



Kinerja Serat Ijuk sebagai Tutupan Permukaan Tanah untuk Pengendalian Erosi pada Lereng Pegunungan di Lahan Tanam Jagung

Fikri Maulana Ntobuo¹, Muhammad Jahja^{2*}, Muh. Fachrul Latief³, Fitryane Lihawa⁴,
Meilan Demulawa⁵, Dewa Gede Eka Setiawan⁶

^{1,2,3,5,6} Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

⁴ Jurusan Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan IPA, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

*Penulis Korespondensi: mj@ung.ac.id

Abstract. Soil erosion is a major problem on sloping land that can reduce soil fertility and agricultural productivity. This study aims to analyze the effectiveness of palm fiber (ijuk) nets and corn plants in controlling soil erosion on land with a slope of approximately 57° in Bina Jaya Village, Tolangohula District, Gorontalo Regency. The method used was a field experiment with three treatments: Plot I (ijuk net + corn), Plot II (ijuk net), and Plot III (without treatment). The observed data included rainfall, soil erosion mass, and corn growth used to calculate the Leaf Area Index (LAI). The results showed that Plot I produced the lowest soil erosion (16.8 kg), followed by Plot II (23.7 kg), and Plot III (84.5 kg). Rainfall had a direct influence on increasing soil erosion, especially on untreated land. Increasing LAI values contributed to reducing erosion by improving soil cover and reducing runoff. The effectiveness of the ijuk net reached 80.1% when combined with vegetation and 71.9% without vegetation. Therefore, the combination of ijuk net and corn plants is proven to be an effective, simple, economical, and sustainable soil conservation method for sloping land.

Keywords: Corn; Ijuk Net; Sloping Land; Soil Conservation; Soil Erosion.

Abstrak. Erosi tanah merupakan salah satu permasalahan utama pada lahan miring yang dapat menurunkan kesuburan tanah dan produktivitas pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan jaring ijuk dan tanaman jagung dalam mengendalikan erosi pada lahan dengan kemiringan $\pm 57^\circ$ di Desa Bina Jaya, Kecamatan Tolangohula, Kabupaten Gorontalo. Metode yang digunakan adalah eksperimen lapangan dengan tiga perlakuan, yaitu Plot I (jaring ijuk + tanaman jagung), Plot II (jaring ijuk), dan Plot III (tanpa perlakuan). Data yang diamati meliputi curah hujan, massa tanah tererosi, serta pertumbuhan tanaman jagung yang digunakan untuk menghitung nilai Leaf Area Index (LAI). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Plot I menghasilkan massa tanah tererosi terendah sebesar 16,8 kg, diikuti Plot II sebesar 23,7 kg, dan Plot III sebesar 84,5 kg. Curah hujan berpengaruh langsung terhadap peningkatan erosi, terutama pada lahan tanpa perlakuan. Nilai LAI yang meningkat seiring pertumbuhan tanaman juga berkontribusi dalam menekan erosi melalui penutupan permukaan tanah. Efektivitas jaring ijuk mencapai 80,1% pada kombinasi dengan tanaman dan 71,9% tanpa tanaman. Dengan demikian, kombinasi jaring ijuk dan tanaman jagung terbukti efektif sebagai metode konservasi tanah yang sederhana, ekonomis, dan berkelanjutan pada lahan miring.

Kata kunci: Erosi Tanah; Jagung; Jaring Ijuk; Konservasi Tanah; Lahan Miring.

1. LATAR BELAKANG

Erosi tanah merupakan permasalahan lingkungan yang serius, khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia yang memiliki curah hujan tinggi sepanjang tahun. Tingginya intensitas hujan, dipengaruhi oleh letak geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dengan kelembapan tinggi, menjadikan wilayah ini sangat rentan terhadap degradasi tanah. Aktivitas pembukaan lahan tanpa memperhatikan prinsip konservasi tanah, terutama di wilayah dengan topografi miring seperti Desa Bina Jaya, Kecamatan Tolangohula, Kabupaten Gorontalo, semakin mempercepat proses erosi.

Berdasarkan data dari Dunggio et al. (2022), tingkat erosi di beberapa daerah aliran sungai (DAS) di Provinsi Gorontalo mencapai 44,69 ton/ha/tahun. Angka ini tergolong sangat tinggi menurut klasifikasi United States Department of Agriculture (USDA). Permasalahan ini diperburuk oleh praktik pertanian pada lahan miring tanpa adanya tindakan konservasi yang memadai. Lahan kering dan lahan pertanian diketahui memiliki tingkat kerentanan erosi yang tinggi dibandingkan dengan lahan tertutup vegetasi alami (Bhandari et al., 2021).

Untuk mengatasi persoalan ini, dibutuhkan pendekatan konservasi tanah yang efektif dan ramah lingkungan. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah pemanfaatan bahan alami lokal seperti serat ijuk dari pohon aren (*Arenga pinnata*). Pohon enau atau aren banyak tumbuh di wilayah Gorontalo dan menghasilkan ijuk, serat kasar yang kuat, tahan lama, serta memiliki ketahanan terhadap asam dan garam. Ijuk juga dikenal memiliki sifat mekanik yang tinggi, seperti ditunjukkan oleh Tamrin et al. (2021) bahwa komposit dengan serat ijuk memiliki kekuatan tarik mencapai 45,44 MPa, lebih unggul dibandingkan serat alami lainnya.

Dalam penelitian ini, serat ijuk digunakan dalam bentuk jaring untuk dijadikan penutup permukaan tanah pada lahan pertanian jagung (*Zea mays*) dengan kemiringan $\pm 60^\circ$. Tujuan dari penggunaan jaring ijuk adalah untuk meredam daya hantam air hujan, mengurangi laju limpasan permukaan, dan pada akhirnya menekan jumlah tanah yang tererosi. Model jaring dipasang secara vertikal mengikuti arah kemiringan lereng, yang juga bertujuan untuk menghemat penggunaan material dan mempermudah instalasi.

Pemanfaatan serat ijuk sebagai alat konservasi tanah tidak hanya memberikan dampak teknis, tetapi juga memberdayakan potensi lokal yang melimpah. Dengan demikian, inovasi ini diharapkan mampu menjadi solusi konservasi tanah yang berkelanjutan dan aplikatif, terutama bagi wilayah pedesaan yang rawan terjadi longsor dan minim akses terhadap teknologi modern.

2. KAJIAN TEORITIS

Erosi

Menurut Taslim et al. (2019), erosi tanah permukaan adalah proses hilangnya lapisan atas tanah akibat pergerakan air atau angin. Erosi dapat mengurangi produktivitas tanah, kemampuan tanah menopang beban, dan kualitas lingkungan secara umum. Proses ini bersifat alami dan menghasilkan sedimen melalui pengangkutan partikel tanah, yang mengakibatkan hilangnya bahan organik dan mineral secara tidak merata. Hal ini berdampak negatif terhadap masyarakat dan lingkungan.

Erosi terdiri atas lima tahapan utama (Nugraheni & Sobriyah, 2013), yaitu: Pelepasan (*Detachment*): Partikel tanah terlepas dari massa tanah akibat energi kinetik air hujan, angin,

atau aliran air. Transportasi (*Transportation*): Partikel yang telah terlepas diangkut oleh media seperti air hujan, air permukaan, atau angin. Pengendapan (*Deposition*): Partikel yang terbawa kemudian diendapkan ketika kecepatan aliran air atau angin menurun. Kompaksi (*Compaction*): Partikel yang mengendap akan mengalami pemadatan akibat tekanan dari material di atasnya. Sementasi (*Cementation*): Partikel yang telah terkompaksi kemudian diikat oleh mineral atau bahan organik, membentuk batuan baru.

Jenis-Jenis Erosi

Menurut Muchlis et al. (2017), erosi oleh air hujan merupakan bentuk utama dari erosi tanah. Jenis-jenis erosi air hujan meliputi: Erosi Percikan (*Splash Erosion*): Merupakan tahap awal erosi, saat tetesan hujan memecah dan melempar partikel tanah ke udara. Erosi Lembaran (*Sheet Erosion*): Terjadi ketika lapisan tanah tipis terkikis merata oleh limpasan air permukaan. Erosi Alur (*Rill Erosion*): Terjadi bila air mengalir membentuk alur-alur kecil (rill) pada permukaan tanah. Erosi Parit (*Gully Erosion*): Rill yang terus berkembang membentuk alur besar dan dalam yang disebut gully. Erosi Massal (*Mass Movement*): Terjadi akibat hujan deras atau banjir yang menyebabkan pergerakan besar tanah dan batuan secara cepat.

Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Erosi

Iklm

Iklm, khususnya curah hujan, merupakan faktor utama yang memengaruhi erosi. Intensitas, durasi, dan frekuensi hujan memengaruhi tingkat detasemen dan pengangkutan partikel tanah (Muchlis et al., 2017). Hujan deras mempercepat pembentukan aliran permukaan dan memperbesar potensi erosi, terutama di daerah rawa, jurang, dan lereng curam (Anache et al., 2017).

Topografi

Topografi menggambarkan bentuk permukaan bumi dan berperan dalam menentukan arah serta kecepatan aliran air. Semakin curam suatu lereng, semakin besar potensi erosi akibat aliran air yang lebih cepat dan kuat (Fajeriana & Risal, 2023).

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng sangat memengaruhi kecepatan aliran air dan kapasitas angkut sedimen. Penelitian Sitepu et al. (2017) menunjukkan bahwa semakin curam lereng, semakin besar laju erosi: Lereng 10° menghasilkan erosi sebesar 23,04 g/m²/jam, Lereng 15° sebesar 29,61 g/m²/jam, Lereng 20° sebesar 51,96 g/m²/jam. Hal ini diperkuat oleh Amri (2020) yang menyatakan bahwa kemiringan lereng sebanding dengan intensitas erosi.

Erodibilitas Tanah

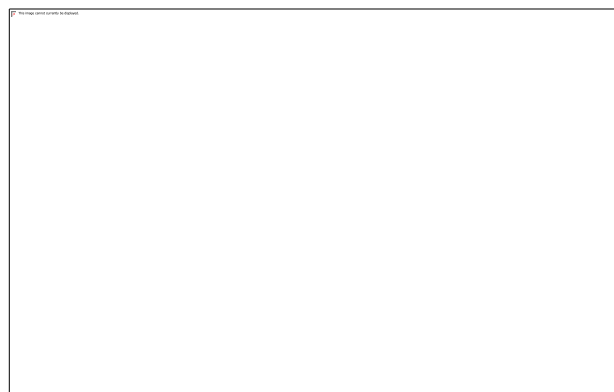
Erodibilitas adalah kemampuan tanah untuk menahan pengaruh erosi. Faktor-faktor yang mempengaruhi erodibilitas mencakup tekstur, struktur, permeabilitas, dan kandungan bahan organik (Hanny & Ari Sulistiyawati, 2023).

Erosivitas Curah Hujan

Erosivitas mengukur potensi curah hujan dalam menyebabkan erosi tanah. Curah hujan yang tinggi dalam waktu singkat memiliki nilai erosivitas tinggi, yang dapat diukur melalui indeks erosivitas, yaitu hasil perkalian energi kinetik hujan dengan intensitas curah hujan tertinggi dalam 30 menit (Nabila, 2022; Hartoyo et al., 2023).

Serat Ijuk

Pohon aren adalah jenis palma yang banyak tumbuh di Indonesia dan menghasilkan serat ijuk dari bagian batangnya. Hampir seluruh bagian pohon dapat dimanfaatkan, menjadikannya tanaman bernilai ekonomi tinggi (Purkuncoro, 2017; Gobel et al., 2023).



Gambar 1. Serat ijuk pada pohon aren.

Sifat Fisik Serat Ijuk

Menurut Alaaeddin et al. (2019), serat ijuk memiliki daya tahan tinggi terhadap air, kelembapan, dan ketebalan yang baik. Daya serap air menurun dengan meningkatnya jumlah ijuk dalam campuran. Namun, jika terlalu banyak, dapat mengganggu ikatan antara serat, semen, dan bahan pengikat lainnya.

Sifat Mekanik Serat Ijuk

Serat ijuk memiliki kekuatan tarik dan lentur yang tinggi. Serat pendek menunjukkan ikatan antarmuka yang baik dalam matriks komposit. Berdasarkan uji tarik oleh Dihuma (2020), sifat mekanik serat tunggal dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Tarik Sifat Mekanik Serat Tunggal, Pintalan, dan Anyaman.

Sifat Serat	Kuat tarik (N/mm ²)	Regangan (%)
Serat (T1)	286.63	2.27
Pitalan (P3)	44.30	7.45
Anyaman (A3)	7.24	95.39

Selain kuat tarik tinggi, serat ijuk juga ringan dan kaku, membuatnya cocok untuk aplikasi teknik sipil atau sebagai bahan penguat pada struktur tahan air dan cuaca (Huzaifah et al., 2019).

3. METODE PENELITIAN

Lokasi, Waktu, dan Variabel Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Bina Jaya, Kecamatan Tolangohula, Kabupaten Gorontalo, yang berjarak sekitar 83 km dari pusat Kota Gorontalo dengan waktu tempuh ± 2 jam. Lokasi dipilih karena memiliki lereng curam dengan tingkat erosi tinggi pada lahan pertanian jagung. Survei awal dilakukan secara langsung di lapangan untuk mengamati kondisi topografi dan tingkat kerentanan erosi. Penelitian ini berlangsung selama tiga bulan, yaitu dari Maret hingga Juni 2024, melibatkan kegiatan pengamatan curah hujan, pemasangan jaring ijuk, penanaman jagung, serta pengambilan sampel material tanah tererosi. Penelitian ini menggunakan tiga jenis variabel, yaitu: (1) variabel bebas berupa penggunaan jaring ijuk sebagai penutup tanah; (2) variabel terikat berupa massa tanah yang tererosi; serta (3) variabel kontrol, yang terdiri dari faktor intrinsik (jenis tanaman jagung, topografi, dan karakteristik tanah) dan faktor ekstrinsik (aktivitas eksternal di sekitar lahan seperti gangguan hewan). Variabel-variabel ini diamati untuk mengetahui efektivitas jaring ijuk dalam mengendalikan laju erosi pada lereng dengan atau tanpa penanaman jagung. ini memuat rancangan penelitian meliputi disain penelitian, populasi/ sampel penelitian, teknik dan instrumen pengumpulan data, alat analisis data, dan model penelitian yang digunakan.

Implementasi Jaring Ijuk

Penelitian ini diawali dengan proses pembuatan dan pemasangan jaring ijuk sebagai salah satu metode konservasi tanah. Jaring ijuk dipasang pada lahan percobaan dengan kemiringan 57° untuk mengurangi kecepatan limpasan air permukaan.

Proses pemasangan dilakukan secara manual pada lahan uji dengan karakteristik tanah lempung berpasir. Implementasi jaring ijuk dilakukan melalui beberapa tahap yang dimulai dengan pembuatan plot penelitian dan pemasangan sistem penampungan material erosi berupa

ember. Jaring ijuk yang digunakan berukuran 5 meter x 1 meter, dengan ukuran mesh 5 x 5 cm. Lahan percobaan seluas 28 m² (7 m x 4 m) dibagi menjadi tiga plot:



Gambar 2. Proses pemasangan jaring dimana, (a) Proses pembersihan lahan dari semak/tanaman liar, (b) adalah proses pembentangan jaring di atas lahan plot, (c) adalah proses pemasangan papan pembatas yang diambil dari atas menggunakan drone, dan (d) adalah bentuk plot yang sudah terpasang jaring dan papan pembatas.

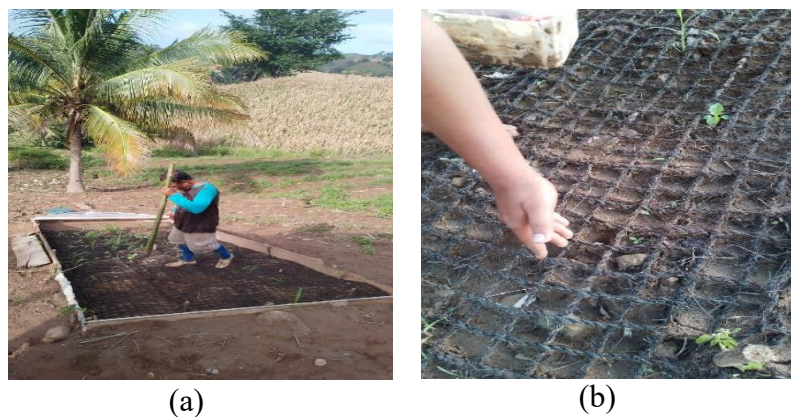
Setiap plot dikelilingi oleh papan pembatas setinggi 20 cm yang berfungsi untuk mencegah rembesan air masuk atau keluar dari plot. Hal ini penting untuk memastikan bahwa semua aliran air dan material erosi yang tertangkap berasal dari dalam plot masing-masing. Gambar 1 menunjukkan tahapan proses mulai dari pembersihan lahan, pemasangan jaring, pemasangan papan pembatas, hingga bentuk akhir plot.

Setelah pemasangan jaring dan papan selesai, posisi dan kekuatan pemasangan diperiksa ulang. Jarak antar plot, terutama Plot I terhadap Plot II dan III, dibuat sejauh 80 cm untuk menghindari percikan air saat hujan yang dapat mengganggu integritas data. Keseluruhan proses pembuatan dan penataan plot membutuhkan waktu empat hari kerja dan dilakukan secara sistematis agar kondisi percobaan sesuai dengan desain penelitian.

Penanaman Jagung

Dalam penelitian ini, jagung digunakan sebagai variabel kontrol untuk membantu menekan laju erosi pada lahan percobaan. Jenis jagung yang ditanam adalah jagung pulut, atau yang dikenal secara lokal sebagai Milu Pulo. Pemilihan jenis ini didasarkan pada keunggulannya yang adaptif terhadap kondisi lahan kering dan siklus panennya yang relatif singkat, serta memiliki kemampuan sistem perakaran yang cukup baik untuk membantu mengikat tanah, sehingga sangat sesuai digunakan dalam penelitian konservasi tanah.

Teknik penanaman dilakukan secara konvensional dengan menanam dua benih jagung di setiap lubang tanam sedalam 5 cm. Jarak tanam yang digunakan adalah 20 x 40 cm, yang memungkinkan tanaman memperoleh cukup ruang untuk tumbuh sekaligus menutupi permukaan tanah sebagai pelindung dari erosi akibat percikan air hujan. (Kartika, 2018), yang menyarankan jarak tanam ideal untuk jagung pulut berkisar antara 20–40 cm tergantung pada kondisi lahan dan kerapatan tanaman yang diinginkan.



Gambar 3. Proses Penanaman jagung dimana, (a) proses pembuatan lubang untuk bibit jagung, (b) memasukkan bibit jagung ke dalam mesh jaring yang dibuat lubang.

Gambar 3 menunjukan proses pembuatan lubang untuk bibit jagung yang dalam Bahasa daerah disebut “Ba Tutua”, untuk gambar kedua merupakan proses penaburan bibit ke dalam lubang, hal ini dilakukan dengan teliti dikarenakan ukuran lubang sama persis dengan ukuran jaring sehingga agak sulit untuk memastikan kedua bibit jagung masuk kedalam lubang yang sama, sehingga dilakukan dengan menaburkan bibit jagung pada posisi dekat dengan lubang.

Setelah semua bagian dipastikan telah terpasang sesuai rancangan, dilakukan Kembali uji coba untuk memastikan tidak ada kebocoran pada dinding plot, yang bisa mengakibatkan air dari luar masuk kedalam plot penelitian, dan juga sebaliknya memastikan tidak ada air dari dalam plot yang merembes keluar plot, dan juga air sepenuhnya masuk

kedalam ember penampung, tanpa ada kebocoran atau tersendat, setelah semua bagian dipastikan berfungsi dengan baik, maka bisa dilanjutkan untuk proses pengambilan data.

Pengambilan Sampel Material Erosi

Setelah hujan dan aliran permukaan berhenti, sampel material erosi diambil dari bak penampungan yang dipasang pada plot penelitian. Proses pengambilan material erosi dilakukan secara berkala setelah terjadi hujan yang diperkirakan cukup memicu aliran permukaan dan menyebabkan erosi pada masing-masing plot. Material yang terkumpul di dalam ember penampung akan dianalisis untuk mengukur jumlah sedimen dan volume air limpasan dari setiap plot. Pengambilan dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kehilangan material dan memastikan bahwa data yang diperoleh representatif terhadap kondisi aktual di lapangan.

Sedimen disimpan sampai gravitasi mulai mengendapkan sedimen. Setelah itu sedimen telah mengendap, airnya dibuang untuk di ukur sedimen yang di dapatkan. Proses ini dilakukan pada semua plot erosi (Jahja et al., 2024)

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dengan pendekatan deskriptif-komparatif. Data yang diperoleh dari lapangan berupa massa tanah tererosi dan volume air hujan pada masing-masing plot (Plot I, Plot II, dan Plot III) dianalisis berdasarkan kejadian hujan yang tercatat selama periode penelitian. Data curah hujan pada penelitian ini diperoleh dari *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER)*.

Visualisasi grafik ini bertujuan untuk melihat pola dan tren antara perlakuan konservasi (penggunaan jaring ijuk dan tanaman jagung) terhadap kemampuan menahan erosi. Selain itu, grafik memungkinkan perbandingan antarplot dalam berbagai kondisi intensitas hujan. Hasil grafik dan data numerik digunakan sebagai dasar dalam pembahasan dan penarikan kesimpulan efektivitas masing-masing perlakuan terhadap pengendalian erosi tanah di lahan miring.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini diberikan perlakuan pada lahan dengan kemiringan sekitar 60°. Tiga perlakuan digunakan dalam percobaan ini: (1) Plot I menggunakan jaring ijuk dan ditanami jagung, (2) Plot II menggunakan jaring ijuk tanpa tanaman, dan (3) Plot III tanpa perlakuan sebagai kontrol. Pengamatan dilakukan selama musim hujan selama tiga bulan dari oktober sampai desember, dengan data utama berupa massa tanah tererosi dan volume air limpasan.

Paparan Data dan Temuan Penelitian

Hasil Tanah Tererosi Berdasarkan Waktu

Hasil pengukuran untuk Plot I dengan keterangan dipasang jaring dan ditanam jagung, hasilnya menunjukkan bahwa permukaan tanah mengalami erosi tertinggi pada minggu pertama sebesar 9 kg dan erosi terendah pada kejadian ke lima sebesar 1,2 kg.

Tabel 2. Massa Tanah Tererosi dan Volume Air Hujan pada masing masing Plot.

Tanggal	Waktu Kejadian	Massa Tanah Tererosi (Kg)		
		Plot I	Plot II	Plot III
17-10-2024	1	9	13,0	42,4
03-11-2024	2	3	3,6	23,2
07-11-2024	3	2,3	2,8	9,0
12-11-2024	4	1,4	2,3	5,6
12-12-2024	5	1,1	2,0	4,7
Jumlah		16,8	23,7	84,5

a) Plot I: Tanaman Jagung dan Jaring Ijuk

Hasil pengukuran untuk Plot I dengan keterangan dipasang jaring dan ditanam jagung, hasilnya menunjukkan bahwa permukaan tanah mengalami erosi tertinggi pada minggu pertama sebesar 9 kg dan erosi terendah pada kejadian ke lima sebesar 1,2 kg

Penggunaan jaring ijuk yang dikombinasikan dengan tanaman jagung secara signifikan menurunkan laju erosi tanah, dari 9 kg pada kejadian pertama menjadi hanya 1,1 kg pada kejadian kelima. Volume air hujan yang tertampung juga menurun seiring waktu, yang mencerminkan peningkatan infiltrasi akibat perkembangan akar tanaman dan stabilitas agregat tanah yang lebih baik. Kombinasi struktur fisik dan vegetasi terbukti efektif dalam mengendalikan limpasan permukaan (runoff).

b) Plot II (Jaring Tanpa Tanaman):

Meskipun pemasangan jaring mampu menurunkan erosi dari 13 kg menjadi 2 kg, total erosi tetap lebih tinggi dibandingkan Plot I. Tidak adanya tanaman menyebabkan tanah lebih terbuka terhadap gaya-gaya erosi, serta infiltrasi air lebih rendah, yang tercermin dari volume air hujan yang tertampung lebih besar daripada di Plot I.

c) Plot III (Tanpa Perlakuan):

Plot ini menunjukkan tingkat erosi tertinggi secara konsisten, dengan total tanah tererosi sebesar 84,5 kg. Tidak adanya pelindung fisik maupun vegetasi menyebabkan limpasan air hujan yang tinggi dan memperparah pengikisan tanah. Volume air hujan yang tertampung juga paling besar, menandakan rendahnya kemampuan tanah untuk menyerap air akibat tidak adanya gangguan vegetatif atau mekanis.

Kombinasi antara jaring ijuk dan tanaman jagung (Plot I) terbukti paling efektif dalam mengurangi erosi tanah dan meningkatkan infiltrasi air. Tanaman berperan sebagai pelindung permukaan tanah dan pengikat agregat, sementara jaring ijuk membantu memperlambat laju aliran permukaan. Perlakuan tunggal seperti hanya jaring (Plot II) memberikan hasil konservasi yang moderat, sementara tanpa perlakuan (Plot III) menunjukkan tingkat kerusakan tanah tertinggi.

Tabel 3. Massa Tanah Tererosi per Plot.

Plot	Perlakuan	Massa Tanah Tererosi (kg)	% Pengurangan Erosi
Plot I	Jagung + Jaring Ijuk	16,8	80,1%
Plot II	Jaring Ijuk tanpa Tanaman Jagung	23,7	72,0%
Plot III	Tanpa Perlakuan (kontrol)	84,5	0%

Performa jaring ijuk dalam mengurangi erosi tanah menunjukkan efektivitas yang signifikan. Perbandingan antara Plot I (menggunakan jaring ijuk dan ditanami jagung) dengan Plot III (tanpa jaring ijuk dan tanpa tanaman) menghasilkan nilai performa sebesar 80,1%. Sementara itu, perbandingan antara Plot II (menggunakan jaring ijuk tanpa tanaman) dengan Plot III menunjukkan nilai performa sebesar 71,9%. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan jaring ijuk secara signifikan mampu menurunkan laju erosi tanah, dan efektivitasnya meningkat dengan adanya tanaman jagung sebagai penutup tanah tambahan.

Curah Hujan dan Massa Tanah Tererosi Pada Setiap Plot

Curah hujan merupakan salah satu faktor dominan yang menentukan besarnya tanah tererosi pada suatu lahan. Peningkatan intensitas hujan umumnya berbanding lurus dengan meningkatnya volume limpasan permukaan yang mampu mengangkut partikel-partikel tanah. Curah hujan memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap besarnya tanah tererosi, terutama pada lahan tanpa penerapan tindakan konservasi. Intensitas hujan yang tinggi umumnya meningkatkan volume limpasan permukaan, sehingga mempercepat proses pengangkutan partikel tanah. Untuk menganalisis keterkaitan antara curah hujan dan massa tanah tererosi, dilakukan pencatatan data curah hujan bersamaan dengan hasil penimbangan tanah tererosi pada setiap kejadian hujan. Data hasil pengamatan tersebut disajikan pada tabel berikut.

Dampak Curah Hujan Terhadap Erosi Tanah di Masing-Masing Plot

Curah hujan dan massa tanah tererosi merupakan dua variabel utama yang diamati dalam penelitian ini untuk melihat pola hubungan yang terjadi pada masing-masing plot perlakuan. Pengamatan dilakukan dengan mencatat besarnya curah hujan pada setiap kejadian, kemudian diikuti dengan pengukuran massa tanah tererosi yang tertampung pada bak

penampung di setiap plot. Data yang diperoleh menggambarkan variasi jumlah tanah yang tererosi pada kondisi curah hujan yang berbeda, baik pada plot dengan perlakuan maupun tanpa perlakuan. Penyajian data ini bertujuan untuk memberikan gambaran kuantitatif sebagai dasar dalam menganalisis hubungan antara curah hujan dan tingkat erosi tanah pada masing-masing plot. Hasil pengamatan tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. Massa Tanah Tererosi dan Curah Hujan, pada Masing Masing Plot.

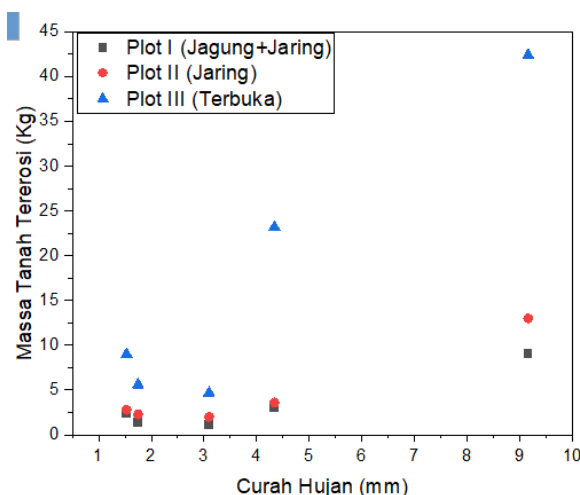
Tanggal	Waktu Kejadian	Curah Hujan (mm)	Massa Plot I (Kg)	Massa Plot II (Kg)	Massa Plot III (Kg)
17-10-2024	1	9,16	9,0	13,0	42,4
03-11-2024	2	4,34	3,0	3,6	23,2
07-11-2024	3	1,53	2,3	2,8	9,0
12-11-2024	4	1,75	1,4	2,3	5,6
12-12-2024	5	3,1	1,1	2,0	4,7

Plot I yang menggunakan kombinasi tanaman jagung (milu pulo) dan jaring ijuk menunjukkan tingkat erosi paling rendah dibandingkan plot lainnya. Massa tanah tererosi tertinggi terjadi pada 17 Oktober 2024 sebesar 9,0 kg seiring dengan curah hujan tertinggi (9,16 mm), dan terendah pada 12 Desember 2024 sebesar 1,1 kg. Secara umum, terdapat hubungan searah antara curah hujan dan erosi, di mana peningkatan curah hujan diikuti oleh peningkatan massa tanah tererosi. Efektivitas Plot I dipengaruhi oleh peran vegetasi dalam mengikat tanah serta fungsi jaring ijuk dalam memperlambat aliran permukaan. Sementara itu, Plot II yang hanya menggunakan jaring ijuk juga mampu menurunkan erosi dibandingkan lahan terbuka, namun tidak seefektif Plot I. Pada curah hujan 9,16 mm, erosi pada Plot II mencapai 13,0 kg, lebih tinggi dari Plot I tetapi jauh lebih rendah dari Plot III. Hal ini menunjukkan bahwa metode mekanik mampu mengurangi erosi, namun tanpa dukungan vegetasi, tanah masih rentan terhadap dampak langsung curah hujan. Dengan demikian, kombinasi metode vegetatif dan mekanik terbukti lebih efektif dibandingkan penggunaan metode tunggal dalam pengendalian erosi pada lahan miring.

a) Grafik Curah Hujan dengan Massa Tanah Tererosi

Curah hujan merupakan faktor utama yang mempengaruhi laju erosi tanah, karena intensitas dan jumlah hujan berperan dalam menentukan besarnya energi kinetik air hujan yang menghantam permukaan tanah serta volume limpasan permukaan yang terbentuk. Dalam penelitian ini, telah diamati hubungan antara besarnya curah hujan dengan massa tanah yang tererosi pada tiga jenis perlakuan lahan, yaitu: Plot I (menggunakan kombinasi tanaman jagung dan jaring ijuk), Plot II (menggunakan jaring ijuk tanpa tanaman), dan Plot III (lahan terbuka tanpa perlakuan).

Grafik berikut menggambarkan bagaimana curah hujan yang tercatat pada masing-masing kejadian hujan mempengaruhi jumlah tanah yang tererosi dari setiap plot. Secara umum, dapat dilihat bahwa seiring dengan meningkatnya curah hujan, terjadi pula peningkatan massa tanah yang tererosi, terutama pada lahan yang tidak dilindungi seperti pada Plot III. Sebaliknya, pada Plot I yang dilengkapi dengan tanaman jagung dan jaring ijuk, massa tanah yang tererosi tetap rendah meskipun curah hujan tinggi, menunjukkan efektivitas perlakuan konservasi tanah dalam menekan laju erosi.



Gambar 4. Grafik Massa Tanah Tererosi dan Curah Hujan.

Berdasarkan grafik hubungan antara curah hujan dan massa tanah tererosi pada tiga plot perlakuan, terlihat pola yang jelas bahwa semakin tinggi curah hujan, maka massa tanah tererosi cenderung meningkat, terutama pada Plot III (lahan terbuka). Hal ini terlihat pada kejadian hujan tertinggi (9,16 mm) yang menghasilkan erosi paling besar, khususnya pada Plot III yang mencapai lebih dari 40 kg, jauh lebih tinggi dibandingkan Plot I dan Plot II. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanpa adanya perlindungan vegetasi maupun struktur konservasi, tanah sangat rentan terhadap energi kinetik tetesan hujan dan limpasan permukaan. Fenomena ini sejalan dengan penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa intensitas dan karakteristik hujan memiliki pengaruh langsung terhadap peningkatan limpasan dan kehilangan tanah.

Selain itu, grafik juga memperlihatkan perbedaan yang konsisten antar perlakuan, di mana Plot I (jagung + jaring ijuk) selalu menghasilkan erosi paling rendah, diikuti Plot II (jaring ijuk), dan tertinggi pada Plot III. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi metode vegetatif dan mekanik mampu secara efektif meredam energi hujan, meningkatkan infiltrasi, serta memperlambat aliran permukaan.

Di sisi lain, terdapat variasi kecil pada curah hujan rendah (sekitar 1,5–3 mm) yang tidak selalu menghasilkan erosi yang linier. Hal ini menunjukkan bahwa erosi tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah curah hujan, tetapi juga oleh faktor lain seperti durasi hujan, kondisi awal kelembapan tanah, serta tingkat kejenuhan tanah sebelum hujan terjadi.

Secara keseluruhan, grafik ini menegaskan bahwa erosi tanah merupakan hasil interaksi kompleks antara curah hujan, kondisi lahan, dan perlakuan konservasi. Lahan tanpa perlindungan menunjukkan respons erosi yang sangat tinggi terhadap hujan, sedangkan penerapan jaring ijuk dan vegetasi jagung terbukti efektif dalam mengurangi kehilangan tanah, terutama pada kondisi lereng curam.

Dalam konteks penelitian ini, penggunaan jaring ijuk dan penanaman jagung pada Plot I terbukti efektif dalam mengurangi laju erosi meskipun terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan teknik konservasi tanah, seperti penggunaan vegetasi penutup dan struktur fisik penahan, dapat memitigasi dampak negatif dari hujan berintensitas tinggi terhadap erosi tanah.

Efektivitas Kombinasi Jaring Ijuk dan Tanaman Jagung

Pertumbuhan tanaman jagung berperan penting dalam pengendalian erosi melalui fungsi tajuk sebagai penutup permukaan tanah yang mampu meredam energi kinetik hujan dan mengurangi limpasan permukaan. Tingkat penutupan lahan dianalisis menggunakan parameter Leaf Area Index (LAI), yaitu perbandingan antara luas total daun dan luas permukaan tanah. Nilai LAI dihitung berdasarkan data panjang dan jumlah daun pada setiap fase pertumbuhan tanaman. Semakin tinggi nilai LAI, semakin efektif tanaman dalam menekan laju erosi melalui peningkatan infiltrasi dan penahanan partikel tanah. Hasil perhitungan LAI pada setiap fase pertumbuhan disajikan pada tabel berikut.

Tabel 5. Hubungan Antara Pertumbuhan Tanaman (Leaf Area Index/LAI) Dengan Tingkat Erosi Tanah.

Fase Pertumbuhan	Leaf Area Index (LAI)	Erosi
Awal (8-15) HST	0,46	9,0
Pertengahan 42 HST	5,21	3,0
Akhir 70 HST	9,21	1,1

Berdasarkan hasil perhitungan yang disajikan pada tabel, terlihat bahwa nilai Leaf Area Index (LAI) mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan pertumbuhan tanaman jagung. Peningkatan nilai LAI ini menunjukkan bertambahnya luas permukaan daun yang berfungsi sebagai penutup lahan, sehingga secara langsung memengaruhi kemampuan tanaman dalam mengendalikan erosi. LAI sendiri merupakan indikator penting dalam menggambarkan

struktur tajuk tanaman dan hubungannya dengan proses lingkungan (Stages, Multiple, & Indices, 2024).

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian oleh (Virleyani, 2024) yang menyatakan bahwa peningkatan kerapatan vegetasi secara signifikan berbanding terbalik dengan laju erosi pada lahan pertanian miring. Mereka menegaskan bahwa nilai LAI yang tinggi merupakan indikator penting dalam efektivitas vegetasi sebagai penahan erosi. Demikian pula (Judijanto & Suparwata, 2025) menyimpulkan bahwa vegetasi penutup tidak hanya memperbaiki stabilitas lereng, tetapi juga merupakan komponen utama dalam strategi mitigasi erosi, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi.

Dengan demikian, kombinasi antara kerapatan tanam yang optimal dan pertumbuhan tajuk tanaman jagung yang cepat membentuk sistem konservasi vegetatif yang efisien, memperkuat peran jagung sebagai tanaman penutup tanah dalam upaya konservasi lahan berkelanjutan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan jaring ijuk dan tanaman jagung terbukti efektif dalam menekan erosi tanah pada lahan miring. Kombinasi keduanya pada Plot I menghasilkan massa tanah tererosi terendah (16,8 kg) dibandingkan Plot II (23,7 kg) dan Plot III (84,5 kg), menunjukkan bahwa metode mekanik dan vegetatif bekerja secara sinergis. Curah hujan menjadi faktor utama yang mempengaruhi erosi, terutama pada lahan tanpa perlakuan. Selain itu, peningkatan nilai Leaf Area Index (LAI) tanaman jagung turut berperan dalam mengurangi erosi melalui penutupan tanah dan peningkatan infiltrasi. Efektivitas jaring ijuk tergolong tinggi, sehingga kombinasi jaring ijuk dan tanaman jagung direkomendasikan sebagai metode konservasi tanah yang efektif dan berkelanjutan pada lahan miring.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar petani menerapkan kombinasi jaring ijuk dan tanaman penutup lahan seperti jagung pada lahan miring karena terbukti efektif dalam menekan erosi dan menjaga kesuburan tanah, serta penggunaan jaring ijuk sebaiknya tidak dilakukan secara tunggal melainkan dikombinasikan dengan vegetasi agar hasilnya lebih optimal. Selain itu, perlu diperhatikan waktu tanam dan kondisi curah hujan karena kedua faktor tersebut sangat mempengaruhi tingkat erosi yang terjadi. Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain durasi penelitian yang relatif singkat, variasi curah hujan yang terbatas, penggunaan hanya satu jenis tanaman, serta tidak adanya plot perlakuan berupa tanaman jagung tanpa jaring ijuk sehingga pengaruh vegetatif tanaman belum dapat dianalisis secara spesifik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk

menggunakan variasi jenis tanaman penutup lahan, kemiringan lereng yang berbeda, serta periode pengamatan yang lebih panjang agar hasil yang diperoleh lebih komprehensif. Di sisi lain, pemerintah atau instansi terkait diharapkan dapat memberikan penyuluhan kepada masyarakat mengenai pentingnya konservasi tanah serta mendorong pemanfaatan bahan alami seperti jaring ijuk sebagai metode yang ekonomis dan ramah lingkungan.

DAFTAR REFERENSI

- Agustiningtiasih, W., & Ruslan, M. (2020). Study of erosion hazard levels in DAS Satui, Tanah Bumbu Regency. 3(4), 771–782.
- Akbar, A., Adwia, R., Nurnawaty, I. H., & Gaffar, F. (2023). Metode RUSLE dan USLE di DAS Tallo. *Jurnal Teknik dan Sains Fakultas Teknologi Lingkungan dan Mineral Universitas Teknologi Sumbawa*, 4(1), 59–73.
- Alaaeddin, M. H., Sapuan, S. M., Zuhri, M. Y. M., Zainudin, E. S., & Al-Oqla, F. M. (2019). Physical and mechanical properties of polyvinylidene fluoride-short sugar palm fiber nanocomposites. *Journal of Cleaner Production*, 235, 473–482. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.341>
- Amri, A. (2020). Analisis tingkat bahaya erosi pada kemiringan lereng yang berbeda di Desa Girirejo, Imogiri, Yogyakarta. *Global Health*, 167(1).
- Anache, A., Wendland, C., Oliveira, T., Flanagan, C., & Nearing, A. (2017). Runoff and soil erosion plot-scale studies under natural rainfall.
- Arini, S., Yulaikhah, Y., & Cahyono, B. K. (2019). Calculation of sedimentation rate at Sempor Reservoirs in 2018 using Modified Universal Soil Loss Equation method (MUSLE). *JGISE: Journal of Geospatial Information Science and Engineering*, 2(2), 212–219. <https://doi.org/10.22146/jgise.51156>
- Asdar, A., Sangadji, M. F., & Abdullah, A. (2021). Laju aliran permukaan dan erosi terhadap penggunaan lahan di Desa Batuboy Kabupaten Buru. *Agritrop: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*, 19(1), 59–66. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v19i1.4333>
- Ayubi, A. F., & Hadi, S. (2019). Analisis kekuatan lentur komposit dengan filler serat sabut kelapa dan serat ijuk. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 128–134.
- Bhandari, D., Joshi, R., Regmi, R. R., & Awasthi, N. (2021). Assessment of soil erosion and its impact on agricultural productivity by using the RMMF model and local perception: A case study of Rangun Watershed of Mid-Hills, Nepal. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5747138>
- BPS. (2024). Kecamatan Tolangohula dalam angka 2024. Badan Pusat Statistik.
- Dihuma, K. (2020). Studi sifat mekanik serat ijuk sebagai blanket pengontrol erosi. *CivETech*, 15(1), 1–11. <https://doi.org/10.47200/civetech.v15i1.712>
- Dunggio, I., Ichsan, A. C., Pertanian, J. K., & Mataram, U. (2022). Erosi dan sedimentasi: Studi kasus di Daerah Aliran Sungai (DAS) Limboto Provinsi Gorontalo. 5(1), 45–58. <https://doi.org/10.29303/jbl.v5i1.882>

- Fajeriana, N., & Risal, D. (2023). Peningkatan pemahaman tentang potensi erosi: Erosivitas dan erodibilitas dengan simulasi hujan pada topografi dan tutupan lahan yang berbeda. *Abdimas: Papua Journal of Community Service*, 5(1), 64–74.
- Fitria, R. R., Fidari, J. S., & Haribowo, R. (2023). Pengaruh erosi menggunakan klasifikasi struktur tanah dengan menggunakan alat rainfall simulator. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 4(1), 378–389.
- Gobel, Z., Imran, S., & Boekoesoe, Y. (2023). Analisis pendapatan dan nilai tambah gula aren pada usaha industri rumah tangga di Kecamatan Atinggola Kabupaten Gorontalo Utara. *AGRINESIA: Jurnal Ilmiah Agribisnis*, 7(1), 17–24. <https://doi.org/10.37046/agr.v7i1.18952>
- Hanny, S. S., & Sulistiyawati, A. (2023). Rancang bangun sistem informasi pendataan calon penerima bantuan sosial dan desa berbasis web: Studi kasus Desa Cilimus. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 4(3), 328–339.
- Hartoyo, R. P., Fidari, J. S., Andawayanti, U., Pengairan, D. T., Teknik, F., & Brawijaya, U. (2023). Studi erosivitas pada tanah kuarsa menggunakan rainfall simulator dengan blower keong. 3(2), 708–718.
- Hidayat, A. (2023). Dampak perubahan iklim terhadap pertanian dan strategi adaptasi yang diterapkan oleh petani. *Universitas Medan Area*, 1–11.
- Huzaifah, M. R. M., Sapuan, S. M., Leman, Z., & Ishak, M. R. (2019). Comparative study of physical, mechanical, and thermal properties on sugar palm fiber (*Arenga pinnata* (Wurmb) Merr.) reinforced vinyl ester composites obtained from different geographical locations. *BioResources*, 14(1), 619–637. <https://doi.org/10.15376/biores.14.1.619-637>
- Ilham, B., & M. R. (2019). Sifat kuat tarik material komposit hibrid berpenguat serat ijuk dan sabut kelapa dengan orientasi serat acak. *Jurnal Mekanikal*, 10(2), 980–991.
- Jahja, M., Mudatstsir, A., Supu, I., Indriati, Y., Rauf, J., Sakakibara, M., Yamaguchi, T., Metaragakusuma, A. P., & Butolo, I. (2024). How effective are palm-fiber-based erosion control blankets (ECB) against natural rainfall? *Sustainability*, 1–17.
- Judijanto, L., & Suparwata, D. O. (2025). Peran vegetasi dalam mengurangi risiko pergerakan tanah di musim hujan. 3(1), 21–27.
- Kartika, T. (2018). Pengaruh jarak tanam terhadap pertumbuhan dan produksi jagung (*Zea mays* L.) non hibrida di lahan Balai Agro Teknologi Terpadu (ATP). *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 15(2), 129. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v15i2.2378>
- Muchlis, D. R., Sobirin, S., & Damayanti, A. (2017). Wilayah keterpaparan erosi akibat hujan di Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta. 8th Industrial Research Workshop and National Seminar Politeknik Negeri Bandung, 722–730.
- Mudatstsir, A. (2023). Efisiensi jaring ijuk sebagai tutupan permukaan tanah dalam pencegahan erosi pada lereng bukit.
- Nabila, A. D. S. (2022). Analisis indeks erosivitas hujan menggunakan metode Bols dan Lenvain: Studi kasus Sub-Sub DAS Khilau, Sub DAS Way Bulok, DAS Way Sekampung, Provinsi Lampung, 1–23.
- Nugraha, D. K., Nugroho, B. D. A., & Setyawan, C. (2021). Dampak perubahan curah hujan terhadap tingkat kerentanan erosi tanah di Sub DAS Merawu, Jawa Tengah. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 10(3), 356–366.

- Nugraheni, A., & Sobriyah, S. (2013). Perbandingan hasil prediksi laju erosi dengan metode USLE, MUSLE, RUSLE di DAS Keduang. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 318–325.
- Purbasari, A., Darmaji, T. A. C., Sary, C. N., & Kusumayanti, H. (2019). Pembuatan dan karakterisasi komposit dari styrofoam bekas dan serat ijuk aren. *Metana*, 15(2), 65–70. <https://doi.org/10.14710/metana.v15i2.25794>
- Purkuncoro, A. E. (2017). Pengaruh perlakuan alkali (NaOH) serat ijuk (Arenga pinata) terhadap kekuatan tarik. *Jurnal Teknik Mesin Transmisi*, 13(2), 167–178.
- Santos, R., Fonseca, F., Fonseca, F., Paz-González, A., & Figueiredo, D. (2023). Erosion control performance of improved soil management in olive groves: A field experimental study in NE Portugal.
- Setyawan, C. (2021). Pemodelan pengendalian erosi tanah menggunakan tutupan vegetasi berbasis geographic information system (GIS) pada daerah aliran sungai Progo Hulu.
- Sitepu, F., Selintung, M., & Harianto, T. (2017). Pengaruh intensitas curah hujan dan kemiringan lereng terhadap erosi yang berpotensi longsor. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 21(1), 23–27. <https://doi.org/10.25042/jpe.052017.03>
- Sumarniasih, M. S., Trigunasih, N. M., & Surbakti, M. (2023). Penentuan tingkat erosi dan perencanaan konservasi lahan di Sub DAS Telagawaja Kabupaten Karangasem Provinsi Bali. *Agrotechnology Research Journal*, 7(1), 65–71. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v7i1.76266>
- Tamrin, A., Ashad, H., & Musa, R. (2021). Kontribusi serat ijuk terhadap sifat mekanik beton sistem self compacting concrete (SCC). *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 6(3), 186–192. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v6i3.345>
- Taslim, R. K., Mandala, M., & Indarto, I. (2019). Prediksi erosi di wilayah Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 323. <https://doi.org/10.14710/jil.17.2.323-332>
- Vanmaercke, M., Panagos, P., Vanwalleghem, T., Hayas, A., Foerster, S., Borrelli, P., Rossi, M., Torri, D., Casali, J., Borselli, L., Vigiak, O., Maerker, M., Haregeweyn, N., De Geeter, S., Zgłobicki, W., Biëlders, C., Cerdà, A., Conoscenti, C., de Figueiredo, T., et al. (2021). Measuring, modelling and managing gully erosion at large scales: A state of the art. *Earth-Science Reviews*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103637>
- Virlayani, A. (2024). Pengaruh vegetasi terhadap laju erosi. 2(2).
- Webliana B, K., Sari, D. P., & Solikatur, S. (2020). Upaya penanggulangan erosi dan tanah longsor menggunakan limbah sabut kelapa di Dusun Klui, Desa Malaka. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(1), 411. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v4i1.2979>
- Zhang, M., Zhang, K., Cen, Y., Wang, P., & Xia, J. (2025). Effects of grass cover on the overland soil erosion mechanism under simulated rainfall. *Water Resources Research*, 61(2). <https://doi.org/10.1029/2023WR036888>
- Zhang, N., Xia, Z., Li, P., Chen, Q., Ke, G., Yue, F., Xu, Y., & Wang, T. (2025). The impact of rainfall and slope on hillslope runoff and erosion depending on machine learning. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1580149>