JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI

Vol. 04, No. 02 Tahun 2024
E-ISSN: 2829-5684

Kajian Potensi Sedimen Di Sub-DAS Bionga-Bulota terhadap Upaya Penanganan Pendangkalan Danau Limboto

Abd Hamid Muhidin [1*], Ratna Musa [2], Andi Amin Latif [3]

1*) Kementerian Pekerjaan Umum, Balai Wilayah Sungai Sulawesi II Gorontalo,
hamidmuhidin31@gmail.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

The Bionga-Bulota sub-watersheds are two adjacent sub-watersheds that contribute significantly to sediment input to Lake Limboto. The geomorphological characteristics, land cover conditions and rainfall intensity of the Bionga-Bulota sub-watershed make it an area with high potential for erosion and sediment production. This condition is exacerbated by massive land use change, land clearing for agriculture and settlements, and agricultural practices that pay little attention to soil and water conservation aspects. This research aims t0 determine the sediment potential in the Biyonga-Bulota Sub-watershed; To simulate the effectiveness of sediment control structures (chekdam) on the sediment transport potential of Biyonga River and Bulota River; To evaluate the efforts to handle the siltation of Lake Limboto. This research was conducted with a descriptive-quantitative approach based on spatial modeling to calculate/predict erosion and sedimentation in an area using USPED (Unit Stream Power Erosion and Deposition) model analysis. The results of this research show that: (1) The main hypothesis is proven but not absolute, because the sediment control building/chekdam in the Biyonga-Bulota Sub-watershed is functionally not effective sufficient. (2) Supporting hypothesis 1 is not proven, the model results show that the layout and storage capacity of the sediment control building/chekdam is not proportional, causing sediment transport control to not be effective sufficient. (3) Supporting Hypothesis 2 is not proven, the model results show that there is no correlation between the amount of sediment control buildings and the magnitude of erosion and sediment that occurs.

Keywords: Bionga-Bulota Sub-watershed, Chekdam, Limboto Lake, Sedimentation, USPED.

Abstrak

Sub-DAS Bionga-Bulota merupakan dua sub-daerah aliran sungai yang berbatasan dengan kontribusi signifikan terhadap masukan sedimen ke Danau Limboto. Karakteristik geomorfologi, kondisi tutupan lahan, dan intensitas curah hujan di wilayah Sub-DAS Bionga-Bulota menjadikannya area dengan potensi erosi dan produksi sedimen yang tinggi. Kondisi ini diperparah dengan adanya perubahan tata guna lahan yang masif, pembukaan lahan untuk pertanian dan pemukiman, serta praktik pertanian yang kurang memperhatikan aspek konservasi tanah dan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar potensi sedimen di Sub-DAS Biyonga-Bulota; Mengetahui simulasi efektifitas bangunan pengendalian sedimen (chekdam) terhadap potensi transport sedimen Sungai Biyonga dan Sungai Bulota; Mengetahui evaluasi upaya penanganan pendangkalan Danau Limboto. Penelitan ini dilakukan dengan pendekatan deskriptif-kuantitatif berbasis pemodelan spasial untuk menghitung/memprediksi erosi dan sedimentasi pada suatu wilayah menggunakan analisis model USPED (Unit Stream Power Erosion and Deposition). Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) Hipotesis Utama terbukti tetapi tidak mutlak, disebabkan bangunan pengendalian sedimen/chekdam di Sub-DAS Biyonga-Bulota secara fungsional belum cukup efektif. (2) Hipotesis pendukung 1 tidak terbukti, hasil model menunjukkan bahwa tata letak dan kapasitas tampungan bangunan pengendali sedimen/chekdam tidak proporsional menyebabkan pengendalian transport sedimen belum cukup efektif. (3) Hipotesis Pendukung 2 tidak terbukti, hasil

model menunjukan tidak terdapat hubungan antara jumlah bangunan pengendali sedimen dengan besarnya erosi dan sedimen yang terjadi.

Kata Kunci : Danau Limboto, Chekdam, Sedimentasi, Sub-DAS Bionga-Bulota, USPED.

1. PENDAHULUAN

Danau Limboto merupakan salah satu aset ekologis vital di Provinsi Gorontalo yang memiliki fungsi strategis sebagai penyedia air, pengendali banjir, sumber mata pencaharian masyarakat setempat, dan memiliki nilai ekologis tinggi sebagai habitat berbagai flora dan fauna. Namun dalam beberapa dekade terakhir, Danau Limboto menghadapi ancaman serius berupa pendangkalan akibat sedimentasi yang masif. Studi yang dilakukan oleh BWS Sulawesi II terkait sedimentasi yang ada di Danau Limboto rentang 12 tahun dari Tahun 2008-Tahun 2020 menunjukkan sedimentasi rata-rata 12,68 Juta m3 dan laju sedimentasi 1,057 Juta m3/tahun (Laporan Kajian Sempadan Danau Limboto, BWS Sulawesi-II,2020).

Untuk mengatasi permasalahan sedimentasi tersebut, berbagai upaya pengendalian sedimen telah dilaksanakan oleh pemerintah melalui Balai Wilayah Sungai Sulawesi II dan instansi terkait lainnya. Salah satu upaya struktural yang telah diimplementasikan adalah pembangunan infrastruktur bangunan pengendalian sedimen (chek dam) di sepanjang aliran sungai di Sub DAS – Sub DAS yang merupakan Daerah Tangkapan Air (DTA) Danau Limboto.

Sub-DAS Bionga-Bulota merupakan dua sub-daerah aliran sungai yang berbatasan dengan kontribusi signifikan terhadap masukan sedimen ke Danau Limboto. Karakteristik geomorfologi, kondisi tutupan lahan, dan intensitas curah hujan di wilayah Sub-DAS Bionga-Bulota menjadikannya area dengan potensi erosi dan produksi sedimen yang tinggi. Kondisi ini diperparah dengan adanya perubahan tata guna lahan yang masif, pembukaan lahan untuk pertanian dan pemukiman, serta praktik pertanian yang kurang memperhatikan aspek konservasi tanah dan air.

Infrastruktur bangunan pengendalian sedimen (chek dam) sebagai upaya penanganan pendangkalan Danau Limboto telah terbangun lebih dari 10 tahun yang lalu di sub DAS Biyonga-Bulota dengan jumlah bangunan di Sungai Biyonga 2 (dua) bangunan dan di Sungai Bulota 5 (lima) bangunan yang diharapkan dapat mengurangi volume sedimen yang masuk ke Danau Limboto untuk menahan dan menampung material sedimen dibagian hulu sebelum mencapai badan danau, tetapi sampai dengan saat ini belum ada kajian mengenai efektivitas bangunan-bangunan tersebut dalam mengendalikan sedimentasi secara komprehensif dan sistematis. Kajian ini menjadi penting untuk menilai sejauh mana investasi pembangunan struktur pengendalian sedimen tersebut memberikan kontribusi positif terhadap upaya penyelamatan pendangkalan Danau Limboto.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis besarnya potensi sedimen yang terdapat di Sub-DAS Biyonga–Bulota, melakukan simulasi efektivitas bangunan pengendalian sedimen (checkdam) terhadap potensi transport sedimen di Sungai Biyonga dan Sungai Bulota, serta mengevaluasi berbagai upaya penanganan pendangkalan yang terjadi di Danau Limboto..

2. METODE

A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan deskriptif-kuantitatif berbasis pemodelan spasial untuk menghitung dan memprediksi tingkat erosi serta sedimentasi pada suatu wilayah. Analisis dilakukan menggunakan model USPED (Unit Stream Power Erosion and

Deposition), yang merupakan pengembangan dari model USLE/RUSLE (Universal Soil Loss Equation/Revised USLE). Model USPED mengintegrasikan faktor-faktor utama seperti erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang lereng (L), kemiringan lereng (S), pengelolaan penutup lahan (C), dan praktik konservasi (P) sebagaimana digunakan pada USLE/RUSLE, kemudian memadukannya dengan data topografi digital berupa Digital Elevation Model (DEM). Data DEM digunakan untuk menghitung arah aliran (flow direction) dan Unit Stream Power, yang merepresentasikan kekuatan aliran permukaan berdasarkan panjang dan kemiringan lereng serta bentuk aliran (konvergen/divergen). Integrasi ini melalui perangkat lunak GIS (Geographic Information System) tidak hanya menghasilkan prediksi kehilangan tanah (soil loss), tetapi juga lokasi terjadinya deposisi atau sedimentasi secara spasial.

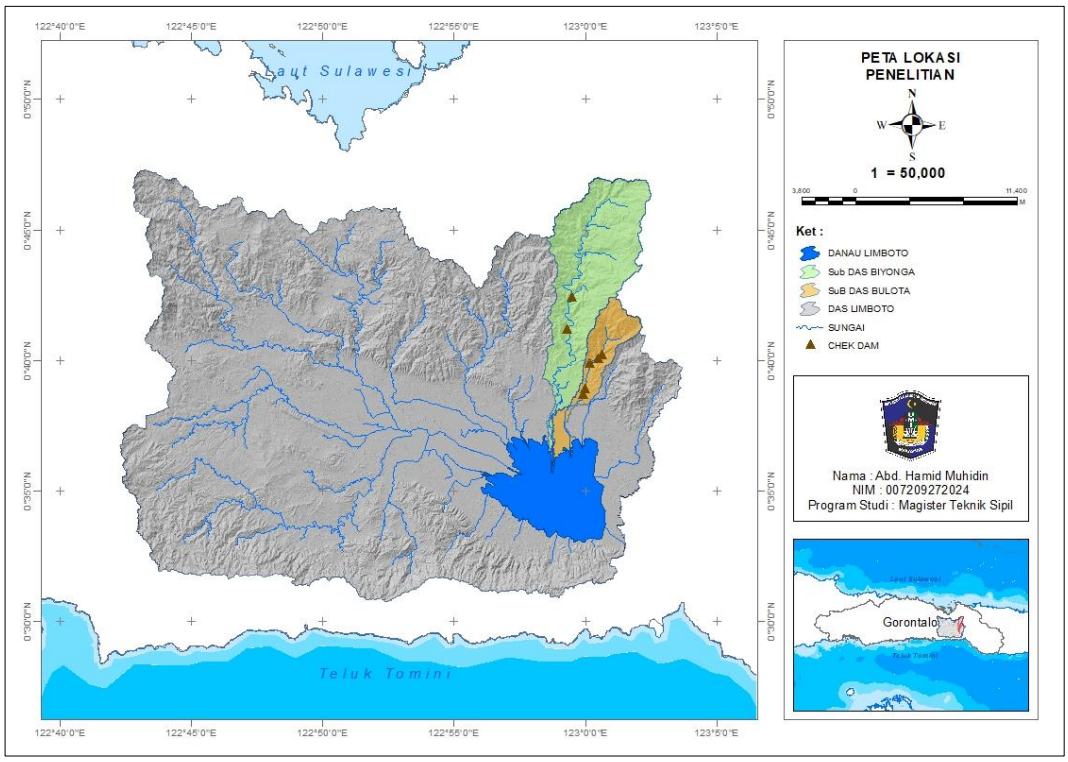
Dalam pelaksanaannya, penelitian ini memanfaatkan berbagai bahan dan peralatan pendukung. Bahan yang digunakan meliputi peta DEM tiga dimensi, data curah hujan wilayah, peta jenis tanah beserta sifat fisiknya, peta penutupan lahan, data observasi lapangan terkait tindakan konservasi, serta data bangunan pengendali sedimen (checkdam). Sementara itu, peralatan yang digunakan antara lain komputer dengan perangkat lunak Microsoft Office dan ArcGIS untuk pengolahan data spasial, aplikasi Google Earth untuk interpretasi visual, serta peralatan survei lapangan seperti Global Positioning System (GPS), alat ukur waterpass, stang ukur atau bak ukur, pita ukur sepanjang 50 meter, dan meteran 5 meter. Perpaduan antara data spasial, perangkat analisis, dan hasil pengukuran lapangan ini diharapkan dapat menghasilkan prediksi erosi dan sedimentasi yang akurat sebagai dasar perencanaan pengendalian sedimen di wilayah studi.

B. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Sub-DAS Biyonga dan Sub-DAS Bulota, yang merupakan dua dari tiga belas Sub-DAS penyusun DAS Limboto, berfungsi sebagai daerah tangkapan air utama Danau Limboto. Secara administratif, wilayah ini termasuk dalam Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo, dengan koordinat geografis antara 122° 55’ 00”–123° 5’ 00” BT dan 0° 35’ 00”–0° 50’ 00” LU. Sub-DAS Biyonga memiliki luas 67,66 km² (7,52% luas DAS Limboto), sedangkan Sub-DAS Bulota memiliki luas 18,14 km² (2,02% luas DAS Limboto). Karakteristik kedua Sub-DAS cukup berbeda, baik dari segi hidrologi, iklim, jenis tanah, topografi, maupun penggunaan lahan. Sungai Biyonga bersifat permanen mengalir sepanjang tahun, sementara Sungai Bulota bersifat intermiten tergantung musim. Keduanya memiliki iklim tropis tipe A (sangat basah) menurut klasifikasi Schmidt–Ferguson, dengan curah hujan tahunan berkisar 1.193–2.750 mm, serta didominasi musim hujan pada November hingga April. Jenis tanah yang mendominasi adalah latosol dan mediteran, yang memiliki kandungan bahan organik rendah dan rentan terhadap erosi. Topografi kedua Sub-DAS bervariasi dari datar hingga sangat curam, dengan elevasi tertinggi di Sub-DAS Biyonga mencapai 1.245 m dpl, sedangkan di Sub-DAS Bulota mencapai 865 m dpl.

Dalam satu dekade terakhir, perubahan penggunaan lahan di kedua Sub-DAS cukup signifikan. Di Sub-DAS Biyonga, terjadi peningkatan luas hutan lahan kering sekunder dan pertanian lahan kering bercampur semak, sementara di Sub-DAS Bulota terjadi penurunan luas semak/belukar dan peningkatan luas pertanian serta permukiman. Faktor-faktor seperti pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, dan perubahan kebijakan pemerintah turut memengaruhi alih fungsi lahan tersebut. Pemilihan Sub-DAS Biyonga dan Bulota sebagai lokasi penelitian didasarkan pada kontribusinya yang signifikan terhadap sedimentasi Danau Limboto, serta perbedaan karakteristik fisik dan infrastruktur pengendalian sedimen. Sungai Biyonga hanya memiliki dua bangunan checkdam, sedangkan Sungai Bulota memiliki lima checkdam dengan daerah tangkapan lebih kecil. Perbedaan ini menjadi dasar penting untuk mengkaji pola erosi, sedimentasi, dan

efektivitas pengendalian sedimen, sehingga hasil penelitian dapat memberikan rekomendasi kebijakan pengelolaan DAS yang berkelanjutan demi menjaga fungsi ekologis Danau Limboto.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

C. Jenis dan Sumber Data

Jenis dan sumber data yang diperlukan dalam penelitian ini ditunjukan dalam tabel 3.9 sebagai berikut:

Tabel 1 Jenis dan Sumber Data

No	Jenis Data	Deskripsi	Format	Sumber	Metode Akuisisi
I	Data Kuantitatf				
1	DEM	Elevasi untuk slope,aspect dan aliran permukaan	Raster (.tif)	DEMNAS BIG	Unduh Ina Geoportal
2	Curah hujan (Min 10 tahun)	Data hujan tahunan sebagai acuan faktor R	Tabel	BWS Sulawesi II	Permintaan resmi
3	Peta Jenis Tanah	Menentukan nilai erodibilitas tanah (K factor)	Shp	KEMENTAN	Unduh Ina Soil Agro
4	Penutpan Lahan	Untuk klasifikasi tutupan lahan (C factor)	Shp	KLHK	Unduh Ina Geoportal
5	Bangunan Pengendali Sedimen (Chekdam)	Lokasi dan kapasitas tampung	Tabel	BWS Sulawesi II	Permintaan resmi

No	Jenis Data	Deskripsi	Format	Sumber	Metode Akuisisi
6	Sifat fisik tanah	Massa jenis tanah	Tabel	BWS Sulawesi II	Permintaan resmi
7	Leveling top mercu chekdam	Panjang sedimen tertampung	Tabel	Survey lapangan	Waterpass
II	Data Kualitatif				
1	Koordinat Validasi	Titik-titik observasi lapangan untuk validasi spasial	Titik GPS	Survey lapangan	GPS manual atau peta lapangan
2	Data Praktik Konservasi	Informasi tentang praktik P factor	Image	Survey lapangan	Survey dan observasi
3	Citra Satelit	Informasi tentang praktik pengendapan sedimen	Image	Googgle Earth	Unduh Googgle Earth

D. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini melibatkan seluruh wilayah sub DAS Biyonga dan sub DAS Bulota, yang mencakup berbagai satuan lahan dengan karakteristik biofisik yang meliputi pola aliran permukaan, jenis tanah, kemiringan lereng (slope), aspek, serta penggunaan dan penutupan lahan. Karakteristik-karakteristik ini penting untuk menggambarkan kondisi lingkungan yang mempengaruhi dinamika aliran permukaan dan proses erosi serta sedimentasi di wilayah tersebut. Penelitian ini berfokus pada analisis kondisi fisik lahan untuk mendalami faktor-faktor yang mempengaruhi kerentanan terhadap erosi.

Sampel dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga jenis: pertama, sampel data spasial yang berupa grid/piksel dari peta DEM resolusi 0.27-arcsecond, digunakan untuk mengolah informasi arah aliran, topografi, serta penggunaan lahan dan jenis tanah. Kedua, sampel titik validasi lapangan yang diambil secara purposive dari lokasi-lokasi yang mewakili variasi kelas lereng, penggunaan lahan, dan jenis tanah, yang digunakan untuk memverifikasi model melalui pengamatan kondisi lapangan terkait alur erosi dan sedimentasi. Ketiga, sampel data sekunder yang mencakup data curah hujan tahunan, penggunaan lahan, dan peta tanah yang digunakan untuk menghitung faktor-faktor dalam model USPED, memberikan dasar perhitungan yang lebih mendalam untuk analisis kerentanan lereng.

E. Metode Analisis Data

Pengolahan data spasial dilakukan dengan ArcGIS 10.4.1 untuk membuat peta topografi, menghitung faktor R dari data curah hujan dengan metode polygon Thiessen, serta memetakan faktor K, C, dan P berdasarkan jenis tanah, penutupan lahan, dan tata guna lahan. Langkah-langkah ini menghasilkan data spasial yang digunakan dalam analisis lebih lanjut.

Implementasi model USPED menggantikan persamaan USLE untuk menghitung erosi (E) dan deposisi (D) berdasarkan kapasitas angkut sedimen di permukaan lereng, menggunakan data spasial yang telah diproses dengan ArcGIS 10.4.1. Model ini memberikan gambaran pola erosi dan sedimentasi di area penelitian.

Analisis upaya penanganan pendangkalan Danau Limboto dilakukan dengan mengevaluasi efektivitas bangunan pengendali sedimen, seperti check dam, dengan simulasi kesesuaian titik lokasi dan umur tampungan bangunan terhadap konsentrasi dan transportasi sedimen. Evaluasi ini memberikan rekomendasi efisiensi upaya pengendalian sedimen di danau.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data

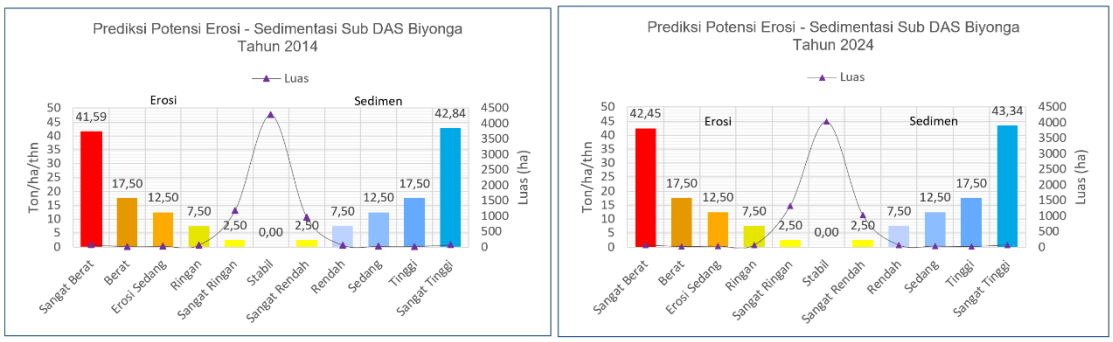
Pengolahan data spasial dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.4.1, yang mengolah data dari Digital Elevation Model (DEM) untuk menghasilkan peta kemiringan (slope), aliran (flow direction), dan akumulasi aliran (flow accumulation). Proses ini mencakup pengisian sink, penentuan arah aliran, dan penghitungan faktor kemiringan serta aspek lereng dari data DEM yang tersedia. Hasil pengolahan data spasial ini memberikan informasi penting mengenai kondisi topografi dan aliran permukaan di wilayah Sub DAS Biyonga dan Bulota, yang digunakan untuk analisis lebih lanjut terkait potensi erosi dan sedimentasi.

Selanjutnya, analisis faktor R dilakukan dengan menggunakan data curah hujan yang dihitung berdasarkan teknik polygon Thiessen, dan kemudian dianalisis menggunakan persamaan untuk energi kinetik hujan. Hasil perhitungan ini menunjukkan nilai rata-rata tahunan faktor R untuk kedua sub DAS, yakni 232 untuk Sub DAS Biyonga dan 233 untuk Sub DAS Bulota. Faktor K, yang menunjukkan erodibilitas tanah, dihitung berdasarkan jenis tanah yang terdapat pada peta tanah dari Kementan. Hasil perhitungan menunjukkan nilai erodibilitas yang bervariasi antara jenis tanah, dengan Grumosol dan Aluvial menunjukkan nilai K yang lebih tinggi, yang berarti lebih rentan terhadap erosi.

Terakhir, analisis faktor C dan P dilakukan untuk mengukur pengaruh penggunaan lahan dan tindakan konservasi terhadap potensi erosi. Faktor C dihitung berdasarkan data penutupan lahan, sementara faktor P ditentukan melalui observasi lapangan. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar kawasan Sub DAS Biyonga dan Bulota tidak memiliki tindakan konservasi yang memadai, yang berpotensi meningkatkan erosi.

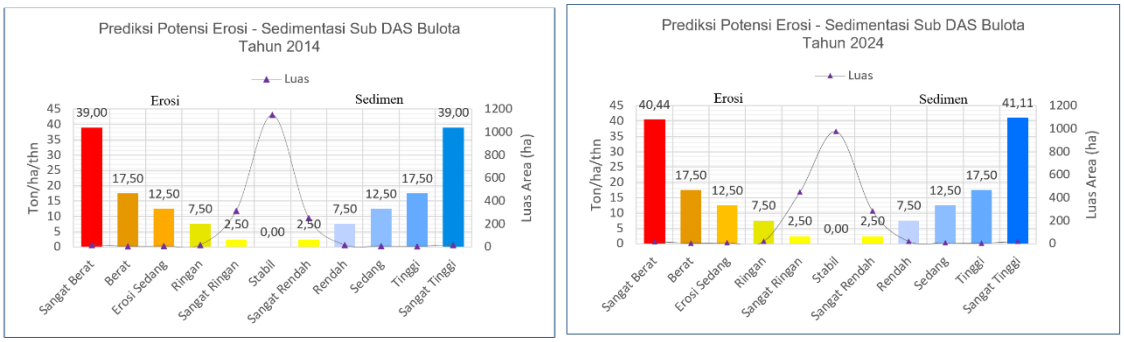
B. Analisis Model USPED

Analisis erosi dan sedimentasi yang diimplementasikan dengan model USPED pada sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Biyonga - Bulota untuk periode tahun 2014 – 2024 menghasilkan gambar peta spasial yang memvisualisasikan perkiraan aliran erosi dan sedimentasi yang tersebar dan terkonsentrasi pada daerah yang paling curam dihitung sebagai perkiraan aliran sedimen dalam [kg / (ms)] atau [ton.m /ha/tahun] bukan kehilangan tanah E [kg / (m2.s))] atau [ton.m /ha/tahun] dalam hitungan model USLE, selanjutnya nilai prediksi potensi erosi dan sedimentasi sub DAS Biyonga – Bulota tahun 2014 dan tahun 2024 dilakukan kualifikasi dengan mengacu pada Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P. 60/Menhut-II/2014 mengenai kriteria penilaian muatan sedimen.



Gambar 2 Grafik Potensi Erosi – Sedimentasi Terhadap Luas sub DAS Biyonga Tahun 2014 (kiri) dan Tahun 2024 (kanan)

Pada Sub DAS Biyonga, potensi erosi dan sedimentasi tahun 2014 menunjukkan variasi yang signifikan antara tingkat erosi yang sangat berat hingga stabil. Sebagian besar luas area mengalami tingkat erosi dan sedimentasi yang cukup tinggi, dengan 40,5 ha mengalami erosi sangat berat dan menghasilkan 2,813.47 ton/tahun. Sebanyak 7.5 ha lainnya mengalami erosi ringan dengan sedimentasi 448.66 ton/tahun. Sementara itu, area yang stabil mencatatkan total sedimentasi 4,273.76 ton tanpa erosi. Pada tahun 2024, prediksi potensi erosi dan sedimentasi meningkat, dengan area sangat berat mengalami erosi 2,923.30 ton/tahun. Secara keseluruhan, Sub DAS Biyonga mengalami peningkatan total erosi dan sedimentasi menjadi 7,467.79 ton/tahun **(Gambar 2)**.



Gambar 3 Grafik Potensi Erosi – Sedimentasi Terhadap Luas sub DAS Bulota Tahun 2014 (kiri) dan Tahun 2024 (kanan)

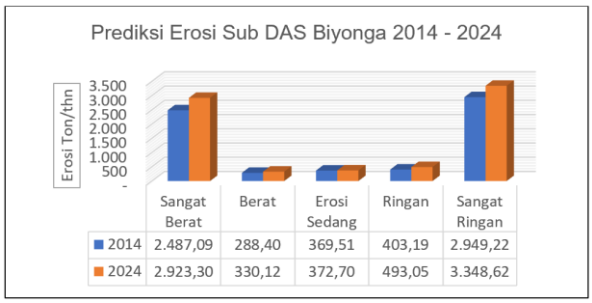
Sementara itu, Sub DAS Bulota pada tahun 2014 menunjukkan hasil yang serupa dengan Biyonga, namun dengan jumlah yang sedikit lebih rendah. Area dengan erosi sangat berat seluas 39 ha menghasilkan sedimentasi 1,801.62 ton/tahun. Sedangkan 7.5 ha dengan erosi ringan menghasilkan 120.79 ton/tahun. Sebagian besar wilayah Bulota stabil dengan sedimentasi mencapai 1,150.16 ton/tahun. Pada tahun 2024, prediksi potensi erosi dan sedimentasi juga menunjukkan peningkatan, dengan area sangat berat mengalami erosi sebanyak 766.43 ton/tahun. Total erosi dan sedimentasi untuk Sub DAS Bulota pada 2024 mencapai 2,227.02 ton/tahun **(Gambar 3)**.

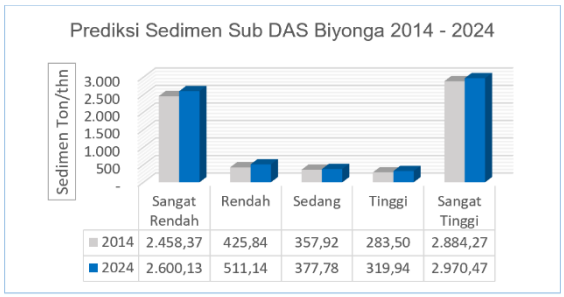
C. Uji statistik hasil analisis model USPED

Uji statistik yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa uji penting untuk mengevaluasi hubungan antara variabel topografi dan erosi/sedimen. Uji normalitas dilakukan menggunakan Kolmogorov-Smirnov, yang menunjukkan bahwa data residual berdistribusi normal dengan nilai signifikansi 0,200, yang lebih besar dari 0,05. Uji linearitas mengindikasikan bahwa variabel slope dan aspect memiliki hubungan linear dengan variabel erosi dan sedimen, dengan nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05. Uji regresi linear berganda dilakukan untuk mengidentifikasi pengaruh variabel slope dan aspect terhadap erosi dan sedimen, dengan hasil menunjukkan korelasi signifikan antara slope dan erosi, sedangkan aspek tidak memiliki hubungan signifikan.

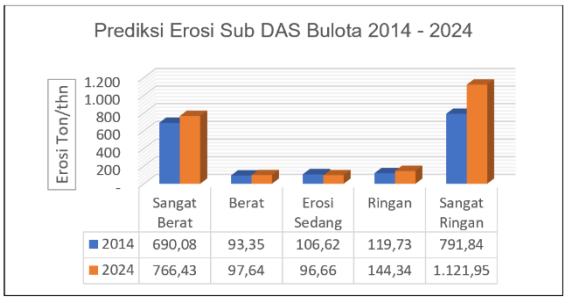
Uji F dilakukan untuk menguji pengaruh simultan variabel slope dan aspect terhadap erosi dan sedimen, dengan hasil signifikansi 0,001, yang menunjukkan bahwa kedua variabel secara simultan mempengaruhi erosi dan sedimen secara signifikan. Uji t menunjukkan bahwa variabel slope berpengaruh signifikan terhadap erosi dan sedimen dengan nilai signifikansi 0,000, sementara variabel aspect tidak berpengaruh signifikan dengan nilai signifikansi 0,785. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa slope secara signifikan mempengaruhi erosi dan sedimen, sedangkan aspect tidak memiliki pengaruh yang signifikan dalam model USPED, dengan tingkat kepercayaan model sebesar 84,9%.

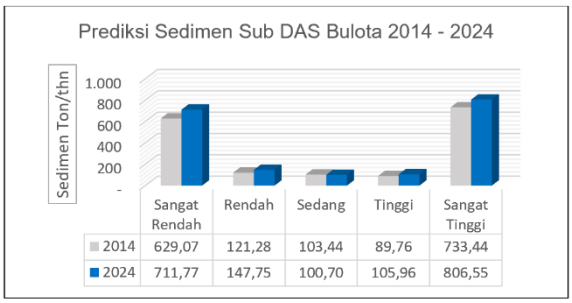
D. Pembahasan





Gambar 4 Grafik Prediksi Erosi Sub DAS Biyonga Tahun 2014 – 2024 (kiri) dan Prediksi Sedimentasi (kanan)





Gambar 5 Grafik Prediksi Erosi Sub DAS Bulota Tahun 2014 – 2024 (kiri) dan Prediksi Sedimentasi (kanan)

a) Potensi Produksi Sedimen di Sub-DAS Biyonga–Bulota

Berdasarkan hasil analisis model USPED, potensi produksi sedimen di Sub-DAS Biyonga–Bulota menunjukkan peningkatan yang signifikan antara tahun 2014 dan 2024. Di Sub-DAS Biyonga, produksi sedimen meningkat dari 6,409.90 ton/tahun pada 2014 menjadi 6,779.47 ton/tahun pada 2024, sedangkan di Sub-DAS Bulota, produksi sedimen meningkat dari 1,676.98 ton/tahun menjadi 1,872.73 ton/tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa proses erosi dan sedimentasi masih berlangsung secara intensif. Faktor-faktor seperti perubahan penggunaan lahan, kemiringan lereng curam, tanah yang mudah tererosi, dan tutupan lahan yang terbuka, misalnya pada pertanian jagung tanpa konservasi, menyebabkan peningkatan produksi sedimen. Zona-zona kritis di kedua sub-DAS ini berkontribusi besar terhadap beban sedimen yang masuk ke alur sungai utama dan akhirnya mengalir ke Danau Limboto, memperburuk kondisi pendangkalan.

b) Kondisi Eksisting dan Kapasitas Tampung Bangunan Pengendalian Sedimen

Pemeriksaan bangunan pengendali sedimen (chekdam) di Sub-DAS Biyonga–Bulota menunjukkan bahwa banyak bangunan yang telah berumur lebih dari 10 tahun dan mengalami kerusakan struktural, seperti retak atau kolaps pada bagian spillway. Kapasitas tampung sedimen bangunan pengendali sedimen juga tidak optimal karena sebagian besar sudah terisi penuh dengan sedimen, mencapai 100% dari volume desain. Selain itu, perawatan dan pemeliharaan yang tidak rutin mengurangi efektivitas fungsional bangunan ini. Berdasarkan data dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi II, bangunan-bangunan pengendali sedimen telah dipetakan sesuai dengan koordinat lokasi dan daerah tangkapan sedimen, tetapi kapasitas tampungan yang terisi sepenuhnya menunjukkan perlunya peningkatan dalam pengelolaan dan pemeliharaan infrastruktur ini untuk mempertahankan fungsinya.

c) Efektivitas Bangunan Pengendalian Sedimen Eksisting terhadap Laju Sedimentasi Danau Limboto

Analisis efektivitas bangunan pengendali sedimen menunjukkan bahwa bangunan di Sub-DAS Biyonga hanya mampu mereduksi sedimen sekitar 68%, dengan volume aliran sedimen yang masih tinggi (1,385.43 m^3/tahun). Bangunan-bangunan ini hanya dapat berfungsi efektif selama sekitar 1.5 tahun, mengindikasikan perlunya perbaikan dalam kapasitas tampung dan distribusi titik lokasi. Di Sub-DAS Bulota, bangunan pengendali sedimen memiliki tingkat efektivitas yang lebih tinggi, yaitu 82%, tetapi masih ada sekitar 18% sedimen yang tidak dapat tertangani dan mengalir ke alur sungai utama. Walaupun efektivitasnya lebih baik, jumlah dan penempatan bangunan tidak sebanding dengan besar potensi sedimen yang terus meningkat setiap tahun, menyebabkan biaya pemeliharaan yang lebih besar. Secara keseluruhan, kedua sub-DAS ini membutuhkan intervensi teknis dan kelembagaan untuk meningkatkan efektivitas pengendalian sedimen guna mengurangi dampak pendangkalan pada Danau Limboto.

d) Relevansi teori dengan hasil penelitian

Relevansi teori dengan hasil penelitian dalam studi ini mengungkapkan bahwa model USPED (Unit Stream Power-based Erosion Deposition) memberikan pendekatan yang valid untuk memprediksi erosi dan sedimentasi di Sub-DAS Biyonga–Bulota. Model ini mengintegrasikan beberapa faktor utama seperti R (erosivitas hujan), K (erodibilitas tanah), LS3D (panjang dan kemiringan lereng), C (penutup lahan), dan P (praktek konservasi), yang diperhitungkan secara spasial menggunakan data Digital Elevation Model (DEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi erosi dan sedimen sejalan dengan teori, di mana area dengan curah hujan tinggi, lereng curam, atau lahan terbuka menunjukkan tingkat erosi yang lebih tinggi. Selain itu, faktor konservasi (P) dan tutupan lahan (C) terbukti mengurangi erosi, yang juga konsisten dengan teori. Integrasi konvergensi aliran dalam model USPED berhasil memetakan titik-titik kritis sumber erosi dan area deposisi, yang mendukung teori mengenai aliran permukaan dan unit stream power. Secara keseluruhan, relevansi antara teori USPED dan hasil penelitian menunjukkan bahwa model ini efektif untuk menggambarkan dinamika erosi dan sedimentasi di lapangan serta dapat digunakan untuk merencanakan konservasi tanah yang lebih efisien.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dengan pendekatan model USPED dalam memprediksi potensi erosi dan sedimentasi di Sub-DAS Biyonga–Bulota serta upaya penanganan pendangkalan Danau Limboto, dapat disimpulkan bahwa bangunan pengendalian sedimen di kedua sub-DAS belum cukup efektif dalam menahan beban produksi sedimen secara optimal, sehingga masih diperlukan intervensi strategis baik dari segi teknis maupun kelembagaan. Hasil model juga menunjukkan bahwa tata letak dan kapasitas tampung bangunan pengendali sedimen tidak proporsional dengan kapasitas pengendalian erosi dan sedimentasi, yang mengarah pada ketidakefektifan pengendalian transportasi sedimen sebelum mencapai Danau Limboto. Selain itu, tidak terdapat hubungan yang signifikan antara jumlah bangunan pengendali sedimen dan besarnya erosi serta sedimentasi yang terjadi, di mana Sub-DAS Biyonga dengan dua bangunan pengendali sedimen menghasilkan produksi potensi sedimen 362% lebih besar dibandingkan Sub-DAS Bulota yang memiliki lima bangunan pengendali sedimen.

5. DAFTAR PUSTAKA

Achmad, T., Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Analisis Kebutuhan Air Irigasi Akibat Perubahan Tata Guna Lahan. Jurnal Flyover, 2(2), 66–75. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1343

Alexakis, D., Hadjimitsis, D., & Agapiou, A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS, and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of "Yialias" in Cyprus. Geosciences, 3(4), 120-134.

Alfianto, A., Cecilia, S., & Ridwan, B. W. (2020). Pemodelan Potensi Erosi Dan Sedimentasi Hulu Danau Limboto Dengan Watem / Sedem (Potential Erosion and Sedimentation Modeling of the Upstream Limboto Lake Using Watem / Sedem).

Arekhi, S., Afshin, S., & Rostamizad, G. (2012). Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield (Case study: Kengir Watershed, Iran). Journal of Soil and Water Conservation, 67(4), 268-276.

Ariesandy Maya A, J. S., Musa, R., & Sar, M. (2024). Kajian Sumur Resapan Dalam Mengurangi Risiko Limpasan Permukaan di Kawasan Pondambea Kota Kendari. Jurnal Flyover, 4(1), 167–180. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2175

Aunurrafiq, Musa, R., & Sar, M. (2024). Kajian Pengaruh Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir. Jurnal Flyover, 4(1), 87–98. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2168

Ayed, G., & Adam, M. A. (2010). The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. Environmental Earth Sciences, 63, 833–839.

Dwi Kurnia Sandi, Mulyanto, D., & Arbiwati, D. (2020). Kajian Erodibilitas Tanah Pada Beberapa Sub Group Tanah Di Kecamatan Semin (Study of Soil Erodibility at Various Soil Sub Groups in Semin Sub-District). Jurnal Geografi Indonesia, 34(2), 123-134.

Fikri Wahyuddin, M. S., Musa, R., & Ashad, H. (2024). Kajian Koefisien Limpasan Penutup Lahan dengan Perkerasan Aspal (Uji Laboratorium). Jurnal Flyover, 4(1), 133–142. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2172

Govers, G., Giménez, R., & Van Oost, K. (2011). Physical pattern-process relationships in surface hydrology: Hydrological connectivity expressed in landscape metrics. Hydrological Processes, 25(24), 3760-3773.

Hidayat, M. I., Hadi, A. K., & Musa, R. (2022). Kelayakan Proyek Pembangunan Jaringan Irigasi Daerah Irigasi (DI) Teko Kabupaten Sinjai. Jurnal Flyover, 2(2), 86–98. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1346

Karydas, C. G., Panagos, P., & Gitas, I. Z. (2014). A classification of water erosion models according to their geospatial characteristics. Environmental Modelling & Software, 62, 1-11.

Kasnawawi, Musa, R., & Mallombassi, A. (2022). Perbaikan Alur Sungai Akibat Debit Banjir. Jurnal Flyover, 2(1), 48–55. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I1.871

Kurniawati, A., Musa, R., Mallombassi, A., & Wellang, M. (2021). Kajian Debit Banjir di Wilayah Sungai Saddang Kabupaten Pinrang Sulawesi Selatan dengan Menggunakan Grafik Creager. Jurnal Flyover, 1(2), 1–7. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.755

Maddi, H. C., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Kajian Pengendalian Banjir dengan Menggunakan Waduk Regulasi. Jurnal Flyover, 1(1), 21–32. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I1.658

Mitasova, H., Barton, M., & Ullah, I. (2013). GIS-Based Soil Erosion Modeling. Environmental Modelling & Software, 47, 26-39.

Mohamad, I., Musa, R., & Ashad, H. (2021). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Petugas Operasi dan Pemeliharaan dalam Pengelolaan Operasi Jaringan Irigasi. Jurnal Flyover, 1(2), 48–59. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.750

Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Science of the Total Environment, 514, 161-174.

Poleanto, E., Musa, R., & Subhan, A. M. (2024). Kajian Kinerja Operasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi D.I Bendung Amohalo Kota Kendari. Jurnal Flyover, 4(1), 181–190. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2176

Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., & Geetha, N. (2012). Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. Environmental Monitoring and Assessment, 184, 3729-3743.

Rizal, R. (2023). Kajian Potensi Pemanfaatan Air Tanah Berdasarkan Data Geolistrik Resistiviti untuk Air Baku. Jurnal Flyover, 3(2), 120–128. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1637

Rizky Auliarahman, R., Musa, R., & Mallombassi, A. (2024). Kajian Penilaian Kerusakan Jaringan Irigasi Bila Kanan, Kabupaten Sidenreng Rappang. Jurnal Flyover, 4(1), 1–11. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2153

Sibromalisi, A. R., Musa, R., & SAR, M. (2024). Kajian Kehilangan Air Pada Saluran dengan Berbagai Metode. Jurnal Flyover, 4(1), 111–120. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2170

Subardja, et al. (2016). Klasifikasi Tanah Nasional. Pusat Penelitian Tanah.

Tanggulungan, S., Musa, R., & Mallombassi, A. (2024). Kajian Koefisien Kekasaran Dasar Saluran dengan Ukuran Agregat yang Bervariasi (Uji Laboratorium). Jurnal Flyover, 4(1), 143–154. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2173

Wahyu Wijiyanto, Nurrahmat, Kadir, A., et al. (2014). Perencanaan Bangunan Pengendali Sedimen Daerah Aliran Sungai Kreo Kota Semarang. Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, 10(1), 35-47.

Wang, B., Zheng, F., Römkens, M. J. M., & Darboux, F. (2013). Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. Soil and Tillage Research, 131, 5-13.

Yamin, A., Ashad, H., & Sar, M. (2024). Kajian Kerusakan Bangunan Pantai pada Kawasan Anaiwoi – Kampung Bajo Kabupaten Kolaka. Jurnal Flyover, 4(1), 121–132. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2171