

Penyelenggara :



Mitra Utama :



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL PENGELOLAAN DAS TERPADU UNTUK KESEJAHTERAAN MASYARAKAT



ISBN 978-602-99218-8-5

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL PENGELOLAAN DAS TERPADU UNTUK KESEJAHTERAAN MASYARAKAT

Malang, 30 September 2014

Terbit Tahun 2014

Tim Penyunting :

Prof. Dr. Ir. Wani Hadi Utomo
Dr. Agung Budi Supangat, MT,M.Sc
Dr. Ir. Rini Dwi Astuti, MS.
Dr. Ir. Sudarto, MS.
Dr. Ir. Tyas Mutiara Basuki, M. Sc
Ir. Sri Rahayu Utami, M.Sc., Ph.D
Ir. Didik Suprayogo, M.Sc., Ph.D
Ir. Widiyanto, M.Sc.
Drs. Irfan Budi Pramono, M. Sc
Ir. Purwanto, M. Si
Ir. Dewi Retna Indrawati, M.P



Penyelenggara :

Balai Penelitian Teknologi
Kehutanan Pengelolaan
Daerah Aliran Sungai,
Fakultas Pertanian
Universitas Brawijaya

Mitra Utama :

ICRAF, Masyarakat
Konservasi Tanah Indonesia,
Himpunan Ilmu Tanah
Indonesia

Seminar Nasional Pengelolaan DAS Terpadu untuk Kesejahteraan Masyarakat

Malang, Indonesia : Balai Penelitian Teknologi Kehutanan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BPTKPDAS) dan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya (FP UNIBRAW) 2014

ISBN : 978-602-99218-8-5

Desain Sampul :

Tommy Kusuma AP

Penerbit :

Balai Penelitian Teknologi Kehutanan
Pengelolaan Daerah Aliran Sungai
(BPTKPDAS)

Jl. Ahmad Yani, Pabelan, Kartasura,
Po Box 295 Surakarta
Surakarta, Indonesia

Telp : (0271) 716709

Fax : (0271) 716959

E-mail:

bpt.kpdas@forda-mof.org

Website:

bpk-solo.litbang.dephut.go.id

Fakultas Pertanian
Universitas Brawijaya
(FP UB)

Jl. Veteran Malang 65145

Telp : (0341) 551665, 565845

Fax : (0341) 560011

Email :

faperta@ub.ac.id

Website :

fp.ub.ac.id

Dicetak oleh :

Balai Penelitian Teknologi Kehutanan
Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

Cetakan pertama, Desember 2014

© BPTKPDAS dan FP UNIBRAW 2014

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang

HUBUNGAN ANTARA FAKTOR LITOLOGI DENGAN TIPE DAN POLA LONGSORAN DI SUB DAS SALO LEBBO, DAS BUDONG-BUDONG, KABUPATEN MAMUJU TENGAH, PROVINSI SULAWESI BARAT¹

Oleh :

Asmita Ahmad^a, Muchtar S. Solle^b, Paharuddin^c

^aJurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, email: asmitaahmad@yahoo.com, Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10 kampus Unhas Tamalanrea, kode pos; 90245.

^bJurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, email: muchtarsolle@gmail.com, Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10 kampus Unhas Tamalanrea, kode pos: 90245

^cJurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Hasanuddin, email: fardin@unhas.ac.id, Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10 kampus Unhas Tamalanrea, kode pos 90245

ABSTRAK

Longsor merupakan hasil aktivitas geologi dan geomorfologi yang bersifat alami serta berhubungan dengan proses eksogen aktif pada sebuah kawasan daerah aliran sungai (DAS). Sebuah proses alami yang dapat dipercepat kejadiannya oleh aktivitas manusia dan menimbulkan bencana terhadap manusia itu sendiri, karena kurangnya pengetahuan manusia dalam mengenal dan memahami pengelolaannya. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari salah satu faktor pemicu longsor, yaitu faktor litologi, terhadap tipe dan pola longsor yang dihasilkan di Sub DAS Salo Lebbo. Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Salo Lebbo, DAS Budong-budong, Kabupaten Mamuju Tengah. Metode penelitian yang dilakukan adalah pemetaan geomorfologi, meliputi; analisis lereng dan pengamatan bentuk-bentuk morfologi; stadia sungai, stadia lembah dan stadia wilayah yang bermanfaat dalam menganalisis model-model pergerakan massa tanah dan batuan. Pemetaan geologi meliputi; pengamatan sifat fisik litologi (tekstur, struktur dan kandungan mineral batuan) secara makroskopis, analisis struktur geologi, meliputi: pengamatan *strike/dip* batuan, kekar (*shear joint*, *tension joint* dan *columner joint*). Hasil penelitian menunjukkan proses aktif geomorfologi banyak dipengaruhi oleh proses struktur geologi dan sebagian oleh proses denudasi yang dihasilkan dari aktivitas iklim yang banyak memberikan pengaruh terhadap hasil akhir bentuk morfologi. Stadia daerah berada dalam tahap muda menjelang dewasa. Struktur geologi yang terjadi di daerah penelitian adalah sesar mendatar (*strike slip fault*) yang berpasangan berarah NE-SW dan NW-SE dengan arah tegasan utama adalah N-S. Sebagian besar litologi telah

¹ Disampaikan dalam Seminar Nasional Pengelolaan DAS Terpadu untuk Kesejahteraan Masyarakat diselenggarakan oleh BPTKPDAS dan Fakultas Pertanian UNIBRAW di Malang, pada tanggal 30 September 2014.

mengalami pengkekan, dan satuan tufa adalah litologi yang paling kuat mengalami penurunan *shear strength*. Longsor yang terjadi dilapangan umumnya terjadi dan dipicu oleh pergerakan satuan tufa pada lereng >40%. Tipe pergerakan longsor yang dominan adalah tipe longoran (*sliding*), dengan tipe material adalah *rock slide* pada satuan tufa dan *debris slide* pada percampuran material tanah dan tufa. Kerentanan tipe batuan terhadap pergerakan massa dapat dihambat pergerakannya dengan penerapan metode vegetatif pada daerah tekuk lereng untuk mengurangi dampak yang terjadi.

Kata kunci: Longsoran, tufa; *rock slide*; *debris slide*; metode vegetatif

I. LATAR BELAKANG

Setiap tahun jumlah penduduk selalu bertambah. Hal ini berimbas pada meningkatnya kebutuhan pangan. Tingginya permintaan pangan akan mempengaruhi ketersediaan lahan untuk produksi pertanian (Republika, 2014). Lahan-lahan marginal yang selama ini tidak terganggu oleh aktivitas manusia, mulai dirambah untuk mencukupi kebutuhan pangan. Hal ini akan mengganggu keseimbangan ekosistem akibat alih fungsi lahan, terutama ekosistem pada daerah aliran sungai (ekosistem DAS).

Salah satu akibat negatif dari alih fungsi lahan adalah timbulnya bencana, seperti banjir, tanah longsor dan gabungan banjir dan tanah longsor yang dikenal dengan nama banjir bandang. Bencana banjir dipicu oleh aktivitas iklim dimana aliran permukaan menjadi lebih besar dibanding proses infiltrasi akibat banyaknya lahan-lahan terbuka, sedangkan bencana longsor dipicu oleh perpaduan faktor geologi dan faktor geomorfologi (termasuk faktor iklim).

Interaksi faktor geologi dan geomorfologi mengakibatkan intensitas proses eksogen menjadi meningkat (Blair, 2003; Dubis et al., 2006). Proses eksogen adalah sebuah proses alami yang merubah bentuk bentang alam dan terjadi secara terus menerus selama umur bumi dari masa terbentuknya bumi hingga saat ini. Proses eksogen aktif akibat *climate change* dan aktivitas manusia telah memicu banyaknya bencana yang ditimbulkan, seperti; banjir bandang di Wasior (4 Oktober 2010), banjir bandang dan longsor di Cianjur (3 Desember 2013), banjir bandang di desa Salolebbo Kabupaten Mamuju Tengah (18 November 2013), dan banjir bandang di Manado (15 Januari 2014).

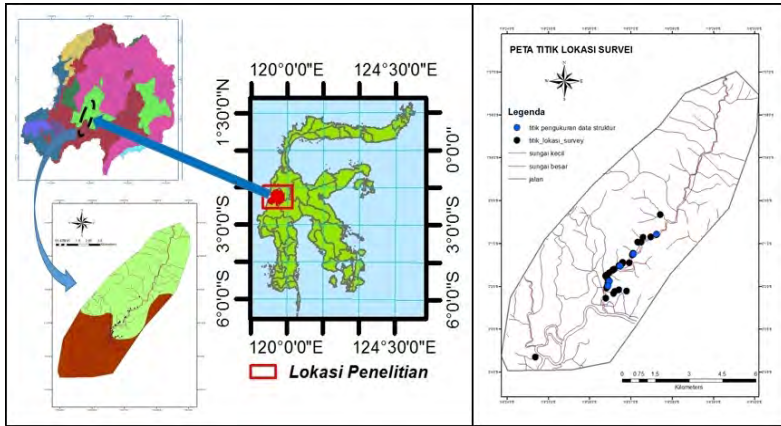
Proses eksogen tidak dapat dicegah tetapi aktivitas eksogen dapat diminimalisir kejadiannya melalui perencanaan dan tindakan mitigasi.

Tindakan perencanaan dan mitigasi dapat dilakukan dengan baik, jika faktor pemicu kejadian bencana telah dipahami dan diteliti. Faktor geologi yang banyak memicu kejadian bencana adalah kondisi litologi yang labil akibat pengaruh aktivitas struktur geologi seperti patahan, perlipatan dan pengkekanan (Lee *et al.*, 2002; Safaei *et al.*, 2012), struktur geologi akan mempengaruhi kondisi litologi dalam menjaga keseimbangan alami batuan. Faktor geomorfologi yang banyak mempengaruhi kejadian bencana adalah iklim dan topografi wilayah (Kanungo, *et.al.*, 2009). Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mempelajari hubungan litologi dengan tipe dan pola longsoran di Sub DAS Salo Lebbo DAS Budong-Budong, Kabupaten Mamuju Tengah, Provinsi Sulawesi Barat.

II. METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Salo Lebbo, DAS Budong-budong, Kabupaten Mamuju Tengah (Gambar 1). Perangkat analisis meliputi; peta rupa bumilembar Budong-Budong (RBI 1:50.000), peta geologi lembar Mamuju (1:250.000), data curah hujan, *software stereonet 8* dan *software arcgis 10.1*. Penelitian dilaksanakan Mei-Juli 2014.

Analisis geomorfologi, meliputi; analisis lereng dan pengamatan bentuk-bentuk morfologi; stadia sungai, stadia lembah dan stadia wilayah yang bermanfaat dalam menganalisis model-model pergerakan massa tanah dan batuan. Analisis stadia sungai, meliputi; lebar penampang sungai, tipe erosi, arah aliran, kerapatan dan pola aliran sungai, analisis stadia lembah, meliputi; bentuk lembah, tipe erosi dan analisis stadia wilayah, meliputi; bentuk morfologi (gunung, bukit, lembah), bentuk lembah dan bentuk DAS.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan peta titik lokasi survei detail.

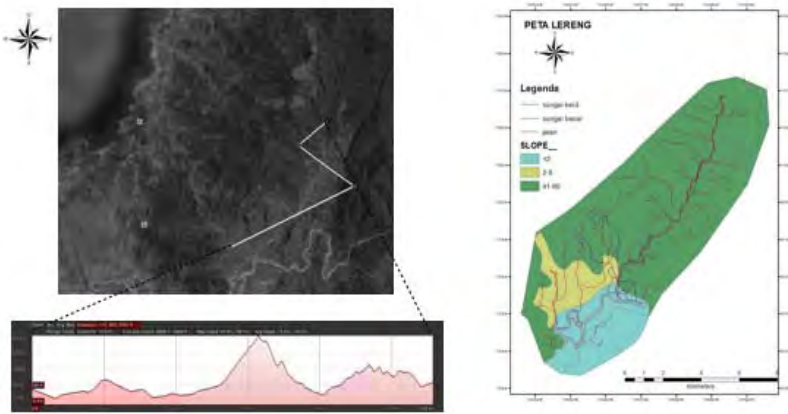
Analisis geologi, meliputi; pengamatan sifat fisik batuan/litologi (tekstur, struktur dan kandungan mineral batuan) secara makroskopis, analisis struktur geologi, meliputi: pengamatan *strike/dip* batuan, perlipatan (bentuk-bentuk perlipatan; sejajar atau miring), kekar (*shear joint*, *tension joint* dan *columner joint*), patahan (gawir atau cermin sesar). Pengukuran *strike/dip* batuan bertujuan untuk mengetahui arah pelamparan batuan secara horisontal dan vertikal. Perubahan arah *strike/dip* batuan dapat menunjukkan adanya perubahan kedudukan batuan akibat proses perlipatan. Pengukuran kekar bertujuan untuk mengetahui arah retakan batuan akibat tekanan/gaya tektonik yang bekerja di lokasi penelitian. Pengukuran kekar terbagi dua, yaitu *shear joint* (kekar tekanan) yang berpasangan dan *tension joint* (kekar tarik) yang tidak berpasangan. Banyak sedikitnya tipe kedua kekar tersebut dapat menyimpulkan jenis tekanan yang mengakibatkan deformasi batuan. Pengukuran arah gaya tekanan tektonik dari pengukuran bidang kekar dilakukan dengan menggunakan *software stereonet 8*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

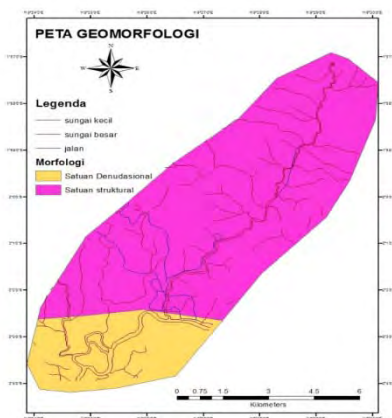
A. Geomorfologi

Bentuk wilayah tergolong proses geomorfologi muda menjelang dewasa dengan bentuk puncak V-V tumpul, dengan dominasi besar lereng >40% (Gambar 2). Proses aktif geomorfologi banyak

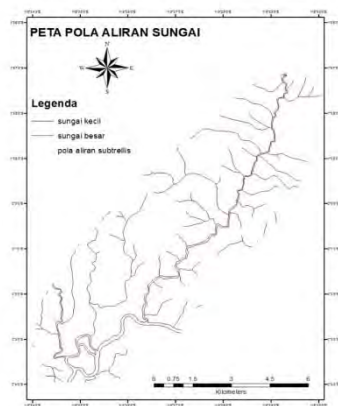
dipengaruhi oleh proses struktur geologi dan sebagian oleh proses denudasi (dominan pelapukan) dengan aktivitas iklim yang banyak memberikan pengaruh terhadap hasil akhir bentuk morfologi (Gambar 3). Aktivitas struktur geologi juga memberikan pengaruh terhadap pola aliran sungai yang terbentuk (Gambar 4), struktur membentuk pola *subtrellis* di lokasi penelitian, dimana anak sungai dan sungai utama hampir membentuk pola tegak lurus (Ritter, 1986), meskipun sebagian litologinya adalah batuan bertekstur halus.



Gambar 2. Bentuk penampang daerah penelitian, bentuk puncak V-V tumpul dan bentuk lembah V-V tumpul dengan dominasi lereng >40%, sebagai penciri stadia muda menjelang dewasa.



Gambar 3. Dominasi proses struktural dalam membentuk morfologi daerah



Gambar 4. Pola aliran subtrellis sebagai bentukan proses struktural

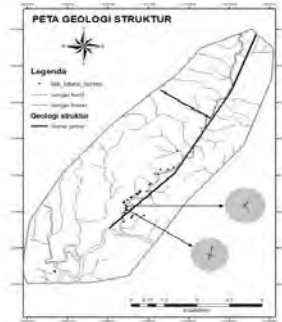
Proses morfologi yang tergolong muda menjelang dewasa juga terlihat dari bentuk Sub DAS yang lonjong dengan tingkat kerapatan aliran yang cukup rapat (Gambar 5). Hal ini menunjukkan bahwa hasil aktivitas masa lalu (proses endogen/struktur geologi) masih memberikan pengaruh yang cukup kuat terhadap morfologi yang ada saat ini, terutama di Sub DAS Hulu sedangkan di Sub DAS hilir aktivitas eksogen lebih banyak memberikan perubahan morfologi (Gambar 3). Bentuk Sub DAS lonjong dengan kerapatan aliran yang cukup rapat dapat mengakibatkan terjadinya luapan limpasan aliran permukaan pada saat terjadi debit puncak aliran, di musim penghujan. Curah hujan tahunan rata-rata sebesar 2900 mm/tahun dengan maximum rata-rata 4386 mm/tahun dan minimum sebesar 1710 mm/thn. Hari hujan rata-rata tahunan sebesar 119 hari dengan jumlah maximum hari hujan rata-rata sebesar 151 hari dan minimum sebesar 79 hari.

B. Struktur Geologi

Struktur geologi yang terjadi di daerah penelitian adalah sesar mendatar (*strike slip fault*) yang berpasangan dengan arah NE-SW dan NW-SE (Gambar 6). Periode pensesaran terjadi pada kala Plio-Plistosen (Calvert dan Hall, 2007). Hasil pengukuran *strike/dip* kekar pada satuan tufa menunjukkan arah utama tegasan/tekanan yang menyebabkan terjadinyasesar mendatar adalah N-S. Arah tegasan utama N-S searah dengan arah tegasan utama dari sesar Sulawesi aktif, yaitu sesar Palu Koro (Walpersdorf dan Vigny, 1998). Aktivitas sesar Palu Koro aktifakan mempengaruhi stabilitas batuan yang telah tersesarkan di daerah penelitian. Sesar mengakibatkan penurunanshear strength batuan dan meninngkatkan shear stress, sehingga batuan oleh aktivitas iklim dan getaran oleh aktivitas sesar aktif dapat mengakibatkan pergerakan massa, berupa longSORAN.



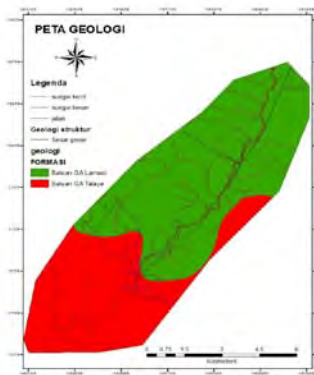
Gambar 5. Bentuk Sub DAS lonjong



Gambar 6. Pola struktur yang berkembang berupa sesar mendatar.

C. Litologi dan Tanah

Formasi batuan yang menyusun daerah penelitian adalah Formasi Talaya (Tmtv) yang berumur Miosen Tengah – Pliosen dan Formasi Lamasi (Toml) yang berumur Oligosen Akhir – Miosen Awal (Hadiwijoyo *et al.* 1993; Ratman dan Atmawinata 1993). Formasi Talaya tersusun atas litologi; breksi gunungapi, lava andesitik-basaltik dengan sisipan batupasir, napal dan setempat batubara. Sedangkan Formasi Lamasi terdiri dari litologi; tufa, lava, breksi gunungapi bersusunan andesit-dasit, setempat bersisipan batupasir gampingan dan serpih. Sebagian besar daerah hulu disusun oleh litologi dari Formasi Lamasi, sedangkan bagian hilir oleh Formasi Talaya (Gambar 7). Litologi yang dijumpai di lapangan adalah satuan tufa, satuan breksi vulkanik, satuan lava andesitik-basaltik dan serpih. Hampir semua litologi telah mengalami pengkekarandan satuan tufa adalah litologi yang paling kuat mengalami penurunan *shear strength* (Gambar 8). Hal ini disebabkan karena tufa yang terbentuk dari hasil aktivitas vulknik secara eksplosif, tersusun oleh partikel berukuran fraksi liat dan debu, bertekstur halus, porositas tinggi, dan sejumlah besar mineral liat sebagai matriks (Le Maitre *et al.*, 2004; Wedekind, *et al.*, 2013). Tanah yang menyusun lokasi penelitian adalah orde tanah Ultisol (Peta Landsystem Sulawesi Selatan). Ultisol adalah tanah yang mengandung mineral kaolinit dan oksida besi (Soil Survey Staff, 1975). Jenis tanah ini mudah mengalami penjenuhan akibat proses infiltrasi air permukaan, sehingga dapat menambah beban pada litologi tufa.



Gambar 7. Batuan hasil aktivitas vulkanik mendominasi daerah penelitian



Gambar 8. Litologi tufa yang telah mengalami penurunan kestabilan.

D. Hubungan faktor litologi dengan tipe dan pola longsoran

Longsoran terjadi dilapangan umumnya terjadi dan dipicu oleh pergerakan satuan tufa. Hal ini disebabkan karena satuan tufa telah mengalami penurunan *shear strength* yang cukup besar. Banyaknya rekahan (*joint*) pada satuan tufa menambah penurunan kestabilan batuan. Kestabilan batuan menjadi sangat rendah akibat proses pelapukan batuan berjalan intensif dari permukaan batuan dan dari internal batuan akibat rekahan. Tekstur halus material satuan tufa juga mempercepat penurunan kestabilan batuan (Comegna, et al., 2013; Regmi et al., 2013). Tekstur halus, terutama yang berukuran liat, memiliki permukaan kristal mineral yang luas sehingga reaksi kimia dan fisika akibat interaksi dengan air tanah mengakibatkan meningkatnya *shear stress*.

Longsor yang terjadi menghasilkan dua bentuk bidang lurur, yaitu bidang datar-cembung dan bidang cekung. Longsoran bidang lurur cekung cenderung dihasilkan dari pergerakan litologi yang sejenis, atau litologi dengan tingkat kerapuhan yang sama. Litologi yang sejenis dengan tingkat *shear strength* yang berbeda, akan menimbulkan daya tarik lemah pada saat terjadi pergerakan akibat meningkatnya *shear stress*, sehingga bidang lurur yang dihasilkan cenderung membentuk

bidang cekung, seperti pada satuan tufa di daerah penelitian (Gambar 9). Bidang datar-cembung dihasilkan dari litologi yang berbeda, yaitu satuan tufa dan satuan breksi vulkanik. Massa yang berbeda tidak memiliki daya ikat satu sama lain, sehingga pergerakan salah satu massa/litologi tidak banyak mempengaruhi massa/litologi yang lainnya (satuan tufa berada di atas satuan breksi vulkanik), apalagi bila litologi yang ada di bawahnya lebih massif, sehingga bidang yang dihasilkan cenderung membentuk bidang datar-cembung (Gambar 10). Energi massa longsoran pada bidang datar-cembung lebih besar dibanding bidang cekung, sehingga daya rusak yang dihasilkan akan lebih besar (Chatwin, et al., 1994;). Tipe pergerakan longsor yang dominan adalah tipe longsoran (*sliding*), dengan tipe material adalah *rock slide* pada satuan tufa dan *debris slide* pada percampuran material tanah dan tufa.



Gambar 9. Pergerakan massa pada litologi yang sama menimbulkan bidang luncur berbentuk cekung. A dan C pada litologi tufa, dan B pada litologi breksi vulkanik.



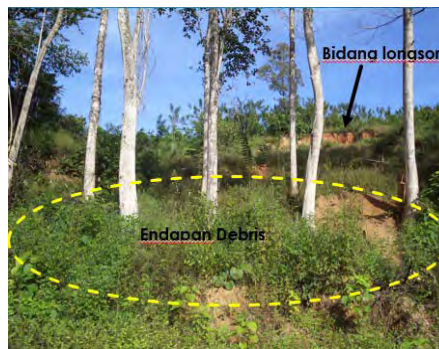
Gambar 10. Pergerakan massa pada dua litologi tufa dan breksi vulkanik) yang berbeda menghasilkan bidang luncuran berbentuk cembung.

Bentuk lembah V-V tumpul mengakibatkan material longsoran dengan cepat masuk ke dalam tubuh sungai dan membentuk bendungan alami. Bertambahnya volume air sungai pada saat musim penghujan dapat menghancurkan bendungan alami dari material longsoran (debris deposit), sehingga terbentuklah pola pergerakan massa debris dengan percampuran luapan air sungai membentuk banjir bandang dengan daya rusak yang luar biasa. Daya rusak akan bertambah jika model Sub DAS berbentuk lonjong dengan tingkat kerapatan aliran yang tinggi (Paimin dkk, 2009). Hal ini disebabkan karena energi aliran debris akan terus bertambah pada celah yang sempit dan panjang, sehingga luapan terbesar akan berdampak pada daerah dibagian hilir, yang merupakan *outlet* saluran.

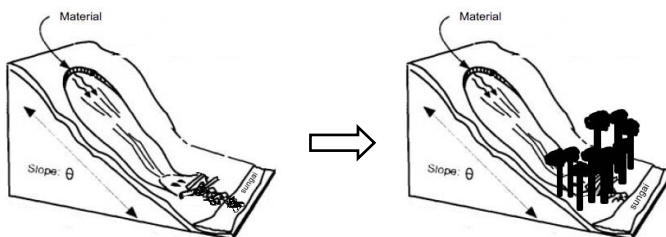
E. Model tindakan mitigasi

Longsoran telah menimbulkan korban jiwa di Dusun Salo Lebbo, dimana pada saat terjadi banjir bandang terdapat 4 orang meninggal dunia, 1 orang hilang, 339 kepala keluarga kehilangan tempat tinggal dan rusaknya berbagai fasilitas umum. Perencanaan dan tindakan mitigasi yang tepat diharapkan dapat mencegah dan mengurangi dampak bencana yang mungkin terjadi dikemudian hari.

Tindakan mitigasi yang terbaik untuk menanggulangi bencana longsor adalah dengan memanfaatkan fasilitas yang terdapat di alam. Hal ini akan mengurangi biaya besar yang ditimbulkan dengan aplikasi metode mekanik. Pengamatan lapangan telah memberikan bukti bahwa penerapan metode vegetatif (aplikasi tanaman pepohonan berdiameter > 50cm) di daerah teuk lereng telah membantu menahan material longsor (Gambar 11). Tanaman pohon dengan diameter >50cm dapat dijadikan *barrier* pada daerah teuk lereng (Gambar 12). Massa longosoran yang besar dapat tertahan dan mengalami pelemahan daya/energi kinetik, hingga akhirnya terendapkan. Hal ini juga dapat mencegah/mengurangi masuknya material debris ke tubuh saluran, sehingga sungai tidak mengalami pembendungan alami dan akumulasi air dalam jumlah yang berlebih tidak terjadi.



Gambar 11. Konservasi alami secara vegetatif dalam memecah energi longsor dan mencegah material masuk ke tubuh sungai.



Sumber: hasil modifikasi

Gambar 12. Model teknik konservasi vegetatif yang dapat dikembangkan untuk mengurangi energi longsor.

IV. KESIMPULAN

1. Litologi yang paling besar mengalami penurunan *shear strenght* di lokasi penelitian adalah satuan tufa dan menjadi pemicu pergerakan massa dengan tipe pergerakan *rock slide* dan *debris slide*. Pergerakan massa membentuk bidang cekung pada litologi yang sejenis yang telah mengalami perbedaan kestabilan. Sedangkan pergerakan massa membentuk bidang cembung pada litologi yang berbeda jenis dengan tingkat kestabilan litologi lebih massif pada bagian bawah.
2. Kerentanan tipe batuan terhadap pergerakan massa dapat dihindari pergerakannya dengan penerapan metode vegetatif pada daerah tekuk lereng untuk mengurangi dampak yang terjadi.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi (Dikti) dan LP2M Unhas atas bantuan dana yang diberikan, sehingga penelitian dapat berjalan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Blair, Jr. R. B. 2003. *Geomorphology: Boundaries Between media*. I. S. Evans, R. Dikau, E. Tokunaga, H. Ohmori and M. Hirano (Eds). In *Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives*. Terrapub. Tokyo. Pp: 33-42.
- Bobos, I., J. Duplay, J. Rocha, C., Gomes. 2001. Kaolinite to halloysite-7Å transformation in the kaolin deposit of Sao Vicente De Pereira, Portugal. *Clay and Clay Minerals Journal*. Vol. 49. No. 6. 596-607.
- Brindley, G.W., J. Goodyear. 1948. X-ray Studies of Halloysite and Metahalloysite, Part II: the transition of hallorsite to metahalloysite in relation to relative humidity. University of Leeds.
- Chatwin, S.C., D.E. Howes, J.W. Schwab, D.N. Swanston. 1994. *A Guide for Management of Landslide-Prone Terrain in the Pacific Northwest*. Second Edition. Research Program Ministry of Forests. United States.Pp. 229.

- Comegna, L., L. Picarelli, E. Bucchignnani, P. Mercogliano. 2013. Potential effects of incoming changes on the behavior of slow active landslides in clay. *Journal of the International Consortium on Landslides*. Springer. Vol.10. No.4.
- Dubis, L., I. Kovalchuk, A. Mykhnovych. 2006. *Studia Geomorphological Carpatho-Balcanica Landform Evolution in Mountain Areas; Extreme geomorphic processes in the Eastern Carpathians: spectrum, causes, development, activation and intensity*. Vol. XL. Pp:93-106.
- Hadiwijoyo, S., Sukarna, D. & Sutisna, K. 1993. *Geology of the Pasangkayu Quadrangle, Sulawesi*. (Quadrangle 2014) Scale 1:250,000. Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia.
- Kanungo, D.P., M.K. Arora, S. Sarkar, R.P. Gupta. 2009. Landslides susceptibility zonation (LSZ) mapping-a review. *Journal of South Asia Disaster Studies*. Vol.2. No.1. Pp; 81-105.
- Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B (eds) (2004) *Igneous rocks: a classification and glossary terms*. Cambridge University Press, Cambridge
- Lee, S., Chwae, U., Min, K. 2002. Landslide susceptibility mapping by correlation between topography and geological structure: the Janghung area. Korea. *Geomorphology* 46 (3-4). Pp:149-162.
- Paimin, Sukresno, I.B. Pramono. 2009. *Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor*. Penerbit Tropenbos International Inonesia Programme.
- Ratman, N. & Atmawinata, S. 1993. *Geology of the Mamuju Quadrangle, Sulawesi*. Scale 1:250,000. Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia.
- Regmi, A.D., K. Yoshida, M.R. Dhital, K. Devkota. 2013. Effect of rock weathering, clay mineralogy, and geological structures in the

formation of large landslides, a case study from Dumre Besei landslides, Lesser Himalaya Nepal. *Landslides Journal*. Springer-Verlag.

Republika. 2014. Tiap Tahun Jumlah Penduduk Indonesia Bertambah Empat Juta.

<http://www.republika.co.id/berita/nasional/jabodetabek-nasional/14/05/01/n4uwpk-tiap-tahun-jumlah-penduduk-indonesia-bertambah-empat-juta>. 1 mei 2014. Diakses 8 Agustus 2014.

Ritter, D.F. 1986. *Process Geomorphology*. W.C. Publisher. United States of America. Pp:578.

Safaei, M., H. Omar, B.K. Huat, Z.B.M. Yousof. 2012. Relationship between lithology factor and landslide occurrence based on information value (IV) and frequency ratio (FR) approaches- case study in North of Iran. *EJGE*. Vol. 17. Pp: 79-90.

Soil Survei Staff. 1975. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Agriculture Handbook No.436. United States. Pp:754.

Walpersdorf, C. P. Manurung. 1998. Monitoring of the Palu Koro Fault (Sulawesi) by GPS. *Geophysical Research Letters*. Vol. 25. No. 13. Pp. 2313-2316.

Wedekind, W., R. Lopez-Doncel, R. Dohrmann, M. Kocher, S. Siegesmund. 2013. Weathering of volcanic tuff rocks caused by moisture expansion. *Environ Earth Sci*. 69:1203-1224.