

RINGKASAN

Erick Perdana Andreas. 0210430025-43. Hubungan Lapisan Kedap Air dengan Kejadian Longsor di DAS Konto Hulu. Di bawah bimbingan : Abdul Mukri Prabowo sebagai Pembimbing Utama dan Widiyanto sebagai Pembimbing Pendamping

Tanah longsor merupakan gejala alam yang terjadi disekitar alam pegunungan. Semakin curam kemiringan lereng suatu wilayah, semakin besar kemungkinan terjadi longsor. Daerah aliran sungai konto bagian hulu meliputi area seluas ± 23.325 ha, yang sebagian terletak di kecamatan Pujon (12.505 ha) atau bagian hulu dan sebagian lainnya teretak di kecamatan Ngantang (10.800 ha) bagian hilir. Daerah ini terdiri dari dataran tinggi plato yang dikeliling oleh lereng lereng curam dari berbagai kompleks yang masih aktif (G.Kelud), dan sebagian tebing curam dari kompleks gunung tersebut menentukan daerah batas aliran sungai. Berdasar pengetahuan tersebut diatas dan mengingat semakin banyaknya fenomena alam yang terjadi, sehingga diperlukan suatu penelitian yang membuktikan faktor faktor diatas. Penelitian ini membahas tentang lapisan kedap air sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kejadian longsor khususnya pada daerah DAS Konto Malang

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lapisan kedap air pada lokasi kejadian longsor dan mengetahui jenis dan kedalaman lapisan kedap air yang mempengaruhi kejadian longsor di DAS Konto.

Penelitian ini dilaksanakan pada titik titik kejadian longsor yang berlokasi di wilayah DAS Konto Hulu Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. Sedangkan untuk analisa laboratorium dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian akan dilaksanakan dimulai pada bulan Oktober 2006 hingga Januari 2007.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari 6 titik longsor pengamatan, terdapat 4 longsor yang disebabkan oleh lapisan kedap air (2 berupa batu; 2 berupa lapisan lambat air), dan 2 longsor bukan karena lapisan kedap air. Berarti longsor dapat disebabkan oleh faktor lain selain ada tidaknya lapisan kedap air.
2. Semakin dalam lapisan kedap air semakin besar volume longsor yang terjadi.
3. Kawasan dengan formasi geologi berbeda mempunyai lapisan kedap air yang berbeda.

SUMMARY

Erick Perdana Andreas. 0210430025 – 43. Relation of Impermeable Layer with Landslide in Konto Watershed. Supervisor: Abdul Mukri Prabowo, Co-supervisor: Widiyanto

Landslides are common natural symptom that happens in mountainous area. Steepness has big influence to the landslide. Konto watershed divided into 2 big area, the upstream (Pujon) has about 12.505 ha wide and the downstream (Ngantang) has about 10.800 ha wide. These area are plateau that surrounded by active volcanoes (Mount Kelud), and many from the mountain banks made the watershed boundary.

Based on this knowledge, a research is needed to prove the factors above. This research takes the impermeable layer as one from many factors that influence landslide occurrence especially in Konto watershed.

This research aim is to identify and to characterize the impermeable layer which influences landslides in Konto watershed.

This research has been conducted in Konto watershed. The laboratory analysis conducted in Soil Sciences Laboratory Agriculture Faculty Brawijaya University. This research begins on October 2006 until January 2007.

Results from this research are:

1. This research found that from 6 landslides, 4 landslides caused by impermeable layer (2 rocks and 2 semi permeable layers) and 2 landslides by other causes. So landslides can be caused by other factors not only by impermeable layer.
2. The deeper the impermeable layer, the greater the landslide volume.
3. Different area with different geology formation have different impermeable layer.

Kata Pengantar

Puji Syukur pada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan anugerahnya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Skripsi berjudul “ Hubungan Lapisan Kedap Air Terhadap Kejadian Longsor di DAS Konto Hulu “ diajukan sebagai tugas Akhir dalam rangka menyelesaikan studi di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang membantu terselesaikannya tugas akhir ini yaitu ,

1. Yang pertama dan yang terutama Bapa Yang Maha Kasih Yesus Kristus, karena hanya oleh kasih-Nya yang menguatkan.
2. Ayah, Ibunda dan Adik-adikku atas segala supportnya
3. Dr.Ir.Abdul Mukri Prabowo,M.Agr.Sc sebagai pembimbing pertama
4. Ir.Widianto MSc sebagai pembimbing kedua
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya
6. Program PHK – A2 atas dukungan pendanaan dan sarana prasarana
7. Rekan Seperjuangan di Lapangan dan Laboratorium (Dafi Choirubin, Firsta Anugerah S, Ririn A, Ary A.R, Emmanuel A.K, Aditya Pradana, I Made Ary W.
8. Teman - teman Tanah 2002 (Maikel, Nila, Fetty *et al*)
9. Semua pihak yang terlibat dan membantu penulis sehingga tersusun skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Malang, 2 Agustus 2007

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Jakarta, pada tanggal 13 Mei 1983 dan merupakan putra pertama dari tiga bersaudara dengan seorang ayah bernama Sru Astjarjo Andreas dan ibu bernama Melania Maria Sri Redjekiningsih. Penulis memulai pendidikan dasar di SDN SAptorenggo III Malang (1994 – 1995), dan melanjutkan di SMP Negeri 3 Malang (1995 – 1998), kemudian meneruskan ke SMU Negeri 6 Malang (1998 – 2001).

Penulis masuk Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya melalui UMPTN tahun 2002. Selama masa kuliah, penulis aktif di kegiatan Akademik maupun Keorganisasian. Penulis pernah menjabat sebagai asisten praktikum mata kuliah Geomorfologi dan Analisis Lansekap (GAL) pada semester 6, Interpretasi Foto Udara (IFU) pada semester 6, Survei Tanah dan Evaluasi Lahan (STEL) pada semester 7 & 9 , Morfologi dan Klasifikasi Tanah (MKT) pada semester 7. Dalam bidang keorganisasian penulis pernah menjabat sebagai Komisi 4 UKMK Christian Community periode 2002 – 2003, Ketua Christian Community Periode 2003 – 2004 dan Bidang 4 Unit Aktifitas Kerohanian Kristen Universitas Brawijaya Periode 2004 – 2005.



DAFTAR ISI

Halaman

RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Hipotesis	2
1.4 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Definisi Longsor	4
2.2 Penyebab Longsor	4
2.3 Proses Terjadinya Longsor	5
2.4 Tipe Pergerakan Massa Tanah	7
2.4.1 Guguran dan Runtuhan	7
2.4.2 Persebaran Lateral	8
2.4.3 Luncuran dan Aliran	8
2.5 Lapisan Kepad air	9
2.6 Hubungan Lapisan Kepad Air dengan Longsor	11
III. METODE PENELITIAN	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat dan Bahan	13
3.3 Tahapan Penelitian	14
3.3.1 Penentuan titik pengamatan	14
3.3.1.1 Seleksi	14
3.3.1.2 Pendugaan Lapisan Kepad air	14
IV. KONDISI UMUM WILAYAH PENELITIAN	17
4.1 Lokasi	17
4.2 Geologi dan Lithologi	17
4.3 Iklim	18
4.4 Landform	20
4.5 Lereng	20
4.6 Relief	21
4.7 Hidrologi	21

4.8 Tanah.....	22
4.9 Penggunaan Lahan	22
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	24
5.1 Hasil	24
5.1.1 Kejadian Longsor di DAS Konto Hulu.....	24
5.1.1.1 Sebaran Titik Longsor.....	24
5.1.1.2 Deskripsi Titik Longsor Perwakilan	25
5.1.2 Lapisan Kedap Air	27
5.1.2.1 Macam Lapisan Kedap Air	27
5.1.2.2 Letak Lapisan Kedap Air	28
5.1.2.3 Indikator Lapisan Kedap air.....	29
5.1.2.3.1 Konduktifitas Hidroulik Jenuh.....	29
5.1.2.3.2 Perubahan Tekstur.....	33
5.2 Pembahasan.....	34
5.2.1 Hubungan Lapisan Kedap Air dengan Longsor.....	34
5.2.2 Hubungan Jenis Lapisan Kedap Air dengan Longsor.....	36
5.2.3 Pembahasan Umum.....	37
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
6.1 Kesimpulan	39
6.2 Saran.....	39
 DAFTAR PUSTAKA	 40
 LAMPIRAN.....	 44



DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
1	Tipe Tipe Pergerakan Massa.....	7
2	Alat dan Bahan Penelitian.....	13
3	Variabel Pengukuran dan Metode.....	15
4	Identifikasi Titik Perwakilan.....	25
5	Nilai Konduktifitas Hidroulik Jenuh.....	30



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1.	Skema Terjadinya Longsor dan Lapisan Kedap Air.....	6
2.	Skema Kerja Penelitian.....	16
3.	Sebaran Curah Hujan Bulanan 1991 - 2005.....	19
4.	Macam Lapisan Kedap Air yang Ditemukan.....	27
5.	Grafik Nilai KHJ pada Berbagai Titik Pengamatan.....	32



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul	Halaman
1.	Deskripsi Profil	44
2.	Suhu dan Temperatur Tanah	56
3.	Curah Hujan	57
4.	Analisis Laboratorium Fisika dan Kimia	59
5.	Grafik KHJ	60
6.	Sketsa Longsor	63
7.	Penggunaan Lahan dan Titik Longsor	66
8.	Lapisan Kedap Air	69



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Longsor merupakan salah satu dari banyak kejadian alam yang membentuk permukaan bumi. Bencana yang diakibatkan oleh longsor hanya akan dirasakan jika mengancam kelangsungan hidup manusia. Longsor secara luas termasuk dalam proses gerakan massa pada suatu sistem kelerengan. Definisi dari gerakan massa termasuk semua proses yang melibatkan gerakan yang mengarah kebawah dan keluar pada suatu bentukan lereng dalam pengaruh gaya gravitasi. Beberapa gerakan massa, seperti *soil creep*, adalah lambat dan hampir tidak dapat diperkirakan serta berbentuk baur dan bias. Sementara bentuk lainnya yaitu seperti longsor, dapat bergerak dalam kecepatan tinggi, dan mempunyai batas yang jelas serta seringkali dalam bentuk seperti gunting besar.

Longsor salah satu dari manifestasi ketidakstabilan lereng, selain itu diperkirakan dapat disebabkan oleh faktor yang lain seperti pengaruh vegetasi yang ada di atasnya, ada tidaknya lapisan kedap air pada kedalaman tertentu dalam suatu kejadian longsor. Sebagai contoh kejadian longsor yang diakibatkan oleh adanya lapisan kedap air pada kedalaman tanah adalah kejadian longsor jalan yang terjadi di kecamatan Pagak kabupaten Malang.

Tanah longsor merupakan gejala alam yang terjadi disekitar alam pegunungan. Semakin curam kemiringan lereng suatu wilayah, semakin besar kemungkinan terjadi longsor. Daerah aliran sungai konto bagian hulu meliputi area seluas ± 23.325 ha, yang sebagian terletak di kecamatan Pujon (12.505

ha) atau bagian hulu dan sebagian lainnya teretak di kecamatan Ngantang (10.800 ha) bagian hilir. Daerah ini terdiri dari dataran tinggi plato yang dikeliling oleh lereng lereng curam dari berbagai kompleks yang masih aktif (G.Kelud), dan sebagian dan tebing curam dari kompleks gunung tersebut menentukan daerah batas aliran sungai. Berdasar pengetahuan tersebut diatas dan mengingat semakin banyaknya fenomena alam yang terjadi, oleh karena itu diperlukan suatu penelitian yang membuktikan faktor faktor diatas. Penelitian ini membahas tentang lapisan kedap air sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi kejadian longsor khususnya pada daerah DAS Konto Malang

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi lapisan kedap air yang mempengaruhi kejadian longsor di DAS Konto.

1.3 Hipotesis

- Kejadian longsor di Daerah Aliran Sungai Konto hulu diduga dipicu oleh adanya faktor bidang luncur yang terbentuk akibat adanya lapisan kedap air pada kedalaman tertentu dengan karakteristik yang berbeda beda.
- Kedalaman atau kedangkalan lapisan kedap air atau dengan kata lain keadaan tebal tipisnya lapisan solum tanah berpengaruh terhadap kejadian longsor.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai informasi awal untuk mengidentifikasi dan meramalkan kejadian longsor pada suatu wilayah kawasan DAS.



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Longsor

Longsor adalah pergerakan dari massa tanah, batu atau bagian bumi menuruni lereng. Longsor adalah istilah umum untuk pergerakan lambat atau cepat dari massa tanah dan batuan menuruni lereng, atau untuk massa itu sendiri. Longsor didefinisikan sebagai pergerakan menuruni atau keluar dari bentukan tanah, batuan dan vegetasi dengan pengaruh gravitasi. “*Landslide*” adalah istilah yang menggambarkan banyak fenomena yang melibatkan pergerakan menurun dan lateral dari material bumi seperti batu, tanah dan atau material lainnya (Keefer, 1987).

Menurut Darsoprajitno (1997) tanah longsor (*landslides*) merupakan gerakan tanah atau material tebing dengan kecepatan tertentu dan bergerak dengan suara bergemuruh pada lereng yang miring dengan jumlah yang banyak. Lapisan tanah atau batuan yang gembur dan terletak di lereng yang curam dengan kedudukannya tidak mantap akan mudah terjadi longsor. Gerakan semacam ini disebabkan oleh gangguan keseimbangan karena gaya berat. Selain faktor di atas, faktor tatanan geologi daerah setempat juga berpengaruh. Baik struktur geologi maupun kondisi batuan (lithologi) berpengaruh besar terhadap kestabilan material bumi.

2.2 Penyebab Longsor

Longsor disebabkan beberapa hal baik dari gejala alam maupun akibat dari aktivitas manusia antara lain gempa bumi, aktifitas vulkanik, pemotongan tebing oleh ombak atau sungai, penjuanan air oleh hujan atau permukaan laut. Aktivitas

manusia pembukaan lahan, perubahan drainase alami, pipa bocor seperti sumur atau pipa ledeng, modifikasi lereng untuk jalan dan lahan pertanian, aktivitas tambang, getaran dari kendaraan berat. Selain dari beberapa faktor diatas, longsor dapat disebabkan oleh, perbedaan geologi, lapisan kedap air, sifat tanah, hilangnya penutupan vegetasi hutan (Suprayogo *et al*, 2005).

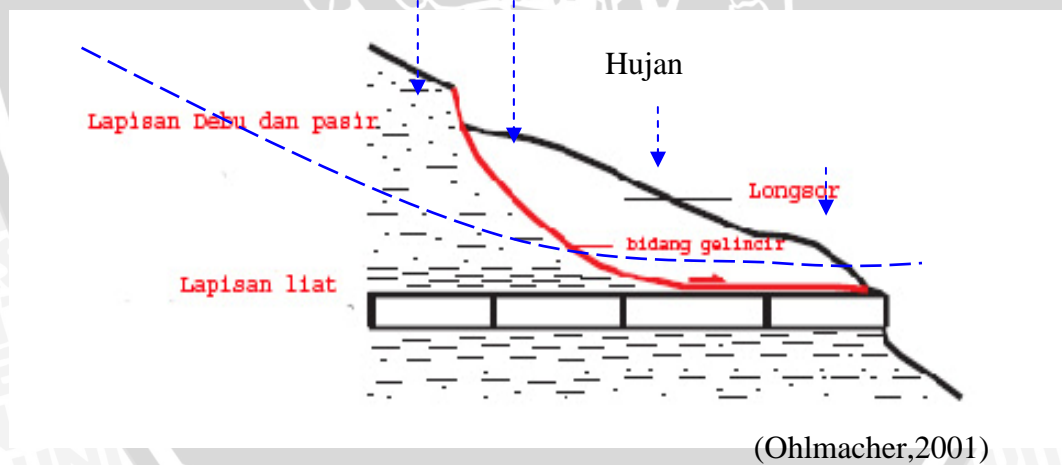
2.3 Proses Terjadinya Longsor

Proses terjadinya longsor pada awalnya dimulai dengan adanya hujan dengan intensitas yang tinggi. Air hujan yang telah meresap ke dalam tanah berliat pada lereng akan tertahan oleh batuan yang lebih kompak dan lebih kedap air. Derasnya hujan mengakibatkan air yang tertahan semakin meningkat debit dan volumenya, dan akibatnya air dalam lereng ini semakin menekan butiran - butiran tanah dan mendorong tanah berliat pasiran untuk bergerak longsor. Jadi di sini batuan yang kompak dan kedap air (yang umumnya mendasari tanah yang gembur) berperan sebagai penahan air dan sekaligus sebagai bidang gelincir longsor, sedangkan air berperan sebagai penggerak massa tanah yang tergelincir di atas batuan kompak tersebut. Semakin curam kemiringan lereng maka kecepatan penggelinciran juga semakin cepat. Semakin gembur tumpukan tanah berliat ini maka semakin mudah tanah tersebut meloloskan air dan semakin cepat air meresap ke dalam tanah. Semakin tebal tumpukan tanah, maka juga semakin besar volume massa tanah yang longsor. Tanah yang longsor dengan cara demikian umumnya dapat berubah menjadi aliran lumpur yang pada saat longsor sering menimbulkan suara gemuruh.

Proses utama pada kejadian longsor adalah perubahan tanah longsor menjadi aliran tanah, adalah proses pencairan sebagian massa tanah oleh tegangan cairan pori tanah. Ada beberapa mekanisme yang dapat menyebabkan proses pencairan antara lain

1. Lepasnya ikatan tanah karena kelebihan dan kekurangan tegangan pori.
2. Agitasi partikel tanah selama perubahan dari energi kinetik dalam energi gerak.

Beberapa kejadian longsor, terjadi oleh adanya campuran silika dan kaolin pada beberapa bagian lapisan tanah yang berpotensi menjadi bidang luncur ketika terjadi hujan yang cukup deras.



Gambar 1. Skema Longsor dan lapisan kedap

2.4 Tipe Pergerakan Massa Tanah

Tanah longsor biasanya terjadi sebagai akibat sekunder gempa bumi dan letusan gunung berapi, selain itu tanah longsor dapat sebagai akibat dari aktivitas manusia, seperti pertanian, pemotongan tebing dan getaran dari kendaraan besar. Materi yang membentuk tanah longsor dibagi dalam dua kelompok, batuan dasar dan tanah (bumi dan puing bahan organik). Berdasarkan tipe gerakannya tanah longsor dibedakan menjadi beberapa jenis :

Tabel 1. Tipe Tipe Pergerakan Massa

Jenis Gerakan			Jenis Material		
			Batu	Tanah	
				Butiran Kasar	Butiran Halus
Runtuhan			Runtuhan Batu	Runtuhan Bahan Rombakan	Runtuhan Tanah
Jungkiran			Jungkiran Batu	Jungkiran Bahan Rombakan	Jungkiran Tanah
Gelinciran	Rotasi	Sedikit	Nendatan Batu	Nendatan Bahan Rombakan	Nendatan Tanah
	Translasi	Banyak	Gelinciran Bongkahan Batu	Gelinciran Bongkahan Bahan Rombakan	Gelincir Bongkahan Tanah
			Gelinciran Batu	Gelinciran Bahan Rombakan	Gelinciran Tanah
Gerakan Lateral			Gerakan Lateral batu	Gerakan Lateral Bahan Rombakan	Gerakan Lateral Tanah
Aliran			Aliran Batu	Aliran Bahan Rombakan	Aliran Tanah
Majemuk				Rayapan Tanah	
			Gabungan dua atau lebih tipe gerakan		

(Varnes,1978)

2.4.1 Guguran dan Runtuhan

Runtuhan terjadi ketika massa batuan atau material lain lepas dari lereng curam atau tebing dan turun secara jatuh bebas, menggelinding atau memantul. Sedangkan guguran biasanya terjadi pada tebing batu yang terbagi

secara vertical menjadi blok - blok batuan atau retakan yang berlawanan arah pada tebing. Guguran dan runtuh dapat disebabkan oleh gempa bumi atau erosi pada dasar lereng dan tebing. (Varnes, 1978; Kehew, 1995).

2.4.2 Persebaran Lateral

Pergerakan ekstensional dari batuan atau massa tanah secara lambat sampai cepat pada permukaan tanah dikenal sebagai pergerakan lateral. Walaupun aliran dapat muncul pada batuan, fenomena ini tidak terdokumentasikan secara baik, karena mereka lebih sering muncul pada tanah. Pada tanah berbutir halus, seperti liat, persebaran lateral muncul jika kestabilan tanah terganggu. Pada tanah berstruktur lepas dan granular, persebaran lateral biasanya terjadi akibat terjadinya proses pencairan. Proses pencairan adalah proses perubahan bentuk granular dari bentuk solid menjadi bentuk cair sebagai akibat naiknya tekanan air antara butiran pasir (Steinbrugge, 1982; Kehew, 1995). Proses pencairan disebabkan oleh getaran keras yang diakibatkan oleh gempa bumi.

2.4.3 Luncuran dan aliran

Salah satu tipe yang paling dikenal adalah *sliding* atau luncuran. Luncuran batu atau tanah melibatkan gerakan perpindahan tempat secara menurun pada satu atau lebih kegagalan permukaan. Material dari luncuran dapat terbagi dalam pecahan atau tetap menjadi satu. Luncuran dapat berupa gerakan translasional atau rotasional. Gerakan rotasional melibatkan pergerakan pada titik yang spesifik, sementara translasional adalah pergerakan menurun pada

jalur yang paralel pada permukaan. Contoh yang umum pada rotasional adalah *slump*, yang mana mempunyai komponen pergerakan yang kuat.

Aliran terdiri dari pergerakan batuan lepas, tanah, bahan organik, udara dan air bergerak menuruni tebing dan dalam bentuk cairan yang lekat dan kental. Mereka dibedakan dari luncuran karena memiliki kandungan yang air yang tinggi dan mengalami perubahan internal selama pergerakan (Kehew, 1995). Sementara, arus dapat mendominasi kegagalan, mereka biasanya diamati sebagai pelengkap komponen atau peluasan dari luncuran atau guguran.

2.5 Lapisan Kedap air

Salah satu faktor penyebab kejadian longsor adalah adanya lapisan kedap air dibawah permukaan tanah. Lapisan atau batuan yang tidak tembus air dapat menciptakan bidang luncur terhadap tanah atau regolith yang mengalami pelapukan di atasnya. Air yang masuk kedalam tanah tidak dapat menembus lapisan batuan dan akan mengalir secara lateral. Pada saat hujan deras dapat terjadi permukaan gelincir yang menghasilkan longsor tanah atau regolith diatas batuan tersebut.

Tanah dan lapisan tanah dapat padat secara alami sebagai akibat komposisi tekstur tanah, besaran kadar air atau sifat terbentuknya tanah di lokasi. Kerak permukaan bisa terbentuk pada tanah terbuka oleh pukulan dan aksi pemecahan dari tetesan hujan dan pengeringan lapisan partikel yang padat. Secara alami, lapisan bawah tanah yang padat terdiri dari sedimen granuler yang terkumpul rapat, kadang memiliki lapisan semen sebagian. Lapisan *indurated* disebut lapisan kedap (*hardpan*), bisa terdiri dari tekstur yang beragam dan dalam beberapa hal

memiliki sifat seperti batu (diistilahkan dengan *fragipan* atau *ortstein*) dan hampir tidak dapat ditembus oleh akar, air dan udara. Biasanya lapisan kedap ditemukan pada pertemuan antara dua lapisan tanah yang sangat berbeda, dengan penetrasi liat atau bahan terlarut atau suspensi yang ditahan oleh lapisan liat, muka air tanah, atau lapisan batu (Lutz,1952 dalam Hillel; 1998).

Lapisan liat kedap (*claypan*) bersifat rapat, lapisan bawah tanah yang sulit ditembus, terdiri dari kandungan liat tinggi yang cenderung bersifat plastis dan relatif tidak permeabel terhadap air dan udara saat basah. Pada iklim basah , lapisan semacam ini bisa tetap basah dan menyebabkan naiknya kondisi muka air tanah semu di atasnya, sehingga menyebabkan kondisi anaerob pada zona perakaran. Lapisan liat kedap dapat terbentuk karena endapan atau terbentuk di tempat. Lapisan ini terjadi pada berbagai kedalaman dalam suatu profil. Kandungan liat tinggi saja tidak mesti menghasilkan terbentuknya lapisan kedap, karena ini juga tergantung pada struktur dan tekstur tanah. Kebanyakan tanah pertanian yang baik memiliki horizon B yang berliat, yang menghasilkan struktur tanah yang berkembang dengan baik dengan pori pori yang besar diantara struktur sehingga jalan air dan udara tidak terhambat. Akan tetapi, pada lapisan kedap perkembangan struktur sangat jelek dan liat bisa dalam kondisi agak terdispersi. Kondisi lapisan liat kedap dan tanah kedap sulit diperbaiki. Fragmentasi mekanis dengan pengolahan tanah saja hanya menghasilkan suatu penghancuran yang sifatnya sementara, karena lapisan ini cenderung terbentuk kembali dengan segera (Hillel, 1998).

Batuan adalah massa yang terdiri atas satu macam mineral atau lebih yang membentuk satuan terkecil dari kerak bumi dan mempunyai komposisi kimia dan mineral yang tetap sehingga dapat dipisahkan secara jelas satu dengan yang lain (Munir, 2006). Batuan merupakan salah satu faktor pembentuk lapisan kedap air pada suatu penampang tanah, bentukan batuan yang dimasukkan dalam kriteria lapisan kedap air dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu,

1. *Aquitard* adalah suatu lapisan yang mempunyai permeabilitas kecil tapi masih memungkinkan air bisa mengalir dengan lamban pada lapisan ini.
2. *Aquiclude* adalah suatu formasi geologi yang tidak dapat dilalui air dalam jumlah berarti, walaupun formasi tersebut juga mengandung air. Pada umumnya *aquiclude* merupakan lapisan pembatas atas atau bawah lapisan *aquifer* tertekan (*perched aquifer*). Contoh dari *aquiclude* adalah lapisan tanah liat atau batuan lempung, seringkali untuk keperluan praktis, *aquiclude* disebut juga lapisan kedap air.
3. *Aquifuge* adalah suatu lapisan yang kedap air dan tidak mengandung air. Contoh dari *aquifuge* batuan kompak, batuan granit yang solid (Hardiyatmo, 2006).

2.6 Hubungan Lapisan kedap air dengan longsor

Suprayogo *et al* (2005) mengutarakan bahwa lapisan kedap air adalah salah satu faktor yang turut berpengaruh dalam proses terjadinya longsor. Lapisan kedap air ini terjadi akibat adanya akumulasi liat pada suatu bagian di lapisan penampang tanah ataupun dapat berupa lapisan batuan keras.

Tubbs (1975) menjelaskan bahwa longsor pada umumnya terjadi akibat pengaruh faktor stratigrafi. Stratigrafi ini merupakan pelapisan material penyusun tanah akibat proses-proses geomorfologi, terutama sedimentasi. Stratigrafi ini dapat berupa lapisan tanah dan lapisan batuan. Batuan yang memiliki kohesitas tinggi dan kedap air kurang dapat berfungsi dengan baik pada sistem resapan air. Batuan kedap air tersebut akan berfungsi sebagai bidang gelincir ketika beban batuan dan tanah di atasnya menjadi berlebih. Jika suatu daerah didominasi batuan ini, biasanya cenderung rentan terhadap tanah longsor (Anonymous, 2004).



III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada titik titik kejadian longsor yang terjadi di wilayah DAS Konto Hulu Kecamatan Pujon Kabupaten Malang. Sedangkan untuk analisis laboratorium akan dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian dilaksanakan dimulai pada bulan Oktober 2006 hingga Januari 2007.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini terbagi dalam tahap persiapan, survei lapangan dan pengolahan data.

Tabel 2. Alat dan bahan penelitian

No	Jenis kegiatan	Alat	Bahan
1.	Persiapan	-	<ul style="list-style-type: none"> • Peta Rupa Bumi skala 1 : 25.000 • Peta Kelerengan skala 1 : 50.000
2.	Survei Lapangan	<ul style="list-style-type: none"> • Sekop, cangkul • Bor Tanah • Botol semprot • Munsell Soil Color Chart • Clinometer • Petunjuk lapangan • Meteran • Altimeter dan kompas 	<ul style="list-style-type: none"> • Air • Form LRREP II
3	Pengolahan Data	<ul style="list-style-type: none"> • Seperangkat komputer dengan Software pendukung. 	

3.3. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi tahap persiapan, survei lapangan dan analisis dan pengolahan data dan pembuatan laporan. Skema kerja penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.

3.3.1. Penentuan Titik Pengamatan

Penentuan titik pengamatan dilakukan sesuai dengan tahapan dan kriteria yang ditentukan.

3.3.1.1 Seleksi

Seleksi dilakukan pada longsor yang ditemukan pada survei cepat. Hasil survei cepat didapatkan 180 titik longsor yang terbagi menjadi 92 longsor jalan, 80 longsor lahan dan 8 longsor tebing, dan longsor yang diambil adalah longsor lahan. Longsor lahan yang didapatkan kemudian diseleksi lagi berdasarkan volume longsor yang terjadi, dan didapatkan 13 longsor besar, 27 longsor sedang dan 40 longsor kecil. Penentuan terakhir titik pengamatan dilakukan seleksi pada kejadian longsor besar dengan pendugaan ada tidaknya lapisan kedap air sehingga didapatkan 6 titik longsor yang diduga terjadi akibat adanya lapisan kedap air.

3.3.1.2 Pendugaan Lapisan Kedap Air

Pendugaan lapisan kedap air dilakukan dengan pengamatan morfologi dan sifat fisika tanah yang dapat dipakai sebagai indikator lapisan kedap air.

1. Pengamatan Morfologi : pengamatan morfologi dilakukan dengan pembukaan profil disekitar titik longsor perwakilan.

- a. Struktur
- b. Konsistensi

- c. Pori Tanah
- d. Batuan

Pengamatan batuan dilakukan karena batuan merupakan lapisan kedap air. Pengamatan dilakukan pada batuan permukaan dan penampang profil yang dibuat.

2. Sifat Fisik

a. Tekstur

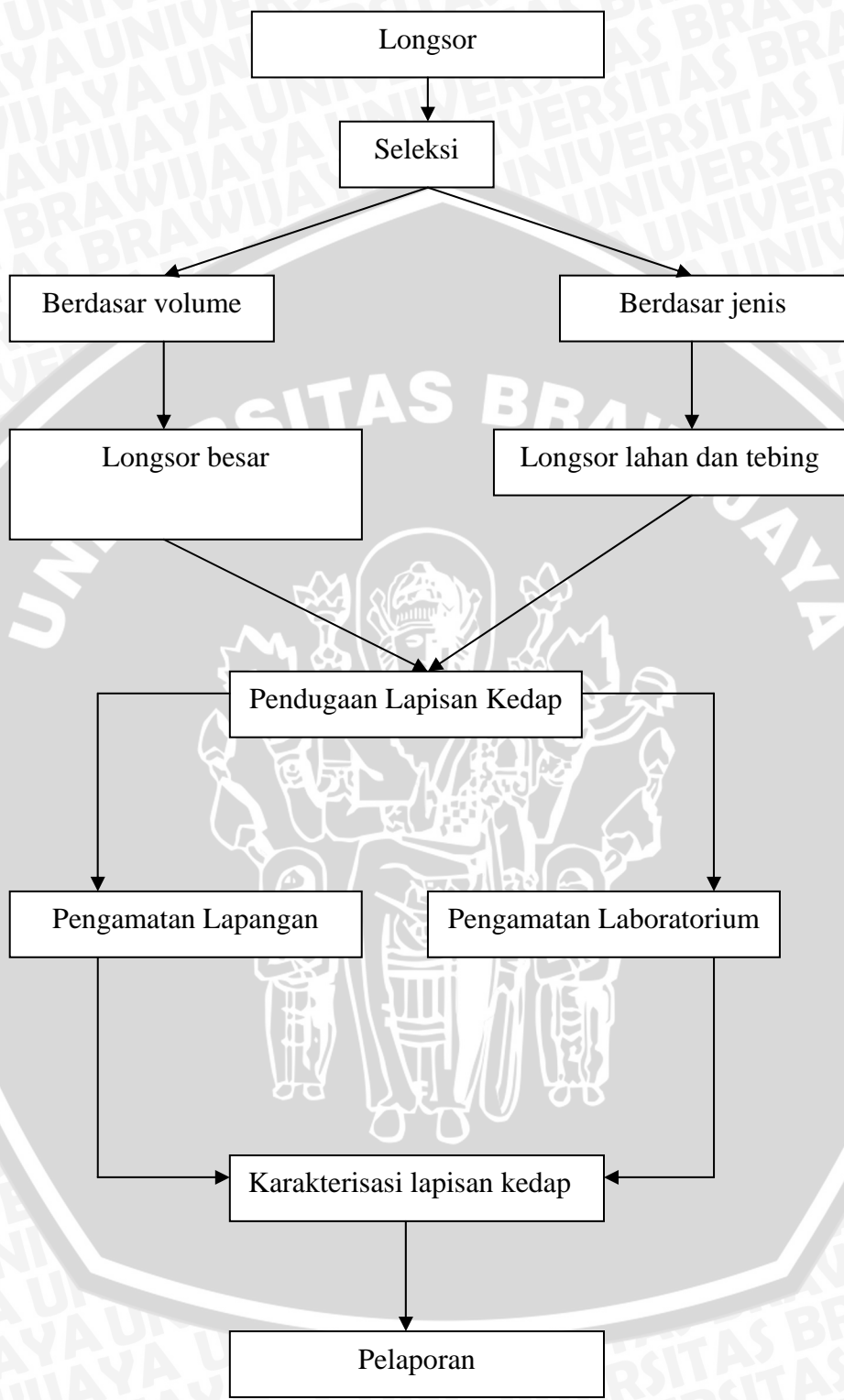
Pengukuran tekstur tanah dilakukan dengan mengambil sampel tanah pada tiap lapisan penampang profil yang dibuat. Pengukuran tekstur tanah dilakukan dengan metode pipet.

b. Konduktifitas Hidroulik Jenuh

Pengukuran sifat hidroulik tanah dilakukan dengan mengambil sampel dengan ring diameter 3 inchi dan panjang 8 cm, pengambilan sampel dilakukan pada setiap lapisan penampang profil yang dibuat untuk mendapatkan pendugaan lapisan kedap air dan. Pengukuran sifat hidroulik tanah dilakukan dengan metode *Constant Head*.

Tabel 3. Variabel Pengukuran dan Metode yang digunakan

Parameter	Metode
- Tekstur tanah	- Pipet
- KHJ	- <i>Constant Head</i>
- Berat Isi (BI)	- Ring Volumetrik
- Berat Jenis (BJ)	- Piknometer
- C organik	- Walkey Black
- pH	- Elektrode pH meter



Gambar 2. Skema Kerja Penelitian

IV. KONDISI UMUM WILAYAH PENELITIAN

4.1. Lokasi

Kawasan DAS Konto Hulu terletak di bagian barat laut Kabupaten Malang antara 642500 mU sampai 667500 mU dan 9140500 mT sampai 9126000 mT pada zona 49 M. Secara administrasi DAS Konto Hulu terletak pada dua kecamatan yaitu Kecamatan Pujon dan Kecamatan Ngantang. Sebelah utara berbatasan langsung dengan Kabupaten Mojokerto dan Kabupaten Jombang, sebelah selatan berbatasan dengan Kabupaten Blitar, sebelah timur berbatasan dengan Kota Batu dan sebelah barat berbatasan dengan Kecamatan Kandangan Kabupaten Kediri .

4.2. Geologi dan Lithologi

Daerah penelitian tersusun atas 6 satuan geologi yaitu: 1). **Qpat** batuan Gunungapi Anjasmara Tua, 2). **Qpkb** batuan Gunungapi Kawi-Butak, 3). **Qpva** batuan Gunungapi Anjasmara Muda, 4). **Qpvk** batuan Gunungapi Kelud, 5). **Qpvp**: batuan Gunungapi parasit tua, dan 6). **Qvk** batuan Gunungapi Kelud .

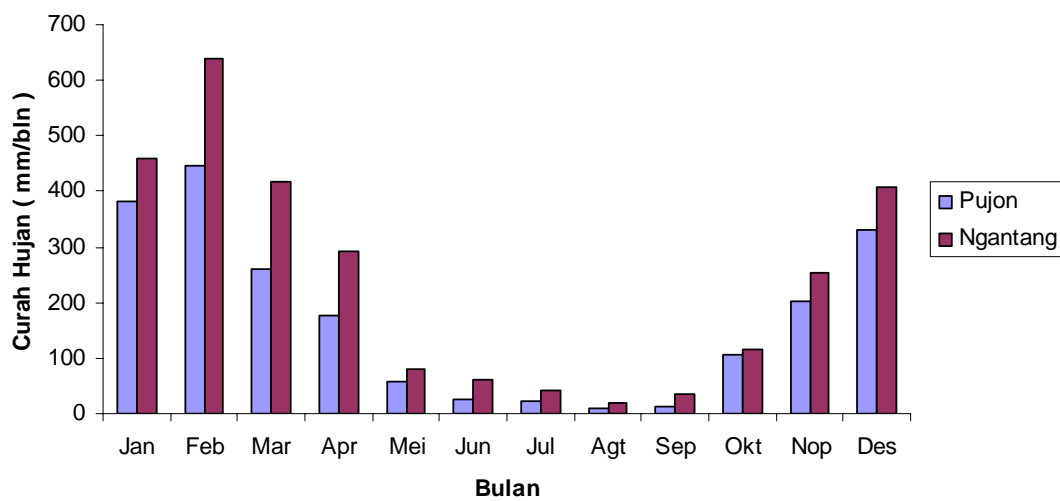
Formasi Qpat memiliki komposisi breksi gunungapi tua, lava, tuf dan retas. Batuan Gunungapi Anjasmara Tua ini dianggap sebagai batuan gunungapi Kwartir Tua didaerah ini dan sebagai alas (*basement*) dari batuan gunungapi yang lebih muda. Umurnya diduga Plistosen Awal-Tengah (Santoso, 1992) dan tertindih oleh batuan Gunungapi Anjasmara Muda dan Batuan Gunungapi Kawi-Butak. Luas Qpat di DAS konto Hulu mencapai 11.978 hektar. Satuan geologi ini menduduki kawasan yang paling luas di DAS Konto Hulu.

Satuan Geologi terluas kedua dengan luas 7.880 hektar adalah Qpkb. Qpkb terdiri atas breksi gunungapi, lava, tuf dan lahar. Batuan gunungapi ini diduga berumur plistosen tengah-plistosen akhir dan tertindih oleh batuan Gunungapi Kelud serta menindih Batuan Gunungapi Anjasmara Tua. Satuan geologi lain penyusun DAS Konto Hulu adalah Qpva yang terdiri atas breksi gunungapi, tuf, lava dan lahar. Luasan Qpva ini adalah 1.830 hektar.

Kondisi geologi ini sangat berpengaruh terhadap longsor. Terutama dalam membentuk stratifikasi tanah dan jenis tanah. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa longsor umumnya terjadi pada satuan geologi Qpat dan Qpkb. Kejadian longsor sebagian besar (57%) terjadi pada formasi geologi Qpat, sisanya (43%) terjadi pada formasi Qpkb.

4.3. Iklim

Data curah hujan diperoleh dari dua stasiun klimatologi, yaitu stasiun klimatologi Selorejo dan stasiun klimatologi Kedungrejo Desa Bendosari. Stasiun klimatologi Selorejo tersebut berlokasi di dekat waduk Selorejo (630 mdpl), dan stasiun klimatologi Kedungrejo berlokasi di desa Bendosari kecamatan Pujon (902 mdpl). Data curah hujan didapatkan dalam kurun waktu 10 tahun mulai tahun 1995 sampai dengan tahun 2004. Data yang didapat menunjukkan bahwa curah hujan di DAS Konto Hulu adalah cukup tinggi. Di stasiun Selorejo tercatat curah hujan tahunan mencapai 3151 mm per tahun. Di stasiun klimatologi Kedungrejo Pujon curah hujan tahunan hanya 1797 mm per tahun. Pada puncak musim hujan, rata-rata hujan bulanan di Ngantang sekitar 485 mm dibandingkan di Pujon hanya menerima 150 mm (Gambar 3).



Gambar 3. Sebaran rata-rata curah hujan bulanan DAS Konto Hulu tahun 1991-2005 (Stasiun Klimatologi Pujon, 2007).

Berdasarkan data iklim daerah penelitian dapat digolongkan dalam zone agroklimat C menurut klasifikasi Oldeman dengan 6 kali bulan basah secara berturut-turut. Pembagian zone oleh Oldeman ini didasarkan pada kebutuhan air persawahan dan palawija. Sedangkan menurut klasifikasi Schmidt-Ferguson, DAS Konto digolongkan dalam zone agroklimat D atau tipe iklim sedang.

Suhu rata-rata daerah Ngantang adalah 22.2 °C, sedangkan daerah Pujon hanya 20.4 °C. Evapotranspirasi daerah Ngantang rata-rata 110 mm/bulan, sedangkan daerah Pujon rata-rata hanya 75 mm/bulan. Hal ini mengakibatkan status kandungan air dalam siklus hidrologi yang hampir sama antara daerah Ngantang dan daerah Pujon. Hal ini didukung pula dengan kecepatan angin yang berbeda antar kedua kecamatan. Kecepatan angin rata-rata daerah Ngantang 31.2 km/jam sedangkan daerah Pujon hanya 27.5 km/jam.

4.4 Landform

Landform yang terdapat di daerah penelitian sangat beragam. Hasil penelitian (Anonimous, 1984) menunjukkan bahwa DAS Konto Hulu terdiri atas beberapa landform utama, yaitu 1). Landform Alluvial, 2). Dataran antar volkan, 3). Perbukitan Vulkanik, dan 4). Pegunungan Vulkanik .

Landform terluas di DAS Konto adalah perbukitan volkan dengan luasan mencapai 11.329 hektar. Dataran antar volkan yang memiliki luasan 6227 hektar merupakan landform terluas kedua setelah perbukitan volkan. Pembagian landform ditentukan berdasarkan proses pembentukan batuan dan relief.

Secara tidak langsung kejadian longsor dipengaruhi oleh tipe landform yang ada pada suatu kawasan. Longsor di daerah penelitian banyak terdapat di dataran antar volkan dan di perbukitan vulkanik. Di dataran antar volkan terdapat 90 kejadian longsor, dan sisanya di perbukitan vulkanik.

4.5 Lereng

Lereng di DAS Konto Hulu cukup bervariasi. Dengan bentuk lahan dan topografi yang bervariasi, kelerengan di daerah penelitian berkisar dari 0-80°. Lereng datar sampai landai banyak ditemui di dataran antar volkan. Di perbukitan vulkanik kelerengan lahan bisa sampai 60°, bahkan di beberapa lembah sungai maupun lembah aliran lahar kelerengan tebingnya mencapai 80°. Namun demikian di beberapa perbukitan vulkanik maupun dataran antar volkan, kelerengan bisa mencapai 85° akibat dari aktivitas mekanik seperti pemotongan lereng dan pembuatan teras.

4.6 Relief

Secara umum DAS Kali Konto Hulu merupakan dataran tinggi yang terletak pada ketinggian 300-2550 mdpl. Terbentuk dari berbagai macam bentuk lahan mulai lembah sampai pegunungan. Keadaan relief kawasan DAS Konto Hulu umumnya datar, berbukit dan bergunung. Kebanyakan daerah-daerah datar di DAS Konto Hulu berada pada ketinggian 620-1225 mdpl. Umumnya daerah-daerah ini terbentuk dari hasil koluviasi kaki bukit. Keadaan relief berbukit umumnya terbentuk akibat proses denudasional dan berada pada ketinggian 1200-1700 mdpl. Sedangkan pada relief bergunung yang meliputi puncak-puncak Gunung Kelud, Gunung Kawi dan Gunung Anjasmoro umumnya berada pada ketinggian 1500-2500 mdpl.

4.7 Hidrologi

Kawasan DAS Konto Hulu terdiri dari tiga daerah tangkapan, yaitu Kali Konto (Pujon-Selorejo), Kali Kwayangan (utara Selorejo) dan Kali Pinjal (selatan Selorejo). Ketiga daerah tangkapan ini bertemu di Waduk Selorejo. Masing-masing aliran drainase mempunyai ciri-ciri dan pola tertentu.

Kondisi hidrologi yang erat kaitannya dengan longsor adalah pergerakan air dan sirkulasinya baik di tanah maupun di udara. Kecepatan infiltrasi dan permeabilitas tanah sangat berperan di dalamnya. Di DAS Konto debit air sungai merupakan tenaga penggerak terbesar dalam menciptakan longsor tebing sungai. Namun demikian data kuantitatif sehubungan dengan pergerakan air tersebut belum tersedia. Daerah penelitian memiliki pola drainase dendritik. Kerapatan

drainase yang dibentuk adalah sedang. Kondisi kerapatan drainase ini menyebabkan pergerakan air dalam tanah berjalan cukup baik.

4.8 Tanah

Tanah di DAS Konto Hulu cukup bervariasi, namun tingkat perkembangan tanahnya masih cenderung muda. Jenis tanah yang terdapat di daerah penelitian adalah Inceptisol, Entisol, Mollisol dan Alfisol. Tingkat perkembangan tanah yang masih relatif muda menyebabkan karakteristik tanah di DAS Konto secara umum rentan terhadap pengaruh aktivitas mekanik.

Ordo Andisol merupakan ordo yang menempati kawasan terluas di DAS Konto Hulu dengan luasan mencapai 11.840 hektar. Ini menunjukkan bahwa 51% dari total luasan DAS Konto Hulu didominasi oleh jenis tanah ini. Ordo Inceptisol menempati 23% dari total luas DAS dengan luas area 5478 hektar.

Longsor di DAS Konto banyak terjadi pada Inceptisol. Jumlah longsor yang terjadi pada tanah ini mencapai 132 kejadian (73%). Sisanya tersebar di Andisol sejumlah 37 kejadian (21%), tanah Mollisol 9 kejadian (5%) dan Alfisol 2 kejadian (1%).

4.9 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di daerah penelitian cukup bervariasi. Terdapat 12 jenis penggunaan lahan yang tersebar di seluruh area DAS Konto Hulu. Penggunaan lahan yang mendominasi DAS Konto Hulu ini adalah hutan dengan luasan mencapai 7623 ha. Sedangkan perkebunan, ladang dan sawah tadah hujan memiliki luasan antara 3000-3600 hektar. Pemukiman (1153 ha) dan semak

belukar (2935 ha) juga merupakan penggunaan lahan yang cukup luas di DAS Konto.

Vegetasi yang terdapat di daerah penelitian sangat bervariasi. Di beberapa area perkebunan di bagian Kecamatan Pujon ditemukan jenis pohon dominan pinus, eucalyptus dan sengon. Sedangkan perkebunan di Kecamatan Ngantang banyak ditemukan sengon, rambutan dan langsep. Pada ladang, banyak ditemukan sayur mayur seperti kubis, cabai, wortel, ketela pohon dan kentang.

Longsor di daerah penelitian banyak terjadi di perkebunan, semak belukar, rumput dan ladang. Terdapat 52 kejadian longsor (29%) di semak belukar dan 39 kejadian longsor (22%) pada penggunaan lahan padang rumput. Pada ladang, tercatat terjadi longsor paling banyak yakni 56 kejadian (31%), dan pada perkebunan terdapat 30 kejadian. Sisanya hanya 2 kejadian pada hutan dan tidak terjadi kejadian longsor pada tujuh penggunaan lahan lainnya.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil

5.1.1 Kejadian Longsor Di DAS Konto Hulu

5.1.1.1 Sebaran Titik Longsor

Survei cepat yang dilakukan pada awal penelitian (akhir tahun 2006 dan awal 2007) memberikan informasi mengenai kawasan titik titik longsor di DAS Konto Hulu. Jumlah longsor yang ditemukan pada survei cepat berjumlah 180 titik longsor yang didominasi oleh longsor dengan skala kecil. Titik titik longsor ini tersebar pada kondisi wilayah berbeda, baik dari segi penggunaan lahan maupun bentukan lahan dapat dibagi menjadi 3 jenis longsor yaitu jalan, tebing sungai dan lahan. Longsor lahan adalah longsor yang terjadi di lereng lahan, sedangkan longsor jalan merupakan longsor yang terjadi akibat pemotongan tebing kiri kanan jalan. Longsor tebing sungai merupakan longsor yang terjadi di tebing kanan kiri sungai di mana aktivitas sungai banyak berpengaruh. Dari ketiga jenis longsor yang terjadi, intensitas kejadian yang paling besar di DAS Konto adalah longsor jalan yaitu sebanyak 92 kejadian longsor. Hal ini disebabkan oleh adanya pemotongan lereng pada saat pembuatan jalan, baik jalan antar kota, jalan desa maupun jalan dusun. Titik titik longsor yang ditemukan mempunyai dimensi yang berbeda beda mulai dari yang kecil hingga besar. Dari informasi yang didapatkan pada survei cepat maka ditetapkan 6 titik perwakilan keadaan longsor pada DAS Konto.

5.1.1.2 Deskripsi Titik Longsor Perwakilan

Penentuan titik pengamatan dilakukan dengan memilih titik longsor perwakilan di kawasan DAS Konto Hulu melalui beberapa tahapan. Pertama adalah seleksi titik titik longsor yang telah didapatkan dari hasil survei cepat yang dilakukan sebelumnya yang memenuhi kriteria sebagai berikut : mempunyai kelerengan lebih dari 30° , merupakan longsor dengan intensitas besar, mewakili sebagian besar dari penggunaan lahan di DAS Konto Hulu dan mempunyai lapisan kedap air. Dari proses seleksi yang dilakukan didapatkan 6 titik longsor yang dipakai sebagai titik pengamatan pada penelitian ini.

Tabel 4 menunjukkan secara umum kondisi kawasan penelitian yang merupakan perwakilan dari sebagian besar kondisi wilayah DAS Konto yaitu semak, hutan campuran dan tanaman semusim. Kondisi wilayah dengan landuse semak diwakili oleh titik pengamatan di Desa Tawangsari dan Pujonkidul. Pada pengamatan Bendosari 1 dan 2 merupakan kawasan dengan penggunaan lahan kebun campuran yang terdiri dari bambu, nangka, kopi, suren dan Bendo. Pengamatan di Desa Wiyurejo 1 dan 2 merupakan kawasan penggunaan lahan tanaman semusim yang terdiri dari jagung dan wortel..

Tabel 4. Identifikasi Titik perwakilan

Variabel	Tawangsari	Pujon Kidul	Bendosari 1	Bendosari 2	Wiyurejo 1	Wiyurejo 2
Landuse	Semak	Semak	Kebun Campuran	Kebun Campuran	Tanaman semusim	Tanaman Semusim
Lebar Longsor (m)	16.90	12,00	8.9	12,30	13.16	11.16
Panjang Longsor (m)	31.50	37,10	43.3	68.70	16.70	17.78
Tebal longsor (m)	0.9	1.55	1.55	0,55	1.43	1.45
Volume Longsor (m ³)	479.12	690.06	597.32	464.76	314.27	287.72
Tebal longsor (cm)	90	87	155	55	143	133
Elevasi (mdpl)	1450	1181	898	903	1245	1274
Kelerengan	40°	40°	63°	47°	42°	42°

Titik perwakilan longsor yang diambil menunjukkan adanya perbedaan elevasi, titik terendah yang diambil terletak pada elevasi 898 mdpl dan tertinggi 1450 mdpl. Hal ini membuktikan bahwa longsor dapat terjadi pada berbagai tingkat elevasi tempat.

Lereng curam yang rawan longsor biasanya berada pada batuan bresika andesit yang tertutup bahan tanah liat berpasir atau liat berdebu dengan kelerengan di atas 30° yang didukung dengan adanya curah hujan yang tinggi dalam kurun waktu yang lama (Karnawati *et al*, 2005). Hal ini terbukti pada titik longsor perwakilan yang diambil yang terjadi pada kisaran 40° sampai 63° . Dari hasil pengamatan lapangan kisaran kelerengan 40° sampai 63° berada pada berbagai bentuk lahan dan relief berbukit dan bergunung. Hal ini membuktikan bahwa longsor terjadi pada relief berbukit sampai bergunung.

Volume longsor pada titik perwakilan didapatkan terbesar pada Pujonkidul (690.06 m^3) dan terkecil pada Wiyurejo 2 (287.72 m^3). Perbedaan volume longsor disebabkan adanya perbedaan jenis longsor yang terjadi pada masing-masing kawasan. Berdasarkan klasifikasi longsor menurut Vernes, 1958 (dalam Hardiyatmo, 2006), maka longsor yang terjadi di Tawang Sari dan Wiyurejo 2 termasuk dalam jenis jatuhan, sedangkan Pujonkidul dan Wiyurejo 1 jenis longoran yaitu gerakan material pembentuk lereng yang diakibatkan oleh terjadinya kegagalan geser, disepanjang satu atau lebih bidang longsor. Longsor yang terjadi di Bendosari 1 dan 2 termasuk dalam jenis longoran, yaitu dicirikan dengan adanya kemungkinan adanya kegagalan bidang geser antara bahan tanah di atas dengan dibawahnya.

5.1.2 Lapisan Kedap Air

5.1.2.1 Macam Lapisan Kedap Air

Penelitian menunjukkan pada kawasan penelitian ditemukan lapisan kedap air yang dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu 1) lapisan kedap air yang berupa batu, dan 2) non batu yang berupa lapisan kontras. Hasil pengamatan di lapangan, lapisan kedap air berupa batu ditemukan pada pengamatan di desa Bendosari 1 dan Bendosari 2 dan lapisan kedap air yang berupa non batu ditemukan pada pengamatan di desa Wiyurejo dan Pujonkidul. Lapisan kontras (lambat) berupa non batu yang ditemukan pada kawasan penelitian adalah lapisan fragipan, *cemented sand* dan lapisan liat yang ditemukan pada penampang profil.



Gambar 4. Macam lapisan kedap air yang ditemukan pada penelitian di Das Konto Hulu. a) batu, b) non batu

Hasil pengamatan dilapangan menunjukkan bahwa geologi mempunyai pengaruh pada karakteristik lapisan kedap air pada suatu kawasan, DAS Kali konto memiliki beberapa jenis geologi yang berbeda. Perbedaan jenis geologi pada kawasan ini membuat lapisan kedap air yang ditemukan pada penelitian memiliki perbedaan yang jelas, berupa batuan dan non batuan. Batuan sebagai lapisan kedap air ditemukan pada kawasan desa Bendosari yang memiliki formasi geologi Qpat yaitu susunan formasi geologi yang berupa breksi gunung api, tuf,

lava dan retas, selain pada desa bendosari formasi batuan yang ditemukan juga tersebar pada kawasan mulai dari pemandian Dewi Sri sampai pada bendungan Selorejo. Lapisan kedap air non batuan banyak ditemukan pada kawasan Tawangsari, Wiyurejo dan Pujonkidul yang mempunyai formasi geologi Qpkb yaitu breksi gunung api, tuff, lava dan lahar, dari hasil pengamatan di lapangan pada kawasan ini tidak ditemukan adanya lapisan batuan kompak yang kedap air seperti pada kawasan dengan formasi geologi Qpat. Hal ini membuktikan bahwa formasi geologi suatu kawasan mempengaruhi karakteristik lapisan kedap air pada wilayah tersebut.

5.1.2.2 Letak Lapisan Kedap Air

Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa adanya lapisan kedap air pada suatu penampang profil mempunyai kedalaman bervariasi. Lapisan kedap air paling dangkal ditemukan pada pengamatan Bendosari 2 sedalam 55 cm berupa batuan kompak yang merupakan lapisan kedap air, sedangkan lapisan kedap air terdalam ditemukan pada pengamatan Wiyurejo 2 yang terletak pada kedalaman 143 cm berupa fragipan. Hasil pengamatan di atas membuktikan bahwa letak lapisan kedap air pada penampang tanah memberikan pengaruh yang cukup besar pada kejadian longsor.

Hardiyatmo (2006) menulis bahwa longsor yang terjadi di Jawa Tengah yaitu di Purworejo, Kebumen, Wates dan Kulon Progo terjadi secara serentak, dan diduga kuat disebabkan oleh hujan yang berlangsung secara terus menerus dan juga disebabkan oleh lapisan keras batuan breksi yang relatif kedap air pada kedalaman 6 m.

Perbedaan kedalaman lapisan kedap air pada suatu penampang profil berpengaruh terhadap longsor yang terjadi. Lapisan kedap air yang terletak pada kedalaman dangkal dapat memicu longsor lebih cepat daripada yang berada pada kedalaman lebih dalam. Hal ini disebabkan oleh air yang masuk diakumulasikan lebih cepat sehingga longsor terjadi lebih cepat. Kedalaman lapisan kedap air juga berpengaruh pada volume longsor yang terjadi, semakin dalam lapisan kedap air maka semakin dalam solum tanah, sehingga volume longsor yang terjadi semakin besar.

5.1.2.3 Indikator Lapisan Kedap Air

5.1.2.3.1 Konduktifitas Hidroulik Jenuh

Lapisan kedap air adalah lapisan yang sulit atau tidak dapat dilewati maupun menyimpan air dalam jumlah besar. Lapisan *indurated* disebut lapisan kedap (*hardpan*), bisa terdiri dari tekstur yang beragam dan dalam beberapa hal memiliki sifat seperti batu (diistilahkan dengan *fragipan* atau *ortstein*) dan hampir tidak dapat ditembus oleh akar, air dan udara. Biasanya lapisan kedap ditemukan pada pertemuan antara dua lapisan tanah yang sangat berbeda, dengan penetrasi liat atau bahan terlarut atau suspensi yang ditahan oleh lapisan liat, muka air tanah, atau lapisan batu (Lutz,1952 dalam Hillel; 1998). Fenomena ini secara kasat mata pada pengamatan lapangan atau dapat melalui analisis laboratorium dengan menganalisis indeks nilai KHJ lapisan yang dimaksud (Tabel 5).

Tabel 5. Nilai Konduktifitas Hidroulik Jenuh pada Berbagai Titik (cm jam⁻¹)

	TS			PK			BS1		
	LA	LT	LB	LA	LT	LB	LA	LT	LB
L1	21.59	22.34	22.34	108.9	64.69	124.8	2355	158.6	316.7
L2	30.89	35.78	35.78	74.61	41.04	97.17	121.3	101.7	107.5
L3	27.8	29.89	29.89	149.6	78.56	125	130.1	97.24	105.4
L4	31.72	33.77	34.43	29.56	15.34	13.36	152.3	132.4	96.77
L5	-	-	22.44	48.43	230.3	-	41.44	83.74	26.47
L6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	BS2			WR1			WR2		
	LA	LT	LB	LA	LT	LB	LA	LT	LB
L1	85.38	128.4	97.67	5.838	3.774	8.594	161.7	26.82	86.95
L2	62.58	85.53	54.79	23.31	30.76	34.35	10.81	33.28	15.66
L3	0	83.38	85.53	51.01	52.6	29.56	85.07	239.4	125.5
L4	0	62.58	62.58	80.43	51.74	105.5	62.49	272.3	134.4
L5	0	0	22.44	53.36	12.99	35.46	23.42	14.56	12.58
L6	0	0	0	125.3	179.7	123.7	9.196	27.93	38.6

Keterangan :

TS : Tawang Sari ; PK : Pujon Kidul ; BS ; Bendosari ; WR ; Wiyurejo

L1 – L6 ; lapisan ke

LA : Lereng Atas ; LT : Lereng Tengah ; LB : Lereng Bawah

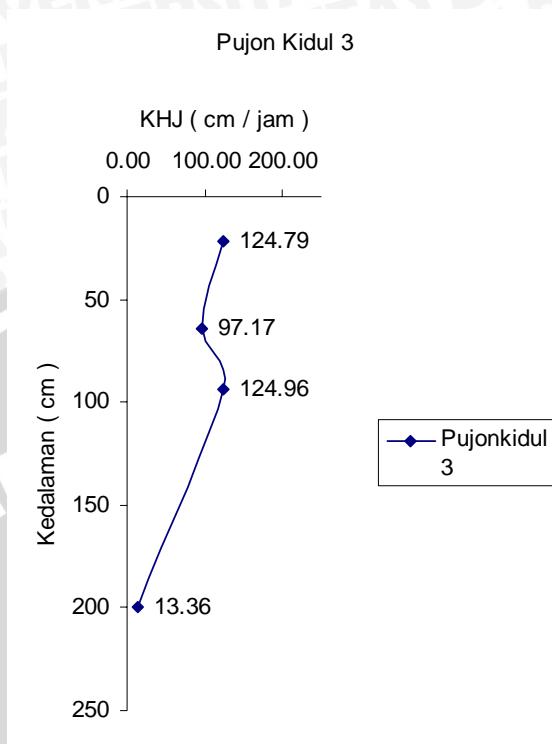
Pada tabel diatas dapat dilihat adanya fluktuasi nilai KKH dari hasil laboratorium. Nilai KKH tertinggi untuk keseluruhan pengamatan didapatkan pada lapisan pertama lereng atas Bendosari 1 (2354.55 cm jam⁻¹). Nilai KKH terendah didapatkan pada Wiyurejo 1 lapisan pertama lereng tengah (3.77 cm jam⁻¹).

Tabel 5 menunjukkan adanya nilai KKH sebesar 0 cm jam⁻¹ yang didapatkan pada pengamatan Bendosari 1 dan 2, karena adanya lapisan kedap air yang berupa batuan kompak ditemukan pada penampang profil yang dibuat. Batuan merupakan salah satu lapisan kedap air yang sama sekali tidak dapat menyimpan atau mengalirkan air menuju lapisan tanah dibawahnya sehingga mempunyai nilai KKH yang sama dengan nol.

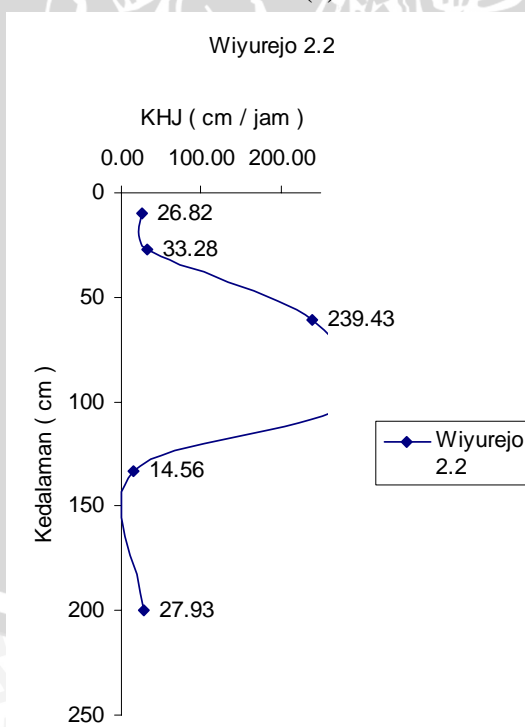
Pada Tawang Sari nilai KKH terendah didapatkan pada lapisan pertama semua kelereng, hal ini terjadi disebabkan adanya kandungan bahan organik

tanah yang sangat tinggi pada tanahnya sehingga menyebabkan air mengalami hambatan untuk masuk kedalam lapisan dibawahnya sehingga mempunyai nilai KHI yang lebih rendah.

Pada penelitian ini ditemukan indikasi lapisan kedap air pada lokasi pengamatan, seperti yang dapat lihat pada grafik (Gambar 4). Pada grafik (a) dapat dilihat adanya penurunan nilai KHI yang cukup besar, terjadi di desa Pujonkidul, yakni penurunan nilai KHI yang cukup drastis sebesar 102.52 cm jam⁻¹ dari 124.96 cm jam⁻¹ pada lapisan ketiga menjadi 22.44 cm jam⁻¹ pada lapisan keempat. Hal ini diakibatkan oleh adanya lapisan lambat yang ditemukan lapisan keempat pada penampang profil yang dibuat berupa lapisan *cemented sand* bersifat keras dan relatif sulit untuk dilalui atau menyimpan air dalam jumlah yang besar. Pada grafik (b) dapat dilihat adanya penurunan indeks nilai KHI yang sangat drastis yaitu sebesar 257.7 cm jam⁻¹ dari 272.26 cm jam⁻¹ pada lapisan keempat menjadi 14.56 cm jam⁻¹ pada lapisan kelima, karena adanya lapisan fragipan yang ditemukan pada penampang profil yang dibuat. Lapisan fragipan yang ditemukan pada pengamatan merupakan lapisan lambat karena ditemukan bukti bahwa lapisan ini sulit dilewati air dalam jumlah besar.



(a)



(b)

Gambar 5. Grafik Nilai KHJ pada Berbagai Titik Pengamatan

5.1.2.2 Perubahan Tekstur

Tekstur merupakan indikator lapisan kedap air yang baik. Perubahan tekstur yang kontras dapat menyebabkan perbedaan laju air pada lapisan tanah. Hal ini yang merupakan penanda bahwa suatu lapisan tanah merupakan lapisan yang sulit atau bahkan tidak dapat dilewati oleh air.

Pada grafik (Gambar 4) dapat dilihat adanya suatu lapisan yang merupakan lapisan yang sulit untuk dilalui oleh air, hal tersebut berhubungan dengan sifat fisik tanah yang ada, dari data hasil analisis yang dilakukan dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan sifat fisik antara lapisan dengan nilai K_{HJ} terendah dengan lapisan di atasnya. Menurut Summerfiel, 1991 (*dalam* Hardiyatmo, 2006) pengaruh perubahan tekstur dalam suatu profil tanah sangat berpengaruh terhadap banyaknya air yang masuk, sehingga dapat mempengaruhi sebaran basa-basa dalam horizon.

Pada penelitian ini ditemukan adanya perubahan tekstur yang kontras antara suatu lapisan dengan lapisan lain merupakan faktor yang berpengaruh terhadap masuknya air kedalam tanah. Pada pengamatan Pujonkidul ditemukan adanya perubahan tekstur yang nyata pada kedalaman 72 cm dengan lapisan di atasnya (Lampiran 1). Perubahan tekstur yang ini berupa peralihan tanah dengan tekstur lempung berliat menjadi tanah yang berupa lapisan keras pasir yang disebut *cemented sand*. Lapisan ini merupakan lapisan yang terjadi akibat proses akumulasi bahan pengikat tanah seperti liat pada suatu lapisan tanah. Dari pengamatan lapangan ditemukan bahwa lapisan *cemented sand* merupakan lapisan

yang sulit untuk dilalui oleh air sehingga dapat dikategorikan dalam lapisan kedap air.

Perubahan tekstur yang nyata juga ditemukan pada pengamatan Wiyurejo 2, yaitu adanya fragipan. Perubahan terjadi dari tekstur lempung berdebu pada kedalaman 112 cm – 143 cm menjadi fragipan pada kedalaman 143 cm sampai 200 cm. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa lapisan fragipan merupakan lapisan yang sulit dilalui air sehingga dapat dimasukkan sebagai lapisan yang kedap air. Fragipan terjadi akibat proses pedogenik yaitu eluviasi-illuviasi dimana dari atas ke bawah presentase liat semakin meningkat.

Perubahan tekstur berbeda pada suatu penampang profil dapat menyebabkan perubahan kekuatan geser tanah. Hal ini diakibatkan adanya perbedaan kemampuan tarikan permukaan yang berbeda dalam air pori oleh butiran butiran tanah (Hardiyatmo, 2006)

5.2 Pembahasan

5.2.1 Hubungan Lapisan Kedap Air Dengan Longsor

Suprayogo *et al* (2005) mengutarakan bahwa lapisan kedap air adalah salah satu faktor yang turut berpengaruh dalam proses terjadinya longsor. Lapisan kedap air ini terjadi akibat adanya akumulasi liat pada suatu bagian di lapisan penampang tanah ataupun dapat berupa lapisan batuan keras.

Tubbs (1975) menjelaskan bahwa longsor pada umumnya terjadi akibat pengaruh faktor stratigrafi. Stratigrafi ini merupakan pelapisan material penyusun tanah akibat proses-proses geomorfologi, terutama sedimentasi. Stratigrafi ini dapat berupa lapisan tanah dan lapisan batuan. Batuan yang memiliki kohesitas

tinggi dan kedap air kurang dapat berfungsi dengan baik pada sistem resapan air. Batuan kedap air tersebut akan berfungsi sebagai bidang gelincir ketika beban batuan dan tanah di atasnya menjadi berlebih. Jika suatu daerah didominasi batuan ini, biasanya cenderung rentan terhadap longsor (Anonymous, 2004).

Pada penelitian ini ditemukan bahwa dari 6 titik pengamatan, 4 longsor disebabkan oleh adanya lapisan kedap air dan 2 longsor bukan oleh adanya lapisan kedap air. Titik pengamatan Bendosari 1 dan 2 didapat bahwa longsor terjadi akibat adanya akumulasi air diatas lapisan kedap air yang berupa batuan kompak. Akumulasi air yang terjadi menyebabkan adanya bidang gelincir yang memicu terjadinya longsor.

Pengamatan Pujonkidul dan Wiyurejo 1 ditemukan bahwa longsor terjadi diakibatkan adanya lapisan kontras yang berupa lapisan *cemented sand* dan fragipan. Lapisan ini merupakan lapisan sulit tembus air sehingga air bergerak mengalir lambat menuju lapisan dibawahnya yang dapat memicu terjadinya longsor. Sementara longsor yang terjadi di Tawang Sari dan Wiyurejo tidak disebabkan oleh adanya lapisan kedap air, melainkan disebabkan oleh faktor penyebab longsor yang berbeda. Hal ini membuktikan bahwa longsor terjadi tidak hanya dipengaruhi oleh ada tidaknya lapisan kedap air tetapi juga dipengaruhi oleh faktor yang lain.

Lapisan kedap air menyebabkan terhalangnya proses infiltrasi air. Proses ini menyebabkan hilangnya tekanan air pori negatif dan menaikkan tekanan air pori positif sehingga mengurangi kuat geser tanah. Berkurangnya kuat geser tanah, ditambah naiknya beban tanah akibat air, menyebabkan longsor terjadi.

Oleh karena itu longsor sering terjadi pada lokasi lokasi di mana air hujan meresap kedalam tanah yang kurang padat.

Banyak kasus longsor yang terjadi setelah hujan turun dengan intensitas besar, longsor terjadi akibat adanya penjumlahan lapisan tanah diatas lapisan kedap sehingga membuat tanah menjadi berat dan akhirnya meluncur turun. Selain membuat tanah menjadi berat, air menjadi faktor yang mempengaruhi kekuatan geser suatu tanah, meningkatnya kadar air dalam lapisan tanah atau batuan, terutama pada lereng-lereng bukit akan mempermudah gerakan bergeser atau tanah longsor (Priyono *et al*, 2006).

Hardiyatmo (2006) mengatakan bahwa lapisan kedap air yang berupa lapisan keras batuan breksi andesit yang relatif kedap air merupakan penyebab terjadinya peristiwa longsor di daerah Purworejo, Jawa Tengah. Lapisan kedap air ini menyebabkan adanya terhalangnya proses infiltrasi air sehingga memicu terjadinya longsor.

5.2.2 Hubungan Jenis Lapisan Kedap dengan Longsor

Jenis lapisan kedap air pada suatu kawasan berpengaruh pada longsor. Pada penelitian ini ditemukan dua jenis lapisan kedap air, yaitu batu dan non batu. Hubungan lapisan kedap air terhadap longsor adalah kecepatan penjumlahan air pada lapisan tanah. Pada pengamatan lapangan ditemukan pada longsor dengan lapisan kedap air berupa batu mengalami proses penjumlahan tanah lebih cepat. Hal ini disebabkan oleh air yang tertahan oleh lapisan batu tidak dapat mengalir sama sekali menuju lapisan tanah dibawahnya. Sedangkan pada lapisan non batu, air

masih dapat mengalir menuju lapisan yang dibawahnya karena lapisan ini mampu mengalirkan air walaupun dalam jumlah yang sangat terbatas.

Jenis lapisan kedap air yang berbeda mempunyai kemampuan menahan yang berbeda. Air lebih cepat tertahan dan terakumulasi pada lapisan kedap yang berupa batuan kompak daripada lapisan yang mempunyai permeabilitas yang kecil seperti lapisan liat dan lempung (Hardiyatmo, 2006)

5.2.3 Pembahasan Umum

Gerakan massa (*mass movement*) tanah atau yang sering disebut sebagai tanah longsor (*landslide*) merupakan salah satu bencana alam yang sering melanda daerah perbukitan di daerah tropis basah. Longsor banyak terjadi akibat adanya perubahan kondisi alam dan lingkungan sekitarnya seperti kondisi geologi, hidrologi, topografi, iklim dan perubahan cuaca sehingga kejadian longsor adalah suatu kejadian yang dipengaruhi oleh kompleksitas berbagai faktor yang dapat mempengaruhi kestabilan lereng. Perubahan kondisi lingkungan yang dapat menyebabkan longsor dapat diakibatkan oleh proses alam seperti gempa bumi dan perubahan siklus hidrologi suatu wilayah. Selain oleh alam, longsor dapat disebabkan oleh ulah manusia seperti pemotongan lereng untuk pembangunan jalan dan rumah.

Kejadian longsor pada kawasan DAS Konto hulu salah satunya terjadi akibat adanya lapisan kedap air pada lapisan penampang tanahnya. Lapisan ini dapat memicu longsor karena dengan adanya lapisan kedap air ini menyebabkan akumulasi air yang berlebih pada salah satu lapisan tanah sehingga kekuatan geser tanah yang tidak jenuh air menjadi berkurang ketika tanah menjadi jenuh air,

khususnya tanah yang berbutir halus. Kondisi tanah yang beragam, khususnya dalam sifat fisik tanah seperti tekstur tanah dan porositas ikut mempengaruhi kejadian longsor. Tekstur tanah yang porous menyebabkan air dapat mengalir lebih cepat menuju lapisan dibawahnya. Kondisi ini sama dengan tanah yang memiliki pori tanah banyak khususnya pori makro yang menyebabkan air dapat dengan cepat menuju lapisan dibawahnya. Kondisi demikian dikombinasikan dengan adanya lapisan kedap air pada tanah dapat menyebabkan tanah cepat menjadi jenuh dan memicu terjadinya longsor.

Hal ini jika dihubungkan dengan kondisi iklim DAS Konto hulu yang mempunyai curah hujan yang tinggi tentunya akan mengakibatkan kejadian longsor akan semakin meningkat dari tahun ke tahun. Jika hal ini tidak ditindaklanjuti dengan adanya usaha konservasi maka kerugian yang diakibatkan oleh kejadian longsor tidak dapat dikurangi.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Dari 6 titik longsor pengamatan, terdapat 4 longsor yang disebabkan oleh lapisan kedap air (2 berupa batu; 2 berupa lapisan lambat air), dan 2 longsor bukan karena lapisan kedap air. Berarti longsor dapat disebabkan oleh faktor lain selain ada tidaknya lapisan kedap air.
2. Semakin dalam lapisan kedap air semakin besar volume longsor yang terjadi.
3. Kawasan dengan formasi geologi berbeda mempunyai lapisan kedap air yang berbeda.

6.2 Saran

Dalam penelitian ini longsor didapatkan longsor terjadi pada kawasan dengan kemiringan lereng lebih dari 30° dan oleh adanya lapisan kedap air. Selain itu ditemukan adanya longsor yang terjadi bukan akibat faktor diatas, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor faktor lain yang diduga sebagai pemicu terjadinya longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, K., and R.R. Ziemer. 1991. Effect of tree roots on shallow-seated landslides. *in* Technical session on geomorphic hazards in managed forest, XIX world congress, international union forestry research organization. USDA Forest Service. Arcata. California
- Akinnifesi, F.K., E.C. Rowe, F.R. Livesley, Kwesiga, B. Van Lauwe, and J.C. Alegre. 2004. Tree root architecture. *in*: Van Noordwijk, G. Cadisch, and C.K. Ong (eds.). Below-ground interactions in tropical agro ecosystems: concepts and models with multiple plant components. CABI publishing : 61-82
- Anonymous. 2005. Tanah longsor. Artikel. Available online http://lib.ugm.ac.id/data/download/1079402588_bencana.doc
- Anonymous. 2004. Hutan yang gundul dan kritis justru milik negara. Media Indonesia, 28 Desember. Jakarta
- Arsyad, S. 1980. Pengawetan tanah dan air. IPB. Bogor
- Asdak, C. 2000. Hidrologi dan pengelolaan DAS. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Benko, B., and D. Stead. 2002. Factor affecting landslide in forested terrain, coastal British Columbia. *in* J. Rybar, J. Stemberk, and W. Peter (eds). Landslides. A.A Blakema Plubishers. Lisse. Netherland
- Brady, N.C., and H.O. Buckman. 1982. The nature and properties of soils. diterjemahkan oleh Soegiman. Ilmu tanah. Bhrata-Aksara. Jakarta
- Buol, S.W., R.J. Southard, R.C. Graham, and P.A. Mc. Daniel. 2003. Soil genesis and classification. Fifth edition. Iowa State Press. State Avenue, Ames. Iowa
- Crozier, M.J. D.E. Alexander and R.W. Fairbridge (eds). 1999. Encyclopedia of environmental science.
- Crozier, M.J., and T. Glade. 2005. Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach, *in* T. Glade, M. Anderson, and M.J. Crozier (eds). Landslide Hazard and Risk. John Wiley & Sons, Ltd
- Darsoprajitno, S. 1997. Pengetahuan geologi umum. Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral. Bandung
- Gilluly, J., A.C. Waters., and A.O. Woodrord. 1960. Principles of geology. second edition. W.H Freeman and Company. San Francisco
- Hairiah, K., Widiyanto, D. Suprayogo, N.D. Lestari, V. Kurniasari, A. Santosa, B. Verbist, and M. Van Noordwijk. 2005. Root effect on slope stability in Sumberjaya Lampung. Paper presented *in* International symposium

toward sustainable livelihood and ecosystem in mountainous regions. Chiang Mai

Hairiah, K., Widiyanto, S.R. Utami, D. Suprayogo, Sunaryo, S.M. Sitompul, B. Lusiana, R. Mulia, M. Van Noordwijk, dan G. Cadish. 2000. Pengelolaan tanah masam secara biologi, refleksi pengalaman dari Lampung Utara. ICRAF. Bogor

Hardiyatmo, H.C. 2006. Penanganan tanah longsor dan erosi. Gajahmada University Press. Yogyakarta

Hardjowigeno, S. 1993. Klasifikasi tanah dan pedogenesis. Akademika Pressindo. Jakarta

Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. diterjemahkan oleh R.H. Susanto, dan R.H. Purnomo. 1998. Pengantar fisika tanah. P.T Mitra Gama Widya. Yogyakarta

Karnawati, D. 2000. Assessment on mechanism of rain-induced landslide by slope hydrodynamic simulation. 2000. *in* An international conference on case histories in geotechnical and geological engineering. Canberra, Australia

Karnawati, D., I. Ibriam, M.G. Anderson, E.A. Holcombe, G.T. Mummery, J.P. Renaud, and Y. Wang. 2005. An initial approach to identifying slope stability controls in Southern Java and to providing community-based landslide warning information. *in* T. Glade, M. Anderson and M.J. Crozier (eds). Landslide hazard and risk. John Wiley and Sons. Ltd. England

Keefer, D.K. 1987. Real-time landslide warning during heavy rainfall. Soil Science Journal (238): 921-925

Kehew, A.E. 1995. Geology for engineers and environmental scientists, second edition. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall: 357-393

Grossa, J.Jr. 2005. Environmental geography. science, land use and earth system. 3rd Edition. John Wiley & sons, inc. USA

Munir, M. 2006. Geologi lingkungan. Bayumedia. Malang

Mustikaningrum, D. 2006. Kajian bahaya longsor di DAS Konto hulu. Skripsi. S1. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Malang.

Suprihanto. 2005. Pencemaran tanah dan air tanah. ITB. Bandung

Ohlmacher, G.C. 2001. Relationship between geology and landslide. Kansas Geological Survey. Kansas

O'Loughlin, C. dan R.R. Ziemer. 1982. The importance of root strength and deterioration rates upon edaphic stability in steep land forests. USDA forest service. Arcata. California

Porter, S.C. 1987. Physical geology. John Wiley and sons. New York

- Preston, N.J. 2000. Feedback effects of rainfall-triggered shallow landsliding. *in* E. Bromhead, N. Dixon, and M.L. Ibsen (eds). *Landslide in research, theory and practice*: 1239-1244
- Rafi'i, S. 1990. *Ilmu tanah*. Angkasa. Bandung
- Russel, E.W. 1973. *Soil conditions and plant growth* 10th edition. Longman. London
- Ryba, J. 1997. Increasing impact of anthropogenic activities upon natural slope stability. *in* P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos, and G.C. Stournaras (eds). *in The international symposium on engineering athens greece* : 1015-1020
- Schaetzl, R., and S. Anderson. 2005. *Soil genesis and geomorphology*. Cambridge University Press. Cambridge
- Schmidt, K.M., J.J. Roering, J.D. Stock, W.E. Dietrich, D.R. Montgomery, and T. Schaub. 2001. The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the oregon coast range. *Canadian geotechnical journal* (38) : 995-1024
- Schumm, S.A. 1979. Geomorphic thresholds: the concept and its application. *Transactions Institute of British Geographers (New Series)* 4 : 485-515
- Shroder, J.F., and M.P. Bishop. 1998. Mass movement in The Himalaya: new insights and research directions. *Geomorphology* (26) : 13-35
- Smith, G.D., K.J. Coughlan, and W.C. Fox. 1978. Role of texture in the soil structure in ww emerson. *in* R.D. Bond, and Dexter (eds). *Modification of soil structure*
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan ciri tanah*. IPB. Bogor
- Soil Survey Staff. 1999. *Kunci taksonomi tanah*. Edisi kedua Bahasa Indonesia. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor
- Steinbrugge, K.V. 1982. Earthquakes, volcanoes, and tsunamis: an anatomy of hazards. *in* New York, Skandia America Group: 69-87
- Strahler, A.N. 1981. *Physical geology*. Harper & row. New York
- Styczen, M.E. and R.P.C. Morgan. 1995. Engineering properties of vegetation. *in* R.P.C. Morgan, and R.J. Rickson (eds). *Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach*. E & FN SPON
- Suprayogo, D., Widiyanto, S.R. Utami, Sudarto, S. Ismunandar, C. Prayogo, I.D. Lestariningsih, dan D.K.A. Nugroho. 2005. Identifikasi potensi longsor dan upaya mencegah bahaya longsor : pedoman untuk mengurangi kerugian. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang
- Swanston, D. N., and R.R. Ziemer. 1977. Root strength changes after logging in Sountheast Alaska. USDA forest service. Arcata. California

Team NUFFIC – UNIBRAW. 1984. Soil and soil conditions upper Kali Konto watershed. Jurusan Tanah Faperta Unibraw. Malang

Todd, D.K. 2005. Groundwater hydrology. John Wiley & Sons Inc.USA

Varnes. D.J. 1978. Slope movement types and processes. *in* R.L. Schuster, and R.J. Krizek (eds). Landslides – analysis and control. National Academy of Sciences Transportation Research Board Special Report (176): 12-33

Ziemer, R.R. 1981. Roots and the stability of forested slopes. IAHS Publishing (132): 343-361

