

TEKNIK MITIGASI

Banjir dan Tanah Longsor

DAFTAR ISI

I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Maksud dan Tujuan	2
C. Pengertian- Pengertian	2
II. IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN BENCANA	5
A. Identifikasi Kerawanan Banjir	5
B. Identifikasi Kerawanan Tanah Longsor	14
C. Kombinasi Banjir dan Tanah Longsor	17
III. TEKNIK PENGENDALIAN BANJIR DAN TANAH LONGSOR	19
A. Teknik Pengendalian Banjir	19
B. Teknik Pengendalian Tanah Longsor	20
IV. TEKNIK PERINGATAN DINI	23
A. Peringatan Dini Bencana Banjir	23
B. Peringatan Dini Tanah Longsor	24
C. Multi-Proses Tanah Longsor dan Banjir	25
V. PENUTUP	27
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN	31

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Nilai Skor dan Kategori Daerah Rawan Terkena Banjir (Kebanjiran)	10
Tabel 2.	Arahan Teknik Penanggulangan Bencana Tanah Longsor Pada Berbagai Penggunaan Lahan dan Tingkatan Proses Longsor	21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Diagram Alir Identifikasi Kerawanan Banjir	7
Gambar 2.	Bentuk Lahan - Lembah Aluvial diantara Perbukitan (a. dan b.) ...	9
Gambar 3.	Diagram Alir Teknik Analisis Pasca Bencana Banjir	13
Gambar 4.	Diagram Alir Identifikasi Kerawanan Tanah Longsor	15
Gambar 5.	Contoh Peta Geologi – Menunjukkan Jenis Batuan dan Keberadaan Garis Sesar/Patahan/Gawir	16
Gambar 6.	Sebagian Ciri Daerah Terkena Banjir Bandang Multi-Proses Banjir dan Tanah Longsor	18

I. PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Bencana banjir dan tanah longsor belakangan ini sering terjadi di seluruh tanah air dalam sebaran dan keragaman ruang dan waktu. Bencana tersebut terjadi hampir merata di seluruh wilayah Indonesia dengan beragam luas daerah tangkapan air (catchment area) sebagai sumber pasokan air banjir dan beragam waktu, baik pada awal, pertengahan maupun akhir musim penghujan. Pada awal tahun 2006, banjir terjadi di wilayah sangat hulu dengan luas daerah tangkapan air kurang dari 5.000 ha seperti terjadi di Jember, Situbondo, dan Trenggalek, Jawa Timur. Pada akhir tahun 2007, bencana banjir dan tanah longsor kembali terjadi dengan intensitas yang lebih besar, seperti yang terjadi di daerah aliran sungai (DAS) Bengawan Solo dimana banjir terjadi mulai dari wilayah sekitar Kota Solo hingga ke hilir di Kabupaten Bojonegoro dan Lamongan. Bencana banjir bisa terjadi oleh proses alam maupun dipercepat oleh campur tangan manusia dalam mengelola dan memanfaatkan sumberdaya alam untuk memenuhi kehidupannya.

Ada pendapat bahwa dampak perubahan iklim global mengakibatkan terjadi perubahan perwatakan hujan seperti intensitas hujan, tinggi hujan, pola sebaran, baik tempat maupun waktu, sehingga memicu terjadinya bencana-bencana alam. Proses alam, seperti pergeseran lempeng dan gempa bumi untuk membentuk keseimbangan alam baru, terjadi tidak terduga dan sulit untuk diprakirakan, dan memungkinkan peningkatan kerawanan terhadap bencana. Perubahan dan proses alam tersebut tidak perlu dirisaukan tetapi harus disikapi secara adaptif, sehingga mampu melakukan tindakan bijak.

Aktivitas manusia yang kurang memperhatikan lingkungan telah banyak memicu dan mempercepat terjadinya bencana alam. Sebagai contoh pemotongan lereng terjal untuk pemenuhan sarana prasarana jalan dan pemukiman dapat memicu longsor, dan okupasi badan sungai mengakibatkan berkurangnya dimensi/ukuran palung sungai sehingga terjadi banjir karena sungai tak mampu menampung aliran air. Saat ini masih dimitoskan bahwa timbulnya bencana banjir dan tanah longsor sebagai akibat penebangan hutan, terutama yang dilakukan secara liar (illegal). Pandangan tentang pengaruh hutan terhadap tanah longsor dan banjir masih diperdebatkan, dan perlu ditelaah secara kasus per kasus agar diperoleh hasil analisis yang faktual dan rasional. Untuk bisa melakukan tindakan bijak, maka pemahaman tentang teknik mitigasi bencana banjir dan tanah longsor sangat diperlukan oleh para pihak terkait.

Tindakan yang perlu dilakukan mencakup teknik identifikasi daerah rawan terkena bencana, teknik pencegahan dan pengurangan, serta metode pengembangan dan

sosialisasi peringatan dini. Semua tindakan tidak mungkin dilakukan sepihak dari atas (top down) tetapi merupakan tindakan terpadu dari atas dan dari bawah (bottom up). Kewaspadaan masyarakat penghuni wilayah rawan bencana sangat diperlukan, dan pengembangan keberdayaan masyarakat dalam mitigasi bencana alam harus selalu digaungkan setiap saat. Pemberdayaan tidak hanya dalam bentuk himbauan dan perintah tetapi tindakan nyata dan kesadaran masyarakat akan bahaya yang selalu mengancam setiap saat.

B. Maksud dan Tujuan

Maksud penyusunan buku teknis ini adalah untuk menuntun para pihak, termasuk masyarakat setempat, melakukan mitigasi bencana banjir dan tanah longsor yang mudah dipahami. Selanjutnya tujuannya adalah agar masyarakat dan para pihak secara dini dapat melakukan indentifikasi wilayah rawan bencana banjir dan tanah longsor, tindakan preventif (pencegahan), pengurangan kemungkinan kerugian akibat bencana, dan persiapan dalam melakukan respon darurat, sesuai dengan fungsi dan peran masing-masing.

C. Pengertian-Pengertian

1. Banjir: debit aliran air sungai yang secara relatif lebih besar dari biasanya/normal akibat hujan yang turun di hulu atau di suatu tempat tertentu secara terus menerus, sehingga tidak dapat ditampung oleh alur sungai yang ada, maka air melimpah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya.
2. Tanah longsor: salah satu bentuk dari gerak masa tanah, batuan dan runturan batu/tanah yang terjadi seketika bergerak menuju lereng bawah yang dikendalikan oleh gaya gravitasi dan meluncur di atas suatu lapisan kedap yang jenuh air (bidang lurcur).
3. Daerah Alian Sungai (DAS): suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografi dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.
4. Karakteristik DAS: gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan morfometri, topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia.
5. Pengelolaan DAS: upaya manusia dalam mengendalikan hubungan timbal balik antara sumberdaya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktifitasnya, dengan tujuan membina kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatkan kemanfaatan sumberdaya alam bagi manusia secara berkelanjutan.

6. Degradasi DAS: hilangnya nilai dengan waktu, termasuk menurunnya potensi produksi lahan dan air yang diikuti tanda-tanda perubahan watak hidrologi sistem sungai (kualitas, kuantitas, waktu aliran), yang akhirnya membawa percepatan degradasi ekologi, penurunan peluang ekonomi, dan peningkatan masalah sosial.
7. Degradasi lahan: penurunan atau kehilangan seluruh kapasitas alami untuk menghasilkan tanaman yang sehat dan bergisi sebagai akibat erosi, pembentukan lapisan padas (hardpan), dan akumulasi bahan kimia beracun (toxic), disamping penurunan fungsi sebagai media tata air.
8. Daya dukung lahan adalah tingkat kemampuan lahan untuk mendukung segala aktivitas manusia yang ada di wilayahnya. Daya dukung lahan merupakan alat analisis penggunaan lahan dan populasi penduduk.
9. Kepadatan penduduk geografis adalah jumlah orang yang menempati satu satuan luas wilayah yang biasanya dinyatakan sebagai jumlah orang per km².
10. Kepadatan pemukiman adalah jumlah penduduk per satuan luas pemukiman yang biasanya dinyatakan sebagai jumlah penduduk per km².

II. IDENTIFIKASI DAERAH RAWAN BENCANA

A. Identifikasi Kerawanan Banjir

Identifikasi kerawanan banjir dipilah antara identifikasi daerah rawan terkena banjir (kebanjiran) dan daerah pemasok air banjir atau potensi air banjir. Hal ini penting untuk difahami agar memudahkan cara identifikasi sumber bencana secara sistematis sehingga diperoleh teknik pengendalian yang efektif dan efisien. Untuk membantu identifikasi banjir digunakan formula banjir dalam buku Sidik Cepat Degradasi Sub DAS (Paimin, *et al.*, 2006) seperti disajikan dalam Lampiran 1.A. Dalam formula banjir tersebut dipilah antara faktor (parameter) alami (sulit dikelola), dan faktor manajemen (mudah dikelola). Setiap parameter diberi bobot yang berbeda, sesuai dengan pertimbangan perannya dalam proses banjir, kemudian diklasifikasi dalam 5 (lima) kategori dengan diberi skor 1 – 5.

Tingkat kerawanan daerah yang terkena banjir (kebanjiran) diidentifikasi dari karakter wilayahnya seperti bentuk lahan, lereng kiri-kanan sungai, meandering, pebendungan alami, dan adanya bangunan pengendali banjir. Bentuk lahan (*landform*) dari sistem lahan seperti dataran aluvial, lembah aluvial, kelokan sungai, dan rawa-rawa merupakan daerah yang rentan terkena banjir karena merupakan daerah rendah atau cekungan dengan lereng $<2\%$. Data bentuk lahan dapat diperoleh pada peta sistem lahan dari RePPPProT (*Regional Physical Planning Program for Transmigration*). Di lapangan, ciri-ciri daerah yang rentan banjir adalah adanya bangunan tanggul di kiri-kanan sungai sebagai manifestasi bentuk manajemen pengurangan banjir.

Keberadaan meandering atau sungai yang berkelok-kelok atau bentuk seperti tapal kuda berpotensi untuk menghambat kecepatan aliran sungai sehingga mengidentifikasi daerah rentan banjir. Tingkat meandering diukur dengan nilai sinusitas (P) yakni nisbah panjang sungai sesuai kelokan dengan panjang sungai secara horizontal yang berupa garis lurus dalam satuan peta.

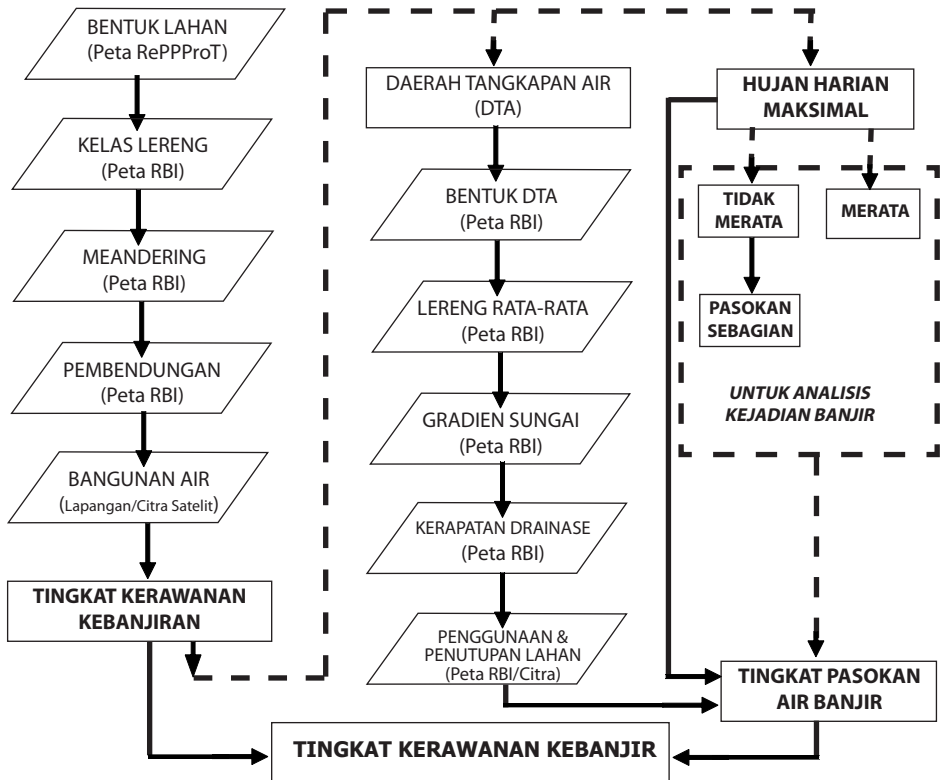
Pada daerah pertemuan dua sungai bisa terjadi pertemuan aliran arus air yang mengakibatkan adanya perlambatan atau penahanan aliran air sehingga elevasi air pada daerah pertemuan tersebut bertambah melebihi tanggul palung sungainya sehingga menggenangi daerah sekitar. Apabila sungai kecil bertemu dengan sungai yang lebih besar sering terjadi penahanan aliran air oleh aliran air sungai besar atau bahkan aliran air sungai besar masuk ke dalam sungai yang lebih kecil (*back water*) sehingga daya tampung palung sungai kecil tidak muat dan mengakibatkan banjir di sekitarnya. Proses banjir juga terjadi pada daerah muara sungai akibat aliran balik oleh adanya penahanan aliran air sungai dari air laut pasang. Demikian juga pada

tempat penyempitan palung sungai, adanya aliran air yang terhambat menjadikan daerah hulu titik tersebut rawan banjir.

Besarnya pasokan air banjir diidentifikasi dari besarnya curah hujan (sebagai masukan sistem DAS) dan karakteristik daerah tangkapan air (catchment area). Tingkat ancaman hujan terhadap besarnya banjir tergantung dari hujan harian maksimum yang merata terjadi pada daerah tangkapan air tersebut. Sedangkan karakteristik daerah tangkapan air dipilah antara parameter penyusun alami (relatif sulit dikelola) dan penyusun manajemen (mudah dikelola). Parameter atau faktor alami yang mempengaruhi air banjir dari daerah tangkapan air (DTA) adalah bentuk DAS, gradien sungai, kerapatan drainase, dan lereng rata-rata DAS; sedangkan faktor manajemen adalah penggunaan/penutupan lahan. Kondisi hutan merupakan salah satu unsur dari manajemen penutupan lahan yang berpengaruh terhadap banjir.

Banjir besar terjadi apabila air hujan cukup tinggi dan jatuh tersebar merata di seluruh daerah tangkapan air, kemudian berubah menjadi limpasan permukaan yang terkumpul secara cepat pada suatu titik keluaran (outlet). Faktor alami daerah tangkapan air merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan limpasan permukaan dari seluruh daerah tangkapan air untuk bisa terkumpul secara bersama-sama di titik keluaran. Kategori parameter dan skor dalam Lampiran 1.A (skor 1 - 5) merupakan cerminan dari tingkat kecepatan limpasan permukaan tersebut bisa terkumpul (terakumulasi) secara kualitatif.

Teknik identifikasi tingkat kerawanan banjir DAS secara skematis diuraikan pada Gambar 1. Kerawanan banjir dibedakan antara daerah rawan terkena banjir (kebanjiran) dan daerah pemasok air banjir (DTA), sehingga identifikasi dimulai dari daerah yang rawan banjir, baru kemudian pada daerah tangkapan air pemasok air banjirnya.



Gambar 1. Diagram Alir Identifikasi Kerawanan Banjir

Uraian teknik identifikasi kerawanan banjir tersebut adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Daerah Rawan Terkena Banjir (Kebanjiran)

Prosedur kerja identifikasi daerah rawan kebanjiran, secara diagram disusun seperti Gambar 1, adalah sebagai berikut:

- Gunakan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), skala 1 : 25.000, sebagai peta dasar untuk basis identifikasi.
- Padukan peta RBI dengan peta RePPPProT untuk menentukan bentuk lahan di sepanjang sungai dan cabang sungai yang memiliki ciri daerah mudah kebanjiran yakni bentuk lahan dataran alluvial, lembah alluvial, rawa-rawa, dan belokan sungai yang umumnya berlereng $<2\%$. Gunakan poligon bentuk lahan ini sebagai unit (satuan) peta dalam memberikan penilaian tingkat kerentanan daerah rawan banjir selanjutnya. Oleh karena peta RePPPProT berskala 1 : 250.000 maka bentuk lahan daerah rawan banjir yang sempit di daerah hulu tidak terpetakan (lihat Gambar 2). Dengan demikian deliniasi poligon bentuk lahan (peta RePPPProT skala 1 : 250.000) harus

dikoreksi dan dipadukan dengan peta RBI skala 1 : 25.000. Kekurangan data bentuk lahan dan pemaduan skala peta bisa dilakukan dengan menganalisis garis kontur pada peta RBI dengan mendeliniasi daerah berlereng <2% atau menggunakan DEM (Digital Elevation Model).

- c. Karakterisasi daerah rawan banjir, seperti formula Lampiran 1.A (romawi II), dilakukan dengan memberikan skor masing-masing parameter pada unit peta tersebut. Karakter yang bersifat alami yakni meandering dan pembendungan dapat digambarkan dari peta RBI; sedangkan parameter manajemen dari bangunan air berupa tanggul sungai umumnya belum tersedia pada peta dasar sehingga harus dilakukan pengamatan lapangan dengan menggunakan GPS, kemudian diplotkan pada unit peta.
- d. Hitung dan petakan tingkat kerawanan daerah rawan banjir dengan menjumlahkan hasil kali skor dan bobot masing-masing parameter dibagi 100, kemudian dicocokkan dengan kategori penilaian seperti diuraikan diatas.
- e. Pada bagian hulu dari daerah yang terdeliniasi dengan skor tinggi atau rawan banjir merupakan titik pertama (pasokan air banjir menggenangi) daerah rawan banjir. Dengan demikian melalui titik tersebut bisa dideliniasi daerah tangkapan air (Sub DAS) sebagai sumber pasokan air banjir, dan merupakan titik pemilah antara daerah pemasok air banjir dan daerah rawan banjir .



Gambar 2. Bentuk Lahan - Lembah Aluvial diantara Perbukitan (a. dan b.)

Kegiatan (a) sampai (e) dilakukan di kantor maupun lapangan. Pengamatan lapangan sangat diperlukan, baik untuk validasi hasil analisis awal di kantor maupun untuk memperoleh tambahan data. Pengamatan lapangan yang dilakukan meliputi :

- Identifikasi bentuk lahan di kanan-kiri sungai. Bentuk lahan pada daerah kiri-kanan sungai yang rentan banjir dengan lereng $<2\%$ sangat berpotensi untuk menerima limpahan air dari sungai yang melewatinya. Identifikasi daerah dengan bentuk lahan ini dapat dilakukan dengan mengukur kemiringan lahan dan melihat tanda-tanda bekas banjir sebelumnya, seperti adanya sisa sampah-sampah yang tersangkut paling atas sebagai garis batas perkiraan genangan banjir tertinggi.
- Identifikasi daerah dari aliran sungai yang berkelok-kelok (meandering). Bagian belokan sungai sebelah luar mempunyai potensi untuk dikenai terpaan arus sungai lebih kencang dan kuat dibanding dengan bagian dalam sungai dan atau yang lurus. Dengan demikian daerah ini mempunyai potensi untuk dilewati arus air sungai yang meluber (melimpah) ke luar sebagai air banjir.
- Identifikasi daerah-daerah bekas genangan pada daerah percabangan sungai, penyempitan sungai, dan atau daerah sekitar muara dimana aliran air sungai tertahan oleh air laut pasang.
- Cermati daerah pemukiman yang terletak di sekitar daerah rawan banjir.
- Identifikasi ada tidaknya bangunan air, seperti tanggul, bendung, waduk, dan kanal sudetan (flood way), yang berada di sepanjang sungai untuk kemudian direkam dengan menggunakan GPS dan selanjutnya diplotkan di peta.

Skor total terakhir (tertimbang) dari Lampiran 1.A.II merupakan jumlah hasil kali bobot dan skor dibagi 100, dan diklasifikasi seperti disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Skor dan Kategori Daerah Rawan Terkena Banjir (Kebanjiran)

No	Skor Tertimbang	Kategori
1	$>4,3$	Sangat Rentan/Sangat Rawan
2	$3,5 - 4,3$	Rentan/Rawan
3	$2,6 - 3,4$	Agak Rentan/Agak Rawan
4	$1,7 - 2,5$	Sedikit Rentan/Sedikit Rawan
5	$< 1,7$	Tidak Rentan/Tidak Rawan

2. Identifikasi Daerah Pemasok Air Banjir

Identifikasi daerah pemasok air banjir dilakukan dengan menggunakan formula Potensi Banjir secara Estimasi dengan parameter-parameter seperti pada Lampiran 1.A (Romawi I). Karakterisasi dimulai dari titik sebelah hulu dari daerah yang

terdeliniasi sebagai daerah rawan banjir, seperti diuraikan pada BAB II. A.1. amar (5). Identifikasi daerah pemasokan air banjir dipilah antara karakteristik daerah tangkapan air (DTA) sebagai prosesor dan karakteristik hujan sebagai masukan (*input*), seperti digambarkan pada diagram Gambar 1. Dengan menggunakan peta RBI skala 1 : 25.000, urutan prosedur identifikasi DTA adalah sebagai berikut:

- a. Deliniasi DTA pasokan air banjir dari daerah rawan banjir
- b. Tentukan nilai bentuk DAS/DTA seperti Lampiran 1.B.a dan Lampiran 2.B.1.
- c. Tentukan nilai gradien sungai utama (Lampiran 1.B.a.)
- d. Tentukan nilai kerapatan drainase (Lampiran 1.B.a dan Lampiran 2.B.2.)
- e. Batasi kelas lereng sesuai klasifikasi kelas lereng dalam Lampiran 1.A, dimana poligon ini merupakan unit peta kelas lereng. Tentukan nilai kelas lereng unit peta dan nilai seluruh DTA.
- f. Masukan data dan nilai penutupan lahan dan atau penggunaan lahan pada unit peta kelas lereng.

Penilaian (skoring) parameter bentuk DAS, gradien sungai, dan kerapatan drainase, dilakukan dalam satuan daerah tangkapan air. Sedangkan penilaian parameter lereng rata-rata DAS dan penggunaan lahan dilakukan pada setiap unit peta. Apabila deliniasi kelas lereng dan penutupan lahan dilakukan dengan perangkat Sistem Informasi Geografis (SIG) maka unit peta merupakan hasil tumpang susun (*overlay*) kesamaan kelas lereng dan penggunaan lahan. Berdasarkan pengalaman, kondisi penutupan lahan pada peta RBI masih diperlukan koreksi. Koreksi dilakukan dengan analisis citra satelit (penginderaan jauh) dan pengamatan lapangan secara *sampling*. Data penutupan dan penggunaan lahan sebagai peta dasar dari analisis penginderaan jauh juga dapat diperoleh dari Balai Pengukuhan Kawasan Hutan (BPKH) atau Badan Planologi, Departemen Kehutanan. Nilai skor untuk lereng dan penggunaan lahan dalam satuan daerah tangkapan air merupakan nilai skor tertimbang yang dihitung dari setiap unit petanya

Nilai hujan maksimum untuk seluruh daerah tangkapan air merupakan nilai rata-rata yang dihitung dengan menggunakan metode Theissen (data minimal 10 tahun), jika dalam satuan daerah tangkapan air terdapat lebih dari satu stasiun hujan.

Dengan menjumlahkan hasil kali nilai bobot dan skor dari setiap parameter dapat dilakukan analisis :

- a. pasokan air banjir terbesar sebagai akibat karakter alami atau manajemen atau keduanya secara simultan.
- b. dari faktor manajemen juga dapat dianalisis jenis penggunaan lahan yang memberikan pasokan air banjir terbesar.

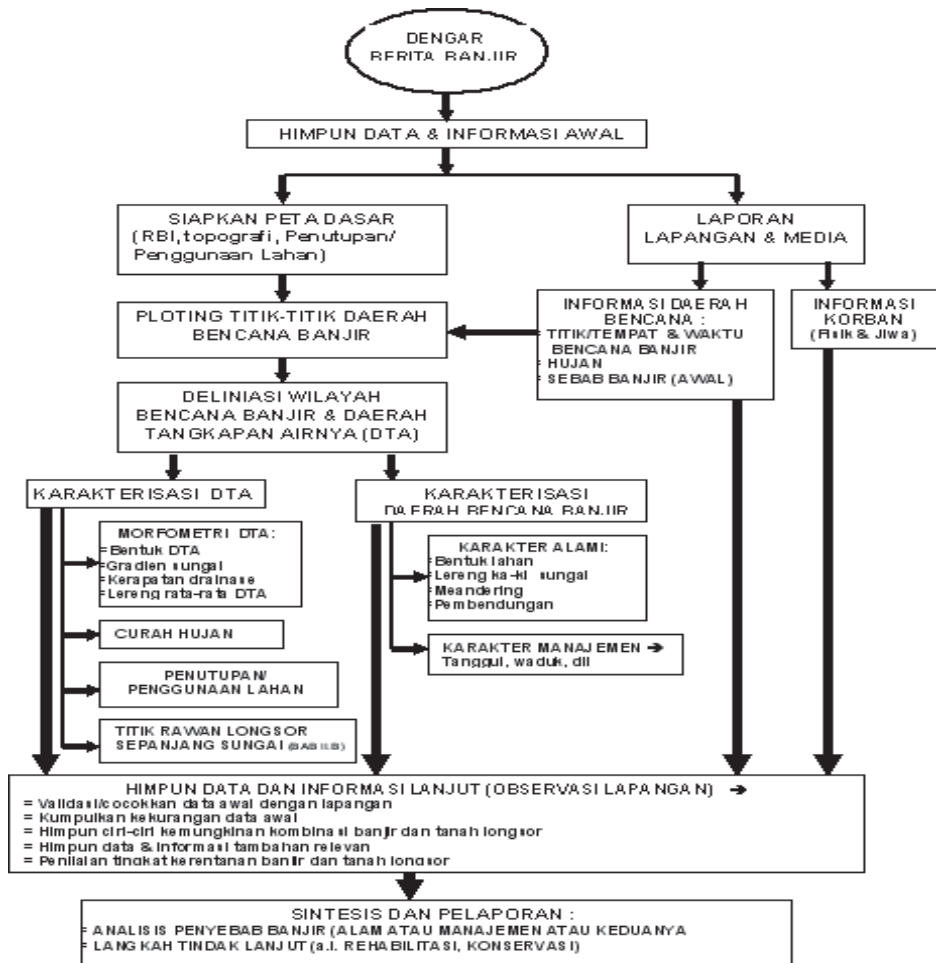
Melalui identifikasi daerah rawan banjir dan daerah pemasok air banjir dapat dianalisis hubungan sebab-akibat kejadian banjir dari wilayah tersebut. Sajian data

faktual dan terkini akan mengurangi polemik yang sering mengemuka apabila terjadi bencana banjir.

Skor total terakhir (tertimbang) dari Lampiran 1.A.I merupakan jumlah hasil kali bobot dan skor dibagi 100, dan diklasifikasi seperti disajikan dalam Tabel 1.

3. Teknik Analisis (Pasca) Kejadian Banjir

Apabila telah tersedia peta daerah rawan banjir (kebanjiran), sewaktu mendengar kejadian banjir maka daerah kebanjiran tersebut dengan cepat dapat diidentifikasi karakteristik daerah kebanjiran dan karakteristik daerah pemasok air banjirnya. Namun apabila peta daerah rawan banjir belum tersedia, maka untuk melakukan analisis kejadian bencana banjir (pasca kejadian) secara ringkas seperti diagram pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Teknik Analisa Pasca Bencana Banjir

Begitu mendengar berita bencana banjir, data dan informasi awal segera dihimpun, baik dari media maupun lapangan. Berdasar informasi yang diterima, letak kejadian segera diplotkan pada peta yang telah disiapkan. Sementara menunggu terkumpulnya himpunan data dan informasi lainnya, deliniasi peta yang pertama dilakukan adalah meruntut daerah tangkapan air (DTA) dari titik dimana daerah pertama terkena banjir; dengan kata lain memilah antara daerah kebanjiran dan daerah pemasok air banjir. Kemudian dilakukan karakterisasi daerah kebanjiran dan daerah tangkapan air sebagai pemasok air banjir dan hujan, seperti diuraikan pada BAB II.A.1 dan II.A.2.

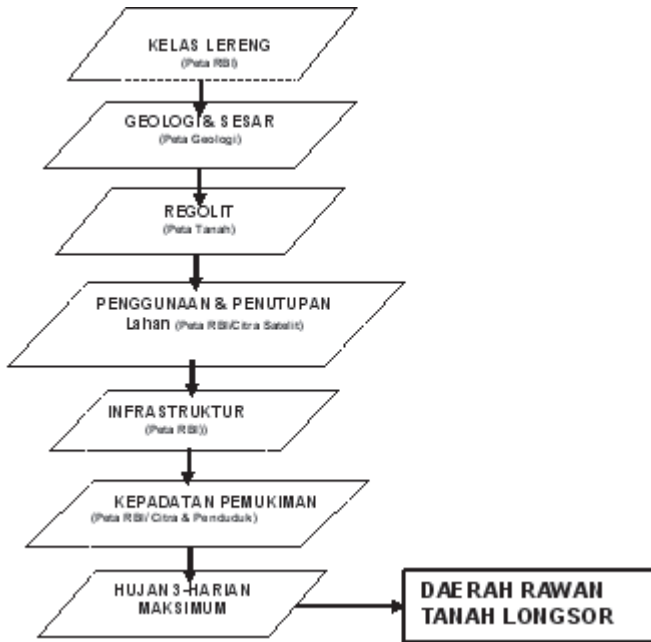
Dengan data karakteristik daerah rawan banjir dan daerah pemasok air banjir dapat dianalisis hubungan sebab-akibatnya :

- a. Dengan data hujan dari beberapa stasiun hujan di DTA dapat diestimasi sumber pasokan air – bersifat merata atau hanya dari sebagian DTA.
- b. Kontribusi sifat alami DTA terhadap banjir.
- c. Komposisi dan sebaran jenis penutupan dan penggunaan lahan di DTA sebagai salah satu sumber penyebab banjir. Seberapa besar pengaruh hutan (luas dan kualitas) terhadap sumbangan air banjir.
- d. Praktek konservasi tanah dan air yang ada dan diperlukan di DTA.
- e. Banjir terjadi karena pasokan air dari DTA yang besar atau kesalahan pengelolaan daerah banjir, seperti adanya tanggul jebol dan penyempitan palung sungai oleh okupasi, atau akibat kesalahan keduanya .
- f. Banjir bersifat normal langsung dari limpasan permukaan atau multi-proses dari banjir normal ditambah pasokan air hasil akumulasi air karena sumbatan palung sungai oleh tanah longsor pada tebing sungai.

B. Identifikasi Kerawanan Tanah Longsor

Tanah longsor (*landslide*) adalah bentuk erosi (pemindahan massa tanah) yang pengangkutan atau pemindahan tanahnya terjadi pada suatu saat secara tiba-tiba dalam volume yang besar (sekaligus). Tanah longsor terjadi jika dipenuhi 3 (tiga) keadaan, yaitu: (1) lereng cukup curam, (2) terdapat bidang peluncur yang kedap air dibawah permukaan tanah, dan (3) terdapat cukup air dalam tanah di atas lapisan kedap (bidang luncur) sehingga tanah jenuh air.

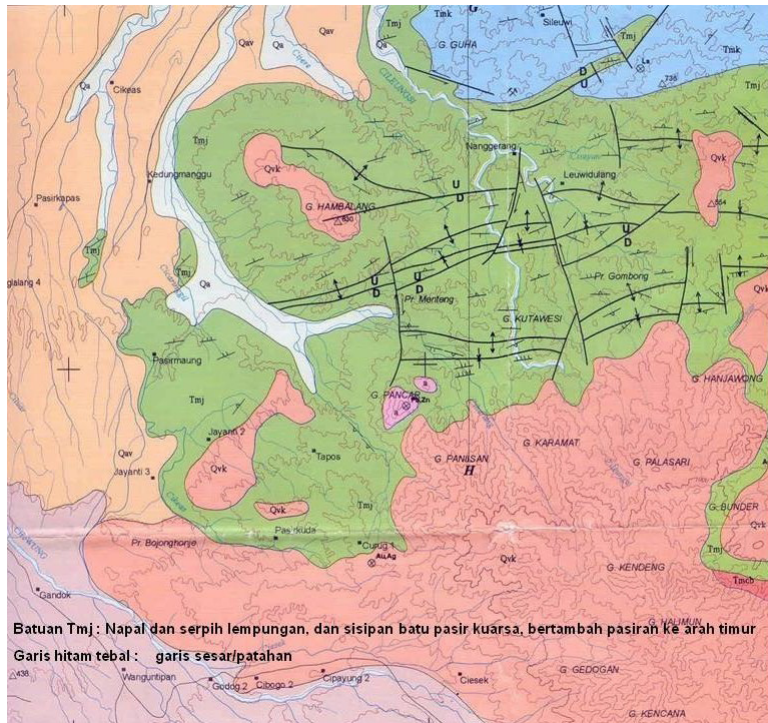
Untuk mengidentifikasi daerah yang rentan tanah longsor digunakan formula kerentanan tanah longsor (Paimin *et.al.*, 2006), seperti pada Lampiran 2.A. Faktor alami penyusun formula tersebut adalah : (1) hujan harian kumulatif 3 hari berurutan, (2) lereng lahan, (3) geologi/batuan, (4) keberadaan sesar/patahan/gawir, (5) kedalaman tanah sampai lapisan kedap; sedangkan faktor manajemen meliputi : (1) penggunaan lahan, (2) infrastruktur, dan (3) kepadatan pemukiman. Masing-masing parameter diberi bobot serta diklasikasikan dalam 5 (lima) bersaran dengan kategori nilai dan skor seperti pada Lampiran 2.A. Jumlah hasil kali bobot dan skor dibagi 100 merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kerentanan/kerawanan unit peta/lahan terhadap tanah longsor, dengan diklasifikasi seperti pada banjir (BAB II.A). Identifikasi daerah rawan tanah longsor melalui peta dan data yang tersedia di kantor secara skematis seperti diagram Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Identifikasi Kerawanan Tanah Longsor

Prosedur yang harus dilakukan untuk identifikasi kerawanan tanah longsor adalah sebagai berikut:

- Dengan menggunakan peta RBI skala 1 : 25.000, deliniasi kelas kelerengan lahan dilakukan seperti klasifikasi lereng pada Lampiran 2. Klasifikasi lereng ini sama seperti pada klasifikasi lereng daerah potensi (pasokan) air banjir hanya kelas lereng >45% dibagi lagi menjadi kelas 45-65% dan >65%, sedangkan kelas 0-8% digabung menjadi satu dengan kelas 8-15% . Pembagian kelas lereng dapat digunakan sebagai unit peta.
- Padukan peta Geologi (contoh Gambar 5), pada peta kelas lereng untuk memperoleh data jenis batuan (geologi) dan keberadaan garis sesar/ patahan/ gawir.



Gambar 5. Contoh Peta Geologi - Menunjukkan Jenis Batuan dan Keberadaan Garis Sesar/Patahan/Gawir

- c. Dengan peta jenis tanah dapat diperkirakan kedalaman tanah (regolit) sampai lapisan kedap air.
- d. Dengan menggunakan peta RBI skala 1 : 25.000 diidentifikasi jenis penutupan lahan dan keberadaan infrastruktur. Untuk memperoleh data penutupan lahan terkini perlu dikoreksi dengan hasil analisis citra satelit (penginderaan jauh), terutama dengan resolusi yang cukup tinggi seperti SPOT.4 dan atau 5, atau IKONOS atau Quick Bird.
- e. Dipadukan peta penutupan lahan dengan peta penggunaan lahan (land use) agar diperoleh kejelasan pemangku lahan terkait, dan ancaman tanah longsor terhadap pemukiman.
- f. Apabila data demografi desa tersedia maka kepadatan pemukiman pada unit peta tersebut dapat dihitung yakni nilai nisbah/rasio jumlah penduduk dibagi luas pemukiman pada wilayah desa yang bersangkutan.
- g. Analisis data hujan harian dari catatan data curah hujan harian sepuluh tahun terakhir untuk memperoleh data curah hujan tiga hari berurutan terbesar.

Hasil identifikasi faktor atau parameter penyusun kerentanan/kerawanan tanah terhadap longsor yang dilakukan di kantor dijadikan dasar pengamatan lapangan untuk memperoleh kesahihan/kevalidan data yang telah terkumpul. Pengamatan lapangan dilakukan pada setiap unit peta (bisa sampling) untuk memperoleh :

- a. Kebenaran kelas lereng
- b. Kebenaran sifat geologi
- c. Kebenaran kedalaman regolit, dengan melakukan pengeboran atau mengukur dari profil tanah pada tebing yang tersingkap.
- d. Kebenaran penggunaan lahan dan penutupan lahan
- e. Kebenaran infrastruktur
- f. Pengambilan data demografi desa dan data hujan setempat.

Apabila data masing-masing parameter telah tersusun dan terkoreksi kemudian diberi nilai skor sesuai formula tanah longsor pada Lampiran 2.A. Penjumlahan hasil kali nilai bobot dan skor dibagi 100 menunjukkan nilai kerentanan tanah longsor pada setiap unit peta, seperti disajikan dalam Tabel 1. Berdasar hasil identifikasi dapat ditarik sintesis sebagai berikut:

- a. tingkat kerentanan/kerawanan lahan terhadap longsor
- b. tingkat ancaman tanah longsor terhadap penduduk/pemukiman
- c. penggunaan lahan di daerah rawan bencana tanah longsor – berkaitan dengan tanggung jawab pemangkunya
- d. usulan kegiatan pengendalian tanah longsor yang sesuai

Untuk menganalisis sebab kejadian tanah longsor (pasca) dapat dilakukan seperti pada kejadian bencana banjir. Apabila tersedia data dan peta daerah rawan tanah longsor analisis segera dapat dilakukan di kantor sebelum melakukan uji atau pengamatan lapangan. Namun apabila belum tersedia data dan peta maka proses analisis dilakukan seperti pada kejadian banjir dengan mengikuti urutan analisis seperti pada diagram Gambar 3.

C. Kombinasi Banjir dan tanah Longsor

Beberapa kejadian banjir bandang, seperti di Langkat, Sumater Utara, dan Jember, Jawa Timur, teridentifikasi bahwa proses banjir didahului oleh tanah longsor yang menutup palung sungai sehingga membentuk dam penampung air. Sewaktu hujan turun dan dam yang terbentuk tidak muat menampung air limpasan mengakibatkan dam jebol dan dalam waktu singkat menghasilkan banjir bandang. Proses demikian sangat berbahaya pada daerah yang sebelumnya tidak diperkirakan bakal banjir, apalagi untuk daerah yang rawan banjir.

Teknik identifikasi daerah yang kemungkinan terjadi multi-proses tanah longsor dan banjir sama seperti mengidentifikasi kerawanan banjir dan tanah longsor yang

telah diuraikan sebelumnya, hanya kedua identifikasi tersebut harus disatukan pada satuan sistem sungai dalam daerah tangkapan air (catchment area). Cara mengidentifikasinya adalah sebagai berikut:

- a. Pilih daerah teridentifikasi rawan tanah longsor (hasil identifikasi Bab II.B.) yang berada di tebing sungai (lembah berbentuk huruf-V dengan lereng curam dan beda elevasi tinggi).
- b. Telusur dari tebing sungai rawan longsor ke arah hilir. Dengan menggunakan hasil identifikasi daerah rawan banjir (hasil Bab II.A) dapat diidentifikasi daerah yang rawan terhadap banjir bandang.

Ciri-ciri daerah setelah terkena (pasca) banjir akibat multi-proses tanah longsor dan banjir antara lain: terangkutnya pohon hampir utuh sampai banir (bonggol), material terangkut cukup besar (sapi, mobil, bahan bangunan) yang tidak biasa terjadi pada banjir sebelumnya pada daerah tangkapan air yang tidak luas, material butir tanah endapan umunya lebih kasar dan besar seperti pasir dan atau gumpal tanah. Gambar 6. berikut mengilustrasikan bukti di daerah hilir terkena banjir bandang multi-proses.



Gambar 6. Sebagian Ciri Daerah Terkena Banjir Bandang Multi-Proses Banjir dan Tanah Longsor

III. TEKNIK PENGENDALIAN BANJIR DAN TANAH LONGSOR

A. Teknik Pengendalian Banjir

Teknik pengendalian banjir harus dilakukan secara komprehensif pada daerah yang rawan terkena banjir dan daerah pemasok air banjir. Prinsip dasar pengendalian daerah kebanjiran secara teknis dilakukan dengan meningkatkan dimensi palung sungai sehingga aliran air yang lewat tidak melimpah keluar dari palung sungai. Seperti pada Lampiran 1.A, manajemen yang bisa dilakukan adalah dengan membuat tanggul sungai yang memadai serta membuat waduk atau tandon air untuk mengurangi banjir puncak. Untuk memenuhi kapasitas tampung palung sungai, upaya lain yang bisa dilakukan seperti menambah saluran pembuangan air dengan saluran sudetan (banjir kanal atau floodway). Disamping itu, pengetatan larangan penggunaan lahan di bantaran sungai untuk bangunan, apalagi di badan sungai juga diperlukan, serta larangan pembuangan sampah ke sungai atau saluran drainase. Berdasarkan KepPres No. 32/1990 dan PP No. 47/1997, sempadan sungai yang harus merupakan kawasan lindung adalah lebar minimum dari bibir kiri-kanan sungai ke arah darat yang berada :

- di luar pemukiman : 100 m
- anak sungai : 50 m
- daerah pemukiman : 10 – 15 m
- bertanggul (dari tepi luar tanggul) : 5 m

Teknik pengendalian banjir di daerah kebanjiran umumnya dilakukan oleh Departemen Pekerjaan Umum beserta institusi vertikalnya. Sedangkan teknik pengendalian banjir di daerah tangkapan air bertumpu pada prinsip penurunan koefisien limpasan (C) melalui teknik konservasi tanah dan air, yakni : (1) upaya meningkatkan resapan air hujan yang masuk ke dalam tanah, (2) dan mengendalikan limpasan air permukaan pada pola aliran yang aman. Bentuk teknik yang diaplikasikan dapat berupa teknik sipil, vegetatif, kimiawi, maupun kombinasi dari ketiganya, sesuai dengan jenis penggunaan lahan dan karakteristik tapak (site) setempat. Semua upaya tersebut sangat terkait dengan kemampuan tanah/lahan dalam mengendalikan air hujan untuk bisa masuk ke dalam bumi, termasuk vegetasi/hutan yang ada di atasnya. Jenis tanaman hutan yang sama dimana yang satu tumbuh di atas lapisan tanah tebal dan satunya lagi di atas lapisan tanah tipis, akan memiliki dampak yang berbeda dalam mengendalikan limpasan air permukaan atau banjir.

B. Teknik Pengendalian Tanah Longsor

Berdasarkan pengalaman lapangan, proses tanah longsor bisa dipilah dalam tiga tingkatan yakni: (1) massa tanah sebagian terbesar telah meluncur ke bawah (longsor), (2) massa tanah bergeser sehingga menimbulkan rekahan/retak (rayapan), dan (3) massa tanah belum bergerak tetapi memiliki potensi longsor tinggi (potensi longsor).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada daerah longsor maupun rawan longsor adalah sebagai berikut:

- Slope reshaping lereng terjal (pembentukan lereng lahan menjadi lebih landai) pada daerah yang potensi longsor.
- Penguatan lereng terjal dengan bronjong kawat pada kaki lereng.
- Penutupan rekahan/retakan tanah dengan segera karena pada musim penghujan rekahan bisa diisi oleh air hujan yang masuk ke dalam tanah sehingga menjenuhi tanah di atas lapisan kedap.
- Bangunan rumah dari konstruksi kayu (semi permanen) lebih tahan terhadap retakan tanah dibanding dengan bangunan pasangan batu/bata pada lahan yang masih akan bergerak.

Teknik pengendalian tanah longsor metode vegetatif harus dipilahkan antara bagian kaki, bagian tengah, dan bagian atas lereng. Stabilisasi tanah diutamakan pada kaki lereng, baik dengan tanaman (vegetatif) maupun bangunan. Persyaratan vegetasi untuk pengendalian tanah longsor antara lain: jenis tanaman memiliki sifat perakaran dalam (mencapai batuan), perakaran rapat dan mengikat agregat tanah, dan bobot biomasnya ringan. Pada lahan yang rawan longsor, kerapatan tanaman beda antara bagian kaki lereng (paling rapat = standar kerapatan tanaman), tengah (agak jarang = $\frac{1}{2}$ standar) dan atas (jarang = $\frac{1}{4}$ standar). Kerapatan yang jarang diisi dengan tanaman rumput dan atau tanaman penutup tanah (cover crop) dengan drainase baik, seperti pola agroforestry. Pada bagian tengah dan atas lereng diupayakan perbaikan sistem drainase (internal dan eksternal) yang baik sehingga air yang masuk ke dalam tanah tidak terlalu besar, agar tingkat kejenuhan air pada tanah yang berada di atas lapisan kedap (bidang gelincir) bisa dikurangi bebannya.

Upaya pengendalian tanah longsor metode teknik sipil antara lain berupa pengurangan/penutupan rekahan, reshaping lereng, bronjong kawat, perbaikan drainase, baik drainase permukaan seperti saluran pembuangan air (*waterway*) maupun drainase bawah tanah. Untuk mengurangi aliran air (drainase) bawah tanah dilakukan dengan cara mengalirkan air secara horizontal melalui terowongan air seperti paritan (*trench*) dan sulingan (pipa perforasi). Arahkan teknik pengendalian tanah longsor dalam berbagai tingkatan kelongsoran dan penggunaan lahan dapat diringkas dalam matrik Tabel 2.

Tabel 2. Arahan Teknik Penanggulangan Bencana Tanah Longsor Pada Berbagai Penggunaan Lahan dan Tingkatan Proses Longsor

Tingkat longsor	Penggunaan Lahan			
	Hutan	Tegal	Sawah	Pemukiman
Belum longsor	Vegetatif	Vegetatif	Teknik sipil	Tekn. Sipil & Vegetatif
Retakan/rekahan	Tekn. Sipil & Vegetatif	Tekn. Sipil & Vegetatif	Teknik sipil	Tekn. Sipil & Vegetatif
Longsor	Tekn. Sipil & Vegetatif	Tekn. Sipil & Vegetatif	Teknik Sipil & Vegetatif	Tekn. Sipil & Vegetatif

Pendekatan pengendalian tanah longsor berbeda dengan pengendalian erosi permukaan, bahkan bertolak belakang. Pada pengendalian tanah longsor diupayakan agar air tidak terlalu banyak masuk ke dalam tanah yang bisa menjenuhi ruang antara lapisan kedap air dan lapisan tanah, sedangkan pada pengendalian erosi permukaan air hujan diupayakan masuk ke dalam tanah sebanyak mungkin sehingga energi pengikisan dan pengangkutan partikel tanah oleh limpasan permukaan dapat diminimalkan.

Dengan demikian tindakan mitigasi tanah longsor harus lebih hati-hati apabila pada tempat yang sama juga mengalami degradasi akibat erosi permukaan (*rill and interrill erosion*). Pengendalian erosi permukaan mengupayakan agar air hujan dimasukkan ke dalam tanah sebanyak mungkin, sebaliknya pengendalian tanah longsor dilakukan dengan memperkecil air hujan yang masuk ke dalam tanah sehingga tidak menjenuhi lapisan tanah yang berada di atas batuan kedap air.

IV. TEKNIK PERINGATAN DINI

Untuk mengurangi kerugian, baik material maupun jiwa, akibat bencana banjir dan tanah longsor diperlukan tindakan kewaspadaan masyarakat atas ancaman bencana tersebut. Dengan telah teridentifikasinya daerah rawan bencana seperti diuraikan pada Bab terdahulu maka gejala alam yang ada dapat dimanfaatkan sebagai peringatan dini bagi masyarakat yang diperkirakan akan terkena musibah.

A. Peringatan Dini Bencana Banjir

Peringatan dini bencana banjir dapat dilakukan secara berurutan mulai dari hulu hingga hilir. Seperti yang terjadi di Besuki, Jawa Timur, banjir dimulai dari daerah tangkapan air < 5.000 ha dan secara berturut-turut membanjiri daerah-daerah di hilirnya. Apabila sejak dari hulu sudah ada peringatan maka daerah hilir akan lebih siap menghadapi sehingga kerugian dapat dikurangi.

Pada daerah hulu peringatan dini dapat dilakukan dengan cara :

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

Peringatan dini di hulu tersebut secara berurutan di teruskan ke hilir secara sistematis. Di daerah yang lebih ke hilir, peringatan dini dapat lebih disempurnakan dengan tambahan sesuai dengan perkembangan teknologi setempat antara lain:

- a. Penggunaan sistem telemetri (pengamatan jarak jauh dan tepat waktu) untuk memantau perubahan muka air sungai secara real time. Alat pengamatan aliran air secara berurutan dipasang di sungai secara sistematis dan berurutan sesuai dengan pola sungai dari daerah hulu sampai hilir. Peralatan lapangan tersebut terhubung secara langsung via satelit dengan stasiun monitoring banjir di kantor. Dengan demikian kejadian yang ada di lapangan pada waktu yang bersamaan dapat langsung diketahui oleh stasiun pengendali (kantor) untuk kemudian diinformasikan ke bagian hilir yang rawan banjir.
- b. Komunikasi via telepon (radio komunikasi). Petugas-petugas pengamat di lapangan dengan segera menginformasikan kejadian di lapangan via radio komunikasi maupun telepon kepada posko-posko banjir yang sudah ditunjuk.
- c. Akses telepon dan SMS setiap warga ke Posko Pengendalian Banjir secara baik dan lancar.

Warga masyarakat dapat dengan mudah mengakses informasi ke posko-posko banjir melalui telepon maupun pesan singkat lewat telepon genggam (SMS).

B. Peringatan Dini Tanah Longsor

Teknik peringatan dini dalam memitigasi tanah longsor secara umum dapat diketahui sebagai berikut (disesuaikan dengan jenis potensi tanah longsor yang ada):

- a. Adanya retakan-retakan tanah pada lahan (pertanian, hutan, kebun, pemukiman) dan atau jalan yang cenderung semakin besar, dengan mudah bisa dilihat secara visual.
- b. Adanya penggelembungan/amblesan pada jalan aspal - terlihat secara visual.
- c. Pemasangan penakar hujan di sekitar daerah rawan tanah longsor. Apabila curah hujan kumulatif secara berurutan selama 2 hari melebihi 200 mm sedangkan hari ke-3 masih nampak terlihat akan terjadi hujan maka masyarakat harus waspada.
- d. Adanya rembesan air pada kaki lereng, tebing jalan, tebing halaman rumah (sebelumnya belum pernah terjadi renbesan) atau aliran rembesannya (debit) lebih besar dari sebelumnya.
- e. Adanya pohon yang posisinya condong kearah bawah bukit.
- f. Adanya perubahan muka air sumur (pada musim kemarau air sumur kering, pada musim penghujan air sumur penuh).
- g. Adanya perubahan penutupan lahan (dari hutan ke non-hutan) pada lahan berlereng curam dan kedalaman lapisan tanah sedang.
- h. Adanya pemotongan tebing untuk jalan dan atau perumahan pada lahan berlereng curam dan lapisan tanah dalam.

C. Multi-Proses Tanah Longsor dan Banjir

Peringatan dini yang kemungkinan terjadinya multi-proses tanah longsor dan banjir pada prinsipnya sama dengan masing-masing proses seperti diuraikan sebelumnya. Berdasarkan pengalaman, permasalahan yang besar adalah daerah rawan longsor berada di daerah yang jarang dikunjungi, seperti di kawasan hutan dan perkebunan, dimana sejak proses awal/gejala sampai terjadi longsor tidak terdeteksi oleh masyarakat sekitar. Sebagai tambahan kewaspadaan yang harus dilakukan oleh masyarakat daerah rawan terkena banjir bandang akibat kombinasi proses tanah longsor dan banjir adalah :

- a. mencermati aliran sungai - apabila tiba-tiba aliran air sungai menjadi kecil, tidak seperti biasanya. Gejala ini menunjukkan kemungkinan aliran air sungai terbungkus/tertahan oleh timbunan tanah longsor pada palung sungai sehingga aliran air mendadak surut.
- b. aliran sungai lebih keruh dari biasanya. Indikasi ini menunjukkan kemungkinan aliran air sungai melewati palung sungai yang tersumbat tanah longsor (over topping) sehingga menggerus tanah timbunan dan tanah tersebut terbawa aliran; namun sumbatan belum jebol karena aliran tidak deras. Apabila terjadi hujan lebat dan mengakibatkan aliran air makin deras maka sumbatan tersebut dapat jebol dalam waktu singkat, sehingga menimbulkan banjir bandang di hilir.

V. PENUTUP

Bencana banjir dan tanah longsor yang belakangan ini sering terjadi harus dijadikan pelajaran agar ke depan bencana yang demikian dapat diminimalkan, baik frekuensi kejadian maupun korban yang ditimbulkan. Buku Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor yang telah tersusun ini bisa digunakan oleh para pihak sebagai salah satu sumber dalam peningkatan pemahaman dan kemampuan melakukan mitigasi daerah rawan bencana banjir dan tanah longsor. Pemahaman karakter daerah rawan banjir dan tanah longsor akan bisa menuntun para pihak dan masyarakat dalam melakukan tindakan pengendalian; demikian juga kemampuan memahami bencana akan bisa memberikan arah dalam melakukan kewaspadaan terhadap ancaman bencana secara dini.

Perlu disadari bahwa teknik mitigasi banjir dan tanah longsor tidak paralel, bahkan bisa bertentangan, sehingga dalam pemilihan jenis teknik pengendalian harus dengan pertimbangan seksama. Teknik pengendaliannya akan lebih rumit apabila lahan yang mengalami degradasi oleh erosi (pendorong banjir) berada bersama dalam satuan lahan dengan lahan yang rawan terjadi longsor. Identifikasi karakteristik daerah banjir dan tanah longsor merupakan dasar untuk melakukan diagnosis faktor utama yang menyebabkan kerawanan, sehingga kemudian dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam menyusun rencana tindak teknik pengendaliannya.

Kondisi bio-fisik serta sosial ekonomi dan kelembagaan masyarakat yang tersusun dalam daerah rawan banjir dan tanah longsor dapat digunakan dalam menyusun strategi untuk melakukan peringatan dini. Kesadaran masyarakat atas daerahnya yang rawan bencana akan meningkatkan kewaspadaan mereka terhadap gejala banjir dan tanah longsor yang akan terjadi, sehingga dampak ancaman bencana bisa dikurangi.

DAFTAR PUSTAKA

Brook, K.N., P. F. Ffolliott, H.M. Gregersen, dan J.K. Thames. 1991. *Hydrology and The Management of Watersheds*. Iowa State University Press, Ames, USA.

Departemen Kehutanan. 2001. *Pedoman Penyelenggaraan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. DitJen. RLPS. Dit. RLKT. Jakarta. 31 pp.

Dixon, J.A., K.W. Easter. 1986. *Integrated Watershed Management : An Approach to Resource Management*. Dalam. K.W. Easter, J.A. Dixon, and M.M. Hufschmidt. Eds. *Watershed Resources Management. An Integrated Framework with Studies from Asia and the Pasific*. Studies in Water Policy and Management, No. 10. Westview Press and London. Honolulu.

Noor, D. 2005. *Geologi Lingkungan*. Graha Ilmu. Yogya. UIEU-Univ. Press. Jakarta.

Paimin, Sukresno, dan Purwanto. 2006. *Sidik Cepat Degradasi Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS)*. Puslitbang Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.

PP (Peraturan Pemerintah) No. 7 tahun 2005 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2004 – 2009, tanggal 19 Januari 2005.

Lampiran 1.A.

Formula Potensi Pasokan Air Banjir dan Daerah Rawan Banjir
(Paimin, *et al.*, 2006).

No.	Parameter/Bobot	Klasifikasi	Kategori	Skor
I	POTENSI PASOKAN AIR BANJIR			
1.	ALAMI (60%)			
a.	Hujan harian maksimum rata-rata pada bulan basah (mm/hari) (35 %)	< 20 21 - 40 42 - 75 76 - 150 > 150	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
b.	Bentuk DAS (5 %)	Lonjong Agak lonjong Sedang Agak bulat Bulat	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
c.	Gradien Sungai (%) 10 (%)	< 0,5 0,5 - 1,0 1,1 - 1,5 1,6 - 2,0 > 2,0	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
d.	Kerapatan drainase (5 %)	Jarang Agak jarang Sedang Rapat Sangat rapat	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
e.	Lereng rata-rata DAS (%) (5 %)	< 8 8 - 15 16 - 25 26 - 45 > 45	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
2.	MANAJEMEN (40%)			
a.	Penggunaan Lahan (40 %)	Hutan Lindung/Konservasi* Hutan Produksi/Perkebunan* Pekarangan/Semak/Belukar Sawah/Tegal-terasering Tegal/PmK-kota	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5

II	DAERAH RAWAN TERKENA BANJIR			
1.	ALAMI (55 %)			
a.	Bentuk Lahan (30 %)	Pegunungan, perbukitan Kipas dan lahar Dataran, teras Dataran, teras (lereng <2%) Dataran aluvial, lembah aluvial, jalur kelokan	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
b.	Lereng lahan kiri-kanan sungai (%) (10 %)	> 8 (Sangat lancar) 2 - 8 (Agak lancar) < 2 (Terhambat)	Rendah Sedang Tinggi	1 3 5
c.	Pembendungan oleh percabangan sungai/air pasang (10 %)	Tidak ada Anak cabang sungai induk Cabang sungai induk Sungai induk / <i>Bottle neck</i> Pasang air laut	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
d.	Meandering Sinusitas (P) = panjang/jarak sungai sesuai belokan:jarak lurus (5 %)	1,0 - 1,1 1,2 - 1,4 1,5 - 1,6 1,7 - 2,0 > 2	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
2.	MANAJEMEN (45 %)			
a.	Bangunan air (45 %)	Waduk+tanggul tinggi & baik Waduk Tanggul/sudetan/Banjir kanal Tanggul buru Tanpa bangunan, penyusutan dimensi sungai	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5

*) Dalam kondisi normal atau tidak dalam kondisi kritis

Lampiran 1.B.

a. Teknik Penyidikan Parameter Potensi Pasokan Air Banjir

No.	Parameter	Teknik Inventarisasi	Keterangan
1.	Hujan harian maksimum rata-rata (mm/hari)	<ul style="list-style-type: none"> Data hujan harian dari stasiun hujan di DAS Pilih hujan maksimal 	<ul style="list-style-type: none"> Data 10 tahun terakhir Dihitung rata-ratanya, jika > 1 stasiun hujan dengan Poligon Thessien
2.	Bentuk DAS	<ul style="list-style-type: none"> Ditetapkan secara kualitatif Bentuk DAS : bulat -lonjong 	<ul style="list-style-type: none"> Diperoleh dari peta DAS Contoh gambar 1.B.1
3.	Gradien Sungai (%)	<ul style="list-style-type: none"> Gradien sungai (α) dihitung: $\alpha = (h_{85} - h_{10}) / (0,75 L_b) \times 100\%$ L_b = panjang sungai utama h_{10} & h_{85} = elevasi pada $(0,1)L_b$ & $(0,85)L_b$ dari outlet 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan metode Benson (1962)
4.	Kerapatan Drainase	<ul style="list-style-type: none"> Diklasifikasi dari bentuk dan tingkat percabangan sungai (<i>dissection factor</i>) Percabangan sungai banyak --> sangat rapat; sedikit --> jarang 	<ul style="list-style-type: none"> Menggunakan metode kualitatif Peta jaringan sungai Contoh Gambar 1.B.2
5.	Lereng rata-rata DAS (%)	<ul style="list-style-type: none"> Secara manual - deliniasi peta kontur (RBI) dengan keseragaman jarak antar garis kontur - poligon unit peta. Lereng (S) = $h/l \times 100\%$ Secara otomatis dengan peta RBI digital dan program Arc View 	<ul style="list-style-type: none"> h = total beda tinggi kontur dalam unit peta l = jarak horizontal unit peta Lereng rata-rata DAS dihitung secara tertimbang
6.	Manajemen	<ul style="list-style-type: none"> Dari jenis penutupan lahan aktual di DAS yang bersangkutan. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta RBI Citra satelit/photo udara Survey lapangan

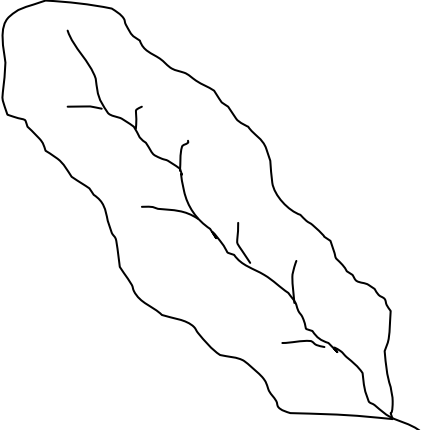
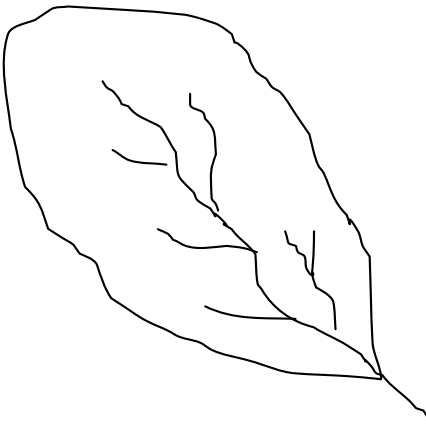
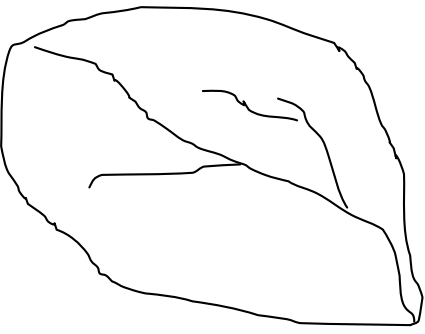
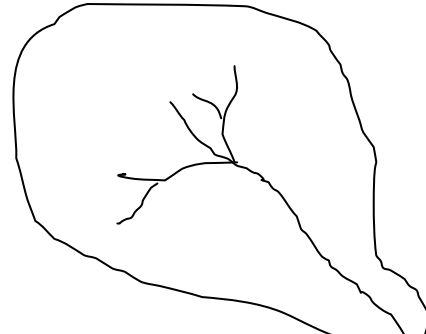
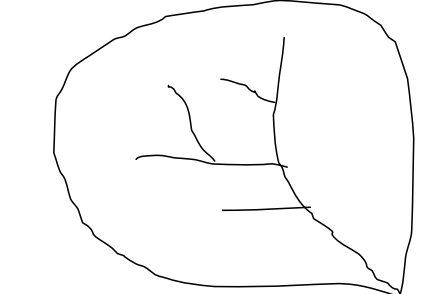
Lampiran 1.B.

b. Teknik Penyidikan Parameter Daerah Rawan Kebanjiran

No.	Parameter	Teknik Inventarisasi	Keterangan
1.	Bentuk lahan	<ul style="list-style-type: none"> Klasifikasi bentuk lahan Indonesia (peta RePProt) 	<ul style="list-style-type: none"> Peta geomorfologi Citra satelit/foto udara
2.	Meandering	<ul style="list-style-type: none"> Bentuk dan perkembangan meander 	<ul style="list-style-type: none"> Peta top/Citra satelit/foto udara Survey lapangan
3.	Pembendungan oleh percabangan sungai/air pasang	<ul style="list-style-type: none"> Tingkat dan keberadaan percabangan sungai Jarak dari suatu badan air/muara/pantai 	<ul style="list-style-type: none"> Peta topografi Citra satelit/foto udara Survey lapangan
4.	Drainase	<ul style="list-style-type: none"> Lereng lahan Tingkat kekedapan tanah 	<ul style="list-style-type: none"> Peta topografi/landuse Peta tanah

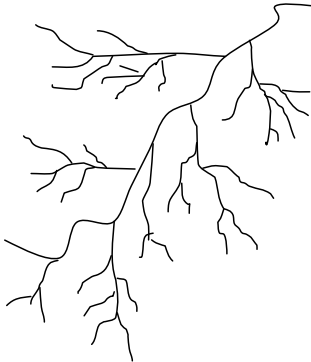
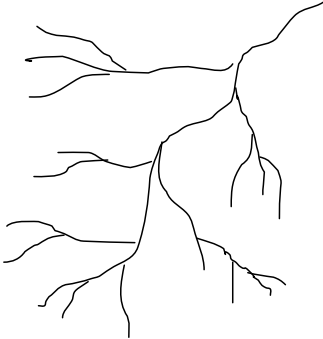
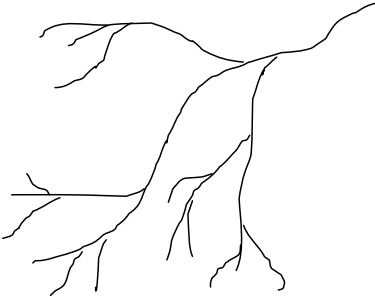
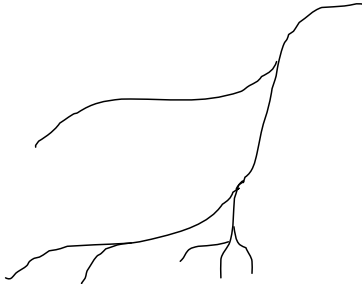
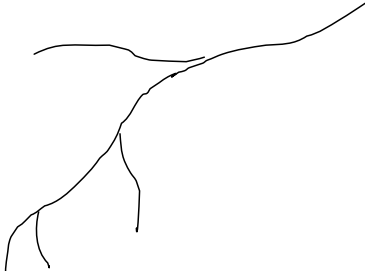
Lampiran 2.A.

Bentuk-bentuk DAS

<p>Lonjong</p> 	<p>Agak lonjong</p> 
<p>Sedang</p> 	<p>Agak bulat</p> 
<p>Bulat</p> 	<p>--> Semakin bulat - limpasan permukaan (<i>surface runoff</i>) semakin cepat terkumpul/terkonsentrasi pada titik luaran (<i>outlet</i>) sehingga limpasan puncak (banjir) lebih cepat terjadi dan lebih besar.</p>

Lampiran 2.B.

Kerapatan Drainase

<p>Sangat rapat</p> 	<p>Rapat</p> 
<p>Sedang</p> 	<p>Agak jarang</p> 
<p>Jarang</p> 	<p>--> Semakin rapat jaringan drainase - limpasan permukaan (<i>surface runoff</i>) semakin cepat terkumpul/terkonsentrasi pada titik luaran (<i>outlet</i>) sehingga limpasan puncak (banjir) lebih cepat terjadi dan lebih besar.</p>

Lampiran 3.A.

Formula Kerentanan Tanah Longsor (Paimin, *et al.*, 2006)

No.	Parameter/Bobot	Klasifikasi	Kategori	Skor
A	ALAMI (60 %)			
a.	Hujan harian kumulatif 3 hari berurutan (mm/3 hari) (25 %)	< 50 50 - 99 100 - 199 200 - 300 > 300	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
b.	Lereng lahan (%) (15 %)	< 25 25 - 44 45 - 64 65 - 85 > 85	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
c.	Geologi (Batuan) (10 %)	Dataran aluvial Perbukitan kapur Perbukitan granit Bukit batuan sedimen Bukit basal - <i>Clay shale</i>	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
d.	Keberadaan sesar/ patahan/gawir (5 %)	Tidak ada Ada	Rendah Tinggi	1 5
e.	Kedalaman tanah (regolit) sampai lapisan kedap (5 %)	< 1 1 - 2 2 - 3 3 - 5 > 5	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
B	MANAJEMEN (40 %)			
	Penggunaan lahan (20 %)	Hutan alam Semak/Belukar/Rumput Hutan/Perkebunan Tegal/Pekarangan Sawah/Pemukiman	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5
	Infrastruktur (Jika lereng < 25 % = skore 1) (15 %)	Tidak ada Jalan Memotong lereng/Lereng terpotong jalan	Rendah Tinggi	1 5
	Kepadatan pemukiman (orang/km ²) (Jika lereng < 25 % = skore 1) (5 %)	< 2000 2000 - 5000 5000 - 10000 10000 - 15000 > 15000	Rendah Agak rendah Sedang Agak tinggi Tinggi	1 2 3 4 5

Lampiran 3.B.

Teknik Penyidikan Parameter Kerentanan Tanah Longsor

No.	Paremeter	Teknik Inventarisasi	Keterangan
1.	Hujan harian kumulatif 3 hari berurutan (mm/3 hari)	<ul style="list-style-type: none"> Data hujan harian stasiun hujan yang ada di DAS. Dipilih curah hujan berurutan 3 hari tertinggi. 	<ul style="list-style-type: none"> Data 10 th terakhir. Dihitung rata - ratanya, jika > 1 st hujan.
2.	Lereng lahan	<ul style="list-style-type: none"> Secara manual - deliniasi peta kontur (RBI) dengan keseragaman jarak antar garis kontur --> poligon unit peta. Lereng (S) = $h/l \times 100\%$ Secara otomatis dengan peta RBI digital & program ArcView. 	<ul style="list-style-type: none"> h = total beda tinggi kontur dalam unit peta. l = jarak horizontal unit peta.
3.	Geologi (Batuan)	<ul style="list-style-type: none"> Jenis batuan/batuan induk. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta geologi DAS.
4.	Keberadaan sesar/ patahan/gawir	<ul style="list-style-type: none"> Identifikasi sesar/ patahan/ gawir pd peta geologi. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta geologi DAS. Survey lapangan. Contoh Gambar 4.
5.	Kedalaman tanah (regolit) sampai lapisan kedap (m)	<ul style="list-style-type: none"> Identifikasi kedalaman regolit (m) pada jenis tanah yg ada di DAS. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta jenis tanah. Profil tanah. Bor tanah.
6.	Penggunaan lahan	<ul style="list-style-type: none"> Data jenis & luas penutupan lahan di DAS. Peta Penggunaan Lahan. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta Landuse/RBI. Citra Satelit/Foto Udara.
7.	Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> Identifikasi jenis & sebaran infrastruktur yg ada di DAS. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta landuse/RBI. Survey lapangan.
8.	Kepadatan pemukiman	<ul style="list-style-type: none"> Pemetaan daerah pemukiman. Data kepadatan penduduk per Desa/ Kecamatan di DAS. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta RBI/landuse. Citra satelit/foto udara. Kecamatan/Kabupaten Dalam Angka. Survey lapangan