

**PERHITUNGAN NILAI AMBANG BATAS EROSI
DENGAN METODE *MODIFIED PRODUCTIVITY INDEX*
DI DAS BOMPON KABUPATEN MAGELANG**

Ahmad Priyo Sambodo
ahmedpriyos@gmail.com

Muhammad Anggri Setiawan
anggri@ugm.ac.id

ABSTRACT

Soil Loss Tolerance (T) is still not a main focus study in Indonesia, despite in developed counties already have a standard T value (Adi, 2003 ; Duan *et al.*,2009; Arsyad, 2010; Mandal & Sharda, 2011). Modified Productivity Index (MPI) is a new method to determine T value, and potentially applied widely in Indonesia. Estimating T value in Bompon watershed is using MPI Method by Duan *et al* (2009). Mapping unit based on landform and detailed using vegetation cover. Productivity Index (PI) value in Bompon watershed relatively low, the average value is about 0,02. Low value in PI impacted the the T value which has average value about 15,91 Ton/Ha/Years. T value in Bompon watershed is lower than some other region in Indonesia, caused by different method and approach used. Sensitivity test on MPI show that the most sensitive parameter on PI is clay content and for T value is actual erosion.

Keywords: Soil Erosion, Conservation, Productivity Index, Soil Loss Tolerance

ABSTRAK

Nilai ambang batas erosi (T) sebagai salah satu batasan utama belum menjadi fokus studi yang utama, padahal di negara maju telah memiliki standar nilai T (Adi, 2003 ; Duan *et al.*,2009; Arsyad, 2010; Mandal & Sharda, 2011). Metode *Modified Productivity Index* (MPI) merupakan suatu metode baru, dan dapat menjadi alternatif metode perhitungan nilai T di Indonesia. Perhitungan nilai T dilakukan di DAS Bompon dengan memanfaatkan metode MPI oleh Duan *et al* (2009). Satuan pemetaan disusun atas bentuklahan yang ditetikan dengan informasi vegetasi. Nilai indeks produktivitas (IP) di DAS bompon tergolong rendah rata-rata hanya sebesar 0,02. Nilai IP yang rendah juga berpengaruh terhadap nilai T yang rata-rata sebesar 15,91 Ton/Ha/Tahun. Nilai T terukur di DAS Bompon lebih rendah dibanding nilai T di beberapa wilayah di Indonesia, karena adanya perbedaan metode dan pendekatan. Uji sensitivitas menunjukkan parameter paling sensitif untuk IP adalah kandungan lempung, dan untuk nilai T adalah erosi aktual.

Kata kunci: Erosi Tanah, Konservasi, Indeks Produktivitas, Ambang Batas Erosi.

PENDAHULUAN

Erosi tanah adalah proses terlepasnya dan berpindahnya agregat tanah dari suatu tempat menuju tempat lain (Blanco & Lal, 2010 ; Aprisal, 2011). Proses erosi memiliki dampak luas terhadap sumberdaya tanah dan dianggap cukup merugikan (Blanco & Lal, 2010). Pemerintah Indonesia telah menghabiskan dana sebesar 400 juta USD untuk permasalahan erosi di Jawa saja (Magrath & Arens, 1989).

Pemerintah Indonesia sendiri melalui terbitnya Undang-undang No.37 Tahun 2014 tentang Konservasi Tanah dan Air berusaha berperan aktif untuk menanggulangi permasalahan lahan di Indonesia. Akan tetapi, dalam UU belum memikirkan tingkat efektivitas dan efisiensi secara kuantitatif. Penilaian secara kuantitatif salah satunya dengan nilai ambang batas erosi (T).

Nilai T belum menjadi kajian pokok di Indonesia (Adi, 2003). Negara maju seperti Amerika, India dan China telah memiliki standar nasional nilai ambang batas erosi (Duan *et al.*, 2009; Arsyad, 2010; Mandal & Sharda, 2011). Tingginya laju erosi tanah di Indonesia serta keberadaan UU Konservasi Tanah dan Air merupakan alasan kuat pentingnya memiliki sebuah standar nasional dalam penentuan nilai ambang batas erosi tanah.

Daerah Aliran Sungai Bompon di Kabupaten Magelang merupakan wilayah yang cukup menarik untuk melakukan perhitungan nilai ambang batas erosi. Wilayah DAS Bompon memiliki kondisi lereng yang beragam,

kisaran 3 hingga 45 persen (Wardhana, 2013; Pratiwi, 2013). Namun demikian kondisi tanah tergolong supertebal, atau kedalaman tanah lebih dari 50m. Kondisi fisik DAS Bompon bertemu dengan aktivitas pertanian oleh masyarakat yang cukup intensif sehingga memiliki konsekuensi berupa adanya proses erosi yang dipercepat.

Pengukuran nilai ambang batas erosi tanah di Indonesia banyak dilakukan dengan memanfaatkan nilai ketebalan tanah berdasar metode Hammer yang sudah banyak diterapkan di Indonesia (Dibyosaputro *et al.*, 2009 ; Dewi *et al.*, 2012). Metode ini efektif pada wilayah dengan ketebalan tanah yang dapat diterka. Pendekatan lain untuk melakukan perhitungan nilai ambang batas erosi, salah satunya dengan memanfaatkan nilai indeks produktivitas lahan (Li *et al.*, 2009). Penelitian terbaru yang dilakukan oleh Duan *et al* (2012) berhasil memodifikasi prosedur penentuan ambang batas erosi berdasar nilai indeks produktivitas.

Penelitian ini bertujuan untuk dapat memanfaatkan metode *Modified Productivity Index* sebagai metode pendugaan nilai T di DAS Bompon. Sensitivitas terhadap parameter dalam metode juga diperhatikan, karena adanya perbedaan antara tepat pengembangan MPI yaitu di China dengan DAS Bompon. Pemetaan terhadap nilai T dilakukan untuk melihat persebarannya, berdasar satuan pemetaan yang disusun dan dengan skala detail.

METODE PENELITIAN

Penelitian terhadap nilai T di DAS Bompon dilakukan dengan memanfaatkan lima parameter fisi dan kimia tanah yaitu Kapasitas Tampung Air (A), Bahan Organik (OM), Derajat Keasaman (D), Kandungan Lempung (C), dan Faktor Bobot Tanah (WF). Parameter lain yang dibutuhkan yaitu Erosi Aktual, dan Berat Volume.

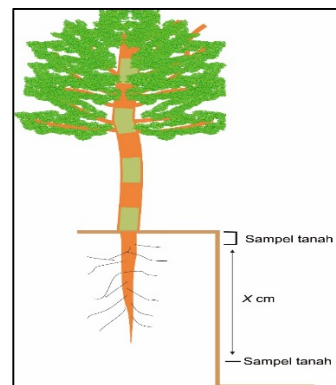
Skala pemetaan dibuat dengan skala detail yaitu 1:10.000. Luasan minimum terpetakan menurut Rossiter (2000) adalah seluas 0,4 ha. Dipertimbangkan pula UU no 56 tahun 1960 tentang Pokok Agraria bahwa kepemilikan lahan di Indonesia berkisar antara 6-20 hektar.

Satuan pemetaan dilakukan dengan memanfaatkan informasi bentuklahan DAS Bompon yang didetailkan dengan memanfaatkan informasi vegetasi. Faktor bentuklahan dan penggunaan lahan sangat berpengaruh terhadap parameter-parameter dalam MPI. Keberadaan bahan organik, dan lempung, derajat keasaman tanah hingga kapasitas tampung air sangat dipengaruhi oleh kondisi morfologi dan juga vegetasi termasuk pada pengolahan yang dilakukan (GRDC, 2013); (USDA-NRCS, 2015); (USDA-NRCS, 1998).

Pemilihan titik sampel dilakukan dengan memanfaatkan metode *purposed sampling*. Pengambilan sampel dilakukan dengan mempertimbangkan satuan bentuklahan dan satuan vegetasinya, selain itu terdapat beberapa titik sampel yang diambil berdasar

vegetasi khusus dan proses longsor aktif. Titik pengambilan sampel tanah dipilih secara acak pada wilayah yang cukup banyak dimanfaatkan oleh warga masyarakat.

Sampel tanah diambil sebanyak dua buah setiap titik. Sampel tanah pertama diambil dengan kedalaman maksimum 5 cm dari permukaan, diasumsikan merepresentasikan indeks produktivitas tanah permukaan. Sampel tanah kedua diambil pada kedalaman tertentu, dengan mempertimbangkan kondisi erosi aktual dan jangka waktu pemanfaatan tanah selama 20 tahun. Ilustrasi pengambilan sampel tersaji pada gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi pengambilan sampel

Perhitungan terhadap nilai indeks produktivitas (IP) dilakukan dengan rumus yang disusun oleh Duan *et al* (2009).

$$PI = \sum_{i=t}^n A_i \times CL_i \times O_i \times D_i \times WF_i$$

Nilai Indeks produktivitas selanjutnya diolah dengan rumus

$$T = R \times \frac{MPI_o \times (BD \times 100)}{V}$$

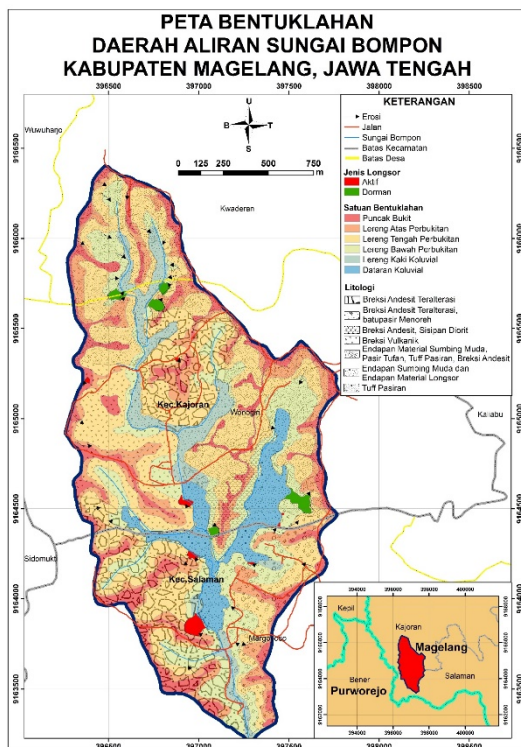
Pengolahan dengan rumus kedua dilakukan untuk mendapat nilai T dengan

satuan Ton/Ha/Tahun. Sensitivitas parameter dalam MPI diuji secara statistik. Pengujian memanfaatkan metode *Average Linear Sensitivity* (ALS) (Morgan *et al*, 2007 ; Nearing *et al*, 1990). Rumus metode ALS sebagai berikut

$$S = \frac{\left[\frac{O_2 - O_1}{O_{12}} \right]}{\left[\frac{I_1 - I_2}{I_{12}} \right]}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

DAS Bompon setidaknya tersusun atas enam satuan bentuklahan, yaitu (1) Puncak Bukit, (2) Lereng Atas Perbukitan, (3) Lereng Tengah Perbukitan, (4) Lereng Bawah Perbukitan, (5) Lereng Kaki Koluvial, dan (6) Dataran Koluvial (Gambar 2).

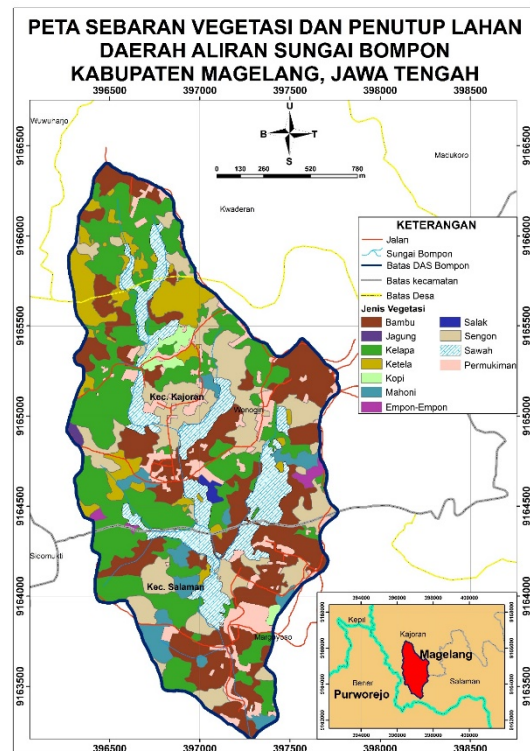


Gambar 2. Peta Bentuklahan DAS Bompon

Satuan bentuklahan di Bompon dapat dengan jelas merepresentasikan kondisi

morfologi, material serta proses. Wilayah DAS Bompon pada awalnya berupa dataran tinggi, namun proses-proses kelerengan seperti longsor dan erosi akibat pengaruh curah hujan tinggi membentuk konfigurasi DAS Bompon seperti saat ini. Material penutup berupa debu vulkanik hasil erupsi Gunungapi Sumbing. Material bagian bawah memiliki variasi lebih, yaitu perselingan breksi teralterasi bersama dengan lapukan tuff pasiran yang banyak dijumpai pada bagian muara DAS Bompon.

Luas DAS Bompon sebesar 294,71 hektar tertutupi oleh variasi vegetasi yang beragam. Beberapa vegetasi yang dianggap menguntungkan seperti Ketela, Sengon, Bambu, Salak, *empon-empon*, Kopi dan Kelapa (Gambar 3).



Gambar 3. Peta Sebaran Vegetasi DAS Bompon

Perbedaan kondisi vegetasi memberikan sumbangan yang berbeda pula pada kondisi tanah di masing-masing petak vegetasi. Kemudahan tanah tererosi, kemampuan tanah mempertahankan agregat, adanya proses *crusting* atau terbentuknya lapisan padat di permukaan tanah pada tanah hingga laju erosi tanah merupakan beberapa proses yang sangat dikontrol oleh kondisi vegetasi, selain pada curah hujan.

Nilai indeks produktivitas DAS Bompon diperoleh dengan metode MPI.

Tabel 1. Nilai Indeks Produktivitas DAS Bompon

Nilai Rata-rata Indeks Produktivitas		
Parameter	Lapisan	
	a	b
A	0,504	0,557
C	0,682	0,713
OM	0,376	0,193
D	0,868	0,778
WF	0,314	0,109
PI	0,040	0,006

Nilai rata-rata Indeks Produktivitas di DAS Bompon relatif rendah dan tergolong tidak produktif (Tabel 1). Nilai indeks produktivitas dijelaskan oleh Pierce *et al* (1983) dan Duan *et al* (2009) bahwa nilai indeks produktivitas berada pada kisaran 1 untuk area sangat produktif dan 0 untuk area yang sangat tidak produktif. Faktor yang mengakibatkan rendahnya nilai produktivitas adalah mengenai pengolahan lahan secara sangat intensif, hilangnya unsur hara akibat erosi tanah serta adanya proses pengadukan alami.

Perhitungan nilai *T* tanah dengan memanfaatkan metode MPI memiliki dua variabel tetap yaitu jangka waktu

pemanfaatan tanah, serta toleransi penurunan produktivitas. Kedua nilai ditetapkan berdasar kondisi umum lapangan, kepentingan pengujian dan pertimbangan rasional lainnya. Perhitungan nilai ambang batas erosi tanah di DAS Bompon memanfaatkan jangka pemakaian tanah selama 20 tahun dengan toleransi reduksi produktivitas sebesar 5 %.

Perhitungan nilai *T* tanah menggunakan metode MPI di DAS Bompon dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu nilai indeks produktivitas lapisan atas, selisih nilai indeks produktivitas, erosi aktual serta laju penurunan produktivitas tanah. Perhitungan nilai *T* tanah difokuskan pada areal dengan vegetasi yang banyak dimanfaatkan masyarakat. Pertimbangan diambil untuk lebih mudah untuk diaplikasikan ke masyarakat luas

Tabel 2. Nilai Ambang Batas Erosi (*T*) di DAS Bompon

No Sampel	Bentuk lahan	Vegetasi	Nilai T (T/Ha/Thn)
1	PB	Ketela	46,47
2	LT	Ketela	45,75
3	LB	Ketela	46,76
4	-	Kopi	9,54
5	K	Kelapa	5,13
7	LB	Ketela	7,08
8	PB	Kelapa	18,39
9	PB	Sengon	29,26
11	LT	Kelapa	12,32
12	LT	Sengon	10,66
13	LT	Bambu	5,29
14	LA	Kelapa	4,54
15	LA	Bambu	7,66

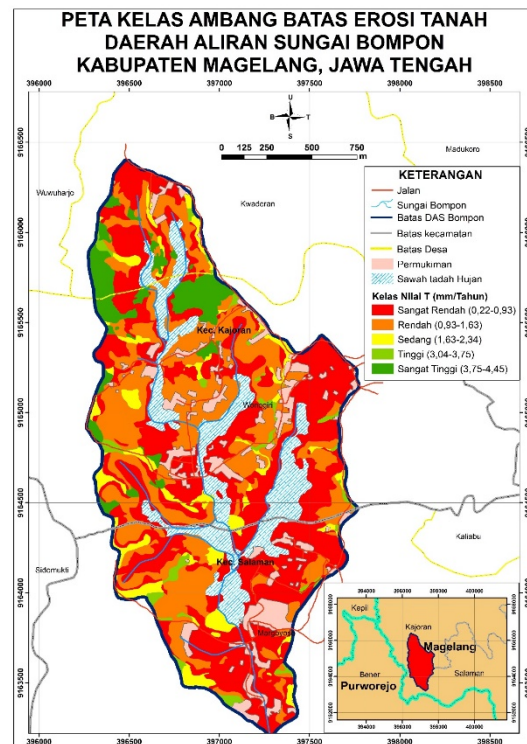
Lanjut ke halaman berikut

Lanjutan dari halaman sebelumnya			
16	LA	Sengon	10,34
17	LB	Kelapa	4,32
18	LB	Bambu /Sengon	4,98
19	-	Empon	7,99
20	-	Salak	2,43
21	Longsor	-	23,43

Perhitungan nilai T di DAS Bompon selain difokuskan pada area dengan komoditas utama masyarakat juga dilakukan pada area dengan proses alami tertentu yaitu longsor (Tabel 2). Wilayah DAS Bompon memiliki tanah supertebal dengan kerapatan vegetasi yang tinggi serta curah hujan yang tinggi mengakibatkan banyak longsor yang terjadi, bahkan dari sejak masa lampau. Proses erosi dan longsor sendiri merupakan proses alam yang saling terkait. Perhitungan nilai T di wilayah longsor untuk membatasi laju erosi yang terjadi. Nilai T pada area longsor dapat digunakan untuk mengkonservasi area longsor, mengontrol agar laju erosi tidak menyebabkan stabilitas lereng berubah sehingga memicu longsor lanjutan.

Areal persawahan tidak dimasukkan dalam perhitungan nilai T . Posisi sawah di DAS Bompon yang berada pada lembah, dan faktor adanya suplai material deposisi dari bentuklahan di atasnya merupakan pertimbangan utama tidak diikutsertakannya sawah dalam perhitungan ambang batas erosi (T). Perhitungan nilai T di sawah yang terletak di dataran Koluvial tidak akan memiliki arti apabila wilayah tersebut terus mendapat suplai material dan nutrisi yang baru setiap kali hujan turun.

Sebaran nilai ambang batas erosi tanah diperoleh dari hasil ekstrapolasi dengan area sampling. Data berupa satuan pemetaan dengan vegetasi dan bentuklahan yang sama dijadikan dasar untuk melakukan ekstrapolasi nilai T . Pemetaan persebaran dilakukan dengan terlebih dahulu mengelaskan nilai T di DAS Bompon. Pembuatan kelas dimaksudkan untuk mengelompokkan nilai pada kelompok yang sama, mempermudah pembacaan data serta menyederhanakan tampilan peta (Gambar 4).



Gambar 4. Sebaran Nilai T di DAS Bompon

Nilai T di DAS Bompon didominasi oleh kelas 'sangat rendah' dengan rentang nilai sebesar 0,22-0,93 mm/tahun. Total seluas 116,66 hektar atau 37,89% area dari DAS Bompon nilai T nya termasuk cukup rendah. Luasnya area dengan nilai T sangat rendah diakibatkan banyaknya

area yang memiliki nilai 0,22-0,93 mm/tahun. Total terdapat 17 nilai berbeda untuk hasil perhitungan T , sebanyak 8 nilai masuk kedalam kategori sangat rendah

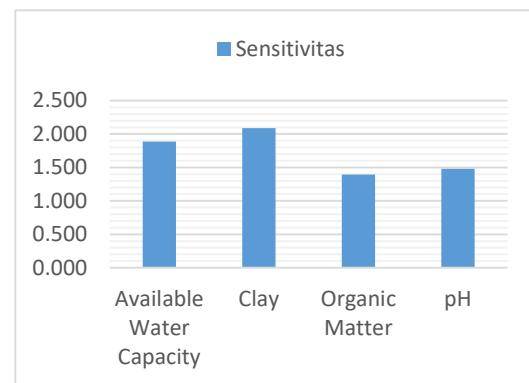
Penilaian sensitivitas parameter pada metode MPI terhadap nilai indeks produktivitas yang dihasilkan dilakukan dengan memanfaatkan pendekatan *Average Linear Sensitivity* (ALS). Pendekatan ALS dilakukan dengan memanfaatkan nilai masing-masing parameter dengan hasil akhir pada suatu metode perhitungan (Morgan *et al*, 2007 ; Nearing *et al*, 1990). Uji sensitivitas pada metode MPI dilakukan untuk dua kondisi yaitu (1) Uji sensitivitas parameter MPI terhadap hasil indeks produktivitas, dan (2) Uji parameter MPI beserta kondisi aktual lahan terhadap nilai T .

Uji sensitivitas parameter dasar MPI untuk uji indeks produktivitas menunjukkan hasil diatas nilai 1,0. Hasil yang berbeda terlihat untuk pengujian parameter MPI terhadap nilai T yang didominasi nilai dibawah 0,0. Parameter paling sensitif menurut Nearing *et al* (1990) adalah parameter yang memiliki nilai S paling tinggi. Nilai sensitivitas berdasar Morgan *et al* (2007) terbilang sangat sensitif apabila nilai $S \geq 1,0$ dan terbilang cukup sensitif apabila $0,5 < S < 1,0$.

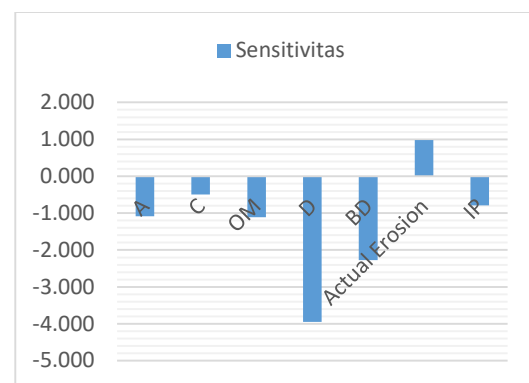
Mengacu pada Nearing *et al*, pengujian sensitivitas parameter MPI untuk nilai indeks produktivitas menunjukkan bahwa kandungan lempung yang paling berpengaruh terhadap nilai indeks produktivitas,

sementara erosi aktual sangat berpengaruh terhadap nilai T (Gambar 5 dan Gambar 6). Pierce *et al* (1984) mengutarakan bahwa laju toleransi erosi merupakan hasil konversi nilai penurunan produktivitas yang dipengaruhi oleh kondisi erosi yang terjadi.

Perhitungan nilai T dengan memanfaatkan nilai indeks produktivitas lahan berdasar metode *Modified Productivity Index* (MPI) merupakan suatu metode yang baru. Pengujian metode MPI untuk wilayah dengan luasan daerah sempit, kondisi vegetasi yang sangat heterogen serta curah hujan yang tinggi, belum pernah dilakukan sebelumnya.



Gambar 5. Uji Sensitivitas Nilai IP



Gambar 6. Uji Sensitivitas Nilai T

Proses untuk mendapatkan nilai *T* di DAS Bompon memerlukan sebanyak 11 jenis kegiatan mulai dari tahapan pengenalan wilayah hingga perhitungan hasil lab (Tabel 3).

Tabel 3. Detail Kegiatan Penelitian di DAS Bompon

No	Kegiatan	Lama waktu	Satuan
1	Pengenalan awal area Bompon	4	Hari
2	Pembuatan peta survey vegetasi	7	Hari
3	Survey vegetasi 1	7	Hari
4	Survey vegetasi 2	5	Hari
5	Survey vegetasi 3	7	Hari
6	Pengolahan data pasca survey	5	Hari
7	Pembuatan peta sampling	3	Hari
8	Sampling tanah	10	Hari
9	Uji lab 1	40	Hari
10	Uji lab 2	14	Hari
11	Perhitungan	5	Hari

Kegiatan paling banyak memakan waktu adalah pengujian laboratorium, karena banyak dan rumitnya parameter yang diuji. Kegiatan lapangan yang paling memakan waktu adalah survey vegetasi dimana memakan waktu sebanyak 19 hari. Total petak vegetasi yang ada di DAS Bompon, didasarkan dari kenampakan tekstur vegetasi dari citra orthofoto adalah sebanyak 268 petak. Kondisi DAS Bompon, dari segi variasi vegetasi dan kondisi fisik, sangat berpengaruh pada lama waktu kegiatan.

Penerapan metode MPI untuk wilayah Indonesia mutlak perlu mempertimbangkan nilai ekonomi. Pertimbangan terhadap kondisi ekonomi didasari sifat pertanian Indonesia yang

masih tradisional dan melibatkan kelas menengah kebawah. Pengujian laboratorium terhadap tanah mutlak dilakukan untuk dapat menghasilkan nilai parameter. Pengujian secara kualitatif di lapangan tidak dapat dijadikan atau dikonversi kedalam nilai indeks, karena sifatnya yang sangat subjektif dan tidak memiliki angka pasti. Dana yang dihabiskan untuk melakukan pengujian laboratorium sebesar Rp Rp 4.555.000,00 Berdasarkan nilai biaya total pengujian, dan dibandingkan dengan luasan DAS Bompon maka metode MPI membutuhkan biaya sebesar \pm Rp 15.500,00 setiap hektar untuk uji laboratorium sendiri.

KESIMPULAN

Pemanfaatan metode MPI untuk menghitung dan menganalisis nilai ambang batas erosi (*T*) memberikan kontrol penuh bagi peneliti terhadap hasil perhitungan. Kontrol terhadap hasil dikarenakan metode MPI yang diterapkan sepenuhnya menggunakan nilai aktual yang ada di lokasi kajian, dalam hal ini DAS Bompon. Pendugaan nilai parameter *AWC*, *CL*, *D*, *OM* dan *WF* hingga erosi aktual sepenuhnya menggunakan nilai-nilai aktual DAS Bompon, tidak menggunakan pendugaan berdasar rumus matematis.

Parameter paling sensitif terhadap nilai Indeks Produktivitas adalah kandungan lempung, karena kandungan lempung pada tanah berkaitan dengan distribusi air dalam tanah, kemampuan tanah menyimpan air, distribusi material organik, nilai derajat keasaman hingga ketahanan tanah terhadap proses erosi.

Parameter paling sensitif untuk uji nilai T adalah erosi aktual, karena mempengaruhi besarnya nilai penurunan produktivitas tanah.

Wilayah DAS Bompon didominasi oleh kelas nilai T 'sangat rendah'. Rendahnya nilai ambangbatas erosi dipengaruhi secara kuat oleh nilai indeks produktivitas aktual DAS Bompon yang tergolong sangat rendah, ditambah dengan erosi aktual yang cukup intensif. Kedua faktor tersebut membentuk nilai penurunan produktivitas yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A. (2003, Juni 11). Degradasi Tanah Pertanian Indonesia Tanggung Jawab Siapa?. *Tabloid Sinar Tani*.
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Blanco, H., & Lal, R. (2010). *Principles of Soil Conservation and Management*. London: Springer Publisher.
- Dewi, I. A., Trigunasih, N., & Kusmawati, T. (2012). Prediksi Erosi dan Perencanaan Konservasi Tanah dan Air pada Daerah Aliran Sungai Saba. *e-Jurnal Agroekoteknologi Tropika*.
- Dibyosaputro, S., Rustadi, & Suharko. (2009). *Studi Erosi dan Sedimentasi Transport Kawasan Perbukitan di Daerah Aliran Sungai Secang Kabupaten Kulon Progo*. Yogyakarta: PSLH UGM.
- Duan, X., Xie, Y., Feng, Y.-J., & Yin, S.-q. (2009). Study on the Method of Soil Productivity Assessment in Black Soil Region of Northeast China. *Agricultural Sciences In China*, 472-481.
- Duan, X., Xie, Y., Liu, G., Liu, B., Feng, Y., & Gao, X. (2012). Soil Loss Tolerance in the Black Soil Region of Northeast China. *Journal of Geographical Science*, 737-751.
- GRDC. (2013). *Managing Soil Organic Matter: a Practical Guide*. Kingston: GRDC.
- Li, L., Du, S., Wu, L., & Liu, G. (2009). An Overview of Soil Loss Tolerance. *Catena*, 93-99.
- Magrath, W., & Arens, P. (1989). *The Cost of Soil Erosion in Java: a Natural Resources Accounting Approach*. World Bank.
- Mandal, D., & Sharda, V. N. (2011). Assessment of Permissible Soil Loss in India Employing a Quantitative Bio-physical Model. *Current Science*, 383-390.
- Morgan, R. P. C., Duzant, J. H. (2007). Modified MMF (Morgan-Morgan-Finney) Model for Evaluating Effects of Crops and vegetation Cover on Soil Erosion. *Earth Surf. Process*.

- Landforms*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Nearing, M. A., Deer-Ascough, L., Laflen, J. M. (1990). Sensitivity Analysis of the WEPP Hillslope Profile Erosion Model. *American Society of Agricultural Engineers*, Vol 33 (3), 839-849
- Pierce, F. J., Larson, W. E., Dwody, R. H., & Graham, W. A. (1983). Productivity of Soil: Assessing of Long-term Changes Due to Erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 39-44.
- Pratiwi, E. S. (2013). *Kajian Kerawanan Longsor Lahan dengan Menggunakan Logistic Regression Model di DAS Kodil, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah*. Yogyakarta: ETD UGM.
- Republik Indonesia. (1960). *Undang-undang No.5 Tahun 1960 Tentang Peraturan Dasar Pokok-pokok Agraria*. Jakarta: Sekertariat Negara Republik Indonesia
- Republik Indonesia. (2014). *Undang-undang Republik Indonesia No. 37 Tahun 2014 Tentang Konservasi Tanah dan Air*. Jakarta: Sekertariat Negara Republik Indonesia
- Rossiter, D. G. (2000). *Methodology for Soil Resource Inventories: 2nd Revised Version*. ITC Netherland.
- USDA-NRCS. (1998). *Soil Quality Resource Concerns: Available Water Capacity*. Washington DC: USDA.
- USDA. (2015). *National Soil Survey Handbook*. Washington DC: USDA.
- Wardhana, G. M. (2013). *Analisis Hubungan Antara Kedalaman Tanah dengan Sudut Lereng pada Bentuklahan Lereng Bawah Vulkanik Sub Daerah Aliran Sungai Kodil, Provinsi Jawa Tengah*. Yogyakarta: ETD UGM.