

ISBN : 978-602-96989-XX

# PETUNJUK TINDAKAN DAN SISTEM MITIGASI BANJIR BANDANG



Maret, 2012



**Direktorat Sungai dan Pantai  
Direktorat Jenderal Sumber Daya Air  
Kementerian Pekerjaan Umum  
Bekerjasama dengan :**

JICA Project on Integrated Disaster Mitigation Management for Banjir Bandang



## Kata Pengantar

Buku Petunjuk Tindakan dan Sistem Mitigasi Banjir Bandang ini disusun untuk menyediakan acuan dan petunjuk praktis bagi para petugas teknis lapangan dan pengambil kebijakan di daerah rawan bencana banjir bandang untuk dapat menghadapi bencana akibat kejadian banjir bandang dengan membuat suatu sistem infrastruktur untuk memitigasi dampaknya dengan lebih mengetahui karakteristik banjir bandang dan penyebab-penyebabnya. .

Buku ini disusun dalam empat bab :

- I. Pendahuluan
- II. Banjir Bandang
- III. Tindakan dan Sistem Mitigasi Banjir Bandang
- IV. Peringatan Dini Banjir Bandang

Penyusun menunggu dengan rendah hati kritik, saran serta tambahan yang akan diberikan bagi lebih sempurnanya buku ini pada edisi mendatang

Semarang, Maret 2012

Penyusun,

**Ir. HR Mulyanto Dip. HE, Ketua Tim**

**Ir. R. Nunus Ario Parikesit, MM, Ahli O & M**  
**Hariyono Utomo ST, MM, Ahli ISDM**

# DAFTAR ISI

## Kata Pengantar Daftar Isi

### I. PENDAHULUAN

1.1.	Banjir Bandang	1
1.2.	Tipe-tipe Penyebab Banjir Bandang	1
1.2.1.	Hujan lebat	1
1.2.2.	Natural Dam Break	2
1.2.3.	Rusak / pecahnya tanggul	3
1.3.	Acuan Normatif	3
1.3.1.	Undang-Undang	3
1.3.2.	Peraturan Pemerintah	3
1.3.3.	Keputusan Presiden	4
1.3.4.	Peraturan Menteri	4
1.3.5.	Pedoman	5
1.3.6.	SNI	5
1.3.7.	ISO	5
1.3.8.	FEMA	5
1.4.	Istilah dan definisi	6

### II. BANJIR BANDANG

2.1.	Aspek-Aspek Teknis Sungai	14
2.1.1.	Sistem Sungai	14
2.1.2.	Pembagian Ruas-Ruas Sungai	15

2.1.3.	Sifat ruas-ruas sungai	16
2.1.4.	Bantaran banjir (flood plain)	18
2.2.	Tipe-tipe Banjir Bandang menurut Penyebabnya	19
2.2.1.	Curah hujan dengan konsentrasi cepat	19
2.2.2.	Banjir bandang akibat jebolnya dam alam	38
2.2.2.1.	Proses terbentuknya bendungan alam	38
2.2.2.2.	Runtuhnya bendungan alam	51
<b>III.</b>	<b>Tindakan dan Sistem Mitigasi Banjir Bandang</b>	<b>53</b>
3.1.	Tindakan mitigasi bencana banjir bandang	53
3.2.	Sistem mitigasi banjir bandang	56
<b>IV.</b>	<b>PERINGATAN DINI AKAN TERJADINYA BANJIR BANDANG</b>	<b>58</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>		
Gambar 2.1.	Skema pembagian ordo sistem sungai menurut Horton	15
Gambar 2.2.	Bagian-bagian sebuah sungai	16
Gambar 2.3.	Daerah rawan banjir bandang tipe 1	22
Gambar 2.4.	Sketsa terbentuknya banjir bandang	23
Gambar 2.5.	Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Bandung Station	29
Gambar 2.6.	Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Bogor Station	29
Gambar 2.7.	Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Jakarta Station	30
Gambar 2.8.	Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Semarang Station	30
Gambar 2.9.	Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Bali Station	31
Gambar 2.10.	Daerah Bahaya Banjir Bandang tipe 2	38

Gambar 2.11.	Kelandaian rayapan < 100 atau pada tanah kedap air	39
Gambar 2.12.	Pengaruh Faktor Topografi	42
Gambar 2.13.	Pengaruh kondisi tutup vegetasi pada stabilitas lereng/tebing	43
Gambar 2.14.	Lereng lereng synclinal yang rentan longsor	44
Gambar 2.15.	Runtuhan tebing oleh faktor topografi	46
Gambar 2.16.	Faktor Geologi yang berpengaruh	48
Gambar 2.17.	Runtuhan tebing oleh faktor Geologi	49
Gambar 2.18.	Bidang gelincir antara dua lapisan	50
Gambar 2.19.	Sketsa runtuhnya natural dam	51
Gambar 3.1.	Grafik elevasi – kapasitas tampung	54
Gambar 3.2.	Bangunan pembatas debit banjir bandang dipandang dari hilir	55
Gambar 3.3.	Sketsa denah peredam banjir bandang	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Pembagian alur sungai menjadi ruas-ruas	17
Tabel 2.2.	IDF beberapa lokasi di Indonesia	28
Tabel 2.3.	koefisien Run off untuk daerah perkotaan	32
Tabel 2.4.	Menentukan koefisien runoff	34

# I. PENDAHULUAN

## 1.1. Banjir Bandang

Banjir bandang (*flash flood*) adalah penggenangan akibat limpasan keluar alur sungai karena debit sungai yang membesar tiba-tiba melampaui kapasitas aliran, terjadi dengan cepat melanda daerah-daerah rendah permukaan bumi, di lembah sungai-sungai dan cekungan-cekungan dan biasanya membawa debris dalam alirannya

Banjir bandang dibedakan dari banjir oleh waktu berlangsungnya yang cepat dan biasanya kurang dari enam jam. dan menyapu lahan yang dilandanya dengan kecepatan aliran yang sangat besar hampir tanpa peringatan yang cukup

Tinggi permukaan gelombang banjir bandang dapat berkisar 3 – 6 meter dengan membawa debris dan sangat berbahaya yang akan melanda hampir semua yang dilewatinya Hujan yang menimbulkan banjir bandang dapat memicu terjadinya longsor lereng dan tebing yang menimbulkan bencana aliran debris yang akan terangkut oleh banjir bandang tersebut.

## 1.2. Tipe-tipe Penyebab Banjir Bandang

Pada umumnya banjir bandang disebabkan oleh salah satu dari kejadian-kejadian di bawah ini

### 1.2.1. Hujan lebat

- Hujan lebat yang bergerak lambat dan jatuh pada suatu daerah aliran sungai yang tidak terlalu luas, dan runoffnya dan terkonsentrasi dengan cepat ke dalam alur sungai patusnya
- Hujan tropik yang lebat, berlangsung cepat pada daerah yang sudah jenuh oleh jatuhnya hujan sebelumnya, atau mempunyai

kapasitas resap yang kecil dan runoffnya cepat terkonsentrasi ke dalam alur sungai pematusnya.

Karena besarnya debit dan kecepatan alirannya banjir bandang dapat mengangkut bebatuan, lumpur yang dierosinya dari tebing maupun deposit sedimen pada dasar alur dan debris lain seperti batang pepohonan yang tercerabut, dan akan menyapu daerah yang dilandanya, merusak lahan pertanian, menghancurkan jembatan dan rumah-rumah bahkan sering menimbulkan korban jiwa.

.Banjir bandang dapat juga terjadi akibat runtuhnya timbunan dam alami yang membendung alur sungai, disusul dengan tumpahnya ke hilir volume air yang tadinya terbendung olehnya. Dam alami terbentuk oleh tersumbatnya aliran alur sungai oleh material longsoran tebing sungai yang jatuh ke dalamnya bersamaan dengan batang pepohonan. Dam alami khususnya terjadi pada penyempitan alur walaupun tidak selalu terjadi di lokasi tersebut Pada kejadian ini banjir bandang dapat berlangsung cepat dalam beberapa menit tanpa tanda-tanda yang jelas sebelumnya.

Banjir bandang ini terbentuk pada alur produksi dan alur transportasi yang tidak begitu luas kira-kira dengan maksimum luas 2000 hektar pada sebuah sistem sungai. Dampak kerusakan akan diderita oleh penduduk yang hidup dan tinggal di daerah rawan bencana banjir bandang yaitu di sepanjang pangkal alur sedimentasi di bawah titik apex, dan juga mungkin lebih ke hulu pada alur transportasi.

### 1.2.2. Rusak / pecahnya tanggul.

Banjir bandang juga dapat terjadi pada daerah bantaran ruas sungai aluvial oleh pecahnya tanggul pelindung pada saat terjadi aliran dengan elevasi di atas bantaran sungai, karena suatu penyebab. atau gagalnya sebuah bendung buatan.

Banjir bandang tipe ini dapat mengakibatkan bencana dahsyat tetapi karena sebab insidental, maka tidak dicakup dalam buku ini.

## 1.3. Acuan Normatif

### 1.3.1. Undang-Undang

- Undang-undang Republik Indonesia nomor 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Undang-Undang No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.
- Undang-Undang No. 12 Tahun 2008 tentang Perubahan Atas Undang-undang No. 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah.
- Undang-undang Republik Indonesia No. 24 tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana

### 1.3.2. Peraturan Pemerintah

- Peraturan pemerintah No. 27 Tahun 1999 tentang Analisis Mengenai Dampak Lingkungan.
- Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Peraturan pemerintah No. 16 Tahun 2004 tentang Penatagunaan Tanah.
- Peraturan Pemerintah No. 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional.

- Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 2008 tentang pengelolaan Sumber Daya Air.
- Peraturan Pemerintah No. 37 tahun 2010 tentang Bendungan

#### 1.3.3. Keputusan Presiden

- Keputusan Presiden Nomor 12 tahun 2000 tentang Badan Penetapan dan Pengendalian Penyediaan Prasarana dan Sarana Pekerjaan Umum.
- Keputusan Presiden No. 62 Tahun 2000 tentang Koordinasi Penataan Ruang Nasional.
- Keputusan Presiden No. 95 Tahun 2000 tentang Badan pertanahan Nasional.
- Keputusan Presiden No. 23 Tahun 2001 tentang Tim Koordinasi Pengelolaan Sumberdaya Air.

#### 1.3.4. Peraturan Menteri

- Peraturan Menteri pekerjaan Umum No. 603 Tahun 2005 Tentang pedoman Umum Sistem pengendalian Manajemen Penyelenggaraan Pembangunan Prasarana dan Sarana Bidang Pekerjaan Umum.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 11 Tahun 2006 Tentang Jenis Rencana Usaha dan/atau Kegiatan Yang Wajib Dilengkapi Dengan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2007 tentang Dokumen Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup Bagi Usaha dan/atau Kegiatan yang Tidak Memiliki Dokumen Pengelolaan Lingkungan Hidup.

### 1.3.5. Pedoman

Pd T-02-2005-A, Analisis daya dukung tanah pondasi dangkal bangunan air.

### 1.3.6. SNI

- SNI 03-2400-1991, tentang Tata Cara Perencanaan Umum Krib di Sungai, tahun 1991, Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2401-1991, SK SNI T-02-1990-F, tentang Tata Cara Perencanaan Umum Bendung, tahun 1991, Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-2829-1992, tentang Metode Perhitungan Tiang Pancang Beton pada Krib di Sungai, tahun 1992, Departemen Pekerjaan Umum.
- SNI 03-3441-1994, tentang Tata Cara Perencanaan Teknik Pelindung Tebing Sungai dari Pasangan Batu, tahun 1994, Departemen Pekerjaan Umum.
- PSN 01 : 2007, Pedoman Standarisasi Nasional : pengembangan Standar Nasional Indonesia.

### 1.3.7. ISO

- ISO 9001 : Quality Management Sistem
- ISO 14001 : Environment Management Sistem
- ISO 18001 : Safety Management Sistem

### 1.3.8. FEMA

FEMA 325 : Debris Management

#### 1.4. Istilah dan definisi

- **Aliran batuan rombakan atau debris**, adalah suatu tipe aliran gerakan massa bahan rombakan (debris) dengan kandungan angkutan yang sangat besar, berbutir kasar, non-kohefif, terdiri dari material berbutir kecil sampai besar seperti pasir, kerikil, bebatuan kecil dan batu-batu besar (sand, gravel, cobbles, dan boulders)
- **Alur Sungai**, adalah bagian sungai, dataran banjir dan daerah yang berdekatan yang bermanfaat untuk melancarkan aliran sungai
- **Ancaman bencana**, adalah suatu kejadian atau peristiwa yang bisa menimbulkan bencana
- **Bangunan Persungaian**, adalah bangunan yang berfungsi untuk perlindungan, pengembangan, penggunaan dan pengendalian sungai.
- **Bantuan darurat bencana**, adalah upaya memberikan bantuan untuk memenuhi kebutuhan dasar pada saat keadaan darurat.
- **Bencana**, adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis.
- **Bencana alam**, adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.
- **Bencana nonalam**, adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau rangkaian peristiwa nonalam yang antara lain berupa gagal teknologi, gagal modernisasi, epidemi, dan wabah penyakit.

- **Bencana sedimen**, (sediment disaster) adalah peristiwa akibat aliran batuan rombakan atau debris atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor nonalam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis
- **Bencana sosial** adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang diakibatkan oleh manusia yang meliputi konflik sosial antarkelompok atau antarkomunitas masyarakat, dan teror.
- **Endapan Penghalang**, adalah timbunan tanah aluvial yang berada di alur sungai, terdiri dari pasir dan krikil, hampir tanpa ada tanaman penutup di atasnya, biasanya ditemukan di tikungan dalam suatu belokan alur sungai.
- **Gerakan massa batuan rombakan atau debris tipe bebatuan (gravel tipe debris movement)** merupakan gerakan massa debris yang mengandung banyak batu-batu besar.
- **Gerakan massa batuan rombakan atau debris tipe lumpur (mud flow tipe debris movement)** merupakan gerakan massa debris dengan kandungan batu besar sedikit dan lebih didominasi oleh kandungan pasir dan batu-batu. .
- **Instansi Pengelola Sungai**, adalah badan yang berwenang mengelola sungai sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai.
- **ISDM, Integrated Sediment Related Disaster Management**, adalah **konsep** pengelolaan bencana sedimen yang memadukan peran serta masyarakat, program-program daerah serta tindakan mitigasi bencana yang diperlukan.

- **Kegiatan pencegahan bencana**, adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan sebagai upaya untuk menghilangkan dan/atau mengurangi ancaman bencana.
- **Kesiapsiagaan**, adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengantisipasi bencana melalui pengorganisasian serta melalui langkah yang tepat guna dan berdaya guna.
- **Korban**, bencana adalah orang atau sekelompok orang yang menderita atau meninggal dunia akibat bencana.
- **Lembaga internasional**, adalah organisasi yang berada dalam lingkup struktur organisasi perserikatan Bangsa-Bangsa atau yang menjalankan tugas mewakili perserikatan Bangsa-Bangsa atau organisasi internasional lainnya dan lembaga asing nonpemerintah dari negara lain di luar perserikatan Bangsa-Bangsa.
- **Lembaga usaha**, adalah setiap badan hukum yang dapat berbentuk badan usaha milik negara, badan usaha milik daerah, koperasi, atau swasta yang didirikan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang menjalankan jenis usaha tetap dan terus menerus yang bekerja dan berkedudukan dalam wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia.
- **Mitigasi**, adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana.
- **Pekerjaan Perbaikan Kecil**, adalah kegiatan berskala kecil yang dibutuhkan untuk memperbaiki bangunan agar kondisinya sesuai dengan kapasitas rencana yang disebabkan oleh kerusakan kecil seperti pertinggian permukaan tanggul, perbaikan tanggul yang bocor, pelindung batu untuk tanggul dekat penambangan, penggantian peralatan pintu dan sebagainya yang tidak berfungsi disebabkan oleh kerusakan dan kegagalan kecil.

- **Pemeliharaan**, adalah kegiatan dan pekerjaan yang dilakukan pada bangunan yang ada untuk memelihara serta menjaga fungsi sungai dan bangunan sesuai dengan tingkat layanan yang direncanakan.
- **Pemeliharaan Bangunan Persungai** adalah pemeliharaan yang mencakup alur sungai dan bangunan persungai
- **Pemeliharaan Berkala**, adalah kegiatan yang dijadwalkan berlangsung dari waktu ke waktu dan berjalan menurut interval waktu terputus-putus dengan tujuan melestarikan/memelihara fungsi dari sarana-sarana yang tersedia.
- **Pemeliharaan Darurat**, adalah pemeliharaan yang harus dilaksanakan segera agar kerusakan yang terjadi atau kerusakan yang hampir terjadi tidak menjadi lebih parah, dimana pekerjaan tersebut penting untuk melindungi keutuhan dan kekuatan bangunan (dalam skala besar). Pemeliharaan darurat dapat juga berupa kegiatan penanggulangan banjir seperti pemasangan kantong pasir pada tanggul sebelum dan selama banjir untuk mencegah limpasan.
- **Pemeliharaan Khusus**, adalah pekerjaan pemeliharaan (berskala besar) yang dilakukan untuk bangunan atau bagian bangunan yang fungsi atau nilai kinerjanya di bawah 70% dan masih di atas 50% dari rencana .
- **Pemeliharaan Korektif**, adalah pekerjaan pemeliharaan yang lebih mendasar yang harus dikerjakan untuk mendapatkan bangunan seperti kondisi waktu dibangun misalnya dinding penahan atau sayap pasangan dari bendung gerak atau bangunan bagi yang pecah dan bergeser, dan membetulkan pekerjaan yang telah berulang-ulang selalu gagal atau tidak berfungsi sesuai harapan.

- **Pemeliharaan Pencegahan/Preventif**, adalah kegiatan yang dilakukan untuk melestarikan fungsi sungai maupun bangunan secara optimal. Pemeliharaan pencegahan terdiri dari :
- **Pemeliharaan Rutin**, adalah keseluruhan pekerjaan yang dilakukan berulang-ulang setiap tahun diatur berdasarkan jadwal,
- **Pemerintah daerah**, adalah gubernur, bupati/walikota, atau perangkat daerah sebagai unsur penyelenggara pemerintahan daerah.
- **Pemerintah pusat, selanjutnya disebut Pemerintah**, adalah Presiden Republik Indonesia yang memegang kekuasaan pemerintahan Negara Kesatuan Republik Indonesia sebagaimana dimaksud dalam Undang-Undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1944.
- **Pemulihan**, adalah serangkaian kegiatan untuk mengembalikan kondisi masyarakat dan lingkungan hidup yang terkena bencana dengan memfungsikan kembali kelembagaan, prasarana, dan sarana dengan melakukan upaya rehabilitasi.
- **Penanggulangan instream**, adalah penanggulangan struktural bencana sedimen yang dilakukan di dalam alur sungai.
- **Penanggulangan non struktural bencana sedimen**, adalah tindakan penanggulangan yang tidak melibatkan pembuatan bangunan.
- **Penanggulangan struktural bencana sedimen**, adalah tindakan penanggulangan bencana sedimen yang bertujuan menanggulangi gerakan atau aliran massa tanah dengan pembuatan bangunan
- **Penanggulangan offstream**, adalah penanggulangan struktural bencana sedimen yang dilakukan di luar alur sungai.
- **Pencegahan bencana**, adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan untuk mengurangi atau menghilangkan risiko bencana,

baik melalui pengurangan ancaman bencana maupun kerentanan pihak yang terancam bencana.

- **Pengungsi**, adalah orang atau kelompok orang yang terpaksa atau dipaksa keluar dari tempat tinggalnya untuk jangka waktu yang belum pasti sebagai akibat dampak buruk bencana.
- **Penyelenggaraan penanggulangan bencana**, adalah serangkaian upaya yang meliputi penetapan kebijakan pembangunan yang berisiko timbulnya bencana, kegiatan pencegahan bencana, tanggap darurat, dan rehabilitasi.
- **Peringatan dini**, adalah serangkaian kegiatan pemberian peringatan sesegera mungkin kepada masyarakat tentang kemungkinan terjadinya bencana pada suatu tempat oleh lembaga yang berwenang.
- **Program Pemeliharaan**, adalah jadwal kegiatan yang diatur secara sistematis dimaksudkan untuk menyusun kegiatan pemeliharaan dalam suatu sistim yang mendasar.
- **Rawan bencana**, adalah kondisi atau karakteristik geologis, biologis, hidrologis, klimatologis, geografis, sosial, budaya, politik, ekonomi, dan teknologi pada suatu wilayah untuk jangka waktu tertentu yang mengurangi kemampuan mencegah, meredam, mencapai kesiapan, dan mengurangi kemampuan untuk menanggapi dampak buruk bahaya tertentu.
- **Rehabilitasi**, adalah pekerjaan perbaikan kerusakan bangunan sungai untuk mengembalikan fungsi bangunan sesuai kondisi semula tanpa mengubah sistim dan tingkat layanan bangunan, dimana fungsi bangunan yang ada kurang dari 50%.
- **Rehabilitasi sosial**, adalah perbaikan dan pemulihan semua aspek pelayanan publik atau masyarakat sampai tingkat yang memadai pada wilayah pascabencana dengan sasaran utama untuk

normalisasi atau berjalannya secara wajar semua aspek pemerintahan dan kehidupan masyarakat pada wilayah pascabencana.

- **Rektifikasi**, adalah pekerjaan pembetulan untuk peningkatan fungsi bangunan, sebagai contoh karena perencanaannya, krib tidak berfungsi dengan baik untuk melindungi talud dari erosi.
- **Rekonstruksi**, adalah pembangunan kembali semua prasarana dan sarana, kelembagaan pada wilayah pascabencana, baik pada tingkat pemerintahan maupun masyarakat dengan sasaran utama tumbuh dan berkembangnya kegiatan perekonomian, sosial dan budaya, tegaknya hukum dan ketertiban, dan bangkitnya peran serta masyarakat dalam segala aspek kehidupan bermasyarakat pada wilayah pascabencana. .
- **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
- **Setiap orang**, adalah orang perseorangan, kelompok orang, dan/atau badan hukum.
- **Status keadaan darurat bencana**, adalah suatu keadaan yang ditetapkan oleh pemerintah untuk jangka waktu tertentu atas dasar rekomendasi Badan yang diberi tugas untuk menanggulangi bencana.
- **Sungai adalah** :
  - Wadah atau penampung dan penyalur alamiah dari aliran air dengan segala yang terbawa dari DPS ke tempat yang lebih rendah dan berakhir di laut, atau

- Tempat-tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan.
- **Tanggap darurat bencana**, adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan dengan segera pada saat kejadian bencana untuk menangani dampak buruk yang ditimbulkan, yang meliputi kegiatan penyelamatan dan evakuasi korban, harta benda, pemenuhan kebutuhan dasar, perlindungan, pengurusan pengungsi, penyelamatan, serta pemulihan prasarana dan sarana.

## II. BANJIR BANDANG

### 2.1. Aspek-Aspek Teknis Sungai

#### 2.1.1. Sistem Sungai

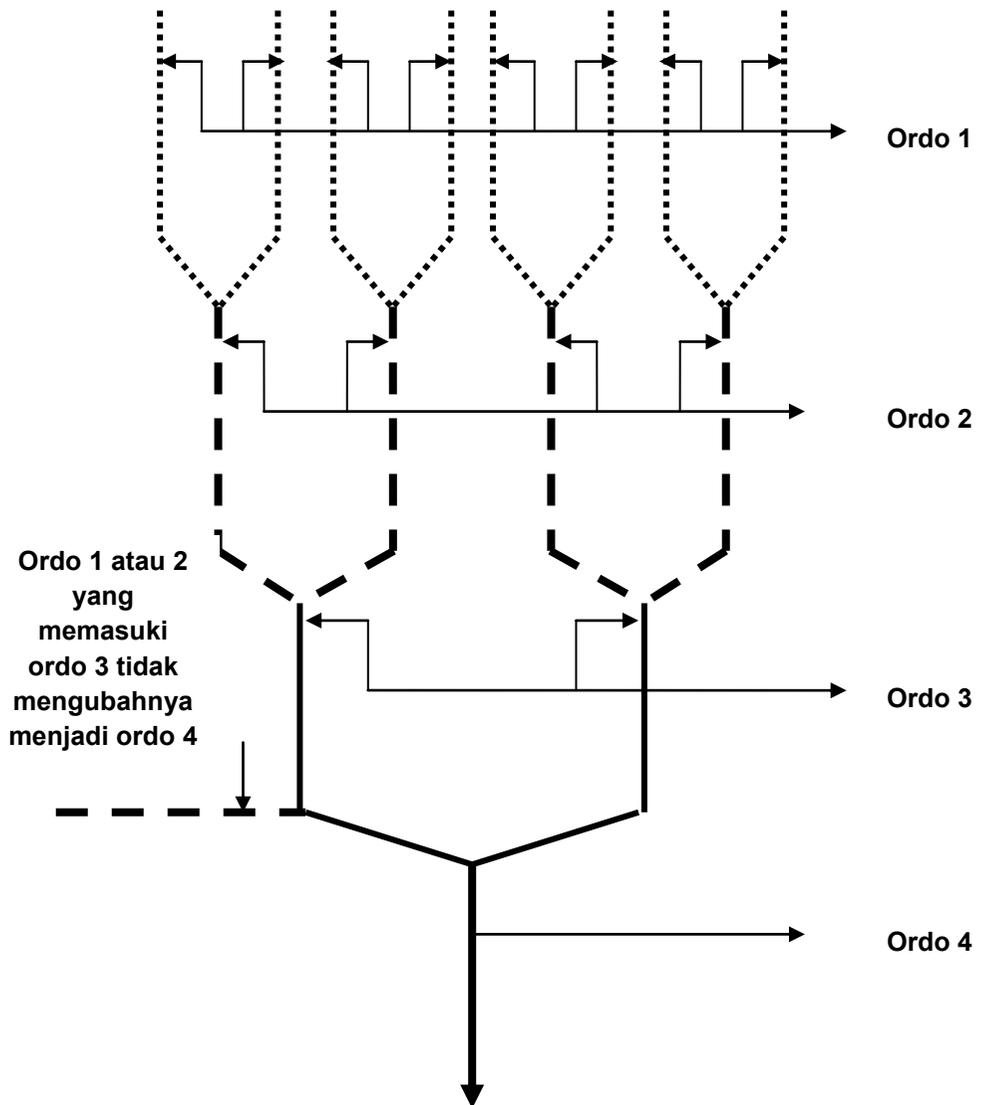
Sebuah sistem sungai terdiri dari sungai induk dan anak-anak sungai, berfungsi sebagai alur-alur pematas DAS, mengalirkan air ke hilir serta mengangkut sedimen yang di angkutnya.

Suatu alur sungai harus memenuhi ciri hidrologi berupa aliran perennial yang mempunyai debit paling tidak dalam sebagian besar waktu dalam satu tahun.

Robert E. Horton (1945) mengembangkan konsep dasar tentang ordo sungai dan anak-anak sungai yang dimodifikasi oleh Strahler (1957),

- a. Sebuah anak sungai paling hulu yang tidak bercabang ditentukan sebagai sungai ber-ordo 1
- b. Dua sungai dari ordo satu yang bergabung membentuk sungai ber-ordo 2
- c. Dua sungai dari ordo 2 yang bergabung akan membentuk sungai dengan ordo 3 dan seterusnya.
- d. Sebuah sungai dari ordo 3 tidak akan meningkat ke ordo 4 walaupun dimasuki oleh sungai dari ordo 1 atau ordo 2
- e. Peningkatan ordo 3 menjadi ordo 4 terjadi apabila sungai tersebut bergabung dengan sungai dari ordo 3 juga.

Jejaring sungai dengan jumlah alur pemasok yang kecil kemungkinan menimbulkan banjir sangat besar karena debit hanya terpusat pada sebuah alur alih-alih tersebar seperti kalau jumlah alur pemasoknya lebih besar.



**Gambar 2. 1. Skema pembagian ordo sistem sungai menurut Horton**

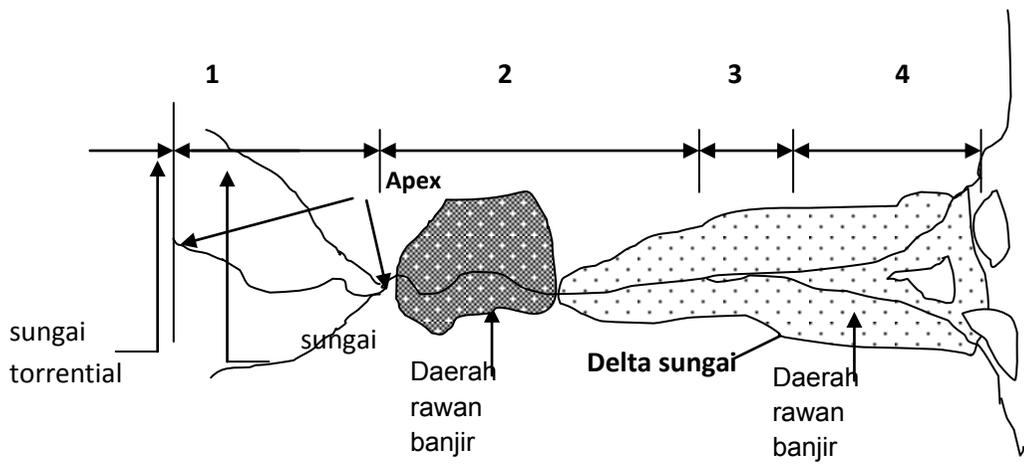
### 2.1.2. Pembagian Ruas-Ruas Sungai

Sebuah sungai mulai dari hulu sampai ke muaranya secara umum dapat dibagi ke dalam empat bagian yang masing-masing

mempunyai sifat-sifat yang berbeda antara satu bagian dengan bagian yang lainnya yaitu :

1. Bagian hulu :
  - i. ruas jeram/torrential/rapid
  - ii. ruas jalin/braided
2. Bagian *alluvial*
3. Bagian yang terpengaruh oleh pasang surut/*tidal reach*
4. Muara sungai/kuala/sungapan atau *estuary*.

Bagian-bagian ruas sungai tersebut mempunyai sifat masing-masing yang berbeda.



**Gambar 2. 2. Bagian-bagian sebuah sungai**

### 2.1.3. Sifat ruas-ruas sungai

Sifat-sifat ruas sungai tergantung dimana ruas tersebut mengalir serta kelandaian dasarnya yang berhubungan dengan karakteristik

sedimen yang dapat diangkutnya. Tabel di bawah menunjukkan pembagian ruas-ruas sungai.

<b>Tabel 2.1. Pembagian alur sungai menjadi ruas-ruas</b>				
<b>Klasifikasi</b>	<b>Ruas hulu</b>	<b>Ruas hilir</b>		
		<b>Ruas alluvial</b>	<b>Ruas pasang surut</b>	<b>Muara</b>
Material dasar	Bebatuan, kerikil	Kerikil s/d pasir	Pasir s/d lempung	Pasir s/d lempung
Pola aliran dalam alur	I. Jeram <i>rapids/torrential</i> II. jalin/ <i>braided</i>	Jalin / meander	Meander s/d lurus	Bercabang-cabang
Arah aliran	Ke hilir	Ke hilir	Dua arah ke hilir dan ke hulu pada saat pasang naik	Dua arah ke hilir dan ke hulu pada saat pasang naik
Angkutan sedimen	Aliran debris dan aliran individual oleh traksi aliran	Aliran individual oleh traksi aliran	Traksi dan suspensi	Suspensi dan traksi
Kedalaman alur	Bervariasi dari dalam sampai dangkal	Dalam	Dalam	Dangkal
Kelandaian dasar	jeram $\geq 0.03$ jalin $0.01 \rightarrow 0.03$	$1/100$ s/d $1/2000$	$\leq 1/2000$	$\pm \rightarrow 0$ (sangat kecil)
Sifat banjir yang terjadi	Jeram : lonjakan debit mendadak. Jalin : lonjakan debit mendadak dan kemungkinan banjir bandang	Di bawah apex : banjir bandang dan di bagian hilir banjir.	Banjir dan banjir rob/luapan pasang naik	Banjir dan banjir rob/luapan pasang naik
Sifat gerakan sedimen	Jeram : Daerah produksi Jalin : daerah transportasi	daerah sedimentasi	daerah sedimentasi	daerah sedimentasi

#### 2.1.4. Bantaran banjir (*flood plain*)

Luas tampang aliran alur sungai ditentukan terutama oleh  $Q_{dominan}$  ( $Q_{1th}$  atau  $Q_{2th}$ ) yaitu debit maksimum yang dapat dialirkan pada luas penampang sungai. Pada saat turun hujan yang lebih lebat di hulu, tampang lintang tersebut tidak mampu mengalirkan debit yang terjadi ( $>Q_{dom}$ ) sehingga akan terjadi erosi untuk membesarkan tampang basah alur, memperbesar kapasitas alirannya.

- Pada alur torrential/jeram erosi yang terjadi untuk memperbesar kapasitas alur dengan mengikis dasar → menjadi lebih dalam
- Pada alur braided/jalin erosi yang terjadi untuk memperbesar kapasitas alur dengan menggerus tebing sungai memperlebar alur → menjadi sangat lebar
- Pada alur aluvial terjadi erosi dan sedimentasi secara bergiliran pada dasar alur menimbulkan kelokan/meander

Apabila erosi sudah tidak terjadi mungkin terjadi yaitu kedalaman dasar sungai mencapai tanah keras atau kelandaian sudah cukup kecil, tercapailah kedalaman setimbang, . air akan meluap ke luar alur, khususnya pada tebing alur yang rendah. Pada kondisi alami peluang luapan ke luar alur ini terjadi 1 – 2 tahun sekali ketika debit penuh (*bankful discharge*) dilampaui.

Lokasi bantaran banjir umumnya terletak di hilir dari titik apex. Titik apex yaitu lokasi perpindahan kelandaian alur sungai dari kelandaian besar ke kelandaian yang lebih landai, khususnya pada batas atas pangkal dataran alluvial, yang menimbulkan perubahan kecepatan aliran dalam alur menjadi lebih kecil. Di sini luas penampang aliran tidak dapat berubah dengan cepat menyesuaikan pada besarnya debit yang datang dengan cepat dari hulu titik apex. Alam menyediakan suatu luasan dengan elevasi rendah pada

lembah sungai sebagai daerah retensi, (bantaran banjir/*flood plain*) yang berfungsi bagi menampung luapan tersebut. Luas bantaran banjir tergenang tergantung dari frekwensi banjir yang sedang terjadi.

Air yang memasuki bantaran banjir akan membawa serta sejumlah sedimen. Karena efek trap efficiency dari bantaran banjir serta mengecilnya kecepatan aliran di atasnya, selama air menggenang sebagian sedimen akan terendap di atas dasarnya. Dengan berulangnya penggenangan bantaran dalam kurun waktu lama bantaran akan menjadi suatu dataran alluvial yang direklamasi secara alami. Mengecilnya kecepatan aliran air yang melimpas ke luar alur, dan yang kemudian surut kembali ke dalamnya akan menimbulkan endapan di kedua tepi membentuk suatu punggung sepanjang alur. Kedua punggung (ridges) tersebut dikenal sebagai tanggul alam (natural levees) yang dapat mencapai ketinggian 5 – 10 meter di atas bantaran banjir.

Dengan terbentuknya tanggul alam pada sepanjang kedua tepi alur, kapasitas tampung alur membesar. Kalau terjadi limpasan banjir di atasnya tanggul alam dapat bobol menimbulkan banjir di luarnya

## **2.2. Tipe-tipe Banjir Bandang menurut Penyebabnya**

### **2.2.1. Curah hujan dengan konsentrasi cepat**

#### **i. Aspek hidrologi**

Siklus hidrologi : adalah pergerakan permanen dari kelembaban di bumi yang membentuk urutan berputar dari lautan, sebagai proses penguapan ( $E = \text{evaporation}$ ), kemudian mengembun dan menjadi hujan ( $P = \text{precipitation}$ ) dan akhirnya melalui sungai mengalir sebagai debit ( $R = \text{runoff}$ ) menuju kembali ke laut :

$$P - E = A_{(P+at)} + R$$

di mana :

P = presipitasi/curah hujan.

A = akumulasi atau air yang tertahan sementara di dalam DAS sebagai :

$A_p$  = akumulasi air permukaan misalnya danau, rawa, dan lain lain penggenangan, dan yang berada di dalam alur sungainya.

$A_{at}$  = akumulasi air bawah tanah yang mengisi akifer, baik akifer freatik, maupun akifer artesis. *Aquifer*/akifer : adalah lapisan tanah yang menyimpan kandungan air yang memenuhi pori-pori nya, menjadi simpanan air bawah tanah

a. Akifer freatik : Air bawah tanah di dalamnya langsung berhubungan dengan atmosfer, dan mempunyai tekanan yang sama dengan tekanan atmosfer pada permukaannya.

b. Akifer artesis : air bawah tanah di dalamnya terkempa di antara dua buah lapisan kedap air, dan mempunyai tekanan yang lebih besar daripada tekanan atmosfer.

E = Evaporasi/penguapan total dari seluruh permukaan DAS.

$P-E$  = disebut juga sebagai ketersediaan air/"*availability of water*" dari DAS tersebut.

Proses ini secara garis besar dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

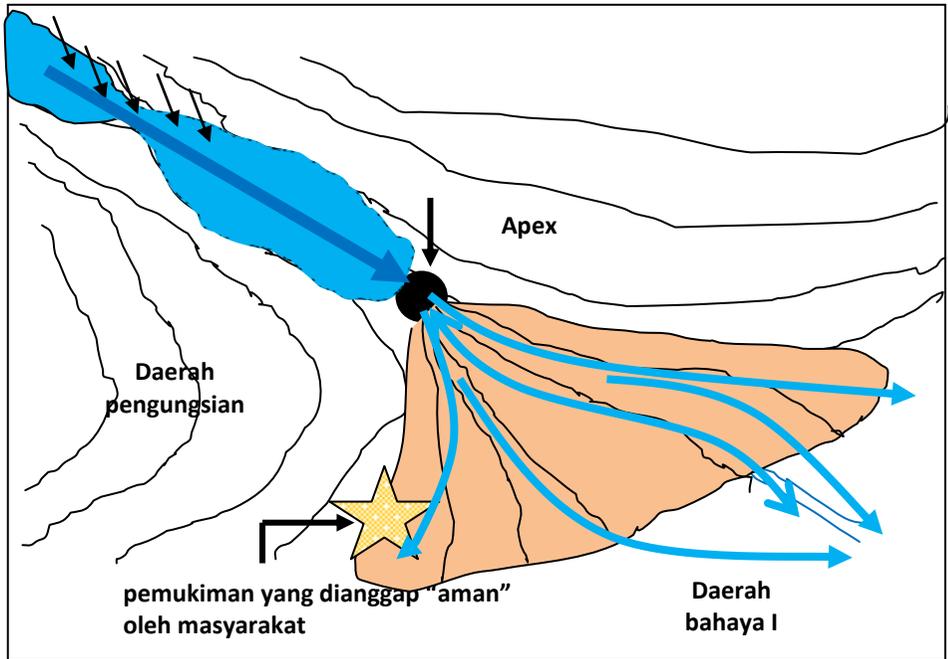
$$R = P - A$$

di mana A dapat bernilai

- positif yaitu pada waktu akumulasi atau tandon-tandon air akan terisi, ( $R < P$ ), dan
- negatif, ( $R > P$ ) apabila terjadi aliran keluar atau *effluent* yaitu pengosongan dari dalam tandon-tandon tersebut.

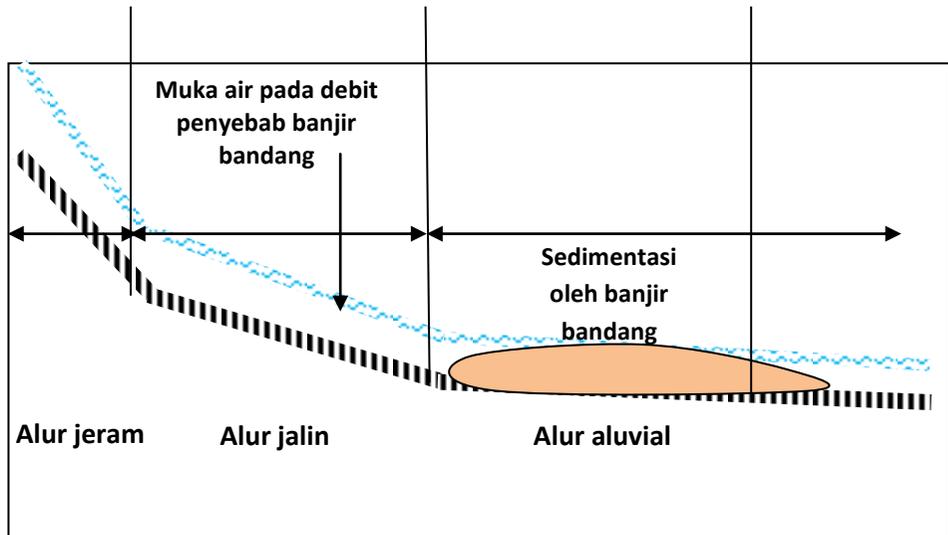
Apabila daerah aliran sungai suatu alur telah jenuh atau mempunyai kapasitas serap dan simpan yang  $\approx 0$  maka curah hujan akan hampir semua menjadi runoff.

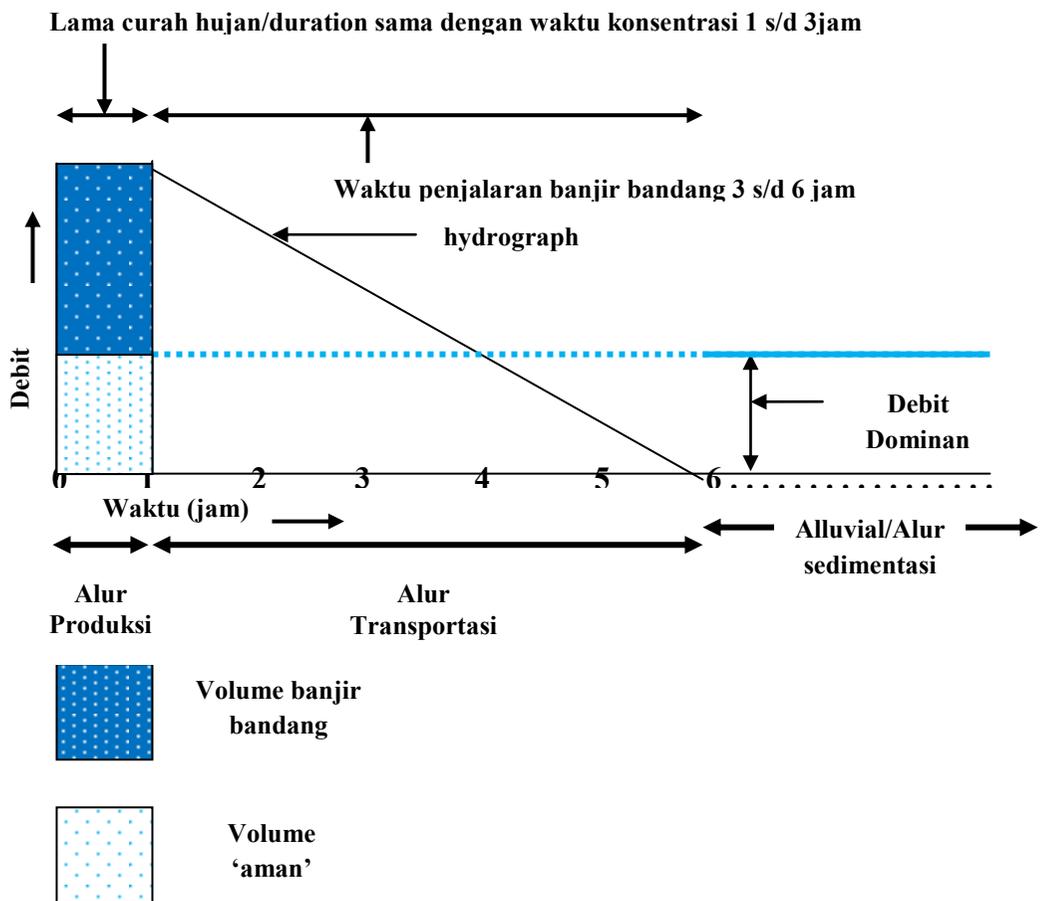
Pada hujan lebat di atas DAS alur ordo 1 runoff akan memasuki alur dalam waktu (konsentrasi) yang cepat membentuk lonjakan hidrograf yang tajam dan menimbulkan banjir bandang di hilir



Ir. Mulyanto Dip. HE

**Gambar 2.3. Daerah rawan banjir bandang tipe 1**





**Gambar 2.4**  
**Sketsa terbentuknya banjir bandang**

- ii. Metode Rasional
  - a. Metode Rasional digunakan mengestimasi debit puncak pada hujan ekstrim bagi DAS yang tidak terlalu besar ( $\leq 100$  ha), di mana tidak terdapat storage (akumulasi) banjir yang signifikan

Asumsi dari Metode Rasional :

Runoff yang dihasilkan dari intensitas hujan konstan bernilai maksimum, ***pada durasi (lama curah hujan) sama dengan waktu konsentrasi.*** Asumsi ini menjadi kurang tepat apabila luas *watershed* membesar, karena waktu konsentrasi bisa sangat besar sehingga intensitas curah hujan tidak konstan lagi dan bervariasi pada seluruh luasan. Frekuensi debit puncak sama dengan frekuensi intensitas hujan dalam waktu konsentrasi tertentu, tergantung pada

- frekuensi hujan
- kondisi-kondisi kelengasan maksimum dalam watershed
- reaksi dari karakteristik-karakteristik dari sistem pematasan

Pada luasan yang kecil dan sebagian besar kedap air (*impervious*) faktor dominan adalah frekuensi hujan. Pada watershed yang lebih besar karakteristik-karakteristiknya berpengaruh utama pada frekuensi hujan.

Pada kenyataannya intensitas hujan jatuh tersebar pada ruang dan waktu. Asumsi penyebaran hujan merata pada watershed yang kecil dapat diterima

Bagian curah hujan (C) yang menjadi runoff khususnya pada daerah yang kedap air bervariasi dengan intensitas curah hujan dan kondisi kelengasan sebelumnya.

b. Waktu konsentrasi

Untuk menghitung waktu tiba banjir/waktu konsentrasi dipergunakan rumus perhitungan sebagai berikut :

$$t_p = CA^{0.22}re^{-0.35}$$

di mana:

$t_p$  : waktu tiba banjir (mnt)

$re$ : Intensitas hujan efektif (mm/jam)

$A$  : Luas daerah tangkapan (km<sup>2</sup>)

$C$  : koefisien.

Rumus lain yang dapat dipergunakan adalah Rumus Izzard. Pada rumus Izzard ini beberapa faktor toografis dipertimbangkan sebagai fefaktor pengaruh : jarak aliran permukaan, kemiringan/kelandaian lahan yang keduanya menimbulkan koefisien hambat bagi aliran runoff dan waktu konsentrasinya

$$tc = \left( \frac{41L^{1/3}}{i^{2/3}} \right) \left( \frac{0.0007i + cr}{s^{1/3}} \right)$$

di mana :

$tc$  = waktu konsentrasi

$L$  = jarak aliran

$i$  = intensitas curah hujan

$cr$  = koefisien hambatan aliran

$S$  = kelandaian lahan

c. Persamaan metode Rasional

Rumus Rasional mengestimate debit puncak pada curah hujan ekstrim pada lokasi tertentu dalam suatu watershed

- sebagai fungsi dari luas watershed,
- koefisien runoff,

- dan intensitas hujan rerata pada durasi yang sama dengan waktu konsentrasi seperti di bawah ini :

(Rumus A)

$$Q = \frac{CIA}{360}$$

di mana .

Q = debit maksimum runoff (m<sup>3</sup>/s)

C = koefisien runoff seperti tertera di bawah

I = intensitas hujan rerata(mm/jam. ) seperti dijelaskan di bawah

A = drainage area (ha)

360 = faktor konversi kalau menggunakan satuan ukuran metric.

d. Intensitas curah hujan

*Intensitas curah hujan (I) adalah hujan rerata (mm/jam) pada durasi hujan tertentu dan frekuensi yang dipilih .*

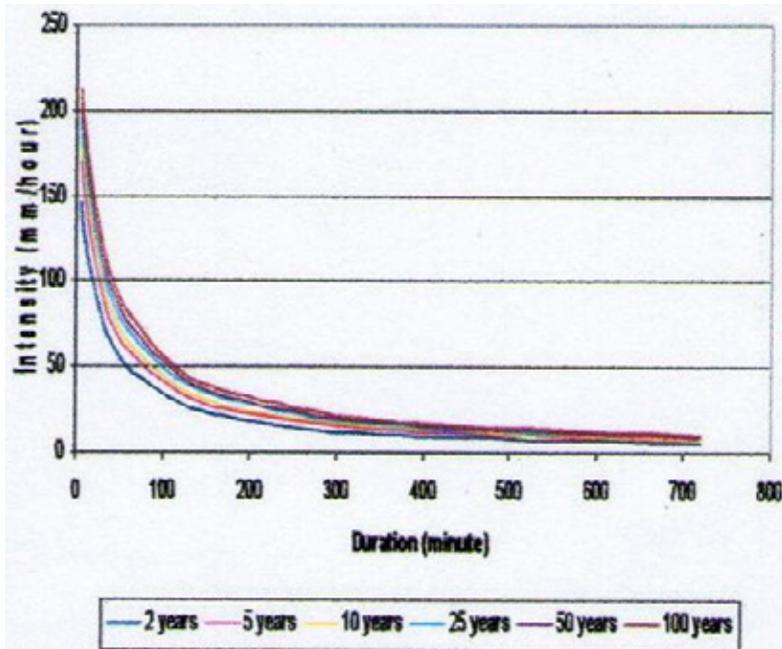
Bentuk umum dari kurva intensitas – durasi – curah hujan seperti tertera pada gambar 2.5 sampai dengan gambar. 2.9. Nilai intensitas curah hujan cenderung ke arah tak terbatas. Karena asumsi bahwa durasi sama dengan waktu konsentrasi, luasan kecil dengan waktu konsentrasi yang sangat kecil membuat intensitas curah hujan menjadi sangat tinggi. Untuk menghindarinya waktu konsentrasi yang dipertimbangkan minimum 10 menit. Durasi hujan cenderung ke arah nilai tak terbatas, dan hujan rencana

menjadi cenderung menjadi sangat kecil. Areal pemakaian kurva ini dibatasi sampai dengan 100 hektar

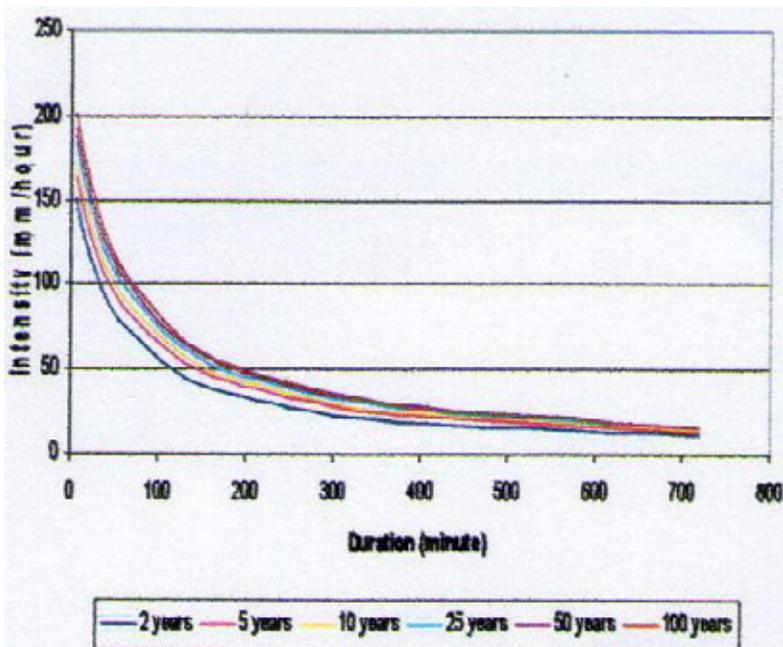
Intensitas curah hujan (mm) terhadap durasi/lama curah hujan (menit atau jam) dan frekuensi (tahun) pada beberapa lokasi di Indonesia yang disusun oleh Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND) pada publikasi tahun 2008 Rainfall Intensity and Duration Frekuensi (IDF) untuk daerah Asia Pasifik mencantumkan IDF untuk beberapa tempat di Indonesia : Bandung, Bogor, Bali, Jakarta dan Semarang seperti kurva-kurvanya pada gambar di bawah. beserta tabel 2.2

Kedalaman (mm)-durasi(mnt/jam)-frekwensi(years) untuk Indonesia										
Rata-rata Intensitas hujan (th)	Bandung									
	2m	10m	15m	30m	45m	60m	120m	180m	360m	720m
2	13	17.8	23.4	44.4	43.4	49.8	67.9	60.4	67.6	73.6
5	16.3	21.3	27.8	65.8	48.8	56.7	67.7	72.3	82.3	88.7
10	18.5	23.6	30.7	79.9	52.4	61.4	74.3	80.2	92	98.8
20	20.5	25.8	33.5	93.5	55.8	65.8	80.5	87.8	101.3	108.5
50	23.2	28.6	37.1	111.1	60.3	71.6	88.7	97.6	113.3	121.1
	Bogor									
2	11.2	21.6	31.8	55	68.8	80.6	97.6	108.2	115.2	118.8
5	12.7	24.3	34.5	62.6	77.2	89.4	114.8	128.5	138.5	141.1
10	13.7	26	36.2	67.6	82.8	95.2	126.1	142	154	155.9
20	14.6	27.7	37.9	72.4	88.1	100.7	137	154.9	168.8	170
50	15.9	29.9	40.1	78.7	95	107.9	151.1	171.7	188.1	188.3
	Bali									
2	13.5	21.3	28.7	45.1	52.2	59.7	70.7		92.4	113
5	18.7	27.4	36.4	55.2	63.3	74.2	88.4		114.9	154.7
10	22.2	31.4	41.4	62	70.7	83.9	100.1		129.9	182.3
20	25.5	35.2	46.3	68.4	77.0	93.1	111.4		144.2	200.8
50	29.8	40.2	52.6	76.7	87	105.1	125.9		162.8	213.1
	Jakarta									
2	12.5	20.6	26.2	39.2	44.2	53.5	62.9	66	71.3	74.4
5	18	28.7	37	54.7	63.8	75.7	90.2	95.9	106.7	113
10	21.6	34.1	44.1	65	76.8	90.3	108.3	115.7	130.2	138.6
20	25.1	39.3	50.9	74.8	89.3	104.4	125.7	134.7	152.6	163.1
50	29.6	46	59.8	87.6	105.4	122.5	148.2	159.2	181.7	194.9
	Semarang									
2	16.4	24	32.1	51	61.8	74.4	101.7	106.6	108.8	109
5	20.9	29.3	36.3	59.9	74	90.9	124.4	133.3	136.2	136.5
10	23.9	32.8	39.1	65.7	82.1	101.8	139.5	151	154.4	154.7
20	26.8	36.2	41.8	71.3	89.8	112.3	153.9	167.9	171.8	172.2
50	30.5	40.6	45.2	78.6	99.9	125.9	172.6	189.8	194.4	194.9

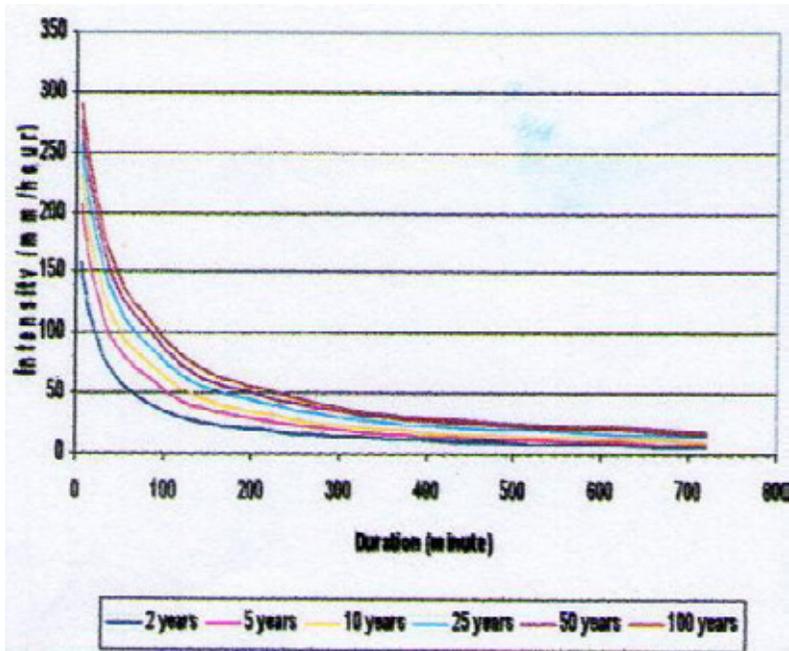
Tabel 2.2. IDF beberapa lokasi di Indonesia



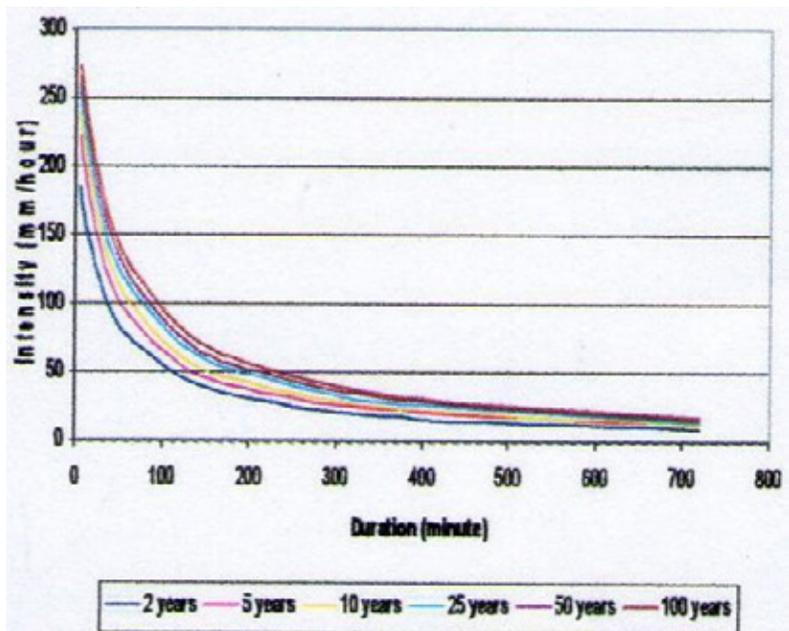
Gambar 2.5. Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Bandung Station



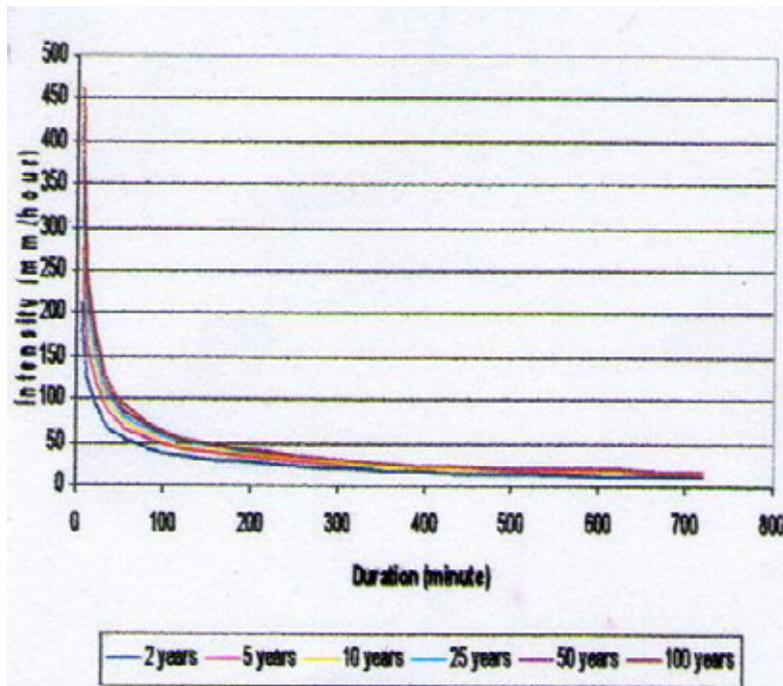
Gambar 2.6. Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Bogor Station



Gambar 2.7. Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Jakarta Station



Gambar 2.8. Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Semarang Station



**Gambar 2.9. Kurva Tipikal Rainfall Intensity Duration Frequency at Bali Station**

e. Koefisien Runoff

Koefisien runoff bervariasi pada saat turun hujan dengan topografi, tata guna lahan, tutupan vegetasi, tipe tanah, dan kelengasan tanah. Jika tata guna lahan bervariasi dalam suatu watershed, harus dipertimbangkan masing-masing bagian watershed secara terpisah dan menghitung nilai koefisien runoff yang berberat (*weighted*)

Tabel berikut ini memberikan jangkauan nilai C bagi berbagai jenis tutupan lahan sebagai rujukan tipikal dan pemakaian nilai yang dianggap tepat tergantung penilaian individual terhadap kondisi yang ada dan diantisipasi dari watershed.

<b>Tabel 2.3. Koefisien Run off untuk daerah perkotaan</b>	
<b>Tipe dari Lahan Drainase</b>	<b>Koefisien Runoff</b>
<b>Komersial :</b>	
• Daerah pusat kota	0. 70-0. 95
• Pemukiman	0. 30-0. 70
<b>Perumahan :</b>	
• Daerah single-family	0. 30-0. 50
• Daerah multi-units, terpisah	0. 40-0. 60
• Daerah multi-units, menyatu	0. 60-0. 75
• Suburban	0. 35-0. 40
• Daerah apartment tempat tinggal	0. 30-0. 70
<b>Industri :</b>	
• Daerah industri ringan	0. 30-0. 80
• Daerah industri berat	0. 60-0. 90
<b>Taman, pemakaman</b>	0. 10-0. 25
<b>Ruang bermain</b>	0. 30-0. 40
<b>Halaman stasion</b>	0. 30-0. 40
<b>Daerah-daerah yang belum dikembangkan :</b>	
• Tanah sand atau sandy loam, 0-3%	0. 15-0. 20
• Tanah sand atau sandy loam, 3-5%	0. 20-0. 25
• Tanah hitam atau loess, 0-3%	0. 18-0. 25
• Tanah hitam atau loess, 3-5%	0. 25-0. 30
• Tanah hitam atau loess, >5%	0. 70-0. 80

• Daerah berpasir tebal	0. 05-0. 15
• Lereng-lereng berumput curam	0. 70
<b>Padang rumput :</b>	
• sandy soil, datar 2%	0. 05-0. 10
• sandy soil, rerata 2-7%	0. 10-0. 15
• sandy soil, curam 7%	0. 15-0. 20
• heavy soil, datar 2%	0. 13-0. 17
• heavy soil, rerata 2-7%	0. 18-0. 22
• heavy soil, curam 7%	0. 25-0. 35
<b>Jalan raya :</b>	
• asphalt	0. 85-0. 95
• beton	0. 90-0. 95
• paving	0. 70-0. 85
<b>Jalan kaki</b>	0. 75-0. 95
<b>Atap</b>	0. 75-0. 95

Tabel II.2.4 berikut ini menunjukkan pendekatan sistematis sebuah alternatif untuk menentukan koefisien runoff. Tabel ini berlaku bagi watershed daerah terbuka sebagai series dari beberapa aspek.

<b>Tabel 2.4. Menentukan koefisien runoff</b>				
<b>C</b>	<b>Ekstrim</b>	<b>Tinggi</b>	<b>Normal</b>	<b>Rendah</b>
<b>Relief - Cr</b>	0. 28 - 0. 35 terjal, tidak rata dengan kecuraman rerata > 30%	0. 20 – 0. 28 Berbukit-bukit dengan kelandaian rerata lahan 10 -30%	0. 14 – 0. 20 Bergelombang dengan kecuraman rerata 5 – 10%	0. 08 – 0. 14 Lahan relatif datar dengan kelandaian rerata 0 – 5%
<b>Infiltrasi – Ci</b>	0. 12 – 0. 16 Tak ada tutupan efektif, tutup bebatuan atau tanah tipis berkapasitas infiltrasi yang dapat diabaikan.	0. 08-0. 12 Sukar menyerap air, tanah clay atau loam dangkal dengan kapasitas infiltrasi rendah atau dengan pematusan buruk	0. 06-0. 08 normal; tanah dengan tekstur ringan atau medium, sandy loam dengan pematusan baik	0. 04-0. 06 Bagus dan sangat bagus kira-kira 90% luasan drainase berupa padang rumput yang baik, hutan atau sejenisnya
<b>Tutup vegetasi - Cv</b>	0. 12-0. 16 Gundul atau tutupan vegetasi jarang	0. 08-0. 12 Buruk atau sedang kultivasi bersih tanaman budidaya atau alami >80%	0. 06-0. 08 Cukup sampai dengan baik; kira-kira 50% luasan padang rumput atau hutan yang baik, < 50% luasan ditanami tanman budidaya	0. 04-0. 06 Bagus dan sangat bagus kira-kira 90% luasan drainase berupa padang rumput yang baik, hutan atau sejenisnya
<b>Permukaan</b>	0. 10-0. 12 Dapat diabaikan; cekungan permukaan	0. 08-0. 10 Sistem pematusan jelas tanpa kolam-kolam	0. 06-0. 08 normal; cekungan permukaan sebagai storage,	0. 04-0. 06 Banyak storage permukaan sistem

<b>lahan - Cs</b>	sedikit dan dangkal, tak ada rawa drainase curam dan kecil	dan rawa-rawa.	kolam-kolam dan rawa-rawa	drainage tidak cukup tertata, bantaran banjir luas banyak kolam dan rawa
<p>Koefisien-koefisien runoff berlaku bagi hujan dengan frekuensi 2, 5, 10 tahun. Untuk frekuensi yang lebih besar perlu dilakukan modifikasi karena infiltrasi dan pengurangan-pengurangan lain mempunyai efek lebih kecil secara proporsional. Sesuaikan koefisien runoff dengan faktor Cf seperti ditunjukkan pada tabel di bawah ini. <b>Perkalian C dengan Cf harus &lt;1. 0.</b></p>				
<b>Masa ulang (tahun)</b>		<b>Cf</b>		
25		1. 1		
50		1. 2		
100		1. 25		

Rumus Rasional menjadi :

(Rumus B):

$$Q = \frac{C.Cf.IA}{360}$$

di mana :

- 360 = untuk perhitungan dalam satuan metrik.

f. Prosedur Rasional

Prosedur berikut ini menggambarkan metode Rasional untuk menaksir debit puncak :

1. Tentukan luas watershed (hektar).
2. Tentukan waktu konsentrasi, dengan memilih satu rumus  $t_p$  atau  $t_c$  seperti pada rumus di atas dengan mempertimbangkan perkembangan karakteristik-karakteristik watershed ke depan.
3. Yakinkan konsistensi dari pemisalan dan batasan pemakaian metode Rasional. .
4. Tentukan koefisien intensity duration frequency (IDF) hujan.
5. Terapkan rumus (A) untuk menghitung cara individual intensitas curah hujan. dalam (mm/jam).
6. Pilih koefisien runoff yang tepat dari watershed. Apabila watershed mempunyai beberapa bagian dengan karakteristik-karakteristik berbeda harus ditentukan nilai-nilai C dari setiap bagian secara individual. Nilai C ditentukan dengan menggunakan rumus (C). Nilai C tidak mempunyai satuan.

(Rumus C)

$$C = \frac{\sum_{n=1}^m C_n A_n}{\sum_{n=1}^m A_n}$$

di mana :

- C = koefisien runoff berberat (weighted)
- $n = n^{\text{th}}$  bagian daerah
- m = jumlah bagian daerah
- $C_n$  = runoff coefficient for  $n^{\text{th}}$  bagian daerah
- $A_n$  = luas bagian daerah (ha) ke n

Hitung debit puncak dari watershed tersebut dengan rumus (B).

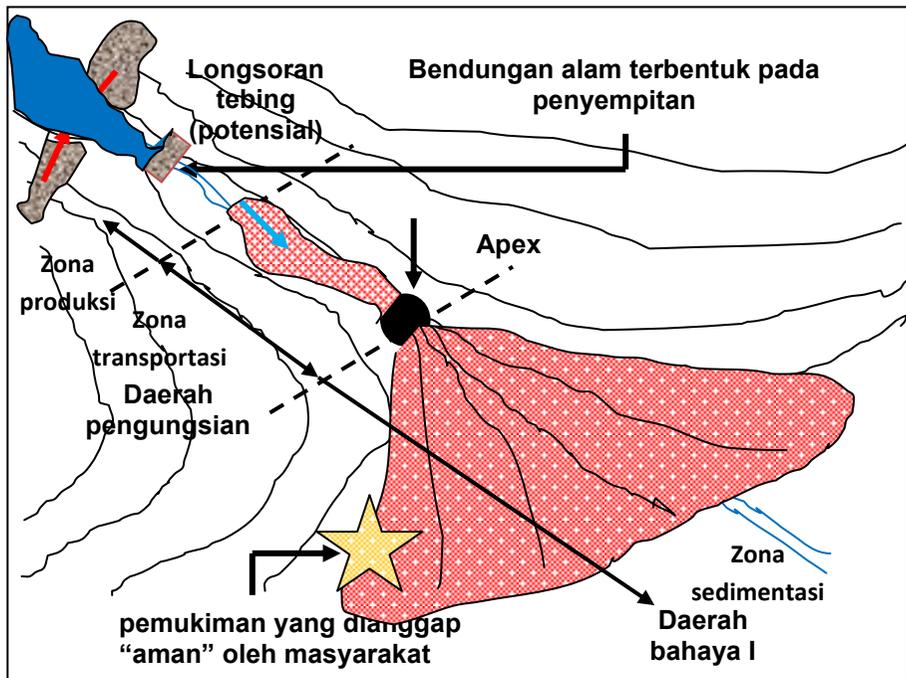
iii. Aspek hidrolika sungai

Waktu konsentrasi hujan yang cepat hanya terjadi pada sebuah DAS dengan luasan yang kecil dengan kemiringan lahan yang curam. Kondisi ini terdapat pada alur-alur sungai ordo 1 pada ruas jeram dan/atau ruas jalin .pada Tabel 1 halaman 17 disebutkan ruas jeram memiliki kelandaian  $\geq 0.03$  dan ruas jalin berkelandaian  $0.01 \rightarrow 0.03$  . Kedua ruas tersebut, khususnya ruas jeram akan mengalirkan debit dengan kecepatan yang tinggi dengan akibat :

- Hidrograf akan tajam, debit akan meningkat dengan cepat dan surut dengan cepat pula dan menjadi tempat terbentuknya debit yang akan menimbulkan banjir bandang di hilirnya (ruas sedimentasi)
- Kemampuan transport sedimen besar baik dalam jumlah maupun ukuran butiran sedimen

### 2.2.2. Banjir bandang akibat jebolnya dam alam

Material runtuh tebing alur sungai yang sering bercampur dengan debris vegetal berupa (batang) pepohonan yang memasuki alur dan teronggok melintang pada dasar, membentuk bendungan alam. Bendungan alam ini akan menghentikan aliran alur sampai ketinggian tertentu yang kemudian bobol oleh meningginya elevasi air di hulunya



Gambar 2.10. Daerah Bahaya Banjir Bandang tipe 2

#### 2.2.2.1. Proses terbentuknya bendungan alam :

Bendungan alam terbentuk oleh material longsor tebing serta debris vegetal terutama terjadi pada alur jeram pada penampangnya yang sempit (bottle neck) walau pada penampang yang lebar dapat

pula terjadi bendungan alam kalau material longsor cukup banyak dan terjadi seketika.

Dua unsur kunci yang sangat berpengaruh pada terjadinya longsoran tebing adalah **intensitas hujan dan durasi/lama curah** yang akan menimbulkan kejenuhan dan tekanan pori maksimum pada material lereng.

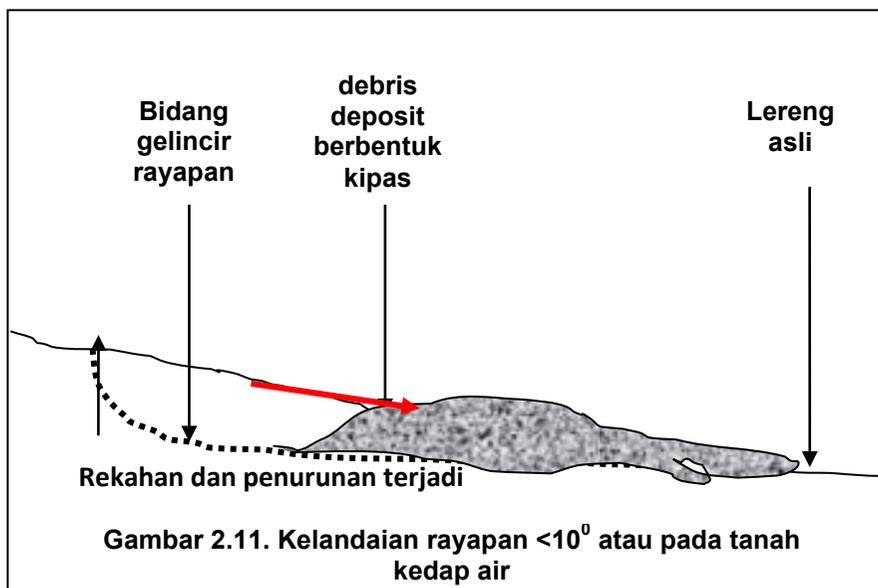
Topografi, kondisi-kondisi tanah, dan penutup lahan DAS juga memegang peran penting bersama dengan faktor hidrologi di atas

1) Tipe – tipe gerakan massa tanah / longsoran :

a. Erosi permukaan DAS. Dari sebuah DAS yang cukup luas sedimen hasil erosi menyumbang jumlah yang harus diperhitungkan pada ketebalan deposit dasar alur, tetapi khususnya pada ruas aluvial sehingga dapat diabaikan dalam pembahasan tentang banjir bandang.

b. Rayapan (*Creep*) :

Rayapan biasanya terjadi pada lereng yang landai ( $<\pm 10$  derajat)



Pada lereng tanah kedap air, penjenjutan berjalan sangat lambat. Rayapan sebagai gerakan pendahuluan memerlukan banyak waktu, dimulai dari kaki lereng, yang menimbulkan retakan dan penurunan pada puncak lereng. Proses ini meningkatkan kapasitas infiltrasi melalui retakan tersebut, mempercepat gerakan massa tanah menjadi longsor (*landslide*).

c. Longsor lereng (*Landslide*) :

- i. Longsor lereng terjadi dengan cepat ke bawah yang didahului oleh rayapan.
- ii. Atau longsor lereng terjadi setelah terjadi liquefaksi pada massa tanah lapisan permukaan.

Kedua proses di atas akan meninggalkan bidang gelincir di bawahnya yang terletak cukup dalam.

d. Runtuhan tebing (*cliff failure*)

Tebing dengan sudut kelerengan kira-kira  $> 45$  derajat (*cliff*) runtuh dipicu oleh terjadinya proses liquefaksi pada lapis permukaan dengan tebal kira-kira setebal 2 – 3 m

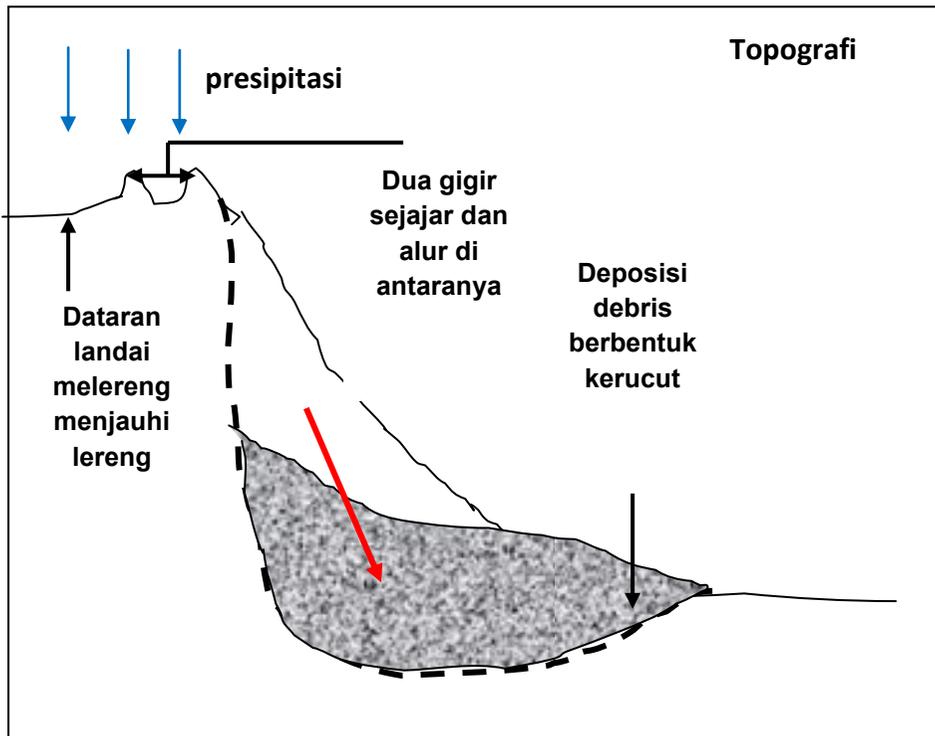
Dapat juga terjadi hilangnya beban penyeimbang (*counterweight*) pada kaki tebing alur sungai karena tererosi aliran, dan menyebabkan bagian atas tebing runtuh dan menyumbang material bagi terbentuknya bendungan alam.

2) Fefaktor yang mempengaruhi proses gerakan massa tanah/longsor :

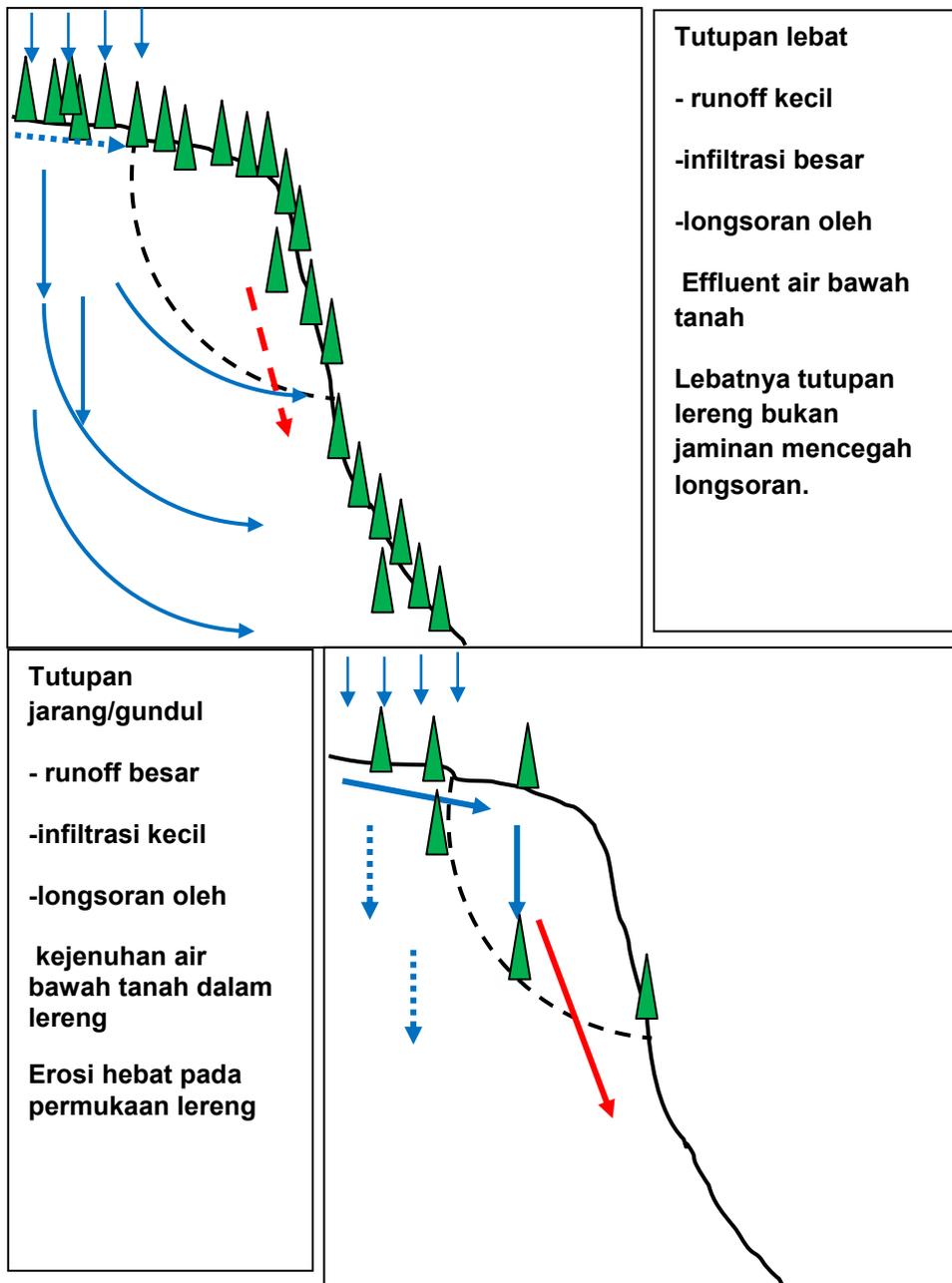
Faktor topografi dan geologi menjadi dua faktor yang menolong terjadinya gerakan massa tanah. Kedua faktor tersebut berkaitan dengan besar kecilnya kapasitas infiltrasi dan penjenjutan lahan lereng dan tebing ;

- a. Faktor topografi
- i. Dataran lahan di atas lereng atau tebing relatif datar atau sangat landai akan mempunyai tingkat infiltrasi yang besar, sehingga runoff permukaan yang menuju lereng atau tebing kecil.
  - ii. Adanya alur drainase alam atau fitur topografi yang dapat menjadi drainase pada waktu hujan yang mengalir sejajar garis lereng/tebing akan meresapkan air ke bagian belakang lereng/tebing mempercepat jenuhnya tanah lereng /tebing .
  - iii. Tutupan vegetasi (Vegetal cover)  
Tutup vegetasi yang baik/lebat di atas DAS akan menambah porositas permukaan lahan oleh adanya perakaran yang menembus tanah. disamping itu terjadi hambatan terhadap runoff oleh tetumbuhan, serta adanya lapisan humus yang akan menyerap air yang juga mengurangi runoff permukaan, menambah waktu meresap. Ketiga kondisi di atas menyebabkan tingkat infiltrasi besar, mengurangi proses penjenahan tanah lereng/tebing sehingga longsor dan runtuh tebing jarang terjadi, serta erosi permukaan mengecil .  
Pada kondisi ini terjadinya longsor atau runtuhnya tebing diakibatkan adanya aliran air bawah tanah yang jenuh mencari jalan ke luar (*effluent*) pada lereng/tebing, khususnya ketika terjadi hujan lebat sebelum kejenuhan lahan berkurang.  
Pada tutup vegetasi yang tidak baik/jarang atau lahan gundul peresapan sangat kecil. Runoff yang besar akan mengalir ke atas lereng/tebing menimbulkan erosi hebat

dan meresap ke dalam tanah lereng/tebing, dengan cepat menjenuhkannya, menimbulkan longsor.



Gambar 2.12. Pengaruh Faktor Topografi

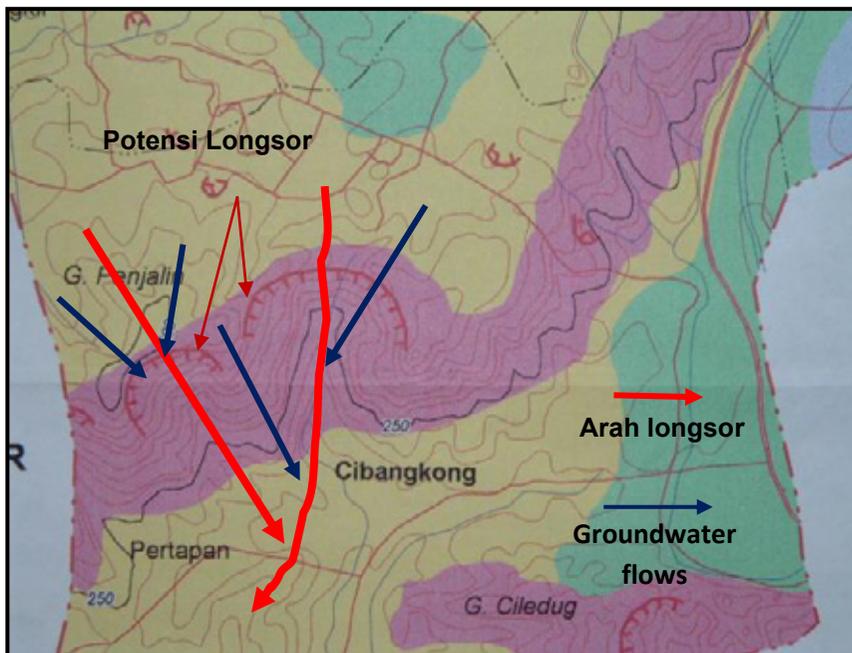


**Gambar 2.13. Pengaruh kondisi tutup vegetasi pada stabilitas lereng/tebing**

iv. Lereng synclinal :

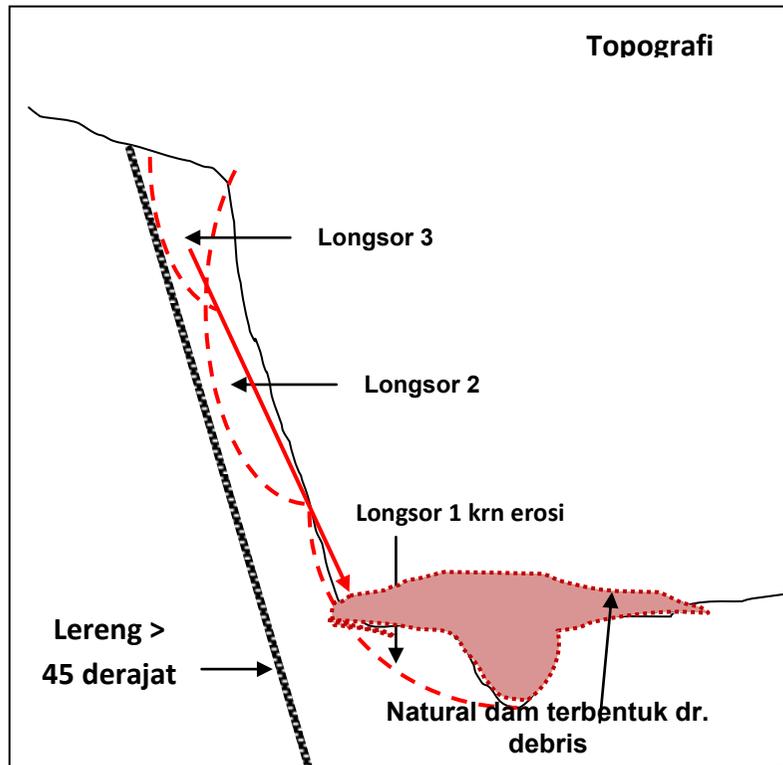
Air bawah tanah di belakang lereng synclinal dan dua lereng anticlinal yang mengapitnya akan mengalir menuju tanah di belakang lereng synclinal tersebut, mempercepat penjuanan dan . proses liquefaksi lereng synclinal tersebut dan menimbulkan longsoran. Sebelum terjadi longsoran lereng di situ, biasanya muncul mata air di kaki lereng sebagai jalan keluar (*effluent*) air bawah tanah Munculnya mata air ini dapat menjadi tanda akan terjadinya longsoran segera.

Mata air tersebut dapat berkembang menjadi alur sungai setelah terjadi longsoran.



Gambar 2.14. Lereng lereng synclinal yang rentan longsor

- v. Lereng tebing sungai yang terlalu curam melebihi sudut lereng alam dari tanah atau lapukan bebatuannya sangat rentan menimbulkan runtuh tebing, khususnya apabila lapis atas tanah tebing telah mengalami pelapukan dan menjadi mawur (*loose*). Dengan adanya resapan air hujan ke dalamnya, tanah tebing akan runtuh. Runtuhnya tebing ini dipercepat apabila kakinya tergerus aliran sungai sehingga tebing kehilangan berat penyeimbangannya (*counterweight*) Pada tebing–tebing sungai, runtuhannya akan jatuh ke dalam alur, dan apabila volume runtuh cukup besar akan membentuk bendungan alam, yang pada suatu saat akan pecah menimbulkan banjir bandang disertai aliran debris dari rombakan bendungan tersebut .



**Gambar 2. 15. Runtuhan tebing oleh faktor topografi**

b. Faktor Geologi :

Apabila sub soil dari material mawur (*loose*) mendasari lereng dengan kapasitas infiltrasi yang besar, sangat mudah menimbulkan kejenuhan lereng oleh hujan-hujan berturut-turut. Air hujan yang jatuh kemudian tidak akan lagi diserap oleh subsoil yang telah jenuh, mengalir sebagai effluent dan akan menimbulkan longsoran tebing

Proses longsoran :

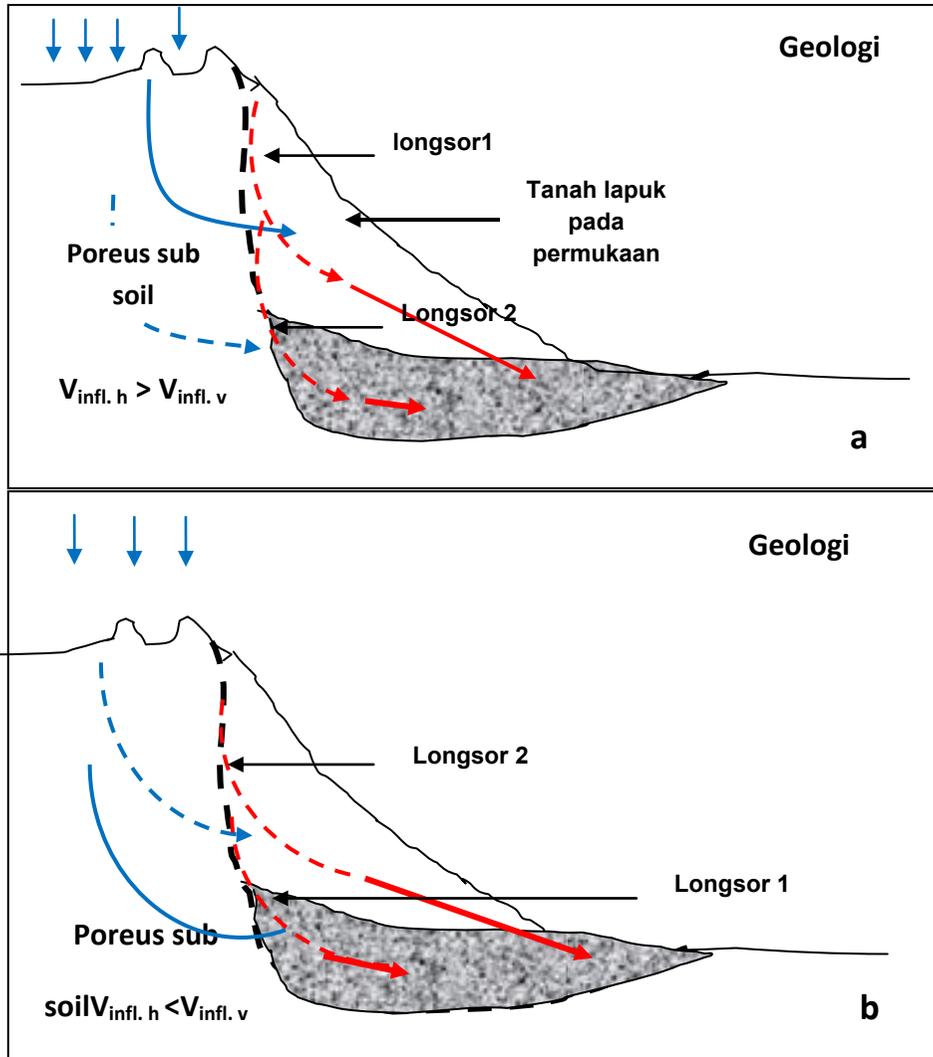
- i. Makin padat *subsoil* dengan bertambahnya kedalaman, kecepatan resap aliran horisontal lebih besar daripada

kecepatan aliran vertikalnya Bagian atas lereng jenuh lebih cepat daripada bagian bawahnya sehingga mengalami liquefaksi lebih dahulu dan longsor, yang kemudian segera disusul oleh bagian bawah lereng

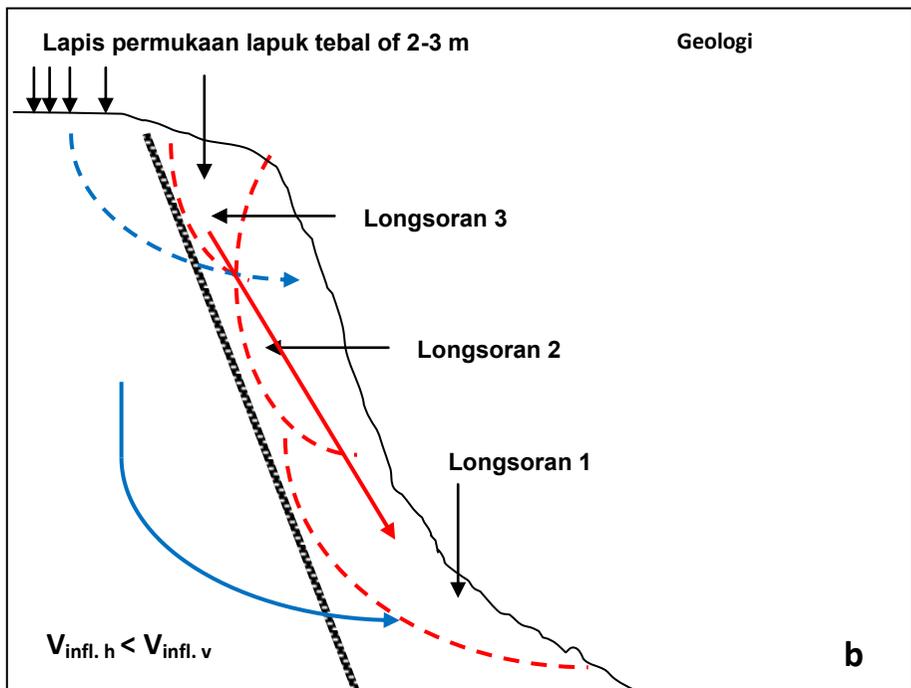
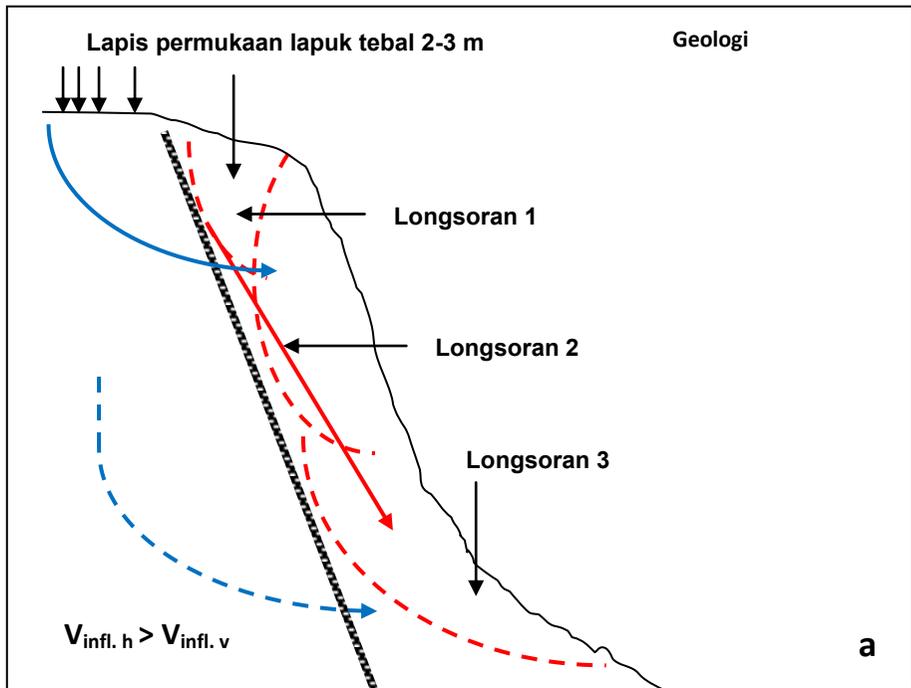
- ii. Sebaliknya terjadi jika kecepatan infiltrasi vertikal lebih besar daripada kecepatan horisontalnya, bagian bawah lereng akan mengalami penjenuhan lebih cepat dan terliquefaksi serta longsor lebih dahulu, kemudian segera disusul oleh bagian atas lereng

Kedua proses di atas berjalan saling susul dengan cepat seolah-olah berjalan serentak pada seluruh ketinggian lereng, atau berjarak waktu tertentu.

Proses longsor lereng akan meninggalkan bidang gelincir yang dalam dan deposit material longsor berbentuk kerucut pada kaki lereng.

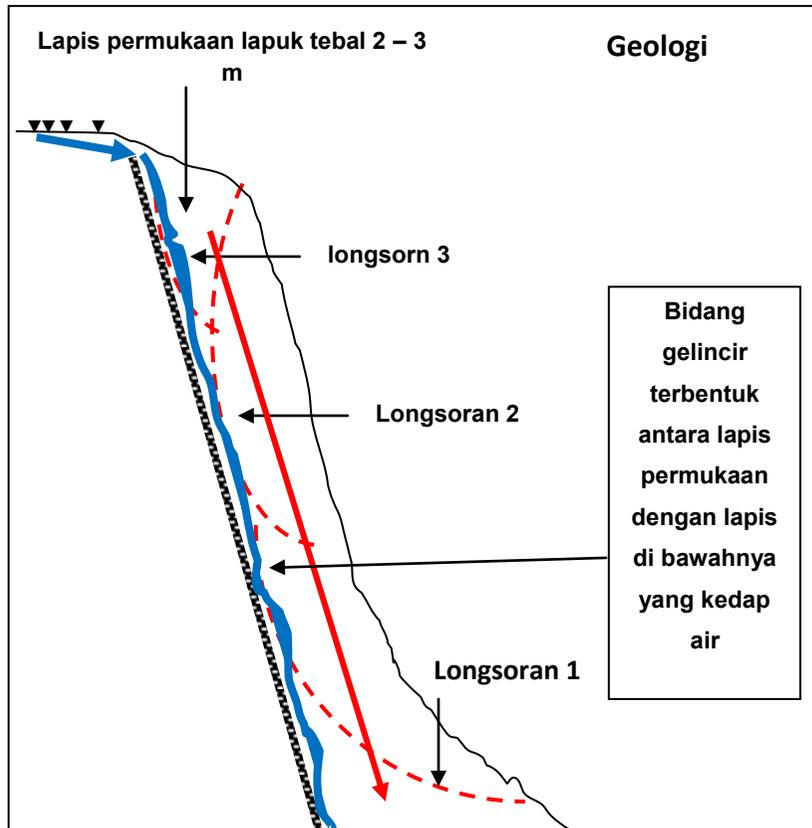


Gambar 2.16. Faktor Geologi yang berpengaruh



**Gambar 2.17 Runtuhan tebing oleh faktor Geologi**

- iii. Lapisan tanah permukaan tebing terletak di atas lapisan bawah (*sub surface*) yang kedap air. Air yang memasuki bidang batas kedua lapisan akan mengubah bidang batas menjadi licin, dan menjadi bidang gelincir bagi runtuhnya lapisan permukaan tebing ke bawah.

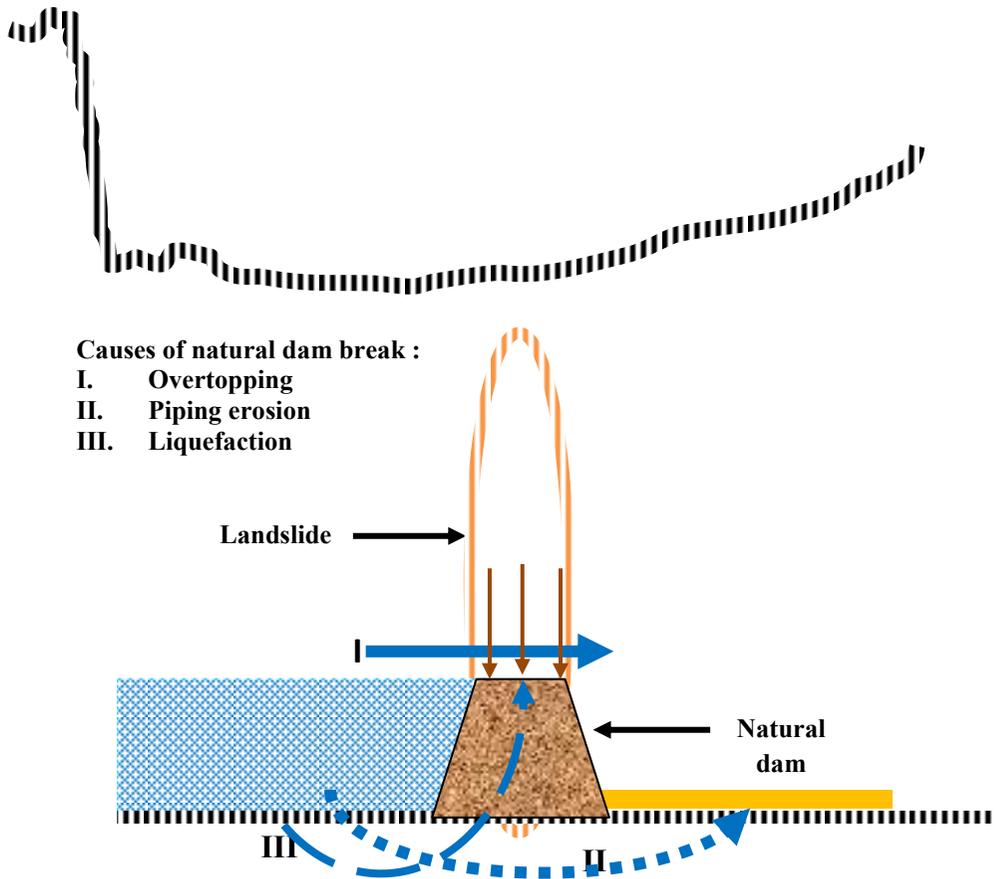


Gambar 2.18. Bidang gelincir antara dua lapisan

### 2.2.2.2. Runtuhnya bendungan alam

Tebentuknya bendungan alam sering tidak dapat dilihat masyarakat karena sulitnya medan di mana terjadi longoran yang membentuk timbunan bendungan alam. Kejadian ini biasanya ditandai dengan suara gemuruh dan menyusutnya debit air di hilir,

Runtuhnya bendungan alam dapat terjadi oleh satu atau lebih penyebab di bawah ini, tidak perlu didahului oleh hujan lebat pada DAS alurnya walaupun hal ini akan memicu cepatnya terjadi proses keruntuhan



Gambar 2.19. Sketsa runtuhnya natural dam

Apabila ketinggian air yang terbandung di hulunya telah mencapai elevasi tertentu bendungan alam akan runtuh karena :

1. Limpasan air di atasnya yang akan menggerus tubuh bendungan
2. Terjadi erosi pipa di dasar dan atau di samping tubuh bendungan karena tidak cukup padatnya timbunan yang terjadi
3. Likuefaksi yaitu mencairnya tanah timbunan bendung karena tekana pori di dalamnya oleh tekanan hidrostatis air yang akan melebihi besarnya beban tubuh bendungan

Terjadinya ketiga penyebab keruntuhan di atas dapat dilihat dari menjadi keruhnya debit air di hilir disusul dengan suara gemuruh dan banjir bandang di hilir dengan cepat

## III. Tindakan dan Sistem Mitigasi Banjir Bandang

### 3.1. Tindakan mitigasi bencana banjir bandang

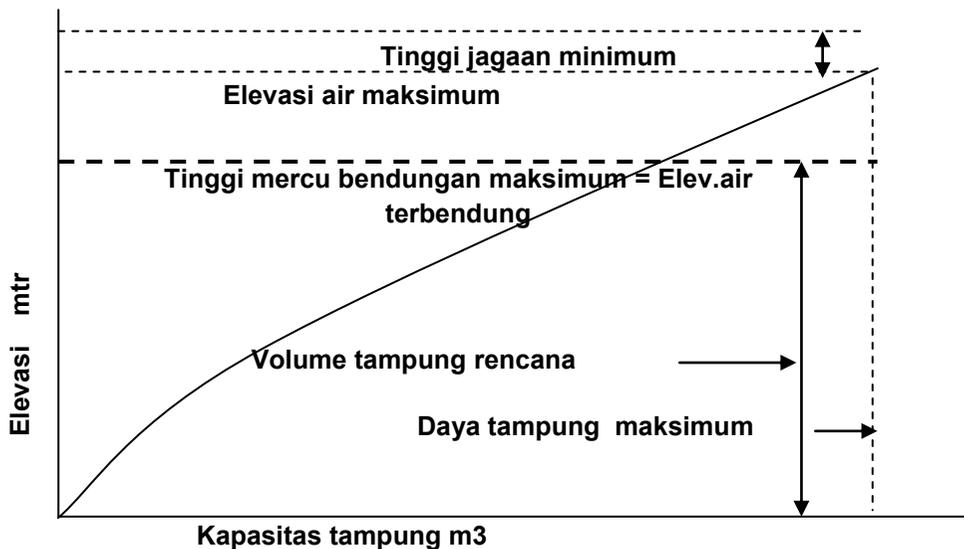
Unsur utama dari banjir bandang adalah debit air yang sangat besar terjadi secara tiba-tiba. Debit ini pada ruas produksi atau alur deras akan mampu mengangkut bersama alirannya sejumlah debris yang telah tersedia pada dasar alur atau yang digerusnya ketika mengalir. Kedua unsur tersebut akan menimbulkan bencana hebat pada daerah yang dilandanya.

Untuk mengurangi ancaman dan akibat bencana tersebut beberapa tindakan dapat dilakukan

#### 1. Meredam volume banjir bandang

Pada Gambar 2.4. digambarkan lonjakan debit oleh hujan ekstrim yang akan menimbulkan banjir bandang di hilir. Untuk mencegahnya dibuat sebuah waduk peredam banjir (detention storage) pada alur jeram dan kalau perlu pada alur jalin untuk membatasi debit yang mengalir ke bawah agar maksimum sebesar debit dominan alur aluvial hilirnya.

- i. Hitung debit ekstrim ( $Q_{1th}$ ,  $Q_{2th}$ ,..... $Q_{100th}$ ) dengan cara seperti dijelaskan pada sub bab tentang Prosedur Rational
- ii. Check kapasitas aliran ( $Q_{dominan}$ ) dari alur di hilir apex ruas jalin, untuk mengetahui bagian dari debit ekstrim rencana yang harus diredam .
- iii. Hitung volume banjir bandang dari debit ekstrim yang harus diredam
- iv. Dari gambar pengukuran profil ruas jeram dan ruas jalin dibuat perhitungan dan grafik hubungan elevasi dan kapasitas tampung alurnya agar dapat menentukan daya tampung dan ketinggian elevasinya yang terkait (gambar 3.1)



**Gambar.3.1. Grafik elevasi – kapasitas tampung**

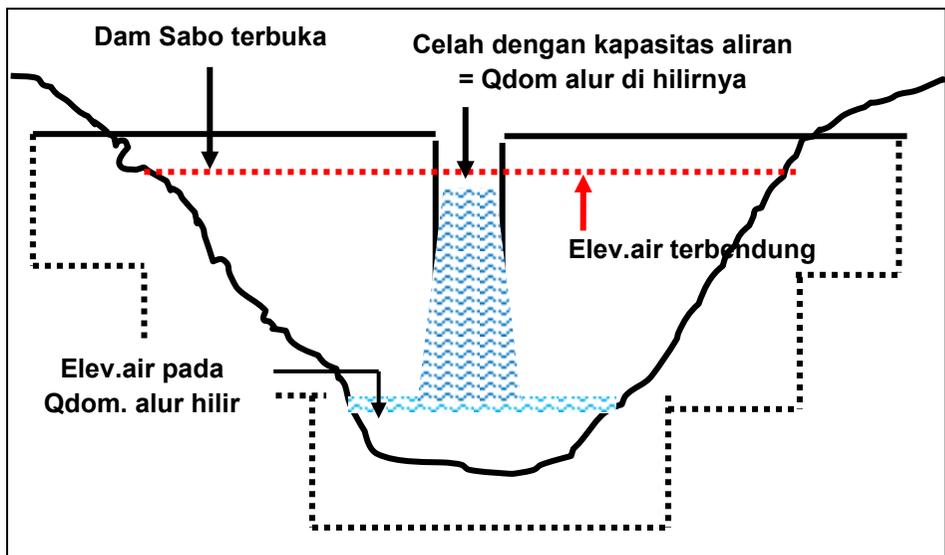
2. Untuk membentuk sebuah waduk peredam banjir bandang dapat dilakukan dengan membuat sebuah bangunan sabo dengan spesifikasi :
- i. Tipe bercelah (slit sabo) dengan celah tunggal atau celah ganda
  - ii. Tipe gorong-gorong (culvert sabo)  
 Agar diperhatikan supaya luas penampang aliran masing-masing celah atau culvert harus ditentukan cukup besar agar
    - Tidak mudah tersumbat
    - Kecepatan aliran pada debit maksimum yang melewatinya lebih kecil atau tidak melebihi kecepatan kritis material pembuatannya agar tidak merusaknya
  - iii. Ketinggian elevasi air terbendung (lihat gambar .3.1.) direncanakan agar menimbulkan tinggi tekanan sedemikian hingga debit celah sama dengan  $Q_{dominan}$

alur hilir. Elevasi ini dapat disamakan dengan elevasi mercu bendung untuk menghemat konstruksi dan ketinggian tekanan

- iv. Dalam menentukan elevasi mercu bangunan harus diperhatikan masih tersedianya jagaan apabila terjadi kenaikan air ke elevasi maksimum.

Celah atau bukaan bangunan sabo ada kemungkinan dapat tersumbat sehingga air harus melimpas di atas mercu. Ketinggian limpasan direncanakan maksimum mencapai elevasi air maksimum pada  $Q_{dominan}$

- v. Dengan demikian volume rencana peredaman banjir maksimum dapat lebih kecil dari daya tampung maksimum yang tersedia sehingga diperlukan pembuatan lebih dari satu waduk peredam banjir dalam seri .



Gambar 3.2. Bangunan pembatas debit banjir bandang dipandang dari hilir

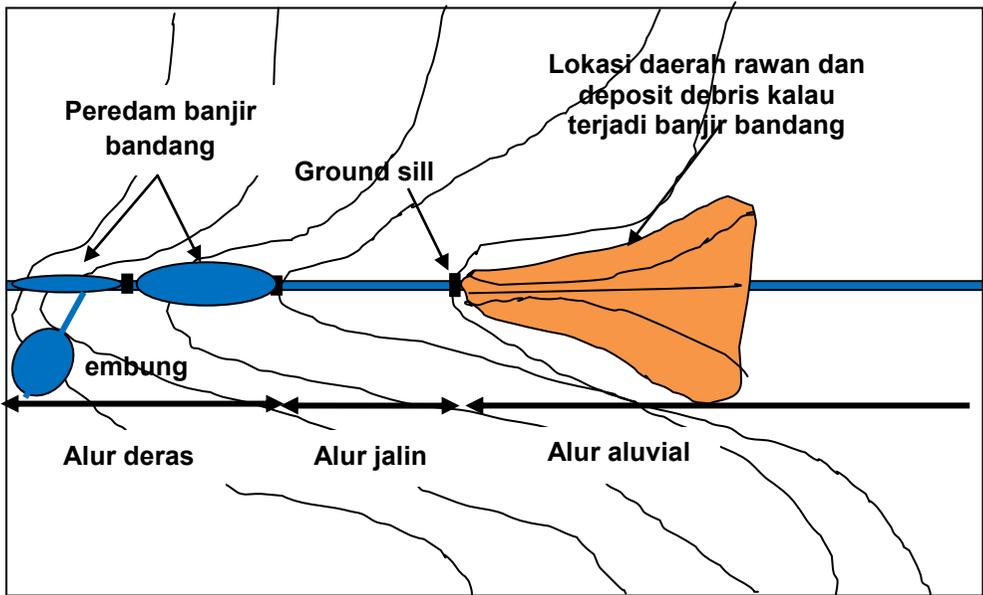
### 3.2. Sistem mitigasi banjir bandang

Untuk mengurangi ancaman dan akibat bencana bandang sistem dari beberapa tindakan dapat dilakukan yang pada prinsipnya

1. Membuat peredam banjir pada alur deras untuk menangkap dan menyimpan sementara sebagian volume banjir (detention storage) agar debit yang dilepas ke hilir maksimum sama dengan debit dominan alur hilir.

Peredam banjir dapat dibuat sebuah atau beberapa dalam seri tergantung dari :

- Besar volume atau frekuensi banjir yang harus diredam dan ditampung
  - besar volume tampungan yang tersedia yang tergantung kepada
    - kelandaian dan panjang dari alur deras
    - ketinggian tebing di sepanjang alur deras.
    - Untuk menambah daya tampung peredam banjir pada alur jalin dapat dibuat peredam banjir jika memenuhi beberapa kondisi bagi pembuatannya khususnya memiliki tebing yang cukup tinggi .
2. Membuat embung(-embung) pada lokasi yang memungkinkan misalnya dengan memanfaatkan galur-galur erosi (gullies) sebagai penambah besar volume
  3. Mengurangi kecepatan aliran banjir bandang  
Kecepatan aliran ini dapat dikurangi khususnya pada alur transportasi membuat aliran di situ berjenjang dengan memasang satu atau beberapa (satu seri) ground sills untuk mendatarkan kemiringan dasar. Tindakan ini akan mengurangi ancaman terjadinya aliran debris bersama banjir bandang



Gambar 3.3. Sketsa denah peredam banjir bandang

#### IV. PERINGATAN DINI AKAN TERJADINYA BANJIR BANDANG

##### **Tanda-tanda akan terjadi banjir bandang.**

1. Daerah di mana tercatat pernah terjadi banjir bandang dapat dianggap sebagai daerah yang terancam kejadian serupa. Daerah ini perlu diperhatikan secara khusus untuk tanda-tanda kemungkinan terjadi banjir bandang lagi .Secara topografi dan geologi daerah-daerah demikian mempunyai gambaran-gambaran khusus seperti telah dibahas di atas.: Gambaran daerah tersebut dapat dipakai sebagai percontohan untuk menentukan daerah lain yang cenderung terjadi banjir bandang antara lain biasanya mempunyai ;
  - a. Topografi permukaan lahan DAS yang sangat miring
  - b. Tutup vegetasi jarang
  - c. Lapisan permukaan sangat tererosi membuat lapisan tanah bawah yang kedap air tersingkap
  - d. Lapisan bawah permukaan (sub surface) DAS mempunyai permeabilitas rendah, dan mempunyai tingkat infiltrasi rendah sehingga runoff permukaan tinggi
  - e. Lapis permukaan lahan sangat lapuk. Keadaan ini menimbulkan runoff permukaan dan produksi sedimen (sediment yield) yang akan mengendap sebagai sedimen dasar pada alur pematang dan mungkin menyebabkan pembendungan alam.
  - f. Hujan lebat sering jatuh pada daerah-daerah ini untuk beberapa jam atau hujan yang tetap selama beberapa hari, menimbulkan kejenuhan tanah dan akhirnya menyebabkan banjir bandang
  
2. Tanda-tanda terjadinya gerakan massa tanah/longsoran
  - a. Guntur di kejauhan perlu mendapatkan perhatian karena menandai adanya hujan badai di hulu yang dapat mengirimkan runoff besar

yang dapat menimbulkan banjir bandang sebagai bencana yang datang tanpa peringatan, khususnya pada daerah yang disebutkan pada nomor 1 di atas.

- b. Meningkatnya kekeruhan air sungai di hilir secara mendadak, suara gemuruh dari aliran air dapat menjadi tanda adanya bendungan (alam) yang bobol atau mendadak hanyutnya sumbatan debris pepohonan yang dapat menimbulkan banjir bandang dan aliran debris di hilir.

3. Peringatan akan terjadinya banjir bandang

Ada dua jenis peringatan bagi banjir bandang :

- a. Peringatan dini berdasarkan kearifan lokal dalam menandai kapan akan terjadi banjir bandang pada suatu daerah misalnya surutnya debit sungai di luar keadaan sehari-hari
- b. Peringatan banjir bandang lain adalah ketika terjadi bencana atau akan terjadi bencana . Peringatan banjir bandang dikeluarkan bila ada ramalan curah hujan lebat yang akan terjadi di daerah yang cenderung menimbulkan banjir bandang di daerah tersebut dan bila perlu dilakukan tindakan evakuasi dari daerah rendah. Jangan berkendara di daerah yang mengalami banjir bandang.
- c. Beberapa hal yang perlu diwaspadai bila berada di daerah yang terancam banjir :
  - i. Waspada terhadap tanda-tanda turunnya hujan lebat mendadak.
  - ii. Waspada terhadap tanda-tanda kenaikan muka air sungai yang sangat cepat
  - iii. Jangan menyeberang sungai bila terjadi tanda-tanda pada ii. di atas

- iv. Banjir bandang dapat terjadi oleh bobolnya tanggul atau bendungan atau tercurahnya air yang terbendung secara tiba-tiba