

ANALISIS PENENTUAN LOKASI DAM PENAHAN SEDIMEN (DPN) BERDASARKAN TINGKAT BAHAYA EROSI DENGAN PROGRAM ARC GIS (STUDI KASUS DI DTA WADUK MARANGKAYU)

Tomy Wahyudi Utomo¹, Muhammad Sumaryono², dan Yohanes Budi Sulistioadi³

¹Kehutanan, Mahasiswa Program Studi Magister Ilmu Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman, Samarinda.

²Laboratorium Perencanaan, Fakultas Kehutanan, Universitas Mulawarman, Kampus Gunung Kelua, Samarinda. Indonesia.

E-Mail: tomy.wahyudi@gmail.com

ABSTRAK

Analisis Penentuan Lokasi Dam Penahan Sedimen (DPn) berdasarkan Tingkat Bahaya Erosi dengan program ArcGIS (Studi Kasus Di DTA WadukMarangkayu). Penelitian ini bertujuan untuk analisis laju erosi pertahun, kelas erosi, tingkat bahaya erosi menggunakan metode *USLE* sertapenentuanlokasi Dam PenahanSedimen di DTA Waduk Marangkayu.

Penelitian ini menggunakan data Curah Hujan selama 10 tahun (2007-2016), data jenis tanah dan kedalaman solum tanah, data panjang dan kemiringan lereng dan data penutupan lahan. Dari hasil tingkat bahaya erosi menggunakan perhitungan *USLE*, kemudian disesuaikan dengan kriteria/syarat lokasi dibangunnya dam penahan guna menentukan lokasi mana saja yang berpotensi untuk dibangun dam penahan agar optimal didalam mengurangi sedimentasi yang masuk ke Waduk Marangkayu.

Hasil penelitian yang diperoleh adalah 1) perkiraan erosi pertahun sebesar 863,8 ton/ha/tahun dari total luas lahan 13.489,392ha.2) Untuk kelas erosi, kelas III seluas 6.744,55 ha atau 50,15%, Kelas II seluas 3.596,35 ha atau 26,74%, Kelas IVseluas 3.101,42 ha atau 23,06% dan yang terkecil pada kelas I seluas 6,06 ha atau 0,05 % dari luas keseluruhan DTA Marangkayu. 3) TBE kelas Sedang seluas 4.260,15 ha atau 31,75%, TBE kelas Ringan seluas 3.580,43 ha atau 26,68 %, TBE kelas Berat seluas 3.102,25 ha atau 23,12 %, TBE kelas Sangat Berat seluas 2.469,92 ha atau 18,41 %sertaTBE dengan kelas Sangat Ringan seluas 6,06 ha atau 0,05 % dari luas keseluruhan DTA Marangkayu. 4)Terdapat 295 Unit lokasi DTA yang layak untuk dibangun Dam Penahan Sedimen dengan luas DTA total 4.918 hektar.

Kata kunci : Erosi, Dam Penahan Sedimen, ArcGIS, Daerah Tangkapan Air.

ABSTRACT

Determination Analysis of Sediment Retention Dam Location based on Erosion Hazard Level with ArcGIS program (Case Study In The water catchment area of Marangkayu Reservoir). *This research aims at* the authors will analyze erosion rate per year, erosion class, erosion hazard in the water catchment area of Marangkayu Reservoir using the Universal Soil Loss Equation (USLE) method and determine which locations are potential to be constructed of check dam into the water catchment area of Marangkayu reservoir optimally.

The results of erosion calculation 1) program obtain the value of soil erosion occurring in the water catchment area of Marangkayu Reservoir that is 863.8 tons per hectares per year of total land area 13,489.392 hectares.

2) Classification of erosion class based on the value of erosion of land occurring in the Largest water catchment area Marangkayu Reservoir is class III of 6,744.55 ha or 50.15%, Class II 3.596.35 ha or 26.74%, Class IV area of 3.101.42 ha or 23.06% and the smallest in class I area of 6.06 ha or 0,05% of the total water catchment area of Marangkayu reservoir. 3) While the Classification of Erosion Hazard Level based on erosion class and depth of soil solum in water catchment area of Marangkayu Reservoir with highest Erosi Hazard Level is found on Medium Class Dangerous Medium level of 4,260.15 ha or 31,75%, Level Higher Erosion grade 3.580, 43 ha or 26.68%, Heavy Danger Level grade Weight of 3.102.25 ha or 23.12%, High Speed Erosion Health grade 2.469.92 ha or 18.41% and Erosi Hazards Levels with Very Lightweight grade

of 6,06 ha or 0,05% of the total water catchment area of Marangkayu reservoir.4) From the analysis, there are 295 Units of water catchment area that are suitable for the construction of Sedimentary Rocks (Check Dam) with a total area of 4,918 hectares.

Key words : erosion, check dam, ArcGIS, the water catchment area.

1. PENDAHULUAN

Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Marangkayu memiliki luas sekitar ±13.418ha yang berada dalam wilayah Kecamatan Marangkayu Kabupaten Kutai Kartanegara yang memiliki fungsi spesifik mendukung ketersediaan bahan baku air minum untuk masyarakat di wilayah Kec. Marangkayu sehingga membutuhkan penanganan serius demi keberlangsungan fungsi dari waduk dapat berjalan dengan baik.

Tingginya laju erosi pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan masalah daerah hulu yg berdampak jelas sampai ke hilir. Banyaknya sedimentasi yang terangkut dapat berakibat buruk bagi sungai dan waduk sebagai penyimpanan air yang ada di aliran DAS tersebut.

Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan analisis laju erosi pertahun, kelas erosi, tingkat bahaya erosi dan lokasi bangunan Konservasi Tanah dan Air berupa Dam Penahan sedimen (DPn) di DTA Waduk Marangkayu menggunakan Arc GIS 10.3 dan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Kemudian berdasarkan klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dan kriteria/syarat lokasi dibangunnya dam penahan akan ditentukan lokasi mana saja yang berpotensi untuk dibangun dam penahan sedimen.

2. METODA PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Analisis dilakukan di DTA Waduk Marangkayu, yang terletak di Kecamatan Marangkayu Kabupaten

Kutai Kartanegara dengan koordinat geografis $0^{\circ} 03'52,4$ LS – $0^{\circ} 11'50,0$ LS dan $117^{\circ} 16'4,3$ BT – $117^{\circ} 23'53,5$ BT. Pada bulan Agustus-Oktober 2017.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta DTA Waduk Marangkayu, peta curah hujan, peta kelas lereng, peta jenis tanah, Peta Penutupan Lahan dan Peta Kontur. Alat analisis yang digunakan adalah perangkat lunak ArcGIS 10.3

2.3. Analisis Tingkat Bahaya Erosi

Analisis TBE menggunakan rumus USLE dari Wischmeier dan Smith (1978). Formulasi USLE adalah sebagai berikut:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Keterangan :

A = Laju erosi tanah (ton/ha/tahun)

R = Indeks erosivitas hujan

K = Indeks erodibilitas tanah

L = Indeks panjang lereng

S = Indeks kemiringan lereng

C = Indeks penutupan vegetasi

P = Indeks pengolahan lahan atau tindakan konservasi tanah

Berdasarkan rumus yang digunakan, maka diperlukan empat jenis peta sebagai dasar perhitungan TBE, yaitu peta curah hujan, peta jenis tanah, kemiringan, dan peta penutupan lahan.

Proses perhitungan nilai indeks dari setiap data peta, dilakukan dengan berbagai formulasi, yaitu:

a. Indeks erosivitas (R). Indeks erosivitas hujan dapat diperoleh dengan

menghitung besarnya energi kinetik hujan (E_k) yang ditimbulkan oleh intensitas hujan maksimum selama 30 menit (EI_{30}). Rumus yang dipergunakan adalah Metode Utomo (1989) yaitu: $EI_{30} = -8,79 + (7,01 \times R)$ dimana: EI_{30} = erosi hujan dan R = hujan rata-rata bulanan (cm).

- b. Indeks erodibilitas (K). Indeks erodibilitas tanah menunjukkan tingkat kerentanan tanah terhadap erosi, yaitu retensi partikel terhadap pengikisan dan perpindahan tanah oleh energi kinetik air hujan. Tekstur tanah yang sangat halus akan lebih mudah hanyut dibandingkan dengan tekstur tanah yang kasar. Kandungan bahan organik yang tinggi akan menyebabkan nilai erodibilitas tinggi.
- c. Indeks panjang dan kemiringan lereng (LS). Faktor kemiringan dan panjang lereng (LS) terdiri dari dua komponen, yakni faktor kemiringan dan faktor panjang lereng. Faktor panjang lereng adalah jarak horizontal dari permukaan atas yang mengalir ke bawah dimana gradien lereng menurun hingga ke titik awal atau ketika limpasan permukaan (*run off*) menjadi terfokus pada saluran tertentu (Renard *et al.*, 1997).
- d. Indeks penutupan vegetasi dan pengolahan lahan (CP). Faktor penutupan lahan menggambarkan dampak kegiatan pertanian dan pengelolaannya pada tingkat erosi tanah (Renard *et al.*, 1997).

Kelas tingkat bahaya erosi. Hasil perhitungan nilai laju erosi dengan menggunakan rumus USLE kemudian diklasifikasi menjadi lima kelas, yaitu sangat ringan, ringan, sedang, berat, dan sangat berat.

2.4. Analisis Penentuan Lokasi Dam Penahan Sedimen

Penentuan lokasi dam penahan didasarkan dari hasil nilai kelas erosi lahan

dan Tingkat Bahaya Erosi (TBE), yang kemudian dilakukan pembuatan *polygon-polygon* daerah tangkapan (*watershed*) dari masing-masing sungai ordo II dengan menggunakan analisis *watershed* pada tools ArcGIS. *Polygon-polygon* ini lah yang nantinya dijadikan dasar untuk penentuan lokasi dam penahan layak atau tidak layak untuk dibangun pada daerah tersebut. Syarat dari kriteria-kriteria lokasi yang cocok untuk dibangun dam penahan berdasarkan kondisi lahannya yaitu :

- a. LMU Prioritas I dan II atau dalam RP RHL;
- b. Luas DTA 10-30 Ha;
- c. Kemiringan alur sungai 15-35%;
- d. Kemiringan rata-rata daerah tangkapan 15-35%;
- e. Diutamakan pada ordo sungai satu sampai dengantiga.

2.5. Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilakukan terhadap masing-masing jenis peta untuk memperoleh kelima jenis nilai indeks yang diperlukan dalam penghitungan tingkat bahaya erosi. Setelah keempat jenis peta selesai diolah, proses berikutnya adalah *overlay* seluruh peta menjadi satu peta gabungan yang menghasilkan sebaran wilayah berdasarkan nilai TBE masing-masing. Setelah ditemukan nilai TBE, kemudian dilakukan analisis penentuan lokasi Dam Penahan Sedimen sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

3.1. Indeks Erosivitas Hujan (R)

Data curah hujan yang digunakan untuk menghitung nilai erosi hujan diperoleh dari Stasiun Meteorologi Temindung. Data curah hujan yang didapatkan adalah curah hujan selama 10

tahun (2007 – 2016) yang dihitung rata-rata hujan harian tiap bulan dari Stasiun Meteorologi

Temindung sebagaimana Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Curah Hujan selama 10 tahun (2007 – 2016)

Bulan	Tahun Curah Hujan (cm)									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Januari	30,7	20,2	16,5	16,1	26,2	32,7		28,4	34,6	15,8
Februari	22,2	19,4	5,9	16,8	17,3	24,0		19,7	14,8	10,3
Maret	26,0	20,7	28,4	15,1	23,4	25,8		31,5	19,9	14,3
April	34,0	26,0	31,5	22,2	36,1	37,1		12,6	38,0	38,3
Mei	11,2	5,0	18,7	21,0	25,8	15,2		27,7	22,9	24,4
Juni	21,4	20,9	4,3	34,0	12,3	17,1		18,4	27,0	18,4
Juli	27,8	26,5	15,8	25,8	23,8	13,9		8,4	15,5	17,1
Agustus	13,4	14,8	12,4	16,4	12,4	14,0	8,4	8,1	5,8	10,1
September	20,8	16,9	9,9	23,1	15,9	11,8	25,7	5,5	0,0	30,0
Oktober	18,2	19,9	23,2	23,6	21,8	11,7	20,9	9,7	7,7	18,5
November	18,9	50,1	20,4	21,2	19,7	29,5	17,0	30,7	8,5	29,2
Desember	14,9	35,1	21,8	22,4	24,4	22,0	16,5	46,8	19,8	35,6
Rata-rata	21,6	23,0	17,4	21,5	21,6	21,2	7,4	20,6	17,9	21,8

Dari data hujan bulanan tersebut, dicari nilai maksimum dari rata-rata hujan harian tiap bulan untuk dijadikan nilai hujan maksimum pada bulan tersebut (M) dengan satuan cm. Kemudian mencari nilai jumlah hari hujan pada tahun tersebut sehingga didapat nilai jumlah hari hujan (D).

Kemudian mencari jumlah nilai curah hujan bulanan rata-rata sehingga didapat nilai (R). Setelah ketiga parameter tersebut diperoleh maka dapat dicari nilai indeks erosivitas hujan dan erosivitas Hujan (R) dengan menjumlahkan indeks erosi hujan (EI₃₀) selama satu tahun dengan persamaan sebagai berikut.

$$EI_{30} = 6,119(R)^{1,21} \times (D)^{-0,47} \times (M)^{0,53}$$

$$R_{12} = \sum_{m=1}^{12} (EI_{30})$$

Erosivitas hujan adalah salah satu faktor yang menentukan dalam prakiraan besarnya erosi tanah. Secara umum karakteristik curah hujan yang turun akan berpengaruh terhadap jenis erosi yang terjadi di suatu tempat. Respon tanah terhadap curah hujan ditentukan oleh

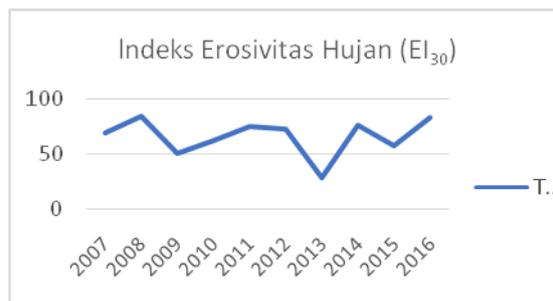
keadaan meteorologi yang terjadi pada masa lalu di tempat tersebut. Curah hujan, hari hujan, curah hujan maksimum, dan indeks erosivitas hujan selama 10 tahun (2007-2016) disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Erosivitas Hujan

No.	Tahun	R	D	M	EI ₃₀
1	2007	21.63	200	9.44	68.75
2	2008	22.97	222	13.20	84.08
3	2009	17.38	169	7.42	50.28
4	2010	21.48	221	8.65	62.13
5	2011	21.60	189	10.55	74.77
6	2012	21.23	181	9.89	72.20
7	2013	7.37	72	8.43	28.43
8	2014	20.63	157	10.25	75.99
9	2015	17.87	147	7.88	57.33
10	2016	21.82	182	12.01	82.52
Total		193.97	1740	97.72	656.48

Indeks erosivitas hujan rata-rata berdasarkan bulan selama 10 tahun terakhir di wilayah DTA Waduk

Marangkayu menunjukkan nilai tertinggi dan terendah seperti diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Indeks Erosivitas Hujan

3.2. Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Berdasarkan peta jenis tanah DTA Waduk Marangkayu yang diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Mahakam Berau (BPDASHL Mahakam Berau) yang bersumber dari PPT (Pusat Penelitian Tanah) tahun 1982, DTA Waduk Marangkayu memiliki 2 jenis tanah yaitu

jenis tanah Gleisol Distrik, dan Podzol Ortik. Luasan area untuk jenis tanah Gleisol Distrik adalah 1,11 Ha dan Podzol Ortik adalah 13.464,84 Ha.

Berikut merupakan Tabel nilai erodibilitas (K) pada DTA Waduk Marangkayu yang dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Erodibilitas Tanah pada DTA Waduk Marangkayu

No.	Jenis Tanah	Nilai Erodibilitas (K)
1	GleisolDistrik	0,20
2	PodzolOrtik	0,32

3.3. Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Hasil analisis kemiringan yang sudah dibuat kemudian diklasifikasi

ulang agar sesuai dengan kebutuhan yang di inginkan, pada penelitian ini kelas lereng pada DTA Marangkayu sebagaimana pada Tabel 4.

Tabel 4 Kelas Lereng DTA Waduk Marangkayu

No.	Jenis Tanah	Luas (Ha)	Prosentase
1	0 – 8 %	0,23	0,24
2	8 – 15 %	39,55	39,55
3	25 – 40 %	60,20	60,21

3.4. Faktor Penutupan Lahan (CP)

Faktor Pengelolaan Tanaman dan Usaha Pencegahan Erosi dapat diketahui dari Peta Penutupan Lahan DTA Waduk Marangkayu yang diperoleh dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan Wilayah IV Samarinda. Peta penutupan lahan tersebut kemudian dianalisis dengan

menggunakan pendekatan nilai (CP) penggunaan lahan oleh Abdulkrahman, dkk (1981) di dalam Hardjoamidjojo dan Sukartaatmadja (1992).

Tutupan lahan pada DTA Waduk Marangkayu sebagian besar adalah Belukar Rawa, Perkebunan dan Semak Belukar sebagaimana Tabel 5.

Tabel 5 Nilai CP pada DTA Waduk Marangkayu

No.	Konservasi dan Pengelolaan Tanaman	Nilai CP
1	BelukarRawa	0,01
2	Perkebunan	0,07
3	Semak/Belukar	0,02

3.5. Analisis Spasial Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Peta Tingkat Bahaya Erosi (TBE) diperoleh dari hasil *overlay* peta kelas erosi dengan peta solum tanah. Dengan melakukan cara yang sama seperti *overlay* peta parameter USLE yang nantinya kedua peta tersebut menjadi satu dengan membentuk polygon-polygon baru. Nilai TBE diperoleh dari

mengklasifikasikan kelas erosi dengan kedalaman tanah yang dilakukan dalam atribut Tabel.

Klasifikasi tingkat bahaya erosi (TBE) dilakukan dengan melakukan *overlay* peta kelas erosi dengan peta solum tanah. Setelah itu akan diklasifikasikan dengan melihat kelas erosi dan kedalaman solum tanah dengan hasil sebagaimana Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Klasifikasi Nilai TBE

No	TBE	KODE	LUAS (Ha)	%
1	SANGAT RINGAN	SR	6,06	0,05
2	RINGAN	R	3.580,43	26,68
3	SEDANG	S	4.260,15	31,75
4	BERAT	B	3.102,25	23,12
5	SANGAT BERAT	SB	2.469,92	18,41
JUMLAH			13.418,813	100,00

Tingkat bahaya erosi di DTA Waduk Marangkayu diperoleh 5 ragam yaitu dari sangat ringan, ringan, sedang, berat, sampai dengan sangat berat. DTA Waduk Marangkayu memiliki nilai indeks TBE dengan kategori sangatringan seluas 969,1 ha, kategori ringan seluas 3.418,25 hektar, kategori sedang seluas 3.459,29 hektar, kategori berat seluas 3.102,25 hektar dan TBE dengan kategori sangat berat seluas 2.469, 92 hektar. Hal ini perlu mendapatkan perhatian dikarenakan pada

3.6. Analisis Penentuan Lokasi Dam Penahan Sedimen

Setelah diperoleh peta Tingkat Bahaya Erosi (TBE), informasi dari peta tersebut untuk menentukan daerah mana saja yang memiliki Tingkat Bahaya Erosi yang tinggi sehingga pembangunan Dam Penahan dapat tepat sasaran dan berfungsi optimal didalam menahan laju erosi.

Penentuan lokasi dam penahan didasarkan pada ,tingkat bahaya erosi tergolong berat/sangat berat, luas daerah tangkapan 10 sampai 30 ha, kemiringan lereng 15–35%, dan tutupan lahan bukan kawasan permukiman (Manual Rancang Bangun KTA, Kementerian Kehutanan, 2015).

Dari hasil analisa yang telah dilakukan terdapat 1883 unit daerah tangkapan air dan setelah dilakukan penyaringan terhadap daerah tangkapan dengan luasan minimal 10 hektar terdapat 653 unit daerah tangkapan potensial untuk dibangun Dam Penahan.

DTA waduk marangkayu memiliki prosentasi TBE antara berat s/d sangat berat mencapai 40% dari total luasan DTA waduk marangkayu sehingga sangat diperlukan pembangunan adanya bangunan sipil teknis seperti Dam Penahan untuk menahan laju erosi.

Tingkat bahaya erosi dengan kategori sangat berat yang terjadi di DTA Marangkayu merupakan kombinasi kelas erosi III (total erosi 180 – 480/ton/tahun/ha) dan solum tanah yang dangkal (berkisar 30 – 60 cm) Kemudian dari ketiga hasil analisa tersebut dilakukan analisa (*Overlay*) untuk mendapatkan calon potensial untuk dibangun Dam Penahan yang tentunya sesuai dengan kriteria pembangunan Dam Penahan.

Dari analisa yang telah dilakukan, terdapat 295 Unit lokasi DTA yang layak untuk dibangun Dam Penahan dengan luas DTA total 4.918 hektar. Diharapkan dengan terbangunnya Dam Penahan pada areal yang memiliki Tingkat Bahaya Erosi yang tinggi ini dapat secara signifikan mengurangi erosi pada DTA Waduk Marangkayu yang pada akhirnya dapat memperpanjang usia operasional dan fungsi dari Waduk Marangkayu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan erosi dengan menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dan program ArcGIS diperoleh nilai erosi lahan yang terjadi di DTA Waduk

Marangkayu sebesar 863,8 ton/ha/tahun dari total luas lahan 13.489,392 ha.

Klasifikasi kelas erosi berdasarkan nilai erosi lahan yang terjadi di DTA Waduk Marangkayu sebagai berikut :

- 1) Kelas I seluas 6,06 ha atau 0,05 % dari luaskeseluruhan DTA Marangkayu.
- 2) Kelas II seluas 3.596,35 ha atau 26,74% dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.
- 3) Kelas III seluas 6.744,55 ha atau 50,15% dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.
- 4) Kelas IV seluas 3.101,42 ha atau 23,06% dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.

Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE) berdasarkan kelas erosi dan kedalaman solum tanah di DTA Waduk Marangkayu dengan hasil sebagai berikut :

- 1) TBE Sangat Ringan seluas 6,06 ha atau 0,05 % dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.
- 2) TBE Ringan seluas 3.580,43 ha atau 26,68 % dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.
- 3) TBE Sedang seluas 4.260,15 ha atau 31,75% dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.
- 4) TBE Beratseluas3.102,25 ha atau 23,12 % dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.
- 5) TBE Sangat Berat seluas 2.469,92 ha atau 18,41 % dari luas keseluruhan DTA Marangkayu.

Hasil analisis penentuan lokasi dam penahan diperoleh jumlah aliran yang masuk kedalam kriteria/persyaratan pembangunan Dam Penahan di DTA Waduk Marangkayu sejumlah 295 Unit .

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, Sitanala. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor : Institut PertanianBogor.
- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi danPengelolaan Daerah Aliran Sungai*.Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hermawan, Wisnu. 2003. Kajian Erosi dan Kualitas Air Limpasan pada Berbagai Kelompok Umur Tanaman Jati (Studi Kasus di RPH Ngawean, Cabak BKP Pasar Sore KPH Cepu). *Skripsi*. Fakultas Pertanian UNS.
- Herawati, Tuti. 2010. AnalisisSpasial Tingkat Bahaya Erosi di Wilayah DAS Cisadane Kabupaten Bogor. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* Vol. VII No. 4 : 413-424.
- Isma, Faiz 2014. Analisis potensi Erosi pada DAS Deli Menggunakan Sistem Informasi Geografis. *Tesis*. Universitas Sumatera Utara