

KOMBINASI PREDIKSI VOLUME SEDIMEN MENGGUNAKAN METODE HECRAS-USLE UNTUK MENDUKUNG KONSERVASI DAS LAMBIDARO PALEMBANG, SUMATERA SELATAN

SEDIMENT VOLUME PREDICTING COMBINATION USING HECRAS-USLE METHOD TO SUPPORT LAMBIDARO WATERSHED CONSERVATION, PALEMBANG SOUTH SUMATRA

Masri Nur Sultan ^{1)*} Mohammad Farid ²⁾ Adi Prasetyo ³⁾ Muhammad Syahril Badri Kusuma⁴⁾ Dantje Kardana Natakusumah ⁵⁾

^{1,2,4,5)} Pengelolaan Sumber Daya Air-Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No 10, Kota Bandung, Indonesia

¹⁾ Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jl. Gatot Subroto No 57, Kota Bandar Lampung, Indonesia

³⁾ Balai Teknik pantai Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jl. Gllimanuk – Singaraja km.122, Kabupaten Buleleng, Indonesia

*Correspondent email: nursultan.masri@pu.go.id

Diterima: 4 Juli 2023; Direvisi: 4 Oktober 2023; Disetujui: 19 Oktober 2023

ABSTRACT

Over the past ten years, flooding has been the most frequent problem in South Sumatra Province, Indonesia. As the capital of South Sumatra Province, Palembang City faces similar problems, where Lambidaro Watershed is the watershed with the highest 25-year potential flood discharge in Palembang City. One of the causes of flooding is the lack of river channel capacity related to land erosion in the watershed. This study aims to learn the prediction of sediment volume and efforts to reduce it in the Lambidaro watershed, Palembang City. This study uses two types of modeling, namely numerical models and empirical models. The numerical model uses the HEC-RAS 6.3.1 application, while the empirical model uses the USLE and SDR equations. The input parameters of the numerical model use some data derived from field measurements. The sediment concentration and observation discharge parameters were measured three times in September 2022. The grain size distribution parameters were sampled at three locations each once in August 2022, and the cohesive parameter was sampled at one location twice in August 2022. The result of the prediction of sediment volume by the numerical model is 1,421.86 m³/year. In contrast, the result of the prediction by the empirical model is 476,941.25 m³/year. Efforts to reduce the prediction of sediment volume USLE method are in the form of applying the intercropping method. The results of the conservation study show that the efforts made can reduce the volume of sediment by 17%.

Keywords: sediment, flood, conservation, intercropping, Lambidaro,

ABSTRAK

Selama sepuluh tahun terakhir, banjir telah menjadi masalah yang paling sering terjadi di Provinsi Sumatera Selatan Indonesia. Sebagai ibu kota Provinsi Sumatera Selatan, Kota Palembang menghadapi masalah serupa. Dimana DAS Lambidaro adalah DAS dengan potensi debit banjir kala ulang 25 tahun tertinggi di Kota Palembang. Salah satu penyebab banjir adalah penurunan kapasitas alur sungai yang berkaitan dengan erosi lahan di DAS. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian prediksi volume sedimen serta upaya pengurangannya di DAS Lambidaro. Penelitian ini menggunakan dua jenis pemodelan yaitu model numerik dan model empirik. Model numerik menggunakan aplikasi HEC-RAS 6.3.1 sedangkan model empirik menggunakan persamaan USLE dan SDR. Parameter input dari model numerik menggunakan beberapa data yang berasal dari pengukuran lapangan. Parameter konsentrasi sedimen dan debit sesaat diukur sebanyak tiga kali pada bulan September tahun 2022. Parameter gradasi butiran diambil sampelnya masing – masing pada tiga lokasi sebanyak satu kali, dan parameter kohesif diambil sampelnya pada satu lokasi sebanyak dua kali pada bulan Agustus tahun 2022. Hasil prediksi sedimentasi dasar sungai model numerik adalah 1.421,86 m³/tahun sedangkan hasil prediksi volume sedimen model empirik adalah 476.941,25 m³/tahun. Upaya mengurangi prediksi volume sedimen metode USLE berupa penerapan metode tumpang-sari. Hasil kajian konservasi menunjukkan upaya yang dilakukan dapat mengurangi volume sedimen sebesar 17%.

Kata Kunci: sedimen, banjir, konservasi, tumpang-sari, Lambidaro

PENDAHULUAN

Banjir adalah bencana yang paling sering terjadi di Indonesia dimana mencakup 31% kejadian yang terjadi dalam 10 tahun terakhir (2013-2022) (Badan Nasional Penanggulangan bencana (BNPB), 2023). Pada regional pulau Sumatera bagian selatan yang terdiri dari Provinsi Bangka Belitung, Bengkulu, Jambi, Lampung, dan Sumatera Selatan. Provinsi Sumatera Selatan adalah yang paling banyak mengalami banjir. Data menunjukkan telah terjadi 400 insiden, atau 41% dari semua bencana yang terjadi pada tahun 2013 hingga 2022 (Badan Nasional Penanggulangan bencana (BNPB), 2023). Kota Palembang yang merupakan ibukota Provinsi Sumatera Selatan tidak lepas dari permasalahan banjir. Terdapat lima DAS di Kota Palembang yang mengalami permasalahan banjir dan genangan yaitu DAS Bendung, DAS Buah, DAS Lambidaro, DAS Sekanak, dan DAS Sriguna (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Farid, *et al* pada tahun 2017 tentang pemetaan bahaya banjir di Kota Palembang, DAS Lambidaro merupakan DAS yang paling tinggi potensi banjir kala ulang 25 tahun di Kota Palembang. Potensi banjir kala ulang 25 tahun di DAS Lambidaro adalah sebesar 327,62 m³/s. Hasil penelitian Farid, *et al* (2017) tersebut menjadi alasan pemilihan DAS Lambidaro sebagai lokasi kajian.

Salah satu penyebab terjadinya banjir adalah kurangnya kapasitas alur sungai (Farid *et al*, 2017). Berkurangnya kapasitas alur sungai dapat disebabkan oleh erosi lahan pada daerah tangkapan air (Yudono *et al*, 2020). Martini, *et al* pada tahun 2022 telah melakukan penelitian terkait sedimentasi di alur sungai yang berada di DAS Lambidaro, DAS Sekanak, dan DAS Bendung. Hasil penelitian tersebut menunjukkan sedimentasi di alur Sungai Lambidaro sebesar 136,66 kg/tahun/meter, alur Sungai Sekanak sebesar 4.064,6 lb/yr/ft – 10.495,7 lb/yr/ft dan alur Sungai Bendung sebesar 131,67 ton/tahun (Martini *et al*, 2022).

Volume sedimen berkorelasi dengan erosi lahan dan jenis tutupan lahan (Fitriyah *et al*, 2014). Tutupan lahan di DAS Lambidaro didominasi oleh vegetasi belukar, ladang, pohon dan hutan

(Putranto *et al*, 2016). Adanya vegetasi tersebut dapat mengurangi potensi erosi lahan (Sarminah *et al*, 2018), tetapi upaya konservasi akan lebih menurunkan potensi terjadinya erosi (Lestari *et al*, 2022). Kajian sebelumnya terkait DAS Lambidaro oleh Martini, *et al* (2022) tidak mengkaji upaya pengurangan volume sedimen, sehingga pada kajian ini dilakukan analisis upaya pengurangan volume sedimen menggunakan konservasi vegetatif.

Devianti pada tahun 2018 melakukan kajian konservasi tanah vegetatif berupa sistem tumpang sari dan sistem monokultural di DAS Cianten - Cipancar. Hasil kajian menunjukkan nilai erosi sistem monokultural sebesar 101,23 kg/ha sedangkan sistem tumpang-sari nilai erosi berkisar 9,27 Kg/ha – 55 Kg/ha (Devianti, 2018). Akbar pada tahun 2021 melakukan penelitian konservasi tanah di SubDAS Krueng Meueh Kabupaten Bener Meriah. Hasil penelitiannya menunjukkan kombinasi tanaman pohon dengan kacang – kacangan dapat menurunkan tingkat erosi lahan sebesar 42,67 – 81,57 ton/Ha/tahun (Akbar, 2021). Berdasarkan kedua penelitian tersebut maka metode konservasi tumpang-sari akan dianalisis pada kajian yang dilakukan di DAS Lambidaro.

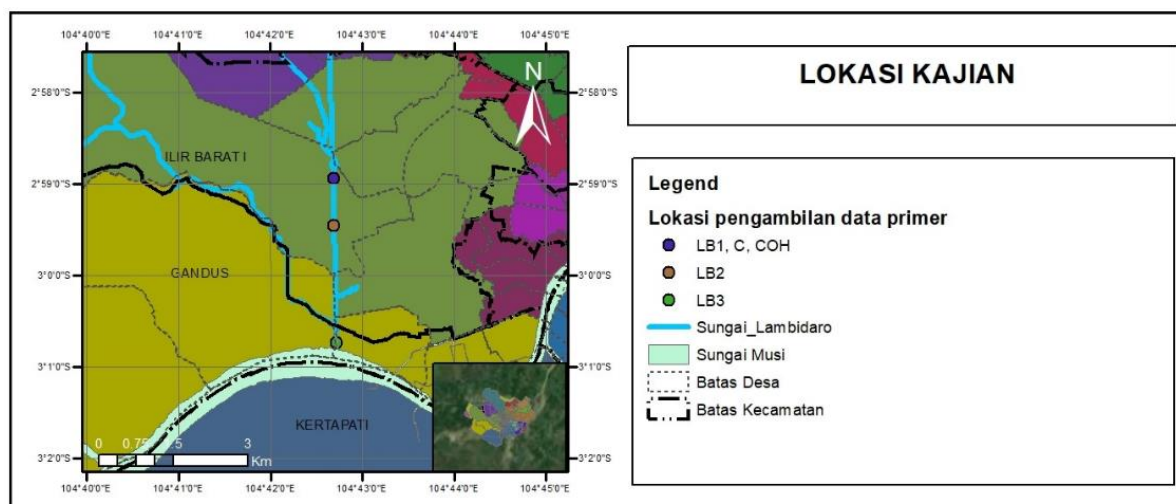
Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian prediksi volume sedimen yang berkaitan dengan pengurangan kapasitas alur sungai serta upaya pengurangannya di DAS Lambidaro Kota Palembang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan untuk pemangku kepentingan terkait.

METODOLOGI

Kajian ini menggunakan beberapa tahapan yaitu (1) Pengumpulan data, (2) pengolahan data parameter input, (3) pemodelan prediksi volume sedimen, (4) kajian konservasi, dan (5) pengambilan kesimpulan.

Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam kajian ini terdiri dari dua bagian yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diambil pada lokasi studi yang berada di Sungai Lambidaro (Gambar 1). Data primer yang dibutuhkan dijabarkan dalam Tabel 1.



Gambar 1 Lokasi Kajian

Tabel 1 Data Primer

No.	Kode Lokasi	Parameter Data
1	LB1, LB2, dan LB 3	Distribusi ukuran butiran/ <i>grain size</i> : - LB1: 87,36% lempung, 5,82% Lanau, 6,82% pasir - LB2: 80,08% lempung, 9,82% Lanau, 8,36% pasir, kerikil 1,74% - LB3: 83,72% lempung, 13,34% Lanau, 2,48% pasir, kerikil 0,46%
2	TSS	Konsentrasi sedimen (C): 71,67 mg/l, 73,17 mg/l, 87 mg/l Debit Sedimen: 26,74 ton/Hari, 33,87 ton/Hari, 45,84 ton/Hari
3	COH	<i>Particle Erosion</i> Threshold: 0,443 Pa, Erosion Rate: 0,123 N/m ² hr <i>Mass Wasting Erosion</i> Threshold: 0,536 Pa, Erosion Rate: 0,117 N/m ² hr

Parameter distribusi ukuran butiran (*grain size*) diperoleh dengan mengambil sampel tanah dasar sungai menggunakan sekop. Masing – masing titik lokasi diambil satu sampel tanah. Sampel tersebut dibawa ke laboratorium untuk diuji serta dianalisis berat jenis, saringan agregat, dan hidrometer.

Parameter konsentrasi sedimen diperoleh dengan mengambil sampel sedimen melayang menggunakan alat USDH – 48 pada penampang sungai di lokasi yang ditunjukkan Gambar 1. Jumlah sampel sebanyak sembilan botol. Sampel kemudian dibawa ke laboratorium untuk diuji dan dianalisis

konsentrasi sedimen melayang per volume sampel yang diambil. Parameter debit sedimen diperoleh dengan memasukkan parameter konsentrasi sedimen kedalam persamaan debit sedimen (Yuningsih & Fauzi, 2018).

$$Q_s = 0,0864 \times C \times Q_w \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

Q_s : Debit Sedimen (ton/hari)

C : Konsentrasi sedimen (mg/l)

Q_w : Debit sesaat (m³/s)

Debit sesaat diukur bersamaan dengan pengambilan sampel sedimen melayang. Pengukuran debit sesaat menggunakan bantuan alat pengukur arus, perahu, dan peralatan pembantu lainnya. Pengukuran debit sesaat dilakukan pada tanggal 10 sampai 11 September 2023. Persamaan regresi dari lengkung debit sedimen hasil pengukuran adalah sebagai berikut.

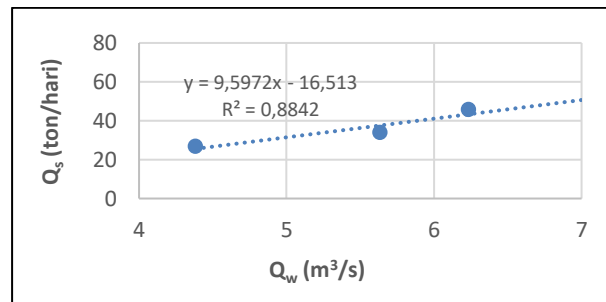
$$y = 9,5972x - 16,513 \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

y : Debit Sedimen (ton/hari)

x : Debit Sesaat (m³/s)

Nilai R^2 dari persamaan regresi diatas adalah 0,8842. Lengkung debit sedimen hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Lengkung debit sedimen

Parameter kohesif diperoleh dengan mengambil sampel tanah di sungai menggunakan sekop. Penampang sungai lokasi pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 1. Tanah dasar yang diambil sebanyak dua sampel. Sampel tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk diuji dan dianalisis laju erosinya.

Data sekunder adalah data terkait penelitian yang diperoleh secara tidak langsung pada lokasi penelitian. Jenis, periode ketersediaan, serta sumber data sekunder dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Sekunder

No.	Jenis dan ketersediaan data	Sumber
1.	curah hujan harian (CH) Sta. SMB II, Kenten, dan Tanjung Barangan tahun 2017-2021 serta CH Sta. Raksa Jiwa tahun 2020-2021	BMKG dan BBWS Sumatera VIII (BBWSS VIII)
2.	Iklim Sta. Kenten tahun pada 2000-2021 dan Sta. Raksa Jiwa tahun 2020-2021	BMKG dan BBWSS VIII
3.	Debit Pos Ogan Terusan tahun 2020-2021	BBWSS VIII
4.	Tinggi muka air (TMA) harian pos Musi Sekanak tahun 2017-2021	BBWSS VIII
5.	Geometri Sungai Lambidaro tahun 2014 dan geometri Sungai Musi tahun 2014 dan 2022	BBWSS VIII serta kajian Andayani dan Marlina tahun 2022
6.	Peta tata guna lahan Tahun 2018	Dinas PUPR Kota Palembang
7.	Data DAS berpotensi banjir dan genangan di Kota Palembang	BBWSS VIII
8.	Jenis & tekstur tanah tahun 2012	(FAO, 2012)
9.	Peta digital MERIT DEM tahun 2017	(Yamazaki <i>et al.</i> , 2017)

Pengolahan Data

Data – data yang dikumpulkan diproses terlebih dahulu sehingga dapat menjadi parameter input.

Tabel 3 memperlihatkan parameter – parameter yang diperlukan.

Tabel 3 Parameter Input Model

No.	Model Empirik	Model Numerik
1.	Peta deliniasi DAS	Debit harian
2.	Peta kelerengan	Tinggi muka air
3.	Erosivitas hujan	Gradasi butiran, kohesi sedimen, Debit Sedimen
4.	Erodibilitas tanah	Data geometri sungai
5.	Penggunaan dan konservasi lahan (CP)	-

Keterangan: tidak ada parameter CP pada model numerik

Sebagian besar parameter yang digunakan dalam model numerik berhubungan langsung dengan DAS Lambidaro kecuali untuk parameter debit harian dan TMA karena ketiadaan parameter tersebut pada lokasi studi yang ditinjau. Parameter debit harian menggunakan konsep *Prediction of Ungauged Basin (PUB)* (Sivapalan *et al.*, 2003), sedangkan TMA diperoleh melalui pendekatan menggunakan konsep *standard step method* (USACE, 2022).

Konsep *PUB* diinisiasi dan diperkenalkan oleh *International Association of Hydrological Sciences* (IAHS) pada tahun 2003 (Hrachowitz *et al.*, 2013). Artikel Hrachowitz, *et al* (2013) sendiri adalah artikel yang tidak membahas secara detail terkait konsep *PUB* melainkan merupakan artikel yang mengulas pekerjaan terkait *PUB* dari tahun 2003 sampai 2012.

PUB adalah upaya dalam memprediksi respon hidrologi dari DAS yang memiliki catatan pengukuran debit yang jelek atau tidak memiliki catatan sama sekali menggunakan input data iklim, tanah, vegetasi, geologi, topografi, prediksi iklim, dan perubahan tataguna lahan, namun tidak memungkinkan untuk dilakukan kalibrasi secara langsung menggunakan data observasi (Sivapalan *et al.*, 2003). Dalam kajian ini respon hidrologi yang

dimaksud adalah respon hidrologi yang terkait debit harian.

Konsep *PUB* pernah diterapkan pada kajian yang dilakukan Kusuma, *et al* pada tahun 2020 yaitu menggunakan parameter hasil kalibrasi model *rainfall – runoff* Sacramento DAS Lematang (SubDAS Musi Hulu) untuk memodelkan debit harian pada lokasi Pembangunan pier LRT dekat Sungai Musi Kota Palembang (Kusuma *et al.*, 2020). Kajian yang dilakukan Kusuma, *et al* (2020) menggunakan data hujan dari pos curah hujan Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II yang lebih dekat dengan lokasi kajian. Konsep *PUB* tersebut kemudian diterapkan pada kajian ini yaitu dengan meregionalkan hasil kalibrasi parameter model *rainfall-runoff* Sacramento DAS Ogan Hulu Ke DAS Lambidaro.

Model *rainfall – runoff* Sacramento adalah model transformasi Hujan – Debit harian yang dikembangkan oleh *National Weather Service Forecast Center*. Model ini memiliki 16 parameter yang terbagi dalam 5 kelompok yaitu parameter penyimpanan air, parameter aliran pada *interflow* serta *baseflow*, parameter perkolasi dari *upper zone* ke *lower zone*, parameter *direct runoff* menuju *pervious area* dan parameter *losses* (Van Werkhoven *et al.*, 2008).

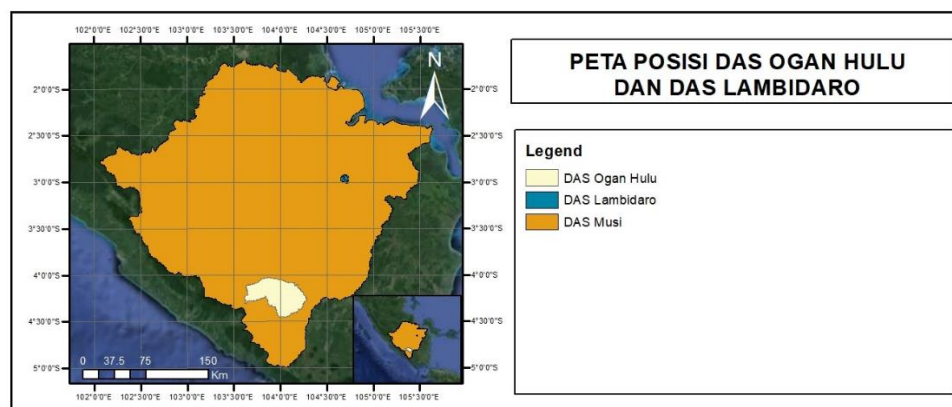
DAS yang dipilih untuk kalibrasi parameter model *rainfall – runoff* Sacramento adalah DAS Ogan Hulu. Pemilihan DAS Ogan Hulu selain karena terdapat pencatatan debit harian juga karena kedua DAS tersebut berada dalam wilayah sungai yang sama yaitu Wilayah Sungai Musi (Gambar 3). Model *rainfall – runoff* Sacramento DAS Ogan Hulu menggunakan data hujan dan iklim dari stasiun Raksa Jiwa sebagai data input kemudian data debit Pos Ogan Terusan untuk kalibrasi parameter. Hasil kalibrasi Parameter model *rainfall – runoff* Sacramento DAS Ogan Hulu dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Parameter hasil kalibrasi model *rainfall – runoff* Sacramento DAS Ogan Hulu 365 hari

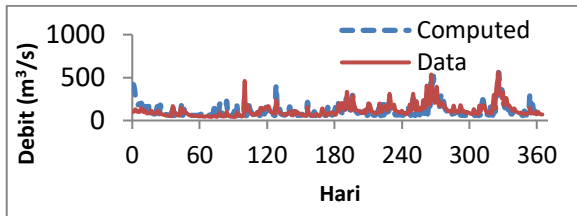
Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
UZWWM	75	LZPK	0,00
UZFWWM	83	ZPERC	7,00
LZTWWM	75	REXP	1,00
LZFSM	19	PFREE	0,2
LZFPM	10	RSERV	0,3
UZK	0,18	PCTIM	0,19
LZSK	0,13		

Nilai NSE dari perbandingan debit observasi dengan debit pemodelan selama 365 hari pada DAS Ogan Hulu adalah sebesar 0,40 sedangkan nilai NSE jika menggunakan Panjang data maksimal selama 518 hari adalah 0,25. Nilai NSE kalibrasi menggunakan Panjang data 365 hari menurut Motovilov (1999) memenuhi syarat sedangkan nilai NSE Kalibrasi jika menggunakan panjang data maksimal tidak memenuhi syarat (Suhartanto *et al.*, 2019). Berdasarkan hal tersebut maka kalibrasi parameter dilakukan menggunakan Panjang data 365 hari. Perbandingan hasil pemodelan debit harian dengan debit observasi di DAS Ogan Hulu dapat dilihat pada Gambar 4.

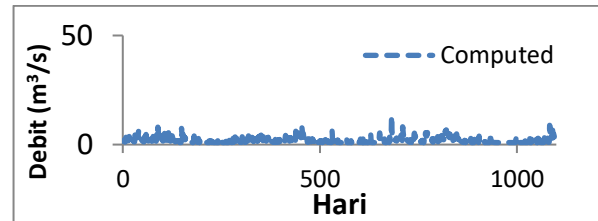
Parameter DAS Ogan Hulu kemudian diregionalkan untuk memodelkan debit harian di DAS Lambidaro selama 1.095 hari. Pemodelan ini menggunakan data input berupa data hujan dari Stasiun Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II dan data iklim dari Stasiun Klimatologi Kenten Palembang. Hasil pemodelan debit harian DAS Lambidaro selama 1.095 hari menggunakan parameter DAS Ogan Hulu yang diregionalkan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 3 Posisi DAS Lambidaro dan Das Ogan Hulu



Gambar 4 Perbandingan hasil pemodelan debit harian dengan debit observasi di DAS Ogan Hulu



Gambar 5 Hasil Pemodelan Debit Harian DAS Lambidaro menggunakan Parameter DAS Ogan Hulu yang diregionalkan

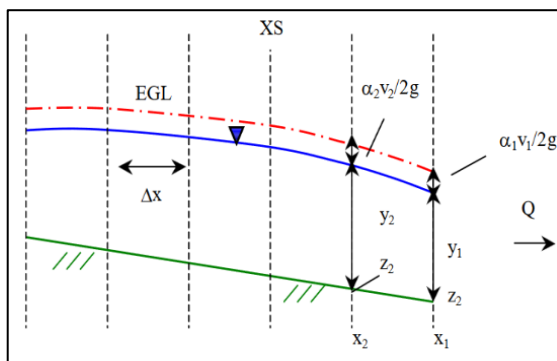
Pemodelan debit harian DAS Lambidaro hanya dilakukan selama 1.095 hari bukan selama 3.653 hari. Hal tersebut karena Parameter hasil kalibrasi model debit harian menggunakan Panjang data 365 hari, tidak cukup untuk memodelkan debit harian selama 3.653 hari atau selama 10 tahun.

Pendekatan selanjutnya ialah pendekatan untuk memperoleh nilai TMA di muara Sungai Lambidaro. Pendekatan untuk mendapatkan nilai TMA di muara Sungai Lambidaro menggunakan konsep *standard step method* (Gambar 6) dengan bantuan perangkat lunak HEC-RAS 1D *steady flow* (USACE, 2022). Daoed, *et al* pada tahun 2022 menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 1D *steady flow* untuk memodelkan pengaruh *backwater Check Dam* Kuto Pulai terhadap *Check Dam* Kuto Tuo (Daoed *et al.*, 2023). Perbedaan antara kajian ini dengan kajian yang dilakukan oleh Daoed, *et al* pada tahun 2012 terletak pada konsep yang digunakan dimana Daoed, *et al* menggunakan konsep *direct step method* sedangkan pada penelitian ini menggunakan *standard step method*.

Pengaruh pasang surut perairan selat Bangka pada pos TMA Sekanak Musi (Andayani & Marlina, 2022) dan kemiringan yang datar antara Pos TMA Musi Sekanak dengan muara Sungai Lambidaro

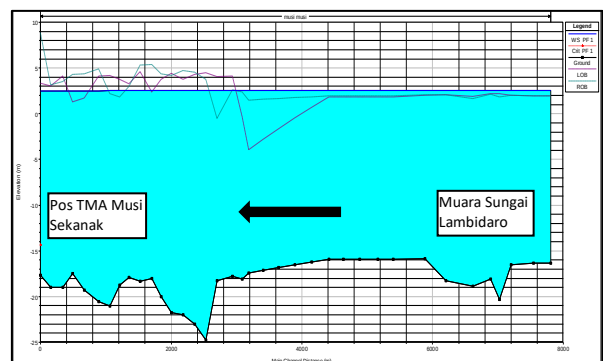
(Gambar 7), menyebabkan terjadi *backwater* pada muara Sungai Lambidaro. Kedua kondisi tersebut menjadi dasar pemilihan Pos TMA Musi Sekanak sebagai kondisi batas hilir. Posisi TMA Musi Sekanak dan muara Sungai Lambidaro diperlihatkan pada Gambar 8.

Dalam menyimulasikan TMA harian di muara Sungai Lambidaro, selain kondisi batas hilir juga dibutuhkan kondisi batas hulu. Kondisi batas hulu yang ideal adalah debit harian, namun karena ketiadaan data tersebut maka digunakan debit rata – rata tahunan DAS Musi pada posisi setelah muara Sungai Lematang (Gambar 8). Nilai debit rata – rata tahunan yang digunakan adalah 1.358,4 m³/s (Japan International Cooperation Agency, 2003). Asumsi penggunaan data debit rata – rata tahunan Sungai Musi pada posisi setelah muara Sungai Lematang, karena tidak adanya pencatatan data debit harian pada lokasi Sungai Musi yang bertemu dengan muara Sungai Lambidaro. Asumsi lainnya yaitu tidak terdapat *inflow* antara muara Sungai Lambidaro dengan Pos TMA Musi Sekanak. Tinggi muka air harian di pos TMA Musi Sekanak dengan tinggi muka air di Muara Sungai Lambidaro hasil simulasi diperlihatkan pada Gambar 9.

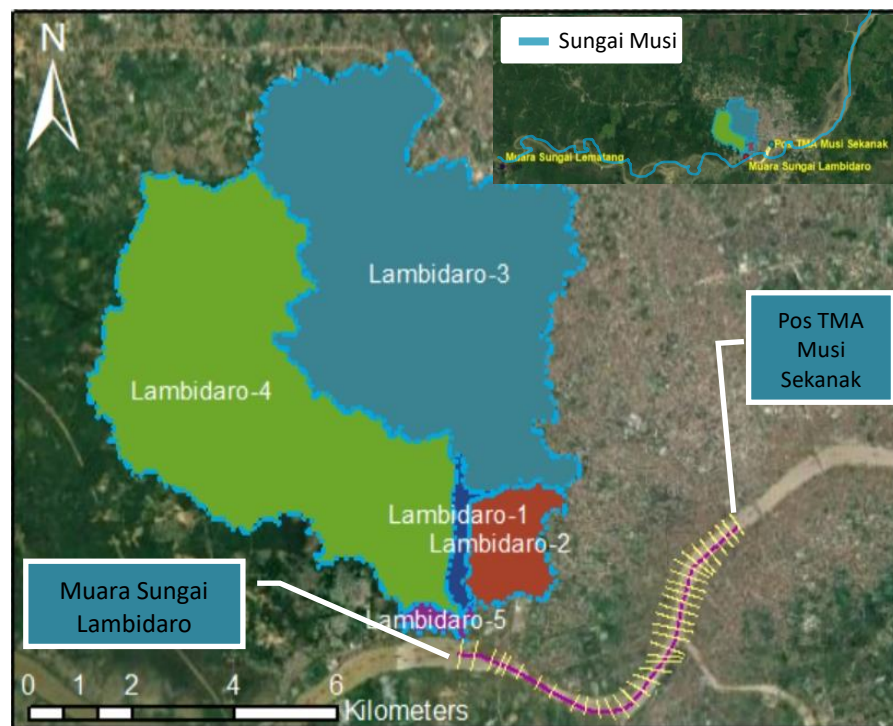


sumber :Kasper *et al.*, 2005

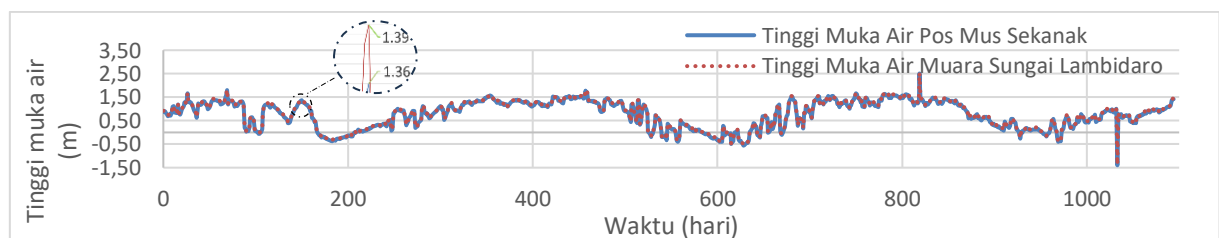
Gambar 6 *Standard Step Method Concept*



Gambar 7 Potongan melintang Pos TMA Musi Sekanak hingga muara Sungai Lambidaro



Gambar 8 Posisi muara Sungai Lambidaro dengan pos tinggi muka air Musi Sekanak



Gambar 9 Perbandingan TMA harian Pos Sekanak Musi hasil pengamatan dengan TMA harian muara Sungai Lambidaro hasil simulasi

Gambar 9 memperlihatkan perbedaan antara TMA harian Pos Sekanak Musi hasil pengamatan dengan TMA harian muara Sungai Lambidaro hasil simulasi adalah sebesar 3 cm. perbedaan nilai tersebut terjadi secara konstan karena penggunaan debit tahunan rata-rata pada kondisi batas hulu di simulasi TMA muara Sungai Lambidaro. Perbedaan nilai yang konstan juga menyebabkan tidak bisa dilakukannya verifikasi uji statistik koefisien determinasi (R^2) atau *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE) pada model TMA ini.

Pemodelan Prediksi Volume Sedimen

Terdapat dua jenis simulasi model yang dilakukan dalam kajian ini yaitu simulasi model empirik dan model numerik. Model empirik

menggunakan persamaan *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang dikembangkan oleh Wischemeier & Smith pada tahun 1978 (Wibowo *et al.*, 2015).

$$A = R \times K \times LS \times CP \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- A : Jumlah tanah hilang (ton/ha/tahun)
- R : Erosivitas curah hujan tahunan rata-rata
- K : Indeks erodibilitas tanah (ton x ha x jam) dibagi oleh (ha x mega joule x mm)
- LS : Indeks panjang dan kemiringan lereng
- C : Indeks pengelolaan tanaman
- P : Indeks Upaya Konservasi Tanah

Keempat Parameter untuk menghitung nilai Erosi USLE, akan dihitung terlebih dahulu sebelum digabung menggunakan bantuan *tool union* yang ada di perangkat lunak QGIS (QGIS Development Team, 2019). Metode dan referensi dari setiap perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Fungsi Model USLE

No.	Parameter USLE	Jenis Fungsi/Metode	Referensi
1.	Erosivitas	Metode Lenvain	(Kementerian Kehutanan Indonesia, 2009)
2.	Erodibilitas	Tabel Kelas Erodibilitas berdasarkan tekstur dan jenis tanah, dan tabel Nilai K Berdasarkan Kelas Erodibilitas	(Kassam <i>et al.</i> , 1992)
3.	Panjang dan kemiringan Lereng	Tabel Klasifikasi sebaran lereng	(Kementerian Kehutanan Indonesia, 2009)
4.	Pengelolaan tanaman dan Upaya konservasi tanah	Tabel Indeks Penggunaan Lahan (C) dan Konservasi Tanah (P)	(Direktorat Kehutanan dan Konservasi Sumber daya air BAPPENAS, 2012)

Ginting dan Hatmoko (2010) membagi DAS menjadi lebih kecil agar parameter - parameter dari USLE menjadi lebih homogen. Perangkat lunak HEC-HMS kemudian digunakan dalam kajian ini untuk membagi DAS menjadi beberapa subDAS menggunakan menu *Geographic Information System* (GIS)(USACE, 2000).

Untuk memprediksi jumlah erosi yang menjadi sedimen (*sediment yield*) pada sungai, nilai prediksi erosi lahan metode USLE kemudian dikalikan dengan koefisien *Sedimen Delivery Ratio* (SDR). Perhitungan nilai SDR dilakukan per SubDAS menggunakan persamaan Vanoni yang dikembangkan pada tahun 1973 (Nadi *et al.*, 2019).

$$SDR = 0,42 A^{-0,125} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

SDR : *Sediment Delivery Ratio*

A : Luas DAS (mil²)

Persamaan erosi lahan dari Vanoni merupakan persamaan eksponensial 1 variabel sehingga kondisi variasi tata guna lahan diabaikan.

Model numerik menggunakan bantuan perangkat lunak HEC-RAS 6.3.1. Model HEC-RAS 6.3.1 digunakan untuk mengkaji secara lebih detail potensi sedimen yang terjadi namun hal tersebut tidak termasuk dalam penelitian ini. Penelitian ini hanya memprediksi angkutan sedimen rerata tahunan berdasarkan pemodelan angkutan sedimen sungai selama tiga tahun. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai prediksi angkutan sedimen dengan perangkat lunak HEC-RAS 6.3.1 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Fungsi Model Numerik

No.	Jenis Fungsi/Metode	Fungsi/Metode yang digunakan
1.	Fungsi aliran	Fungsi aliran tidak tunak
2.	Fungsi angkutan sedimen non kohesi	Meyer Peter Muller
3.	Fungsi angkutan sedimen kohesif	Krone dan Partheniades

Pemilihan fungsi Meyer Peter Muller pada kajian ini karena fungsi ini memiliki jangkauan ukuran partikel yang luas yaitu 0,4 mm – 29 mm dan jangkauan berat jenis dari 1,25 – 4,0 (USACE, 2022), selain itu digunakan fungsi Krone-Partheniades karena jenis butiran pada Sungai Lambidaro didominasi oleh butiran kohesif (Zhou *et al.*, 2022).

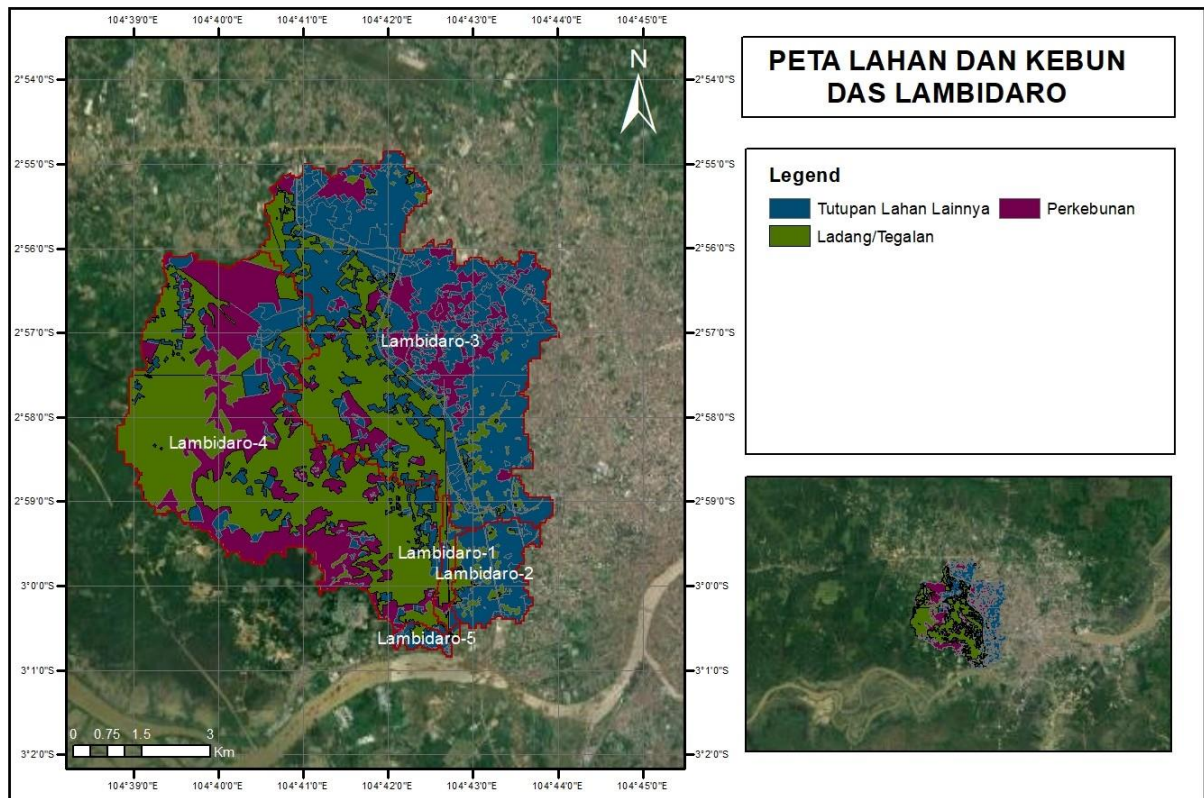
Kajian Konservasi

Konservasi lahan yang dikaji menggunakan metode konservasi vegetatif. Lahan yang dikonservasi adalah lahan ladang/tegalan dan perkebunan (Gambar 10). Konservasi yang dilakukan berupa penerapan metode penanaman tumpang-sari berupa 80% kebun campuran berkerapatan tinggi dengan 20 % tanaman kacang – kacangan dan tambahan mulsa Jerami 4 ton/Ha sebagai tanaman sela. Perbandingan kedua jenis penanaman berdasarkan pada penelitian Agus, *et al* pada tahun 1999. Hasil dari penelitian tersebut menyebutkan persentase tanaman sela sebesar 5 – 20 % dari luas ladang (Subagyo *et al.*, 2003). Nilai koefisien C untuk upaya konservasi yang dilakukan berdasarkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Nilai Faktor C (Pengendalian Tanaman)

Macam penggunaan	Nilai C	Macam penggunaan	Nilai C
Kebun Campuran Kerapatan Tinggi:	0,1	Kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha	0,049

sumber: Puslitanak 1973-1981 dalam (Buton *et al.*, 2016)



Gambar 10 Tutupan Lahan Ladang dan Kebun di DAS Lambidaro

Tabel 7 memperlihatkan nilai faktor C untuk kebun berkerapatan tinggi adalah 0,1 sedangkan nilai faktor C untuk kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha adalah 0,049 (Buton *et al.*, 2016). Jika kedua jenis tutupan diatas dikombinasi dengan perbandingan 80:20 maka perhitungan nilai faktor C kombinasinya adalah sebagai berikut.

$$C_{kombinasi} = (0,8 \times C_{\text{kebun berkerapatan tinggi}} + (0,2 \times C_{\text{kacang tanah + mulsa jerami 4 ton/ha}})$$

$$C_{kombinasi} = (0,8 \times 0,1) + (0,2 \times 0,049)$$

$$C_{kombinasi} = 0,0898$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

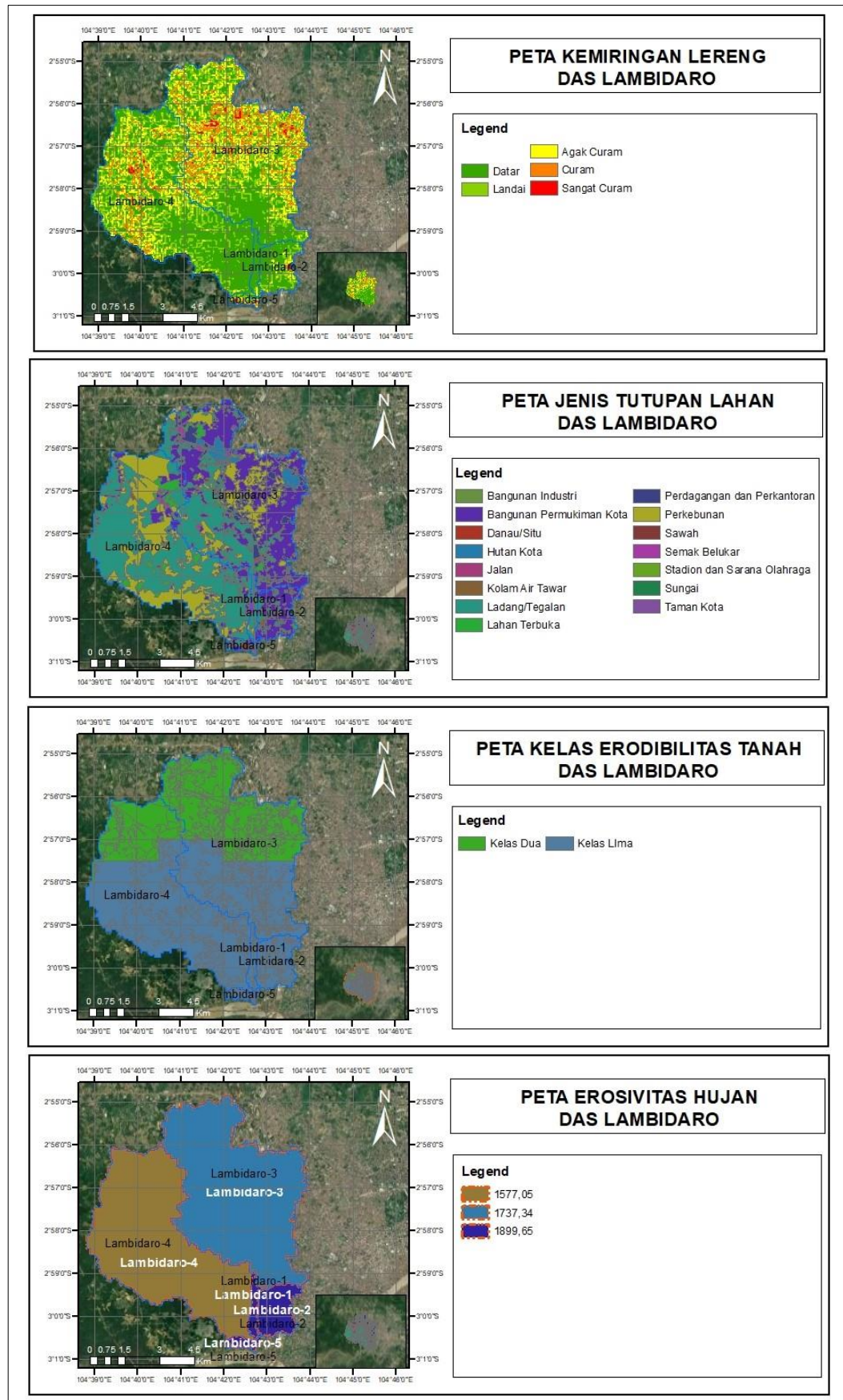
Prediksi Volume Sedimen Model Empirik

Prediksi volume sedimen empirik Model USLE dan SDR menggunakan empat parameter hasil analisis (Gambar 11). Keempat parameter tersebut

kemudian digabung menggunakan bantuan perangkat lunak QGIS sehingga diperoleh nilai volume erosi dan sedimen metode USLE untuk setiap SubDAS (Tabel 8).

Tabel 8 Volume Sedimen DAS Lambidaro Model USLE

Sub DAS	Luas (Ha)	Volume Erosi (m ³ /tahun)	SDR rata-rata	Volume Sedimen (m ³ /tahun)
Lambidaro 1	91,71	2.150,06	0,48	1.028,15
Lambidaro 2	336,07	25.211,27	0,41	10.234,71
Lambidaro 3	3.209,19	1.266.905,31	0,31	388.236,25
Lambidaro 4	3.028,28	237.625,48	0,31	73.366,44
Lambidaro 5	60,66	8.138,51	0,50	4.075,70
Total		1.540.030,64		476.941,25



Gambar 11 Parameter Model empirik DAS Lambidaro

Gambar 11 menunjukkan DAS Lambidaro merupakan DAS yang relatif datar sampai landai dan memiliki vegetasi ladang serta perkebunan yang masih luas. Jenis tanah DAS Lambidaro didominasi jenis *Sandy Clay Loam* yang memiliki erodibilitas kelas lima. Nilai erosivitas hujan pada DAS Lambidaro berkisar antara 1.577,05 – 1.899,65 Kj/ha/tahun.

Tabel 8 memperlihatkan Prediksi volume sedimen hasil model USLE terbesar berada di SubDAS Lambidaro-3 dengan nilai 388.236,25 m³/tahun. Nilai tersebut 5,3 kali lebih besar dibandingkan nilai prediksi volume sedimen di SubDAS Lambidaro-4 yang memiliki luasan yang tidak terlalu jauh dengan SubDAS Lambidaro-3. Hasil prediksi tersebut disebabkan oleh dominasi tutupan lahan pemukiman di SubDAS Lambidaro-3 yang memberi kontribusi prediksi volume sedimen sebesar 273.194,53 m³/tahun atau sebanding dengan 3,7 kali nilai prediksi volume sedimen SubDAS Lambidaro-4.

Prediksi volume sedimen model USLE pada kajian ini menggunakan data tata guna lahan Kota Palembang Tahun 2018. Pengembangan untuk analisis prediksi volume sedimen model USLE lebih baik berupa penggunaan data tata guna lahan Kota Palembang yang terbaru.

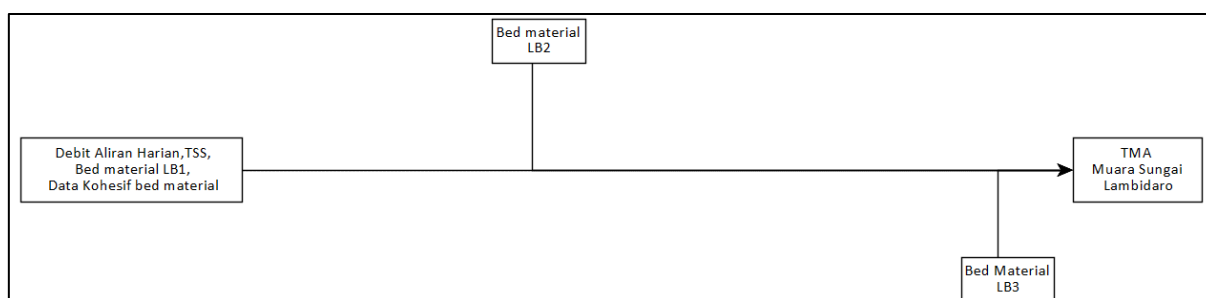
Volume Sedimen Model Numerik

Pemodelan numerik angkutan sedimen sungai dilakukan dari outlet SubDAS Lambidaro-3 hingga muara Sungai Lambidaro sepanjang 3.558 m. Kondisi batas pada bagian hulu menggunakan debit harian hasil model Sacramento sedangkan kondisi batas hilir menggunakan TMA harian muara Sungai Lambidaro hasil simulasi. Secara lebih lengkap *setup* dari model diperlihatkan pada Gambar 12.

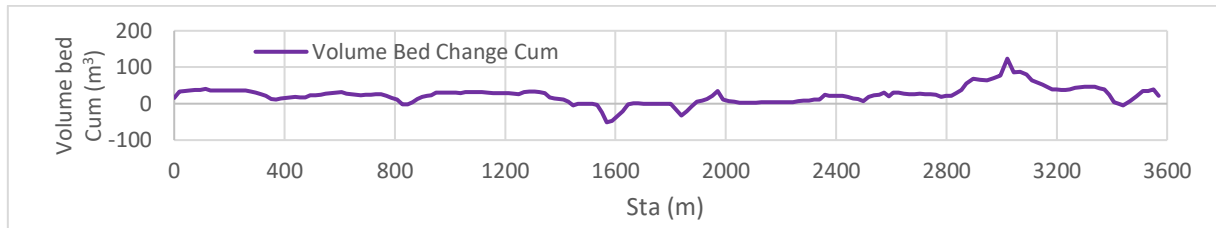
Panjang data debit aliran harian yang digunakan dalam *setup* model numerik adalah 1.095 hari atau tiga tahun. Idealnya durasi maksimal model debit harian dalam kajian ini adalah dua kali dari panjang data observasi atau sepanjang 730 hari.

Hasil Pemodelan yang dilakukan selama tiga tahun (2017-2019) memperlihatkan terjadinya peningkatan sedimentasi dasar sungai hampir di sepanjang ruas sungai yang dimodelkan (Gambar 13). Total sedimentasi dasar sungai yang terjadi sebesar 4.265,59 m³ sehingga prediksi sedimentasi rata – rata tahunannya adalah 1.421,86 m³/tahun. Hasil tersebut berbeda dengan hasil kajian angkutan sedimen dasar sungai terdahulu oleh Martini, *et al* pada tahun 2022. Prediksi nilai rata – rata angkutan sedimen dasar Sungai Lambidaro hasil kajian Martini, *et al* adalah sebesar 136,656 kg/tahun/m. Perbedaan nilai tersebut disebabkan oleh perbedaan fungsi atau persamaan yang digunakan dimana kajian ini menggunakan fungsi Meyer Peter Muler sedangkan kajian yang dilakukan oleh Martini, *et al* menggunakan persamaan Shield. Perbedaan lainnya yaitu pada pendekatan cara menghitung angkutan sedimen dasar sungai. Martini, *et al* menghitung nilai angkutan sedimen dasar sungai dengan cara merata – ratakan nilai prediksi angkutan sedimen dari tiga titik tinjau sedangkan pada kajian ini nilai angkutan sedimen dasar sungai merupakan nilai akumulasi angkutan sedimen pada ruas sungai sepanjang 3.558 m.

Pengembangan yang lebih baik pada pemodelan numerik angkutan sedimen di Sungai Lambidaro berupa observasi atau pengukuran TMA harian di muara Sungai Lambidaro, penggunaan data penampang Sungai Lambidaro yang terbaru, dan penggunaan data debit harian dari pos observasi dengan panjang data yang cukup untuk kalibrasi model *rainfall – runoff* serta lebih dekat dengan lokasi kajian.



Gambar 12 *Setup* model numerik prediksi Volume Sedimen



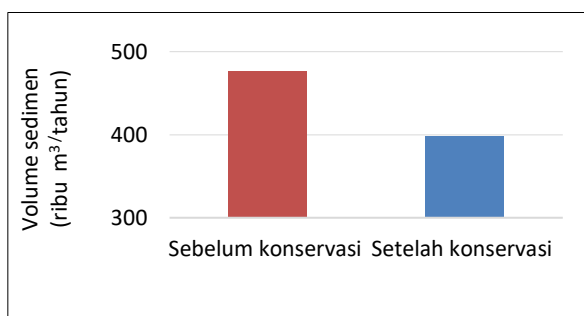
Gambar 13 Perubahan volume sedimentasi dasar Sungai Lambidaro hasil model numerik setelah tiga tahun

Kajian Konservasi

Upaya konservasi diprediksi mampu mengurangi jumlah volume sedimen metode USLE yang berasal dari lahan ladang dan perkebunan sebesar 79.098,04 m³/tahun. Upaya konservasi juga diprediksi mampu mengurangi volume sedimen dari keseluruhan lahan yang ada di DAS Lambidaro sebesar 17% dari volume sedimen sebelum konservasi. Prediksi volume sedimen sesudah konservasi pada DAS Lambidaro secara lebih detail dapat dilihat pada Tabel 9 sedangkan perbandingan volume sedimen di DAS Lambidaro sebelum dan sesudah konservasi dapat dilihat pada gambar 14.

Tabel 9 Hasil Prediksi Volume Sedimen DAS Lambidaro setelah dilakukan konservasi

Sub DAS	Luas (Ha)	Volume Erosi (m ³ /tahun)	SDR rata-rata	Volume Sedimen (m ³ /tahun)
Lambidaro 1	91,71	1.616,38	0,48	772,95
Lambidaro 2	336,07	24.453,68	0,41	9.927,16
Lambidaro 3	3.209,19	1.131.016,52	0,31	346.593,87
Lambidaro 4	3.028,28	119.160,64	0,31	36.790,63
Lambidaro 5	60,66	7.505,33	0,50	3.758,60
Total		1.283.752,54		397.843,21



Gambar 14 Perbandingan prediksi volume sedimen DAS Lambidaro metode USLE sebelum dan sesudah konservasi

KESIMPULAN

Hasil prediksi angkutan sedimen dasar sungai menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 6.3.1 pada ruas outlet SubDAS Lambidaro-3 sampai muara Sungai Lambidaro adalah sebesar 1.421,86 m³/tahun. Hasil prediksi volume sedimen model empirik menggunakan metode USLE di DAS Lambidaro adalah 476.941,25 m³/tahun. Agar hasil prediksi volume sedimen di DAS Lambidaro dapat berkurang maka dilakukan kajian konservasi vegetatif pada lahan ladang dan kebun. Metode konservasi yang dilakukan berupa penerapan tumpang-sari 80% kebun campuran berkerapatan tinggi dengan 20% tanaman kacang – kacangan dan tambahan mulsa Jerami 4 ton/Ha. Hasil kajian menunjukkan terjadi pengurangan jumlah volume sedimen sebesar 17% pada DAS Lambidaro. Hasil kajian ini juga sejalan dengan kajian Akbar pada tahun 2021 di SubDAS Krueng Meueh kabupaten Bener Meriah yang berhasil menurunkan nilai erosi lahan menggunakan metode terasering dan tumpang-sari

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kementerian PUPR untuk beasiswa yang diberikan serta Balai Besar Wilayah Sungai Sumatera VIII, Dinas PU dan Penataan Ruang Kota Palembang dan Riset Unggulan ITB 2023 untuk bantuan serta dukungan dalam pelaksanaan penelitian ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada *reviewer* atas masukan yang sangat berharga bagi kajian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, H. (2021). Prediksi Erosi Dan Teknik Konservasi Tanah Sistem Agroforestri Di Sub Das Krueng Meueh Kabupaten Bener Meriah. *Jurnal Agrum*, 18(2), 102–108.
- Andayani, R., & Marlina, A. (2022). Pengaruh Pasang Surut Terhadap Profil Muka Air Banjir Bantaran Sungai Musi Kota Palembang. *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik*

- Sipil*, 10(2), 119–126.
<https://doi.org/10.35139/cantilever.v10i2.105>
 Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2023). *Data Informasi Bencana Indonesia*.
<https://dibi.bnpb.go.id/> (diakses pada 23 Februari 2023)
- Buton, R., Soplanit, R., & Jacob, A. (2016). Perubahan Penggunaan Lahan Dan Dampaknya Terhadap Erosi Di Daerah Aliran Sungai Wae Lela Kota Ambon. *Agrologia: Jurnal Ilmu Budidaya Tanaman*, 5(1), 36–47.
- Daoud, D., Sunaryo, & Arsyad, F. (2023). Backwater flow analysis due to the construction of the check dam series on Aie Dingin River using HEC-RAS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1173(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1173/1/012045>
- Devianti, D. (2018). Kajian Tingkat Laju Limpasan Permukaan dan Erosi Berdasarkan Pengelolaan Tanaman Pertanian Sistem Agroforestry di DAS Cianten-Cipancar, Provinsi Jawa Barat, Indonesia. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 6(1), 1–6.
<https://doi.org/10.19028/jtep.06.1.107-112>
- Direktorat Kehutanan dan Konservasi Sumber daya air BAPPENAS. (2012). *Analisa Perubahan Penggunaan Lahan Di Eksosistem DAS Dalam Menunjang Ketahanan Air Dan Ketahanan Pangan Studi Kasus DAS Brantas*.
- FAO. (2012). *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*.
<http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML> (diakses pada 20 Oktober 2022)
- Farid, M., Marlina, A., & Kusuma, M. S. B. (2017). Flood hazard mapping of Palembang City by using 2D model. *AIP Conference Proceedings*, 1903, 1–11.
<https://doi.org/10.1063/1.5011619>
- Fitriyah, F. N., Halim, F., & Jasin, M. I. (2014). Penanganan Masalah Erosi dan Sedimentasi di Kawasan Kelurahan Perkamil. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 173–181.
- Ginting, S., & Hatmoko, W. (2010). PENENTUAN LAJU SEDIMEN PADA RENCANA WADUK JATIBARANG. *Jurnal Sumber Daya Air*, 6(1), 1–100.
- Hrachowitz, M., Savenije, H. H. G., Blöschl, G., McDonnell, J. J., Sivapalan, M., Pomeroy, J. W., Arheimer, B., Blume, T., Clark, M. P., Ehret, U., Fenicia, F., Freer, J. E., Gelfan, A., Gupta, H. V., Hughes, D. A., Hut, R. W., Montanari, A., Pande, S., Tetzlaff, D., ... Cudennec, C. (2013). A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)-a review. *Hydrological Sciences Journal*, 58(6), 1198–1255.
<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.803183>
- Japan International Cooperation Agency. (2003). *Studi pengelolaan air secara menyeluruh pada wilayah Sungai Musi di Republik Indonesia*.
https://openjicareport.jica.go.jp/617/617/617_108_11740529.html (diakses pada 23 Oktober 2023)
- Kasper, K. E., Thornton, C. I., Abt, S. R., Robeson, M. D., & Watson, C. C. (2005). *Accuracy OF HEC-RAS To Calculate Flow Depths And Total Energy Loss With And Without Bendway Weirs In A Meander Bend*.
<https://www.usbr.gov/uc/albuq/envdocs/tchreports/flowDepthReport/cvr-execsumm.pdf> (diakses pada 24 Oktober 2023)
- Kassam, A. H., Van Velthuizen, H. T., Mitchell, A. B., Fischer, G. W., & Shah, M. M. (1992). *Agro-Ecological Land Resources Assessment For Agricultural Development Planning, A Case Study Of Kenya, Resources Data Base And Land Productivity, Technical Annex 2, Soil Erosion And Productivity*.
<https://www.fao.org/3/t0733e/t0733e.pdf> (diakses pada 23 September 2023)
- Kementerian Kehutanan Indonesia. (2009). *Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor 32 tahun 2019 Tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTKRHL-DAS)*.
[https://jdih.menlhk.go.id/new/uploads/files/P.32%20\(9\).pdf](https://jdih.menlhk.go.id/new/uploads/files/P.32%20(9).pdf) (diakses pada 20 Oktober 2023)
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Rencana PSDA Musi Sugihan Banyuasin Lemau tahun 2017*.
https://drive.google.com/file/d/11BUIFG_kZ_ZpuOFNAk-006GUvwhY248P/view?usp=share_link (diakses 23 Oktober 2023)
- Kusuma, M. S. B., Farid, M., Habibi, S. A., Yasin, D. M., & Johan, E. (2020). The influence of the new LRT pier to the sedimentation pattern around Ampera Bridge in Musi river, South Sumatera, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 18(69), 159–167.
<https://doi.org/10.21660/2020.69.13240>
- Lestari, L. M., Ichsan, A. C., & Aji, I. M. L. (2022). Analisis Tingkat Bahaya Erosi pada Lahan Garapan Kelompok Tani Hutan Makmur Desa Mekar Sari. *Jurnal Tengawang*, 12(2), 129–146.
- Martini, R. S., Setiawati, M., Rosleni, F., Putri, F. T., Kurniawan, E., Edwardo, M. J., & Wahyuni.

- (2022). SEDIMENT ANALYSIS IN THE RIVER OF PALEMBANG CITY. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 9(11), 48–56. <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v9.i11.2022.1244>
- Nadi, J. S. H., Hasan, H., & Devy, S. D. (2019). Estimasi Sedimen Total Dengan Metode Sediment Delivery Ratio (SDR) Pada ROM Area Di PT. Bharinto Ekatama, Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 7(2), 20–26.
- Putranto, D. D. A., Sarino, & Yuono, A. L. (2016). Sistem Manajemen Alokasi Lahan (SIMAL) Sebagai Dasar Dalam Melakukan Alokasi Ruang. *FIT-ISI dan CGISE*, 1–6.
- QGIS Development Team. (2019). *QGIS User Guide Release 2.18 QGIS Project*. <https://docs.qgis.org/2.18/pdf/en/QGIS-2.18-UserGuide-en.pdf> (diakses pada 23 September 2023)
- Sarminah, S., Prititania, F. S., & Karyati. (2018). Pengaruh Keragaman Vegetasi Terhadap Laju Erosi. *Jurnal AGRIFOR*, XVII(2), 355–368.
- Sivapalan, M., Takeuchi, K., Franks, S. W., Gupta, V. K., Karambiri, H., Lakshmi, V., Liang, X., McDonnell, J. J., Mendiondo, E. M., O'Connell, P. E., Oki, T., Pomeroy, J. W., Schertzer, D., Uhlenbrook, S., & Zehe, E. (2003). IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences. *Hydrological Sciences Journal*, 48(6), 857–880. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.6.857.51421>
- Subagyo, K., Marwanto, S., & Kurnia, D. U. (2003). *Teknik Konservasi Tanah Secara Vegetatif*. Balai Penelitian Tanah, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian. <https://repository.pertanian.go.id/server/api/core/bitstreams/721ac5a2-a87d-46c1-9400-62c235f0bf34/content> (diakses pada 23 Oktober 2023)
- Suhartanto, E., Cahya, E. N., & Maknun, lu'luil. (2019). Analisis Limpasan Berdasarkan Curah Hujan Menggunakan Model Artificial Neural Network (ANN) di Sub DAS Brantas Hulu. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 10(2), 134–144. <https://doi.org/https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.02.07>
- USACE. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual CPD-74B*. Hydrologic Engineering Center. <https://www.hec.usace.army.mil/software/he>
- c-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf (diakses pada 23 September 2023)
- USACE. (2022). *HEC-RAS 6.3 Reference manual*. US Army Corps of Engineers.
- Van Werkhoven, K., Wagener, T., Reed, P., & Tang, Y. (2008). Characterization of watershed model behavior across a hydroclimatic gradient. *Water Resources Research*, 44(1), 1–16. <https://doi.org/10.1029/2007WR006271>
- Wibowo, A., Soeprbowati, T. R., & Sudarno. (2015). Laju Erosi dan Sedimentasi Daerah Aliran Sungai Rawa Jombor dengan Model USLE dan SDR untuk Pengelolaan Danau Berkelanjutan. *Indonesian Journal of Conservation*, 4(1), 16–27.
- Yamazaki, D., Ikeshima, D., Tawatari, R., Yamaguchi, T., O'Loughlin, F., Neal, J. C., Sampson, C. C., Kanae, S., & Bates, P. D. (2017). A high-accuracy map of global terrain elevations. *Geophysical Research Letters*, 44(11), 5844–5853. <https://doi.org/10.1002/2017GL072874>
- Yudono, A. R. A., Sungkoro, A., & Gomareuzzaman, M. (2020). Analisis Dampak Erosi Terhadap Kapasitas Sungai Mati di Kecamatan Tawangsari dan Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*, 4(1), 61–72.
- Yuningsih, S. M., & Fauzi, M. (2018). Pembuatan Model Kendali Mutu Data Sedimen. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 9(2), 99–114.
- Zhou, Z., Ge, J., van Maren, D. S., Gu, J., Ding, P., & Wang, Z. (2022). Measuring Bed Exchange Properties of Cohesive Sediments Using Tripod Data. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/jmse10111713>