resiko bencana adalah tingkat kerawanan karena aktivitas manusia yaitu ukuran yang menyatakan besar kecilnya kerugian manusia dari kejadian bencana (PVMBG, 2007).
20. Indonesia merupakan negara dengan potensi bahaya (*hazard potency*) yang sangat tinggi dan beragam baik berupa bencana alam, bencana ulah manusia ataupun kedaruratan kompleks. Beberapa potensi tersebut antara lain adalah banjir, longsor, dan degradasi lahan. Potensi bencana yang ada di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok utama, yaitu potensi bahaya utama (*main hazard*) dan potensi bahaya ikutan (*collateral hazard*). Potensi bahaya utama (*main hazard potency*) ini dapat

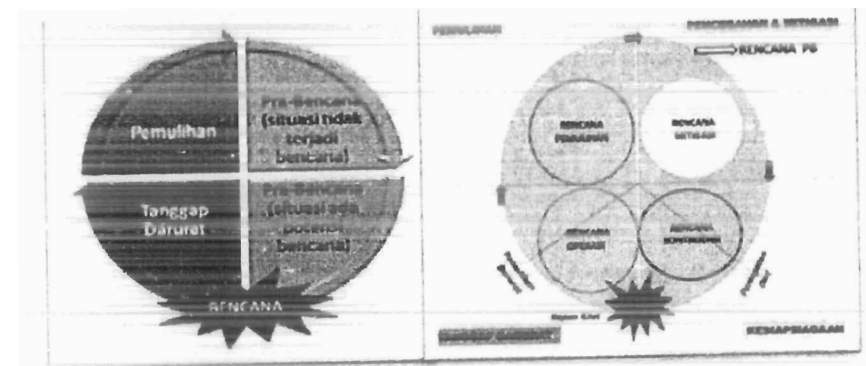


Gambar 16. Siklus Manajemen Bencana (BNPB, 2008)

Indonesia yang terdiri dari gugusan kepulauan mempunyai potensi bencana yang sangat tinggi dan juga sangat bervariasi dari aspek jenis bencana. Kondisi alam tersebut serta adanya keanekaragaman penduduk dan budaya di Indonesia menyebabkan timbulnya resiko terjadinya bencana alam, bencana ulah manusia dan kedaruratan kompleks, meskipun di sisi lain juga kaya akan sumber daya alam. Pada umumnya resiko bencana alam meliputi bencana akibat faktor geologi (gempa bumi, tsunami dan letusan gunung api), bencana akibat hidrometeorologi (banjir, tanah longsor, kekeringan, degradasi lahan dan angin topan), bencana akibat faktor biologi (wabah penyakit manusia, penyakit tanaman/ternak, hama tanaman) serta kegagalan teknologi (kecelakan industri, kecelakaan transportasi, radiasi nuklir, pencemaran bahan kimia). Bencana akibat ulah manusia terkait dengan konflik antar manusia akibat perebutan sumberdaya yang terbatas, alasan ideologi, religious, serta politik. Sedangkan kedaruratan kompleks merupakan kombinasi dari situasi bencana pada suatu daerah konflik. Kompleksitas dari permasalahan bencana tersebut memerlukan suatu penataan atau perencanaan yang matang dalam penanggulangannya, sehingga dapat dilaksanakan secara terarah dan terpadu. Penanggulangan yang dilakukan selama ini belum didasarkan pada langkah-langkah yang sistematis dan terencana, sehingga seringkali terjadi tumpang tindih

dan bahkan terdapat langkah upaya yang penting tidak tertangani (BNPB, 2008).

Undang-Undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana mengamanatkan pada pasal 35 dan 36 agar setiap daerah dalam upaya penanggulangan bencana, mempunyai perencanaan penanggulangan bencana. Secara lebih rinci disebutkan di dalam Peraturan Pemerintah No. 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana. Penanggulangan bencana merupakan upaya-upaya yang dilakukan agar permasalahan bencana cepat diselesaikan. Upaya-upaya tersebut meliputi pada kondisi pra bencana, pada saat datangnya bencana, kemudian dilanjutkan dengan situasi tanggap darurat, dan yang terakhir adalah upaya-upaya yang bersifat pemulihan setelah terjadinya bencana.



Gambar 17. Tahap-Tahap Mitigasi Bencana (BNPB, 2008)

Pada dasarnya penyelenggaraan penanggulangan bencana adalah tiga tahapan (BNPB, 2008), yakni:

1. Pada tahap prabencana dalam situasi tidak terjadi bencana, dilakukan penyusunan Rencana Penanggulangan Bencana (*Disaster Management Plan*), yang merupakan rencana umum dan menyeluruh yang meliputi seluruh tahapan kerja kebencanaan
2. Pada tahap prabencana dalam situasi terdapat potensi bencana dilakukan penyusunan Rencana Kesiapsiagaan (RK) untuk menghadapi keadaan darurat yang didasarkan

atas skenario menghadapi bencana tertentu (*single hazard*) maka disusun satu rencana yang disebut Rencana Kontinjensi (*Contingency Plan*)

3. Pada saat tanggap darurat dilakukan Rencana Operasi (*Operational Plan*) yang merupakan operasionalisasi dari rencana kedaruratan atau rencana kontinjensi yang telah disusun sebelumnya
4. Pada tahap pemulihan dilakukan Penyusunan Rencana Pemulihan (*Recovery Plan*) yang meliputi rencana rehabilitasi dan rekonstruksi yang dilakukan pada pasca bencana. Sedangkan jika bencana belum terjadi, maka untuk mengantisipasi kejadian bencana dimasa mendatang dilakukan penyusunan pedoman mekanisme penanggulangan pasca bencana

Perencanaan penanggulangan bencana merupakan sesuatu yang harus dilaksanakan dengan matang yang disusun berdasarkan hasil analisis resiko bencana dan upaya penanggulangannya yang dijabarkan dalam program kegiatan penanggulangan bencana dan rincian anggarannya. Perencanaan penanggulangan bencana merupakan bagian dari perencanaan pembangunan. Setiap rencana yang dihasilkan dalam perencanaan ini merupakan program yang terkait dengan pencegahan, mitigasi dan kesiapsiagaan yang dimasukkan dalam Rencana Pembangunan Jangka Panjang (RPJP), Jangka Menengah (RPJM), maupun Rencana Kerja Pemerintah (RK) tahunan.

Penguatan kelembagaan, baik pemerintah, masyarakat, maupun swasta merupakan faktor kunci dalam upaya mitigasi bencana. Hal yang perlu dipersiapkan, diperhatikan dan dilakukan bersama-sama oleh pemerintahan, swasta maupun masyarakat dalam mitigasi bencana, antara lain sebagai berikut.

- 1) Kebijakan yang mengatur tentang pengelolaan kebencanaan atau mendukung usaha preventif kebencanaan seperti kebijakan tataguna tanah agar tidak membangun di lokasi yang rawan bencana.
- 2) Kelembagaan pemerintah yang menangani kebencanaan, yang kegiatannya mulai dari identifikasi daerah rawan bencana,

penghitungan perkiraan dampak yang ditimbulkan oleh bencana, perencanaan penanggulangan bencana, hingga penyelenggaraan kegiatan-kegiatan yang sifatnya preventif kebencanaan.

- 3) Identifikasi lembaga-lembaga yang muncul dari inisiatif masyarakat yang sifatnya menangani kebencanaan, agar dapat terwujud koordinasi kerja yang baik.
- 4) Pelaksanaan program atau tindakan ril dari pemerintah yang merupakan pelaksanaan dari kebijakan yang ada, yang bersifat preventif kebencanaan.
- 5) Meningkatkan pengetahuan pada masyarakat tentang ciri-ciri alam setempat yang memberikan indikasi akan adanya ancaman bencana.

C. Pencegahan dan Mitigasi Bencana

BNPB (2008) menjelaskan bahwa bencana longsor, banjir, dan degradasi lahan merupakan bencana hidrometeorologi, yaitu suatu bencana yang ditimbulkan oleh gejala-gejala cuaca dan iklim, terutama curah hujan dan temperatur. Bencana longsor dan bencana banjir disebabkan oleh tingginya curah hujan (waktu lama dan intensitas yang tinggi). Pada bencana longsor, kondisi demikian mengakibatkan lereng mengalami jenuh air dan batuan induk yang juga kedap air, sehingga gaya grafitasi mempengaruhi massa tanah dan batuan di atas lereng untuk meluncur ke bagian bawah lereng. Sedangkan pada bencana banjir, kondisi demikian mengakibatkan debit air sungai meningkat dengan cepat, sehingga terjadi peluapan air dan menimbulkan banjir. Selain itu, dengan curah hujan yang relatif tinggi, pengelolaan lahan tanpa memperhatikan teknik-teknik konservasi, *run off* (aliran permukaan) memiliki energi yang besar untuk mengikis dan menghanyutkan tanah permukaan, sehingga tanah menjadi kritis, dan tidak mampu lagi mendukung proses kehidupan di atasnya. Kondisi demikian lahan mengalami degradasi dan kekeringan.

Upaya atau kegiatan dalam rangka pencegahan dan mitigasi yang dilakukan bertujuan untuk menghindari terjadinya bencana serta mengurangi resiko yang ditimbulkan oleh bencana. Tindakan

mitigasi dilihat dari sifatnya dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu mitigasi pasif dan mitigasi aktif.

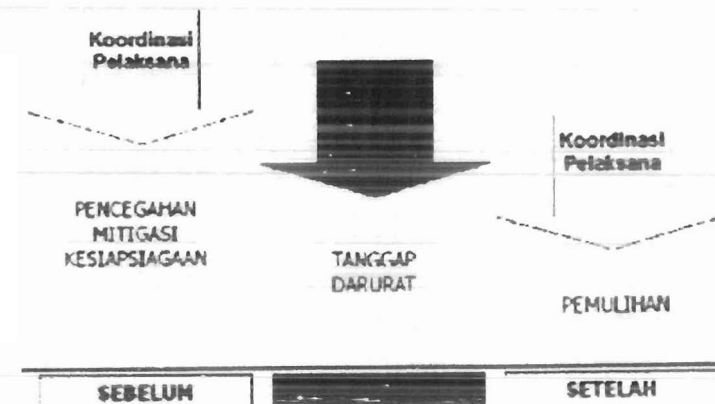
Tindakan pencegahan yang tergolong dalam mitigasi aktif antara lain berikut ini.

1. Pembuatan dan penempatan tanda-tanda peringatan, bahaya, dan larangan memasuki daerah rawan bencana.
2. Pengawasan terhadap pelaksanaan berbagai peraturan tentang penataan ruang, izin mendirikan bangunan (IMB), dan peraturan lain yang berkaitan dengan pencegahan bencana.
3. Pelatihan dasar kebencanaan bagi aparat dan masyarakat.
4. Pemindahan penduduk dari daerah yang rawan bencana ke daerah yang lebih aman.
5. Penyuluhan dan peningkatan kewaspadaan masyarakat.
6. Perencanaan daerah penampungan sementara dan jalur-jalur evakuasi jika terjadi bencana.

Sedangkan tindakan pencegahan yang tergolong dalam mitigasi pasif antara lain:

1. Penyusunan peraturan perundang-undangan.
2. Pembuatan peta rawan bencana dan pemetaan masalah.
3. Pembuatan pedoman atau standar prosedur.
4. Pembuatan brosur, leaflet, dan poster.
5. Penelitian dan pengkajian karakteristik bencana.
6. Pengkajian analisis resiko bencana.
7. Internalisasi penanggulangan bencana dalam muatan lokal pendidikan.
8. Pembentukan organisasi atau satuan gugus tugas bencana.
9. Perkuatan unit-unit sosial dalam masyarakat.
10. Mengutamakan penanggulangan bencana dalam perencanaan pembangunan.

Mekanisme penanggulangan bencana sangat penting dilakukan untuk memantapkan koordinasi berbagai pihak untuk melakukan tindakan-tindakan mitigasi dan tindakan-tindakan penanganan bencana yang tepat dan efektif. Tindakan-tindakan mitigasi juga dapat dilakukan melalui penelitian-penelitian mitigasi bencana, yang merupakan suatu tindakan mitigasi secara pasif yang



Gambar 18. Mekanisme Penanggulangan Bencana (BNPB, 2008)

berfungsi untuk memberikan data dan informasi terhadap kondisi dan karakteristik suatu wilayah yang berpotensi terkena suatu bencana. Penelitian-penelitian mitigasi bencana dapat dibedakan atas tiga pendekatan, yaitu:

1. Pendekatan Keruangan
 Penelitian mitigasi bencana dengan pendekatan keruangan lebih berorientasi pada analisis dan evaluasi data-data keruangan (peta) melalui aplikasi model-model dengan alat analisis Sistem Informasi Geografi (SIG). Informasi yang dihasilkan berupa informasi spasial (peta) dan zona-zona baik informasi tentang kerawanan suatu wilayah terhadap bencana maupun resiko yang ditimbulkan.
2. Pendekatan Lahan
 Pendekatan lahan digunakan dengan memakai teknik survei dan teknik pengambilan data kelapangan. Umumnya penelitian lahan melakukan *generalisasi* data untuk suatu wilayah yang dianggap mempunyai karakteristik yang sama. Keabsahan data dan hasil yang dicapai tergantung pada ketelitian menentukan wilayah sampel dan banyaknya titik sampel yang diambil. Penelitian mitigasi bencana dengan menggunakan pendekatan lahan bisa digabungkan dengan penelitian mitigasi melalui pendekatan keruangan, sehingga hasil suatu penelitian, selain menghasilkan data-data penelitian, bisa juga menghasilkan

informasi spasial (peta) dan zona-zona untuk wilayah-wilayah yang berpotensi terkena bencana dan resikonya.

Pendekatan Teknik

Pendekatan teknik digunakan untuk suatu penelitian mitigasi bencana apabila wilayah penelitian berskala sempit, hasil penelitian bersifat *in situ* tanpa bisa memberikan suatu zona kerawanan suatu bencana, sehingga pemanfaatan data tidak bisa optimal digunakan dalam melakukan suatu mitigasi bencana.

D. Peran Sistem Informasi Geografi (SIG) dalam Mitigasi Bencana Secara Pasif

Pengembangan SIG yang terkait dengan evaluasi lahan merupakan suatu rancangan dari penerapan sebuah sistem informasi dengan tiga kegiatan utama, yaitu: (1) *input* data hidro-meteorologi, seperti musim hujan, musim kemarau, curah hujan bulanan dan tahunan, data geologi, dan data kemiringan lereng, (2) *pemrosesan* data dengan melakukan perhitungan dan penggabungan data, dan (3) informasi data sebagai *out put* yang berupa peta-peta yang berhubungan dengan evaluasi lahan. Distribusi keruangan (*spatial distribution*) tentang perencanaan lahan secara teknis sektoral adalah ukuran untuk menentukan bahwa pemanfaatan lahan dapat diamati secara jelas, sehingga akan memberi sinergi yang sangat besar terhadap pemerintah dalam mengusahakan kenyamanan dan kesejahteraan masyarakat (Hermon, 2009).

Hasil analisis keruangan dengan sistem informasi geografi yang berupa peta-peta dapat digunakan sebagai dasar penyusunan penggunaan lahan yang tepat bagi masyarakat. Prahasta (2005) menjelaskan bahwa terdapat beberapa alasan penggunaan SIG di berbagai disiplin ilmu, yaitu: (1) SIG sangat efektif di dalam membantu proses-proses pembentukan, pengembangan atau perbaikan *peta mental* yang telah dimiliki oleh setiap orang, (2) SIG menggunakan data spasial maupun atribut secara terintegrasi hingga sistemnya dapat menjawab pertanyaan spasial, (3) SIG memiliki kemampuan-kemampuan untuk menguraikan unsur-unsur yang terdapat dipermukaan bumi ke dalam bentuk *layer* atau *coverage* data spasial, (4) SIG memiliki kemampuan-kemampuan

yang sangat baik dalam memvisualkan data spasial berikut *atribut-atributnya*, dan (5) SIG sangat membantu pekerjaan-pekerjaan yang erat kaitannya dengan bidang-bidang spasial dan *geo-informasi*. Penggunaan GIS untuk melakukan suatu pemodelan sangat diperlukan dalam memberikan arahan dalam penataan suatu lahan. Simulasi GIS cukup efektif dalam memprediksikan kemampuan suatu lahan terhadap kerusakan dan konservasi air sehingga menghasilkan arahan yang sangat tepat dalam pengelolaan lahan untuk masa yang akan datang.

Beberapa produk SIG yang sering digunakan untuk analisis spasial wilayah adalah GIS *Arc View*, *Arc GIS*, *R2V*, *Arc/info*, *ER Mapper*, *ERDAS*, *Spans GIS*, dan sebagainya. *Arc View* merupakan salah satu perangkat lunak desktop SIG dan pemetaan yang telah dikembangkan oleh *ESRI*, sehingga pengguna dapat memiliki kemampuan-kemampuan untuk melakukan visualisasi, *explore*, menjawab *query*, menganalisis data secara geografis, dan sebagainya. Secara umum kemampuan GIS *Arc View* adalah: (1) pertukaran data, membaca, dan menuliskan data dalam format perangkat lunak GIS lainnya, (2) melakukan analisis statistik dengan operasi-operasi matematis, (3) menampilkan informasi (*basis data*) spasial maupun atribut, (4) menjawab *query spasial* maupun *atribut*, (5) melakukan fungsi-fungsi dasar GIS, (6) membuat peta tematik, (7) meng-*customize* aplikasi dengan menggunakan bahasa *skrip*, (8) melakukan fungsi-fungsi GIS dengan menggunakan *extension* yang ditujukan untuk mendukung penggunaan perangkat lunak *Arc View* (Prahasta, 2005)

BAB IV

MITIGASI BENCANA BANJIR

A. Defenisi

1. Mitigasi bencana banjir merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana banjir, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana banjir (Paimin *et al.*, 2009).
2. Bencana banjir adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh meluapnya air sungai yang disebabkan oleh faktor alamiah akibat rusaknya *buffer zone* pada kawasan *upper DAS* (daerah aliran sungai) sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis (Paimin *et al.*, 2009).
3. Sungai adalah tempat-tempat dan wadah-wadah air termasuk sumber daya alam non hayati yang terkandung di dalamnya, serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan (Paimin *et al.*, 2009).
4. Kerawanan banjir adalah memperkirakan daerah-daerah yang mungkin menjadi sasaran banjir. Wilayah-wilayah yang rentan banjir biasanya terletak pada daerah datar, dekat dengan sungai, berada di daerah cekungan dan di daerah pasang surut air laut. Sedangkan bentuk lahan bentukan banjir pada umumnya terdapat pada daerah rendah sebagai akibat banjir yang terjadi berulang-ulang, biasanya daerah ini memiliki tingkat kelembaban tanah yang tinggi dibanding daerah-daerah lain yang jarang terlanda banjir. Kondisi kelembaban tanah yang tinggi ini disebabkan karena bentuk lahan tersebut terdiri dari material halus yang diendapkan dari proses banjir dan

- kondisi drainase yang buruk sehingga daerah tersebut mudah terjadi penggenangan air (PVMBG, 2007).
5. Tipologi kawasan rawan bencana banjir adalah klasifikasi kawasan rawan bencana banjir sesuai dengan karakter dan kualitas kawasannya berdasarkan aspek fisik alamiah yang menghasilkan tipe-tipe zona berpotensi bencana banjir (PVMBG, 2007).
 6. Tingkat kerawanan bencana banjir adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan atau zona dapat mengalami bencana banjir, serta besarnya korban dan kerugian bila terjadi bencana yang diukur berdasarkan tingkat kerawanan fisik alamiah dan tingkat kerawanan karena aktivitas manusia di kawasan DAS (PVMBG, 2007).
 7. Tingkat kerawanan banjir secara fisik alamiah adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya kemungkinan terjadi bencana banjir yang diindikasikan oleh faktor-aktor fisik dan alami pada DAS (PVMBG, 2007).
 8. Tingkat kerawanan banjir karena aktivitas manusia merupakan ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya kemungkinan terjadinya bencana banjir akibat aktivitas manusia dalam mengelola lahan pada DAS (PVMBG, 2007).
 9. Tingkat kerentanan bencana banjir merupakan tingkat kerawanan banjir pada kawasan yang belum dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya, dengan hanya mempertimbangkan faktor fisik alami, tanpa memperhitungkan besarnya kerugian yang ditimbulkan (PVMBG, 2007).
 10. Kerentanan secara fisik akibat banjir adalah kerentanan yang dimiliki masyarakat berupa daya tahan menghadapi bahaya banjir tertentu (PVMBG, 2007).
 11. Kerentanan ekonomi akibat banjir adalah kondisi ekonomi suatu individu atau masyarakat sangat menentukan tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya banjir. Pada umumnya masyarakat atau daerah yang miskin atau kurang mampu lebih rentan terhadap bahaya banjir, karena tidak mempunyai kemampuan finansial yang memadai untuk melakukan upaya pencegahan atau mitigasi bencana banjir (PVMBG, 2007).

12. Kerentanan sosial akibat banjir adalah kondisi sosial masyarakat juga mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya banjir. Dari segi pendidikan, kekurangan pengetahuan tentang resiko bahaya dan bencana banjir akan mempertinggi tingkat kerentanan, demikian pula tingkat kesehatan masyarakat yang rendah juga mengakibatkan rentan menghadapi bahaya banjir (PVMBG, 2007).
13. Kerentanan lingkungan akibat banjir adalah kondisi lingkungan hidup suatu masyarakat sangat mempengaruhi kerentanan. Masyarakat yang tinggal di daerah yang kering dan sulit air akan selalu terancam bahaya kekeringan. Penduduk yang tinggal di lereng bukit atau pegunungan rentan terhadap ancaman bencana banjir (PVMBG, 2007).
14. Resiko bencana banjir adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana banjir pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat (BNPB, 2008).
15. Tingkat resiko bencana banjir adalah tingkat kerawanan karena aktivitas manusia yaitu ukuran yang memvatakan besar kecilnya kerugian manusia dari kejadian bencana banjir (BNPB, 2008).
16. Wilayah sungai adalah kesatuan wilayah pengelolaan air permukaan dalam satu atau lebih Daerah Aliran Sungai (Paimin *et al.*, 2009).
17. DAS adalah sebuah kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografis, yang menampung, menyimpan, dan mengalirkan air ke anak sungai dan sungai utama yang bermuara ke danau atau laut (Paimin *et al.*, 2009)
18. Palung sungai adalah cekungan yang terbentuk oleh aliran air secara alamiah atau buatan manusia untuk mengalirkan air dan sedimen (Paimin *et al.*, 2009).
19. Garis sempadan sungai adalah garis maya batas luar pengamanan sungai (Paimin *et al.*, 2009).
20. Daerah sempadan adalah lahan yang dibatasi oleh garis sempadan dengan kaki tanggul sebelah luar atau antara garis sempadan dan tebing tinggi untuk sungai yang tidak bertanggul (Paimin *et al.*, 2009).
21. Bantaran sungai adalah lahan pada kedua sisi sepanjang palung sungai, dihitung dari tepi sungai sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam (Paimin *et al.*, 2009).
22. Daerah manfaat sungai adalah mata air, palung sungai, dan daerah sempadan yang tidak dibebaskan.
23. Daerah penguasaan sungai adalah dataran banjir, daerah retensi, bantaran, atau daerah sempadan yang tidak dibebaskan.
24. Daerah retensi adalah lahan yang ditetapkan untuk menampung air banjir untuk sementara waktu.
25. Dataran banjir adalah lahan yang pada waktu-waktu tertentu terlanda atau tergenang air banjir (Paimin *et al.*, 2009).
26. Banjir adalah suatu keadaan sungai di mana aliran airnya tidak tertampung oleh palung sungai (BNPB, 2008)
27. Pengendalian banjir adalah upaya fisik dan nonfisik untuk pengamanan banjir dengan debit banjir sampai tingkat tertentu yang layak (bukan untuk debit banjir yang terbesar) (BNPB, 2008).
28. Penanggulangan banjir adalah segala upaya yang dilakukan agar banjir tidak menimbulkan gangguan dan kerugian bagi masyarakat, atau untuk mengurangi dan menekan besarnya kerugian yang ditimbulkan oleh banjir (BNPB, 2008).
29. Debit banjir rencana adalah debit banjir yang dipakai untuk dasar perencanaan pengendalian banjir dan dinyatakan menurut kala ulang tertentu. Besarnya kala ulang ditentukan dengan mempertimbangkan segi keamanan dengan resiko tertentu serta kelayakannya, baik teknis maupun lingkungan (Asdak, 2010).
30. Bangunan sungai adalah bangunan air yang berada di sungai, danau, dan di daerah manfaat sungai yang berfungsi untuk konservasi, pendayagunaan, dan pengendalian sungai (BNPB, 2008).
31. Mitigasi bahaya banjir (*flood damage mitigation*) adalah upaya menekan besarnya kerugian/bencana akibat banjir (BNPB, 2008).

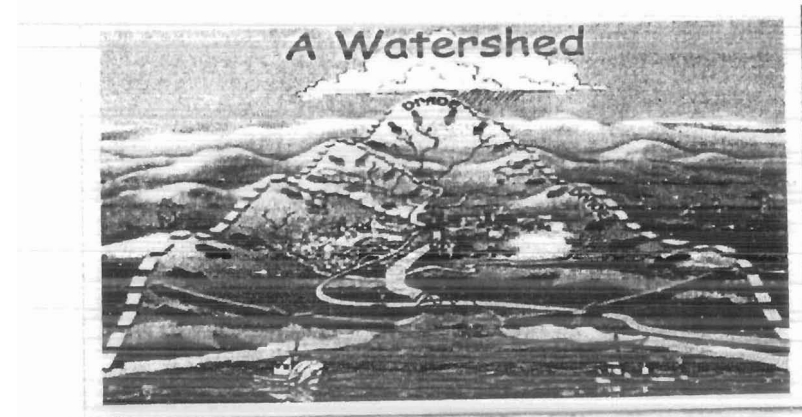
32. Pengelolaan dataran banjir (*flood plain management*) adalah pengelolaan dataran banjir sedemikian rupa sehingga meminimal akibat banjir yang mungkin terjadi (BNPB, 2008).
33. Bahan banjiran adalah bahan yang diperlukan untuk penanggulangan darurat kerusakan yang disebabkan oleh banjir termasuk tanah longsor karena banjir (BNPB, 2008).
34. Daerah tangkapan air (*catchment area*) adalah daerah resapan air dari suatu daerah aliran sungai (Asdak, 2010).

B. Bencana Alam Banjir

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat kerawanan tinggi terhadap berbagai ancaman bencana alam. Bencana alam banjir, tanah longsor, dan degradasi lahan memiliki frekuensi kejadian sangat tinggi di Indonesia. Posisi geografis Indonesia di daerah tropis terletak di antara dua benua dan dua samudera menjadikan Indonesia memiliki sistem cuaca dan iklim kontinen maritim yang khas. Meskipun pola iklim terjadi pergiliran teratur seperti bergantinya musim hujan dan musim kemarau, jika terjadi gangguan tropis, sering timbul cuaca ekstrem yang dapat memicu terjadinya bencana alam.

Bencana alam banjir di Indonesia tampaknya dari tahun ke tahun memiliki kecenderungan meningkat, begitu juga bencana banjir yang setiap tahun terjadi di seluruh penjuru tanah air. Kecenderungan meningkatnya bencana banjir di Indonesia tidak hanya luasnya saja melainkan kerugiannya juga ikut bertambah pula. Jika dahulu bencana banjir hanya melanda kota-kota besar di Indonesia, akan tetapi pada saat sekarang ini bencana tersebut telah melanda dan merambah sampai ke pelosok tanah air. Lima faktor penting penyebab banjir di Indonesia yaitu: faktor hujan, faktor hancurnya retensi DAS, faktor kesalahan perencanaan pembangunan alur sungai, faktor pendangkalan sungai dan faktor kesalahan tata wilayah dan pembangunan sarana dan prasarana. Kota-kota besar di Indonesia mengalami peningkatan populasi manusia karena daya pikat yang merangsang manusia berpindah dari rural ke urban. Lahan-lahan yang sebenarnya untuk daerah preservasi dan konservasi untuk menjaga keseimbangan, diambil alih untuk pemukiman, pabrik-pabrik, industri, dan lainnya

(Asdak, 2010). Kawasan DAS dikenal juga dengan *watershed*, merupakan kawasan penampung hujan untuk sungai, kawasan ini harus memiliki hutan sekitar 40% dari luas kawasan.



Gambar 19. Kawasan DAS sebagai Indikator Penentu Bencana Banjir

Pemetaan daerah-daerah yang memiliki tingkat bahaya banjir perlu dilakukan agar pemerintah dapat mengambil kebijakan yang tepat untuk menanggulangnya. Peta merupakan salah satu sarana yang baik dalam menyajikan data dan informasi. Melalui peta dapat diketahui informasi tentang ruang muka bumi yang sebenarnya. Identifikasi kerawanan banjir dengan menggunakan SIG dapat dilakukan dengan cepat, mudah dan akurat. Kerawanan banjir dapat diidentifikasi secara cepat melalui SIG dengan menggunakan metode tumpang *overlay* terhadap parameter-parameter banjir, seperti: infiltrasi tanah, kemiringan lereng, dan penggunaan lahan. Melalui SIG diharapkan akan mempermudah penyajian informasi spasial khususnya yang terkait dengan penentuan tingkat kerawanan banjir serta dapat menganalisis dan memperoleh informasi baru dalam mengidentifikasi daerah-daerah yang sering menjadi sasaran banjir. Prediksi daerah-daerah yang memiliki kemungkinan terlanda banjir telah dilakukan oleh Lapan di seluruh wilayah Indonesia, dengan demikian seharusnya ada tindak lanjut dari berbagai instansi yang terkait supaya seluruh komponen

masyarakat yang ada di daerah tersebut memiliki persiapan dalam menghadapi kemungkinan banjir yang bisa saja terjadi.

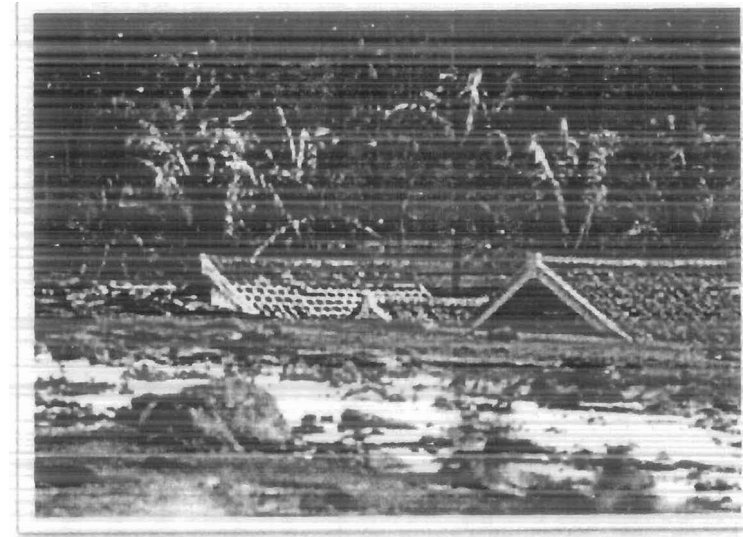
Kawasan rawan banjir merupakan kawasan yang sering atau berpotensi tinggi mengalami bencana banjir sesuai karakteristik penyebab banjir, kawasan tersebut dapat dikategorikan menjadi empat tipologi (BNPB, 2008), yaitu:

- a) Daerah pantai, merupakan daerah yang rawan banjir karena daerah tersebut merupakan dataran rendah yang elevasi permukaan tanahnya lebih rendah atau sama dengan elevasi air laut pasang rata-rata (*mean sea level*) dan tempat bermuaranya sungai yang biasanya mempunyai permasalahan penyumbatan muara.
- b) Daerah dataran banjir (*floodplain area*), adalah daerah di kanan-kiri sungai yang muka tanahnya sangat landai dan relatif datar, sehingga aliran air menuju sungai sangat lambat yang mengakibatkan daerah tersebut rawan terhadap banjir baik oleh luapan air sungai maupun karena hujan lokal. Kawasan ini umumnya terbentuk dari endapan lumpur yang sangat subur sehingga merupakan daerah pengembangan (pembudidayaan) seperti perkotaan, pertanian, permukiman dan pusat kegiatan perekonomian, perdagangan, industri, dan lain-lain. Dataran banjir merupakan wilayah yang sangat berbahaya karena mempunyai potensi terkena bencana banjir yang sangat besar. Dataran banjir harus dihindarkan atau ditanam dengan vegetasi yang mampu berfungsi sebagai kawasan penyangga dan tidak boleh digunakan untuk kegiatan pertanian dan permukiman. Dewasa ini di Indonesia, kawasan dataran banjir umumnya banyak digunakan untuk permukiman dan lahan pertanian, sehingga berdampak terhadap intensifnya bencana banjir pada saat musim hujan di bagian hilirnya.
- c) Daerah sempadan sungai, daerah ini merupakan kawasan rawan banjir, akan tetapi, di daerah perkotaan yang padat penduduk, daerah sempadan sungai sering dimanfaatkan oleh manusia sebagai tempat hunian dan kegiatan usaha sehingga apabila terjadi banjir akan menimbulkan dampak bencana yang membahayakan jiwa dan harta benda.



Gambar 20. Dataran Banjir sebagai Kawasan yang Paling Berbahaya pada Saat Terjadinya Bencana Banjir

- d) Daerah cekungan, merupakan daerah yang relatif cukup luas baik di dataran rendah maupun di dataran tinggi. Apabila penatan kawasan tidak terkendali dan sistem drainase yang kurang memadai, dapat menjadi daerah rawan banjir.



Gambar 21. Kerusakan Kawasan Akibat Bencana Banjir

Berikut ini, parameter kunci dari kerawanan banjir: a) Infiltrasi tanah, adalah perjalanan air ke dalam tanah sebagai akibat gaya kapiler dan grafitasi. Proses terjadinya infiltrasi melibatkan beberapa proses yang saling berhubungan, yaitu proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah, tertampungnya air hujan tersebut ke dalam tanah dan proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain yang dipengaruhi oleh tekstur, struktur, kelembaban, organisme, kedalaman dan vegetasi. Tekstur tanah turut menentukan tata air dalam tanah berupa kecepatan infiltrasi, penetrasi dan kemampuan pengikatan air oleh tanah serta merupakan satu-satunya sifat fisik tanah yang tetap dan tidak mudah diubah oleh tangan manusia jika tidak ditambah dari tempat lain. Besarnya laju infiltrasi tanah pada lahan tak bervegetasi tidak akan pernah melebihi laju intensitas hujan, sedangkan pada kawasan lahan bervegetasi, besarnya laju infiltrasi tidak akan pernah melebihi laju intensitas curah hujan efektif. b) Kemiringan lereng, mempengaruhi jumlah dan kecepatan limpasan permukaan, drainase permukaan, penggunaan lahan dan erosi. Diasumsikan semakin landai kemiringan lerengnya, maka aliran limpasan permukaan akan menjadi lambat dan kemungkinan terjadinya genangan atau banjir menjadi besar, sedangkan semakin curam kemiringan lereng akan menyebabkan aliran limpasan permukaan menjadi cepat sehingga air hujan yang jatuh akan langsung dialirkan dan tidak menggenangi daerah tersebut, sehingga resiko banjir menjadi kecil. c) Penggunaan lahan, vegetasi penutup menentukan besar-kecilnya debit aliran. d) Curah hujan. e) Bentuk DAS. f) Gradien sungai. g) Kerapatan drainase (Paimin *et al.*, 2009).

C. Mitigasi Bencana Banjir Secara Aktif

Bencana banjir merupakan cermin buruknya sistem bangunan air dan kurangnya perhatian masyarakat terhadap kondisi lingkungan hidup. Salah satu usaha mitigasi bencana banjir dapat dilakukan dengan membangun sistem bangunan air yang baik dan menjaga lingkungan hidup. Jika sistem bangunan air dibangun setara dengan kemungkinan ancaman banjir yang mungkin terjadi, mitigasi ini akan efektif dan banjir dapat dikendalikan dengan baik. Dengan demikian, dapat diketahui besarnya ancaman banjir

berdasar analisis data curah hujan dan kondisi daerah aliran sungai yang ada. Analisis ini dapat menjadi dasar dari perbaikan sistem bangunan air yang seharusnya dibangun.

Dibangunnya banyak danau buatan sangat penting sebagai solusi permasalahan bencana banjir. Danau buatan selain berfungsi sebagai pengendali banjir, tetapi juga memiliki fungsi lain sebagai sarana memanen hujan untuk mengairi sawah tadah hujan di musim kemarau. Selain itu, keberadaan hutan yang lestari memiliki fungsi sangat vital untuk menahan curahan air hujan. Dengan menghijaukan dan melestarikan hutan, ancaman banjir dapat dikurangi karena perubahan air dapat terkendali dengan baik. Kelestarian hutan lestari dan keberadaan waduk membuat para petani terhindar dari kekeringan pada musim kemarau, sedangkan pada saat musim hujan, masyarakat tidak menderita karena banjir dapat terkendali dengan baik. Menurut laporan *World Watch Institute* yang berpusat di Washington, buruknya sistem ekologi suatu negara dapat menghancurkan penduduknya. Hancurnya beberapa peradaban besar dunia masa lalu disebabkan oleh rusaknya sistem ekologi yang ada. Jika kondisi ini terus berlanjut, sangat mungkin masyarakat kita akan hancur terkena bencana (Daryono, 2009).

Mitigasi bencana banjir secara aktif dapat dilakukan dengan disusunnya manajemen pengendalian banjir untuk memperkecil dampak negatif dari bencana banjir, antara lain: korban jiwa, kerusakan harta benda, kerusakan lingkungan, dan terganggunya kegiatan sosial ekonomi. Prinsip-prinsip yang harus dilakukan untuk melakukan mitigasi bencana banjir secara aktif (RNPR, 2008), antara lain:

1. Menahan air sebesar mungkin di hulu dengan membuat waduk dan konservasi tanah dan air.
2. Meresapkan air hujan sebanyak mungkin ke dalam tanah dengan sumur resapan dan menyediakan daerah terbuka hijau.
3. Mengendalikan air di bagian tengah dengan menyimpan sementara di daerah retensi.
4. Mengalirkan air secepatnya ke muara atau ke laut dengan menjaga kapasitas wadah air.
5. Mengamankan penduduk, prasarana vital, dan harta benda.

Untuk mendukung hal tersebut, beberapa strategi yang dapat dilakukan (BNPB, 2008), adalah:

1. Pengendalian tata ruang melalui perencanaan penggunaan ruang sesuai kemampuannya dengan mempertimbangkan permasalahan banjir, pemanfaatan lahan sesuai dengan peruntukannya, dan penegakan hukum terhadap pelanggaran rencana tata ruang yang telah memperhitungkan Rencana Induk Pengembangan Wilayah Sungai (RIPWS).
2. Pengaturan debit banjir yang dilakukan melalui kegiatan pembangunan dan pengaturan bendungan, tanggul banjir, palung sungai, pembagi atau pelimpah banjir, dan daerah retensi banjir.
3. Pengaturan daerah rawan banjir, melalui pengaturan tata guna lahan dataran banjir (*flood plain management*) dan penataan daerah lingkungan sungai, seperti penetapan garis sempadan sungai, peruntukan lahan di kiri kanan sungai, dan penertiban bangunan di sepanjang aliran sungai.
4. Peningkatan peran masyarakat dalam pembentukan organisasi peduli banjir sebagai wadah bagi masyarakat untuk berperan dalam pengendalian banjir, bersama dengan pemerintah dalam menyusun dan menyosialisasikan program pengendalian banjir, dan mentaati peraturan tentang pelestarian sumber daya air.
5. Pengaturan dan pengawasan pemanfaatan lahan (tata guna hutan, kawasan budidaya, dan kawasan lindung).
6. Rehabilitasi hutan dan lahan yang fungsinya rusak.
7. Konservasi tanah dan air, baik melalui metoda vegetatif, kimia, maupun mekanis.

Tahap-tahap mitigasi aktif bencana banjir dapat dibedakan atas:

1. Tahap sebelum terjadi bencana banjir
Kegiatan yang dilakukan adalah meningkatkan kesiapsiagaan menghadapi ancaman bahaya banjir, meliputi:
 - a. Penyebarluasan peraturan perundang-undangan atau informasi-informasi yang berkaitan dengan masalah banjir.

- b. Pemantauan lokasi-lokasi rawan (kritis) secara terus-menerus.
- c. Optimasi pengoperasian prasarana dan sarana pengendali banjir.
- d. Penyebarluasan informasi daerah rawan banjir, bahaya, dan tindakan yang harus diambil oleh masyarakat yang tinggal di daerah rawan bencana.
- e. Peningkatan kesiapsiagaan organisasi dan manajemen pengendalian banjir dengan menyiapkan dukungan sumber daya yang diperlukan dan berorientasi kepada pemotivasi individu dalam masyarakat setempat agar selalu siap sedia mengendalikan bahaya banjir.
- f. Persiapan evakuasi ke lokasi yang lebih aman.
- g. Penyediaan bahan-bahan banjiran untuk keadaan darurat, seperti: karung plastik, bronjong kawat, dan material-material pengisinya (pasir, batu dan lain-lain), dan disediakan pada lokasi-lokasi yang diperkirakan rawan bencana banjir.
- h. Penyediaan peralatan berat (*backhoe, excavator, truk, bulldozer, dan lain-lain*) dan disiapsiagakan pada lokasi yang strategis, sehingga sewaktu-waktu mudah dimobilisasi.
- i. Penyiapan peralatan dan kelengkapan evakuasi, seperti: *speed boat, perahu, pelampung, dan lain-lain*.
- j. Perencanaan rute evakuasi dan tempat penampungan penduduk.
- k. Perencanaan program penyelamatan dan pertolongan kepada masyarakat.
- l. Perencanaan rute pengiriman material penanggulangan pada tempat-tempat kritis.
- m. Perencanaan rute pengiriman logistik kepada masyarakat.
- n. Perencanaan jenis dan jumlah bahan serta peralatan banjiran.
- o. Penyiapan sarana dan prasarana pendukung serta sumberdaya manusia.

2. Tahap saat terjadi bencana banjir
Kegiatan yang dilakukan adalah:
 - a. Penyelenggaraan piket banjir di setiap posko.
 - b. Pengoperasian sistem peringatan banjir (*flood warning sistem*).
 - c. Pemantauan tinggi muka air dan debit air pada setiap titik pengamatan.
 - d. Melaporkan hasil pemantauan pada saat mencapai tingkat siaga kepada instansi terkait, untuk kemudian diinformasikan kepada masyarakat sesuai dengan Standar Prosedur Operasional Banjir (SPOB).
 - e. Prediksi bencana banjir.
 - f. Informasi dan pelaporan, dapat menggunakan radio komunikasi, telepon, faximili, dan sarana lainnya.
 - g. Pemberitaan banjir dengan sirine, kentongan, dan sarana sejenis lainnya dari masing-masing pos pengamatan berdasarkan informasi dari posko banjir.
 - h. Evakuasi penduduk sesuai dengan prosedur.
 - i. Memberikan bantuan kepada penduduk.

3. Tahap setelah terjadi bencana banjir
Kegiatan yang dilakukan adalah:
 - a. Pemulihan kembali pemukiman penduduk, prasarana umum, bangunan pengendali banjir, dan lain-lain.
 - b. Pengembalian penduduk ke tempat semula.
 - c. Pengamatan, pendataan kerugian, dan kerusakan banjir.

Sadyohutomo (2009) menjelaskan bahwa untuk menanggulangi banjir se-efektif mungkin adalah dengan melakukan tindakan-tindakan sebagai berikut.

1. Perbaikan sistem drainase secara menyeluruh dan bukan secara parsial dengan penanganannya harus secara kolektif. Dalam hal ini pemerintah perlu mengambil peran utama, sedangkan masyarakat mendukung dengan partisipasi swadaya. Perbaikan sistem drainase yang diperlukan adalah dengan normalisasi saluran yang telah ada dengan cara pengerukan

endapan dan menghilangkan bangunan yang mengganggu saluran.

2. Ketinggian permukaan tanah pada bangunan perumahan harus sejajar.
3. Untuk kota-kota besar, perlu dibuat saluran induk pembuangan (saluran banjir kanal).
4. Mengingat penyebab banjir lebih bersifat eksternal, maka penanggulangan penyebab banjir perlu koordinasi dengan daerah asal air. Koordinasi ini dilakukan antara pemerintah kabupaten/kota yang tercakup dalam daerah aliran sungai (DAS) dan koordinasi ini di bantu oleh pemerintah provinsi.
5. Perlu adanya rencana tata ruang wilayah DAS dan upaya penanggulangan banjir secara terpadu.

Paimin *et al.*, (2009) menjelaskan bahwa sistem peringatan dini untuk bencana banjir sangat perlu sekali. Pada daerah hulu peringatan dini dapat dilakukan dengan cara: (a) menempatkan pengukur hujan di hulu serta menyiapkan akses komunikasi ke wilayah di hilirnya, seperti kentongan. Apabila dalam sehari besarnya curah hujan sudah mencapai 100 mm dan masih terlihat hujan turun cukup lama dan mungkin deras (terutama malam hari) maka masyarakat sekitar daerah rawan banjir harus sudah siap mengungsi atau pindah ke tempat yang lebih tinggi. Informasi ini harus dikitirinkan ke daerah rawan kebanjiran di hilirnya, (b) identifikasi jenis material yg terbawa arus banjir. Jika banyak material non tanah terangkut aliran maka cenderung akan terjadi banjir besar. Banyaknya material non tanah (ranting dan batang pohon) yang terangkut dapat menunjukkan besarnya kekuatan air yang mengangkutnya. Dengan demikian bila material yang terangkut tersebut banyak, maka volume air yang membawanya juga banyak sehingga dapat diprediksi akan adanya banjir besar, dan (c) melihat dan mengamati kondisi awan dan lamanya hujan. Bila terlihat awan yang sangat tebal dan hujan yang terus menerus, terutama jika beberapa hari terjadi turun hujan berurutan, maka bencana banjir akan lebih besar sehingga masyarakat yang tinggal di daerah rawan banjir diinstruksikan agar lebih waspada dan bersiap untuk pindah ke tempat yang lebih tinggi.

D. Mitigasi Bencana Banjir Secara Pasif

Mitigasi pasif bencana banjir dapat dilakukan melalui penelitian-penelitian ilmiah yang berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi dengan pendekatan keruangan (*spatial*). Mitigasi ini menghasilkan panduan berupa peta-peta kawasan rawan banjir pada suatu wilayah, yang dapat dijadikan bahan rujukan untuk melakukan mitigasi bencana banjir secara aktif.

1. Potensi Kerawanan Bencana Banjir dan Peran Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk Mendeteksi Kerawanan Banjir

Informasi permukaan bumi telah berabad-abad disajikan dalam bentuk peta. Peta yang mulai dibuat dari kulit hewan, sampai peta yang dibuat dari kertas, semuanya menyajikan data geografis dalam bentuk gambar-gambar ataupun coretan-coretan. Apa yang tersaji dalam sebuah peta, tidak lain adalah data atau informasi tentang permukaan bumi. Namun demikian, suatu peta juga dapat menggambarkan distribusi sosial ekonomi suatu masyarakat. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa peta memuat atau mengandung data yang mengacu bumi (*geo-referenced data*). Yang diacu tidak lain adalah posisinya, yaitu sistem koordinat bumi, baik yang menggunakan sistem UTM (*Universal Transver Mercator*) atau sistem bujur/lintang. Baik dari jenis-jenis data yang menjadi masukannya maupun dari unsur-unsur pokok yang membentuknya, dapat ditilik beberapa pengertian SIG. Demikian pula dengan definisinya, hingga saat ini belum ada kesepakatan mengenai definisi SIG yang baku. SIG adalah sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografi. SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisis objek-objek dan fenomena dimana lokasi geografi merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis. Dengan demikian, SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat kemampuan berikut dalam menangani data yang bereferensi geografi: (a) masukan, (b) manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data), (c) analisis dan manipulasi data, (d) keluaran (Prahasta, 2005).

Ada empat subsistem dalam SIG (Prathumchai dan Samarakoon, 2005), yaitu:

1. *Data Input*, subsistem ini bertugas untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan atribut dari berbagai sumber. Subsistem ini pula yang bertanggungjawab dalam mengkonversi atau mentransformasikan format-format data-data aslinya ke dalam format yang dapat digunakan oleh SIG.
2. *Data Output*, subsistem ini menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basisdata baik dalam bentuk *softcopy* maupun bentuk *hardcopy* seperti: tabel, grafik, peta dan lain-lain.
3. *Data Management*, subsistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun atribut ke dalam sebuah basis data sedemikian rupa sehingga mudah dipanggil, *diupdate* dan diedit.
4. *Data Manipulation dan Analysis*, subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu, subsistem ini juga melakukan manipulasi dan permodelan data untuk menghasilkan informasi yang diharapkan.

SIG merupakan sistem kompleks yang biasanya terintegrasi dengan lingkungan sistem-sistem komputer yang lain di tingkat fungsional dan jaringan. Sistem SIG terdiri dari beberapa komponen (Prahasta, 2005), berikut ini.

1. Perangkat Keras, saat ini SIG tersedia untuk berbagai platform perangkat keras mulai dari komputer (*PC desktop*), *workstations*, hingga *multuser host* yang dapat digunakan oleh banyak orang secara bersamaan dalam jaringan komputer yang luas, berkemampuan tinggi, memiliki ruang penyimpanan (*harddisk*) yang besar, dan mempunyai kapasitas memori (*RAM*) yang besar. Walaupun demikian, fungsionalitas SIG tidak terikat secara ketat terhadap karakteristik-karakteristik fisik fisik perangkat keras ini sehingga keterbatasan memori pada PC juga dapat diatasi. Adapun perangkat keras yang sering digunakan untuk SIG adalah komputer (*PC*), *mouse*, *digitizer*, *printer*, *plotter* dan *scanner*.
2. Perangkat Lunak, SIG juga merupakan sistem perangkat lunak yang tersusun secara modular dimana basis data memegang

peranan kunci. Setiap subsistem diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak yang terdiri beberapa modul, hingga jangan heran jika ada perangkat SIG yang terdiri dari ratusan modul program (*.exe) yang masing-masing dapat dieksekusi sendiri.

3. Data dan Informasi Geografi, SIG dapat mengumpulkan dan menyimpan data dan informasi yang diperlukan baik secara tidak langsung dengan cara mengimportnya dari perangkat-perangkat lunak SIG yang lainnya maupun secara langsung dengan cara mendigitasi data spasialnya dari peta dan memasukkan data atributnya dari tabel-tabel dan laporan dan laporan dengan menggunakan *keyboard*.
4. Manajemen, proyek SIG akan berhasil jika *dimanagement* dengan baik dan dikerjakan oleh orang-orang memiliki keahlian yang tepat pada semua tingkatan.

SIG dapat merepresentasikan *real world* (dunia nyata) di atas monitor komputer sebagaimana lembaran peta dapat merpresentasikan dunia nyata di atas kertas. Tetapi SIG memiliki kekuatan lebih dan fleksibilitas dari pada lembaran peta kertas. SIG menyimpan semua informasi deskriptif unsur-unsurnya sebagai atribut-atribut di dalam basis data. Kemudian, SIG membentuk dan menyimpannya di dalam tabel-tabel (relasional). Setelah itu, SIG menghubungkan unsur-unsur di atas dengan tabel-tabel yang bersangkutan. Dengan demikian, atribut-atribut ini dapat diakses melalui lokasi-lokasi unsur-unsur peta dan sebaliknya, unsur-unsur peta juga dapat diakses melalui atribut-atributnya. Karena itu, unsur-unsur tersebut dapat dicari dan ditemukan berdasarkan atribut-atributnya. SIG menghubungkan sekumpulan unsur-unsur peta dengan atribut-atributnya di dalam satuan-satuan yang disebut *layer*. Sungai, bangunan, jalan, laut, batas-batas administrasi, perkebunan, dan hutan merupakan contoh-contoh *layer*. Kumpulan dari *layer-layer* ini akan membentuk basisdata SIG. Dengan demikian, perancangan basis data merupakan hal yang esensial di dalam SIG. Rancangan basisdata akan menentukan efektivitas dan efisiensi proses-proses masukan, pengelolaan dan keluaran SIG. Pada dasarnya, dengan memperhatikan pengertian,

definisi-definisi, berikut cara kerjanya, kemampuan-kemampuan SIG sudah dapat dikenali. Kemampuan-kemampuan ini dapat dinyatakan dengan fungsi-fungsi analisis spasial dan atribut yang dilakukan, jawaban-jawaban, atau solusi yang dapat diberikan terhadap pertanyaan-pertanyaan yang diajukan (Prahasta, 2005).

Data untuk mendeteksi kerawanan banjir dengan SIG terbagi atas dua, yaitu:

1. data primer, yaitu data hasil wawancara dengan penduduk di lokasi kerawanan banjir tentang karakteristik banjir yang meliputi: periode ulang, lama genangan, dan kedalaman banjir. Data ini digunakan untuk memperkuat hasil analisis kuantitatif dalam penelitian ini. Pengambilan data primer dilakukan pada saat cek lapangan.
2. data sekunder, yaitu data curah hujan *time series*, Peta Kemampuan Tanah skala 1 : 50.000, Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1 : 50.000, Peta Geologi skala 1 : 50.000.

Data-data peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1 : 50.000 dan Peta Kemampuan Tanah skala 1 : 50.000. Informasi yang terdapat dalam peta RBI atau kemampuan tanah bermacam-macam, untuk memilih sebuah informasi data yang diinginkan harus dilakukan dengan proses seleksi, tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi data yang diinginkan seperti informasi penggunaan lahan, kemiringan lereng, dan tekstur tanah. Metode analisis yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian adalah metode analisis kuantitatif dengan menggunakan metode pendekatan analisis *overlay* parameter-parameter banjir berjenjang tertimbang dengan menggunakan SIG. *Overlay* dilakukan dengan input tiga peta tematik, yaitu: Peta Kemiringan Lereng, Peta Infiltrasi Tanah, dan Peta Penggunaan Lahan, dimana ketiga peta tersebut merupakan parameter-parameter kerawanan banjir dalam penelitian ini. *Overlay* dilakukan tidak hanya melibatkan unsur spasial dari masing-masing parameter kerawanan banjir saja tapi tidak kalah pentingnya adalah *overlay* atribut yang menyertainya. Sebagian besar parameter-parameter kerawanan banjir berupa data spasial yang bersifat kualitatif, untuk melakukan proses analisis, masing-masing parameter perlu ditransformasikan ke dalam

bentuk kuantitatif dalam bentuk pengharkatan dan pembobotan. Prosedur pemberian harkat dan bobot mengacu pada penelitian-penelitian sebelumnya. Pemberian bobot pada masing-masing parameter atau variabel berbeda-beda, yaitu dengan memperhatikan seberapa besar pengaruh parameter-parameter tersebut terhadap terjadinya banjir. Semakin besar pengaruh parameter tersebut terhadap banjir maka nilai bobotnya juga besar, sebaliknya jika pengaruhnya kecil maka nilai bobotnya juga kecil (Paimin *et al.*, 2009).

$$PBB = 3T + 5L + 2LU \text{ (Hermon } et al., 2008)$$

- PBB : Kerawanan Bencana Banjir
 T : Peta tekstur tanah
 L : Peta lereng
 LU : Peta penggunaan lahan

Metode ini menggunakan pendekatan keruangan dengan menganalisis peta tekstur tanah, peta lereng, dan peta penggunaan lahan suatu kawasan atau wilayah dengan SIG (*Arc View 3.3*), dan dilanjutkan dengan pengisian skor yang dikalikan dengan kepangkatan masing-masing peta. Gabungan skor dilakukan dengan teknik *overlay* ke tiga peta yang kemudian diklasifikasikan tingkat potensi bencana banjir suatu kawasan atau wilayah tersebut. Sebaran skor untuk meneliti potensi bencana banjir suatu wilayah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Indikator Potensi Bencana Banjir

No	Indikator	Harkat	Bobot	Skor
1	Tekstur			
	Halus (liat)	5		15
	Agak Halus (liat berlempung, liat berdebu, liat lempung berdebu)	4		12
	Sedang (lempung, debu)	3	3	9
	Agak Kasar (liat berpasir, lempung berpasir, liat lempung berpasir)	2		6
	Kasar (pasir, pasir berliat, pasir berlempung, pasir berdebu)	1		3

No	Indikator	Harkat	Bobot	Skor
2	Lereng (%)			
	0-2	5		25
	2-7	4		20
	7-14	3	5	15
	14-21	2		10
	>21	1		5
3	Penggunaan Lahan			
	Lahan Terbuka, Sungai, Waduk, Rawa, Alang-Alang	5		10
	Permukiman, Kebun Campuran, Tanaman Pekarangan	4	2	8
	Pertanian, Sawah, Tegalan	3		6
	Perkebunan, Semak	2		4
	Hutan	1		2

Sumber: Hermon, *et al.*, (2008)

Untuk pembuatan Peta Kerawanan Banjir metode aritmatika yang digunakan pada proses *overlay* dari parameter-parameter kerawanan banjir berupa metode pengkalian antara harkat dengan bobot pada masing-masing parameter kerawanan banjir. Pembuatan nilai interval kelas kerawanan banjir bertujuan untuk membedakan kelas kerawanan banjir antara yang satu dengan yang lain. Rumus yang digunakan untuk membuat kelas interval adalah digunakan formula yang dikemukakan oleh Dibiyosaputro (1999), yaitu:

$$I = \frac{c - b}{k}$$

Dimana:

- I : besar jarak interval kelas;
 c : jumlah skor tertinggi (50)
 b : jumlah skor terendah (10)
 k : jumlah kelas yang diinginkan (3)

Dari persamaan di atas, maka interval tingkat potensi bencana banjir dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Potensi Bencana Banjir

Zona	Interval	Karakteristik Lahan	Tingkat Potensi Bencana Banjir
I	<23,3	Lahan Sangat Stabil	Rendah
II	23,3-36,6	Lahan Agak Stabil	Sedang
III	>36,6	Lahan Tidak Stabil	Tinggi

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, zonasi tingkat potensi bencana banjir terdiri atas 3 zona:

1. **Zona 1:** tingkat potensi bencana banjir *rendah*: tidak ada sama sekali bahaya bencana banjir yang mengancam pemukiman masyarakat
2. **Zona 2:** tingkat potensi bencana banjir *sedang*: peluang terjadinya bencana banjir 1 kali dalam 5 tahun
3. **Zona 3:** tingkat potensi bencana banjir *tinggi*: peluang terjadinya bencana banjir 1 kali dalam 1 tahun

4. Potensi Kerentanan Bencana Banjir

Peta kerentanan banjir dihasilkan dari basis data kerawanan banjir, yaitu merupakan tumpang susun dari peta penggunaan lahan, kemiringan lereng, bentuk lahan, dan kelembaban tanah. Adapun formula yang digunakan untuk mendapatkan peta kerentanan banjir adalah:

$$KB = (BL \times 4) + (KL \times 3) + (JT \times 1,5) + (PL \times 1,5)$$

KB = Kerentanan Banjir

BL = Bentuklahan

KL = Kemiringan Lereng

JT = Jenis Tanah

PL = Penggunaan Lahan

Uji ketelitian dimaksudkan untuk mencocokkan atau menguji kebenaran hasil interpretasi dengan keadaan sesungguhnya di lapangan. Dalam hal ini uji ketelitian mencakup beberapa kegiatan yaitu:

1. Memilih titik-titik pada peta yang akan digunakan untuk uji ketelitian, metode yang digunakan adalah *purposive sampling* dan *stratified sampling*.

2. Mencocokkan parameter hasil analisis penginderaan jauh dengan parameter yang ada di lapangan.
3. Wawancara dengan penduduk setempat untuk memperoleh keterangan mengenai banjir, meliputi: peristiwa banjir (tahun terjadinya banjir) dan karakteristik banjir (periode ulang, lama genangan dan kedalaman genangan).

Tabel 5. Kriteria Kerentanan Banjir (Pemilihan Kriteria Berdasarkan MAFF-Japan, Zain: 2002)

No	Unit Model	Kriteria	Skor
1	Penggunaan Lahan-PL (Tipe)	Area Perumahan	3
		Lapangan Golf	3
	Taman	3	
	Kuburan	3	
	Industri	3	
	Industrial Estate	3	
	Sawah (2 kali dalam setahun)	4	
	Sawah (satu kali dalam setahun)	4	
	Kebun Campuran	2	
	Perkebunan	2	
	Padang Rumput	3	
	Semak Beukar	3	
	Kolam/Tambak	4	
	Rawa	1	
Danau	4		
Hutan	4		
Lahan Kritis	1		
2	Lereng (%) KL	0-2	5
		>2-15	4
		15-40	3
		>40	1
3	Jenis Tanah JT	Histosols	5
		Ferralsols	3
		Gleysols	5
		Vertisols	5
		Acrisols	5
		Lithosols	3
		Podzols	2
		Andosols	3
		Regosols	2
		Grumusol	5
6	Bentuklahan BL	Zona Dataran Rendah P'antai	5
		Zona Dataran Rendah	5

Zona Dataran Tinggi	3
Zona Perbukitan, kemiringan <15%	4
Zona Perbukitan, kemiringan >=15% - <40%	3
Zona Perbukitan, kemiringan >=40%	2
Zona Pegunungan, kemiringan <15%	3
Zona Pegunungan, kemiringan >=15% - <40%	2
Zona Pegunungan, kemiringan >=40%	1

Sumber: MAFF-Japan (Zain, 2002)

Analisis untuk menentukan zonasi kerentanan banjir digunakan formula yang dikemukakan oleh Dibyosaputro (1999), yaitu:

$$I = \frac{c - b}{k}$$

I : besar jarak interval kelas

c : jumlah skor tertinggi (19)

b : jumlah skor terendah (5)

k : jumlah kelas yang diinginkan (3)

Pengklasifikasian tingkat kerentanan banjir dilakukan pada hasil akhir aplikasi model pada data atribut GIS. Dari persamaan di atas, maka interval tingkat kerentanan banjir dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kerentanan Banjir

Zona	Interval	Tingkat Kerentanan Banjir
I	<9,6	Tingkat Kerentanan Banjir Rendah
II	9,6-14,6	Tingkat Kerentanan Banjir Sedang
III	>14,6	Tingkat Kerentanan Banjir Tinggi

Ket: Penghitungan Interval Kerentanan Banjir belum memasukan skor pengkalian pada rumus

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, zonasi tingkat kerentanan banjir terdiri atas 3 zona:

1. Zona 1 : rendah : lahan stabil dan tidak rentan banjir
2. Zona 2 : sedang: lahan kurang stabil dan agak rentan terjadi banjir
3. Zona 3 : tinggi: lahan tidak stabil dan rentan terjadi banjir

3. Mendeteksi Tingkat Bahaya Bencana Banjir

a. Menggunakan Citra Landsat 7+ETM

Banjir merupakan satu bahaya alam (*natural hazard*) yang terjadi di alam ini dimana air menggenangi lahan-lahan rendah di sekitar sungai sebagai akibat ketidakmampuan alur sungai menampung dan mengalirkan air, sehingga air meluap keluar alur melampaui tanggul dan menggenangi daerah sekitarnya seperti dataran banjir dan dataran alluvial. Kerentanan banjir suatu daerah adalah suatu keadaan mudah tidaknya daerah tersebut dilanda dan tergenang banjir. Wilayah banjir biasanya terletak pada daerah yang datar, berdekatan dengan sungai besar, serta berdrainase jelek karena selain faktor kemiringan lereng juga disebabkan oleh faktor tanah yang ada (BNPB, 2008).

Keunggulan pemakaian Citra Landsat untuk analisis tingkat bahaya banjir disebabkan karena Citra Landsat 7+ETM dapat merekam beberapa parameter tentang kerawanan terhadap bahaya banjir, seperti kemiringan lereng, penggunaan lahan, bentuk lahan dan kelembaban tanah yang dianalisis dengan menggunakan ERDAS atau ER Mapper. Kemiringan lereng diperoleh dari model tiga dimensi daerah penelitian. Secara lebih sederhana kemiringan lereng merupakan penurunan dari model tiga dimensi. Model tiga dimensi diperoleh dari analisis peta kontur, yaitu merubah garis kontur menjadi data *Digital Elevation Model* (DEM). Dari model tiga dimensi ini juga dapat diturunkan informasi kemiringan lereng, dan dengan digabungkan dengan informasi pada citra dapat juga diperoleh bentuk lahan daerah penelitian. Bentuk lahan merupakan bagian dari permukaan bumi yang mempunyai bentuk khas sebagai akibat dari proses dan struktur batuan selama periode tertentu. Oleh karena itu, keberadaannya ditentukan oleh faktor: topografi, batuan dan proses eksogenetik, sehingga termasuk bentuk hasil proses destruktif. Untuk membuat klasifikasi bentuk lahan ada tiga kriteria yang digunakan sebagai pedoman yaitu: (1) Kriteria Bentuk atau Relief, kriteria ini mendasarkan klasifikasi bentuk lahan berdasarkan bentuk atau relief dari permukaan bumi yang dapat dilihat pada citra berdasarkan pada bayangannya. (2) Kriteria Density, kriteria ini didasarkan pada tingkat rona pada citra pada saluran tertentu dan warna pada citra komposit, karena setiap

obyek akan mempunyai karakteristik tertentu dengan warna yang berbeda-beda, (3) Kriteria Lokasi, bentuk lahan tertentu akan terbentuk pada lokasi tertentu pula. Jadi, setiap lokasi pada suatu daerah mempunyai karakteristik terhadap bentuk lahannya. Untuk memperoleh bentuk lahan daerah penelitian tidak cukup dengan melihat pada citra dari model tiga dimensi akan tetapi juga menggunakan data yang diperoleh dari peta geologi mengenai struktur batuan daerah penelitian. Sedangkan batasan antar tipe bentuk lahan dapat dilihat pada citra dengan menggunakan tiga kriteria di atas dengan koreksi peta geologi melalui tumpang tindih atau *overlay*. Untuk mempermudah dalam klasifikasi penggunaan lahan, terutama dalam membedakan vegetasi dan non-vegetasi maka digunakan komposit citra dalam hal ini komposit yang diambil band 1, 2, 3, 4, 5, dan band 7. Kcdetailan penggunaan lahan tergantung pada besar kecilnya skala yang digunakan. Dari komposit tersebut, penggunaan lahan daerah penelitian dapat diketahui bahwa tubuh air akan terekam dengan warna biru. permukiman dengan warna merah dan vegetasi dengan warna hijau. Berdasarkan warna dari citra akan mempermudah dalam klasifikasi penggunaan lahan.

Penumusan peta penggunaan lahan dilakukan berdasarkan pada interpretasi Citra Landsat 7+ETM dengan alat analisis ERDAS 8.6. Klasifikasi penggunaan lahan dianalisis dengan teknik *supervised classification*, sehingga dirumuskan enam pola penggunaan lahan sementara, yaitu: (1) hutan, (2) kebun campuran, (3) semak, (4) lahan terbuka, (5) sawah, dan (6) pemukiman. Survei lapang dilakukan untuk mengkoreksi ketepatan dan keakuratan hasil analisis citra dengan GPS, sehingga dihasilkan pola penggunaan lahan yang tepat dan akurat untuk dijadikan sebagai peta penggunaan lahan lokasi penelitian. Untuk mengeluarkan data atribut-nya, dianalisis melalui *tools Vector (raster to vector)* dan dianalisis lanjut dengan GIS Arc View 3.3. Menurut Suwedi *et al.* (2006) proses pengoianan citra menggunakan perangkat analisis ERDAS 8.6, yang mencakup: (1) koreksi radiometrik guna meminimalkan pengaruh tutupan awan, (2) koreksi geometrik untuk standarisasi citra ke dalam standar geodetik peta rupa bumi, (3) interpretasi dan klasifikasi jenis tutupan lahan, dan (4) konversi

data citra ke dalam format vektor. Dari data yang sudah diperoleh dilakukan analisis dan simulasi model dengan perangkat analisis Arc View 3.3.

Kelembaban tanah permukaan adalah air yang mengisi pori-pori horizon tanah atau lapisan tanah bagian atas. Setiap permukaan tanah mempunyai kelembaban tanah yang berbeda-beda dan mempunyai karakteristik nilai pantulan pada sensor yang berbeda-beda pula. Dengan hubungan bahwa suatu tanah yang mempunyai kelembaban yang tinggi mengasumsikan bahwa tanah tersebut sering tergenang air, sehingga dari sini didapat hubungan bahwa semakin tinggi kelembaban tanah maka semakin sering tanah tersebut tergenang dan mempunyai kerawanan yang tinggi terhadap banjir. Demikian pula sebaliknya jika kelembaban tanah semakin rendah maka semakin jarang pula daerah tersebut tergenang air dan kerawanan banjir juga semakin rendah. Kelembaban tanah diperoleh dengan pendekatan indeks kebasahan (*wetness*), dengan asumsi bahwa nilai kebasahan adalah yang paling mendekati kelembaban tanah. Nilai kebasahan ini selanjutnya digunakan sebagai nilai kelembaban tanah. Untuk mengetahui kebasahan tanah pada suatu tempat dengan menggunakan citra Landsat TM dapat menggunakan formula yang merupakan pengkalian, penambahan dan pengurangan pada band 1, band 2, band 3, band 4, band 5 dan band 7.

$$TBB = (B1 \times 0.15) + (B2 \times 0.19) + (B3 \times 0.32) + (B4 \times 0.34) + (B5 \times 0.71) + (B7 \times (-0.45))$$

Keterangan: B 1=Landsat TM band 1
 B 2=Landsat TM band 2
 B 3=Landsat TM band 3
 B 4=Landsat TM band 4
 B 5=Landsat TM band 5
 B 7=Landsat TM band 7

Mitigasi bencana banjir secara pasif harus dilakukan melalui penyidikan yang terstruktur dengan metode-metode penelitian yang berbasis keruangan dengan *out put* peta-peta. Peta-peta yang

dihasilkan dapat digunakan untuk acuan pelaksanaan mitigasi bencana banjir secara aktif, hal ini batasan kawasan potensi bencana banjir dan batasan kawasan evakuasi jelas dan mudah diaplikasikan penzonasiannya di lapangan.

b. Menggunakan Metode Paimin *et al.*, (2009)

Prosedur kerja untuk mendeteksi tingkat bahaya banjir yang dikembangkan oleh Paimin *et al.*, (2009) adalah sebagai berikut:

(a) Melakukan identifikasi kawasan bahaya banjir, yaitu: (1) Menggunakan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), skala 1 : 25.000, sebagai peta dasar untuk basis identifikasi, (2) Melakukan *overlay* peta RBI dengan peta Topografi untuk menentukan bentuklahan di sepanjang sungai dan cabang sungai yang memiliki ciri daerah mudah banjir yakni bentuk lahan dataran alluvial, lembah alluvial, rawa-rawa, dan belokan sungai yang umumnya berlereng <2%. Bentuk lahan dianggap sebagai unit (satuan) peta dalam memberikan penilaian tingkat bahaya banjir, (3) Memberikan skor atau penulisan pada setiap bentuk lahan, dan (4) Melakukan pemetaan kawasan bahaya banjir melalui aplikasi GIS.

Pengamatan lapangan yang dilakukan meliputi: (1) Identifikasi bentuk lahan di kanan-kiri sungai. Bentuk lahan pada daerah kiri-kanan sungai yang rentan banjir dengan lereng <2% sangat berpotensi untuk menerima limpahan air dari sungai yang melewatinya. Identifikasi daerah dengan bentuk lahan ini dapat dilakukan dengan mengukur kemiringan lahan dan melihat tanda-tanda bekas banjir sebelumnya, seperti adanya sisa sampah-sampah yang tersangkut paling atas sebagai garis batas perkiraan genangan banjir tertinggi. (2) Identifikasi daerah dari aliran sungai yang berkelok-kelok (*meandering*). Bagian belokan sungai sebelah luar mempunyai potensi untuk dikenai terpaan arus sungai lebih kencang dan kuat dibanding dengan bagian dalam sungai dan atau yang lurus. Dengan demikian daerah ini mempunyai potensi untuk dilewati arus air sungai yang meluber (melimpahi) ke luar sebagai air banjir. (3) Identifikasi daerah-daerah bekas genangan pada daerah percabangan sungai, penempitan sungai, dan atau daerah sekitar muara dimana aliran air sungai tertahan oleh air laut pasang. (4) Cermati daerah pemukiman yang terletak di sekitar

daerah rawan banjir. (5) Identifikasi ada tidaknya bangunan air, seperti tanggul, bendung, waduk, dan kanal sudetan (*flood way*), yang berada di sepanjang sungai untuk kemudian direkam dengan menggunakan GPS dan selanjutnya diplotkan di peta.

Analisis data untuk mengidentifikasi tingkat bahaya banjir dikembangkan berdasarkan Paimin *et al.*, (2009) yang dilakukan modifikasi dan perumusan zona tingkat bahaya longsor dilakukan dengan GIS Arc View 3.3.

Tabel 7. Kriteria Tingkat Bahaya Banjir (Paimin *et al.*, 2009)

Tipe-Tipe	Skor (%)	Indikator	Kriteria	Harkat
Bentuklahan	30	Pegunungan dan Perbukitan Kipas dan Lahar	Rendah	1
			Agak	2
		Dataran, Teras Dataran, Teras (Lereng <2%)	Rendah	3
			Sedang	4
			Agak	5
Dataran Alluvial, Lembah Alluvial, Jalur Kelokan	10	>8 (Sangat Lancar)	Rendah	1
			Agak	2
			Rendah	3
			Agak	4
			Tinggi	5
Lereng Lahan Kiri Kanan Sungai (%)	10	6-8 (Lancar)	Rendah	1
			Agak	2
			Rendah	3
			Agak	4
			Tinggi	5
Pembendungan Oleh Percabangan Sungai dan Pasang	10	Tak Ada Anak Cabang Sungai Induk Cabang Sungai Induk Sungai Induk Pasang Air Laut	Rendah	1
			Agak	2
			Rendah	3
			Sedang	4
			Agak	5
Meandering Sinusitas P = Pj. Sungai sesuai Belokan/Jarak	5	1,0-1,1 1,2-1,4 1,5-1,6 1,7-2,0 >2,0	Rendah	1
			Agak	2
			Rendah	3
			Sedang	4
			Agak	5

Tipe-Tipe	Skor (%)	Indikator	Kriteria	Harkat
Lereng Rata-Rata DAS (%)	5	<8	Rendah	1
		8-15	Agak Rendah	2
		16-25	Sedang	3
		26-45	Agak Tinggi	4
		>45	Tinggi	5
Penggunaan Lahan	40	Hutan Lindung/Konservasi	Rendah	1
		Hutan Produksi/Perkebunan	Agak Rendah	2
		Pekarangan/Semak/Belukar	Sedang	3
		Sawah/Tegal-Terasering	Agak Tinggi	4
		Permukiman/Kota	Tinggi	5

Sumber: Paimin *et al.*, (2009) dimodifikasi

Analisis model tingkat bahaya banjir (Paimin *et al.*, 2009) adalah sebagai berikut:

$$TBB = BL(30\%) + LK(10\%) + PP(10\%) + M(5\%) + L(5\%) + LU(40\%)$$

TBB : Tingkat Bahaya Banjir

BL : Bentuklahan

LK : Lereng Kiri Kanan Sungai

PP : Pembendungan dan Pasang

M : Meander

L : Lereng rata-rata kawasan

LU : Penggunaan Lahan

Analisis untuk menentukan zonasi tingkat bahaya banjir digunakan formula yang dikembangkan oleh Dibyosaputro (1999), yaitu:

$$J = \frac{c - b}{k}$$

J : besar jarak interval kelas

c : jumlah skor tertinggi (30)

b : jumlah skor terendah (6)

k : jumlah kelas yang diinginkan (3)

Pengklasifikasian tingkat bahaya banjir dilakukan pada hasil akhir aplikasi model pada data atribut GIS. Dari persamaan di atas, maka interval tingkat bahaya banjir dapat dilihat Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Bahaya Banjir

Zona	Interval	Tingkat Bahaya Banjir
I	<14	Rendah
II	15-23	Sedang
III	>24	Tinggi

Ket: Penghitungan Interval Tingkat Bahaya Banjir belum memasukan skor pengkalian pada rumus

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, zonasi tingkat bahaya banjir terdiri atas 3 zona:

1. Zona 1: tingkat bahaya banjir rendah, tidak ada sama sekali bahaya bencana banjir yang mengancam permukiman masyarakat
2. Zona 2: tingkat bahaya banjir sedang, peluang terjadinya bencana banjir 1 kali dalam 5 tahun yang menimpa permukiman masyarakat
3. Zona 3: tingkat bahaya banjir tinggi, peluang terjadinya bencana banjir 1 kali dalam 1 tahun yang menimpa permukiman masyarakat

c. Analisis Kesesuaian Lahan untuk Permukiman Bebas Banjir

Selain penentuan zona tingkat potensi kerawanan bencana banjir, mitigasi bencana banjir juga dapat dilakukan dengan penelitian tingkat kesesuaian lahan untuk permukiman bebas banjir. Hal ini disebabkan karena permukiman merupakan indikator utama yang harus diselamatkan dari potensi bencana banjir.

Analisis data untuk mengidentifikasi kesesuaian lahan untuk permukiman bebas banjir dikembangkan berdasarkan USDA (1971). Perumusan zona tingkat kesesuaian lahan untuk permukiman bebas banjir dilakukan dengan GIS Arc View 3.3.

Tabel 9. Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Permukiman Bebas Banjir

Simbol	Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Permukiman		Harkat	Skor
Peta Tingkat Potensi Bencana				
PPB1	Rendah		1	3
PPB2	Sedang		2	6
PPB3	Tinggi		3	9
Peta Lereng				
PL1	>40%	Sangat Curam	1	1
PL2	15-40%	Miring- Curam	2	2
PL3	<15%	Datar-Miring	3	3
Peta Tanah				
PT1	Dangkal	Entisols, Vertisols, Aridisols	1	1
PT2	Sedang	Inceptisols, Andisols, Molisols, Alfisols, Spodosols, Ultisols, Oksisols	2	2
PT3	Dalam	Histosols	3	3
Peta Sebaran Batuan				
PB1	>50% volume tanah	Banyak	1	1
PB2	15 - 50 % volume tanah	Sedang	2	2
PB3	< 15% volume tanah	Tanpa-Selubii	3	3
Peta Tingkat Bahaya Erosi				
PE1	Bahaya erosi tinggi	Erosi Berat	1	1
PE2	Bahaya erosi rendah-sedang	Erosi Sedang	2	2
PE3	Bahaya erosi rendah	Erosi Ringan	3	3

Sumber: USDA (1971) dimodifikasi

Analisis model kesesuaian lahan untuk permukiman bebas banjir (Hermon *et al.*, 2008) adalah sebagai berikut:

$$PFB = PE + PB + PT + PL + 3 (PPB)$$

- PFB : Permukiman Bebas Banjir
- PE : Peta Tingkat Erosi (Bahaya Erosi)
- PB : Peta Sebaran Batuan
- PT : Peta Tanah
- PL : Peta Lereng (Kemiringan Lereng, %)
- PBB : Peta Bahaya Banjir

Analisis untuk menentukan zonasi kesesuaian lahan untuk permukiman digunakan formula yang dikemukakan oleh Dibyosaputro (1999), yaitu:

$$I = \frac{c - b}{k}$$

I : besar jarak interval kelas

c : jumlah skor tertinggi (21)

b : jumlah skor terendah (7)

k : jumlah kelas yang diinginkan (3)

Pengklasifikasian tingkat kesesuaian lahan untuk permukiman bebas banjir dilakukan pada hasil akhir aplikasi model pada data atribut GIS. Dari persamaan di atas, maka interval tingkat kesesuaian lahan untuk permukiman yang bebas banjir dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Permukiman yang Bebas Banjir

Zona	Interval	Tingkat Kesesuaian Lahan untuk Permukiman yang Bebas Banjir
I	<11,6	Sesuai untuk Permukiman
II	11,6-16,2	Agak Sesuai untuk Permukiman
III	>16,2	Tidak Sesuai untuk Permukiman

Ket: Penghitungan interval kesesuaian Lahan untuk Permukiman Bebas Banjir belum memasukan skor pengkalian pada rumus

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, zonasi tingkat kesesuaian lahan untuk permukiman yang bebas banjir terdiri atas 3 zona:

1. Zona 1: sesuai untuk permukiman: tidak ada sama sekali bahaya bencana banjir yang mengancam pemukiman masyarakat
2. Zona 2: agak sesuai untuk permukiman: peluang terjadinya bencana banjir 1 kali dalam 5 tahun yang menimpa permukiman masyarakat
3. Zona 3: tidak sesuai untuk permukiman: peluang terjadinya bencana banjir 1 kali dalam 1 tahun yang menimpa permukiman masyarakat

BAB V MITIGASI BENCANA LONGSOR

A. Defenisi

1. Mitigasi bencana longsor merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana longsor, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana longsor (BNPb, 2008).
2. Bencana longsor adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan oleh bergeraknya massa tanah dari puncak lereng ke bawah lereng sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis (BNPb, 2008).
3. Tipologi kawasan rawan bencana longsor adalah klasifikasi kawasan rawan bencana longsor sesuai dengan karakter dan kualitas kawasannya berdasarkan aspek fisik alamiah yang menghasilkan tipe-tipe zona berpotensi bencana longsor (PVMBG, 2007).
4. Tingkat kerawanan bencana longsor adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan atau zona dapat mengalami bencana longsor, serta besarnya korban dan kerugian bila terjadi bencana yang diukur berdasarkan tingkat kerawanan fisik alamiah dan tingkat kerawanan karena aktivitas manusia (PVMBG, 2007).
5. Tingkat kerawanan fisik alamiah dari bencana longsor adalah ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya kemungkinan terjadi bencana longsor yang diindikasikan oleh faktor-aktor fisik dan alami (PVMBG, 2007).
6. Tingkat kerawanan longsor karena aktivitas manusia merupakan ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya kemungkinan terjadinya bencana longsor akibat aktivitas manusia (PVMBG, 2007).
7. Tingkat kerentanan bencana longsor merupakan tingkat kerawanan bencana longsor pada kawasan yang belum dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya, dengan hanya mempertimbangkan faktor fisik alami, tanpa memperhitungkan besarnya kerugian yang ditimbulkan (PVMBG, 2007).
8. Kerentanan fisik bencana longsor adalah kerentanan yang dimiliki masyarakat berupa daya tahan menghadapi bahaya bencana longsor (PVMBG, 2007).
9. Kerentanan ekonomi akibat bencana longsor adalah kondisi ekonomi suatu individu atau masyarakat sangat menentukan tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya longsor. Pada umumnya masyarakat atau daerah yang miskin atau kurang mampu lebih rentan terhadap bahaya bencana longsor, karena tidak mempunyai kemampuan finansial yang memadai untuk melakukan upaya pencegahan atau mitigasi bencana longsor (PVMBG, 2007).
10. Kerentanan sosial akibat bencana longsor adalah kondisi sosial masyarakat juga mempengaruhi tingkat kerentanan terhadap ancaman bahaya longsor. Dari segi pendidikan, kekurangan pengetahuan tentang resiko bahaya dan bencana longsor akan mempertinggi tingkat kerentanan, demikian pula tingkat kesehatan masyarakat yang rendah juga mengakibatkan rentan menghadapi bahaya bencana longsor (PVMBG, 2007).
11. Kerentanan lingkungan akibat bencana longsor adalah kondisi lingkungan hidup suatu masyarakat sangat mempengaruhi kerentanan. Masyarakat yang tinggal di daerah topografi yang berlereng curam akan selalu terancam bahaya longsor (PVMBG, 2007).
12. Resiko bencana longsor adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana longsor pada suatu wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan gangguan kegiatan masyarakat (PVMBG, 2007).
13. Tingkat resiko bencana longsor adalah tingkat kerawanan karena aktivitas manusia, yaitu ukuran yang menyatakan besar

- kecilnya kerugian manusia dari kejadian bencana longsor (PVMBG, 2007).
14. Gerakan geologi atau gerakan tanah merupakan gerakan massa tanah dan batuan secara perlahan-lahan maupun secara tiba-tiba menuruni lereng akibat pengaruh gravitasi bumi dan konsentrasi kandungan air yang berlebih dalam tanah (BNPb, 2008).
 15. Rayapan tanah merupakan gerakan tanah atau batuan pembentuk lereng yang kurang lebih kontinyu dalam arah tertentu, menyebabkan deformasi permanen, tetapi tidak ada keruntuhan (Hardiyatmo, 2006).
 16. Gerakan massa merupakan gerakan massa tanah yang besar di sepanjang bidang kritisnya, yang bergerak ke arah bawah material pembentuk lereng, yang dapat berupa tanah, batu, timbunan buatan, atau campuran dari material lainnya (Hardiyatmo, 2006).
 17. Jatuhan merupakan gerakan jatuh material pembentuk lereng (tanah atau batuan) di udara dengan tanpa adanya interaksi antara bagian-bagian yang jatuh (Hardiyatmo, 2006).
 18. Robohan merupakan gerakan material roboh dan biasanya terjadi pada lereng batuan yang sangat terjal sampai tegak yang mempunyai bidang-bidang ketidakterusan yang relatif vertikal (Hardiyatmo, 2006).
 19. Longsor merupakan gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya kegagalan geser di sepanjang satu atau lebih bidang longsor (Hardiyatmo, 2006).
 20. Sebaran adalah kombinasi dari meluasnya massa tanah dan turunya massa batuan terpecah-pecah ke dalam material lunak dibawahnya (Karnawati, 2005)
 21. Aliran adalah gerakan hancurnya material ke bawah lereng dan mengalir seperti cairan kental (Karnawati, 2005).
 22. Pengendalian longsor adalah upaya fisik dan nonfisik untuk pengamanan longsor dengan meningkatkan kestabilan lereng (BNPb, 2008).
 23. Penanggulangan longsor adalah segala upaya yang dilakukan agar longsor tidak menimbulkan gangguan dan kerugian bagi masyarakat, atau untuk mengurangi dan menekan besarnya kerugian yang ditimbulkan oleh longsor (BNPb, 2008).

24. Mitigasi bahaya longsor adalah upaya menekan besarnya kerugian/bencana akibat longsor (BNPb, 2008).

B. Zonasi Kawasan Tingkat Bahaya Longsor dan Faktor Penyebab Terjadinya Longsor

Zonasi merupakan pengalokasian kawasan untuk peruntukan tertentu. Peraturan tentang zonasi tercantum dalam Pasal 35 dan Pasal 36 UU No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, bahwa pengendalian pemanfaatan ruang dilakukan melalui penetapan peraturan zonasi, perizinan, pemberian insentif, dan disinsentif, serta pengenaan sanksi. Peraturan zonasi disusun sebagai pedoman pengendalian pemanfaatan ruang berdasarkan rencana rinci tata ruang untuk setiap zona pemanfaatan ruang. Perumusan zonasi tingkat bahaya longsor pada kawasan rawan longsor bertujuan untuk mengendalikan pemanfaatan dan peruntukan kawasan agar dapat dimanfaatkan sesuai dengan peruntukannya, sehingga pencegahan bencana longsor dapat dioptimalkan.

Menurut Sitorus (2006), penyebab terjadinya bencana longsor secara umum dapat dibedakan atas 3, yakni: (1) kondisi alam yang bersifat statis seperti kondisi geografi, topografi, dan karakteristik sungai, (2) peristiwa alam yang bersifat dinamis, seperti perubahan iklim global, pasang-surut, *land subsidence*, sedimentasi, dan sebagainya, serta (3) aktivitas sosial-ekonomi manusia yang sangat dinamis, seperti deforestasi (penggundulan hutan), konversi lahan pada kawasan lindung, pemanfaatan sempadan sungai/saluran untuk perumahan, pemanfaatan wilayah retensi banjir, perilaku masyarakat, keterbatasan prasarana dan sarana pengendali banjir dan sebagainya. Bencana longsor dan banjir yang terjadi belakangan ini banyak menimbulkan korban jiwa dan kerugian harta benda yang besar. Selain itu, menyisakan pula berbagai permasalahan, seperti: (1) menurunnya tingkat kesehatan masyarakat akibat penyebaran wabah penyakit menular (*waterborne diseases*), (2) munculnya berbagai kerawanan sosial, dan (3) menurunnya tingkat kesejahteraan masyarakat.

Bencana longsor sangat sering terjadi di Indonesia. Hal ini disebabkan karena Indonesia merupakan daerah *subduksi*, sehingga

mempunyai topografi yang bergunung-gunung yang menjadikan lahan mempunyai lereng yang landai sampai curam, dengan curah hujan yang relatif tinggi setiap tahunnya. Kombinasi antara curah hujan yang tinggi dan kondisi geomorfologi yang cukup kompleks di beberapa wilayah Indonesia, mengakibatkan longsor menjadi suatu hal yang sudah biasa terjadi (Karnawati, 2005; Andreas *et al.*, 2007; Sariri *et al.*, 2007). Zuidam dan Concelado (1979) mendefinisikan longsor sebagai gerakan material tanah atau batuan menuruni lereng yang disebabkan oleh adanya interaksi faktor-faktor pemicu (air hujan dan jenis tutupan lahan) yang bersifat aktif mempengaruhi material penyusun tanah dalam kondisi lereng dan geologi tertentu yang terjadi secara cepat.

Lopez dan Zinck (1991), Marsaid (2002), Degraff dan Rogers (2003), dan Atzeni *et al.* (2003), mengatakan bahwa penyebab terjadinya longsor adalah: (1) curah hujan, (2) sifat fisik tanah, (3) kemiringan lereng, (4) sedimen yang tidak kompak (*unconsolidated*), (5) batuan penyusun tanah, (6) kedalaman solum tanah (kedalaman pelapukan batuan), (7) aktivitas gempa, (8) kegiatan kegunungan-apian, (9) degradasi lingkungan. Pada hakekatnya bencana longsor diakibatkan oleh faktor alamiah dan faktor non alamiah. Faktor alamiah penyebab terjadinya longsor adalah: (1) kondisi geologi, yaitu adanya jalur-jalur patahan dan rekahan batuan yang mengakibatkan kondisi lereng yang mempunyai kemiringan > 30% dan tumpukan tanah liat pasir di atas batuan kedap air berupa andesit dan breksi andesit, (2) kondisi curah hujan yang cukup tinggi setiap tahunnya, dan (3) sistem hidrologi (tata air) pada daerah lereng. Faktor non alamiah adalah: (1) pembukaan hutan secara sembarangan, (2) penanaman jenis tanaman yang terlalu berat dengan jarak tanam yang terlalu rapat, (3) pemotongan tebing/lereng untuk jalan dan permukiman secara tidak teratur.

Menurut Suryono (2000), Chigira dan Inokuchi (2003), serta Choirudin *et al.* (2007), pola penggunaan lahan sangat berpengaruh terhadap longsor. Hampir semua longsor terjadi akibat pengaruh aktivitas manusia dalam mengelola lahan, terutama dalam mengelola penggunaan lahan pada daerah-daerah berlereng. Pola pengolahan lahan yang tidak memperhatikan teknik-teknik konservasi tanah akan menimbulkan kerusakan pada lahan,

sehingga keseimbangan lahan akan terganggu dan rentan terhadap longsor. Selain itu, Moore dan Singer (1990), Carrara *et al.* (1992), Wang *et al.* (2003), dan Prayogo (2007), menambahkan bahwa longsor paling sering terjadi di lereng-lereng yang mempunyai lapisan batuan yang kedap air, sehingga menjadi bidang gelincir, yang mengakibatkan lapisan tanah yang terletak di atasnya akan meluncur dan jatuh pada lahan yang lebih rendah.

PVMBG (2007), menjelaskan bahwa bencana longsor yang terjadi pada tahun 2003-2005 di Sumatera Barat, mengakibatkan korban meninggal dunia 63 orang, korban luka-luka 25 orang, rumah hancur 16 unit, rumah rusak 14 unit, lahan pertanian rusak 540 ha, dan jalan putus 60 m. Longsor yang terjadi di Kecamatan Limo Koto Padang Pariaman Sumbar, yang terjadi pada tanggal 8 Januari 2006 dengan volume tanah yang menimbun permukiman rakyat 10000 m³, sehingga mengakibatkan 13 orang meninggal, 4 rumah, dan 1 mushola hancur, serta terjadi kerusakan lahan pertanian dan jalan yang cukup parah. Penyebab longsor ini adalah curah hujan yang tinggi selama 3 hari sebelum kejadian, kemiringan lereng yang cukup terjal, sifat tanah dan batuan yang lunak dan mudah lepas, dan tidak adanya vegetasi penutup yang berakar kuat dan dalam. Longsor yang terjadi di kawasan permukiman rakyat Kabupaten Pesisir Selatan pada tahun 2000, menyebabkan 24 orang meninggal, 6 orang tertimbun, dan sisanya hanyut di bawa arus Batang Bayang. Di Malalo Kabupaten Tanah Datar, longsor yang terjadi menimbulkan 31 orang tertimbun longsor dan meninggal, sementara itu di Talu Kabupaten Pasaman, longsor mengakibatkan 21 orang meninggal dan 4 orang tertimbun. Bencana longsor terbesar yang melanda Sumatera Barat terjadi pada tahun 1987 di Kota Padang Panjang dengan menelan korban jiwa sebanyak 130 orang dan puluhan rumah hancur (bencana tanah longsor di Kota Padang tahun 1980-2006: Tabel 11)

Tabel 11. Bencana Tanah Longsor di Kota Padang Tahun 1985-2006

Tahun Kejadian	Lokasi
1985-1995	Bukit Gado-Gado (1985)*, Bukit Lantiak (1986*, 1991*), Bukit Lampu (1987*, 1995**), Lubuk Minturun (1988**, 1994*), Bukit Gaung (1987**, 1991**, 1992*), Sungaiberemas (1992*), Bukit Mata Air (1993*, 1997**), Pabayan (1994*), Sitinjau Laut (1995**)
1995-2006	Bukit Lantiak (2000*, 2005*), Bukit Gado-Gado (1996*, 1999*, 2001*), Mato Aie Barat (2001**, 2005*), Bukit Gaung (2005**), Bukit Lampu (2002**, 2004**), Sitinjau Laut (2003**)

Sumber: Hermon (2009)

Ket: * longsor menghancurkan lahan permukiman

** longsor menghancurkan lahan pertanian, jalan, dan sarana lainnya

Degraff dan Rogers (2003), Chigira dan Inokuchi (2003), Han (2003), dan USGS (2004) menjelaskan bahwa longsor merupakan perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut, bergerak ke bawah atau keluar lereng. Kemudian Rodrigues *et al.* (2003) dan de Mello *et al.* (2003) menjelaskan bahwa proses terjadinya longsor diawali dengan air yang meresap ke dalam tanah akan menambah bobot tanah. Jika air tersebut menembus sampai tanah kedap air yang berperan sebagai bidang gelincir, maka tanah menjadi licin dan tanah pelapukan di atasnya akan bergerak mengikuti lereng atau keluar lereng.

PVMBG (2007) menjelaskan 6 jenis tanah longsor, yaitu: (1) longsor translasi adalah bergesernya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau melombang landai, (2) longsor rotasi yaitu bergesernya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung, (3) pergerakan blok, yaitu perpindahan batuan yang bergerak pada gelincir berbentuk rata. Longsor ini juga disebut sebagai longsor translasi blok batuan, (4) runtuh batu, terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas, umumnya terjadi

pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah pantai, (5) rayapan tanah, merupakan jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenali, tetapi setelah waktu yang cukup lama longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon, atau rumah miring ke bawah, dan (6) aliran bahan rombakan. Jenis tanah longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume dan tekanan air, serta jenis materialnya.

Marsaid (2002), Alvarado *et al.* (2003), dan Sitorus (2006), mengatakan bahwa gejala umum longsor adalah: (1) munculnya retakan-retakan di lereng yang sejajar dengan arah lereng, biasanya muncul setelah terjadi hujan, (2) munculnya mata air baru secara tiba-tiba, dan (3) tebing rapuh dan kerikil mulai berjatuh. Karnawati (2005) menjelaskan bahwa pergerakan massa tanah pada lereng dapat terjadi akibat interaksi pengaruh antara beberapa kondisi yaitu meliputi kondisi morfologi, geologi, struktur geologi, hidrogeologi dan tata guna lahan. Kondisi-kondisi tersebut saling berpengaruh sehingga mewujudkan kondisi lereng yang berpotensi untuk bergerak.

Menurut Isnaniawardhani *et al.* (2003), Baudry dan Thenail (2003), Kutiel *et al.* (2003), Sullivan *et al.* (2003), Fitzsimmons (2003), Karnawati (2005), Dardak (2006), dan Hairiah *et al.* (2007), tingginya frekuensi longsor disebabkan oleh terjadinya alih fungsi lahan, baik dari kawasan lindung menjadi kawasan budidaya, atau dari kawasan budidaya dengan karakteristik menyerupai kawasan lindung menjadi kawasan budidaya yang tidak menunjang fungsi konservasi lingkungan hidup. Kerusakan kawasan hutan lindung menyisakan kawasan-kawasan hutan yang secara fisik tidak lagi berwujud hutan, namun lebih sebagai lahan terlantar.

Myester *et al.* (1997) dan PVMBG (2007) menjelaskan bahwa ada 2 pendekatan untuk melakukan penyidikan tingkat bahaya longsor, yaitu: (1) pendekatan rekayasa, dilakukan melalui pertimbangan-pertimbangan pada aspek-aspek rekayasa geologi dan rekayasa teknik sipil. Rekayasa geologi yaitu melalui kegiatan pengamatan yang berkaitan dengan struktur, jenis batuan,

geomorfologi, topografi, geohidrologi dan sejarah hidrologi yang dilengkapi dengan kajian geologi (SNI 03-1962-1990) atau kajian yang didasarkan pada kriteria fisik alami dan kriteria aktivitas manusia dan (2) pendekatan keruangan yang dilakukan melalui pertimbangan-pertimbangan pada aspek-aspek penggunaan ruang yang didasarkan pada perlindungan terhadap keseimbangan ekosistem dan jaminan terhadap kesejahteraan masyarakat yang dilakukan secara harmonis, yaitu: penilaian pada struktur ruang dan pola ruang pada kawasan rawan bencana longsor sesuai dengan tipologi serta tingkat kerawanan fisik alami dan tingkat resiko, serta menjaga kesesuaian antara kegiatan pelaksanaan pemanfaatan ruang dengan fungsi kawasan yang telah ditetapkan dalam rencana tata ruang wilayahnya.

Aplikasi GIS dengan program *Arc View 3.3* telah dilaksanakan oleh Kumajas (2006) untuk analisis rawan bencana di Kota Manado. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor penyebab terjadinya longsor adalah kemiringan lereng, curah hujan yang tinggi, litologi terutama pada tufa Tondano yang menjadi bidang luncur, adanya zona sesar yang memanjang tepat di pusat kota, dan penggunaan lahan terutama permukiman yang berada pada zona tidak layak huni. Waktu kejadian longsor selalu terjadi pada saat musim penghujan dengan intensitas hujan yang tinggi. Strategi yang dapat dilakukan untuk pengendalian kawasan rawan longsor dapat diatasi dengan: (1) penegakan peraturan yang berkaitan dengan tata ruang sehingga menggunakan lahan sesuai peruntukan termasuk daerah layak huni, (2) pencegahan longsor melalui upaya *civil teknis* dan upaya vegetatif, (3) peningkatan kesadaran untuk mengantisipasi terjadinya bencana longsor, dan (4) penggunaan peta rawan bencana longsor untuk pengambilan kebijakan dalam pengendalian bencana longsor.

Penerapan SIG untuk meneliti longsor juga diterapkan oleh Guzzetti *et al.* (1999) yang bertujuan untuk menginventarisasi dan memetakan kawasan rawan bencana longsor serta menyusun rencana pengendaliannya dengan unit analisis adalah peta kemiringan lereng, peta geologi, peta tanah, dan peta penggunaan lahan. Secara teknis, proses analisis spasial untuk penentuan rawan longsor yang digunakan adalah perangkat lunak *ArcView GIS*

dengan bantuan *extensions geoprocessing*. Selanjutnya hasil penelitian Guzzetti (2001), menjelaskan bahwa penetapan kawasan rawan bencana longsor dan zona berpotensi longsor didasarkan pada hasil pengkajian terhadap kawasan yang diindikasikan berpotensi longsor atau lokasi yang diperkirakan akan terjadi longsor akibat proses alami. Penetapan tingkat bahaya dan tingkat resiko longsor, selain dilakukan kajian fisik alami, juga dilakukan kajian berdasarkan aspek aktivitas manusianya.

Selanjutnya Zain (2002) melakukan penelitian dengan menggunakan GIS *ERDAS 8.5* untuk meneliti dan mengevaluasi kestabilan tanah melalui pendekatan spasial melalui *overlay* data spasial berupa peta-peta. Metode yang digunakan adalah metode MAFF-Japan yang telah dikembangkan dan diterapkan pada tiga kota besar di Asia Tenggara, termasuk Jakarta, dan dihasilkan suatu rujukan bahwa Model MAFF-Japan cocok untuk wilayah-wilayah tropika basah, seperti di Indonesia. PVMBG (2007) menjelaskan perbedaan tingkat kerawanan, tingkat kerentanan, tingkat resiko, dan tingkat bahaya longsor. Tingkat kerawanan longsor merupakan ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan mengalami bencana longsor ditinjau berdasarkan bagian-bagian kondisi fisik alami suatu kawasan. Tingkat kerentanan longsor merupakan ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan mengalami bencana longsor ditinjau dari kondisi fisik alami pada kawasan yang belum dimanfaatkan sebagai kawasan budidaya. Tingkat resiko longsor merupakan ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan mengalami bencana longsor ditinjau dari kerugian manusia akibat longsor. Tingkat bahaya longsor merupakan ukuran yang menyatakan tinggi rendahnya atau besar kecilnya kemungkinan suatu kawasan mengalami bencana longsor ditinjau dari faktor pemicu terjadinya longsor yang didukung oleh faktor-faktor yang dipicu untuk terjadinya longsor. Berdasarkan pengertian tingkat bahaya tersebut, Model MAFF-Japan sangat cocok digunakan untuk meneliti tingkat bahaya longsor di lokasi penelitian, karena model MAFF-Japan lebih menekankan terjadinya longsor akibat adanya

interaksi faktor pemicu longsor (curah hujan dan penggunaan lahan) terhadap faktor-faktor fisik lainnya.

Prathumchai dan Samarakoon (2005) dan Kumajas (2006) juga melaksanakan penelitian dengan menggunakan pendekatan spasial dengan unit lahan sebagai satuan analisisnya. Analisis spasial dilakukan dengan menumpang-susunkan (*overlay*) beberapa data spasial parameter penentu rawan longsor untuk menghasilkan unit pemetaan baru (*unit lahan*) yang digunakan sebagai unit analisis. Data spasial tersebut adalah peta kemiringan lereng, peta geologi, peta tanah dan peta penggunaan lahan. Secara teknis, proses analisis spasial untuk penentuan rawan longsor menggunakan perangkat lunak ArcView GIS dengan bantuan *extensions geoprocessing*.

Syarief dan Murdohardono (2007) dan Djadja *et al.* (2007) menjelaskan bahwa zona bahaya longsor dapat dibedakan atas 4 zona, yaitu: (1) zona bahaya *rendah* untuk terjadi longsor, zona ini sangat jarang atau tidak pernah terjadi longsor, baik longsor lama maupun baru, terkecuali pada daerah tebing sungai, (2) zona bahaya *sedang* untuk terjadi longsor, zona ini jarang terjadi longsor jika tidak mengalami gangguan pada lereng dan jika terdapat longsor lama, lereng telah mantap kembali. Longsor berdimensi kecil mungkin dapat terjadi, terutama pada tebing lembah (*alur*) sungai dan lereng >15%, (3) zona bahaya *tinggi* untuk terjadi longsor, zona ini sering terjadi longsor terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir tebing jalan atau jika lereng mengalami gangguan. Longsor lama dapat aktif kembali akibat curah hujan yang tinggi, (4) zona bahaya *sangat tinggi* untuk terjadi longsor, zona ini sangat sering terjadi longsor, sedangkan longsor lama dan longsor baru masih aktif bergerak akibat curah hujan tinggi dan erosi yang kuat.

Mardiatno (2001) serta Hermon dan Triyatno (2005) melakukan penelitian dengan mengembangkan metode Zuidam dan Concelado (1979), memberikan informasi bahwa pada tingkat bahaya longsor rendah, tanah (*lahan*) sangat stabil dan tidak pernah atau jarang terjadi longsor, kecuali pada tebing jalan dan sungai, pada tingkat bahaya longsor sedang, peluang terjadinya longsor 1 kali dalam 5 tahun pada lahan dengan kemiringan >15%, pada tingkat bahaya longsor tinggi, peluang terjadinya longsor 1-2 kali

dalam 5 tahun, dan pada tingkat bahaya longsor sangat tinggi, peluang terjadinya longsor >2 kali dalam 5 tahun.

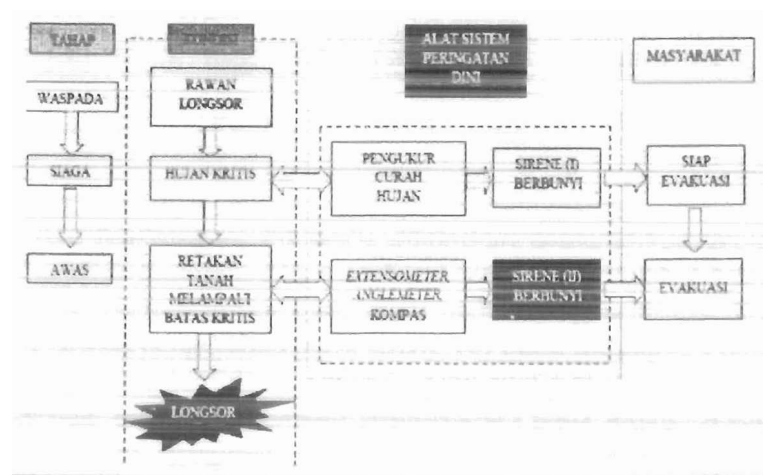
C. Mitigasi Bencana Longsor Secara Aktif

Mitigasi adalah serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan masyarakat dalam menghadapi ancaman bahaya (Undang-undang No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana Pasal 1 ayat 9). Peringatan dini adalah serangkaian kegiatan pemberian peringatan sesegera mungkin kepada masyarakat tentang kemungkinan terjadinya bencana pada suatu tempat oleh lembaga yang berwenang. Sedangkan sistem peringatan dini (*early warning sistem*) yang merupakan suatu usaha yang dilakukan oleh pemerintah bersama dengan masyarakat dengan maksud mengurangi dampak yang mungkin akan terjadi apabila tanah longsor (Parlindungan *et al.*, 2008).

Suatu lereng akan mengalami longsor apabila terjadi gangguan keseimbangan pada gaya-gaya yang bekerja pada lereng, dimana gaya pendorong yang lebih besar daripada gaya penahan. Gaya pendorong dapat disebabkan dari faktor luar, seperti pengaruh air (air hujan, kolam ikan, bak mandi atau selang/pipa air yang bocor), kemiringan lereng yang besar, serta adanya pengupasan lereng oleh manusia (perubahan tata guna lahan). Sedangkan gaya penahan akan sangat berpengaruh terhadap longsoron tergantung jenis tanahnya. Pada prinsipnya, longsoron terjadi apabila gaya penahan berbanding dengan gaya pendorong nilainya lebih kecil dari satu (Karnawati, 2005).

Parlindungan *et al.* (2008) menjelaskan bahwa mitigasi yang terfokus pada *public education* perlu dilakukan untuk meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang mitigasi bencana longsor, yaitu dengan mengadakan sosialisasi dan pelatihan tentang bencana alam, perbaikan lingkungan dan jalan yang berfungsi sebagai jalur evakuasi, giadi evakuasi, pembuatan peta rawan bencana, pemasangan alat sistem peringatan dini yang murah dan sederhana serta relokasi. Pemasangan alat sistem peringatan dini yang merupakan bagian dari mitigasi bencana dilakukan dengan melibatkan masyarakat sehingga akan timbul kepedulian dan rasa

memiliki alat yang dipasang, di samping mengetahui sistem kerja dari alat. Sistem peringatan dini longsor (*landslides early warning sistem*) dapat menggabungkan beberapa alat seperti *extensometer*, alat penakar curah hujan, dan peralatan lainnya yang dihubungkan dengan sirene. Tujuan utama dipasangnya alat deteksi longsor adalah untuk memantau adanya pergerakan tanah hingga batas kondisi kritis sirene berbunyi. Saat sirene (I) berbunyi, berarti hujan kritis terjadi. Kondisi hujan kritis ditentukan berdasarkan angka curah hujan yang telah ditetapkan pada alat yaitu 80 mm per jam. Sirene (I) dibuat untuk mengkondisikan warga untuk SIAGA (siap evakuasi). Apabila sirene (II) berbunyi, berarti air hujan telah meresap ke dalam tanah dan mengakibatkan retakan tanah melebar hingga mencapai batas kritis yang telah ditetapkan pada alat yaitu 5 cm. Saat sirene (II) berbunyi, maka warga yang sudah SIAGA harus segera meninggalkan lokasi tinggal mereka. Untuk membedakan sumber suara sirene, bunyi sirene (I) dengan bunyi sirene (II) dibuat tidak sama. Dengan sistem peringatan dini ini maka diharapkan lokasi rawan tetap bebas dari hunian saat longsor terjadi.



Gambar 22. Skema Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor (Parlindungan *et al.*, 2008)

Selain melakukan mitigasi dengan sistem peringatan dini, kebijakan pemerintah juga sangat diperlukan untuk melakukan

pengecahan pengembangan permukiman pada kawasan-kawasan yang tidak diperuntukkan untuk permukiman yang rawan terjadinya bencana longsor. Pencegahan pengembangan permukiman pada kawasan-kawasan yang tidak diperuntukkan untuk permukiman memerlukan upaya-upaya pengendalian pemanfaatan lahan yang berorientasi pada penerapan hukum yang tegas yang meliputi pengawasan (pemantauan, pelaporan, dan evaluasi), upaya penertiban, dan pemberian sanksi serta pemberlakuan pajak yang tinggi.

PVMBG (2007) menjelaskan bahwa prinsip-prinsip pengendalian dalam Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang, adalah: (1) pengendalian pemanfaatan ruang zona berpotensi longsor dilakukan dengan mencermati konsistensi kesesuaian antara pemanfaatan ruang dengan rencana tata ruang wilayah kabupaten/kota/ provinsi dan rencana tata ruang kawasan strategis kabupaten/kota/provinsi atau rencana detail tata ruang kabupaten/kota, (2) dalam pemanfaatan ruang zona berpotensi longsor harus memperhatikan tingkat kerawanan/ tingkat resiko terjadinya longsor dan daya dukung lahan/tanah, (3) tidak diizinkan atau dihentikan kegiatan yang mengganggu fungsi lindung kawasan rawan bencana longsor dengan tingkat bahaya tinggi; terhadap kawasan demikian mutlak diundungi dan dipertahankan bahkan ditingkatkan fungsi lindungnya, dan (4) kawasan yang tidak terganggu fungsi lindungnya dapat diperuntukkan bagi kegiatan-kegiatan pemanfaatan ruang dengan persyaratan yang ketat.

Ketentuan-ketentuan dalam beberapa peraturan yang terkait dengan perizinan pemanfaatan lahan dan ruang berlaku pula dalam hal perizinan pemanfaatan ruang pada kawasan bencana longsor atau zona berpotensi longsor. Berdasarkan Undang-Undang No.26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang berlaku ketentuan bahwa dalam penerbitan izin pemanfaatan ruang harus mengacu dan menyesuaikan dengan rencana tata ruangnya. Prioritas kebijakan selanjutnya yang harus dikembangkan adalah menyusun zona-zona tingkat bahaya longsor untuk mengembangkan sistem peringatan dini bencana longsor, yang berfungsi sebagai informasi pada masyarakat agar tidak mengembangkan huniannya pada kawasan

penggerak pada lereng, sedangkan pada lereng yang lebih landai (di bawah 40%) pembebanan dapat berperan menambah gaya penahan gerakan pada lereng, (b) sebagai tindakan preventif, beban konstruksi yang berlebihan tidak diperbolehkan pada lereng dengan tingkat kerawanan/tingkat resiko tinggi, dan (c) adapun kawasan terlarang untuk permukiman ini terutama terdapat pada daerah lembah sungai yang curam (di atas 40%), khususnya pada tikungan sungai, serta alur sungai yang kering di daerah pegunungan,

4. Penggalian dan pemotongan lereng pada kawasan rawan bencana longsor dengan tingkat kerawanan tinggi harus dihindari, karena dapat berakibat: (a) mengurangi gaya penahan gerakan tanah dari arah lateral, (b) menimbulkan getaran-getaran pada saat pelaksanaan, yang dapat melemahkan ikatan antar butir tanah pada lereng, dan (c) meningkatkan gaya gerak pada lereng karena lereng terpotong semakin curam.

Kumajas (2006) menjelaskan bahwa jenis tanaman yang dapat ditanam di daerah rawan longsor, antara lain: Kayu Manis (*Cinamoman burmanini*), Linggua (*Pterocarpus indicus*), Kayu Tanjung (*Mimusops elengi*), Casuarina/Cemara, Manggis (*Garcia mangostana*), Pohon Asam (*Tamarindus indicus*), Pala, Kaiumpang, Glirisida, dan Lemon. Kemudian, Parlindungan *et al.* (2008) menjelaskan bahwa mitigasi bencana longsor berbasis masyarakat juga penting untuk dilakukan, karena lebih efisien dibanding dengan mitigasi berbasis teknologi. Ada empat hal penting dalam mitigasi bencana, yaitu: (1) tersedia informasi dan peta kawasan rawan bencana dan jalur evakuasi, (2) sosialisasi untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat dalam menghadapi bencana, karena bermukim di daerah rawan bencana, (3) mengetahui apa yang perlu dilakukan dan dihindari, serta mengetahui cara penyelamatan diri jika bencana terjadi, dan (4) pengaturan dan penataan kawasan rawan bencana untuk mengurangi ancaman bencana longsor.

D. Mitigasi Bencana Longsor Secara Pasif

1. Pendekatan Keruangan Penelitian Longsor dalam Upaya Mitigasi Bencana Longsor Secara Pasif

Mitigasi bencana longsor secara pasif dapat dilakukan dengan penelitian tingkat bahaya longsor yang berbasis keruangan dengan memanfaatkan SIG sebagai alat analisis. Pendekatan keruangan dapat dilakukan berdasarkan pada kriteria yang dikembangkan oleh MAFF-Japan (Zain, 2002) tentang kestabilan lahan. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengumpulan data penelitian tingkat bahaya longsor Model MAFF-Japan (Zain, 2002) adalah:

1. Perumusan peta penggunaan lahan. Rumusan peta penggunaan lahan dilakukan berdasarkan pada interpretasi Citra Landsat 7+ETM dengan alat analisis ERDAS 8.6. Klasifikasi penggunaan lahan di analisis dengan teknik *supervised classification*, sehingga dirumuskan enam pola penggunaan lahan sementara, yaitu: (1) hutan, (2) kebun campuran, (3) semak, (4) lahan terbuka, (5) sawah, dan (6) pemukiman. Survei lapangan dilakukan untuk mengoreksi ketepatan dan keakuratan hasil analisis citra dengan GPS, sehingga dihasilkan pola penggunaan lahan yang tepat dan akurat untuk dijadikan sebagai peta penggunaan lahan lokasi penelitian. Untuk mengeluarkan data *atribut*-nya di analisis melalui *tools Vector (raster to vector)* dan di analisis lanjut dengan GIS Arc View 3.3. Menurut Suwedi *et al.* (2006) proses pengolahan citra menggunakan perangkat analisis ERDAS 8.6, yang mencakup: (1) koreksi radiometrik guna meminimalkan pengaruh tutupan awan, (2) koreksi geometrik untuk standarisasi citra ke dalam standar geodetik **peta rupa bumi**, (3) interpretasi dan klasifikasi jenis tutupan lahan, dan (4) konversi data citra ke dalam format vektor. Dari data yang sudah diperoleh dilakukan analisis dan simulasi model dengan perangkat analisis Arc View 3.3.
2. Peta Bentuk lahan skala 1:50.000 di analisis dengan GIS Arc View 3.3. untuk mengeluarkan data *atribut*-nya.
3. Peta Jenis Tanah skala 1:50.000 di analisis dengan GIS Arc View 3.3. untuk mengeluarkan data *atribut*-nya.

2. Pendekatan Lahan untuk Penelitian Longsor dalam Upaya Mitigasi Bencana Longsor Secara Pasif

Metode penelitian longsor yang lebih berorientasi pada pendekatan lahan juga dapat dilakukan, yaitu dengan menggunakan teknik tingkat bahaya longsor Zuidam dan Concelado (1979) yang dimodifikasi. Analisis distribusi tingkat bahaya longsor menurut Zuidam dan Concelado (1979) dilakukan melalui survei lapangan (Cooke dan Doornkamp, 1994). Data untuk menganalisis tingkat bahaya longsor Zuidam dan Concelado (1979) dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Data untuk Menganalisis Tingkat Bahaya Longsor Berdasarkan Zuidam dan Concelado (1979)

No	Jenis Data	Jenis Informasi yang Diperoleh	Pengumpulan Data dan Sumber
1	Solum Tanah	Ketebalan solum tanah	Survei lapangan
2	Tekstur Tanah	Persentase tekstur tanah	Analisis laboratorium
3	Struktur Tanah	Tipe struktur tanah	Survei lapangan
4	Bulkdensity	Berat isi tanah	Analisis laboratorium
5	Permeabilitas	Infiltrasi air	Analisis laboratorium
6	COLE	Kembang kerut tanah	Analisis Laboratorium
7	Kemiringan Lereng	Tingkat kemiringan lereng	Survei lapangan
8	Panjang Lereng	Panjang lereng	Survei lapangan
9	Bentuk Lereng	Bentukan lereng	Survei lapangan
10	Ketinggian Relief	Ketinggian dari muka laut	Survei lapangan
11	Struktur Lapisan Batuan	Tipe struktur pelapisan batuan	Survei lapangan
12	Tingkat Pelapukan Batuan	Tingkat pelapukan batuan	Survei lapangan
13	Kriteria Kedalaman Pelapukan Batuan	Tingkat kedalaman pelapukan batuan	Survei lapangan
14	Ketersediaan Mata Air Tanah	Sebaran mata air	Survei lapangan

No	Jenis Data	Jenis Informasi yang Diperoleh	Pengumpulan Data dan Sumber
15	Kedalaman Muka Air Tanah	Posisi muka air tanah	Survei lapangan
16	Land Use	Jenis land use	Survei lapangan
17	Curah Hujan	Dinamika curah hujan	BMG Tabing Padang

Sumber: Zuidam dan Concelado (1979); Cooke dan Doornkamp (1994)

Metode analisis yang digunakan adalah metode *scoring*. Setiap parameter penentu tingkat bahaya longsor diberi skor tertentu, dan kemudian pada setiap unit analisis skor tersebut dijumlahkan. Hasil penjumlahan skor selanjutnya diklasifikasikan untuk menentukan tingkat bahaya longsor dengan GIS Arc View 3.3. Klasifikasi tingkat bahaya longsor berdasarkan jumlah skor parameter longsor. Kriteria tingkat bahaya longsor tertera pada Tabel 15.

Tabel 15 Kriteria Tingkat Bahaya Longsor Zuidam dan Concelado (1979)

No	Jenis Data	Skor Tanah dan Lahan	Keterangan	Harkat
1	Solum Tanah	<25 cm	Sangat Dangkal	1
		25-60 cm	Dangkal	2
		60-90 cm	Sedang	3
		>90 cm	Dalam	4
2	Tekstur Tanah	S	Sangat Kasar	1
		LS, SIS, CS	Kasar	2
		L, SL, SiL, Si	Sedang	3
		C, SC, SiC, CL	Halus	4
3	Struktur Tanah	Remah	Sangat Baik	1
		Granular	Baik	2
		Gumpal, Lempeng, Tiang	Sedang	3
		Berbutir Tunggal, Massif	Jelek	4
4	Bulk Density	<0,75 g/cm ³	Sangat Baik	1
		0,75 - 1,25 g/cm ³	Baik	2
		1,25-1,50 g/cm ³	Sedang	3
		>1,50 g/cm ³	Jelek	4
5	Permeabilitas	2,0-6,25 cm/jam	Sedang	1
		6,25-12,5 cm/jam	Agak Cepat	2
		12,5-17,5	Cepat	3
		<2,0 cm/jam - >17,5 cm/jam	Lambat-S. cepat	4
6	COLE	COLE <0,01; kembang kerut tidak nyata; tidak ditemukan mineral montmorilonit	Sangat Baik	1

No	Sifat Tanah dan Lahan	Keterangan	Harkat	
	COLE 0,01-<0,05; kembang kerut tidak nyata, ditemukan mineral montmorilonit sangat sedikit	Baik	2	
		Sedang	3	
			Jelek	4
7 Kemiringan Lereng (%)	0-13	Datar-Landai	1	
	14-25	Miring	2	
	26-40	Agak Curam	3	
	>40	Curam	4	
8 Panjang Lereng (m)	<15	Pendek	1	
	15-50	Sedang	2	
	50-250	Panjang	3	
	>250	Sangat Panjang	4	
9 Bentuk Lereng	Lurus	Baik	1	
	Cembung	Sedang	2	
	Cekung	Sedang	3	
	Komplek	Jelek	4	
10 Ketinggian (Relief Rendah)	<5	Rendah	1	
	5-20	Sedang	2	
	50-200	Tinggi	3	
	>200	Sangat tinggi	4	
11 Struktur Lapisan Batuan (%)	Horizental, tegak, miring, pada medan datar-berombak (0-8%)	Baik-Sangat Baik (MA)	1	
	Tidak berstruktur pada medan curam (20%), miring pada medan bergelombang (8-14%)	Sedang (MB)	2	
	Miring dengan pelapisan keras lunak pada medan berombak/bergelombang (8-30%)	Jelek (MC)	3	
	Miring dengan pelapisan keras lunak pada medan bergelombang/berbukit	Sangat Jelek (MD)	4	
12 Tingkat Pelapukan Batuan	Tidak tampak adanya pelapukan, batuan segar kristal	Tidak lapuk (segar) (TL)	1	
	Pelapukan hanya terjadi pada diskontinuitas terbuka yang menimbulkan perbedaan warna	Lapuk ringan (LR)	2	
	Kurang dari setengah batuan atau terintegrasi menjadi tanah, bagian tengah batuan masih segar	Lapuk sedang (LS)	3	
	Lebih dari setengah batuan terdekomposisi dan atau terdisintegrasi pada tengah batuan sampai seluruhnya berubah menjadi tanah	Lapuk kuat (sangat kuat) (LK)		

No	Sifat Tanah dan Lahan	Keterangan	Harkat	
13	Kedalaman Pelapukan Batuan (cm)	< 50	Sgt dangkal (SD)	1
		50 - 100	Dangkal (D)	2
		100 - 150	Sedang (S)	3
		> 150	Dalam (DL)	4
14	Keterdapatn Mata Air	Tidak ada	TA	1
		Ada 1 atau 2 mata air	1-2 (sedikit)	2
		Lebih dari 2 mata air	>2 (banyak)	3
		Jalur rembesan (Seepage)	JR	4
15	Kedalaman Muka Air Tanah (cm)	>500	Dalam	1
		250-500	Sedang	2
		100-250	Agak Dangkal	3
		<100	Dangkal	4
16	Land Use	Ht	Baik	1
		Sm, Kc	Agak Baik	2
		S, Ut	Sedang	3
		P	Jelek	4
17	Curah Hujan (mm/bulan)	0-30	Rendah	1
		30-60	Sedang	2
		60-90	Tinggi	3
		>90	Sangat Tinggi	4

Sumber: Zuidam dan Concelado (1979), Cooke dan Doornikamp (1994)

Ket: S, pasir-berpasir; LS, pasir berlempung; SL, pasir berdebu; CS, pasir berliat; L, lempung-berlempung; SL, lempung berpasir; SiL, lempung berdebu, Si, debu; C, liat-berliat; SC, liat berpasir; SiC, liat berdebu; Ht, hutan; Sm, semak belukar; Kc, kebun campuran; S, sawah; Ut, tegalan; P, permukiman

Analisis untuk menentukan tingkat bahaya longsor digunakan formula yang dikemukakan oleh Dibyosaputro (1999), yaitu:

$$I = \frac{c - b}{k}$$

Dimana:

I : besar jarak interval kelas;

c : jumlah skor tertinggi (68)

b : jumlah skor terendah (17)

k : jumlah kelas yang diinginkan (4)

Dari persamaan di atas, maka interval tingkat bahaya longsor Zuidam dan Concelado (1979) dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Perhitungan Interval Tingkat Bahaya Longsor (Zuidam dan Concelado, 1979)

Zona	Interval	Karakteristik Lahan	Tingkat Bahaya Longsor
I	<29,75	Lahan Sangat Stabil	Rendah
II	29,75-42,50	Lahan Agak Stabil	Sedang
III	42,50-55,25	Lahan Tidak Stabil	Tinggi
IV	>55,25	Lahan Sangat Tidak Stabil	Sangat Tinggi

Zonasi tingkat bahaya longsor menurut Zuidam dan Concelado (1979) dapat dibedakan menjadi 4 zona:

- Zona 1:** tingkat bahaya longsor *rendah*: tidak ada sama sekali bahaya longsor yang mengancam pemukiman masyarakat
- Zona 2:** tingkat bahaya longsor *sedang*: peluang terjadinya longsor 1 kali dalam 5 tahun pada lahan dengan kemiringan >15%
- Zona 3:** tingkat bahaya longsor *tinggi*: peluang terjadinya longsor 1-2 kali dalam 5 tahun
- Zona 4:** tingkat bahaya longsor *sangat tinggi*: berpeluang longsor > 2 kali dalam 5 tahun

Mitigasi bencana longsor secara pasif yang dilakukan melalui penyidikan yang terstruktur dengan metode-metode penelitian yang berbasis lahan dan keruangan dengan *out put* peta-peta. Peta-peta yang dihasilkan dapat digunakan untuk acuan pelaksanaan mitigasi bencana longsor secara aktif, hal ini batasan kawasan potensi bencana longsor dan batasan kawasan evakuasi jelas dan mudah di aplikasikan penzonasiannya di lapangan. Selain itu, dengan diketahuinya zonasi tingkat bahaya longsor, memudahkan untuk melakukan tindakan-tindakan mitigasi bencana longsor, antara lain pemasangan yang cocok untuk sistem peringatan dini dan penerapan teknik kestabilan lereng.

3. Pendekatan Teknik untuk Penelitian Longsor dalam Inova Mitigasi Bencana Longsor Secara Pasif

Penelitian longsor dengan pendekatan teknik harus mengacu pada analisis stabilitas lereng. Hardiyatmo (2006) menjelaskan

bahwa analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*). Maksud analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor potensial, dengan pertimbangan:

- Kelongsoran lereng terjadi di sepanjang permukaan bidang longsor tertentu dan dapat dianggap sebagai masalah bidang dua dimensi.
- Massa tanah yang longsor dianggap sebagai benda pasif.
- Tahanan geser dari massa tanah di sepanjang titik bidang longsor tidak tergantung dari orientasi permukaan longsor, atau dengan kata lain, kuat geser tanah dianggap isotropis.
- Faktor keamanan (FK) didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor potensial, dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c_{ai} + N_i \tan \phi)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \text{ untuk lereng tidak terendam air.....(1)}$$

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} c_{ai} + (W_i \cos \theta_i - u_{ai}) \tan \phi}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \text{ untuk lereng terendam air... (2)}$$

Keterangan:

c = nilai kohesi dalam kg/cm²

N_i = gaya normal dalam kg/m²

a_i = panjang bidang longsor dalam meter

W_i = berat massa tanah irisan ke- i dalam kg/m²

θ_i = sudut gelincir dalam derajat

ϕ = sudut geser dalam, dengan satuan derajat

u_i = tekanan air pori pada irisan ke- i dalam kg/m²

n = jumlah irisan