

PENGENDALIAN EROSI DAN SEDIMEN DENGAN ARAHAN KONSERVASI LAHAN DI DAS GENTING KABUPATEN PONOROGO

Qodri'ah Dianasari¹, Ussy Andawayanti², Evi Nur Cahya²

¹Staf Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur, Indonesia;

²Dosen, Program Studi Magister Sumber Daya Air, Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, Malang,
Jawa Timur, Indonesia

Email : dianasari_qodriah@yahoo.com

Abstrak: Daerah Aliran Sungai (DAS) Genting terletak di Kabupaten Ponorogo Propinsi Jawa Timur. Pertambahan penduduk di DAS Genting menyebabkan perubahan pada fungsi lahan. Analisis pengendalian erosi dan sedimen dengan arahan konservasi lahan di DAS Genting sangat diperlukan untuk meminimalkan permasalahan di DAS Genting. Pendugaan laju erosi dan sedimentasi dihitung dengan model AVSWAT 2000. Hasil dari perhitungan tersebut menunjukkan besarnya limpasan permukaan 94.437 mm/thn, erosi sebesar 49.189 ton/ha/th dan sedimen sebesar 6525.440 ton/th. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan DAS Genting memiliki 5 kategori tingkat bahaya erosi, diantaranya tingkat bahaya erosi sangat ringan sebesar 43.346%, ringan sebesar 36.773%, sedang sebesar 5.859%, dan berat sebesar 10.638%, dan sangat berat sebesar 3.384% terhadap luas DAS Genting. Untuk mengendalikan tingkat bahaya erosi tersebut dilakukan upaya konservasi secara vegetatif dengan mengubah tutupan lahan perkebunan ditanami tanaman keras, sehingga mampu mereduksi erosi sebesar 21.634% dan secara mekanis dilakukan dengan pembuatan chekdam yang mampu mereduksi sedimen sebesar 16.67%.

Kata Kunci: AVSWAT 2000, Limpasan Permukaan, Erosi, Sedimen, Tingkat Bahaya Erosi, Konservasi

***Abstract:** Genting Watershed (DAS) located in Ponorogo District East Java Province. The Growth of Population in Genting Watershed resulting a changes to the land function. Analysis about Sediment and erosion control with the purpose of land conservation in Genting Watershed very needed to minimalize problems which occurred in Genting Watershed. An estimation about the rate of erotion and sedimentation conducted and modeled with AVSWAT 2000. The result showed that the amount of surface run off is 94.437 mm/year, erosion is 49.189 ton/ha/year and sedimentation is 6525.440 ton/year. From the result of the analysis, Genting Watershed has 5 categories of erosion hazardous level, the estimated amount for each erosion category against the Genting watershed area are very low erosion level 43.346%, Low erosion level 36.773%, moderate erosion level 5.859%, dan high erotion level 10.638%, and very high erotion level 3.384%. To control the erosion hazardous level, a vegetatif conservation conducted by converting the land cover resulted in 21.634% erosion reduction and 16,67% erotion reduction from the construction of checkdam.*

***Keyword:** AVSWAT 2000, surface runoff, erosion, sedimentation, Erosion Hazard Level, conservation.*

Kerusakan di Daerah Aliran Sungai (DAS) pada umumnya disebabkan karena perubahan lahan yang tidak terkendali di bagian hulu DAS sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan siklus hidrologi di DAS tersebut (Trisakti,B:2014). DAS Genting merupakan suatu kesatuan dari anak Kali Madiun yang terletak di Kabupaten Ponorogo Jawa Timur. Erosi tanah

dapat disebabkan oleh proses geomorfologi, selain itu aktivitas manusia juga merupakan salah satu faktor utama terjadinya erosi (Gelagay, HS and Minale AS.2016). Pertambahan penduduk yang terjadi di DAS Genting menyebabkan banyak perubahan pada fungsi lahan, diantaranya lahan hutan menjadi pemukiman dan persawahan, serta mengkonversi lahan pertanian menjadi perumahan

(Baja, S, etc : 2014). Konversi lahan merupakan konsekuensi logis dari peningkatan aktivitas jumlah penduduk dan pembangunan lainnya. Degradasi lahan akibat erosi tanah dari daerah hulu DAS memberikan dampak terhadap daerah sekitar dan diluar lokasi tersebut (Suyana, Jaka,dkk : 2010). Erosi tanah merupakan kejadian alam yang pasti terjadi dipermukaan daratan bumi (As-syakur : 2008). Perubahan tutupan lahan merupakan salah satu faktor pemicu terjadinya penumpukan sedimen di kawasan. Berkurangnya lahan hutan sebagai resapan, dapat mempengaruhi besarnya erosi permukaan (Ishtiyah Ahmad, Dr. M. K. Verma : 2013), sehingga ketika hujan turun terjadi peningkatan dan percepatan aliran permukaan. Oleh sebab itu beban sedimen menjadi tinggi sehingga pelumpuran pada kali tersebut begitu cepat. Selain itu, adanya perubahan morfologi pada sungai dengan kemiringan dasar curam (Bellal M., Spinewine B., Savary C. and Zech Y) juga dapat memicu terjadinya penumpukan sedimen yang tinggi pada daerah hilir, ditandai dengan kondisi beberapa *checkdam* di sekitar kawasan mengalami pendangkalan, sehingga terjadi limpasan permukaan.

Oleh karena itu, analisis pengendalian erosi dan sedimen dengan arahan konservasi lahan di

DAS Genting Kabupaten Ponorogo sangat diperlukan untuk mengetahui besaran erosi dan sedimen serta tingkat bahaya erosi, sehingga dapat dilakukan penanganan guna meminimalisir permasalahan yang ada pada DAS tersebut.

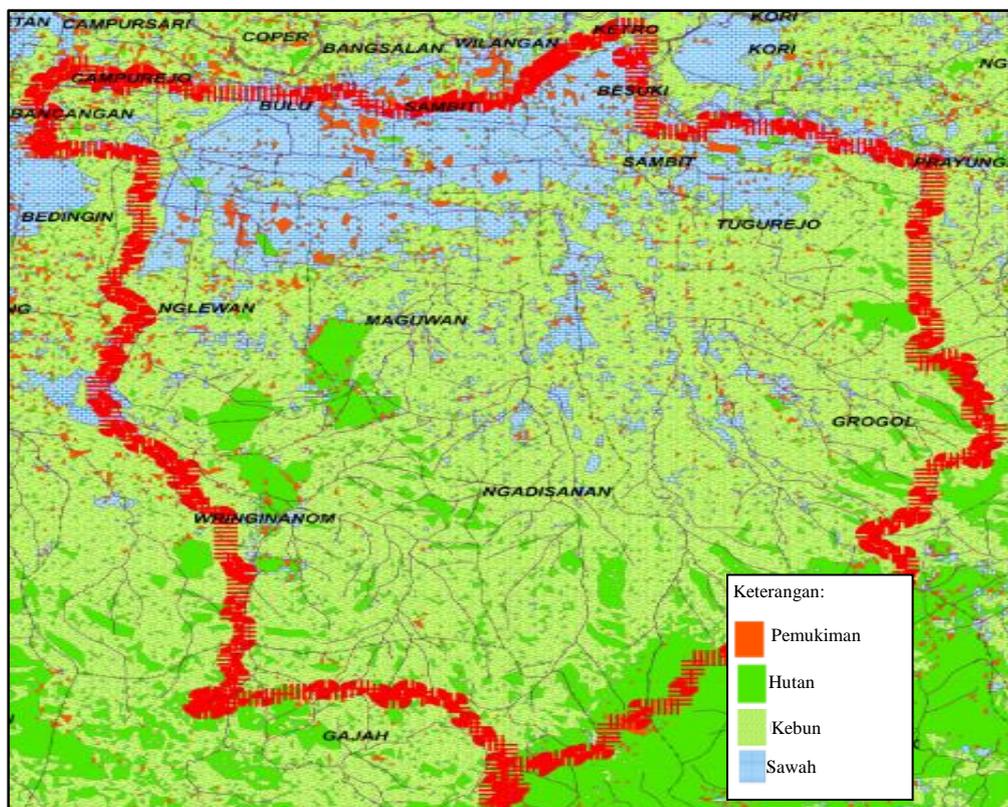
Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui besar limpasan, erosi dan sedimen serta tingkat bahaya erosi dan upaya konservasi dengan cara vegetatif maupun mekanis yang ada di DAS Genting.

Manfaat dari penelitian ini dapat menjadi pertimbangan untuk perencanaan pengelolaan dan konservasi DAS serta sebagai arahan dalam pembangunan berkelanjutan.

METODOLOGI PENELITIAN

a. Lokasi studi

Lokasi studi dalam penelitian ini terletak di DAS Genting dengan luas wilayah studi ± 43 km². Cakupan wilayah administrasi hasil penggabungan antara batas DAS dan wilayah administrasi, terdapat 12 desa diantaranya Desa Bancangan, Campurejo, Bulu, Sambit, Ketjo, Besuki, Tugurejo, Nglewan, Maguwan, Wringinanom, Ngadisanan, Grogol. Lokasi studi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Studi

b. Data yang dibutuhkan

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Data curah hujan harian tahun 2002-2016 stasiun hujan Sawoo dan stasiun hujan Wilangan.
2. Peta Topografi skala 1:25.000 dari Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang Kabupaten Ponorogo.
3. Peta administrasi Kabupaten Ponorogo.
4. Peta tata guna lahan dari Bappeda Kabupaten Ponorogo.
5. Peta curah hujan dari Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang Kabupaten Ponorogo.
6. Peta jenis tanah dari Bappeda Kabupaten Ponorogo.
7. Peta kedalaman tanah dari Bappeda Kabupaten Ponorogo.

c. Tahapan Penyelesaian

1. Pengolahan DEM (*Digital Elevation Model*)
Pengolahan DEM dalam studi ini bertujuan untuk mendapatkan representasi topologi bumi dalam bentuk DEM berformat *grid/cell* atau juga bisa disebut grid elevasi yang selanjutnya akan digunakan dalam pemodelan DAS.

2. Pemodelan Daerah Aliran Sungai (*Watershed Modelling*)

Pemodelan DAS dilakukan dengan menganalisa arah aliran dan akumulasi aliran yang diterima setiap cell.

3. Pengolahan Peta Tataguna Lahan Dan Jenis Tanah

Pengolahan peta dilakukan untuk mendapatkan analisa spasial peta tataguna lahan dan jenis tanah yang mendeskripsikan secara detail distribusi tataguna lahan dan jenis tanah pada setiap DAS dan sub DAS.

4. HRU (*Hydrologic Response Unit*)

Untuk memproses distribusi *Hydrologic Response Unit* dari setiap sub DAS, sehingga akan dihasilkan database tabel *Distrswat* yang berisi informasi penyebaran distribusi tataguna lahan dan jenis tanah pada DAS dan sub-DAS.

5. Pengolahan database pada AVSWAT 2000.

6. *Running Simulation*.

7. Analisa Hasil Simulasi

Dari hasil simulasi hidrologi, erosi dan sedimentasi menggunakan Model SWAT, akan dilakukan analisa sebagai berikut :

1. Mendapatkan hasil keluaran berupa nilai debit, erosi dan sedimen setiap sub DAS.
2. Mengkoreksi kesalahan-kesalahan apabila hasil yang didapat jauh dari hasil pengamatan di lapangan.

3. Melakukan kalibrasi sehingga hasil *running simulation* mendekati dengan hasil kenyataan di lapangan.

4. Melakukan upaya konservasi terhadap hasil dari tingkat bahaya erosi dengan cara vegetatif maupun mekanis.

5. Melakukan *running* ulang terhadap upaya konservasi dari hasil tingkat bahaya erosi.

AVSWAT adalah sebuah software yang berbasis *Sistem Informasi Geografis* (SIG) ArcView 3.3. (ESRI) sebagai ekstensi (*graphical user interface*) di dalamnya. ArcView sendiri adalah salah satu dari sekian banyak program yang berbasis SIG. AVSWAT dirancang untuk memprediksi pengaruh manajemen lahan pada aliran air, sedimen dan lahan pertanian dalam suatu hubungan yang kompleks pada suatu DAS termasuk di dalamnya jenis tanah, tata guna lahan dan manajemen kondisi lahan secara periodik. Untuk tujuan pemodelan, program AVSWAT memudahkan pengguna dengan melakukan pembagian suatu wilayah DAS yang luas menjadi beberapa bagian sub DAS untuk memudahkan dalam perhitungan struktur data yang digunakan sebagai representasi dari kondisi asli kenampakan objek yang ada di bumi.

Besarnya laju erosi dihitung menggunakan metode Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) atau Modifikasi Persamaan Umum Kehilangan Tanah (MPUKT). (SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002)

$$sed = 11,8(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{hru})^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot$$

$$C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad \dots(1)$$

Keterangan:

sed = hasil sedimen per hari (ton)

Q_{surf} = volume aliran limpasan permukaan (mm/hari)

Q_{peak} = debit puncak limpasan (m^3/dt)

$Area_{hru}$ = luas hru (ha)

KUSLE= faktor erodibilitas tanah USLE

CUSLE= faktor (pengelolaan) cara bercocok tanam USLE

LS_{USLE} = faktor topografi USLE

CRFG = faktor pecahan batuan kasar

1. Faktor erodibilitas tanah (K)

Jenis tanah yang terdapat pada lokasi penelitian ada 2 jenis yaitu alluvial dan latosol yang bersumber dari Bappeda Kabupaten Ponorogo. Sedangkan nilai erodibilitas sumber dari *Harmonized World Soil Database* (HWSD).

2. Faktor panjang-kemiringan lereng (LS)

Faktor topografi LS, besarnya laju erosi mengacu pada aliran permukaan, yaitu

tempat berlangsungnya erosi dan sedimen. Pada umumnya kemiringan lereng diperlakukan sebagai faktor yang seragam.

3. Faktor Tanaman (C)

Faktor tanaman (C) yaitu perbandingan antara besarnya erosi dari lahan yang ditanami suatu jenis tanaman terhadap besarnya erosi tanah yang tidak ditanami dan diolah bersih (Arsyad, 2006). Kemampuan tanaman untuk menutup tanah, akan mempengaruhi besar kecilnya nilai C.

$$C_{USLE} = \exp(\ln(0,8) - \ln(C_{USLE, mn})) \exp[-0,00115 \cdot rsd_{surf}] + \ln[C_{USLE, mn}] \dots(2)$$

$C_{USLE, mn}$ = nilai minimum faktor pengelolaan tanaman

rsd_{surf} = jumlah *residue* di permukaan tanah

4. Faktor Pengelolaan Tanah (P)

Faktor P adalah nisbah antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu terhadap tanah tererosi rata-rata lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi.

5. Faktor pecahan batuan kasar ini dihitung dengan persamaan: (SWAT Theoretical Documentation 2000, 2002)

$$CFRG = \exp(-0,053 \cdot rock) \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

rock = persentase batuan pada lapisan tanah

Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dihitung dengan cara membandingkan tingkat erosi di suatu satuan lahan (*land unit*) dan kedalaman tanah efektif pada satuan lahan tersebut.

Tabel 1. Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi

Solum Tanah (cm)	Kelas Bahaya Erosi				
	I	II	III	IV	V
	Erosi (ton/ha/tahun)				
	<15	15-60	60-180	180-480	>480
Dalam (>90)	SR	R	S	B	SB
Sedang (60-90)	R	S	B	SB	SB
Dangkal (30-60)	S	B	SB	SB	SB
Sangat dangkal (<30)	B	SB	SB	SB	SB

Sumber : Permenhut No. P32/Menhut-II/2009

Keterangan :

SR = Sangat Ringan

R = Ringan

S = Sedang

B = Berat

SB = Sangat Berat

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limpasan Permukaan

Perubahan dari tataguna lahan 2010 dan 2016 terjadi peningkatan rata-rata debit limpasan permukaan di DAS Genting sebesar 2.22%. Dapat dilihat pada Gambar 2 dan nilai limpasan permukaan DAS Genting tahun 2016 sebesar 94.437 mm/tahun. Nilai tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya adanya perubahan tutupan lahan, jenis tanah, kelerengan sungai juga menjadi salah satu pengaruh dari peningkatan nilai limpasan tersebut.

Laju Erosi

Hasil simulasi AVSWAT nilai *sediment yield* atau laju erosi untuk masing-masing kondisi tataguna lahan tahun 2010 sebesar 40.389 ton/ha/thn dan tahun 2016 meningkat menjadi 49.189 ton/ha/thn. Dari hasil perbandingan kondisi tataguna lahan tersebut terjadi peningkatan laju erosi 22% sebesar 8.800 ton/ha/thn. Salah satu faktor dari peningkatan laju erosi tersebut adalah adanya perubahan pada tutupan lahan sehingga lahan resapan di lokasi tersebut berkurang. Ketika terjadi hujan, maka tanah akan mudah terkikis dan terjadilah erosi. Selain hal tersebut diatas, jenis tanah dan kelerengan juga merupakan faktor yang berpengaruh terhadap laju erosi tersebut. Perbandingan laju erosi pada tataguna lahan tahun 2010 dan tahun 2016 dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan kondisi laju erosi persub DAS dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.

SEDIMENTASI

Dari hasil simulasi AVSWAT 2000 nilai sedimen untuk masing-masing kondisi tataguna lahan tahun 2010 sebesar 5.890,89 ton/ha/th dan tahun 2016 meningkat menjadi 6.525,44 ton/ha/thn. Dari hasil perbandingan pada kondisi tataguna lahan terjadi peningkatan sedimen sebesar 11%. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6. Peningkatan sedimen tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satu faktor tersebut adalah faktor tutupan lahan yaitu berkurangnya lahan hutan yang secara otomatis ketika hujan turun lahan resapan berkurang sehingga tanah mudah terkikis dan terjadilah erosi. Erosi tersebut akan terbawa oleh aliran sehingga terjadi penumpukan sedimen. Tingginya sedimen di sungai akan berpengaruh pada berkurangnya kapasitas sungai dan *checkdam* di lokasi tersebut, sehingga

terkadang pada musim hujan air di sungai meluap dan menyebabkan genangan. Oleh karena itu analisis pengendalian erosi dan sedimen dengan arahan konservasi lahan di DAS Genting Kabupaten Ponorogo sangat diperlukan untuk mengurangi permasalahan tersebut.

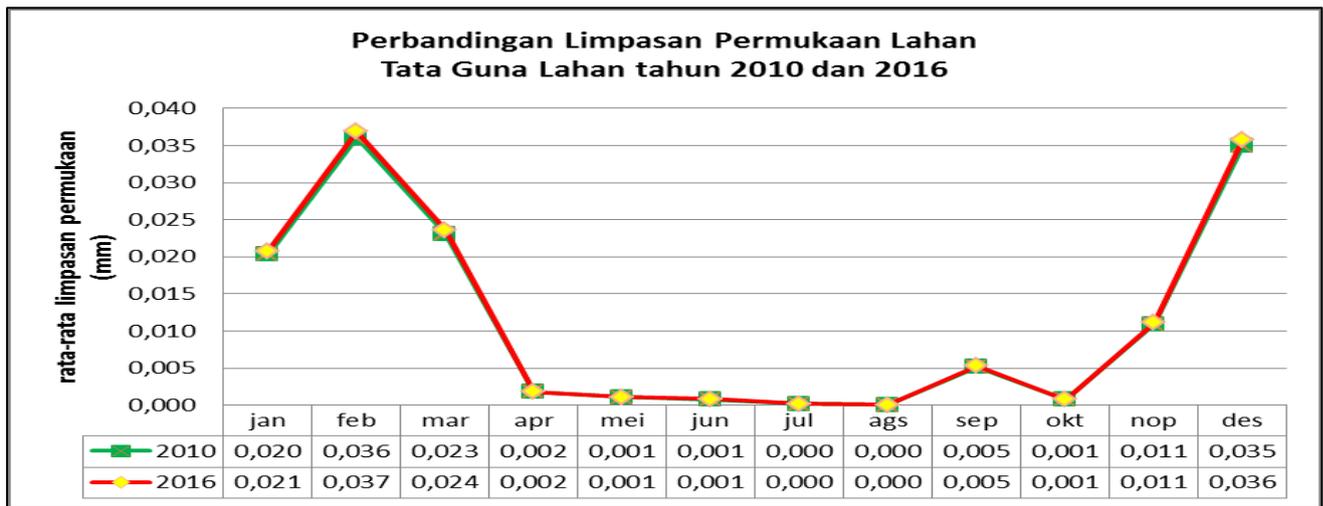
terdapat 5 kategori, yaitu tingkat bahaya erosi sangat ringan, ringan, sedang, berat dan sangat berat. Pada tahun 2016 kondisi tingkat bahaya erosi pada DAS Genting mengalami peningkatan pada kategori berat yaitu dari luasan 2.34 ha menjadi 4.58 ha. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1, Gambar 7. Sedangkan untuk peta lokasi tingkat bahaya erosi dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9.

Tingkat Bahaya Erosi

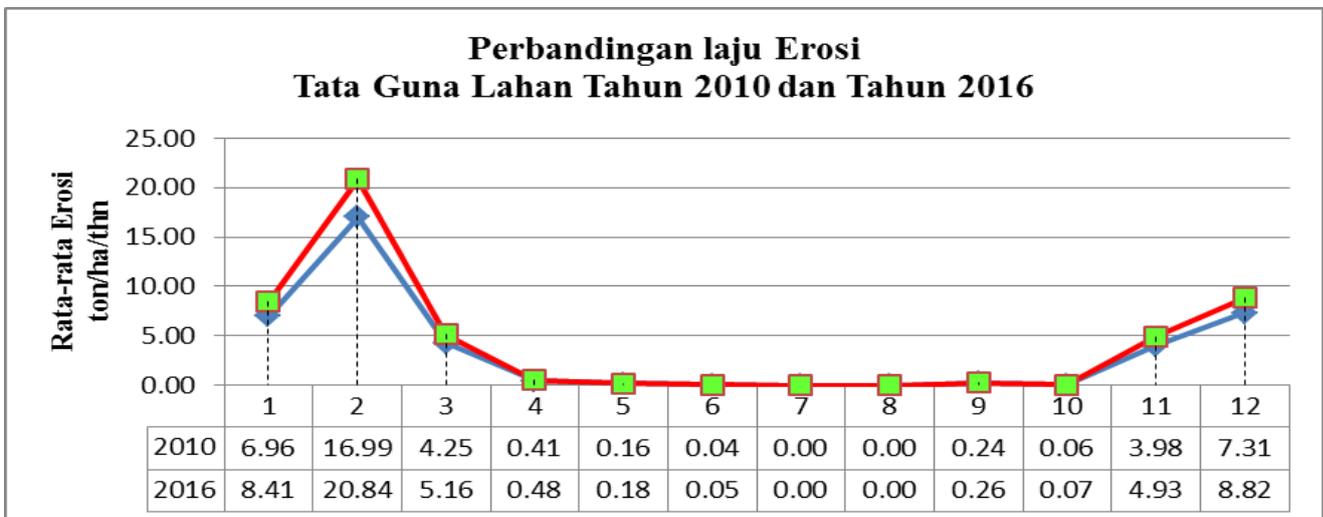
Kondisi tingkat bahaya erosi di DAS Genting berdasarkan tata guna lahan tahun 2010 dan 2016

Tabel 1. Tingkat bahaya Erosi DAS Genting Tahun 2010 dan Tahun 2016

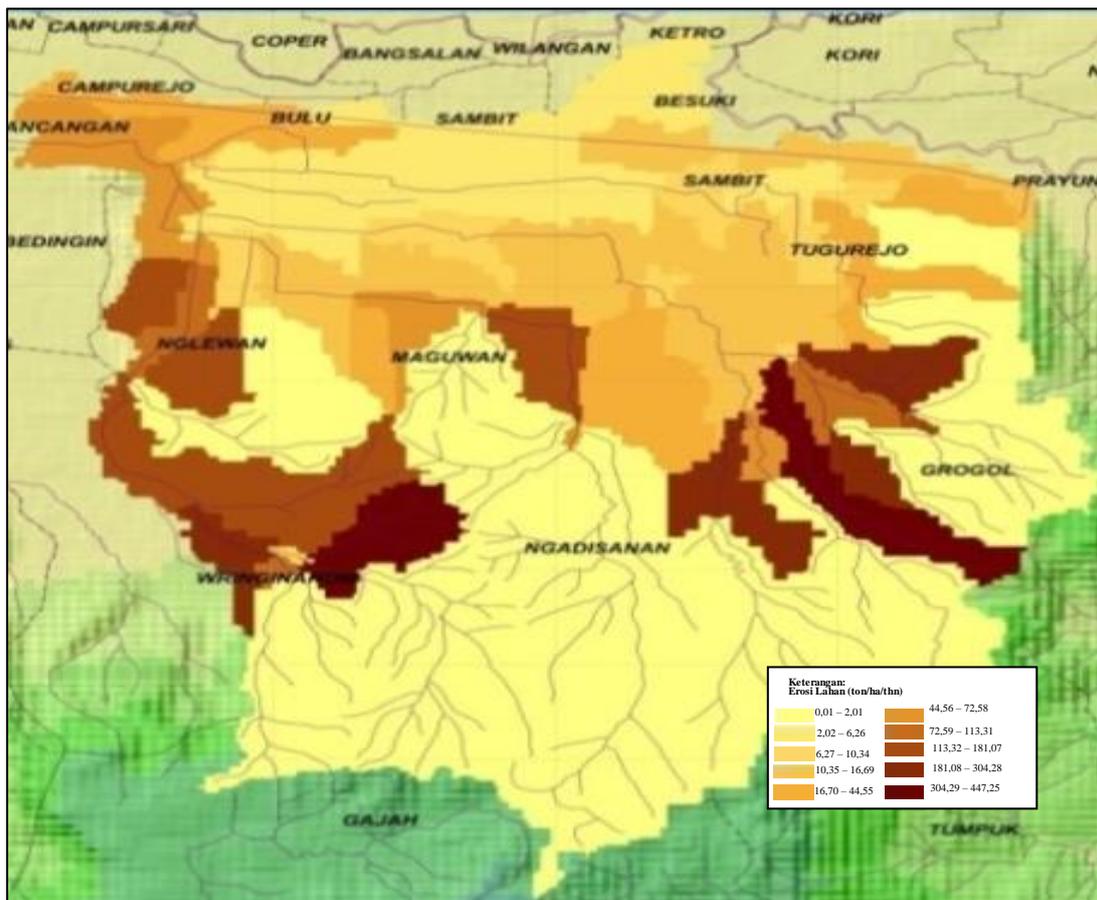
Tingkat Bahaya Erosi	2010		2016	
	Luas (ha)	%	Luas (ha)	%
Sangat Ringan (SR)	18.70	43.42	18.67	43.35
Ringan (R)	16.37	38.00	15.84	36.77
Sedang (S)	4.20	9.75	2.52	5.86
Berat (B)	2.34	5.44	4.58	10.64
Sangat Berat (SB)	1.46	3.38	1.46	3.38
Total Luas	43.07	100%	43.07	100%



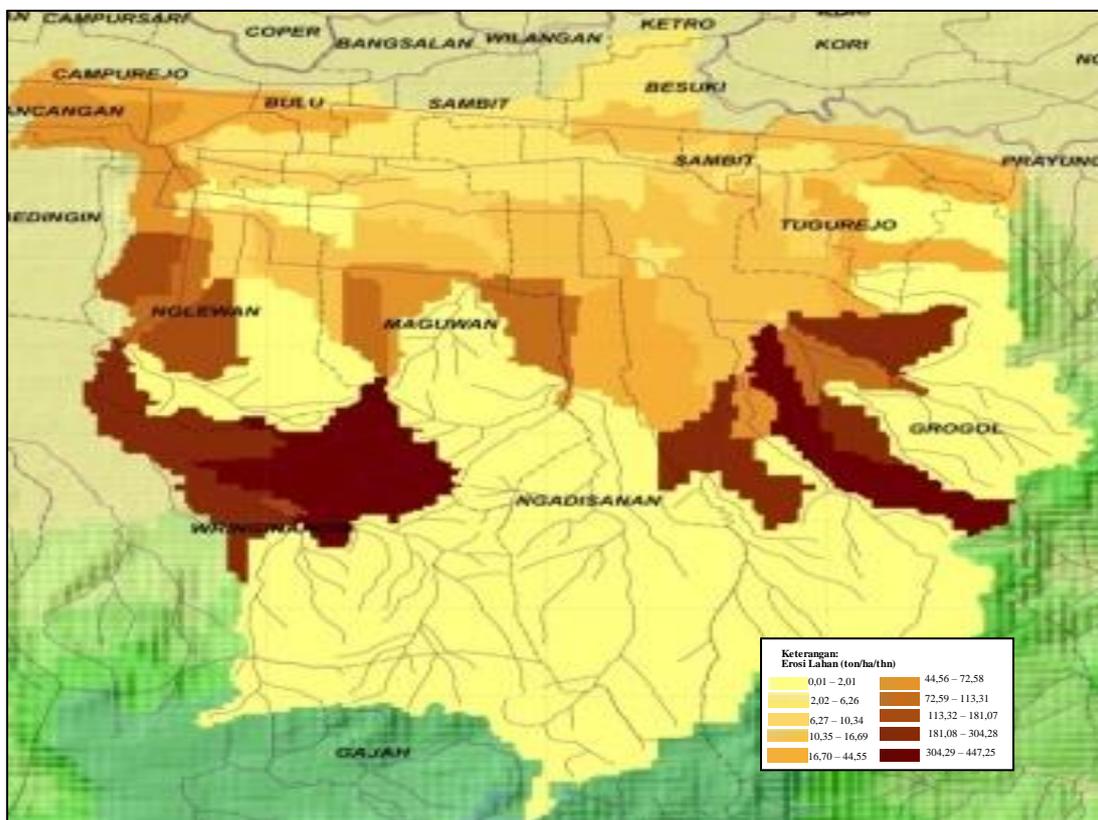
Gambar 2. Grafik perbandingan limpasan permukaan tataguna lahan 2010 dan 2016



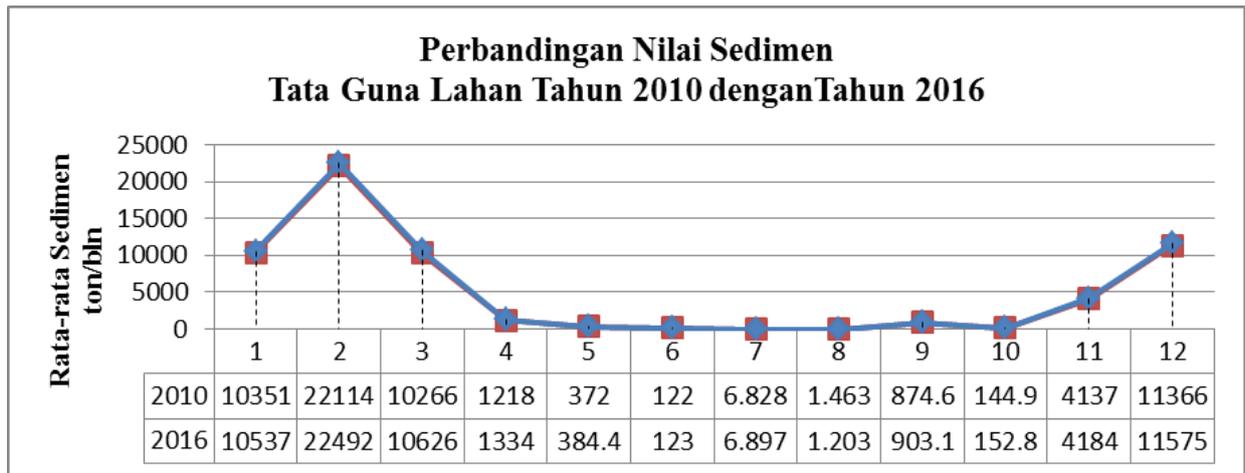
Gambar 3. Grafik perbandingan Laju Erosi Tataguna Lahan Tahun 2010 dan 2016



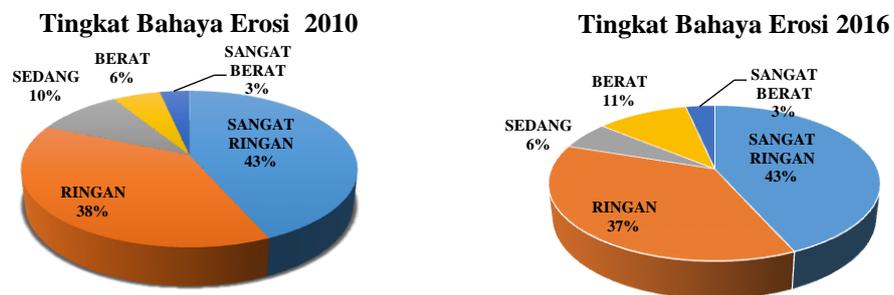
Gambar 4. Peta Sebaran Laju Erosi Tataguna Lahan Tahun 2010



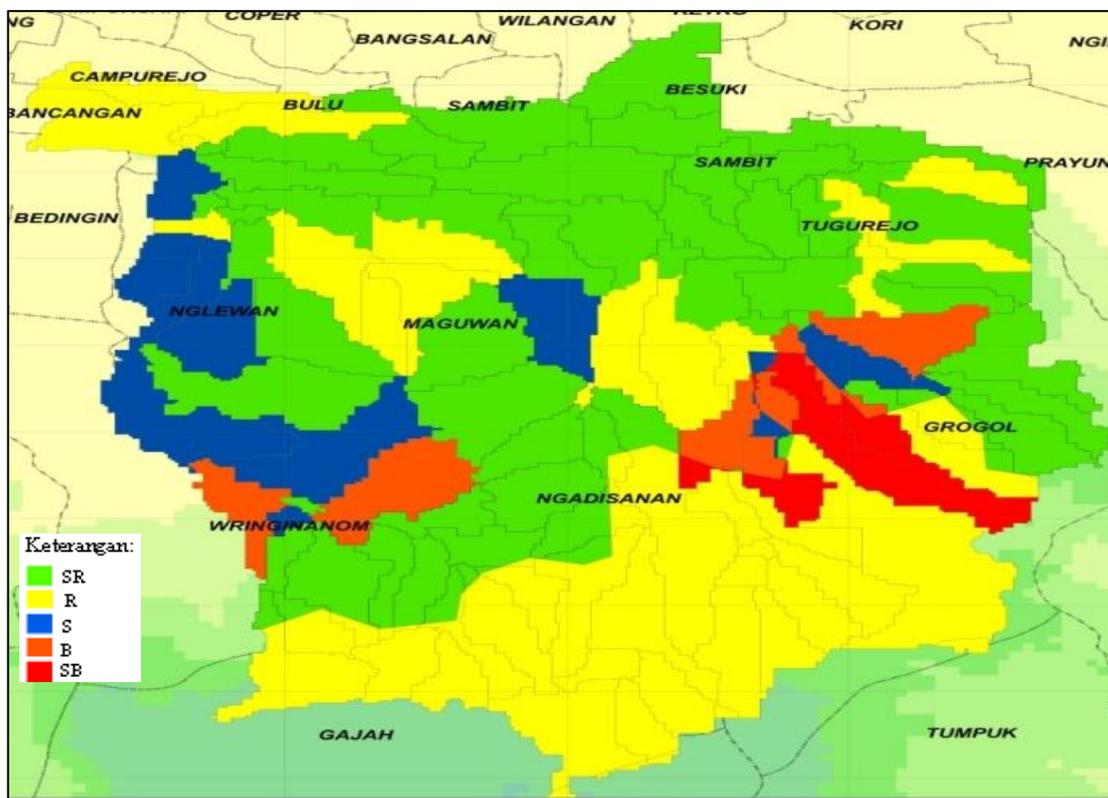
Gambar 5. Peta Sebaran Laju Erosi Tataguna Lahan Tahun 2016



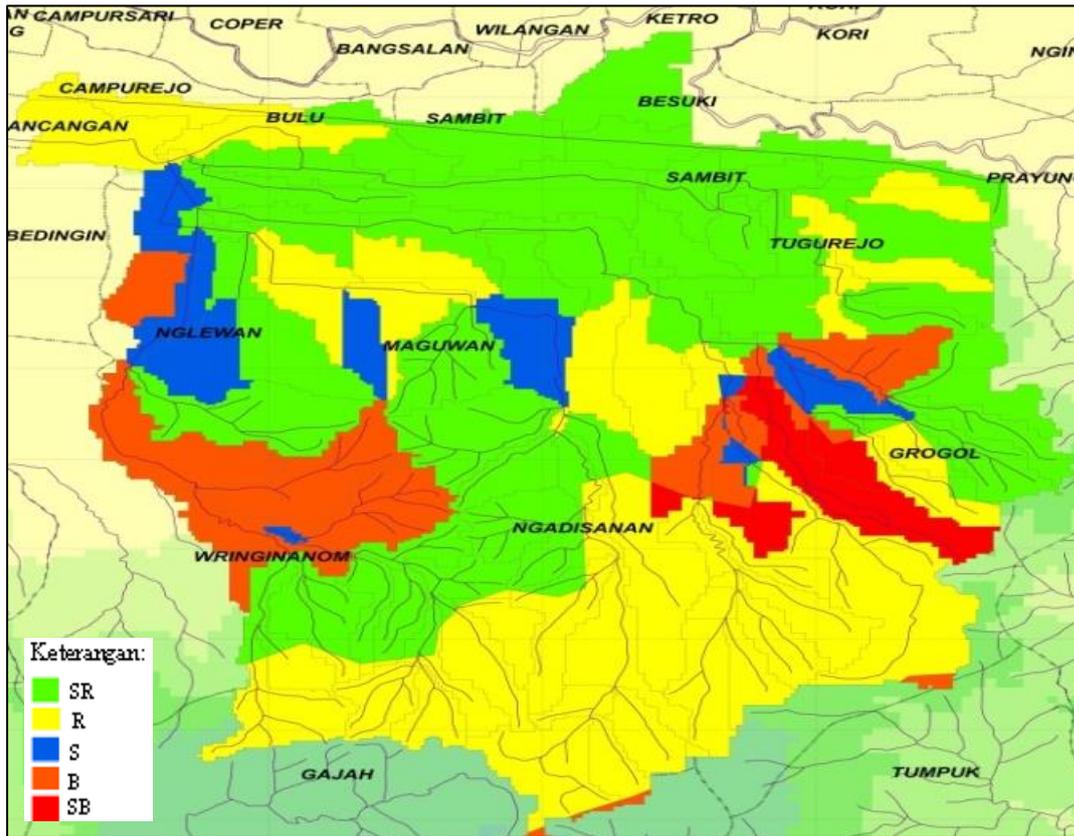
Gambar 6. Grafik perbandingan Nilai Sedimen Pada Tata Guna Lahan Tahun 2010 dan 2016



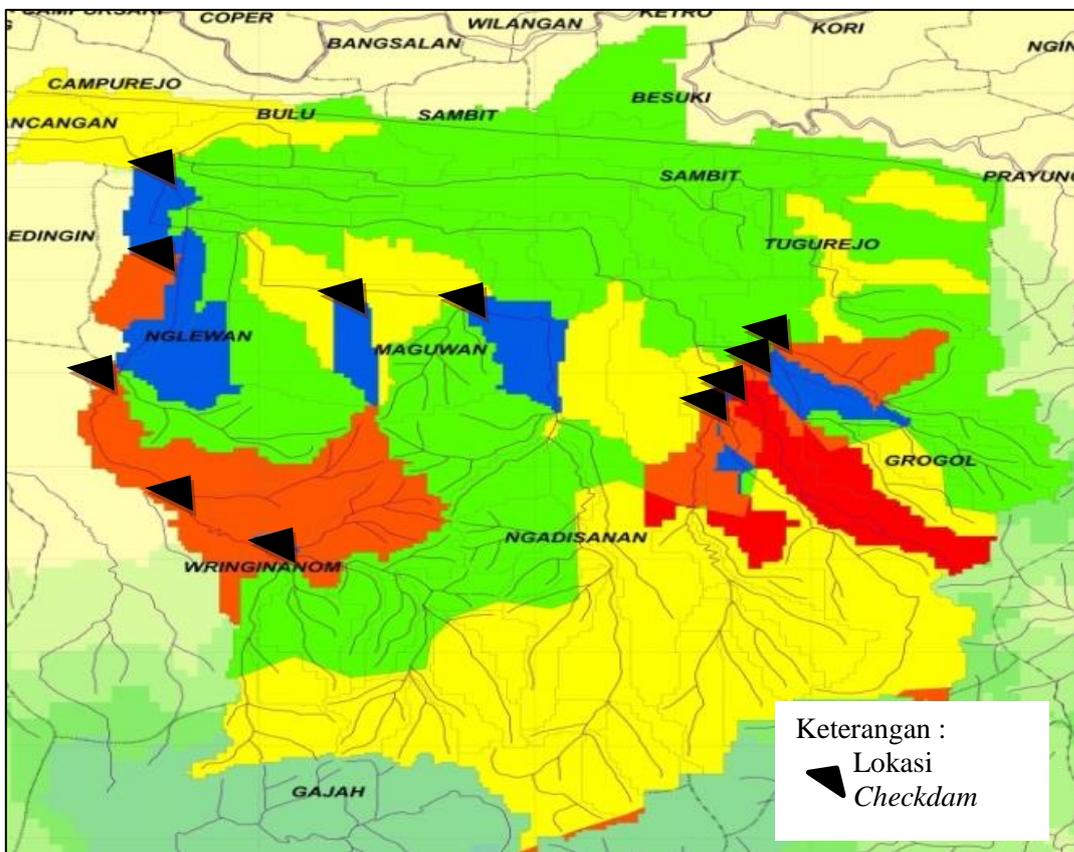
Gambar 7. Grafik Tingkat Bahaya Erosi Pada Tataguna Lahan Tahun 2010 dan 2016



Gambar 8. Peta Tingkat Bahaya Erosi Tataguna Lahan Tahun 2010



Gambar 9. Peta Tingkat Bahaya Erosi Tataguna Lahan Tahun 2016



Gambar 10. Peta Lokasi Penempatan *Checkdam*

Arahan Konservasi Lahan Secara Vegetatif

Dalam studi ini, berdasarkan tingkat bahaya erosi pada tata guna lahan tahun 2016, penanganan vegetatif yang dilakukan yaitu dengan menanam tanaman-tanaman keras seperti pohon pinus, jati dan mahoni pada tingkat bahaya erosi sedang, berat dan sangat berat. Dalam hal ini tata guna lahan yang bisa dirubah atau dilakukan penghutanan adalah pada lahan perkebunan/tegalan/semak belukar. Berdasarkan hasil simulasi secara vegetatif nilai erosi dari 49.189 ton/ha/th berkurang menjadi 40.440 ton/ha/th. Dengan arahan konservasi secara vegetatif yang telah dilakukan di DAS Genting, laju erosi dapat tereduksi sebesar 21.634% dari besarnya laju erosi yang ada di lahan.

Secara Mekanis

Upaya untuk mengurangi besarnya sedimen yang masuk ke badan sungai adalah dengan menangkap inflow sedimen menggunakan bangunan *checkdam*. Bangunan *checkdam*/pengendali sedimen yang diletakkan pada sub DAS yang memiliki tingkat bahaya erosi sedang, tingkat bahaya erosi berat dan tingkat bahaya erosi sangat berat dapat mereduksi sedimen sebesar 16.67%. Peta penempatan lokasi *checkdam* dapat dilihat pada Gambar 10.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan pada analisa data dan pembahasan sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain sebagai berikut:

1. Dari hasil *Running AVSWAT 2000* untuk nilai limpasan permukaan DAS Genting tahun 2016 sebesar 94.437 mm/thn, nilai erosi sebesar 49.189 ton/ha/th, sedangkan untuk nilai sedimen rata-rata sebesar 6525.440 ton/th.
2. Berdasarkan Tingkat Bahaya Erosi, pada DAS Genting memiliki tingkat bahaya erosi sangat ringan sebesar 43.346% dengan luas 18.67 ha, tingkat bahaya erosi ringan sebesar 36.773% dengan luas 15.84 ha, tingkat bahaya erosi sedang sebesar 5.859% dengan luas 2.52 ha, tingkat bahaya erosi berat sebesar 10.638% dengan luas 4.58 ha, dan tingkat bahaya erosi sangat berat sebesar 3.384% dengan luas 1.46 ha.
3. Upaya konservasi yang dilakukan untuk pelestarian DAS Genting dengan menggunakan metode konservasi secara vegetatif dan mekanis. Dengan metode konservasi secara vegetatif yaitu dilakukan penghutanan dengan menanam tanaman keras

seperti pohon pinus, jati dan mahoni pada sub DAS dengan tingkat bahaya erosi sedang, berat dan sangat berat dapat mereduksi erosi sebesar 21.634%. Sedangkan konservasi lahan secara mekanis dilakukan dengan membuat *checkdam*/bangunan pengendali dapat mereduksi sedimen sebesar 16.67% pada sub DAS yang memiliki tingkat bahaya erosi sedang, berat dan sangat berat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar serta staf di Fakultas Teknik, Program Magister dan Doktor Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, atas beasiswa kedinasan program magister. Badan Kepegawaian Daerah Kabupaten Ponorogo, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kabupaten Ponorogo dan instansi terkait lainnya. Serta teman-teman Karyasiswa Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Program Magister Sumber Daya Air.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Ishtiyah and M. K. Verma, 2013, "Application of USLE Model and GIS In Estimation Of Soil Erosion for Tandula Reservoir", *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 4, April 2013)
- Anonim, Pemerintah RI, "Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.32/Menhut-II/2009, Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai"
- Arsyad, S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB. Bogor
- Asdak, Chay. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- As-syakur, A. 2008. "Prediksi Erosi Dengan Menggunakan Metode USLE Dan Sistem Informasi Geografis (SIG) Berbasis Pikel Di Daerah Tangkapan Air Danau Buyan". Pusat Penelitian Lingkungan Hidup (PPLH). Universitas Udayana.
- Asmaranto Runi, dkk. 2011. "Aplikasi Model AVSWAT 2000 untuk Memprediksi Erosi, Sedimen dan Limpasan di DAS Sampean", *Jurnal Teknik Pengairan*. Universitas Brawijaya. Malang. <http://JurnalpengairanUb.ac.id/index/php/jtp/article/view/123>.

- Baja, S. and Nurmiaty, and Samsu Arif. 2014 "GIS-Based Soil Erosion Modeling for Assessing Land Suitability in the Urban Watershed of Tallo River, South Sulawesi, Indonesia", Canadian Center of Science and Education, Vol. 8, No. 4.
- Bellal M., Spinewine B., Savary C. and Zech Y. "Morphological Evolution Of Steep-Sloped River Beds In The Presence Of A Hydraulic Jump: Experimental Study" XXX IAHR Congress - AUTH, Thessaloniki, Greece, Civil and Environmental Eng Dept, Université catholique de Louvain, Place du Levant 1, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgu.
- Bisri, Muhamad. 2009. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. C.V. Asrori. Malang.
- Capart, H, Bellal, M, Boxus, L, De Roover, C, Zech, Y. (1998), "Approach to morphological equilibrium for steep-sloped river beds", River sedimentation - Theory and Applications, Proceedings of the seventh International Symposium on River Sedimentation, Hong Kong, 16-18 December 1998, pp 231-237. Balkema, Rotterdam.
- Gelagay, HS. and Minale, AS. 2016 "Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia", Journal of International Soil and Water Conservation Research 4 (2016) 126–136.
- Hidayatullah, M. 2008. *Rehabilitasi Lahan dan Hutan di Nusa Tenggara Timur*. Jurnal Info Hutan. Vol. V No. 1 :17-24
- Suyana, J. and Komariah, and Masateru Senge, 2010, "Conservation Techniques for Soil Erosion Control in Tobacco-Based Farming System at Steep Land Areas of Progo Hulu Subwatershed, Central Java, Indonesia ", World Academy of Science, Engineering and Technology 41 2010.
- Seiji Okamura, et al. 2013 "Bed variation analysis using the sediment transport formula considering the effect of river width and cross-sectional form in the Ishikari River mouth" *Floods: From Risk to Opportunity* (IAHS Publ. 357, 2013), IDEA Consultants, Inc., Komazawa, Setagaya-ku, Tokyo, Japan.
- Taufiq, 2016, *Studi Upaya Konservasi Lahan Berdasarkan Indikator Erosi Dan Sedimen Di DAS Jragung*, Tesis, Universitas Brawijaya. Malang.
- Trisakti, B. 2014 "pendugaan laju erosi tanah menggunakan data satelit landsat dan spot (soil erosion rate estimation using landsat and spot)", Peneliti Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lapan.