

# Mitigasi Bencana Sedimen

<sup>1</sup>Hasnawir

<sup>1</sup>Peneliti, Balai Penelitian Kehutanan Makassar, Kementerian Kehutanan  
Jl. Perintis Kemerdekaan Km.16 Makassar (90243)  
Tel/Fax.: +62-422-554049/+62-411-554058  
Email: wirforest@yahoo.com

## 1. PENDAHULUAN

Bencana merupakan fenomena yang menimbulkan kerusakan atau kerugian pada kehidupan, baik secara individu ataupun publik oleh beberapa penyebab atau faktor (*Ikeya, 1976*). Di Indonesia berdasarkan Undang-undang No.24 tahun 2007 mendefinisikan bencana sebagai suatu peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak psikologis.

Bencana merupakan pertemuan dari tiga unsur, yaitu; ancaman bencana, kerentanan dan kemampuan yang dipicu oleh suatu kejadian. Secara garis besar faktor-faktor yang dapat menyebabkan bencana antara lain adalah sebagai berikut:

- ❖ Bahaya alam (*natural hazards*) dan bahaya karena ulah manusia (*man-made hazards*) yang menurut *United Nations International Strategy for Disaster Reduction* (UN-ISDR) dapat dikelompokkan menjadi bahaya geologi (*geological hazards*), bahaya hidrometeorologi (*hydrometeorological hazards*), bahaya biologi (*biological hazards*), bahaya teknologi (*technological hazards*) dan penurunan kualitas lingkungan (*environmental degradation*).
- ❖ Kerentanan (*vulnerability*) yang tinggi dari masyarakat, infrastruktur serta elemen-elemen di dalam kota/ kawasan yang berisiko bencana.
- ❖ Kapasitas yang rendah dari berbagai komponen di dalam masyarakat.

Berbagai macam fenomena bencana diklasifikasikan berdasarkan penyebab utamanya. Secara umum bencana dibagi dalam dua kategori yaitu bencana alam (*natural disaster*) dan bencana buatan (*artificial disaster*). Kebanyakan bencana alam disebabkan oleh kondisi anomali cuaca. Beberapa penyebab bencana alam seperti hujan ekstrim, angin kencang, gempa bumi, gunung berapi, gelombang air pasang dan sebagainya. Sedangkan bencana buatan umumnya disebabkan oleh aktivitas manusia (*Ikeya, 1976*). Dalam makalah ini secara spesifik akan membahas tentang bencana sedimen seperti tanah longsor, aliran debris dan kegagalan lereng.

### 1.1 Bencana Sedimen

Bencana sedimen didefinisikan sebagai fenomena yang menyebabkan kerusakan baik secara langsung ataupun tidak langsung pada kehidupan manusia dan harta benda, ketidaknyamanan bagi kehidupan masyarakat, dan atau kerusakan lingkungan, melalui suatuskala besar pergerakan tanah dan batuan.

Kerusakan akibat bencana ini dapat terjadi dalam 4 bentuk: 1) bangunan dan lahan pertanian hilang akibat tanah longsor atau erosi, 2) rumah-rumah hancur oleh daya rusak tanah dan batuan selama pergerakan tanah atau batuan, 3) rumah dan lahan pertanian terkubur di bawah tanah oleh akumulasi skala besar sedimen, dan 4) peningkatan endapan pada dasar sungai dan penguburan waduk disebabkan oleh sedimen sepanjang sungai yang dapat mengundang datangnya banjir,

gangguan fungsi penggunaan air, dan kerusakan lingkungan (*Ministry of Land, Infrastructure and Transport-Japan, 2004*).

Beberapa ciri-ciri umum dari bencana sedimen adalah:

- ❖ Adanya aliran material massa.
- ❖ Adanya media pencampur air atau fluida.
- ❖ Melaju dari posisi yang tinggi ke daerah yang lebih rendah.
- ❖ Adanya pengaruh gravitasi terhadap material massa.
- ❖ Membentuk perlapisan atau sedimen terhadap lingkungan yang dilalui.
- ❖ Membentuk morfologi baru pada daerah yang mengalami bencana.
- ❖ Mengakibatkan kerusakan dan kerugian nyawa, materi dan infrastruktur.

Bencana sedimen merupakan salah satu bentuk hasil dari daya rusak air, dimana bencana sedimen memiliki potensi daya rusak yang besar dan bersifat masif secara langsung atau tidak langsung yang memiliki tingkat kerusakan, kerugian dan fatalitas tinggi. Menilik dari pengalaman bencana sedimen berpotensi merusak struktur dan infrastruktur serta memiliki potensi kerugian ekonomi tinggi. Tingkat fatalitas bencana sedimen cukup tinggi dimana potensi timbulnya korban jiwa dan kerusakan sangat tinggi.

Bencana sedimen dapat dibedakan berdasarkan sumber sedimen (*onsite*) dan tempat deposisi sedimen (*off site*). Sumber sedimen meliputi tanah longsor akibat gempa, tanah longsor akibat aktifitas vulkanik, tanah longsor akibat hujan, gunung runtuh, kegagalan, lahar panas dan lahar dingin. Sedangkan tempat deposisi sedimen meliputi sedimentasi dam/waduk, sedimentasi sungai, sedimentasi danau, erosi dan abrasi pantai.

Pada Gambar 1 menjelaskan diagram proses terjadinya bencana sedimen. Volume besar tanah dan pasir dapat dihasilkan oleh erosi, akan tetapi tidak selalu akan menimbulkan bencana dari erosi tersebut. Misalkan, jika jumlah tanah dan pasir (A) lebih kecil dibanding dengan sedimen yang diperkenankan atau sedimen tidak berbahaya (B), maka bencana tidak terjadi. Bahkan dalam kasus seperti jika (A) lebih besar dari (B), hasilnya tidak disebut bencana jika tidak ada rumah, masyarakat, atau fasilitas umum yang terlibat.



Gambar 1: Proses kejadian bencana sedimen.

## 1.2 Faktor Mekanis dan Faktor Pendorong Bencana Sedimen

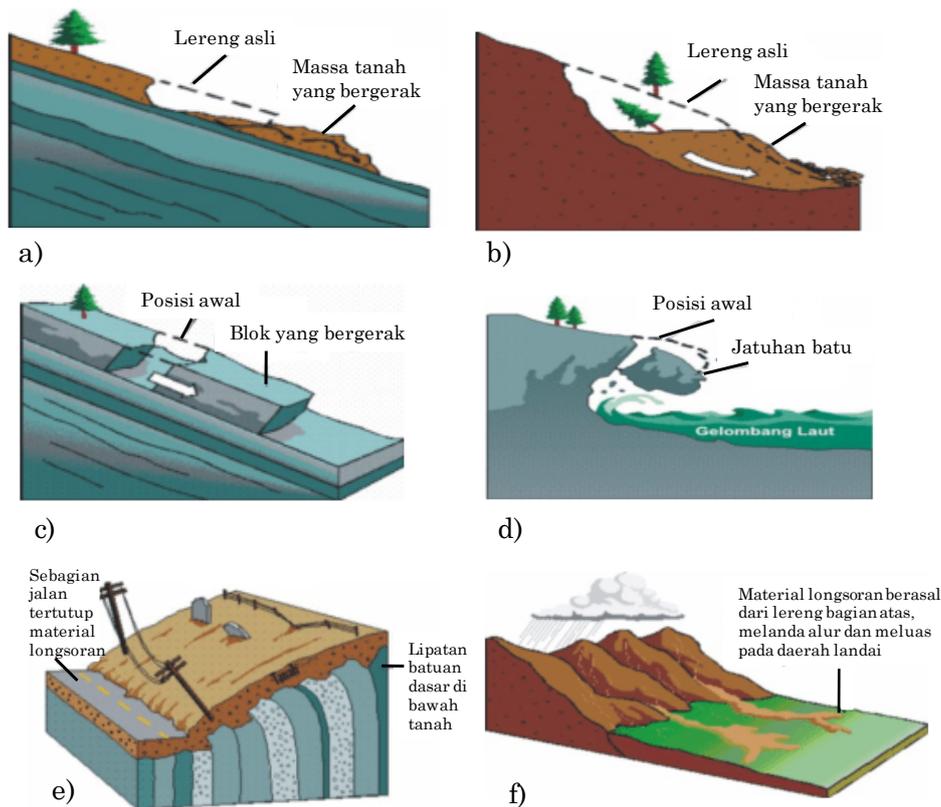
Faktor mekanis dan faktor pendorong adalah faktor yang memberikan kontribusi terhadap terjadinya bencana sedimen. Faktor mekanis adalah kondisi internal suatu tempat yang dapat menyebabkan bencana sedimen terjadi, sedangkan faktor pendorong adalah kekuatan dari luar yang dapat menyebabkan bencana sedimen terjadi. Pada Tabel 1 diuraikan faktor mekanis dan faktor pendorong terjadinya bencana sedimen.

Tabel 1: Faktor mekanis dan faktor pendorong bencana sedimen.

Uraian	Aliran debris	Kegagalan lereng	Tanah Longsor
Faktor Mekanis	<p><b>Topografi DAS:</b> keberadaan dalam lereng bukit yang tidak stabil dan curam, adanya air tanah dan mata air.</p> <p><b>Topografi sungai:</b> longitudinal gradien dasar sungai dan longitudinal konfigurasi arah sungai.</p> <p><b>Sedimen yang tidak stabil:</b> lapisan tanah lapuk yang tebal pada sisi bukit dengan kemiringan, ketebalan dan jumlah sedimen sungai, konsentrasi volumetrik dan distribusi ukuran butir dari sedimen yang terakumulasi.</p>	<p><b>Geologi:</b> selain dari kekuatan batuan, faktor dominan adalah tingkat pelapukan, perubahan, retak dan patah, arah lapisan, kondisi pori lapisan, dan distribusi lapisan yang hilang seperti lapisan permukaan.</p> <p><b>Topografi:</b> kegagalan lereng cenderung terjadi pada lereng 40-50<sup>o</sup>, dan pada lereng atau daerah mudah untuk menampung air, seperti lereng yang cekung.</p> <p><b>Vegetasi:</b> hutan memiliki efek untuk mencegah keruntuhan berkaitan dengan kegagalan disebabkan oleh infiltrasi curah hujan.</p>	Tanah longsor terjadi paling sering pada lapisan yang disebut formasi tersier yang terbentuk sekitar 2 sampai 6 juta tahun yang lalu. Ini disebabkan karena formasi ini relatif baru, batuan rendah dengan tingkat pemadatan dan kurang tahan terhadap pelapukan. Pelapukan dari formasi ini adalah khas dalam tanah dan batuan dengan cepat menjadi butiran dan menjadi lempung. Dua jenis batu berupa batu pasir dan batu lempung, memiliki properti pembengkakan yang merupakan salah satu penyebab tanah longsor.
Faktor Pendorong	<p><b>Curah hujan:</b> peningkatan mendadak debit air dan intensitas air hujan yang tinggi.</p> <p><b>Aktivitas gempa, vulkanik:</b> jumlah sedimen yang tidak stabil dihasilkan oleh kegagalan lereng (faktor mekanis), runtuhnya sebuah kawah disebabkan oleh letusan vulkanik.</p>	<p><b>Curah hujan:</b> jumlah kegagalan lereng meningkat jika curah hujan dengan intensitas tinggi terjadi ketika tanah dalam keadaan lembab.</p> <p><b>Aktivitas gempa, vulkanik:</b> tanah menjadi tidak stabil ketika lereng stress akibat gempa bumi atau letusan gunung berapi.</p> <p><b>Air tanah:</b> peningkatan tekanan air pori tanah disebabkan karena aliran bawah permukaan oleh curah hujan menyebabkan kegagalan lereng.</p> <p><b>Aktivitas buatan:</b> deforestasi dan mengubah lereng alami dengan pemotongan dan penimbunan lereng.</p>	Faktor pendorong menyebabkan tanah longsor adalah air. Air dari hujan meresap ke dalam tanah. Air yang meresap menghasilkan tekanan air pori dan kemudian menurunkan kekuatan geser tanah. Oleh karena itu, tanah longsor cenderung terjadi pada musim hujan. Sementara itu, tanah longsor yang disebabkan oleh aktivitas manusia dikelompokkan menjadi dua jenis: tanah longsor yang terjadi akibat pemotongan lereng di daerah longsor dan tanah longsor yang terjadi akibat pemotongan atau penimbunan pada lereng bukan daerah longsor.

Tanah longsor dapat di bagi enam berdasarkan proses kejadiannya, yaitu: longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan (Highland et al., 2008). Jenis longsor translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia. Sedangkan longsor yang paling banyak memakan korban jiwa manusia adalah aliran bahan rombakan. Penjelasan terhadap tipe tanah longsor diuraikan di bawah ini dan juga ditunjukkan pada Gambar 2.

- 1) **Longsor translasi:** Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai.
- 2) **Longsor rotasi:** Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.
- 3) **Pergerakan blok:** perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsor ini disebut juga longsor translasi blok batu.
- 4) **Runtuhan batu:** 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. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah.
- 5) **Rayapan tanah:** jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenali. Setelah waktu yang cukup lama, longsor jenis rayapan ini bisa menyebabkan tiang-tiang telepon, pohon, atau rumah miring ke bawah.
- 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, dan jenis materialnya. Gerakannya terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter jauhnya. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai di sekitar gunung api. Aliran tanah ini dapat menelan korban cukup banyak.



Gambar 2: Jenis-jenis tanah longsor: a) Longsor translasi, b) Longsor rotasi, c) Pergerakan blok, d) Runtuhan batu, e) Rayapan tanah, f) Aliran bahan rombakan.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan kejadian bencana tanah longsor di Indonesia diuraikan di bawah ini.

- ❖ **Hujan:** ancaman tanah longsor biasanya dimulai pada bulan November karena meningkatnya intensitas curah hujan. Musim kering yang panjang akan menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah besar. Hal itu mengakibatkan munculnya pori-pori atau rongga tanah hingga terjadi retakan dan merekahnya tanah permukaan. Ketika hujan, air akan menyusup ke bagian yang retak sehingga tanah dengan cepat mengembang kembali. Pada awal musim hujan, intensitas hujan yang tinggi biasanya sering terjadi, sehingga kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu singkat. Hujan lebat pada awal musim dapat menimbulkan longsor, karena melalui tanah yang merekah air akan masuk dan terakumulasi di bagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral. Bila ada pepohonan di permukaannya, tanah longsor dapat dicegah karena air akan diserap oleh tumbuhan. Akar tumbuhan juga akan berfungsi mengikat tanah.
- ❖ **Lereng terjal:** lereng atau tebing yang terjal akan memperbesar gaya pendorong. Lereng yang terjal terbentuk karena pengikisan air sungai, mata air, air laut dan angin. Kebanyakan sudut lereng yang menyebabkan longsor adalah  $20^\circ$  apabila ujung lerengnya terjal dan bidang longsorannya mendatar.
- ❖ **Tanah yang kurang padat dan tebal:** jenis tanah yang kurang padat adalah tanah lempung atau tanah liat dengan ketebalan lebih dari 2,5 m dan sudut lereng lebih dari  $22^\circ$ . Tanah jenis ini memiliki potensi untuk terjadinya tanah longsor terutama bila terjadi hujan. Selain itu tanah ini sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena menjadi lembek terkena air dan pecah ketika hawa terlalu panas.
- ❖ **Batuan yang kurang kuat:** batuan endapan gunung api dan batuan sedimen berukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir dan lempung umumnya kurang kuat. Batuan tersebut akan

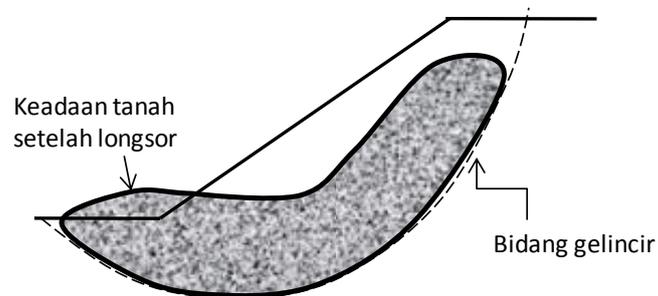
mudah menjadi tanah bila mengalami proses pelapukan dan umumnya rentan terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal.

- ❖ **Jenis tata lahan:** tanah longsor banyak terjadi di daerah tata lahan persawahan, perladangan, dan adanya genangan air di lereng yang terjal. Pada lahan persawahan akarnya kurang kuat untuk mengikat butir tanah dan membuat tanah menjadi lembek dan jenuh dengan air sehingga mudah terjadi longsor. Sedangkan untuk daerah perladangan penyebabnya adalah karena akar pohonnya tidak dapat menembus bidang longsoran yang dalam dan umumnya terjadi di daerah longsoran lama.
- ❖ **Getaran:** terjadi biasanya diakibatkan oleh gempa bumi, ledakan, getaran mesin, dan getaran lalu lintas kendaraan. Akibat yang ditimbulkannya adalah tanah, badan jalan, lantai, dan dinding rumah menjadi retak.
- ❖ **Susut muka air danau atau bendungan:** akibat susutnya muka air yang cepat di danau maka gaya penahan lereng menjadi hilang, dengan sudut kemiringan waduk  $22^\circ$  mudah terjadi longsoran dan penurunan tanah yang biasanya diikuti oleh retakan.
- ❖ **Adanya beban tambahan:** adanya beban tambahan seperti beban bangunan pada lereng, dan kendaraan akan memperbesar gaya pendorong terjadinya longsor, terutama di sekitar tikungan jalan pada daerah lembah. Akibatnya adalah sering terjadinya penurunan tanah dan retakan yang arahnya ke arah lembah.
- ❖ **Pengikisan/erosi:** pengikisan banyak dilakukan oleh air sungai ke arah tebing. Selain itu akibat penggundulan hutan di sekitar tikungan sungai, tebing akan menjadi terjal.
- ❖ **Adanya material timbunan pada tebing:** untuk mengembangkan dan memperluas lahan pemukiman umumnya dilakukan pemotongan tebing dan penimbunan lembah. Tanah timbunan pada lembah tersebut belum terpadatkan sempurna seperti tanah asli yang ada di bawahnya, sehingga apabila hujan akan terjadi penurunan tanah yang kemudian diikuti dengan retakan tanah.
- ❖ **Bekas longsoran lama:** longsoran lama umumnya terjadi selama dan setelah terjadi pengendapan material gunung api pada lereng yang relatif terjal atau pada saat atau sesudah terjadi patahan kulit bumi. Bekas longsoran lama memiliki ciri: adanya tebing terjal yang panjang melengkung membentuk tapal kuda, umumnya dijumpai mata air, pepohonan yang relatif tebal karena tanahnya gembur dan subur, daerah badan longsor bagian atas umumnya relatif landai, dijumpai longsoran kecil terutama pada tebing lembah, dijumpai tebing-tebing relatif terjal yang merupakan bekas longsoran kecil pada longsoran lama, dijumpai alur lembah dan pada tebingnya dijumpai retakan dan longsoran kecil, longsoran lama ini cukup luas.
- ❖ **Adanya bidang diskontinuitas (bidang tidak sinambung):** memiliki ciri-ciri; bidang perlapisan batuan, bidang kontak antara tanah penutup dengan batuan dasar, bidang kontak antara batuan yang retak-retak dengan batuan yang kuat, bidang kontak antara batuan yang dapat melewatkan air dengan batuan yang tidak melewatkan air (kedap air), bidang kontak antara tanah yang lembek dengan tanah yang padat, bidang-bidang tersebut merupakan bidang lemah dan dapat berfungsi sebagai bidang luncuran tanah longsor.
- ❖ **Penggundulan hutan:** tanah longsor umumnya banyak terjadi di daerah yang relatif gundul dimana pengikatan air tanah sangat kurang.
- ❖ **Daerah pembuangan sampah:** penggunaan lapisan tanah yang rendah untuk pembuangan sampah dalam jumlah banyak dapat mengakibatkan tanah longsor apalagi ditambah dengan guyuran hujan.

### 1.3 Mekanisme Terjadinya Bencana Sedimen

Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horisontal disebut sebagai lereng (*slope*). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen

massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (*driving force*) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 di bawah ini.



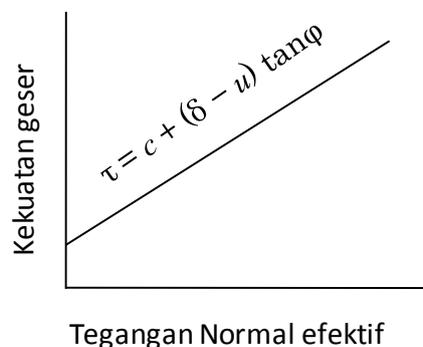
Gambar 3: Kelongsoran lereng.

Kegagalan lereng dapat terjadi dalam setiap lereng yang curam. Faktor pendorong kegagalan lereng terutama yang bersifat mengurangi resistensi geser tanah pada lereng, seperti curah hujan dan meningkatnya tingkat air tanah.

Di sisi lain, tanah longsor dari tipe akumulasi sedimen sungai (*sediment gradien type*) dipicu ketika massa tanah kehilangan stabilitas akibat pengaruh kejenuhan. Mekanisme terjadinya tipe longsor pada prinsipnya sama dengan penggunaan dalam analisis stabilitas lereng. Secara sederhana, kegagalan lereng dan aliran debris terjadi ketika gaya untuk memindahkan massa tanah menjadi lebih besar dari perlawanan geser yang diperoleh dari persamaan *Mohr-Coulomb* di bawah ini dan ditunjukkan pada Gambar 4.

$$\tau = c + (\delta - u) \tan \phi \quad (1)$$

dimana :  $\tau$  = tegangan total pada bidang geser       $c$  = kohesi efektif  
 $u$  = tegangan air pori       $\phi$  = sudut geser dalam efektif



Gambar 4: Kekuatan geser tanah/batuan.

Untuk menilai potensi terjadinya tanah longsor atau kegagalan lereng faktor keamanan ( $F_s$ ) harus dimasukkan. Faktor Keamanan yang menunjukkan stabilitas lereng ditentukan oleh rasio kekuatan geser dengan tegangan geser, yang dinyatakan dengan rumus:

$$F_s = \tau_L / \tau \quad (2)$$

dimana:  $F_s$  = faktor keamanan,  $\tau_L$  = kekuatan geser dan  $\tau$  = tegangan geser

Sedangkan stabilitas lereng dinilai dengan menggunakan kriteria sebagai berikut:

$F_s > 1$  : kegagalan lereng tidak mungkin terjadi

$F_s < 1$  : kegagalan lereng mungkin terjadi

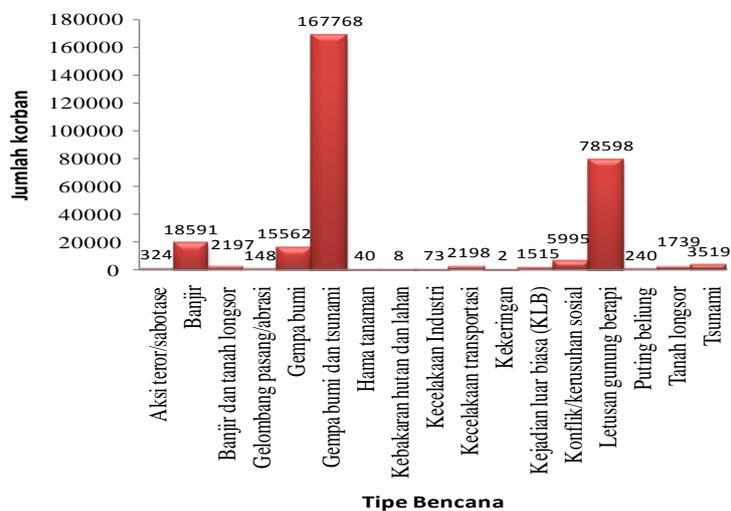
$F_s = 1$  : lereng dalam kondisi kritis

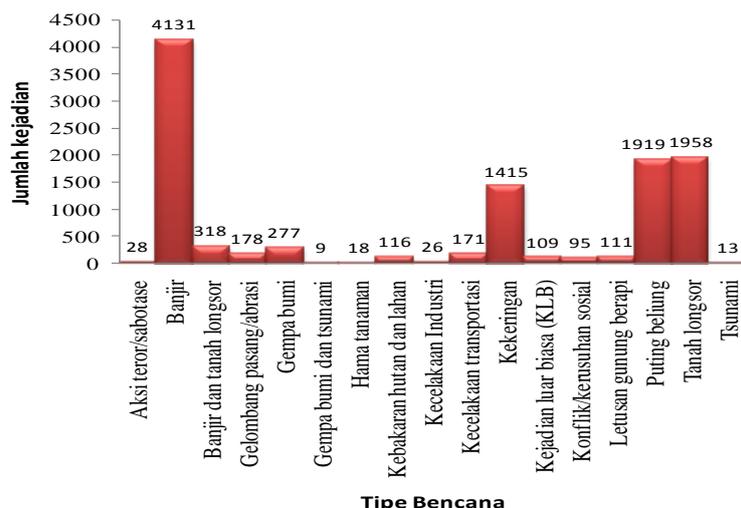
## 2. BENCANA SEDIMEN DI INDONESIA

Indonesia merupakan negara dengan potensi bahaya (*hazard potency*) yang sangat tinggi. Potensi bencana yang ada di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) kelompok utama, yaitu potensi bahaya utama (*main hazard*) dan potensi bahaya ikutan (*collateral hazard*). Potensi bahaya utama (*main hazard potency*) ini dapat dilihat antara lain pada peta potensi bencana gempa di Indonesia yang menunjukkan bahwa Indonesia adalah wilayah dengan zona-zona gempa yang rawan, peta potensi bencana tanah longsor, peta potensi bencana letusan gunung api, peta potensi bencana tsunami, peta potensi bencana banjir, dan lain-lain. Dari indikator-indikator di atas dapat disimpulkan bahwa Indonesia memiliki potensi bahaya utama (*main hazard potency*) yang tinggi.

Di samping tingginya potensi bahaya utama, Indonesia juga memiliki potensi bahaya ikutan (*collateral hazard potency*) yang sangat tinggi. Hal ini dapat dilihat dari beberapa indikator misalnya likuifaksi, persentase bangunan yang terbuat dari kayu, kepadatan bangunan, dan kepadatan industri berbahaya. Potensi bahaya ikutan (*collateral hazard potency*) ini sangat tinggi terutama di daerah perkotaan yang memiliki kepadatan, persentase bangunan kayu (utamanya di daerah pemukiman kumuh perkotaan), dan jumlah industri berbahaya, yang tinggi. Dengan indikator di atas, perkotaan Indonesia merupakan wilayah dengan potensi bencana yang sangat tinggi.

Di Indonesia, bencana sedimen khususnya tanah longsor merupakan bencana yang paling sering terjadi setelah bencana banjir. Jumlah kejadian mencapai 18% dari total kejadian bencana (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, BNPB, 2012). Pada Gambar 5 di bawah ini terlihat distribusi bencana berdasarkan tipe bencana, korban dan jumlah kejadian dari tahun 1815 hingga 2012. Melihat jumlah korban meninggal akibat bencana yang terjadi maka gempa bumi disertai tsunami adalah tipe bencana yang paling banyak menelan korban di samping letusan gunung berapi. Akan tetapi jika melihat dari jumlah kejadian bencana di Indonesia maka banjir dan tanah longsor merupakan tipe bencana yang paling sering terjadi.





Gambar 5: Distribusi bencana berdasarkan tipe bencana, korban dan jumlah kejadian dari tahun 1815 hingga 2012.

Berdasarkan data BNPB 2012 satu tahun terakhir (13-8-2011 sampai 16-7-2012) terdapat 67 kejadian bencana terkait sedimen khususnya tanah longsor di Indonesia pada berbagai provinsi. Dari kejadian ini telah menelan korban sebanyak 74 jiwa meninggal dunia, ratusan rumah mengalami kerusakan, fasilitas umum dan luka ringan maupun luka berat pada penduduk. Lima provinsi yang paling sering mengalami bencana tanah longsor satu tahun terakhir ini adalah Provinsi Jawa Barat mencapai 31% dari total bencana tanah longsor, kemudian disusul Provinsi Jawa Tengah mencapai 18% dan selanjutnya Provinsi Sumatera Selatan mencapai 9%, Provinsi Sumatera Barat 7% dan Provinsi Jawa Timur, Sumatera Utara dan Maluku masing-masing 4%. Selain itu Provinsi lainnya yang cukup mengalami kejadian bencana tanah longsor satu tahun terakhir ini adalah Provinsi Nusa Tenggara barat, Bengkulu, Bali, Banten, Sulawesi Utara, Sulawesi Barat, Sulawesi Tengah, Lampung dan Kalimantan Selatan.

### 3. MITIGASI BENCANA SEDIMEN

#### 3.1 Konsep Mitigasi Bencana Sedimen

Mitigasi bencana adalah istilah yang digunakan untuk menunjuk pada semua tindakan untuk mengurangi dampak dari suatu bencana yang dapat dilakukan sebelum bencana itu terjadi, termasuk kesiapan dan tindakan-tindakan pengurangan resiko jangka panjang. Dalam Undang-undang RI No.24 tahun 2007 menyebutkan bahwa mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.

Mitigasi bencana mencakup baik perencanaan dan pelaksanaan tindakan-tindakan untuk mengurangi resiko-resiko yang terkait dengan bahaya-bahaya karena ulah manusia dan bahaya alam yang sudah diketahui, dan proses perencanaan untuk respon yang efektif terhadap bencana-bencana yang benar-benar terjadi (Coburn *et al.*, 1994).

Konsep mitigasi bencana adalah bahwa seorang yang bijaksana tidak akan mendekati daerah bahaya dan mengevakuasi diri dari bahaya. Konsep ini memiliki arti yang sangat penting dalam rangka mencegah ataupun mengurangi dampak bencana yang mungkin terjadi. Tidak bermukim pada daerah yang rawan longsor adalah salah satu bentuk mengimplementasi dari konsep ini, yakni tidak mendekati daerah berbahaya.

Ada empat hal penting dalam mitigasi bencana, yaitu :1) tersedia informasi dan peta kawasan rawan bencana untuk tiap jenis bencana; 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 timbul, dan 4) pengaturan dan penataan kawasan rawan bencana untuk mengurangi ancaman bencana.

### **3.2 Strategi Mitigasi Bencana Sedimen**

Beberapa strategi dalam mitigasi bencana dapat dilaksanakan sebagai suatu kebijakan sebagai berikut:

#### **❖ Pemetaan**

Langkah pertama dalam strategi mitigasi ialah melakukan pemetaan daerah rawan bencana. Pada saat ini berbagai sektor telah mengembangkan peta rawan bencana. Peta rawan bencana tersebut sangat berguna bagi pengambil keputusan terutama dalam antisipasi kejadian bencana alam. Meskipun demikian sampai saat ini penggunaan peta ini belum dioptimalkan. Hal ini disebabkan karena beberapa hal, diantaranya adalah : 1) Belum seluruh wilayah di Indonesia telah dipetakan, 2) Peta yang dihasilkan belum tersosialisasi dengan baik, 3) Peta bencana belum terintegrasi, 4) Peta bencana yang dibuat memakai peta dasar yang berbeda-beda sehingga menyulitkan dalam proses integrasinya.

#### **❖ Pemantauan**

Dengan mengetahui tingkat kerawanan secara dini, maka dapat dilakukan antisipasi jika sewaktu-waktu terjadi bencana, sehingga akan dengan mudah melakukan penyelamatan. Pemantauan di daerah vital dan strategis secara jasa dan ekonomi dilakukan di beberapa kawasan rawan bencana.

#### **❖ Penyebaran informasi**

Penyebaran informasi dilakukan antara lain dengan cara: memberikan poster dan leaflet kepada Pemerintah Kabupaten/Kota dan Provinsi seluruh Indonesia yang rawan bencana, tentang tata cara mengenali, mencegah dan penanganan bencana. Memberikan informasi ke media cetak dan elektronik tentang kebencanaan adalah salah satu cara penyebaran informasi dengan tujuan meningkatkan kewaspadaan terhadap bencana geologi di suatu kawasan tertentu. Koordinasi pemerintah daerah dalam hal penyebaran informasi diperlukan mengingat Indonesia sangat luas.

#### **❖ Sosialisasi dan Penyuluhan**

Sosialisasi dan penyuluhan tentang segala aspek kebencanaan kepada SATKOR-LAK PB, SATLAK PB, dan masyarakat bertujuan meningkatkan kewaspadaan dan kesiapan menghadapi bencana jika sewaktu-waktu terjadi. Hal penting yang perlu diketahui masyarakat dan pemerintah daerah ialah mengenai hidup harmonis dengan alam di daerah bencana, apa yang perlu dilakukan dan dihindarkan di daerah rawan bencana, dan mengetahui cara menyelamatkan diri jika terjadi bencana.

#### **❖ Pelatihan/Pendidikan**

Pelatihan difokuskan kepada tata cara pengungsian dan penyelamatan jika terjadi bencana. Tujuan latihan lebih ditekankan pada alur informasi dari petugas lapangan, pejabat teknis, SATKORLAK PB, SATLAK PB dan masyarakat sampai ke tingkat pengungsian dan penyelamatan korban bencana. Dengan pelatihan ini terbentuk kesiagaan tinggi menghadapi bencana akan terbentuk.

#### **❖ Peringatan Dini**

Peringatan dini dimaksudkan untuk memberitahukan tingkat kegiatan hasil pengamatan secara kontinyu di suatu daerah rawan dengan tujuan agar persiapan secara dini dapat dilakukan guna mengantisipasi jika sewaktu-waktu terjadi bencana. Peringatan dini tersebut disosialisasikan kepada masyarakat melalui pemerintah daerah dengan tujuan memberikan kesadaran masyarakat dalam menghindari diri dari bencana. Peringatan dini secara teknis dapat dilakukan antara lain dengan pengalihan jalur jalan (sementara atau seterusnya), pengungsian dan atau relokasi.

Sedangkan tindakan yang dapat dilakukan selama dan sesudah kejadian bencana sedimen antara lain:

- *Tanggap darurat*: yang dilakukan dalam tahap tanggap darurat adalah penyelamatan dan pertolongan korban secepatnya supaya korban tidak bertambah. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain: kondisi medan, kondisi bencana, peralatan dan informasi bencana.
- *Rehabilitasi*: upaya pemulihan korban dan prasarannya, meliputi kondisi sosial, ekonomi, dan sarana transportasi. Selain itu dikaji juga perkembangan sedimen terkait bencana dan teknik pengendaliannya supaya sedimen terkait bencana tidak berkembang. Penentuan relokasi korban perlu ditetapkan jika bencana sedimen sulit dikendalikan.
- *Rekonstruksi*: penguatan bangunan-bangunan infrastruktur di daerah rawan bencana sedimen tidak menjadi pertimbangan utama untuk mitigasi kerusakan yang disebabkan oleh sedimen seperti tanah longsor, karena kerentanan untuk bangunan-bangunan yang dibangun pada jalur tanah longsor hampir 100%.

### **3.3 Langkah Pengendalian Bencana Sedimen**

Dalam kasus bencana sedimen, sangat sulit untuk melakukan tindakan secara menyeluruh terhadap pengendalian di setiap lokasi yang rawan. Ini disebabkan karena lokasi kejadian hampir tak terhitung jumlahnya. Oleh karena itu, penting untuk mengurangi kerusakan dengan mendirikan peringatan yang efektif dan sistem evakuasi, yang mencakup jangkauan wilayah bahaya, prediksi fenomena berbahaya yang mengarah ke bencana, dan penunjukan wilayah bahaya bencana sedimen. Sebenarnya, banyak kasus telah dilaporkan di mana orang tidak terkena dalam bencana sedimen karena mereka dievakuasi tepat pada waktunya dengan mendeteksi tanda-tanda bencana dengan cepat. Ini jelas menunjukkan bahwa masyarakat setempat memiliki pengetahuan tentang potensi bencana di daerah mereka.

Sebelum zaman modern, beberapa orang tinggal di daerah rentan terhadap bencana sedimen. Mereka menurunkan pengalaman bencana dari generasi ke generasi sebagai sejarah daerah mereka. Namun, dengan peningkatan jumlah penduduk dan perluasan lahan pertanian setelah memasuki zaman modern, penduduk yang tinggal di daerah berbahaya telah meningkat pesat. Masyarakat yang tinggal di daerah yang baru dikembangkan seringkali tidak memiliki pengetahuan tentang bencana sedimen.

Ada dua pendekatan untuk mengendalikan bencana sedimen yaitu dengan pendekatan struktur dan non struktur. Pendekatan dengan struktur dapat dilakukan dengan cara membangun bangunan pengendali sedimen. Sedangkan pendekatan dengan non struktur dapat dilakukan mempertimbangkan metode seperti: (i) pengembangan sistem peringatan dan evakuasi (ii) membatasi penggunaan lahan pada daerah beresiko bencana sedimen (iii) mempersiapkan peta bahaya bencana dengan melibatkan masyarakat.

Mencegah terjadinya bencana dengan pengendalian faktor mekanis dan faktor pendorong dengan pendekatan struktur merupakan pendekatan yang paling dasar untuk pencegahan bencana. Pendekatan ini membutuhkan biaya yang tidak sedikit untuk merealisasikannya. Harus dipahami bahwa bencana kadang-kadang menyerang kita di luar kemampuan dan prediksi kita. Oleh karena bencana kadang sangat sulit untuk mengidentifikasi lokasi dan waktu kejadian sebelumnya. Pencegahan sempurna dari bencana sedimen hampir mustahil dilakukan meskipun dengan perkembangan teknologi yang maju saat ini, dengan demikian secara bersama upaya yang terus menerus untuk mencegah terjadinya bencana sedimen. Aspek lain yang penting menjadi fokus adalah untuk mencegah dampak lebih besar kerusakan jika bencana terjadi dan hal ini dapat dilakukan dengan sistem evakuasi yang efektif.

#### **3.3.1 Pendekatan struktur terhadap aliran debris**

Sebagai metode untuk pengendalian aliran debris, ada tiga metode yang dipertimbangkan: (i) mencegah gerakan aliran debris yang akan mulai bergerak, (ii) mencegah gerakan aliran debris yang sudah mulai bergerak, (iii) mengendalikan energi dari gerakan aliran debris. Tindakan pengendalian

terhadap aliran debris harus ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi topografi, subjek konservasi, penyebab aliran debris, daerah kejadian, daerah yang dialiri dan daerah sedimentasi.

### 3.3.2 Pendekatan struktur terhadap pencegahan kegagalan lereng

Secara umum, pencegahan bencana terkait kegagalan lereng dengan menggunakan pendekatan struktural diklasifikasikan menjadi dua jenis pekerjaan yaitu: pekerjaan pengawasan dan pekerjaan pengendalian. Pekerjaan pengawasan digunakan untuk mengurangi faktor-faktor yang dapat menyebabkan kegagalan lereng, sedangkan pekerjaan pengendalian dimaksudkan untuk mencegah kegagalan lereng dengan instalasi struktur.

## 4. PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DAN EVAKUASI

Sistem peringatan (*warning system*) merupakan serangkaian sistem untuk memberitahukan akan timbulnya kejadian alam, dapat berupa bencana maupun tanda-tanda alam lainnya. Peringatan dini pada masyarakat atas bencana merupakan tindakan memberikan informasi dengan bahasa yang mudah dicerna oleh masyarakat. Kesigapan dan kecepatan reaksi masyarakat diperlukan karena waktu yang sempit dari saat dikeluarkannya informasi dengan saat (dugaan) datangnya bencana. Kondisi kritis, waktu sempit, bencana besar dan penyelamatan penduduk merupakan faktor-faktor yang membutuhkan peringatan dini. Semakin dini informasi yang disampaikan, semakin longgar waktu bagi penduduk untuk meresponnya.

Keluarnya informasi tentang kondisi bahaya merupakan muara dari suatu alur proses analisis data mentah tentang sumber bencana dan sintesis dari berbagai pertimbangan. Ketepatan informasi hanya dapat dicapai apabila kualitas analisis menuju pada keluarnya informasi mempunyai ketepatan yang tinggi. Dengan demikian dalam hal ini terdapat dua bagian utama dalam peringatan dini yaitu bagian hulu yang berupa usaha-usaha untuk mengemas data menjadi informasi yang tepat dan bagian hilir berupa usaha agar informasi cepat sampai di masyarakat.

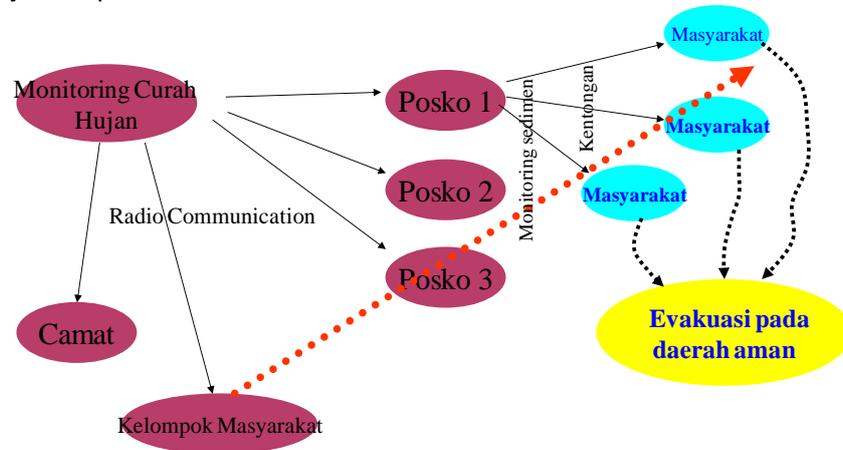
Bagi masyarakat Indonesia, sistem peringatan dini dalam menghadapi bencana sangatlah penting, mengingat secara geologis dan klimatologis wilayah Indonesia termasuk daerah rawan bencana alam. Dengan ini diharapkan akan dapat dikembangkan upaya-upaya yang tepat untuk mencegah atau paling tidak mengurangi terjadinya dampak bencana alam bagi masyarakat. Keterlambatan dalam menangani bencana dapat menimbulkan kerugian yang semakin besar bagi masyarakat. Dalam siklus manajemen penanggulangan bencana, sistem peringatan dini bencana alam mutlak sangat diperlukan dalam tahap kesiagaan, sistem peringatan dini untuk setiap jenis data, metode pendekatan maupun instrumentasinya. Tujuan akhir dari peringatan dini ini adalah masyarakat dapat tinggal dan beraktivitas dengan aman pada suatu daerah serta tertatanya suatu kawasan. Untuk mencapai tujuan akhir tersebut maka sebelumnya perlu dicapai beberapa hal sebagai berikut; (a) diketahuinya daerah-daerah rawan bencana di Indonesia, (b) meningkatkan pengetahuan (*knowledge*), sikap (*attitude*) dan praktik (*practice*) dari masyarakat dan aparat terhadap fenomena bencana, gejala-gejala awal dan mitigasinya, (c) tertatanya suatu kawasan dengan mempertimbangkan potensi bencana, (d) secara umum perlu pemahaman terhadap sumber bencana.

Evakuasi adalah perpindahan langsung dan cepat bagi orang-orang untuk menjauh dari ancaman atau kejadian yang membahayakan. Evakuasi merupakan bagian dari manajemen bencana. Rencana evakuasi dikembangkan untuk memastikan waktu evakuasi yang paling aman dan efisien bagi penduduk dari ancaman suatu bangunan, kota, atau wilayah. Urutan evakuasi dapat dibagi ke dalam tahap-tahap berikut:

- ❖ deteksi
- ❖ keputusan
- ❖ alarm
- ❖ reaksi

- ❖ perpindahan ke area perlindungan
- ❖ transportasi

Sistem peringatan dan evakuasi bencana sedimen secara sederhana dapat diaplikasikan di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6: Sistem peringatan dan evakuasi yang dapat diadopsi di Indonesia.

#### 4.1 Aplikasi Ambang Batas Curah Hujan untuk Peringatan Dini

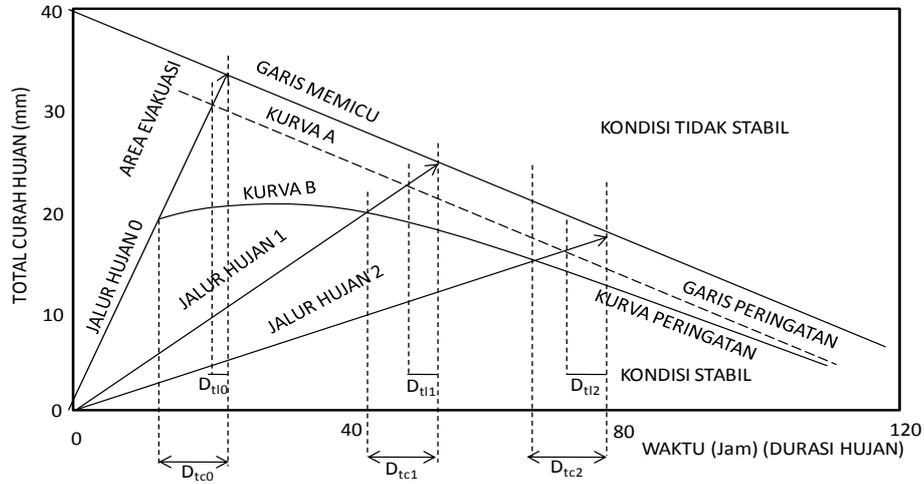
Penggunaan sistem peringatan berbasis ambang batas curah hujan telah banyak digunakan pada berbagai tipe bencana di dunia. Secara umum, ada dua jenis ambang batas curah hujan yaitu; ambang batas empiris (*empirical thresholds*) dan ambang batas fisik (*physical thresholds*). Ambang batas empiris adalah nilai relasional berdasarkan analisis statistik hubungan antara kejadian hujan dan tanah longsor, aliran debris atau kegagalan lereng, sedangkan ambang batas fisik biasanya digambarkan dengan bantuan model hidrologi dan stabilitas yang mempertimbangkan parameter seperti hubungan antara curah hujan dan tekanan air-pori, infiltrasi, morfologi lereng dan struktur batuan dasar.

Sistem peringatan berbasis ambang batas empiris menggunakan komponen terkait dengan prakiraan curah hujan, *real-time* pengamatan curah hujan dan ambang batas curah hujan dengan tanah longsor atau aliran debris. Sistem peringatan ini pertama kali dikembangkan oleh USGS di San Francisco (Keefer *et al.*, 1987; Wilson dan Wiczorek, 1995). Sistem peringatan ini didasarkan pada perkiraan kuantitatif curah hujan (6 jam curah hujan mendatang) dari kantor pelayanan cuaca nasional dalam sebuah sistem jaringan alat pengukur curah hujan *real-time* lebih dari 40 buah secara terus menerus dan ambang batas curah hujan yang menginisiasi tanah longsor (Cannon dan Ellen, 1985).

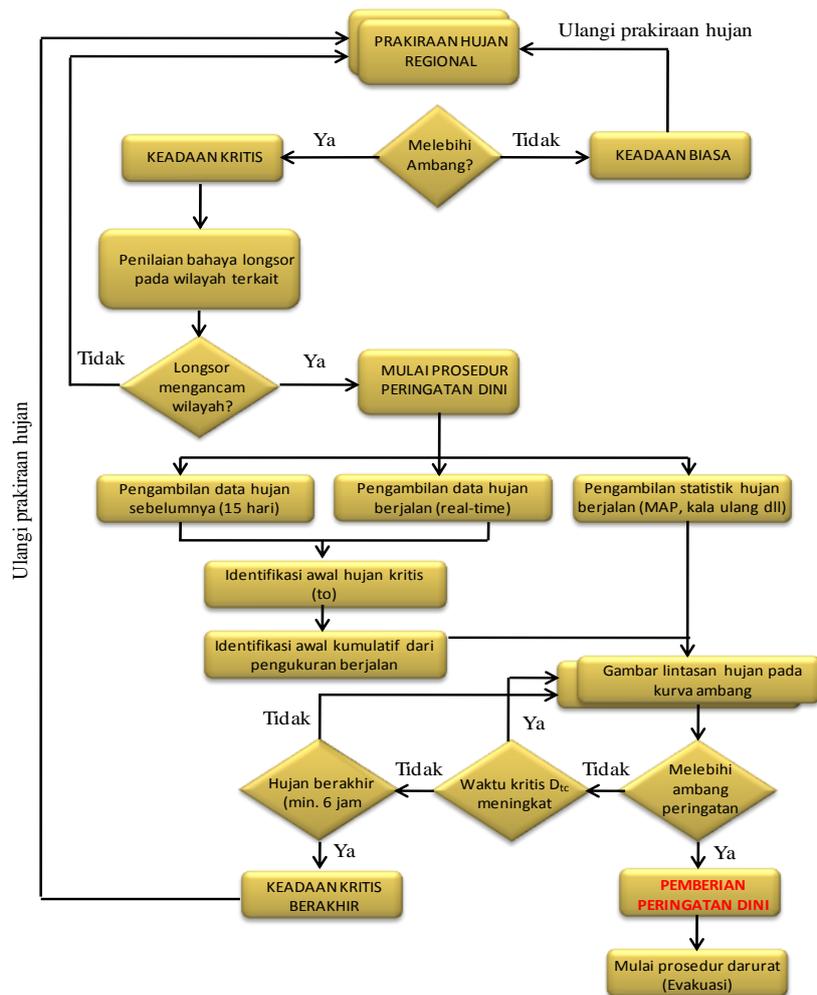
Sistem serupa juga dikembangkan di Hong Kong (Brand *et al.*, 1984.), Italia (Sirangelo dan Braca, 2001), Jepang (Onodera *et al.*, 1974), Selandia Baru (Crozier, 1999), Afrika Selatan (Gardland dan Olivier, 1993) dan Virginia (Wiczorek dan Guzzetti, 1999). Di Hong Kong telah menerapkan sistem komputer secara otomatis untuk sistem peringatan tanah longsor dan ini merupakan sistem yang pertama kali di dunia untuk pendugaan tanah longsor (Premchitt, 1997). Sistem peringatan tanah longsor ini berdasarkan perkiraan curah hujan jangka pendek dan sistem ini dilengkapi alat pengukur curah hujan sebanyak 86 buah. Peringatan akan tanah longsor umumnya dikeluarkan jika dalam 24 jam hujan diperkirakan akan melebihi 175 mm atau dalam satu jam curah hujan diperkirakan akan melebihi 70 mm. Dalam situasi seperti ini radio lokal dan stasiun televisi diminta untuk menyiarkan peringatan kepada publik secara berkala.

Ketika mengidentifikasi ambang batas peringatan maka adalah penting untuk mempertimbangkan dua hal pokok yaitu kecenderungan untuk memicu ambang batas dan masalah logistik yang bisa terjadi selama prosedur darurat evakuasi. Misalnya, batasan peringatan dapat

didefinisikan sebagai kurva yang sejajar dengan ambang memicu (kurva A pada Gambar 7), atau kurva yang ditetapkan sebagai waktu kritis " $\Delta_{tc}$ " (yaitu waktu minimum yang diperlukan untuk mengevakuasi penduduk dari bahaya), bersifat konstan tidak terpengaruh dari jalur hujan dari curah hujan kritis,  $\Delta_{tc1} = \Delta_{tc2}$  (kurva B pada Gambar 18). Sedangkan diagram alir proses pengeluaran peringatan dini terhadap tanah longsor dapat dilihat pada Gambar 8.



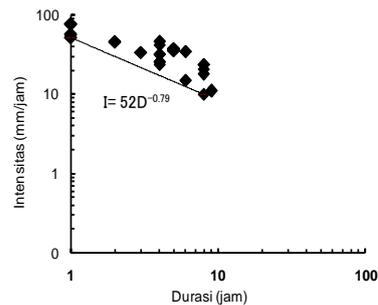
Gambar 7: Kurva peringatan bencana sedimen berdasarkan ambang batas curah hujan. Kurva peringatan didefinisikan sebagai batas di mana jika terlampaui maka prosedur keadaan darurat segera dilakukan (modifikasi dari Aleotti, 2004).



Gambar 8: Diagram alir proses pengeluaran peringatan dini terhadap tanah longsor (dimodifikasi dari Aleotti, 2004).

#### 4.2 Ambang Batas Curah Hujan untuk tanah longsor di Sulawesi Selatan

Suatu penelitian dilaksanakan di Provinsi Sulawesi Selatan tentang ambang batas curah hujan terhadap tanah longsor khususnya tanah longsor dangkal. Penelitian ini menunjukkan bahwa durasi hujan pendek dengan intensitas curah hujan tinggi memicu tanah longsor dangkal di Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini menunjukkan pula bahwa intensitas curah hujan di atas 50 mm/jam dapat menyebabkan tanah longsor dangkal yang dapat mengakibatkan kerusakan harta benda dan kehilangan jiwa manusia (Gambar 9).



Gambar 21: Ambang batas curah hujan untuk tanah longsor dangkal di Provinsi Sulawesi Selatan, di atas garis peringatan kemungkinan tanah longsor dangkal terjadi (Hanawir *et al.*, 2012).

## 5. PENUTUP

Bencana sedimen adalah fenomena yang menyebabkan kerusakan baik secara langsung ataupun tidak langsung pada kehidupan manusia dan harta benda, ketidaknyamanan bagi kehidupan masyarakat, dan atau kerusakan lingkungan, melalui suatu skala besar pergerakan tanah dan batuan. Bencana sedimen khususnya tanah longsor merupakan salah satu tipe bencana yang paling sering terjadi di Indonesia. Mitigasi bencana diperlukan sebagai tindakan untuk mengurangi dampak bencana sedimen yang dilakukan sebelum bencana itu terjadi, termasuk kesiapan dan tindakan-tindakan pengurangan resiko jangka panjang.

### Daftar Pustaka

- Aleotti, P. (2004): A warning system of rainfall-induced shallow failure. *Engineering Geology*, Vol.73, pp.247–265.
- Brand, E.W., Premchitt, J. and Phillipson, H.B. (1984): Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. *Proc. of the IV International Symposium on Landslides, Toronto*, vol. 1, pp. 377–384.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2012).
- Cannon, S.H. and Ellen, S.D. (1985): Rainfall conditions for abundant debris avalanches, San Francisco Bay region, California. *Geology*, Vol.38, pp.267–272.
- Coburn, A.W, Spences, R.J.S. and Pomonis, A. (1994) *Disaster Mitigation*. Cambridge Architectural Research Limited, United Kingdom.
- Crozier, M.J. (1999): Prediction of rainfall-triggered landslides: a test of the antecedent water status model. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.24, pp.825–833.
- Gardland, G.G. and Olivier, M.J. (1993): Predicting landslides from rainfall in a humid, subtropical region. *Geomorphology*, Vol. 8, pp.165–173.
- Hasnawir, Kubota T. and Castillo L.S. (2012): Rainfall-induced shallow landslides in South Sulawesi, Indonesia. *International Session of Sabo meeting, 23-25 May 2012, Kochi, Japan*.
- Highland, L.M. and Bobrowsky, P. (2008): *The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*. Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Ikeya, H. (1976): *Introduction to sabo works: The preservation of land against sediment disaster*. The Japan Sabo Association, Japan.
- Keefer, D.K., Wilson, R.C., Mark, R.K., Brabb, E.E., Brown, W.M., Ellen, S.D., Harp, E.L., Wieczorek, G.F., Alger, C.S. and Zatkun, R.S. (1987): Real time landslide warning system during heavy rainfall. *Science*, Vol. 238, pp.921–925.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport-Japan (2004): *Development of warning and evacuation system against sediment disasters in developing countries*.

- Onodera, T., Yoshinaka, R. and Kazama, H. (1974): Slope failures caused by heavy rainfall in Japan. Proc. of the II International Congress International Association of Engineering Geology, Sao Paulo, Brasil, Vol. 11, pp.1–10.
- Premchitt, J. (1997): Warning system based on 24-hour rainfall in Hong Kong. Manual for zonation on areas susceptible to raininduced slope failure. Asian Technical Committee on Geotechnology for Natural Hazards in International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.72– 81.
- Sirangelo, B. and Braca, G. (2001): L'individuazione delle condizioni di pericolo di innesco delle colate rapide di fango. Applicazione del modello FlaIR al caso di Sarno. Atti del Convegno: "Il dissesto idrogeologico: inventario e prospettive", Roma.
- Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana (2007).
- Wilson, R.C. and Wieczorek, G.F. (1995): Rainfall threshold for the initiation of debris flow at La Honda, California. Environmental and Engineering Geoscience , Vol.11, pp.11–27.
- Wieczorek, G.F. and Guzzetti, F. (1999): A review of rainfall thresholds for triggering landslides. Proc. of the EGS Plinius Conference, Maratea, Italy October 1999, pp. 407– 414.

