

IDENTIFIKASI SESAR AKTIF DI SEPANJANG KALI GARANG, SEMARANG BERDASARKAN DATA GEOLOGI PERMUKAAN

Edi Hidayat¹, Puguh Dwi Raharjo¹, dan Tri Hartono³

¹Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangasambung–LIPI, Kebumen
E-mail: edihidayat.karsam@yahoo.com

² Puslit Geoteknologi–LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung 40145

Abstrak

Posisi Semarang yang berada di utara Pulau Jawa memang relatif lebih aman dari pengaruh gempabumi yang bersumber di zona subduksi selatan Pulau Jawa. Tetapi yang perlu diperhatikan adalah adanya sesar aktif yang sewaktu-waktu dapat bergerak kembali menjadi sumber gempabumi di darat. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi struktur sesar aktif di daerah Semarang dengan pendekatan geologi permukaan. Analisis citra landsat memperlihatkan adanya kelurusan yang diindikasikan sebagai struktur sesar yang melintasi daerah Semarang. Secara geologi daerah Semarang terutama bagian utara sebagian besar disusun oleh endapan Kuartar berupa aluvium yang belum terkonsolidasi secara sempurna. Hal ini akan menjadikan daerah tersebut mempunyai efek amplifikasi yang besar jika terjadi guncangan gempabumi. Sedangkan bagian selatan disusun oleh batuan-batuan berumur Kuartar (Formasi Damar). Hasil penelitian memperlihatkan adanya indikasi sesar berupa gawir sesar, pengangkatan teras sungai dan gerakan tanah rayapan di beberapa segmen Kali Garang. Selain itu, data struktur geologi berupa pergeseran batuan dan rekahan/kekar yang memotong batuan berumur Kuartar (Formasi Damar) di sepanjang Kali Garang memperkuat indikasi keberadaan jalur sesar aktif disepanjang Kali Garang dengan arah utara – selatan.

Kata kunci: sesar aktif, analisis geologi permukaan, Kali Garang, Semarang

PENDAHULUAN

Daerah Semarang merupakan salah satu daerah yang jarang terkena guncangan gempabumi, karena letaknya di utara Pulau Jawa yang secara geologi jauh dari episenter gempa yang bersumber di pusat subduksi selatan Jawa. Kalau pun ada getaran gempa biasanya relatif kecil karena bersumber dari gempa dalam. Walaupun demikian bukan berarti Semarang terbebas dari gempabumi yang besar, karena dari citra *landsat* memperlihatkan adanya kelurusan berupa struktur sesar yang melintasi daerah Semarang. Selain itu, dari sejarah kegempaan meskipun sedikit daerah tersebut pernah digoncang gempa yang bersumber di daratan (Visser, 1922). Selain itu, Data katalog kegempaan yang dikeluarkan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) memperlihatkan catatan sejarah kejadian gempabumi di Semarang pada tanggal 19 Januari 1856 dengan kekuatan VI-VII MMI yang menyebabkan adanya kerusakan pada bangunan. Kemungkinan gempabumi yang terjadi terkait dengan adanya struktur sesar aktif. Indikasi keberadaan sesar aktif di daerah Semarang harus menjadi perhatian karena sesar ini melintasi Kota Semarang yang padat penduduknya, sehingga tata ruang daerah ini pun harus memperhatikan aspek geologi terutama menyangkut kebencanaan geologi yang bersumber dari gempabumi dan dampak lain dari aktivitas tektonik berupa peristiwa gerakan tanah.

Hasil penelitian terdahulu memperlihatkan adanya jalur sesar aktif di daerah Semarang yang searah dengan jalur Kali Garang. Pramumijoyo (2000) menuliskan bahwa sesar-sesar aktif di Semarang adalah hasil tekanan pada arah utara - selatan. Sesar naik yang aktif memotong batuan berumur Plistosen Akhir maupun lebih muda. Poejoprajitno dkk (2008) menyebutkan bahwa lembah sungai Kali Garang merupakan jalur sesar aktif sejak zaman Tersier dan Kuartar dengan kedudukan sesar sekarang adalah N179°E/55°. Murwanto (2008), menyebutkan bahwa sesar Kali Garang ini memiliki arah relatif utara-selatan (N05°E – N185°E) yang

melintas sepanjang Kali Garang dari utara mulai daerah Gajahmungkur sampai Gunung Swakul di bagian selatan.

Berdasarkan Peta Geologi lembar Magelang – Semarang dari Thanden, dkk (1996)(Gambar 1), stratigrafi wilayah Semarang tersusun dari tua kemuda adalah Formasi Kerek, Formasi Kalibeng, Formasi Kaligetas, Formasi Damar kemudian Formasi Jongkong, Batuan Gunungapi Kaligesik, Batuan Gunungapi Gajahmungkur. Sebagian besar daerah penelitian tertutup oleh Formasi Damar yang berumur Kuarter, terdiri dari breksi vulkanik, konglomerat sebagai lensa dan batupasir tufaan. Kegiatan tektonika di daerah ini mulai berlangsung pada Tersier Awal yang ditandai dengan intrusi basal dan andesit dan kemudian diikuti oleh pengangkatan dan erosi. Hasil erosi ini menghasilkan sedimen turbidit Formasi Kerek yang selanjutnya diikuti oleh pengendapan Formasi Kalibeng di lingkungan laut dalam dan pengisian cekungan dari Formasi Damar di lingkungan transisi sampai batial. Selanjutnya kegiatan tektonik Plio-Plistosen mengaktifkan kembali struktur zaman Tersier Awal dan membentuk lipatan-lipatan tak tersungkup yang diikuti oleh sesar naik berarah relatif barat - timur, sesar geser yang berarah timurlaut - baratdaya dan baratlaut - tenggara, serta sesar normal.

Untuk memperoleh gambaran keberadaan jalur sesar aktif yang melewati daerah Semarang perlu dikaji lebih detail keberadaan sesar tersebut dengan mencari bukti-bukti berupa data geologi permukaan. Data struktur geologi dan geomorfologi merupakan data lapangan yang penting dalam identifikasi keberadaan jalur sesar di daerah ini. Lokasi penelitian berada pada koordinat UTM 426000-438000 dan 9213000-9227000.

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jalur sesar yang diduga aktif di daerah Semarang dengan pendekatan geologi permukaan berupa pengukuran data geologi struktur dan geomorfologi.

METODOLOGI

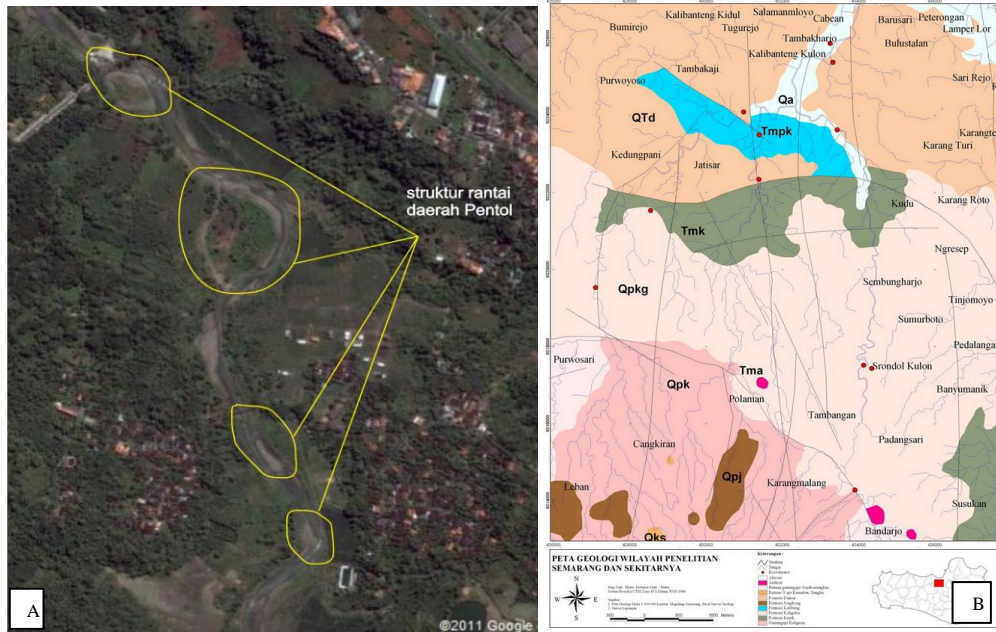
Morfotektonik mempelajari tentang segala hal menyangkut hubungan antara struktur geologi dengan bentuk lahan atau lebih spesifik lagi hubungan antara struktur neotektonik dan bentuk lahan (Stewart dan Hancock, 1994). Menurut Keller dan Pinter (1996), sesar aktif dapat didefinisikan sebagai sesar yang pernah bergerak pada kurun waktu 10.000 tahun yang lalu. Sesar berpotensi aktif (*potential active*) adalah sesar yang pernah bergerak pada kurun waktu 2 juta tahun yang lalu. Sedangkan sesar tidak aktif (*inactive fault*) adalah sesar yang belum/tidak pernah bergerak dalam kurun waktu 2 juta tahun yang lalu. Dari pengertian di atas, yang paling penting adalah sesar tersebut berpotensi aktif di masa yang akan datang walaupun terbentuk pada umur yang tua.

Identifikasi sesar aktif di daerah penelitian diawali dengan analisis citra *Landsat*. Kelurusan struktur yang diperoleh, digunakan untuk memperkirakan keberadaan jalur sesar. Selain itu, data kelurusan struktur juga digunakan untuk menentukan lokasi kunci pengambilan data lapangan. Pengamatan lapangan terhadap bentang alam berupa data gawir sesar dan data teras menjadi hal penting. Selain itu, pengumpulan data yang berkaitan dengan data struktur geologi menjadi prioritas yang lain, terutama pengukuran unsur-unsur struktur yang dilakukan meliputi bidang perlapisan, sesar, kekar, dan lipatan.

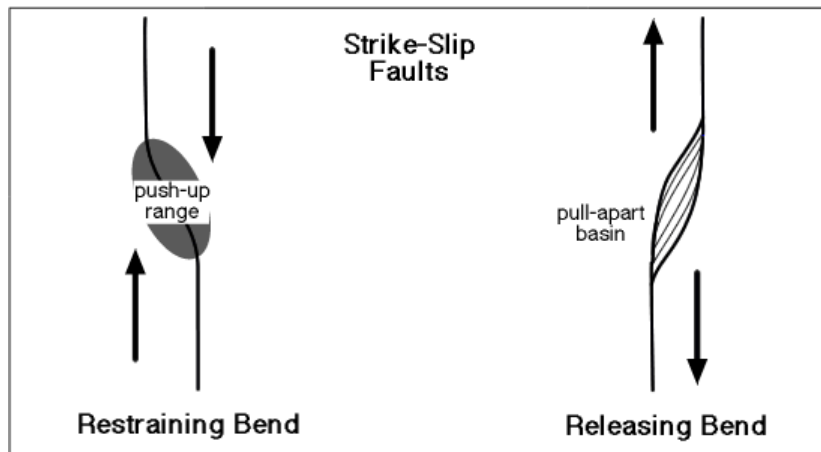
HASIL DAN DISKUSI

Identifikasi awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melihat morfologi atau bentang alam yang tersebar di daerah penelitian. Kondisi morfologi yang tampak jelas akibat pengaruh tektonik di daerah ini adalah lembah Kali Garang yang tercermin dengan keberadaan gawir sesar, pengangkatan teras dan struktur rantai pada alur sungai ini. Keberadaan struktur rantai pada suatu sungai diindikasikan sebagai akibat aktivitas sesar mendatar pada jalur sungai tersebut. Perubahan pola aliran yang menghasilkan morfologi khas berupa penyebaran *pointbar* yang memperlihatkan struktur rantai biasanya berkaitan dengan aktivitas sesar mendatar. Dalam skala yang besar, struktur rantai ini akan membentuk tinggian dan cekungan yang dikenal dengan istilah *pull apart basin* (Gambar 1.A).

Dalam skala regional pembentukan struktur rantai hampir sama dengan mekanisme pull apart basin akibat mekanisme sesar mendatar. Tinggian (*restaining bend*) merupakan bagian yang terangkat membentuk daratan-daratan (*bar*) dan yang rendah mengalami proses perenggangan (*releasing bend*) membentuk bagian yang dalam di bagian Sungai Garang (Gambar 2). Dalam skala yang lebih besar lagi mekanisme *pull apart basin* akan membentuk rangkaian perbukitan dan danau di sepanjang sesar yang dilewatinya.



Gambar 1. A) Struktur rantai sebagai indikasi adanya aktivitas tektonik berupa sesar mendatar terdapat di daerah Pentol bagian tengah dari jalur Kali Garang (Data: Google earth, 2011). B) Peta Geologi daerah penelitian merupakan bagian dari Lembar Magelang dan Semarang (Thanden dkk, 1996). Sebagian besar ditutupi oleh batuan berumur Kuartar yang tersebar mulai dari dataran tinggi di selatan sampai dataran alluvium di bagian utara daerah penelitian.



Gambar 2. Mekanisme *pull apart basin* yang terjadi akibat pergerakan sesar mendatar. Mekanisme ini menyerupai dengan pembentukan struktur rantai pada Sungai Garang.

Hasil analisis kelurusan struktur pada citra landsat memperlihatkan arah kelurusan yang didominasi arah barat laut – tenggara pada semua formasi batuan (Gambar 3). Batuan tertua yang tersingkap di daerah penelitian berumur Tersier yang diwakili oleh Formasi Kerek dan Formasi Kalibeng. Keberadaan struktur geologi yang diidentifikasi sebagai kelurusan mulai berkembang pada zaman Tersier sampai Kuartar karena adanya kelurusan struktur pada Formasi Kerek, Formasi Kaligetas dan Formasi Damar. Sedangkan kelurusan yang berarah utara – selatan diperkirakan terbentuk pada Zaman Tersier dan kemudian berlanjut hingga Zaman Kuartar. Kelurusan struktur ini yang diidentifikasi sebagai suatu sesar yang sejajar dengan Kali Garang dan memotong daerah penelitian.



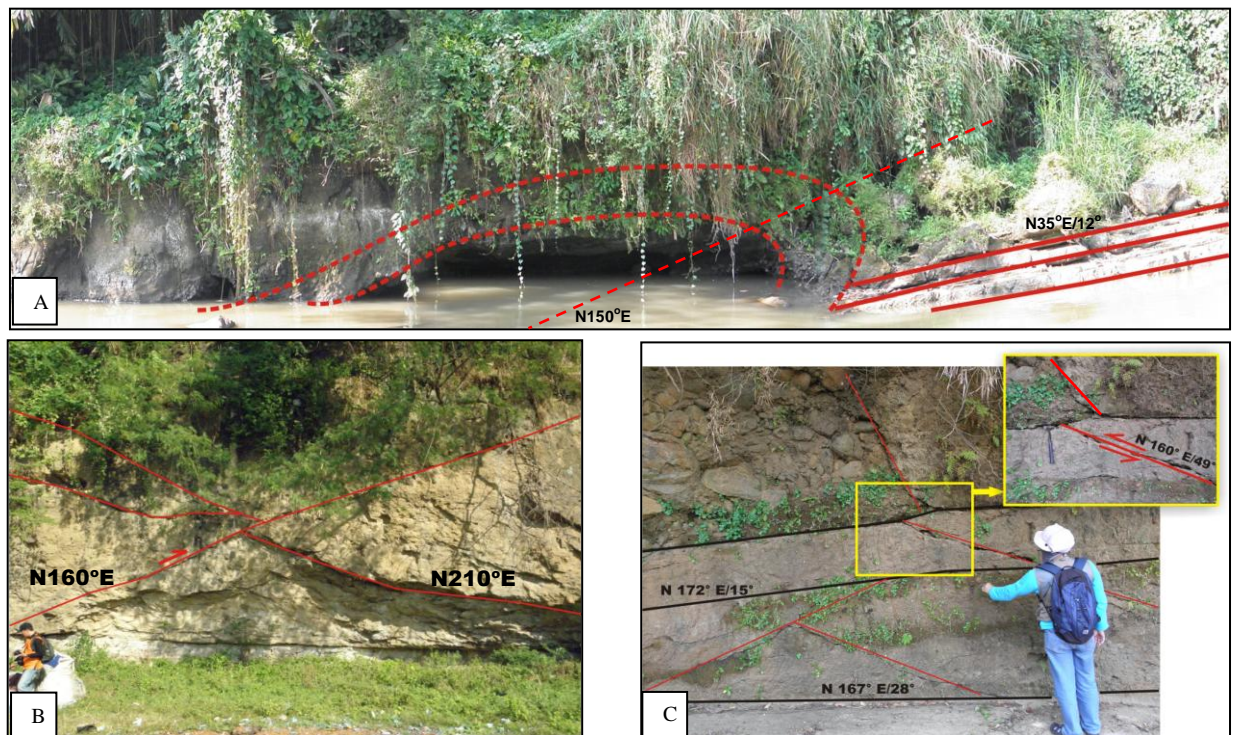
Gambar 3. Pola kelurusan daerah Semarang dan sekitarnya dengan arah dominan baratlaut – tenggara. Arah kelurusan ini adalah yang paling dominan dan berkisar antara $N100^{\circ}E$ sampai $N150^{\circ}E$ dan $N320^{\circ}E$ sampai $N330^{\circ}E$. kelurusan struktur yang berarah hampir utara – selatan berkaitan dengan tegasan regional yang menekan dari selatan hampir tegak lurus dengan Pulau Jawa yang berarah utara – selatan (Data Citra Landsat, band 457).



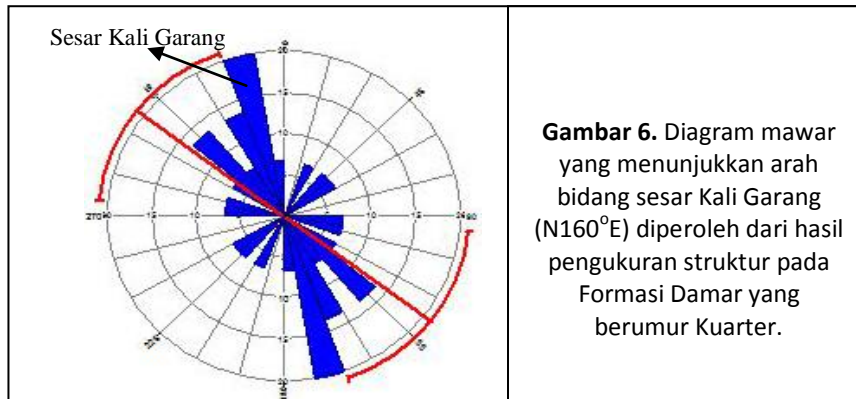
Gambar 4. Keberadaan gawir sesar dan longsor di sepanjang lembah Kali Garang. A) Gerakan tanah dengan mahkota longsor yang cukup besar dengan dimensi panjang sekitar 100 m yang memperlihatkan bagian teras sungai yang terpotong pada ketinggian sekitar 15 m dan terdapat rembesan mataair, B) gawir sesar Kali Garang di daerah Banyumanik dengan gawir yang terjal, sempit, dan terlihat lurus memanjang searah dengan kelurusan sungai, C) indikasi gerakan tanah rayapan (*creeping*) di daerah Banyumanik, D) gerakan tanah rayapan dengan arah gerakan menuju badan Kali Garang.

Bukti-bukti morfotektonik di lapangan berupa singkapan dan morfologi memperkuat keberadaan jalur sesar disepanjang Kali Garang. Bukti morfologi keberadaan sesar ini seperti dijelaskan di atas yaitu adanya struktur rantai (Gambar 1A) dan gawir sesar yang berkembang di sepanjang Kali Garang. Selain itu bukti pergeseran teras dan zona longsor disepanjang sungai ini menjadi indikasi lain keberadaan sesar pada jalur sungai ini (Gambar 4).

Indikasi keberadaan sesar aktif di daerah penelitian terekam pula dari jejak struktur geologi yang berkembang pada batuan yang berumur Kuartar yaitu Formasi Kaligetas dan Formasi Damar dibagian selatan dan tengah daerah penelitian (Gambar 5). Hasil pengukuran struktur kekar dan sesar memperlihatkan bahwa tegasan utama pada zaman Kuartar berarah hampir utara – selatan. Hasil pengukuran bidang sesar yang ditunjukkan dengan adanya gores garis (*slicken side*) memperlihatkan bahwa jurus bidang sesar Kali Garang berarah $N160^{\circ}E$ (Gambar 6). Menurut Keler dan Pinter (1996), bahwa sesar yang terbentuk pada Zaman Kuartar sekitar 2 juta tahun yang lalu tahun yang dapat dikategorikan berpotensi aktif dimasa yang akan datang.



Gambar 5. A) Singkapan lipatan seret (*dragfold*) berkaitan dengan pergerakan sesar mendatar, tersingkap pada Kali Garang merupakan bagian Formasi Kaligetas yang berumur Kuartar dengan bidang perlapisan dengan bidang sesar $N150^{\circ}E$. B) Lokasi pengamatan berada pada tebing di tepi jalan daerah Ngemplak Simongan. Litologi yang dijumpai berupa breksi vulkanik dan batupasir tufan dengan struktur kekar dan sesar merupakan bagian dari Formasi Damar yang berumur Kuartar. Bidang perlapisan $N278^{\circ}E/4^{\circ}$ dan bidang sesar dengan arah $N160^{\circ}E/26^{\circ}$. C) singkapan batupasir, breksi dan konglomerat bagian dari Formasi Damar dengan bidang perlapisan $N172^{\circ}E/15^{\circ}$ dan bidang sesar $N160^{\circ}E/49^{\circ}$.



Gambar 6. Diagram mawar yang menunjukkan arah bidang sesar Kali Garang (N160°E) diperoleh dari hasil pengukuran struktur pada Formasi Damar yang berumur Kuartar.

KESIMPULAN

Hasil analisis data singkapan geologi permukaan menunjukkan bahwa di daerah penelitian teridentifikasi adanya suatu jalur sesar yang berarah utara-selatan dan berada sejajar dengan Kali Garang. Jejak keberadaan sesar yang terekam dalam Formasi batuan yang berumur Kuartar mengindikasikan bahwa Sesar Kali Garang merupakan sesar aktif ataupun berpotensi aktif di masa yang akan datang. Sejarah kegempaan pun menunjukkan adanya pusat gempa di daerah Semarang dan sekitarnya walaupun dalam skala intensitas yang kecil. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai sesar Kali Garang dengan menggunakan metoda yang lain seperti paleoseismologi dan menggunakan GPS untuk menentukan lebih detail deformasi dan aktivitas tektonik di daerah penelitian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan penelitian DIPA tahun 2011 pada UPT. Balai Informasi dan Konservasi Kebumihan Karangsembung LIPI. Dalam kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Kepala UPT. Balai Informasi dan Konservasi Kebumihan Karangsembung LIPI dan rekan-rekan staf peneliti dan staf administrasi yang telah bekerja sama sehingga kegiatan penelitian ini dapat berjalan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

-Data Katalog Kegempaan Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG), www.portal.vsi.esdm.go.id
- <http://maps.google.co.id/maps?hl=id&tab=wl>
- Murwanto, Helmy, 2008. *Kajian Geologi dan Neotektonik Untuk Menselaraskan Program Pembangunan di Wilayah Kota Semarang, Jawa Tengah*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing, UPN Veteran Yogyakarta (Tidak Dipublikasikan)
- Keller, E.A. and Pinter N., 1996, *Active Tectonics (Earthquake, Uplift and Landscape)*, Prentise Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458
- Poedjoprajitno S., Wahjudiono J., dan Cita A., 2008. Reaktivasi Sesar Kaligarang, Semarang, *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 3 No. 3, hal. 129-138
- Pramumijoyo, S., 2000. Existing active fault at Semarang, Central Java, Indonesia: revealed by remote sensing and field observation. *Proceedings of the HOKUDAN International Symposium and School on Active Faulting*, Hyogo, Japan, h.383-385
- Stewart, L.S., and Hancock, P.L., 1994, *Continental Deformation Neotectonics*, First Edition, Pegamon Press, London, pp 370-409
- Thanden, R.E., Sumardiredja, H., Richards, P.W., Sutis, K., Amin, T.C., 1996, *Peta Geologi Lembar Magelang dan Semarang, Jawa Tengah*, skala 1:100.000, Direktorat Geologi, Bandung.

KAJIAN TINGKAT INDEKS ERODIBILITAS TANAH DAN KESTABILAN LERENG PADA DAS WAWAR HULU

Sueno Winduhutomo¹, Edi Hidayat¹, dan Puguh D. Raharjo¹

¹UPT-Balai Informasi dan Konservasi Kebumian Karangasambung-LIPI, Kebumen
E-mail: windu_vil@yahoo.com

Abstrak

Berdasarkan kondisi geologinya, DAS Wawar Hulu yang terletak di bagian barat Kabupaten Purworejo Provinsi Jawa Tengah merupakan suatu daerah perbukitan ± 300 mdpl dengan kemiringan lereng bervariasi dan tersusun atas material tanah hasil pelapukan batuan dasar dengan ketebalan berkisar 5 - 7 meter. Di daerah ini kurangnya pemahaman masyarakat sekitar terhadap kondisi geologi dalam aktivitas konservasi tanah menimbulkan dampak negatif, seperti terjadinya gerakan tanah dan erosi. Penyelidikan sifat fisik tanah dilakukan untuk mengetahui jenis tanah dan tingkat erodibilitas tanah. Berdasarkan hasil uji laboratorium sifat fisik tanah diketahui bahwa jenis tanah di daerah penelitian tergolong lempung plastisitas tinggi (CH) dan lanau plastisitas tinggi (MH) merupakan jenis tanah lunak dengan tingkat erodibilitas rata-rata sedang ($K = 0,22 - 0,32$). Sedangkan hasil analisis kestabilan lereng menunjukkan bahwa lereng dalam kondisi kritis dan setabil. Lereng kritis dengan nilai faktor keamanan (F_s) sebesar 1,08, nilai kohesi (c) 0,288 kg/cm² dan nilai sudut geser dalam (ϕ) 10,54°. Sedangkan lereng setabil nilai faktor keamanan (F_s) sebesar 1,38, nilai kohesi (c) 0,218 kg/cm² dan nilai sudut geser dalam (ϕ) 4,16°. Dalam usaha konservasi tanah pada lereng kondisi kritis, maka perlu dilakukan pelandaian lereng dengan penanggulangan untuk mengurangi permasalahan bencana gerakan tanah dan erosi.

Kata kunci: Indeks erodibilitas, gerakan tanah, geoteknik, konservasi tanah

PENDAHULUAN

Bencana alam gerakan tanah atau yang lebih dikenal dengan longsor dan erosi, merupakan salah satu proses geomorfologi yang menyebabkan perubahan bentuk permukaan bumi. Geomorfologi terdiri dari empat aspek utama, salah satunya yaitu morfologi yang mencakup morfometri dan morfografi. Morfometri mencakup aspek ukuran dan bentuk unsur-unsur penyusun bentuklahan, sedangkan morfografi merupakan susunan dari objek alami yang ada dipermukaan bumi (Van Zuidam, 1979). Proses geomorfologi ini terjadi erat hubungannya dengan penggunaan lahan dan tindakan dalam konservasi tanah pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS).

Kelerengan dapat digunakan salah satu pengontrol gerakan tanah dan erosi khususnya yang berpengaruh terhadap kecepatan, dekomposisi dan mempengaruhi pelapukan. Penilaian tanah tersebut dirumuskan dalam sistem klasifikasi dalam kemampuan lahan yang ditujukan untuk : mencegah kerusakan tanah oleh erosi, memperbaiki tanah yang rusak, memelihara serta meningkatkan produktifitas tanah agar dapat digunakan secara lestari (Sitana Arsyad, 1989).

Penelitian ini dilakukan di DAS Wawar Hulu, yang terletak di daerah Provinsi Jawa Tengah yang meliputi tiga kabupaten, yakni Kabupaten Kebumen, Kabupaten Purworejo dan Kabupaten Wonosobo. Berdasarkan pengamatan lapangan daerah penelitian berada pada morfologi perbukitan, dengan ketinggian ± 300 mdpl dengan kemiringan lereng bervariasi. Perbukitan ini secara fisiografi masih termasuk kedalam jalur Pegunungan Selatan Jawa Tengah yang tersusun oleh batuan hasil dari produk vulkanik berumur Tersier (Asikin, dkk; 2007). Batuan tersebut telah mengalami proses pelapukan dengan tingkat ketebalan berkisar antara 5 – 7 meter. Hasil pengamatan lapangan menunjukkan banyak ditemukan kejadian gerakan tanah dan erosi khususnya disekitar lereng DAS Wawar Hulu yang disebabkan oleh karena adanya berbagai aktivitas warga terhadap lingkungan, diantaranya adalah perubahan tataguna lahan. Perubahan yang sangat berpengaruh terhadap kejadian gerakan tanah dan erosi disekitar daerah penelitian adalah perubahan dari kawasan hutan menjadi daerah pertanian dan pemukiman. Faktor dekomposisi, pembebanan dan pelapukan mulai bekerja diwilayah ini yang pada akhirnya berujung bencana.

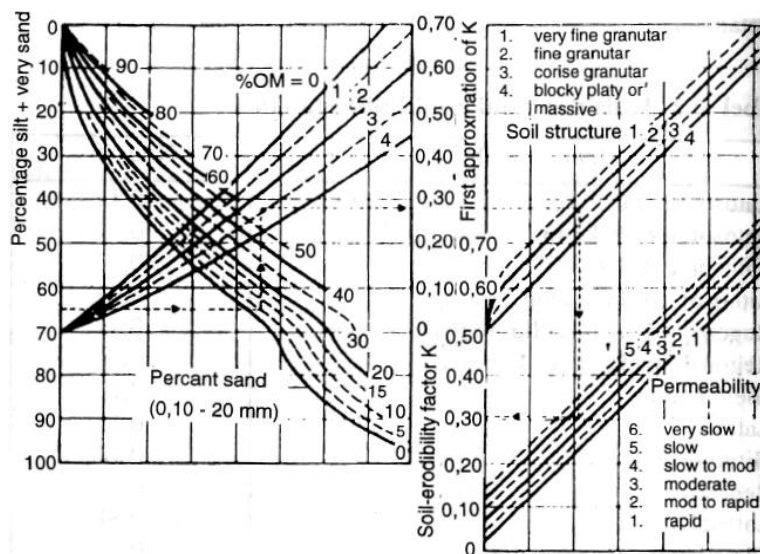
TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan tingkat indeks erodibilitas tanah dan tingkat kestabilan lereng, sehingga dapat dilakukan upaya konservasi tanah yang lebih aman terhadap erosi dan gerakan tanah.

METODOLOGI

Pengumpulan data primer yang dilakukan di lokasi penelitian berupa pengukuran lapangan dan pengambilan beberapa contoh tanah. Pengukuran lapangan yang dilakukan antara lain pengukuran kemiringan lereng, pengamatan penggunaan lahan dan pencatatan sebaran serta pengukuran dimensi gerakan tanah dan erosi, pengambilan sampel tanah *undisturbed* (tak terganggu) yang dilakukan dengan metode *stratified random sampling*.

Erodibilitas tanah (K) yang diartikan oleh Morgan, (1979) sebagai daya tahan tanah terhadap proses penguraian dan pengangkutan oleh tenaga kinetik, merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya erosi. Dalam menentukan indeks erodibilitas tanah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode Nomograf Erodibilitas Tanah (Weischmeier dan Smith., 1978) yang dapat dilihat pada Gambar 1. Parameter yang dipakai adalah persen tekstur tanah, persen kandungan bahan organik, struktur tanah dan permeabilitas tanah. Penentuan parameter ini diperoleh dari angka hasil pengujian sifat fisik tanah.



Gambar 1. Nomograf Erodibilitas Tanah (Weischmeier dan Smith, 1978)

Metode yang digunakan dalam menentukan tingkat kestabilan lereng yaitu dengan menghitung kemantapan suatu lereng yang biasa dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (*Fs*). Parameter yang digunakan dalam penentuan nilai faktor keamanan (*Fs*) tersebut diperoleh dari angka hasil pengujian laboratorium sifat keteknikan (triaxial). Kemudian dirumuskan berdasarkan persamaan Fellenius (1927, dalam DAS, 1993) sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\sum c' + (W \cos \alpha - \gamma \cos^2 \alpha)}{\sum W \sin \alpha}$$

Keterangan :

- c' = cohesi efektif (kg/cm^2)
- ϕ = sudut geser dalam efektif ($^\circ$)
- α = sudut bidang ($^\circ$)

- W = berat total irisan tanah (gr)
- γ = berat isi (gr/cm^3)

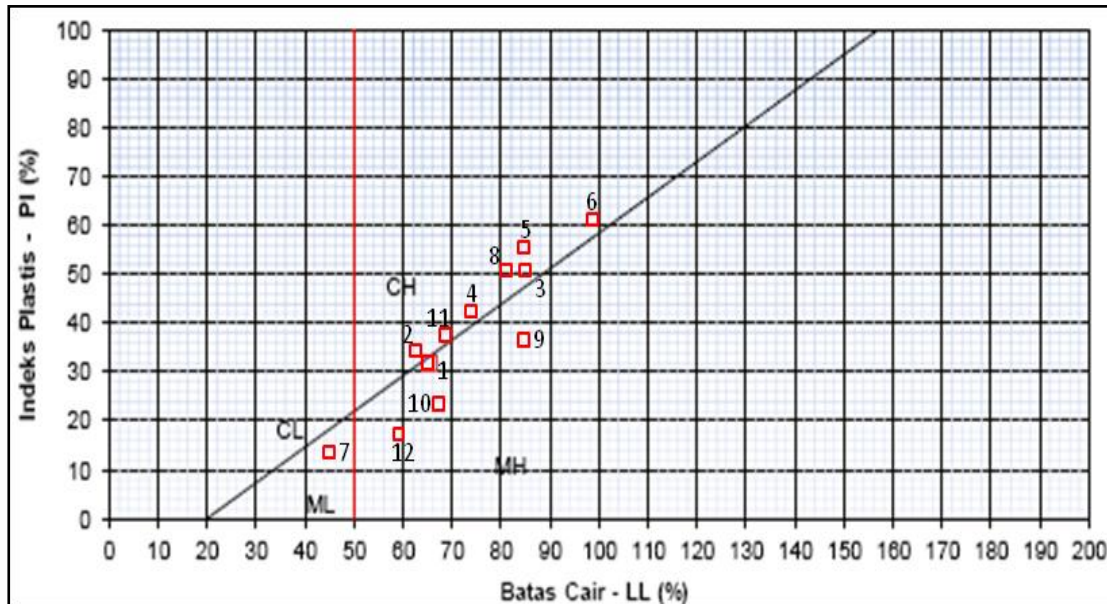
Hasil perolehan nilai faktor keamanan (F_s) kemudian diklasifikasikan kedalam tingkat faktor keamanan stabilitas lereng, yang dinyatakan bahwa nilai $F_s = 1,07$ sampai dengan $1,25$ adalah longsor pernah terjadi (lereng kritis), $F_s < 1,07$ longsor terjadi biasa/sering (lereng labil), $F_s > 1,25$ longsor jarang terjadi (lereng relatif setabil) (Bowles, 1989).

HASIL

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dari beberapa sampel tanah *undisturbed* diperoleh hasil nilai seperti yang terlihat pada (Tabel 1). Berdasarkan hasil pengujian terhadap sifat fisik tanah dari sifat indeks nilai-nilai yang dihasilkan jika dimasukkan kedalam klasifikasi sistem USCS dengan menggunakan grafik plastisitas (Gambar 2) maka diketahui bahwa, jenis tanah di wilayah DAS Wawar Hulu tergolong kedalam jenis lempung anorganik plastisitas tinggi (CH) sedangkan pada lokasi sampel KTA-1, KTA-9, KTA-10 dan KTA-12 tergolong kedalam jenis lanau anorganik plastisitas tinggi (MH) dan lokasi sampel KTA-7 tergolong dalam jenis lanau pasiran (ML).

Tabel 1. Nilai parameter fisik dan keteknikan tanah

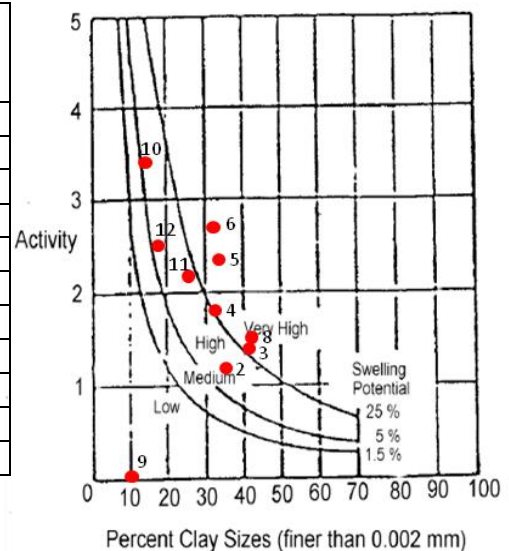
Kode Lokasi / No Sampel			KTA-1	KTA-2	KTA-3	KTA-4	KTA-5	KTA-6	KTA-7	KTA-8	KTA-9	KTA-10	KTA-11	KTA-12
Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS			MH	CH	CH	CH	CH	CH	ML	CH	MH	MH	CH	MH
KARAKTERISTIK BERAT-VOLUME														
Kadar Air	w	%	18,82	20,6	34,81	28,42	40,54	47,87	31,42	44,87	48,82	84,78	46,5	39,67
Berat Jenis	Gs		2,612	2,663	2,666	2,581	2,689	2,504	2,564	2,565	2,521	2,586	2,555	2,577
Berat Isi Asli	γ	g/cm ³	1,187	1,283	1,425	1,354	1,445	1,544	1,438	1,476	1,459	1,251	1,594	1,247
Berat Isi Kering	γ_d	g/cm ³	0,999	1,064	1,057	1,054	1,029	1,044	1,094	1,019	0,98	0,677	1,088	0,893
Berat Isi Jenuh	γ_{sat}	g/cm ³	1,615	1,665	1,661	1,645	1,647	1,627	1,668	1,621	1,592	1,415	1,662	1,546
Porositas	n	%	61,83	60	60,32	59,18	61,69	58,33	57,26	60,32	61,09	73,82	57,45	65,4
Angka Pori	e		1,62	1,5	1,52	1,45	1,61	1,4	1,34	1,52	1,57	2,82	1,35	1,89
Derajat Kejenuhan	Sr	%	30,34	36,57	61,05	50,59	67,71	85,62	60,12	75,72	78,39	77,75	88,01	54,09
KARAKTERISTIK PLATISITAS & KADAR ORGANIK														
Batas Cair	LL	%	65,37	62,56	86,35	73,42	84,80	98,80	45,31	81,17	84,79	58,79	68,23	67,37
Batas Plastis	PL	%	33,50	29,22	35,69	31,27	29,50	37,35	31,72	31,13	48,65	41,66	31,69	44,42
Indeks Plastis	PI	%	31,87	33,35	50,66	42,14	55,29	61,46	13,59	50,05	36,14	17,13	36,54	22,95
Kadar Organik	Oc	%	5,35	11,61	34,34	50,85	23,98	26,36	1,97	56,12	4,52	65,36	5,54	4,00
KARAKTERISTIK GRADASI BUTIR														
Lempung	< 0,002 mm	%	12,00	36,00	42,00	33,00	34,00	32,00	2,00	43,00	10,00	15,00	27,00	19,00
	< 0,005 mm	%	22,00	49,00	52,00	51,00	41,00	47,00	8,00	54,00	20,00	24,00	41,00	34,00
Lanau	0,005-0,075 mm	%	32,00	39,00	33,00	37,00	23,00	30,00	25,00	32,00	47,00	43,00	34,00	37,00
Pasir Halus	0,075-0,420 mm	%	18,00	6,00	8,00	4,00	10,00	10,00	23,00	7,00	25,00	16,00	12,00	9,00
Pasir Sedang	0,420-2,000 mm	%	28,00	3,00	5,00	2,00	16,00	13,00	44,00	7,00	8,00	17,00	13,00	8,00
Pasir Kasar	2,000-4,750 mm	%	0,00	3,00	2,00	3,00	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
Kerikil	> 4,750 mm	%	0,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
Catatan : CH = Lempung Plastisitas Tinggi SP = Pasir Bergradasi Buruk GP = Pasir Bergradasi Buruk MH = Lanau Plastisitas SM = Pasir Lanauan GW = Pasir Kerikilan CL = Lempung Pasiran SW = Pasir Bergradasi Baik GC = Kerikil Lempungan ML = Lanau Pasiran SC = Pasir Lempungan GM = Kerikil Lanauan														



Gambar 2. Grafik Penilaian Plastisitas Tanah

Tabel 2. Potensi Pengembangan

Lokasi Sampel	Indeks plastis (PI)	Fraksi Lempung (%)	Nilai Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
KTA - 1	31,87	12,00	2,66	Aktif
KTA - 2	33,35	36,00	0,93	Normal
KTA - 3	50,66	42,00	1,21	Normal
KTA - 4	42,14	33,00	1,28	Aktif
KTA - 5	55,29	34,00	1,63	Aktif
KTA - 6	61,46	32,00	1,92	Aktif
KTA - 8	50,05	43,00	1,16	Normal
KTA - 9	36,14	10,00	3,61	Aktif
KTA - 10	17,13	15,00	1,14	Normal
KTA - 11	36,54	27,00	1,35	Aktif
KTA - 12	22,95	19,00	1,21	Normal



Gambar 3. Grafik hubungan antara prosentasi

Sedangkan dari tingkat keaktifan dan potensi pengembangannya berdasarkan klasifikasi Skempton (1953) dan Seed (1962) yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa, tanah di sekitar DAS Wawar Hulu termasuk dalam klasifikasi potensi tingkat pengembangan tinggi - sangat tinggi.

Hasil pemeriksaan tanah yang berupa gradasi butir dan kadar organik dijadikan sebagai salah satu parameter dalam penentuan nilai indeks erodibilitas. Nilai yang didapat dalam parameter tersebut kemudian dimasukkan kedalam Nomograf Erodibilitas Tanah (Weischmeier dan Smith., 1978), maka dihasilkan nilai tingkat erodibilitas tanah seperti terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Indeks Erodibilitas Tanah

Nomor Sampel	Tekstur (%)				Pasir Halus + Debu (%)	Kandungan Organik (Oc) %	Kelas Struktur Tanah	Kelas Permeabilitas	Perkiraan Pertama Erodibilitas (K)	Nilai Erodibilitas (K)	Tingkat Indeks Erodibilitas
	Debu	Pasir Halus	Pasir Kasar	Liat							
KTA-1	32,00	18,00	0,00	34,00	50,00	5,35	Gsh	Sangat Lambat	0,18	0,23	Sedang
KTA-2	39,00	6,00	3,00	85,00	45,00	11,61	Gsh	Sangat Lambat	0,17	0,22	Sedang
KTA-3	33,00	8,00	2,00	94,00	41,00	34,34	Gsh	Sangat Lambat	0,15	0,19	Rendah
KTA-4	37,00	4,00	3,00	84,00	41,00	50,85	Gsh	Sangat Lambat	0,15	0,18	Rendah
KTA-5	23,00	10,00	10,00	75,00	33,00	23,98	Gsh	Sangat Lambat	0,14	0,18	Rendah
KTA-6	30,00	10,00	0,00	79,00	40,00	26,36	Gsh	Sangat Lambat	0,13	0,19	Rendah
KTA-7	25,00	23,00	0,00	10,00	48,00	1,97	Gs	Sangat Lambat	0,20	0,35	Agak Tinggi
KTA-8	32,00	7,00	0,00	97,00	39,00	56,12	Gsh	Sangat Lambat	0,13	0,16	Rendah
KTA-9	47,00	25,00	0,00	30,00	72,00	4,52	Gsh	Sangat Lambat	0,25	0,28	Sedang
KTA-10	43,00	16,00	0,00	39,00	59,00	65,36	Gsh	Sangat Lambat	0,17	0,20	Rendah
KTA-11	34,00	12,00	0,00	68,00	46,00	5,54	Gsh	Sangat Lambat	0,18	0,22	Sedang
KTA-12	37,00	9,00	6,00	53,00	46,00	4,00	Gsh	Sangat Lambat	0,20	0,24	Sedang

Dari hasil penilaian dan pembacaan nomograf erodibilitas tanah tersebut diketahui bahwa kelas atau tingkat erodibilitas tanah di DAS Wawar Hulu berkisar dari rendah hingga agak tinggi dengan nilai 0,16 – 0,35. Makin tingginya nilai erodibilitas tanah pada suatu lahan maka lahan tersebut akan semakin mudah untuk tererosi.

Berdasarkan hasil pengujian triaxial didapatkan nilai kohesi efektif (c) dan sudut geser efektif (ϕ), yang kemudian dimasukkan kedalam rumus keamanan lereng (F_s) maka diperoleh nilai yang tercantum dalam Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Faktor Keamanan (F_s)

Nomer Sampel	Berat Tanah gr	Berat Isi gr/m	Sudut bidang (ϕ)	Cohesi kg/cm	Kuat Geser (ϕ)	Nilai F_s
1	98,26	1,459	42	0,078	20,19	1,15
2	84,23	1,251	41	0,218	4,16	1,38
3	107,38	1,594	47	0,288	10,54	1,08
4	84	1,247	49	0,332	14,72	1,13

Dari hasil perhitungan nilai faktor keamanan lereng (F_s) bahwa di sekitar wilayah DAS Wawar Hulu termasuk jenis lereng kritis dan stabil, dengan nilai F_s kritis 1,08 – 1,15 dan nilai F_s setabil 1,38. Pada lereng yang kritis setelah dilakukan analisis pelandaian lereng dengan penanganan, maka diperoleh nilai seperti yang tercantum pada tabel 5 dibawah.

Tabel 5. Nilai Faktor Keamanan Setelah Konservasi

Nomer Sampel	Nilai F_s	
	Sebelum Pelandaian	Setelah Pelandaian
1	1,15	1,33
2	1,38	1,38
3	1,08	1,37
4	1,13	1,32

Dengan analisis pelandaian lereng maka nilai faktor keamanan (F_s) akan meningkat, dalam artinya bahwa kestabilan lereng pun akan ikut meningkat atau lereng akan semakin setabil.

ANALISIS / DISKUSI

Dari masing-masing kelas tingkat indeks erodibilitas tanah hasil pengujian laboratorium diuraikan sebagai berikut :

1. Kelas tingkat indeks erodibilitas agak tinggi

Satuan lahan yang mempunyai indeks erodibilitas agak tinggi ditunjukkan pada satuan lahan KTA-7. Tingkat erodibilitas agak tinggi ini disebabkan oleh karena tanah di satuan lahan tersebut mempunyai kandungan debu dan pasir sangat halus yang tinggi, kandungan bahan organik yang rendah dan permeabilitas sangat lambat. Karakteristik tanah seperti itu akan memudahkan tanah untuk tercerai berai apabila terkena aliran permukaan, hal ini disebabkan daya ikat antar butir atau partikel tanah tidak kuat, begitu juga kandungan bahan organik yang rendah menyebabkan stabilitas agregat yang kurang mantap. Selain itu faktor struktur tanah yang granular halus, menyebabkan ruang atau pori-pori tanah sangat berkurang.

2. Kelas tingkat indeks erodibilitas sedang

Satuan lahan yang mempunyai indeks erodibilitas sedang ditunjukkan pada satuan lahan KTA-1, KTA-2, KTA-9, KTA-11 dan KTA-12. Penyebab tingkat erodibilitas tanah yang sedang di satuan lahan tersebut adalah karena kandungan bahan organik yang rendah dan permeabilitas yang sangat lambat. Tanah yang kandungan bahan organiknya rendah akan mudah tercerai berai dikarenakan stabilitas agregat yang kurang, akan tetapi karena didukung oleh struktur tanah granular sangat halus yang membentuk agregat kuat maka tingkat erodibilitas akan menjadi lebih rendah atau tanah akan sedikit lebih kuat terhadap aliran permukaan.

3. Kelas tingkat indeks erodibilitas rendah

Satuan lahan yang mempunyai indeks erodibilitas rendah ditunjukkan pada satuan lahan KTA-3, KTA-4, KTA-5, KTA-6, KTA-8 dan KTA-10. Rendahnya tingkat erodibilitas disatuan lahan ini adalah karena kandungan pasir halus dan debu yang rendah, kandungan bahan organik yang tinggi dan struktur tanah granular sangat halus. Karakteristik tanah dengan kandungan pasir halus dan debu yang rendah akan sulit tercerai berai dengan didukung bahan organik yang tinggi yang membentuk stabilitas agregat sangat kuat.

Untuk analisa kestabilan lereng dengan pernyataan nilai $F_s = 1,07$ sampai dengan $1,25$ adalah longsor pernah terjadi (lereng kritis), $F_s \leq 1,07$ longsor terjadi biasa/sering (lereng labil), $F_s > 1,25$ longsor jarang terjadi (lereng relatif setabil), maka diperoleh bahwasannya beberapa daerah sekitar DAS Wawar Hulu merupakan lereng yang kritis dan setabil, dengan nilai keamanan lereng (F_s) = $1,38$ merupakan lereng yang setabil dan nilai lereng kritis $F_s = 1,08 - 1,15$.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di DAS Wawar Hulu diketahui bahwa tingkat erodibilitas berkisar dari rendah hingga agak tinggi dengan nilai $0,16 - 0,35$. Tingkat erodibilitas agak tinggi bernilai $0,35$ terdapat pada satuan lahan KTA-7, tingkat erodibilitas sedang berkisar $0,22 - 0,28$ terdapat pada satuan lahan KTA-1, KTA-2, KTA-9, KTA-11 dan KTA-12 dan tingkat erodibilitas rendah berkisar $0,16 - 0,20$ terdapat pada satuan lahan KTA-3, KTA-4, KTA-5, KTA-6, KTA-8 dan KTA-10. Satuan lahan yang mempunyai tingkat erodibilitas tinggi adalah satuan lahan yang mempunyai kandungan bahan organik rendah dan pasir halus dan debu tinggi, sedangkan satuan lahan yang mempunyai tingkat erodibilitas rendah adalah satuan lahan yang mempunyai kandungan bahan organik dan kandungan pasir halus dan debu rendah. Selain itu berdasarkan hasil perhitungan analisis kestabilan lereng menunjukkan bahwa beberapa lereng dalam kondisi kritis dengan nilai faktor keamanan (F_s) = $1,08$, $1,13$ dan $1,15$ lereng setabil nilai faktor keamanan (F_s) = $1,38$. Dalam usaha konservasi lahan pada lereng yang kritis setelah dilakukan analisis pelandaian lereng dengan penanggulangan, maka diperoleh nilai faktor keamanan (F_s) = $1,37$, $1,32$ dan $1,33$. Dengan artian bahwa analisis pelandaian lereng dengan memperkecil dan mengurangi sudut kemiringan lereng serta mengurangi besarnya air limpasan maka dapat meningkatkan kembali kestabilan lerengnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E., 1989, *Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah*, Erlangga, Jakarta, 562 hal.
- Das, B.M., 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Diterjemahkan : Endah, N.M. dan I.B.M. Surya. Erlangga. Jakarta.
- Morgan, 1979. *Soil Erosion*. Logman. New York.
- S.Asikin, A. Handoyo, H. Busono dan S. Gafoer., 2007 *Peta Geologi Lembar Kebumen, Jawa*. Pusat Survei Geologi, Bandung.
- Seed, H.B, Wood Ward, R.J. and Lundgren, R. (1962), Prediction of Swelling Potential for Compacted Clay, *Jurnal of The Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineering*, Vol.88, No. SM4, pp.107-131.
- Skempton, 1953, The Colloidal Activity of Clays. *Proceeding 3 th International Conference of Soil mechanic and Foundation Engineering*, London, Vol 1 Page 57-61.
- Sitanala Arsyad, 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press. Bogor.
- Van Zuidam, 1979. *Terain Analysis and Classification Aerial Photograph. A Geomorphological Approach*. Netherlands: ITC.
- Weischmeier, W.H. and Smith, D.D, 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses a Guid to Conservation Planning*. Washington: USDA.