

METODE EROSIVITAS HUJAN DAN MODEL SEDIMENT DELIVERY RATIO UNTUK PRAKIRAAN EROSI DAN SEDIMENTASI PADA BENDUNGAN TILONG

Judi K. Nasjono^{1*}, Elsy Hangge¹, dan Maria Kelen²

¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Kupang

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Kupang

*judi.nasjono@staf.undana.ac.id

Pemasukan: 23 April 2021 Perbaikan: 25 Mei 2021 Diterima: 31 Mei 2021

Intisari

Tulisan ini menjabarkan teknik dan ilmu dalam memperoleh *Sediment Delivery Ratio* (SDR) di Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendungan Tilong. Besar erosi lereng yang terjadi dalam daerah aliran sungai diperkirakan menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE). Parameter indeks erosivitas diperoleh menggunakan metode Bols, Utomo dan Lenvain, parameter erodibilitas tanah berdasarkan karakteristik dari tiga jenis tanah dalam DAS, sedangkan parameter indeks topografi beserta indeks vegetasi penutupan lereng diperoleh dengan memanfaatkan metode *Geographic Information System* (GIS). Besar sedimentasi diperoleh dari hasil pengukuran dengan metode *echosounding* di waduk Bendungan Tilong, pengukuran telah dilaksanakan sebanyak dua kali. Hasil pengukuran *echosounding* dan perkiraan erosi dari tahun 2002 – 2006 dipergunakan untuk menghasilkan SDR. Keandalan model diperiksa memakai data pengukuran tahun 2007 – 2015. Terdapat tiga nilai SDR hasil analisis menggunakan tiga metode erosivitas, dengan relatif bias terkecil bila menggunakan metode Bols dan relatif bias terbesar menggunakan metode Lenvain

Kata Kunci : erosi, sedimentasi, bendungan Tilong

Latar Belakang

Erosi tanah dan sedimentasi pada aliran sungai adalah proses geomorphologi yang diperburuk dengan degradasi tanah dan merupakan ancaman terhadap konservasi lingkungan. Perkiraan mengindikasikan seperenam luas lahan didunia dipengaruhi oleh erosi air (Alatorre, *et al* 2010). Mengetahui perkiraan erosi memungkinkan daerah kritis diidentifikasi dan diperbaiki untuk meminimalisir erosi, sedangkan perkiraan sedimentasi memungkinkan waktu pemenuhan kapasitas waduk atau pengurangan waktu layanan bendungan diketahui sehingga persiapan untuk mengatasinya dapat dilakukan dengan baik. Oleh karena itu ke dua hal tersebut perlu mendapat perhatian.

Hubungan langsung erosi dan sedimentasi pada sebuah model belum dapat dilakukan apabila ketersediaan data yang lengkap sulit dipenuhi pada lokasi yang ditinjau, data yang lengkap membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Penerapan *Sediment delivery ratio* (SDR) terhadap jumlah erosi dapat menjadi teknik yang

tepat dan murah jika model SDR dapat diperkirakan dengan baik (Williams, 1977). SDR didefinisikan sebagai fraksi erosi yang diangkut dari daerah tangkapan tertentu dalam interval waktu tertentu (Lu, *et al*, 2006).

Telah tersedia banyak model untuk memprediksi erosi sebelum ini, model SDR dan lokasi penerapannya disajikan oleh Lei dkk (2017), model umumnya di bagi dalam model empiris dan model berbasis proses (Zhu, 2015). Model berbasis proses umumnya membutuhkan kalibrasi yang intensif terhadap parameter masukan dengan pengumpulan data lapangan yang sangat banyak. Pengumpulan data yang banyak cenderung menimbulkan ketidakpastian pada hasil analisis. Oleh sebab itu model empiris masih layak dipergunakan untuk memprediksi erosi tanah. Model empiris banyak dipergunakan karena mempunyai struktur yang sederhana dan mudah penerapannya (Amore, *et al*, 2004).

Universal Soil Loss Equation (USLE) adalah model empiris erosi tanah yang paling banyak dipergunakan. USLE memperkirakan tingkat erosi secara kasar dari suatu luasan sebagai hasil perkalian koefisien-koefisien empiris yang harus di evaluasi secara saksama. Metode USLE berasal dari Amerika Serikat namun telah banyak yang mengaplikasikan model ini di Indonesia (Sisinggih, *et al*, 2005; Sandi *et al*, 2016; Amri, *et al*, 2017;). Ketika metode USLE diterapkan, kehati-hatian perlu dilakukan dalam mengenali hubungannya dengan pengamatan pada kasus yang ada (Amore *et al.*, 2004).

Model yang menghitung perkiraan erosi lahan selalu berhubungan dengan banyak parameter seperti jenis tanaman, pola tanam, kemiringan lahan, jenis tanah dan iklim (hujan). Ada beberapa model parameter hujan tersedia di Indonesia. Dua model yang disarankan oleh pemerintah melalui Departemen Kehutanan yaitu metode Bols dan Lenvain, selain itu beberapa peneliti telah mengembangkan model erosivitas antara lain model Utomo (1989). Parameter lain bila tersedia dalam bentuk peta akan mudah di kuantitatifkan menggunakan *Geographic Information System* (GIS). GIS menyediakan sarana yang memudahkan penelitian erosi tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan SDR dan mencari model erosivitas hujan yang cocok di daerah aliran sungai bendungan Tilong, NTT. Curah hujan harian diperoleh dari stasiun Baun. Memanfaatkan data spasial mengenai tanaman, sebaran tanah, kemiringan lahan dan tata guna lahan menggunakan QGIS untuk menyediakan parameter bagi USLE dalam memprediksi erosi. Menggunakan hasil pengukuran *echosounding* pada bendungan Tilong untuk menentukan sedimentasi.

Metodologi Studi

Bendungan Tilong adalah satu-satunya sumber air permukaan di daerah semi kering Pulau Timor, NTT, secara geografis terletak pada 10°10'15,48" LS dan 123°44'43,42" BT. Dibangun untuk keperluan pemenuhan air bersih bagi masyarakat kota Kupang dan air untuk irigasi, beroperasi sejak tahun 2002. Luas daerah aliran sungai (DAS) bendungan Tilong 33,969 km². Sejak bendungan beroperasi telah dilakukan pengukuran menggunakan *echosounding* sebanyak dua kali yaitu tahun 2006 dan 2015.

Perkiraan erosi pada daerah Aliran Sungai Tilong diperoleh menggunakan persamaan USLE, besar sedimentasi yang terjadi di waduk Tilong diperoleh dari hasil pengukuran. model nilai SDR ditetapkan menggunakan data erosi dan sedimentasi dari periode tahun 2002-2006, dengan memakai nilai SDR ini, dihitung besar erosi yang terjadi antara tahun 2007 -2015. Bias relative besar erosi terhitung dengan erosi menggunakan USLE pada periode yang sama dipergunakan untuk menentukan jenis metode erosivitas. Bias relative terkecil dari ketiga jenis metode erosivitas diambil sebagai metode yang cocok dipergunakan untuk memperkirakan erosi dan sedimentasi di bendungan Tilong.



Gambar 1. Lokasi Studi

Persamaan empiris USLE untuk memperkirakan besar erosi secara kuantitatif adalah

$$A = EI \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

dengan keterangan:

A = laju erosi tanah (ton ha⁻¹ tahun⁻¹),

EI = Indeks erosivitas curah hujan (ton ha⁻¹)(cm jam⁻¹),

K = Indeks erodibilitas tanah (ton ha⁻¹ tahun⁻¹ per satuan EI),

L = indeks panjang lereng (m),

S = indeks kemiringan lereng (%),

C = indeks vegetasi penutupan lahan (-)

P = adalah indeks konservasi lahan (-)

Indeks erosivitas curah hujan memberikan nilai terhadap benturan butiran air hujan pada tanah serta mencerminkan laju erosi permukaan yang berhubungan dengan kejadian hujan. Tidak terdapat stasiun hujan dalam DAS Bendungan Tilong, namun

ada beberapa stasiun di luar DAS, tetapi hanya satu mempunyai jarak yang relatif dekat dengan DAS Bendungan Tilong yaitu stasiun curah hujan Baun. Stasiun tersebut tidak mengukur erositivitas curah hujan sehingga untuk menentukan indeks erositivitas dipergunakan persamaan Bols atau Lenvain (Lampiran Peraturan Menteri Kehutanan No. 32/MENHUT-II/2009). Pemilihan persamaan Bols karena baik tingkat keakurasiannya (Sandi *et al*, 2016) dan baik untuk diterapkan di pulau Bali. Adapun persamaan Bols adalah sebagai berikut

$$R_m = 6,119R^{1,21}D^{-0,47}M^{0,53} \quad (2)$$

dengan keterangan:

R = tinggi hujan rata-rata bulanan (cm),

D = jumlah hari hujan bulanan

M = hujan maksimum bulanan (cm).

Erosivitas tahunan Persamaan Lenvain adalah sebagai berikut:

$$R_m = 2,21R^{1,36} \quad (3)$$

dengan keterangan:

R = tinggi hujan bulanan.

Erosivitas tahunan adalah $EI = \sum_1^{12} R_m$.

Sedangkan persamaan Utomo (Utomo 1989) dinyatakan sebagai berikut

$$EI = 10,80 + (4,15 R) \quad (4)$$

Daya tahan butiran tanah untuk menjelma menjadi material erosi didasarkan pada indeks erodibilitas tanah. Indeks ini menyatakan tingkat kehilangan tanah per erositivitas pada petak percobaan (Wischmeier *et al*, 1978). Untuk studi ini nilai K dihitung menggunakan persamaan

$$K = \{2,71 \times 10^{-4}(12-OM)M^{1,14} + 3,25(S - 2) + 2,5(P - 3)\}/100 \quad (5)$$

dengan keterangan:

K = indeks erodibilitas tanah,

OM = persentase unsur organik,

S = kode klasifikasi struktur tanah,

P = permeabilitas tanah dan

M = Persentase ukuran partikel (% debu+pasir sangat halus)x(100-% liat).

Sebanyak enam sampel tanah dikumpulkan dan lokasinya direkam menggunakan GPS. Kedalaman tanah tiap lokasi pengambilan sampel adalah 40 cm. Kode klasifikasi tanah ditetapkan berdasarkan kualifikasi ukuran diameter tanah yaitu Granuler sangat halus (< 1 mm) adalah 1, Granuler halus (1 sampai 2 mm) adalah 2, Granuler sedang sampai kasar (2 sampai 10 mm) adalah 3 dan berbentuk blok, blocky, plast, masif adalah 4.

Proses aliran permukaan dan angkutan sedimen banyak dipengaruhi oleh indeks topografi. Dalam menentukan karakteristik topografi, data yang sering dipergunakan adalah *digital elevation model* (DEM). Menggunakan program berbasis GIS, data DEM dapat diolah untuk menghasilkan kemiringan lereng secara spasial. Berdasarkan SK Dirjen BPDASP No. P.7/DAS-V/2011 Nilai indeks

topografi dengan kemiringan 0-5% adalah 0,25; kemiringan 5 – 15% adalah 1,2; kemiringan 15 – 35% adalah 4,25; kemiringan 35 – 50% adalah 9,5 dan kemiringan > 50% adalah 12

Indeks C didefinisikan sebagai perbandingan kehilangan tanah dari tumbuhan pada kondisi tertentu dengan hubungan manajemen tanaman tertentu terhadap lahan yang identik. Untuk penelitian ini nilai C didasarkan dari peta digital rupa bumi Indonesia (RBI) yang di keluarkan oleh Bakosurtanal. Dari peta digital tersebut terdapat enam macam penutupan lahan terdiri Permukiman, Kebun campuran kerapatan sedang, Sawah, Ladang, Hutan serasah kurang, Semak / Padang rumput dan Tanah kosong. Nilai C berkaitan dengan penutupan lahan tersebut diambil dari daftar C pengelolaan tanaman dan penutupan lahan (Asdak, 2010) seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai index C untuk berbagai tipe penutupan lahan

Penggunaan lahan	Nilai C
Permukiman	1,000
Kebun campuran kerapatan sedang	0,200
Sawah	0,010
Ladang	0,400
Hutan serasah kurang	0,005
Semak / Padang rumput	0,300
Tanah kosong	1,000

Sumber: Asdak 2010

Konservasi lahan bertujuan untuk mencegah degradasi pada lahan, terutama untuk mencegah erosi pada tanah. Banyak teknik yang telah dicoba dan berhasil. Umumnya teknik konservasi tanah meliputi teknik konservasi secara vegetatif (Subagyono, Marwanto, *et al*, 2003), dan mekanis (Wahyudi, 2014). Agak sulit dalam menentukan indeks konservasi lahan berdasarkan sebaran spasial. Umumnya semakin besar kemiringan lahan semakin terbuka diterapkan teknik konservasi lahan tersebut

SDR secara tradisional di jabarkan sebagai efisiensi transportasi DAS, digambarkan sebagai

$$SDR = \frac{Y}{E} \quad (6)$$

dengan keterangan:

Y = rerata sedimen pada suatu daerah

E = erosi yang terjadi pada daerah yang sama (Lu *et al.*, 2006).

Rumitnya hubungan antara proses terjadinya sedimentasi dengan karakteristik DAS (Walling, 1983) memungkinkan memilih SDR secara empirik. Pemilihan model empirik juga ditunjang dengan kondisi data sedimentasi pada waduk Tilong yang sangat terbatas.

Tingkat keakuratan model biasanya diukur secara kualitatif dengan membandingkan penyimpangan antara kondisi terukur dan kondisi te rhitung melalui model. Cara kualitatif ini menggunakan salah satu kriteria statistik (Indarto,

2012). Salah satu kriteria statistik yang dipergunakan adalah relatif bias yang dinyatakan dengan

$$relatif\ bias = \left| \frac{Q_u - Q_m}{Q_u} \right| \tag{7}$$

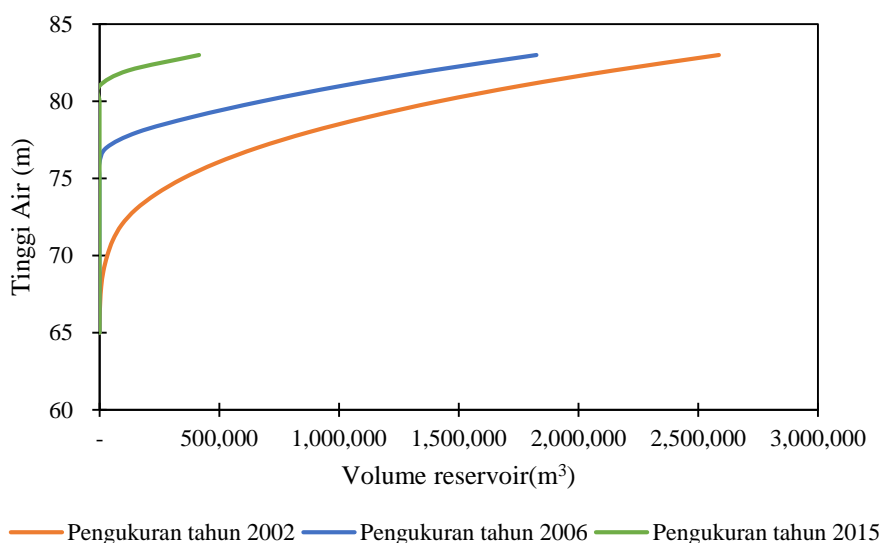
dengan keterangan:

Q_u = data terukur

Q_m = data hasil pemodelan

Hasil Studi dan Pembahasan

Dari pengukuran oleh P.T. Indra Karya (Anonim, 2006), data pengukuran disajikan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 1, yang memperlihatkan bahwa sedimentasi telah terjadi pada Bendungan Tilong tersebut. Elevasi tampungan pada awalnya berada pada 65 m namun hasil pengukuran pada tahun 2006 memperlihatkan elevasi dasar bendung telah berpindah pada elevasi 76 m dan pengukuran 2015 elevasi dasar telah berada pada 81 m. Pengukuran pada tahun 2006 memperlihatkan sedimentasi pada waduk Tilong sebesar 487.416 m³ dan pada pengukuran ke dua di tahun 2015 sedimentasi yang terjadi sebesar 1.010.344 m³.

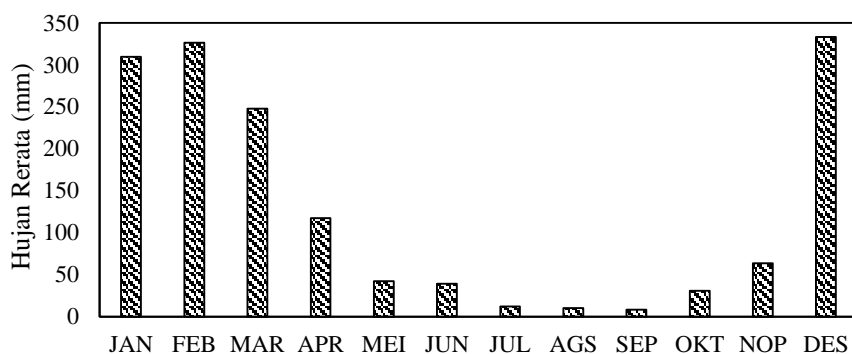


Gambar 2. Kurva volume waduk Tilong

Parameter USLE yaitu nilai erosivitas bervariasi setiap tahun. Nilai erosivitas dipengaruhi oleh tinggi curah hujan yang bervariasi, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. yang adalah rata-rata total hujan bulanan dari tahun 2002 - 2015. Rata-rata curah hujan yang tinggi terjadi pada bulan Desember sampai April yang melampaui 100 mm. Karena curah hujan yang bervariasi inilah maka indeks erosivitas turut bervariasi dengan rata-rata, standart deviasi, maximum dan minimum dapat dilihat pada Tabel 2.

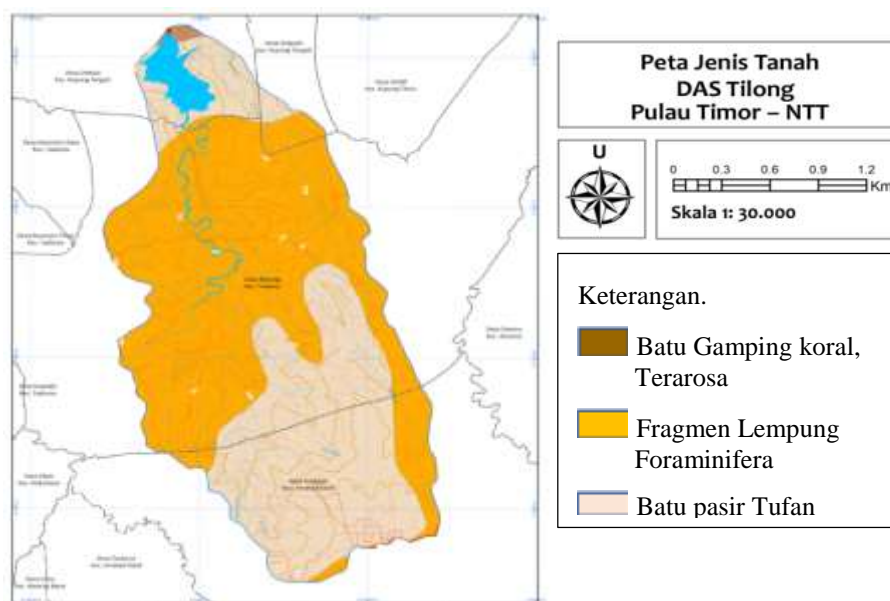
Tabel 2. Statistik Erosivitas

	Indeks Erosivitas		
	Bols	Lenvain	Utomo
rata-rata	87,53	1155,19	185,9693
deviasi standart	39,36	394,78	13,88
max	190,78	1946,35	219,02
min	41,91	554,57	166,49



Gambar 3. Grafik rata-rata hujan bulanan periode 2002-2015

Erodibilitas tanah merupakan parameter yang sangat penting pada USLE. Biasanya nilai erodibilitas tanah ditentukan dengan memanfaatkan klasifikasi jenis tanah dan peta sebaran jenis tanah, terutama bagi jenis tanah yang hampir mirip. Walaupun mempunyai jenis tanah yang hampir mirip, namun distribusi spasial karakteristik tanah selalu bervariasi. Menggunakan Peta sebaran Geologi produksi Bandung DAS Waduk Tilong mempunyai tiga formasi batuan seperti terlihat pada Gambar 3. Ada tiga jenis tanah pada DAS bendungan Tilong, warna coklat tua berjenis batu gamping koral, gamping napalm; warna coklat adalah fragmen lempung, foraminifera coral dan coklat muda adalah batupasir tufan.



Gambar 4. Formasi batuan DAS Tilong

Pengujian terhadap enam sampel tanah hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai S adalah satu menyatakan tanah type granular sangat halus, P bernilai enam menyatakan permeabilitas aliran sangat lambat. Analisis erodibilitas berdasarkan persamaan (5) terhadap sampel tanah dari DAS, memperlihatkan bahwa tanah jenis Tufan Napal mempunyai nilai erodibilitas 0,134 – 0,140, tanah jenis foraminifer 0,153 – 0,195, sedangkan sampel tanah jenis Terarosa 0,113 – 0,137, mirip dengan erodibilitas untuk tanah dipulau Jawa yang terentang 0,10 – 0,30 (Sisinggih *et al.*, 2005)

Tabel 3. Hasil penelitian variabel erodibilitas tanah DAS Tilong

No	Jenis tanah	M	OM (%)	S	P	K
1	Tufan Napal 1	1647,523	4,27	1	6	0,140
2	Tufan Napal 2	1383,977	3,18	1	6	0,134
3	Foraminifera 1	1259,512	0,1	1	6	0,153
4	Foraminifera 2	2205,689	3,33	1	6	0,195
5	Terarosa 1	1207,071	3,97	1	6	0,113
6	Terarosa 2	1541,783	3,88	1	6	0,137

Memfaatkan teknologi GIS, persentase luasan jenis tanah pada Gambar 3 dapat dilakukan. Luas kawasan dengan jenis tanah Tufan Napal adalah 43,51%, sedangkan untuk tanah jenis foraminifer 56%. Ke dua jenis tanah ini mendominasi kawasan dalam DAS dengan erodibilitas rata-rata untuk tufan napal 0,137 dan untuk jenis tanah feraminifer 0,174. Tanah jenis terarosa menduduki 0,45% luas DAS dengan erodibilitas 0,125. Tanah dengan jenis terminifer mempunyai tingkat erodibilitas lebih besar dibanding tanah jenis lainnya. Berat jenis rerata ketiga jenis tanah adalah 1,554 t/m³.

Kemiringan lereng adalah penyebab terjadi erosi, utamanya pada suatu daerah yang kemiringan lahan melampaui 50% (26,6°), dimana nilai indeksnya adalah yang terbesar. Pada DAS Bendungan Tilong menggunakan analisis GIS 0,02% luas daerahnya mempunyai LS > 50%; 1,49% luas daerahnya mempunyai kemiringan 35 – 50; 49,96% luas daerahnya mempunyai kemiringan 15 – 35%; 37,29% luas daerahnya mempunyai kemiringan 5 – 15%; dan 11,30% luas daerahnya mempunyai kemiringan 0-5%, kemiringan terendah ini terbanyak terdapat di sepanjang sungai dalam DAS serta bagian selatan yang merupakan puncak bukit.

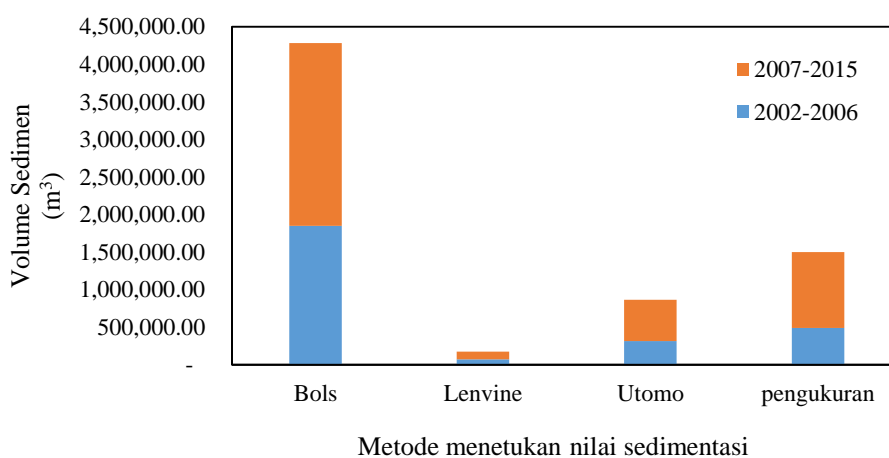
Perubahan penutup lahan salah satu penyebab erosi terutama pada daerah permukiman dan lahan kosong. Manusia cenderung merubah penutupan lahan pada daerah yang dihuninya sehingga mempunyai indeks seperti pada tanah kosong tanpa tumbuhan. Ada 1,51% daerah dalam DAS Bendungan Tilong merupakan permukiman dan 8,0% merupakan tanah kosong. Tanah dengan tumbuhan seperti ladang mempunyai luas 0,73%, semak/padang rumput 79,68%, kebun campur kerapatan sedang 6,91%, sawah 2,38% dan hutan 0,8% dari total luas DAS. Dari data luas penutupan lahan diatas dapat dikatakan potensi erosi di dalam DAS cukup besar. Upaya perbaikan penutupan lahan dapat diperkenalkan pada masyarakat yang menghuni DAS tersebut.

Pengamatan di DAS belum menemukan teknik konservasi lahan dengan cara mekanik diterapkan pada DAS Bendungan Tilong, sedang cara vegetasi kemungkinan belum berhasil atau dalam keadaan berproses. Umumnya masyarakat mengelola tanah berdasarkan kearifan lokal yaitu ladang berpindah. Oleh sebab itu indeks konservasi lahan bernilai satu.

Besar erosi setiap tahun dari 2002 sampai 2015 menggunakan metode USLE dengan metode erosivitas Bols dan Lenvain di perlihatkan pada tabel 4. Prediksi erosi total menggunakan erosivitas metode Bols adalah 185,97 ton/ha atau untuk seluruh DAS adalah 417.126,54 m³, sedangkan menggunakan metode Lenvain adalah 2452,05 ton/ha atau untuk seluruh DAS adalah 5.499.893,46 m³. Dengan demikian erosi di DAS Tilong menggunakan Metode Lenvain lebih besar dibandingkan metode Bols. Namun bila diperhatikan besar erosi menggunakan metode Lenvain melampaui sedimentasi terukur pada genangan bendungan Tilong.

Tabel 4. Perkiraan Erosi (ton/ha) tiap tahun

Erosivitas Metode	Tahun													
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Bols	158.70	182.15	120.47	215.39	168.17	160.97	105.65	93.31	163.72	130.68	121.47	147.27	89.34	74.11
Lenvine	4.74	8.08	5.52	7.23	6.79	5.69	4.76	3.81	9.52	6.46	4.23	6.45	3.62	3.27
Utomo	27.08	30.16	28.00	29.66	29.50	28.20	26.75	25.71	33.21	29.35	26.57	29.44	25.87	25.24



Gambar 5. Sedimentasi hasil pengukuran dan prediksi Erosi

Perhitungan erosi menggunakan metode Bols dari tahun 2002-2006 pada DAS adalah 1.847.303,11 m³. Penentuan SDR menggunakan persamaan 6 diperoleh 0.26. Dengan nilai SDR ini besar sedimentasi pada tahun 2015 diprediksi sebesar 3.827.602,321 m³. Bias yang terjadi antara sedimentasi terukur dan sedimentasi prediksi adalah sebesar 2.79. Perhitungan erosi menggunakan metode Utomo adalah 315.746,74 m³, nilai SDR sebesar 1.54, sehingga prediksi sedimentasi pada tahun 2015 sebesar 654.225,5778 m³. Bias absolut yang terjadi 0.35. Sedangkan menggunakan metode Lenvain erosi yang terjadi sebesar 70.742.65 m³, dengan demikian nilai SDR adalah 6.89, sehingga prediksi sedimentasi sebesar

$6.82229 \times 10^{-06} \text{ m}^3$, bias absolut metode Lenvain dengan demikian 1.00. Berdasarkan nilai-nilai bias yang ada maka perhitungan USLE memakai persamaan erosivitas Utomo lebih kecil dari pada menggunakan persamaan lain.



Gambar 6. Erosi *gully* (A) dan tepi sungai (B)

SDR sering memiliki nilai antara 0 dan 1 karena pengendapan sedimen yang disebabkan oleh perubahan rezim aliran dan penyimpanan reservoir. Nilai yang lebih besar dari 1 juga ditemukan pada saat kejadian atau ketika erosi sisi sungai atau erosi *gully* mendominasi (Lu et al., 2006). Pemeriksaan secara fisik pada daerah DAS bendungan Tilong memperlihatkan kedua hal tersebut (Gambar 5). Ke dua tipe erosi mendominasi lanskap DAS Bendungan Tilong. Oleh karena itu penggunaan persamaan Utomo untuk menentukan prediksi sedimentasi di Pulau Timor sangat disarankan.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan nilai erosivitas metode Bols, Lenvine, dan Utomo diperoleh prediksi nilai erosi pada DAS Bendungan Tilong. Pengukuran sedimentasi pada waduk bendungan Tilong dilaksanakan pada tahun 2006 dan 2015. Hasil analisis menggunakan erosivitas metode Utomo diperoleh nilai SDR 1,54. Validisasi berdasarkan bias terhadap nilai erosi USLE dan nilai erosi menggunakan SDR terhadap metode Utomo, Lenvine dan Bols, menunjukkan bahwa untuk DAS bendungan Tilong, Metode Utomo direkomendasikan dipergunakan untuk memprediksi sedimentasi di Tilong

Saran

Pada tahun 2025 pengukuran sedimentasi menggunakan *echosounding* dapat dilakukan untuk dibandingkan dengan sedimentasi hasil perhitungan menggunakan SDR dan metode pada tulisan ini.

Daftar Referensi

- Anonim, 2006 *Perencanaan Bangunan Penanggulangan Sedimen dan Optimasi Fungsi Waduk Tilog, Laporan Akhir*. Indra Karya
- Asdak, Chay, 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, hal 372, Gadjah Mada University Press, Jogjakarta.
- Alatorre, L. C., Beguería, S. & García-Ruiz, J. M., 2010. Regional scale modeling of hillslope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using WATEM/SEDEM. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), pp 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.010>
- Amore, E., Modica, C., Nearing, M. A. & Santoro, V. C., 2004. Scale effect in USLE and WEPP application for soil erosion computation from three Sicilian basins. *Journal of Hydrology*, 293(1–4), pp. 100–114. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.01.018>
- Amri, K., Barchia, M. F., & Aprizal, Y., 2017. Analysis of erosion hazardous level and sedimentation in Manna Watershed, Bengkulu Province Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 101, 1–5. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710104002>
- Indarto, 2012. *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi (I)*. Bumi Aksara, Jakarta:
- Lei Wu, Xia Liu & Xiao-yi Ma, 2017. Research Progress on The Watershed Sediment Delivery Ratio, *International Journal of Environmental Studies* <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1392771>
- Lu, H., Moran, C. J. & Prosser, I. P., 2006. Modelling sediment delivery ratio over the Murray Darling Basin. *Environmental Modelling and Software*, 21(9), pp. 1297–1308. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2005.04.021>
- Sandi, I. W., & Rahman, A., 2016. Validasi Nilai Erosivitas Hujan Dari Data Penginderaan Jauh TRMM 3B42 Di Bali Selatan. *Jurnal Bumi Lestari*, 16(1), pp. 70–77.
- Sisinggih, D., Sunada, K., & Oishi, S., 2005. Prediction Based On On The Sengguruh Of Reservoir's Erosion And Lifetime Sedimentation Reservoirs,. *Annual Journal of Hydraul Engineering*, 49(February), pp. 1063–1068.
- Subagyono, K., Marwanto, S., & Kurnia, U. (2003). Teknik konservasi tanah secara vegetatif. Balai Penelitian Tanah, Departemen Pertanian.
- Wahyudi, 2014. Teknik Konservasi Tanah serta Implementasinya pada Lahan Terdegradasi dalam Kawasan Hutan. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 6(2), pp. 71–85.
- Walling, D. E., 1983. The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, 65(1–3), pp. 209–237. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90217-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90217-2)

- Williams, J. R., 1977. Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. In *Erosion and Solid Matter Transport in Inland Waters - Proceedings of a symposium held at Paris, July 1977*, pp. 168–179.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D., 1978. Predicting rainfall erosion losses. *Agriculture Handbook no. 537*. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>
- Zhu, M., 2015. Soil erosion assessment using USLE in the GIS environment: a case study in the Danjiangkou Reservoir Region, China. *Environmental Earth Sciences*, 73(12), pp.7899–7908. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3947-5>
- Utomo, W. H., 1989. *Konservasi Tanah di Indonesia, Suatu Rekaman dan Analisa*, Penerbit Rajawali, Jakarta